

Fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden

Erik Træland Hella
Håkon Hammer Eikefet
Lars Skjoldnes

Bacheloroppgave i energiteknologi
Bergen, Norge 2021





Fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden

Erik Træland Hella
Håkon Hammer Eikefet
Lars Skjoldnes

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Western Norway University of Applied Science

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

English title:

Future hydrogen demand in the Geiranger fjord

Forfattere, studentnummer:

Erik Træland Hella 571984
Håkon Eikefet 138663
Lars Skjoldnes 183552

Studieprogram:

Energiteknologi

Dato:

Mai 2021

Rapportnummer:

IMM 21-561

Veileder ved HVL:

Håkon Eidsvåg HVL ansatt

Oppdragsgiver:

Ocean Hyway Cluster

Oppdragsgivers referanse:

Steinar Kostøl

Antall filer levert digitalt:

2

Forord

«Fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden» er en bacheloroppgave utarbeidet i oppdrag fra Ocean Hyway Cluster. Oppgaven er skrevet av tre studenter fra studieretningen energiteknologi ved institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Intern veileder fra HVL er Håkon Eidsvåg, og ekstern veileder fra Ocean Hyway Cluster er Steinar Kostøl. Vi vil rette en stor takk til veiledere for godt samarbeid og god veiledning gjennom hele prosessen.

I bacheloroppgaven har vi sett på det fremtidige energibehovet i Geirangerfjorden etter krav om nullutslipp. Da vi valgte oppgave var det et felles ønske innad i gruppen om at oppgaven skulle bidra til det grønne skiftet nasjonalt eller globalt. Alle tre hadde valgfaget hydrogenteknologi semesteret før, som var en sterk bidragsyter til at vi valgte nettopp denne oppgaven. I tillegg har Håkon allerede en bachelor innen nautikk som har vært en stor fordel innen arbeid med skip.

Datainnsamlingen har vært utfordrende og tidskrevende da vi har prøvd å få tallene så nøyaktig som mulig. Vi vil gi en takk til Kystdatahuset som har gjort det mulig å samle inn disse dataene, samt maskinsjef Bjørn-Inge Hagen fra *MS Nordkapp* som har bidratt med informasjon som omhandler hotelldrift. En siste takk til HVL som har holdt grupperommene sine åpne under pandemien, og dermed gjort det mulig å gjøre all datainnsamling og resultater i felleskap.

Håkon Hammer Eikefet; Erik Træland Hella; Lars Skjoldnes.



Sammendrag

Bakgrunnen for studien er vedtatte krav om nullutslipp i verdensarvfjordene som trer i kraft senest innen 2026. I denne studien blir det sett på hvordan hydrogen kan være en løsning til å innfri kravet. Oppgavens tittel er «Fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden» og har følgende problemstillinger:

- Hva blir hydrogenbehovet i vernet del av Geirangerfjorden?
- Hvor mye utslipp av klimagasser reduseres lokalt?
- Er det gjennomførbart å innføre krav om nullutslipp innen 2026?

Det er utført datainnsamling om seilingstrafikken i den vernede delen av Geirangerfjorden i 2019. Seilt distanse, seilingshastigheter og motoreffekter for fartøyene som seilte i fjorden la grunnlaget for beregning av tilbakelagt energi, hydrogen- og ammoniakkbehov og utslipp av klimagassene CO₂, NO_x og SO₂. Fartøyene er også vurdert til en hydrogenkompatibilitetsgrad basert på teknologisk utvikling og relevante prosjekter.

Dersom samtlige av fartøyene som seilte i den vernede delen av fjorden i 2019 skal konvertere til hydrogenbasert driftssystem er det estimert et behov på 1 019 tonn hydrogen eller 7 887 tonn ammoniakk. For fartøyene som er vurdert til høy kompatibilitetsgrad er behovet 198 tonn hydrogen og 1 526 tonn ammoniakk. Nullutslippskravet medfører årlig reduksjon av:

12 879 tonn CO₂, 272 tonn NO_x og 8 tonn SO₂ i verdensarvområdet.

Abstract

The background for this study is a requirement from the Norwegian parliament, concerning enabling a zero-emission zone in the world heritage fjords by 2026. In this study, hydrogen has been reviewed as an alternative to fulfil the requirement. The title of this report is “Future hydrogen demand in the Geiranger fjord” and answers these issues:

- What is the future hydrogen demand in the world heritage area?
- How much greenhouse gasses will be reduced locally?
- Are the requirements feasible by 2026?

A collection of data concerning maritime traffic in the world heritage area is executed. Sailing distance, speeds and engine power for the ships operating in the fjord in 2019 made the foundation for calculations regarding energy consumption, hydrogen- and ammonia demand as well as emissions of CO₂, NO_x and SO₂. The ships are also regarded to a hydrogen compatibility grade based on technological progress and relevant projects.

If all ships with sailing history in the Geiranger fjord from 2019 do convert to hydrogen-based power systems, the estimated hydrogen- and ammonia demand is respectively 1 019 tons or 7 887 tons. The estimated demand for ships regarded a high grade of hydrogen compatibility is 198 tons of hydrogen and 1 526 tons of ammonia. The zero-emission requirement will yearly reduce:

12 879 tons of CO₂, 272 tons of NO_x and 8 tons of SO₂ in the world heritage area.

Innholdsfortegnelse

Forord	v
Sammendrag	vii
Abstract	ix
Nomenklatur	xiii
1 Innledning	1
1.1 Hvem blir berørt av kravene?.....	2
1.2 Regelverk.....	2
1.3 AIS.....	4
2 Teoretisk bakgrunn	5
2.1 Hydrogenbaserte energibærere.....	5
2.2 Brenselcelleteknologi.....	6
2.3 Forbrenningsmotorer.....	7
2.4 Andre nullutslippsløsninger.....	8
2.5 Produksjon og lagring.....	8
2.6 Infrastruktur.....	11
2.7 Aktuelle prosjekter i fartøysegmenter.....	12
2.7.1 Hurtigbåter og ferger.....	12
2.7.2 Mellomstore fartøy.....	14
2.7.3 Cruiseskip.....	16
3 Metode	18
3.1 AIS.....	18
3.2 Bestemmelser av utvalg.....	18
3.2.1 Analyseområdet.....	19
3.3 Datainnsamling.....	19
3.3.1 Seilt distanse.....	19
3.3.2 Seilingshastighet.....	20
3.3.3 Tid i havn.....	20
3.3.4 Merket motoreffekt og makshastighet.....	20
3.3.5 Fartøy under 24 meter.....	20
3.4 Beregninger.....	21
3.4.1 Virkningsgrader.....	21
3.4.2 Brennverdier.....	21
3.4.3 Seilingstid.....	22
3.4.4 Drivstoffmasse.....	22
3.4.5 Energiberegninger for fremdrift.....	22
3.4.6 Energiberegninger for hoteldrift.....	23
3.4.7 Utslipp av CO ₂	23
3.4.8 Utslipp av SO ₂	24
3.4.9 Utslipp av NO _x	24
3.4.10 Hydrogen- og ammoniakkberegninger.....	25

4	Resultat.....	26
4.1	Trafikk i Geirangerfjorden	26
4.1.1	Distansefordeling.....	27
4.1.2	Hastighet.....	29
4.1.3	Energi til fremdrift	30
4.1.4	Utslipp av klimagasser fra fremdrift.....	32
4.1.5	Hydrogen- og ammoniakkbehov til fremdrift.....	32
4.2	Hotelldrift i havn.....	33
4.3	Reelt hydrogen- og ammoniakkbehov for utvalgte segmenter	34
4.3.1	Hurtigbåter	35
4.3.2	Ferger og sightseeingfartøy.....	35
4.3.3	Hurtigruten	35
4.3.4	Cruiseskip.....	36
5	Diskusjon	37
5.1	Alternative løsninger for endret trafikkmønster	37
5.2	Hydrogen og ammoniakk	37
5.3	Infrastruktur	38
5.4	Politikk og konsekvens av krav 672	39
5.5	Økonomi	40
5.6	Feilkilder	40
6	Konklusjon	43
	Figurliste	44
	Tabelliste	45
	Formelliste	46
	Bildeliste	46
	Vedlegg.....	47
	Bibliografi	52

Nomenklatur

- Tenderbåter = Små båter som tilhører et stort fartøy
- FH₂ = Flytende Hydrogen
- KH₂ = Komprimert Hydrogen
- STP = Standardbetingelser (Typisk: 1 atm og 22 °C)
- Galvanisk Celle elektronoverføring = Et kjemisk element der en anode og en katode driver
- SOFC = Solid Oxide Fuel Cell (Norsk: Fast-Oksid Brenselcelle)
- HFO = Heavy Fuel Oil (Norsk: Tungolje)
- LNG = Liquid Natural Gas (Norsk: Flytende Naturgass)
- CCS = Carbon Capture and Storage (Norsk: Fangst av CO₂)
- MDO = Marin Diesololje
- MGO = Marin Gassolje
- SECA = Sulfur Emission Control Area (Norsk: Utslippskontrollområde for Svovel)
- ECA = Emission Control Area (Norsk: Utslippskontrollområde)
- Bunkring = Begrep for at skip fyller tanken med drivstoff
- IMO = Internasjonale Maritime Organisasjon
- FN = Forente Nasjoner
- SO_x = Svoveloksid
- SO₂ = Svoveldioksid
- NO_x = Nitrogenoksid
- CO₂ = Karbondioksid
- NH₃ = Ammoniakk
- FNH₃ = Flytende Ammoniakk
- VHF = Very High Frequency (Norsk: Veldig Høy Frekvens)
- Bruttotonnasje = Begrep for hvor stor masse et fartøy kan bære under drift
- PEMFC = Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Norsk: Protonbyttmembran-Brenselcelle)
- UNESCO = United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Norsk: FNs Organisasjon for Utdanning, Vitenskap, Kultur, og Kommunikasjon)
- Høy hastighet = Turtall høyere enn 900
- Middels hastighet = Turtall i intervallet 300 – 900
- Lav hastighet = Turtall lavere enn 300
- Servicefart = Normal seilingshastighet for skip

1 Innledning

Geirangerfjorden er en fjord på Sunnmøre i Møre og Romsdal. [1] I 2005 ble den innlemmet i verdensarvlisten til UNESCO som første norske naturarvområde sammen med Nærøyfjorden. [2] Innerst i fjorden ligger bygden Geiranger med 226 innbyggere. [3] Bygden er blitt et populært reisemål, og i 2018 besøkte omtrent 985 000 turister Geiranger; 40 prosent av disse kom med cruiseskip. [4] Dette medfører en stor belastning på naturen og lokalsamfunnet, spesielt med tanke på forurensing fra motorene til cruiseskipene.

I en rapport fra Sjøfartsdirektoratet på oppdrag fra Klima- og Miljødirektoratet kommer det frem at nivået av NO_x i luften til tider overskrider verdier som kan ha negativ helsemessig påvirkning. I tillegg har NO_x og røykpartikler sammen med vanddamp dannet røykskyer i fjorden som også er synlig på Bilde 1. [5] I en stortingsmelding fra 2013 ble det vedtatt at verdensarvområder skal verdsettes høyt i Norge. Et utdrag fra stortingsmeldingen lyder: «Norsk verdensarvområde skal utvikles som fyrårn for den beste praksisen innenfor natur- og kulturminneforvaltning». Disse faktorene har ført til at Stortinget har vedtatt krav om nullutslipp fra turistskip og ferger innen 2026. [6] Vedtaket er i tråd med Regjeringens forpliktelse overfor Parisavtalen om å redusere utslippene med 50 – 55 prosent innen 2030 fra 1990-nivået. [7] I tillegg har IMO et mål om å redusere utslippene fra skipsfarten med 50 prosent innen 2050 fra 2008-nivået. [8] Dette medfører at skipsindustrien som vil operere i verdensarvfjordene har to valg: Enten slutter de å seile i disse områdene eller så må de finne løsninger som reduserer utslippene fra skip. Det finnes flere ulike løsninger, men i 2021 er batteri- eller hydrogenteknologi mest lovende. I denne studien blir det sett nærmere på hydrogen.

Med bakgrunn i vedtatte krav vil det i denne studien bli sett på hvordan energibæreren hydrogen kan bidra til nullutslipp i Geirangerfjorden, og svare på følgende problemstillinger:

- Hva blir hydrogenbehovet i vernet del av Geirangerfjorden?
- Hvor mye utslipp av klimagasser reduseres lokalt?
- Er det gjennomførbart å innføre krav om nullutslipp innen 2026?



Bilde 1: Oversiktsbilde av Geirangerfjorden (Foto: Håkon Hammer Eikefet)

1.1 Hvem blir berørt av kravene?

Kravene vil potensielt medføre store økonomiske tap for den lokale turistnæringen rundt Geiranger- og Aurlandsfjorden på grunn av frafall av turister. Ordføreren i Stranda kommune, Jan Ove Tryggestad anslår et økonomisk tap på 100 til 150 millioner kroner i året. [9] For et lite bygdesamfunn som Geiranger kan dette få store konsekvenser.

Steinar Reiten i næringskomiteen mener at cruiseskiptrafikken inne i fjordene snart vil være historie, men at dette gir større muligheter for mindre turistfartøy. [9] Han mener også med dagens teknologiutvikling at kravet om nullutslipp ikke vil være et problem i 2026. Hellesylt Hydrogen Hub vil være klare til å levere hydrogen fra tidlig 2023, som vil være en sterk bidragsyter for en fremtidig hydrogenbasert transportsektor i dette området. [9]

Det er stadig en økning i hydrogenbaserte fartøyprosjekter som vil være klar innen 2026, men disse omhandler stort sett mindre fartøy som hydrogendrevne hurtigbåter. Knut Flakk fra Hellesylt Hydrogen Hub sier at de store cruiseskipene kan legge til havn lengre ute i fjorden, med mindre utslippsfrie passasjerfartøy som kan frakte turistene inn til Geiranger. [9] Han mener at denne måten å frakte turister på vil legge igjen mer penger i lokalsamfunnet fordi de vil bruke lenger tid på å komme seg inn til Geiranger. [9]

Positive effekter av vedtaket er reduserte konsentrasjoner av klimagasser, partikler og synlige røykskyer i verdensarvfjordene. Det forventes å gi en positiv helsemessig virkning, hovedsakelig for fastboende i nærområdet. [10] Bortfall av synlig avgass kan bidra til at den estetiske opplevelsen forbedres, som kan utløse positive og langsiktige omdømmevirkninger. [10]

1.2 Regelverk

I Stortingets vedtak «Klimastrategi for 2030 – Norsk omstilling i europeisk samarbeid» inngår 14 ulike vedtak. Vedtak nummer 672 er spesielt relevant for de to norske verdensarvfjordene, ettersom dette kravet eksplisitt har innflytelse på disse. Vedtak 672 sier:

«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.» [6]

Forslaget som er lagt frem omhandler Nærøyfjorden og Geirangerfjorden, og går ut på at sonene som er definert som verdensarvområde skal være utslippsfri senest innen 2026. Stortingsvedtaket sier at et fartøy som opererer i et av verdensarvområdene senere enn 1. januar 2026 med noe utslipp av klimagasser, bryter lovverket. Det ble foreslått utsettelse av dette stortingsvedtaket, slik at nullutslippskravet ikke ville tre i kraft før 2030. Dette forslaget ble ikke vedtatt, slik at det opprinnelige vedtaket står. [11] Det aktuelle området i Geirangerfjorden foreligger i Figur 3-1.

På bestilling fra Sjøfartsdirektoratet analyserte DNV to tolkninger av krav 672. Den ene tolkningen omhandlet bare utslipp av CO₂ til en reduksjon på minimum 95 prosent. Den andre tolkningen er mer lik ordlyden i stortingsvedtaket, og omhandler fullstendig nullutslipp av alle kjente klimagasser. [12] Dersom stortingsvedtaket blir en lov, er det knyttet usikkerhet rundt hvorvidt 95 prosent reduksjon av CO₂ faktisk imøtekommer kravet.

Alle fartøy som opererer i internasjonalt farvann, er underlagt IMO. Dette er en FN-organisasjon som står ansvarlig for maritim sikkerhet, i tillegg til en rekke konvensjoner som følger opp FNs

bærekraftsmål. IMO har definert et overordnet mål om å nå null utslipp av noen klimagasser fra internasjonal skipsfart så fort som mulig, og i løpet av dette århundre. Konvensjonen som definerer blant annet regelverk og begrensinger av utslipp fra skip, er MARPOL-konvensjonen. Denne konvensjonen har underlagt seks tekniske Annex, der «Annex VI» beskriver utslipp til luft fra skip.

«MARPOL Annex VI» omhandler utslipp av NO_x, SO_x og partikkelmasse i skipenes avgass. Når det gjelder SO_x og partikkelmasse, er begge disse begrenset til 0,1 prosent i ECA-områder etter 2015. Den globale begrensingen til svovelandel i drivstoffet etter 2020 er 0,5 prosent.

Utslipp av NO_x er begrenset trinnvis med såkalte Tier-krav utfra når skipet ble bygget. Skip som er bygget eller renovert i perioden 2000 til 2010 følger Tier I, og nye eller renoverte skip fra og med 2011 følger Tier II. Dersom et fartøy er bygget eller gjennomgår omlegging av fremdriftssystemet etter 2021 og opererer i «North Sea ECA», må motoren følge Tier III-krav. Geirangerfjorden er akkurat innenfor grensen for dette området. [13]

Tier-kravene er en funksjon som gir lavere utslipp av NO_x ved høyere omdreiningstall på motoren. Et utvalg av omdreiningstall innenfor intervallet som inngår i middels hastighet og tilhørende utslippskrav av NO_x er presentert i Tabell 1-1. [14]

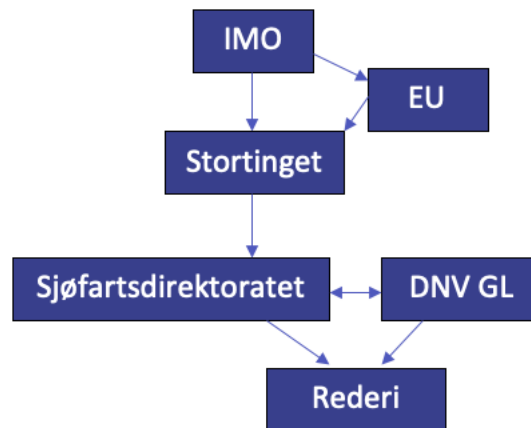
Omdreiningstall [rpm]	Tier I	Tier II	Tier III
500	13 $\frac{g}{kWh}$	10,5 $\frac{g}{kWh}$	2,6 $\frac{g}{kWh}$
750	12 $\frac{g}{kWh}$	9,6 $\frac{g}{kWh}$	2,4 $\frac{g}{kWh}$
900	11,5 $\frac{g}{kWh}$	9,2 $\frac{g}{kWh}$	2,3 $\frac{g}{kWh}$

Tabell 1-1: Maksimalt lovlig utslipp av NO_x-partikler fra fartøy, avhengig av tier-krav og motorens omdreiningstall

EU har også noen lovverk lokalt for å redusere utslipp av klimagasser, i hovedsak fra «Commission Delegated Regulation (EU) 2016/2071». Mye i denne journalen er forankret i IMO-konvensjonene, men det er mer konkrete begrensinger knyttet til utslipp av karbondioksid. Alle havner som er underlagt EU gjennom EØS- eller EU-samarbeidet er pålagt å overvåke, rapportere og verifisere utslipp av CO₂ i de respektive havnene. Begrensingene av CO₂ er avhengig av drivstoffet som benyttes. Utslippsbegrensningene for de mest relevante drivstoffene i denne rapporten er: [15]

$$3,206 \frac{kg CO_2}{kg \text{ diesel- eller gassolje}} \qquad 3,114 \frac{kg CO_2}{kg HFO}$$

I Norge er det Sjøfartsdirektoratet som står ansvarlig for oppfølging av maritime lovverk som vedtas i stortinget. Sjøfartsdirektoratet kan delegerer myndighet til å håndheve og oppfølge lovverket til DNV. Rederiene står ansvarlig for å følge lovverket, ved å inneha alle nødvendige sertifikater og dokumentasjoner. Hvordan strukturen for implementering og oppfølging av regelverk er illustrert i Figur 1-1.



Figur 1-1: Oversikt over lovgivningsorgan

Det er enda ikke definert et klart regelverk fra IMO eller Sjøfartsdirektoratet når det gjelder hydrogendrift av skip. Det er heller ikke ferdig konkretisert hvordan lovverket for nullutslipp i verdensarvfjordene skal utføres i praksis.

1.3 AIS

Etter 2002 har alle fartøy over 300 bruttotonn vært pålagt av IMO å benytte AIS. [16] Dette er et system som overvåker bevegelsesmønsteret tilhørende et skip. Fartøy som er utstyrt med dette systemet sender blant annet ut informasjon om fartøyets identitet, posisjon, hastighet og kurs. Hensikten med AIS er hovedsakelig å forhindre sammenstøt på havet. Et fartøy over 30 meter vil typisk være et fartøy med større bruttotonnasje enn 300. I EU er lovverket strengere, slik at alle fartøy over 15 meter skal benytte AIS i europeisk farvann. [16] Dette gjelder Norge på lik linje som nasjonene med medlemskap i EU. [16] Fiskefartøy, sightseeingfartøy, hurtigbåter og flere yachter blir befattet av krav om bruk av dette systemet i Europa.

Systemet går ut på å sende informasjon via VHF-båndet med hyppighet basert på hastigheten til det respektive fartøyet. Dersom et fartøy beveger seg saktere enn tre knop skal signal sendes i intervall på 180 sekunder. For hastigheter mellom 3 og 14 knop skal samme signal sendes i intervall på ti sekunder, og over 14 knop skal signal sendes hvert andre sekund. [16] I Norge utføres dette med satellittene AISat-1 og 2, i tillegg til NorSat-1 og 2. [16] Disse er finansiert gjennom et samarbeid av Kystverket og Forsvarets Forskningsinstitutt, og det er disse som forvalter AIS-data som forekommer i Norsk farvann.

2 Teoretisk bakgrunn

Begrepet energi kan deles inn i de to kategoriene energikilde og energibærer. En energikilde er råvarer som forekommer naturlig, som for eksempel sol, vind, olje og gass. [17] En energibærer er produktet fra en prosess som krever energikilder, og som lagrer energi over tid. Eksempel på dette er bensin som produseres ved raffinering av råolje, eller hydrogen som produseres av for eksempel vannkraft eller solenergi. [17]

I dette kapitlet redegjøres egenskapene for energibærerne hydrogen og ammoniakk. Hydrogen deles inn i flytende (FH₂) og komprimert (KH₂). Ammoniakk (NH₃) behandles i flytende form. Bakgrunnen for at disse tre hydrogenbaserte energibærerne blir presentert er at de er de mest aktuelle drivstoffene til brenselceller for maritime fartøy. I delkapittel 2.1 sammenlignes egenskaper for disse energibærerne med hverandre, og konvensjonelle drivstofftyper. Videre forklares hvordan brenselcellen fungerer, og hvilke typer som finnes. Produksjons- og lagringsmetoder for hydrogen og ammoniakk blir redegjort for og sammenlignet i delkapittel 2.5.

2.1 Hydrogenbaserte energibærere

Hydrogen er det letteste og mest tilgjengelige grunnstoffet i universet. [18] Ved standardbetingelser er hydrogen en luktfri og fargeløs gass, bestående av to atomer som danner et H₂-molekyl. [18] På jorden finnes hydrogen hovedsakelig i kombinasjon med oksygen i form av vann. [18]

Kommersielt hydrogen er enten komprimert gass, flytende, eller blandet inn med andre stoffer. [19] Kokepunktet til H₂ er -252,88 °C og hydrogenet må holdes kaldere enn denne temperaturen for å bevares flytende. [18] Dette er en energikrevende prosess, sammenlignet med produksjon av KH₂. I 2021 produseres det ikke flytende hydrogen i Norge. [19]

Volumetrisk energitetthet for FH₂ er tilnærmet $8 \frac{MJ}{L}$. [18] KH₂ er typisk trykksatt til 700 bar eller 350 bar. Ved 700 bar er volumetrisk energitetthet for KH₂ lik $5,6 \frac{MJ}{L}$, og $2,16 \frac{MJ}{L}$ for KH₂ ved 350 bar. [20]

I 2021 benyttes KH₂ i kjøretøy som personbiler, lastebiler og busser. [21] Dette er fordi KH₂ er billigere å produsere og lagre i små volum enn FH₂. Produksjon av KH₂ i Norge skjer ved reformering av naturgass. [21] En betydelig andel av produsert KH₂ benyttes til ammoniakkproduksjon. [21]

Ved STP er ammoniakk en fargeløs gass med merkbar lukt, og kokepunkt på -33,4 °C. [22] Gassen er ikke eksplosiv, men giftig og lettere enn luft, med en tetthet på $0,7708 \frac{kg}{m^3}$. [23] En oversikt over egenskaper for ulike energibærere er vist i Tabell 2-1. Ettersom ammoniakk gass har lavere tetthet enn luft vil en ammoniakklekkasje oppdrive mot atmosfæren. Hydrogengass vil oppdrive raskere ettersom tettheten er lavere enn for ammoniakk gass. Ammoniakk er en midlertidig energibærer som krever at hydrogen konverteres til ammoniakk før lagring, og deretter konverteres tilbake til hydrogen før bruk. Yara oppgir i 2021 at Norges årlige ammoniakkproduksjon ligger på omtrent 500 000 tonn som produseres i Norges eneste ammoniakkfabrikk på Herøya. [24]

Energibærer	Gravimetrisk energitetthet $\left[\frac{MJ}{kg}\right]$	Volumetrisk energitetthet $\left[\frac{MJ}{m^3}\right]$	Tetthet $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Kokepunkt ved 1 bar [Kelvin]
HFO	40 [25]	39640	991 [25]	450 - 630
Diesel	42,6 [26]	36500 [26]	857	450 - 630
KH ₂ @ 350 bar	119,9 [22]	2160 [22]	18	20,15
KH ₂ @ 700 bar	119,9 [22]	5600 [22]	46,7	20,15
FH ₂	119,9 [22]	8530 [26]	71,1	20,15
FNH ₃	18,6 [22]	12700 [22]	683	240

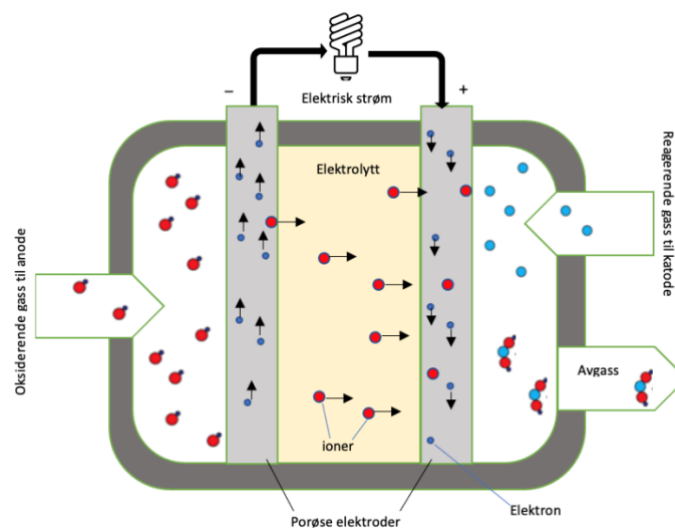
Tabell 2-1: Sammenligning av diverse energibærere, respektive tettheter og kokepunkt

2.2 Brenselcelleteknologi

En brenselcelle er en innretning som konverterer kjemisk energi til elektrisk energi. [27] Prinsippet er likt som for en galvanisk celle, der to elektroder med forskjellig ladning separeres av en elektrolytt som driver elektronoverføring mellom elektrodene. [27] De bevegelige elektronene hentes ut via en ytre krets, og genererer energi i form av elektrisitet. Figur 2-1 viser en skjematisk oversikt over hva som skjer inne i en brenselcelle.

- Den drives av to gasser, der en gass strømmer inn på anodesiden av cellen og oksideres til positivt ladet ioner som separeres fra elektroner. [27]
- Samtidig som dette skjer, strømmer en reagerende gass inn på katodesiden som reduseres til negativt ladde ioner i det den mottar elektronene fra anodesiden. [27]
- Avslutningsvis reagerer de positive ionene som har forflyttet seg fra anodesiden med de negative ionene som oppstår på katodesiden, og danner en avgass som drives ut av cellen. [27]

Det som separerer de to sidene er en elektrolytt, og de to reaksjonene skjer typisk på porøse elektroder.



Figur 2-1: Prinsippskisse av en brenselcelle

Figur 2-1 viser hvordan dette prinsippet utføres skjematisk for en brenselcelle. PEMFC er den mest utbredte brenselcellen i 2021 på grunn av liten størrelse og bedre virkningsgrad i forhold til andre brenselceller. I tillegg er oksidanten hydrogen og reaktanten oksygen, som begge er tilgjengelige gasser. [27] Det finnes to ulike varianter av PEMFC, en lavtemperatur (60 – 80 °C) og en

høytemperatur (120 °C – 200 °C). [28] Forskjellen mellom disse to versjonene er at lavtemperatur PEMFC benytter en membran som hydreres med vann og må derfor opereres i temperaturer som ikke overgår kokepunktet til vann. Hvis membranen dehydreres vil ikke brenselcellen fungere. [28] Høytemperatursversjonen av PEMFC benytter syrer som har høyere kokepunkt, og dermed vil ikke brenselcellen dehydreres. [28] Begge disse er benyttet kommersielt. Typisk er effekt-masseforholdet i underkant av $950 \frac{W}{kg}$ [29] og virkningsgraden mellom 0,5 og 0,65 for en PEMFC. [27]

I 2021 er SOFC den nest mest konkurransedyktige brenselcellen, etter PEMFC. [30] Moderne SOFC operer typisk i temperaturer mellom 500 °C og 800 °C, men kan operere i temperaturer rundt 1000 °C. [31] Den høye temperaturen gjør denne brenselcellen kompatibel med mer urene hydrogenbaserte energibærere. Dette gjør at ammoniakk kan brukes direkte i en SOFC. Den høye temperaturen betyr også at det tar lang tid å varme opp cellen tilstrekkelig, og urenheter i energibæreren gjør at avfallsstoffet ikke er utelukkende vann. Typisk er effekt-masseforholdet i intervallet $200 - 550 \frac{W}{kg}$ og virkningsgraden kan være rundt 0,35 og til i overkant av 0,8. [32]

Brenselcelleteknologi kan erstatte varmekraftmaskiner og elektriske generatorer ettersom de har en stor fordel i forhold til moderne forbrenningsmotorer, når det kommer til utslipp. En moderne forbrenningsmotor som følger Otto- eller Dieselprinsipp, slipper ut lite eller ingen NO_x og SO_x, men betydelige mengder vanndamp og karbondioksid. [33] En PEMFC slipper bare ut vanndamp, som kan fanges i en tank til flytendegjøring før utslipp. På den måten skjer det eneste bidraget til miljøforurensende utslipp gjennom produksjon av brenselcelle eller energibærer. Både brenselceller, hydrogen og ammoniakk kan produseres bærekraftig, uten miljøskadelige utslipp.

Brenselcelleteknologi kan erstatte mobile forbrenningsmotorer innenfor transportbransjen, og stasjonære aggregat innen kraftforsyningsbransjen, i tillegg til andre bransjer som krever energikonvertering og generering av elektrisitet.

2.3 Forbrenningsmotorer

Hydrogen som brennstoff har også vært forsøkt i konvensjonelle forbrenningsmotorer, med relativt lovende resultater. [34] Spesielt i dieselmotorer, på grunn av lettere selvtenning, hurtigere oppfylling av stempelkamrene og større luft-brennstoff-forhold. [35] Resultatene er ikke identisk for motorer som følger Otto-prinsipper, der hovedforskjellen mellom de to prinsippene ligger i at brennstoffet ekspanderer av «selvtenning» i dieselmotorer. [34] Hydrogen i en ottomotor har en tendens til å øke graden av motorbanking, minske utgående effekt med opptil 30 prosent og få selvtenning av brennstoffet før tenningsmekanismen slår inn. [34] Den største utfordringen med hydrogen i forbrenningsmotorer er stoffets letthet og mobilitet, som slår ut særlig utfordrende for motorer på fire-takter og/eller som følger Otto-prinsipper. [34]

Selv om hydrogen kan fungere som en erstatning til dieseloljer er det et par ting som taler mot hydrogen sin fremtid i forbrenningsmotorer. Den største ulempen er den samme som alle varmekraftmaskiner erfarer, nemlig begrensning av Carnot-syklusen. [36] Denne syklusen begrenser virkningsgraden en varmekraftmaskin kan oppnå, typisk rundt 60 prosent av energiinnholdet i brennstoffet. [36] Dette er omtrent samme termodynamiske virkningsgrad som moderne brenselceller oppnår. [37]

Varmekraftmaskiner som følger andre prinsipper har også blitt testet med hydrogen. Stirling-motorer har vist potensial for hydrogenbruk i mange år, men satses ikke på kommersielt. Stirling-prinsippet er basert på temperaturdifferansen mellom et kammer og omgivelsene. [38] Brennstoffene som oftest

benyttes i studier av motorer som følger disse prinsippene er hydrogen og helium. [38] Denne maskinen er også begrenset av Carnot-syklusen, og virkningsgradene har aldri vært konkurransedyktig mot brenselceller. [39]

2.4 Andre nullutslippsløsninger

Elektriske løsninger er aktuelt i transportsektoren, særlig i bilparken har elektriske kjøretøy blitt utbredt. [40] For at elektrisitet skal være en nullutslippsløsning kreves det at den produseres fra fornybare energikilder. Det er muligheter for å utvikle helelektriske løsninger for den maritime næringen, men det er utfordringer knyttet til infrastruktur, energitetthet og ladetid.

Helelektriske motorsystem krever lengre oppladningstid enn hydrogen- og dieselbaserte systemer. Det vil i tillegg kreve høyere spenninger enn det som i dag er utbredt. [41] Dette betyr at infrastrukturen til strømmettet må oppgraderes, og på plasser som ligger langt unna kraftstasjonene vil dette bli dyrt.

En annen problemstilling med helelektriske motorsystem er at de tilhørende batteripakkene har lav gravimetrisk og volumetrisk energitetthet sammenlignet med konvensjonelle motorsystem. [42] Hornsdale power reserve reklamerer for å produsere verdens største batteripakke, med en total energikapasitet på 129 MWh. [43] Dette er en park av batterier som dekker et område på 60 000 m² koblet i et felles nett. Det vil være utfordrende å implementere en slik løsning på cruiseskip. Det største skipet som opererte i Geirangerfjorden i 2019 var *MSC Preziosa*. Basert på resultatene i denne studien hadde dette skipet en nominell effekt på 36 MW på sine to turer til fjorden i 2019. Med utgangspunkt i batteripakken til Hornsdale power reserve er det teoretisk mulig å seile 3 timer og 35 minutter for dette skipet. Denne seilingstiden tilsvarer litt mer enn halvparten av tiden dette skipet benyttet i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Det er med andre ord urealistisk å etablere batteripakker for store cruiseskip, på grunn av kombinasjonen av lang oppladningstid, lav energitetthet i lagret form og dyre oppgraderinger på strømmettet. [41]

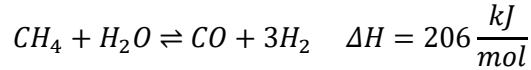
Mindre fartøy, som ferger eller sightseeingfartøy, vil derimot være aktuelle for elektrifisering. Det vil ikke kreve like omfattende oppgraderinger på strømmettet for elektrifisering av ferger som for cruiseskip. I tillegg krever disse fartøyene vesentlig mindre energi enn cruiseskip. For ferger og sightseeingfartøy er driftsmønsteret også planlagt og forutsigbart, som gjør det mulig med hyppig ladning. Det er flere ferger som har konvertert til elektriske generatorer og vist at dette er en gjennomførbar teknologi. I Norge er det per april 2021 34 bilferger i drift med elektrisk fremdriftssystem. Det er planlagt 26 ytterligere ferger som skal settes i drift i løpet av 2021 i Norge. [44]

2.5 Produksjon og lagring

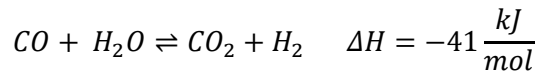
Det finnes nesten ikke hydrogengass i ren form på jorden naturlig, så denne må produseres av andre produkter. Globalt ble det produsert 70 millioner tonn hydrogengass i 2019, [45] hvorav 225 000 tonn ble produsert i Norge. [46] Det finnes flere måter å produsere hydrogengass, og det kategoriseres etter hvor miljøvennlig produksjonen er. De respektive kategoriene er blå, grå og grønn hydrogen. I Norge ble det i 2019 utelukkende produsert grå hydrogen fra naturgass til industriprosesser. [46]

Blå og grå hydrogen blir produsert fra fossile brennstoff, der forskjellen på disse er at blå hydrogen blir produsert med CCS og grå hydrogen blir produsert uten noen form for fangst av klimagasser. 96 prosent av global hydrogenproduksjon utføres på disse måtene. [45] Metodene for

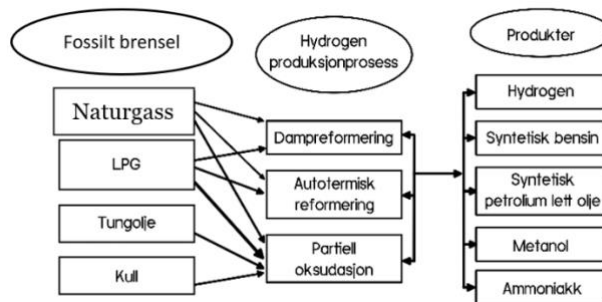
hydrogenproduksjon fra fossile energikilder er henholdsvis dampreforming, partiell oksidasjon og autotermisk reformering. Dette er skjematisk presentert i Figur 2-2. Dampreforming av naturgass står for 68 prosent av global hydrogenproduksjon. [45] Denne prosessen utføres i to steg, der steg en (Formel 1) er konvertering av metan og vanddamp til hydrogen og CO. Steg to (Formel 2) går ut på å tilsette vanddamp, slik at produsert CO danner ytterligere hydrogenproduksjon. [45]



Formel 1: Hydrogenproduksjon ved dampreforming, steg 1

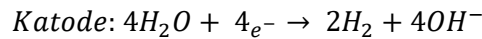


Formel 2: Hydrogenproduksjon ved dampreforming, steg 2

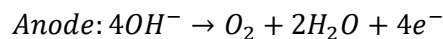


Figur 2-2: Hydrogenproduksjon fra fossilt brensel

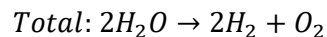
Grønn hydrogen er produksjon fra fornybare energikilder. Produksjon av grønn hydrogen utføres ved elektrolyse av vann, som går ut på å spalte vann til hydrogen og oksygen ved hjelp av elektrisitet. Prosessene i alkalisk elektrolyse har følgende reaksjonsligninger: [45]



Formel 3: Reaksjonsligning på katodisk side i alkalisk elektrolyse

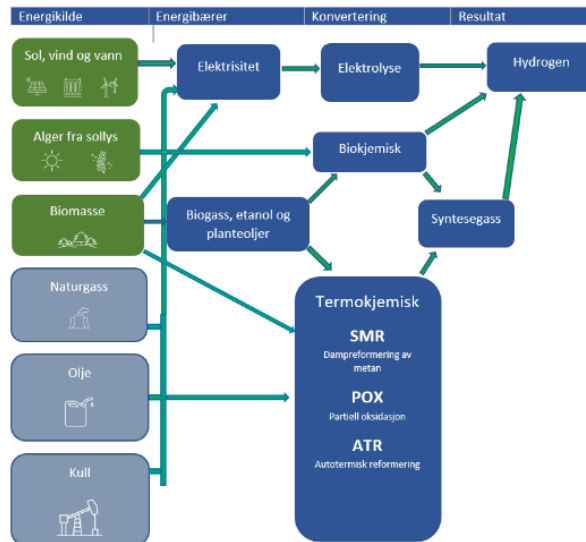


Formel 4: Reaksjonsligning på anodisk side i alkalisk elektrolyse



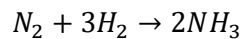
Formel 5: Total reaksjonsligning i alkalisk elektrolyse

Figur 2-3 viser produksjonskjeden til hydrogen fra kilde til produkt. Fargekodene i figuren indikerer produksjonsmetoden.



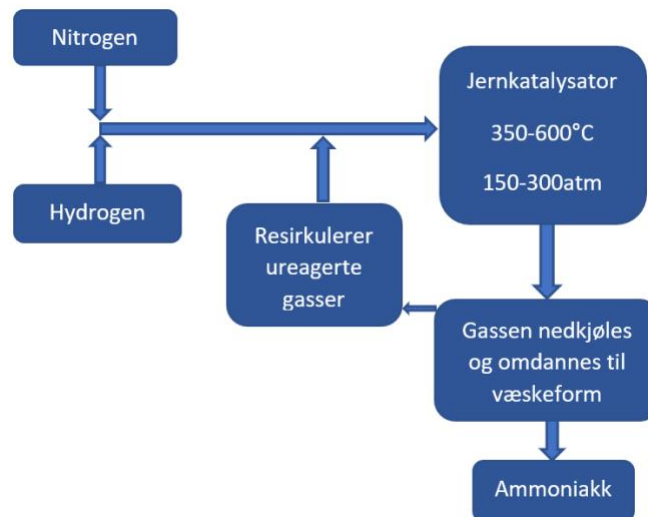
Figur 2-3: Hydrogenproduksjon

Globalt produseres det rundt 175 millioner tonn ammoniakk årlig. [47] Ammoniakk blir hovedsakelig produsert ved Haber-Bosch-prosessen som vist i Figur 2-4. Hydrogen reagerer med nitrogen etter følgende reaksjonsligning: [48]



Formel 6: Ammoniakkproduksjon

I denne prosessen blir det benyttet en jernkatalysator der gassblandingen blir utsatt for høyt trykk og temperatur, for deretter å nedkjøles slik at produktet omdannes til væskeform. Rundt 17 prosent av gassblandingen omdannes til flytende ammoniakk, og gassene som ikke reagerer i første syklus føres tilbake for så å reagere med nye molekyler i en identisk prosess. [48]



Figur 2-4: Haber-Bosch-prosessen

Komprimert hydrogen er dagens mest utviklede og brukte metode for lagring av hydrogen. [45] I 2021 finnes fem typer tanker som lagrer hydrogen under trykk mellom 100 og 700 bar. [45] Ettersom trykk påvirker hydrogentettheten, er det ønskelig å med høyt trykk dersom plass er en utfordring. Komprimert hydrogen under trykk på 300 bar har tetthet på omtrent $20 \frac{kg}{m^3}$ og under trykk på 700

bar har tetthet rundt $40 \frac{kg}{m^3}$. [49] Under trykk mellom 350 og 700 bar mister hydrogen 4 – 8 prosent av energiinnholdet. [49]

Å komprimere hydrogengass krever en kompressor. Kompresjonsprosessen foregår under økt trykk og temperatur, som oftest stegvis, med kjøling mellom stegene. [50] Hydrogenkompressorene i 2021 er kostbare og det finnes flere typer. Den mest utbredte typen i 2021 er mekaniske stempelkompressorer, som gir direkte konvertering av mekanisk energi til gassenergi. [50] Det finnes også termiske- og elektrokjemiske kompressorer. [51]

Et annet alternativ er å lagre hydrogenet i flytende form. Utfordringen er at kokepunktet til hydrogen ligger på $-253 \text{ }^\circ\text{C}$. [52] Nedkjølingsprosessen er kostbar og energikrevende, i tillegg til at tankene må være godt isolerte for å redusere varmetapet slik at temperaturen ikke stiger. [53] Når temperaturen stiger vil det flytende hydrogenet begynne å fordampe. Dette kalles «boil-off» og er et problem fordi trykket i tanken vil øke, og kan resultere i at tanken revner. [53] For hydrogendrevne skip vil ikke slik fordamping være et like stort problem som for stasjonære innretninger eller kjøretøy på land.

Grunnen til dette er fordi hydrogendrevne skip kan utnytte “boil-off gassen” til fremdrift. [54] En slik prosess forbedrer virkningsgraden til fremdriftssystemet ved at varmen blir utnyttet, som ellers ville gått tapt.

Over lengre avstander er flytende hydrogen mest aktuelt som lagringsformat. Dette er fordi FH_2 har tetthet lik $71 \frac{kg}{m^3}$, som er høyere enn for KH_2 . Produksjon av FH_2 krever 25 – 35 prosent mer energi enn KH_2 . [46] Sammenligning av FH_2 mot KH_2 er presentert i Tabell 2-2. [52]

Fordeler for komprimert hydrogen	Fordeler for flytende hydrogen
<ul style="list-style-type: none"> ○ Mindre energikrevende å produsere ○ Billigere sluttpris ○ Teknisk enklere å lagre ○ Teknisk enklere å transportere ○ Lavere driftskostnader ○ Blir produsert i Norge i dag 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Høyere energitetthet ○ Tankene tar mindre plass ○ Kortere fylletid ○ Mer skalerbar ○ Opereres ved mye lavere trykk enn komprimert

Tabell 2-2: Sammenligning av komprimert- og flytende hydrogen

Hydrogen kan også lagres som ammoniakk. I likhet med flytende hydrogen vil ammoniakklagring utnyttes best ved lagring over lang tid fordi dette også er energikrevende å produsere. [55] Ammoniakk trenger ikke å lagres ved høyt trykk eller lav temperatur. [55] Dette reduserer energitapet i forhold til hydrogen, dersom det lagres over lang tid. Ammoniakk er mer kjemisk stabilt enn hydrogen, med volumetrisk energitetthet lik $12,7 \frac{GJ}{m^3}$ som er høyere enn for både FH_2 og KH_2 . [22] Hydrogen kan diffundere inn i metaller og skape sprøhetsbrudd. [56] Ammoniakkmolekylet er større og vil ikke støte på samme problem. Ammoniakk kan føre til korrosjon i enkelte metaller og plasttyper, i tillegg til at det er giftig. [22] Sammenlignet med hydrogen er ikke ammoniakk særlig antennelig, men det er antennelig i konsentrasjonsintervallet 15 – 28 prosent av luft. [25]

2.6 Infrastruktur

I begrepet infrastruktur ligger alt av samferdselsutbygging, for henholdsvis transport, energi, vann og andre lignende faktorer som er nødvendig for å drive et moderne samfunn. Infrastrukturen i Norge for energi er i hovedsak strømmettet som frakter energi fra vannkraftverk og stasjoner ved utbygget vei eller havn som selger bensin og diesel. [58] Havner med bunkringsanlegg gir mulighet for store

skip å fylle tungolje, maritim dieselolje eller maritim gassolje. [58] Det er stasjoner med bensin- og dieselsalg for fritidsbåter langs strandsonen og tre stasjoner som selger hydrogen. [59]

Den norske infrastrukturen for hydrogenproduksjon i 2021 er utelukkende grå og tilknyttet produksjon av andre produkter, typisk metan eller ammoniakk. [45] Norge er i gang med overgangen fra å produsere grå hydrogen til blå hydrogen, gjennom satsing på karbonfangst fra statlige aktører. [60] Grønn hydrogen har potensial som energibærer av overskuddsenergi fra vannkraft eller vindparker. I disse tilfellene kreves utbygging av elektrolyse- og lagringsanlegg lokalt.

I 2021 er det ingen bunkringsanlegg for skip i den vernede delen av Geirangerfjorden. Det nærmeste anlegget ligger i Ålesund, utelukkende med bunkringsmuligheter for maritim gassolje. [58] Det er en bensinstasjon for personbiler i Geiranger og hurtigludere for elbil. [61] [62]

LNG, NH₃, FH₂ og KH₂ satses på som maritime energibærere. [12] Det planlegges anlegg til hydrogenproduksjon over hele den norske kysten, mest på den vestnorske kysten mellom Kristiansand og Trondheim; Ettersom det er mest skipstrafikk i dette området. DNV anslår at de fem havnene i Norge med høyest potensial for etterspørsel av hydrogen i fremtiden er Bergen, Kristiansund, Tromsø, Stavanger og Ålesund. [49]

I en pressemelding i 2019 oppgis det at Hellesylt Hydrogen Hub tildeles 37,6 millioner norske kroner som skal finansiere PILOT-E. Dette er et helhetlig prosjekt for produksjon, lagring og distribusjon av grønn hydrogen i Hellesylt, som ligger i Geirangerfjorden. [63] Ifølge et oversiktskart på nettsiden Ocean Hyway Cluster skal produksjonen fra PILOT-E starte i 2023. [64] Ocean Hyway Cluster oppgir et daglig hydrogenbehov til 274 kg for å dekke drift av ferger og sightseeingfartøy, men prosjektet skal likevel levere 5 171 kg grønn hydrogen hver dag. [64] Uten medregnet helligdager er estimert årlig hydrogenproduksjon lik 1 887 tonn fra PILOT-E i Hellesylt. [64]

2.7 Aktuelle prosjekter i fartøysegmenter

I april 2017 ble verdens første hydrogenrevne skip satt i drift, under navnet *Energy Observer*. [65] Siden den gang har antall fartøysprosjekter med planlagt hydrogendrift økt, men det er ingen kommersielle fartøy som drives av slik teknologi i mai 2021. Utvalgte prosjekter som er aktuelle for hydrogendrift, enten som nybygget fartøy eller ombygging av eksisterende fartøy, er presentert nedenfor:

2.7.1 Hurtigbåter og ferger

Norled drifter fergestrekningene som krysser Hjelmelandsfjorden og Ombofjorden i Rogaland med kontrakt ut 2031. [66] Fergene seiler i fast rutetrafikk i trekantsambandet Hjelmeland, Nesvik og Skipavik med lengste strekning på 2,4 nautiske mil mellom Hjelmeland og Nesvik. [66] Strekningene blir driftet av to diesel-elektriske ferger som skal skiftes ut med den fullelektriske *MF Nesvik* og den hydrogenrevne *MF Hydra*. [66]

Hydrogenfergen *MF Hydra* blir verdens første hydrogenrevne bilferge. [66] Skipet har en lengde på 82,4 meter, med plass til 80 biler, 10 lastebiler og 299 passasjerer. [66] Fergen blir drevet av brenselceller på totalt 400 kW, disse konverterer hydrogen til elektrisk energi med et estimert forbruk av FH₂ på $150 \frac{kg}{dag}$. [66] Hydrogentanken vil lagre omtrent 3,8 tonn flytende hydrogen under et trykk på 10 bar som kan lagres i 15 dager. [66] Brenselcellen og hydrogentanken er plassert øverst på dekket, og hydrogenet blir levert med lastebil fra Europa hver tredje uke. [66] En illustrasjon av utseende til ferger er vist i Bilde 2. Denne illustrasjonen er designet av Norled.



Bilde 2: Illustrasjon av den hydrogenrevne bilfergen MF Hydra [66]

MF Nesvik ble satt i drift i april 2021. [67] Fergen er fullelektrisk, men kan oppgraderes til hydrogenrevne på sikt. [67] Fergen vil ha plass til samme antall passasjerer og biler som den hydrogenrevne søsterfergen MF Hydra. [67] Begge fergene er designet av LMG Marin AS og bygget av Westcon Yard. [67] MF Hydra blir trolig klar i fjerde kvartal av 2021. [68]

Hurtigbåtrutene som seiler i rutetrafikk mellom Trondheim og Vanvikan, Brekstad og Kristiansund er i 2021 driftet av fire dieseldrevne hurtigbåter. [69] Brødrene Aa er et båtbyggeriselskap som har vunnet anbudsrunder, og skal erstatte de fire dieslebåtene med fem nye utslippsfrie hurtigbåter. [69] Tabell 2-3 viser en oversikt over nåværende og planlagt kapasitet og frekvens for de faste rutene mandag-fredag med tabellinformasjon fra sluttrapporten til Norled. [69] De grå feltene viser eksisterende ruter, og grønne feltene viser planlagte ruter. Trondheim-Vanvikan skal driftes av to identiske fullelektriske hurtigbåter av typen Aero25. [69] Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund skal driftes av tre identiske hydrogenrevne hurtigbåter av typen Aero42. [69] Samtlige hurtigbåter er planlagt å settes i drift i 2023. [69]

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

Tabell 2-3: Nåværende og planlagt kapasitet for de tre hurtigbåtrutene

Brødrene Aa skal levere to elektriske Aero25 hurtigbåter som skal benyttes til Strekingen Trondheim-Vanvikan. Ruten oppgraderes fra ett til to fartøy for å øke kapasiteten, samt gi mulighet for lenger ladetid ved kai. [69] Aero25 er 27 meter lang med plass til 98 passasjerer. [69] Ruten er ni nautiske mil én vei, med energitilførsel og lading ved begge endestoppene som gjør ruten ideell for hurtigbåter med batteridrift. [69] Det årlige energibehovet for begge fartøyene er estimert til 4,5 GWh. [69]

Hydrogenrevne Aero42 er valgt for de to andre rutene. Fartøyet kan lagre 612 kg komprimert hydrogen fordelt på fire hydrogentanker ved et trykk på 250 bar. [69] Det vil være kapasitet til 275

passasjerer med lengde på 42,8 meter og vil holde en servicefart på 34 knop. [69] Brenselcelleteknologien vil være identiske som for Norled-prosjektet.

Energi- og fremdriftssystemet vil bestå av to parallelle systemer hvor hvert system har separate brenselceller, batteripakker, DC-tavler, styring, overvåkning og motor. [69] Det vil være installert syv brenselceller med 200 kW i hvert system. [69] Brenselcellemodulene vil være vannkjølte og avgir varme som kan brukes til oppvarming i fartøyet. [69] De elektriske motorene vil ha en samlet effekt på $2 \cdot 1300$ kW, og en batterikapasitet på 672 kWh. [69] En illustrasjon av hurtigbåten *Aero42* er vist i Bilde 3. Denne illustrasjonen er designet av Brødrene Aa.



Bilde 3: Illustrasjon av Hurtigbåten Aero42 [69]

I ruten mellom Trondheim og Brekstad er hydrogendrift valgt på grunn av at energibehovet ved strekningen tur-retur vil være rundt 4 MWh. [69] På strekninger med et energibehov over 2 MWh vil ren batteridrift være lite hensiktsmessig, ettersom batteriene vil bli for tunge. [69] *Aero42* vil ha nok lagret energi om bord til å seile to rundturer Trondheim-Brekstad. [69] Bunkringstid for selve hydrogenfyllingen vil være ti minutter. [69] Hydrogenbehovet til *Aero42* vil være avhengig av hvilke rute den seiler. For Trondheim – Brekstad er det estimert et hydrogenbehov på 180 kg per rundtur med fire bunkringer per dag i Trondheim. [69] Årlig energibehov på denne strekningen er estimert til 7,9 GWh. [69]

2.7.2 Mellomstore fartøy

Havila Kystruten AS og Hurtigruten AS har inngått avtale med samferdselsdepartementet om å betjene kystruten fra Kirkenes til Bergen fra 2021. [70] Hurtigruten vil betjene syv ruter med syv skip, og Havila Kystruten vil betjene fire ruter med fire nye skip. [70]

De fire nye skipene tilhørende Havila Kystruten vil driftes av LNG og elektrisitet i første periode, med LNG-motorer fra Rolls Royce og batteripakker på 6,1 MWh fra Norwegian Electric Systems. Batteripakkene gjør det mulig å seile utslippsfritt i blant annet verdensarvfjordene. De to første skipene *Havila Castor* og *Havila Capella* skulle være klare i januar 2021, men har blitt forsinket til sommeren 2021. [71] En illustrasjon fra Havila Kystruten er vist i Bilde 4.



Bilde 4: Illustrasjon av Havila Kystruten [72]

Skipene har en kapasitet på 640 passasjerer og en lengde på 122,7 meter, med en tilleggsmodul som gjør at de etter hvert kan legges om til hydrogen drift. [72] Denne omleggingen er planlagt til fjerde kvartal i 2022. [72] Skipene skal driftes på flytendene hydrogen med en lagringskapasitet på 3 500 kg. [72] Selskapet PowerCell skal levere brenselcellene, som vil bestå av flere moduler på 200 kW hver. Disse vil bli koblet parallelt slik at den totale effekten blir 3,2 MW. [73] Med utslippsfri hydrogen drift kan kystrutens skip seile halvparten av strekningen mellom Kirkenes og Bergen per bunkring. [74]

Hydrogenprosjektet til Havila får over 100 millioner kroner i støtte fra det statlige Pilot-E programmet som går ut på å skape miljøvennlige skip. [74] Enova, Innovasjon Norge og Forskningsrådet står bak dette programmet. [75] I ruten mellom Kirkenes og Bergen er det planlagt åtte hydrogenfyllstasjoner i Kirkenes, Honningsvåg, Tromsø, Bodø, Sandnessjøen, Trondheim, Ålesund og Bergen. 36 forskjellige ladestasjoner er også planlagt på denne strekningen, og skal realiseres i 2022 og 2023. [76]

Offshorefartøyet *Viking Energy* som er driftet av rederiet Eidesvik skal legges om til et brenselcellesystem på totalt 2 MW. [77] Skipet transporterer forsyninger til installasjoner på norsk sokkel. [78] I 2003 ble *Viking Energy* verdens første offshorefartøy drevet av en LNG-motor, og i 2016 først ute med en elektrisk reservemotor som benyttes til kritiske operasjoner med en batteripakke på 653 kWh. [79]

Prototech skal levere brenselcellesystem av typen SOFC som skal bli drevet av flytende ammoniakk. [77] Dette systemet skal bli installert i slutten av 2023, og blir dermed verdens første skip med ammoniakkdrevne brenselceller. [77] Utstyr for nedkjøling og lagring av flytende ammoniakk er allerede installert på skipet ettersom dette også kreves for LNG-drift. [79] Med det nye systemet kan skipet seile utslippsfritt opp mot 3 000 timer hvert år. [79]

Prosjektet vil koste 230 millioner kroner med 100 millioner kroner støtte fra EU programmet Horizon 2020. [79] 100 m² av dekket er satt av til ammoniakktank og utstyr. [78] Yara har kontrakt om å levere ammoniakken som blir miljøvennlig produsert fra elektrolyse. [77] Bilde av *Viking Energy* er vist i Bilde 5. [78]



Bilde 5: Viking Energy [78]

2.7.3 Cruiseskip

AIDAnova er et cruiseskip på 325 meter med en kapasitet på 6 600 passasjerer. [80]

I slutten av 2018 ble *AIDAnova* det første cruiseskipet i verden til å operere utelukkende på lavutslippsdrivstoffet LNG. Skipet har en LNG-tank på 3 600 m³ som gir 14 dagers driftstid. [81] Motorsystemet har en effekt på 62 MW med 37 MW til fremdrift, og det resterende til hoteldrift. [81]

I 2021 skal brenselceller levert fra Freudenberg bli testet om bord, med en levetid på over 35 000 driftstimer. Brenselcellene vil bli driftet av hydrogen som er reformert fra metanol. [82] I 2023 vil ytterligere to nye AIDA-cruiseskip, bygget av Meyer Werft, settes i drift med lignende system. I 2020 ble *AIDAprima* satt i drift med et batterisystem på 10 MWh. [83] Et bilde av *AIDAnova* er vist i Bilde 6.



Bilde 6: Cruiseskipet AIDAnova. [80]

Cruiseskipsrederiet Viking Ocean Cruises er i utvikling av et prosjekt om å bli verdens første cruiseskip med brenselcelleteknologi. Skipet vil driftes av flytende hydrogen, og vil bli rundt 230 meter langt, med kapasitet til 900 passasjerer og 500 ansatte. [84] Viking cruises er i dialog med Equinor rundt drivstofftilgangen av det flytende hydrogenet. [84] En illustrasjon er vist i Bilde 7 som er designet av Viking Ocean Cruises.



Bilde 7: Illustrasjon av cruiseskipet til Viking [84]

3 Metode

I dette kapittelet er det redegjort for hvordan datainnsamlingen har foregått, hvordan beregningene er utført, hvilke valg som er tatt og begrunnelse for disse valgene. Hensikten er at resultatene i denne rapporten kan etterprøves og at det skal være mulig å oppnå tilsvarende resultater. Formålet med undersøkelsen er å kartlegge fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden, hvor mye utslipp av klimagasser som reduseres ved innføring av nullutslippskrav, og om det er gjennomførbart å innføre disse kravene med tanke på teknologisk modenhet. Dette ble gjennomført ved en kombinasjon av litteraturstudie, kvantitativ datainnsamling og beregninger.

For å samle inn informasjon om hydrogenbehovet i Geirangerfjorden er det gjennomført en litteraturstudie, i tillegg er det innhentet informasjon om produksjon, lagring og bruk av hydrogen. Informasjonen stammer fra vitenskapelige artikler, rapporter, nyhetsartikler, nettsider og lovverk.

For beregning av hydrogenbehovet og utslipp ble det gjennomført en analyse av trafikken i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Både hydrogenbehovet og utslippene er knyttet opp mot energien fartøyene la igjen i analyseområdet. Energien fartøyene la igjen ved seiling og i havn er behandlet på forskjellige måter. Ved seiling ble tilbakelagt energi estimert basert på fartøyenes gjennomsnittshastighet, seilt distanse, makshastighet og makseffekt. Energien som ble benyttet til hoteldrift av skipene i havn er blitt beregnet for cruisesegmentet. Denne beregningen tar utgangspunkt i en gjennomsnittlig hoteldrift-effekt og tiden fartøyene ligger i havn. Videre er det også blitt tatt hensyn til virkningsgrader, drivstofftyper, brennverdier og utslippsfaktorer. Innhentet data ble lagt inn i et Excel-ark, som er et vedlegg til denne rapporten med tittel «Oversikt over Geirangerfjorden 2019». Excel-arket var et godt hjelpemiddel for å gjennomføre utregninger og danne oversikt. Videre ble dataen bearbeidet manuelt og satt inn i diagrammer og tabeller. I Vedlegg 1 presenteres en oversikt over fartøysutvalget over 24 meter som inkluderer fartøyenes motortype, makseffekt og makshastighet med tilhørende kildehenvisning.

En lignende analyse er blitt gjennomført av DNV for trafikken i Geirangerfjorden i 2018. Resultatene er presentert i rapporten «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene». [12] Denne rapporten er blitt brukt som en inspirasjonskilde for valg av metode. Selv om det tidligere er gjennomført en estimering av hydrogenbehov og utslipp vil likevel undersøkelsen i denne rapporten skape verdi i form av et godt sammenligningsgrunnlag mellom resultatene og åpenhet om metode.

3.1 AIS

Datainnsamling er gjennomført ved hjelp av historisk AIS-data. De fleste større fartøy er pliktig til å være utstyrt med AIS, det står mer om dette i delkapittel 1.3. Det er kystverket som har etablert det nasjonale nettverket AIS Norge, som er blitt benyttet som verktøy for datainnsamlingen i denne studien. Skip som ikke seiler med AIS er ikke blitt analysert.

3.2 Bestemmelser av utvalg

Det ble valgt å avgrense analyseperioden til ett år ettersom det forelå en hypotese om at trafikken i Geirangerfjorden ikke varierer i betydelig grad fra år til år. Analyseåret i studien er hele 2019. Bakgrunnen for å velge 2019 var en hypotese om at dette var det siste året med tilnærmet normal trafikk, ettersom det ikke forelå noen samfunnsrelaterte forstyrrelser som kunne påvirke trafikken. I tillegg var det ønskelig å velge et annet år enn 2018 ettersom DNV har gjennomført en analyse av

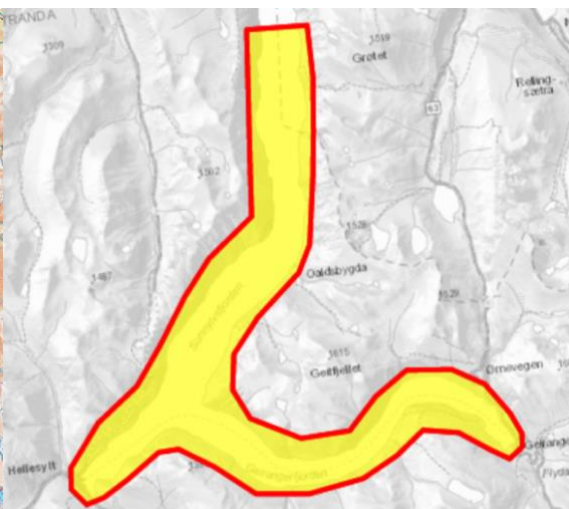
trafikken i Geirangerfjorden for dette året. Alle fartøy som seilte med AIS i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 er utvalget.

3.2.1 Analyseområdet

Området som er analysert tar utgangspunkt i den vernede delen av Geirangerfjorden. Figur 3-1 viser grensen for verdensarvområdet, som er hentet fra DNV. [12] Den røde linjen markerer det vernede området. Figur 3-2 viser analyseområdet som er benyttet i denne studien og er et skjermbilde fra Kystdatahuset. Forskjellen fra den vernede delen og analyseområdet som er benyttet, er at Hellesylt er blitt inkludert og Tafjord er utelatt. Bakgrunnen for at Hellesylt er inkludert er at det er mange cruiseskip som seiler inn til Hellesylt og at det planlegges en hydrogenfyllstasjon i området. Tafjord er blitt utelatt ettersom det er et lite trafikkert område og det er fjordarmen inn til Geiranger som er mest interessant.



Figur 3-1: Illustrasjon av vernet område



Figur 3-2: Analyseområde fra Kystdatahuset

3.3 Datainnsamling

Det første som ble gjort var å identifisere fartøyene som opererte i den vernede delen i 2019. Til dette ble funksjonen «trafikk i område» i Kystdatahuset benyttet. Området som ble analysert ble tegnet inn manuelt. Det ble gjennomført ett søk for hele 2019 og funnene ble sortert etter skipslengde. Deretter ble skipsnavn, lengde og kallesignal for skip over 24 meter lagt inn i Excel-arket «Oversikt over Geirangerfjorden 2019». Det er større skip som er mest interessant for omlegging til hydrogendrift, og derfor ble ikke skip under 24 meter behandlet på samme måte. Det ble utviklet en egen fremgangsmåte for energiberegninger for disse fartøyene.

3.3.1 Seilt distanse

For å finne den totale seilte distansen for fartøyene i analyseområdet ble funksjonen «trafikk i område» i Kystdatahuset benyttet. Det ble gjennomført ett søk for 2019. Resultatene av søket viser den totale seilte distansen i nautiske mil for samtlige av fartøyene som opererte i analyseområdet. For å finne den individuelle seilte distansen for de respektive fartøyene var det nødvendig å filtrere resultatene slik at de var gjeldene for ett fartøy, eller en mindre gruppe fartøy. Det ble blant annet benyttet filtre som fartøysegment, lengde og dypgang. Hvis det var mulig å filtrere ut ett fartøy alene, kunne nøyaktig seilt distanse leses av direkte for dette fartøyet. Hvis det kun var mulig å filtrere ned til mindre grupper av fartøy, viste resultatene den samlede seilte distansen for denne gruppen. For tilfeller med små grupper ble verktøyet «sporing i område» benyttet for å kartlegge

antall anløp de ulike fartøyene hadde til Geiranger og Hellesylt. Ett anløp tur-retur Geiranger ble satt til 35 nautiske mil. Dersom fartøyet i tillegg seilte inn til Hellesylt ble distansen satt til 39 nautiske mil. Basert på antall anløp og den totale seilte distansen for gruppen ble den seilte distansen for hvert enkelt fartøy estimert. En annen metode som ble benyttet for små grupper av fartøy var å gjennomføre et nytt søk med «trafikk i område» for én måned der det spesifikke fartøyet seilte i analyseområdet. Deretter å filtrere ned til ett fartøy for dette søket. Denne metoden måtte bli gjentatt for alle månedene det respektive fartøyet seilte i analyseområdet.

3.3.2 Seilingshastighet

For å estimere gjennomsnittlig seilingshastigheten for de respektive fartøyene ble funksjonen «seilingshastighet» i Kystdatahuset benyttet. Det ble gjennomført søk for én dag om gangen der det aktuelle fartøyet seilte i fjorden. Det ble lastet ned et Excel-ark fra Kystdatahuset som inneholdt en hastighetsprofil med flere hastighetsmålinger for det respektive fartøyet. Disse målingene ble det regnet et gjennomsnitt av, som utgjorde gjennomsnittshastigheten som er blitt benyttet i studien. Denne gjennomsnittshastigheten ble vurdert til å være representativ for hele året fartøyet seilte i fjorden.

3.3.3 Tid i havn

Tid i havn var aktuelt for beregninger av energi, hydrogenbehov og utslipp når fartøyene ligger i havn. Dette var kun aktuelt for cruiseskipsegmentet. Både havnen i Geiranger og Hellesylt ble tatt med i beregningene. Verktøyet i Kystdatahuset som ble benyttet til innhenting av tiden fartøyene lå i havn var funksjonen «tid i havn». Det ble gjort ett søk for hele 2019. Det ble lastet ned et Excel-ark fra Kystdatahuset med dataen som gjorde det mulig å summere tidene de respektive fartøyene lå i havn.

3.3.4 Merket motoreffekt og makshastighet

Det ble innhentet informasjon om fartøyenes maksimale seilingshastighet, merkeeffekt og motortype for samtlige fartøy over 24 meter. Disse dataene ble hentet gjennom søk på internett. Det var i flere tilfeller mulig å finne motoreffekt og makshastighet direkte fra rederienes sider og «Marinetraffic.com», som er en database med informasjon om båter. For informasjon om cruiseskipene var cruiseregister-sidene «Nedcruise.info» og «Scheepvaartwest.be» nyttig. DNV sitt «Vessel register» ble ved flere anledninger benyttet til å hente inn informasjon om motortypen til fartøyene. Informasjon om motortypene ble hentet fra datablader som ble funnet på motorprodusentenes nettsider. Fra disse ble det også hentet ut informasjon om motorens omdreiningstall, drivstofforbruk og drivstofftype. I tillegg ble det registrert hvilket Tier-krav motoren innfridde. Makseffekten til fartøyenes hovedmotorer er blitt kontrollert med flere kilder. Informasjon om fartøyenes motoreffekt, makshastighet og motortype er presentert i Vedlegg 1 sammen med fotnote for hovedkilde som er blitt benyttet.

3.3.5 Fartøy under 24 meter

Alle beregninger for fartøy under 24 meter er i prinsippet gjennomført på samme måte som for de over 24 meter. Forskjellen er at alle de 177 fartøyene under 24 meter er blitt behandlet som én gruppe. Det er blitt benyttet ett tall for henholdsvis seilt distanse, gjennomsnittshastighet, motoreffekt og makshastighet som skal representere samtlige fartøy under 24 meter. Bakgrunnen for at det ble gjort på denne måten var en hypotese om at energibidraget fra dette fartøyssegmentet var minimalt, og derfor ble ikke nøyaktighetsgraden vurdert som like viktig. Informasjonen om disse fartøyene er også mindre tilgjengelig enn for de større. Seilt distanse ble hentet direkte ved å

benytte funksjonen «trafikk i område» i Kystdatahuset. Gjennomsnittshastigheten ble hentet ved å gjøre ett søk for én uke med funksjonen «seilingshastighet» i kystdatahuset. Det ble huket av 26 fartøy og regnet ut en gjennomsnittshastighet for disse, som representerte gjennomsnittshastigheten for alle fartøy under 24 meter. For motoreffekt og makshastighet ble det hentet et utvalg på ti fartøy som det var mulig å oppdrive informasjon om. Utvalget på ti var en blanding av ulike fartøystyper som ble vurdert til å være representativ for resten av fartøyene under 24 meter. Det ble deretter regnet et gjennomsnitt for motoreffekt og makshastighet for disse ti fartøyene som ble benyttet i beregningene til alle de 177 fartøyene som er under 24 meter.

3.4 Beregninger

Beregningene er utført i et separat Excel-ark som ligger i vedlegget «Oversikt over Geirangerfjorden 2019». Utenom energiberegninger for hoteldrift er alle segmentene behandlet likt, med identiske formler for hver beregning.

3.4.1 Virkningsgrader

Det er benyttet tre forskjellige virkningsgrader til beregning av drivstoffmassen som fartøyene har forbrant i fjorden. Disse er avhengig av omdreiningstallet til motoren. Virkningsgradene er hentet fra rapporten «2030 Hydrogen Demand in the Norwegian Domestic Maritime Sector» og er presentert i Tabell 3-1. [85]

Virkningsgrad		Omdreiningstall (rpm)
Høy hastighet	0,375	> 900
Middels hastighet	0,424	300 – 900
Lav hastighet	0,5	< 300

Tabell 3-1: Virkningsgrader basert på omdreiningstall

I beregningene av hydrogen- og ammoniakkbehov er virkningsgradene i Tabell 3-2 benyttet. Etersom denne oppgaven ikke tar utgangspunkt i en konkret PEMFC eller SOFC for en oppdragsgivende bedrift, er virkningsgradene valgt til verdier som fremstår som mest mulig virkelighetsnære.

Brenselcelletype	Virkningsgrad
PEMFC	0,6 [37]
SOFC	0,5 [31]

Tabell 3-2: Virkningsgrader for brenselceller

3.4.2 Brennverdier

Det er benyttet forskjellige brennverdier til beregninger av drivstoffmasse og hydrogen- og ammoniakkbehov basert på hvilken drivstofftype fartøyene benyttet. De ulike brennverdiene er presentert i Tabell 3-3. Flere av fartøyene i utvalget har mulighet til å benytte flere typer brensel. I disse tilfellene er det blitt brukt en gjennomsnittlig brennverdi til utregninger.

Drivstofftype	Effektiv brennverdi [MJ/kg]
MGO	42,7
MDO	42,3
HFO	41
FH ₂ /KH ₂	119,9
NH ₃	18,6

Tabell 3-3: Effektive brennverdier for ulike drivstofftyper

3.4.3 Seilingstid

Seilingstiden er beregnet ved å dele den estimerte seilte distansen og gjennomsnittshastigheten for de respektive fartøyene som vist i Formel 7.

$$\text{Seilingstid [h]} = \frac{\text{Seilt distanse [Nautiske mil]}}{\text{Gjennomsnittlig seilingshastighet [Knop]}}$$

Formel 7: Beregning for seilingshastighet

3.4.4 Drivstoffmasse

Drivstoffmassen som fartøyene forbrukte legger grunnlaget for beregninger til utslipp av klimagasser og den faktiske energien, i form av energibærer som ble benyttet i forbrenningsmotoren til fartøyene. Drivstoffmassen er avhengig av brennverdi og virkningsgrad, og er regnet ut for de respektive fartøyene med Formel 8.

$$\text{Nominell drivstoffmasse [kg]} = \frac{\text{Nominell energi [kWh]} \cdot 3,6 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Brennverdi} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \cdot \eta}$$

Formel 8: Beregning for drivstoffmasse

3.4.5 Energiberegninger for fremdrift

Energiberegningene er gjort individuelt for alle fartøy over 24 meter, og er basert på gjennomsnittlig seilingshastighet, merket makshastighet og merket motoreffekt. Et polynom ble benyttet for å inkludere disse faktorene i utregningene av nominell effekt. Dette er den gjennomsnittlig utgående motoreffekten i perioden fartøyene seilte i fjorden. Formålet med polynomet var å benytte et generelt uttrykk for effekt-hastighetsforholdet.

En typisk effekt-hastighetskurve for et fartøy er ikke lineær, men heller ikke eksponentiell. Tester med allerede kjente effekt-hastighetskurver viste at et generelt uttrykk vil ligge en plass mellom de to kurvene med formlene $f(x) = x^2$ og $f(x) = x$.

Det kvadratiske intervallet mellom (0,0), (0,1), (1,1) og (1,0) i Figur 3-3 er interesseområdet, der x-aksen representerer hastighet og y-aksen representerer utgående effekt fra fartøyenes hovedmotor.

Det generelle uttrykket er bygget på tre punkter i nevnte interesseområde: (0,0), $(\frac{1}{2}, 0.35)$ og (1,1).

Ut fra disse punktene er polynomet beregnet gjennom konvensjonell kurveberegning med tre kjente punkt. Detaljert utregning foreligger i Vedlegg 2.

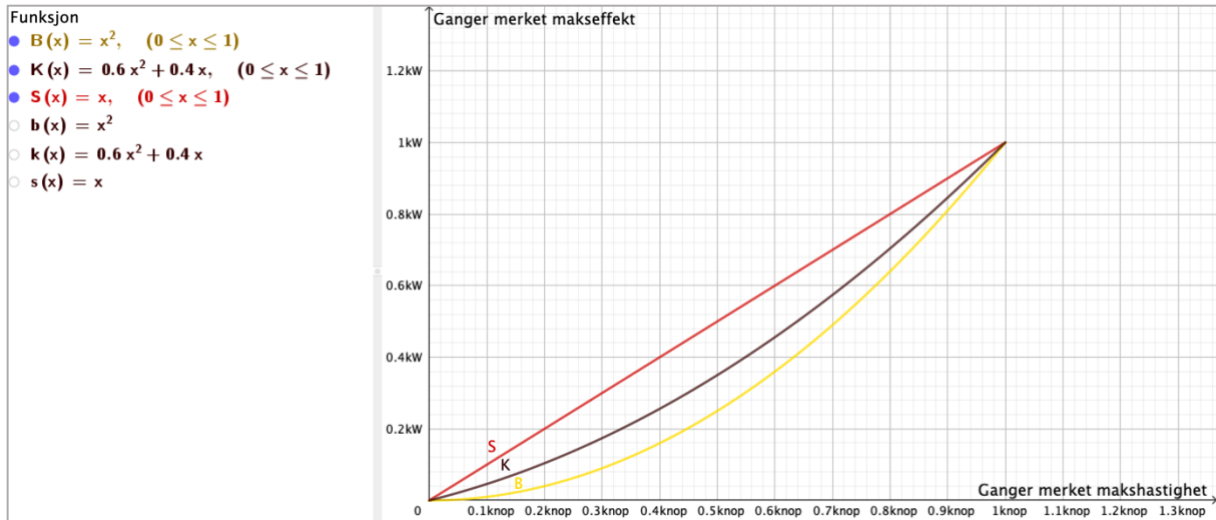
Polynomet som er benyttet til å estimere nominell effekt for fartøyene i utvalget er:

$$f(x) = 0,6x^2 + 0,4x$$

Formel 9: Generelt polynom for effekt- hastighetskurve

Hvordan denne kurven ligger i forhold til kurvene $f(x) = x$ og $f(x) = x^2$ er visualisert i Figur 3-3.

Tallet for nominell effekt for hvert fartøy ble multiplisert med registrert seilingstid fra Kystdatahuset. Dette gav verdiene for nominell energi, som er utgangspunktet for alle videre utregninger i vedlegget «Oversikt over Geirangerfjorden 2019».



Figur 3-3: Generelt polynom for effekt- hastighetskurve sammenlignet med lineær og eksponentiell kurve

3.4.6 Energiberginger for hotelldrift

De fleste fartøy krever energi når de ligger i havn. Beregninger for energi i havn er utført for cruisesegmentet, men fartøysegmentene utenom cruiseskip ble ansett som neglisjerbar. Derfor er bare hotelldriften til cruiseskipene tatt hensyn til.

For å finne et virkelighetsnært estimat på energibehovet til hotelldrift ble Hurtigruten og Viking Ocean Cruises kontaktet. Hurtigruten responderte at *MS Nordkapp* benyttet 200 – 600 kW i motoreffekt i havn, avhengig av omgivelsestemperatur og passasjerantall. Denne studien benyttet høyeste verdi oppgitt, til å lage et forhold som gjelder alle cruiseskipene. Ettersom *MS Nordkapp* har total motoreffekt på 9 MW ble forholdet $\frac{6}{90}$.

Forholdet mellom effekt til hotelldrift og merket motoreffekt for *MS Nordkapp* er benyttet til utregninger av hotelldrift tilknyttet cruiseskipene. De ble deretter behandlet med samme metode som for energi til fremdrift; Nominell effekt i havn multiplisert med registrert tid i havn. Dette la grunnlaget for alle beregningene i havn som foreligger i vedlegget «Oversikt over Geirangerfjorden 2019»

3.4.7 Utslipp av CO₂

Samtlige utslippsberegninger i denne studien er med hensyn på utslipp til luft. For beregninger av utslipp av karbondioksid er det benyttet forskjellige CO₂-faktorer basert på drivstofftype. Faktorene for MDO og MGO er hentet fra SSB. [86] Faktoren for HFO er begrunnet i EU-lovgivningen. [15] Disse er presentert i Tabell 3-4. For fartøy som kan benytte flere typer drivstoff er det blitt benyttet et gjennomsnitt av faktorene. Utslipp av CO₂ er regnet ut med Formel 10.

Drivstofftype	CO ₂ -faktor [kg/kg]
MDO	3,17
MGO	3,17
HFO	3,114

Tabell 3-4: CO₂-faktorer

$$Utslipp [Tonn] = \frac{Utslippsfaktor \left[\frac{kg}{kg} \right] \cdot Drivstoffmasse [kg]}{1000 \left[\frac{kg}{Tonn} \right]}$$

Formel 10: Beregning for utslipp av CO₂

3.4.8 Utslipp av SO₂

For beregninger av utslipp av svoveldioksid er det benyttet en SO₂-faktor som gjelder for samtlige fartøy i studien, med to unntak. Faktoren som er benyttet er $2 \frac{kg SO_2}{Tonn}$. Denne er i henhold til spesielle SECA-krav som ble innført i Geirangerfjorden fra mars 2019, med krav om maksimalt svovelinnhold i drivstoffet på 0,1 prosent. [12] Det foreligger en antagelse om at fartøyene fulgte regelverket og rensset drivstoffet før forbrenning dersom svovelinnholdet i drivstoffet var høyere enn kravet. For fartøyene *Geirangerfjord I* og *Geirangerfjord II* er det blitt gjort unntak ettersom disse benytter lettdiesel med et svovelinnhold på 0,01 prosent og den betydelige distansen de tilbakelegger i fjorden. For disse to fartøyene er det blitt benyttet en SO₂-faktor på $0,02 \frac{kg SO_2}{Tonn}$. Utslipp av SO₂ er regnet ut med Formel 11.

$$Utslipp [kg] = \frac{Drivstoffmasse [kg] \cdot Utslippsfaktor \left[\frac{kg}{Tonn} \right]}{1000 \left[\frac{kg}{Tonn} \right]}$$

Formel 11: Beregning for utslipp av NO_x og SO₂

3.4.9 Utslipp av NO_x

Beregninger for utslipp av nitrogenoksid tar hensyn til hvilket Tier-krav de ulike fartøyene fulgte. Dette er blitt estimert basert på fartøyets alder og opplysninger i motordatablader, og det er gjort en antagelse om at samtlige fartøy i utvalget minimum fulgte Tier I-kravet. I flere av motordatabladene står det at motoren kan oppfylle Tier II- eller Tier III-krav. Ettersom det var vanskelig å finne ut hvilke av disse kravene fartøyene fulgte, ble det gjort en antagelse om at ingen fartøy fulgte Tier III-kravet. Bakgrunnen for antagelsen var at det ikke forelå krav om å følge Tier III i Nord-Europa før 2021. I tillegg var det ønskelig med et «verste scenario»-resultat kontra et som pynter på virkeligheten. NO_x-faktorene er avhengig av motorens omdreiningstall og drivstofftype. Verdiene som er benyttet er presentert i Tabell 3-5. Disse verdiene er hentet fra en rapport publisert av LRTAP og European Environment Agency. [87]

For fartøy som innfrir Tier I-kravet er NO_x-faktoren satt til $78,5 \frac{kg}{Tonn}$ uavhengig av motorens omdreiningstall. For fartøy som innfrir Tier II-kravet er det blitt benyttet gjennomsnittlige NO_x-faktorer basert på verdiene for 2000, 2005 og 2010 i kilden som er benyttet. [87] Utslipp av NO_x er regnet ut med Formel 11.

Krav	Motortype	Drivstofftype	NO _x -faktor [kg/Tonn]
Tier I			78,5
Tier II	Lav hastighet	MDO/MGO	89,67
		HFO/MDO	89,67
		HFO	89,67
	Middels hastighet	MDO/MGO	62,9
		HFO/MDO	63,185
		HFO	63,47
	Høy hastighet	MDO/MGO	57,1
		HFO/MDO	57,365
		HFO	57,63
	Gassturbin	MDO/MGO	19,1

Tabell 3-5: NO_x-faktorer

3.4.10 Hydrogen- og ammoniakkberegninger

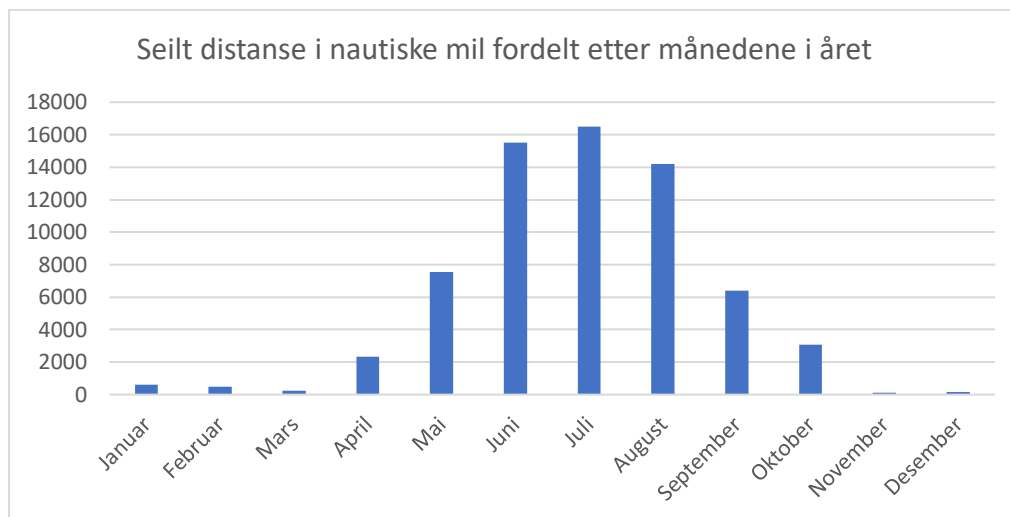
Det er gjennomført beregninger for hydrogen- og ammoniakkbehov for samtlige fartøy i utvalget. Hydrogen- og ammoniakkberegningene er basert på energiberegningene og er avhengig av brennverdi og virkningsgrad. Behovet for hydrogen og ammoniakk er regnet ut med Formel 12.

$$\text{Hydrogen eller ammoniakk [Tonn]} = \frac{\text{Nominell energi [kWh]} \cdot 3,6 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Brennverdi} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \cdot 1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{Tonn}} \right] \cdot \eta}$$

Formel 12: Beregninger for hydrogen- og ammoniakkbehov

4 Resultat

Funnene som blir presentert i dette kapittelet har direkte tilknytning til hydrogenbehovet i Geirangerfjorden og utslipp av klimagassene CO₂, NO_x og SO₂. Alle funnene fremstilles etter fartøysegment for å kartlegge fordelingen av potensielt hydrogenbehov og utslippsreduksjon. Resultatene vil initieres på tvers av de ulike segmentene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Videre vil hvert enkelt segment presenteres i dybden. De analyserte fartøyene er fartøy med AIS som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. De aktuelle segmentene er hurtigbåter, ferger, sightseeingfartøy, lasteskip, seilskip, fiskefartøy, offshorefartøy, yachter, kystvakt, cruiseskip og fartøy under 24 meter. I tillegg blir Hurtigruten betraktet som et eget segment på grunn av hyppige anløp, med en betydelig andel fartøy. Bakgrunnen for dette er å estimere hydrogenbehovet for de respektive segmentene under seiling hvis alle legges om til hydrogenbasert fremdriftssystem. Basert på prosjekter og aktivitet for segmentene redegjøres en hydrogenkompatibilitetsgrad som benyttes til å estimere et realistisk hydrogenbehov innen 2026. Det vil også redegjøres for utslipp og hydrogenbehov tilknyttet hoteldrift i havn for cruiseskipsegmentet. Gjennom et år er den vernede delen av Geirangerfjorden mest trafikkert i sommermånedene. Fordelingen av seilt distanse gjennom 2019 er presentert i Figur 4-1.



Figur 4-1: Seilt distanse i nautiske mil fordelt etter månedene i året

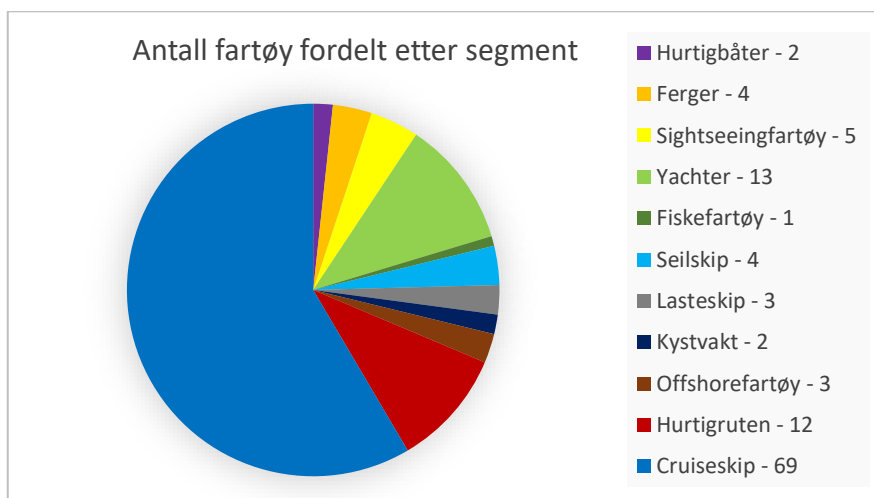
4.1 Trafikk i Geirangerfjorden

I analyseområdet er det identifisert 118 fartøy over 24 meter i 2019. I tillegg til dette er det identifisert 177 fartøy under 24 meter, som utgjorde i underkant av 0,5 prosent av tilbakelagt energi. I dette delkapittelet blir det kun tatt hensyn til utgående effekt fra skipenes hovedmotorer under seiling. Alle segmentene defineres ut ifra skipstype og formål. Disse definisjonene er som følger:

- **Hurtigbåter** er passasjerskip med høy motoreffekt i forhold til bruttotonnasje som medfører merket makshastighet over 30 knop.
- **Ferger** er fartøy som går i rutetrafikk med frakt av passasjerer og biler.
- **Sightseeingfartøy** er passasjerskip med hensikt å presentere naturen i Geirangerfjorden for turister.
- **Yachter** er private luksusfartøy. Yachtene som besøkte Geirangerfjorden i 2019 var fra 28 til 110 meter i lengde.

- **Fiskefartøy** er fartøy som benyttes innen fiskerinæringen. I Geirangerfjorden var det ett fiskefartøy over 24 meter i 2019, men noen av fartøyene under 24 meter var fiskefartøy.
- **Seilskip** er skip som har vind som primærfremdriftskilde. I Geirangerfjorden var det fire seilskip over 24 meter i 2019, men noen av fartøyene under 24 meter var seilskip.
- **Lasteskip** er næringsfartøy som frakter last. Samtlige gikk i 2019 tur-retur Hellesylt.
- **Kystvakt** er mellomstore, militære fartøy.
- **Offshorefartøy** er tau- og forsyningsfartøy.
- **Hurtigruten** er et rederi innen cruisenæringen som frakter turister langs norskekysten. De har en unik markedsposisjon innen norsk cruisenæring. I tillegg tilbys frakt av bil.
- **Cruiseskip** er skip som har kapasitet til å frakte større mengder turister. I Geirangerfjorden i 2019 var samtlige cruiseskip lenger enn 100 meter.
- **Fartøy under 24 meter** er en blanding av seilskip, tenderbåter tilknyttet cruiseskip og andre mindre fartøy.

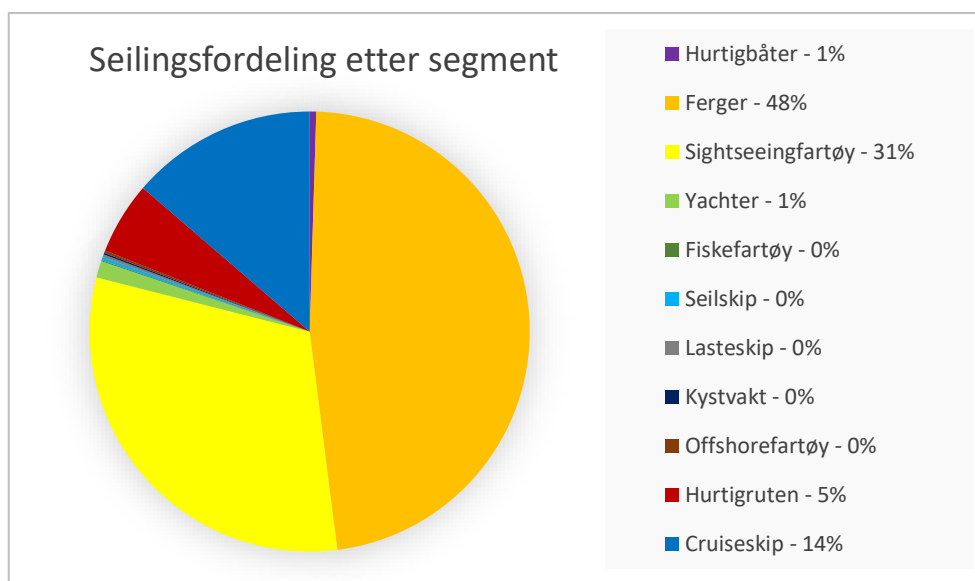
Figur 4-2 presenterer antall fartøy lengre enn 24 meter som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Disse er fordelt etter de definerte segmentene, som også benyttes i resten av resultatkapittelet. Av disse utgjorde cruiseskip 58 prosent av fartøyene, yachter utgjorde 11 prosent og fartøy fra Hurtigruten 10 prosent. Fartøy under 24 meter er ekskludert fra Figur 4-2 ettersom disse ville utgjort en misvisende visualisering av funnene, dette er fordi fartøyene er betydelig mindre enn resterende fartøy.



Figur 4-2: Antall fartøy i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

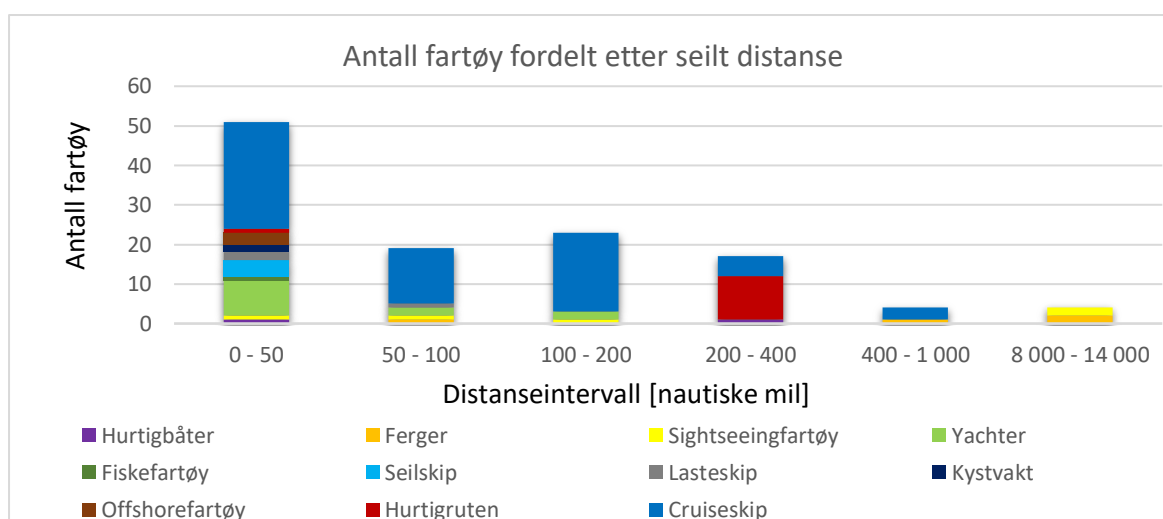
4.1.1 Distansefordeling

Seilt distanse har direkte innflytelse på energien som kreves for fremdrift av fartøyene. I Figur 4-3 presenteres den prosentvise fordelingen av den totale seilte distansen som fartøyene tilbakela i 2019 i vernet del. I motsetning til Figur 4-2 utgjør cruiseskipene i Figur 4-3 bare 14 prosent av den totale distansen, til tross for at dette segmentet består av flest fartøy. De fire fergene og fem sightseeingfartøyene utgjorde den største andelen, med $\frac{3}{4}$ av den totale seilte distansen. Dette er et resultat av at disse fartøyene opererte i fast rutetrafikk som går innenfor den vernede delen.



Figur 4-3: Seilingsfordeling i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

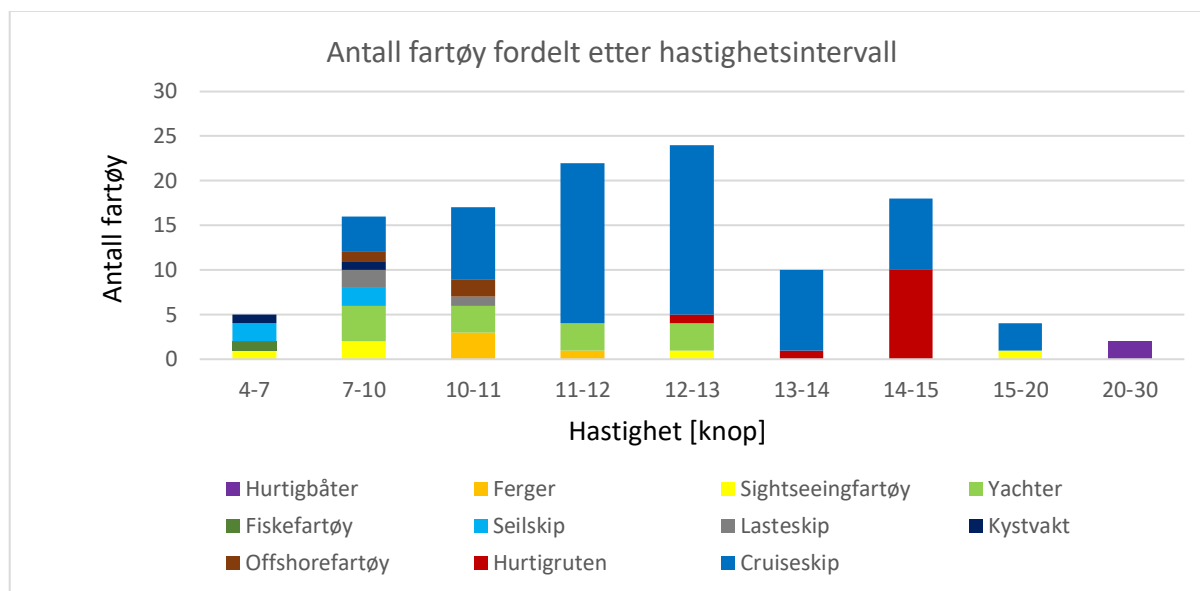
I Figur 4-4 er antall fartøy fordelt etter seilt distanse presentert i intervaller. De fleste fartøyene som besøkte det vernede området, tilbakela ett anløp tur-retur Geiranger. Det varierte hvor mange anløp cruiseskipene tilbakela i løpet av en sesong. Majoriteten av cruiseskipene tilbakela ett eller to anløp til Geiranger i løpet av året. 27 skip med ett anløp, 14 skip med to og 28 cruiseskip har tilbakelagt mer enn 100 nautiske mil i det vernede området. Over 100 nautiske mil tilsvarer tre eller flere anløp, og er å anse som regelmessige besøk. Det var fordelt jevnt hvorvidt cruiseskipene besøkte Hellesylt eller ikke. Hurtigruten besøkte Geirangerfjorden regelmessig, med syv til ni anløp for hvert fartøy i 2019. Ingen av Hurtigrutens fartøy seilte til Hellesylt. Blant sightseeingfartøyene var det *Geirangerfjord I* og *Geirangerfjord II* som opererte i fast rute gjennom året. Dette var også tilfellet for fergene *Veøy* og *Bolsøy*. Dette er de fire fartøyene som foreligger i intervallet 8 000 – 14 000 nautiske mil.



Figur 4-4: Antall fartøy fordelt etter seilt distanse i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

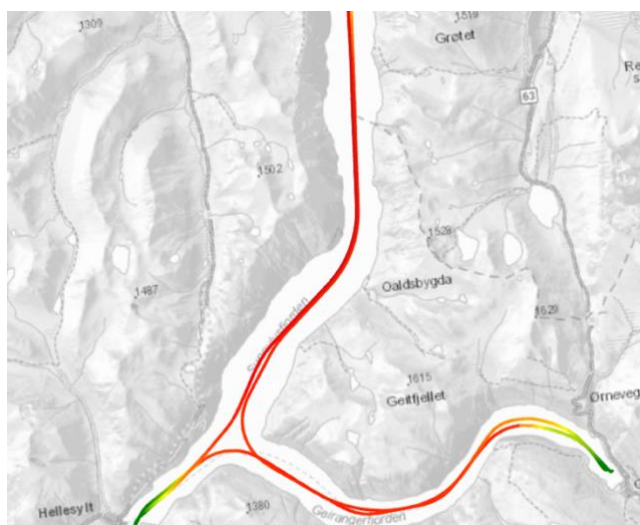
4.1.2 Hastighet

Hastigheten har direkte innvirkning på utgående motoreffekt, der effekten typisk øker eksponentielt i forhold til hastigheten. I Figur 4-5 presenteres hastighetsintervaller ut ifra gjennomsnittshastighet i vernet del. Gjennomsnittshastigheten varierte lite sammenlignet med momentanfarten til de respektive fartøyene. Ut ifra hastighetsintervallene i Figur 4-5 kom det frem at det var varierende gjennomsnittshastighet innenfor fartøysegmentene. Hurtigruten og hurtigbåter holder mest stabil hastighet. Hurtigruten ligger i 14 – 15 knops-intervallet, med to unntak like i nærheten. Hurtigbåtene seilte med hastighet utelukkende over 20 knop.



Figur 4-5: Antall fartøy fordelt etter gjennomsnittshastighet i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

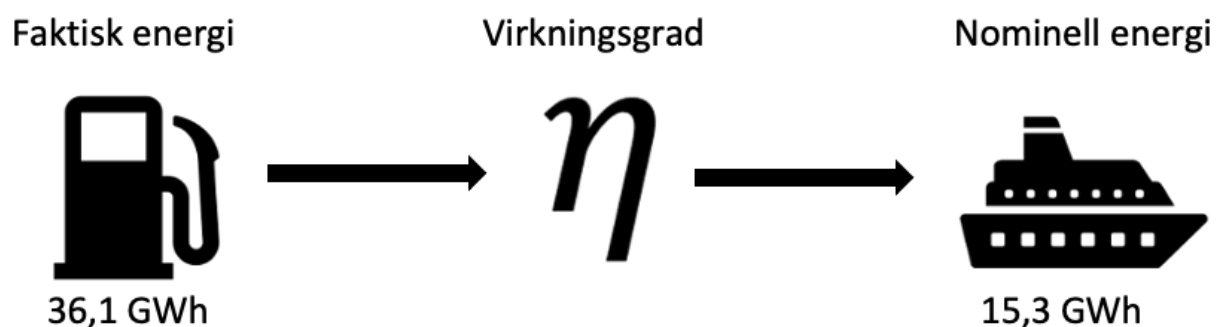
I Bilde 8 presenteres en typisk hastighetsprofil for innseilingen til Geiranger inkludert besøk i Hellesyllt. [88] Den røde linjen representerer den høyeste hastigheten, som vil være litt høyere enn gjennomsnittshastigheten fartøyene hadde. For gul og grønn linje er hastigheten til fartøyene redusert, dette forekom i nærheten av havnene. Denne hastighetsprofilen er representativ for tilnærmet alle fartøyene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019.



Bilde 8: Eksempel for hastighetsprofil [88] (fartøy: AIDAdiva, 10/07 - 19)

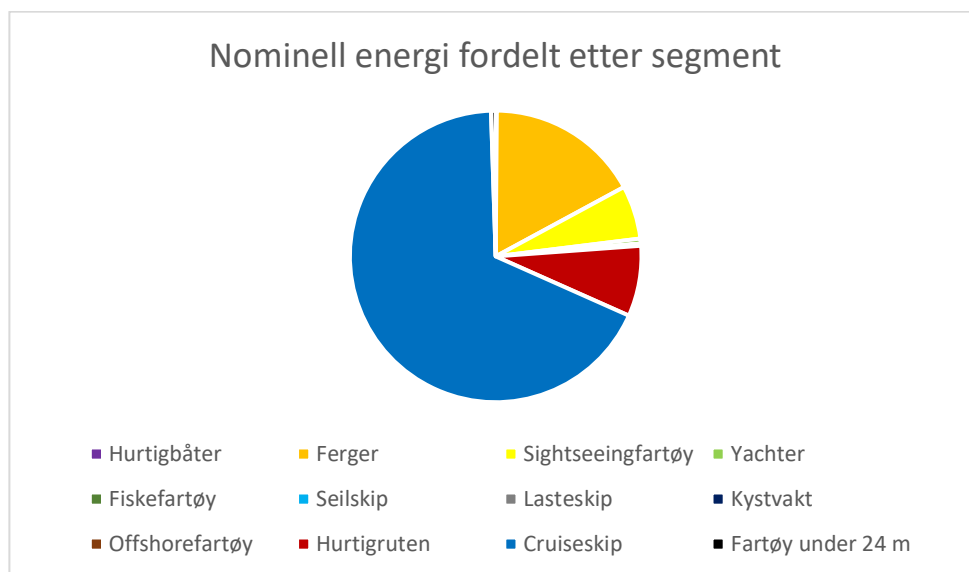
4.1.3 Energi til fremdrift

Faktisk- og nominell energi separeres av virkningsgrad, som vist i Figur 4-6. Faktisk energi defineres som den energien i form av energibærer som benyttes inn i forbrenningsmotoren. Den nominelle energien er den energien som går ut gjennom motorens aksling. Med andre ord er det den nominelle energien som kreves for å drive fartøyene. Tilbakelagt nominell energi har direkte tilknytning for drivstoffmasse, utslipp og forventet hydrogen- eller ammoniakkbehov. Virkningsgradene avhenger av turtallet på fartøyets hovedmotors utgående aksling. Større fartøy med saktere makshastighet har typisk tregere turtall enn mindre fartøy med hurtigere makshastighet. De fleste fartøyene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 hadde motorer som dreide mellom 300 og 900 omdreininger per minutt. Dette defineres til middels hastighet og er anslått til en virkningsgrad lik 42,5 prosent i denne rapporten.



Figur 4-6: Sammenhengen mellom faktisk og nominell energi

Fordelingen av den nominelle energien som fartøyene tilbakela i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 er vist i Figur 4-7. Cruiseskipene utgjorde like over $\frac{2}{3}$ av den nominelle energien til tross for at dette segmentet utgjorde omtrent $\frac{1}{7}$ av den seilte distansen. Fergene, sightseeingfartøyene og Hurtigruten utgjorde til sammen like under 31 prosent. De fire største segmentene til sammen tilbakela dermed 98,6 prosent av den nominelle energien. De resterende åtte segmentene utgjorde 1,4 prosent og blir derfor ikke synlig i Figur 4-7. Selv om fartøyene under 24 meter består av 177 av totalt 295 fartøy, utgjorde disse minimalt utslag på energifordelingen. Størrelsen på fartøyene er den mest bidragsytende faktoren for tilbakelagt energi.



Figur 4-7: Nominelt energiforbruk i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

Tallene som ligger bak Figur 4-7 er presentert med eksakte verdier i Tabell 4-1. Den totale tilbakelagte energien til fremdrift var omtrent 15,3 GWh. Denne energien inkluderer all energi som kreves til fremdrift og andre energikrevende komponenter til generell drift av fartøyet under seiling. Energibehovet på 15,3 GWh tilsvarer å kjøre en *Tesla model X* med en batteripakke på 75 kWh tilnærmet 2 000 runder rundt ekvator. [89] Fordelingen av nominell energi er representativ for fordelingen til drivstoffmasse, utslipp og hydrogen- eller ammoniakkbehov. Nevnte fordelinger vil variere, men ikke i betydelig grad.

Segment	Nominell energi [MWh]
Hurtigbåter	19
Ferger	2 594
Sightseeingfartøy	906
Yachter	85
Fiskefartøy	3
Seilskip	5
Lasteskip	5
Kystvakt	5
Offshorefartøy	19
Hurtigruten	1 195
Cruiseskip	10 357
Fartøy under 24m	79
Sum	15 272

Tabell 4-1: Nominell energiforbruk i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

Drivstofftypene som fartøyene i utvalget benytter varierer mellom MDO, MGO og HFO. Brennverdiene til disse drivstoffene varierer lite, de ligger i intervallet 41 til $42,7 \frac{MJ}{kg}$. Flere av motorene for fartøyene i utvalget kan benytte både MDO, MGO og HFO. Tabell 4-2 viser en oversikt over nominell drivstoffmasse for de respektive segmentene. Total drivstoffmasse fra utvalget var 3 122 tonn. Resultatet avviker lite sammenlignet med drivstoffmassen fra rapporten til DNV for 2018 på 3710 tonn. [12]

Segment	Nominell drivstoffmasse [Tonn]
Hurtigbåter	4
Ferger	515
Sightseeingfartøy	206
Yachter	17
Fiskefartøy	1
Seilskip	1
Lasteskip	1
Kystvakt	1
Offshorefartøy	4
Hurtigruten	239
Cruiseskip	2 117
Fartøy under 24m	16
Sum	3 122

Tabell 4-2: Nominell drivstoffmasse i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment

4.1.4 Utslipp av klimagasser fra fremdrift

I denne rapporten er det kun tatt hensyn til utslipp til luft. I Tabell 4-3 presenteres utslipp av klimagassene karbondioksid, svoveldioksid og nitrogenoksid for fartøyene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Klimagassene som er valgt å utføre beregninger for, er de som blir vurdert til mest miljøskadelig ut fra kombinasjonen av mengde utslipp og skadeomfang. CO₂-beregningene er basert på CO₂-faktorene for de ulike drivstofftypene. For SO₂-beregningene er det tatt hensyn til spesielle SECA-krav som ble innført fra mars 2019 ifølge DNV. Kravet begrenser SO₂-utslippene til $\frac{2 \text{ kg SO}_2}{\text{Tonn drivstoff}}$. [12]

Selv om drivstoffet som benyttes har et høyere svovelinnhold enn dette må drivstoffet renses før forbrenning. NO_x-verdiene er basert på Tier-krav fra IMO. Majoriteten av fartøyene over 24 meter i utvalget benyttet motorer som fulgte Tier II-kravet.

De totale utslippene i avrundede verdier er henholdsvis 9 656 tonn CO₂, 206 tonn NO_x og 6 tonn SO₂. Resultatet avviker lite sammenlignet med utslippsberegningene for karbondioksid og nitrogenoksid fra rapporten til DNV for 2018. Tallene til DNV er henholdsvis 11 800 tonn CO₂, 191 tonn NO_x og 87 tonn SO₂. [12] Årsaken til det store avviket for svoveldioksid er at SECA-kravet ikke var innført i 2018.

	CO ₂ [Tonn]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
Hurtigbåter	14	246	9
Ferger	1 631	40 235	1 029
Sightseeingfartøy	651	11 744	7
Yachter	54	1 068	34
Fiskefartøy	2	35	1
Seilskip	3	58	2
Lasteskip	3	56	2
Kystvakt	3	63	2
Offshorefartøy	12	236	8
Hurtigruten	686	17 688	478
Cruiseskip	6 547	134 031	4 235
Fartøy under 24 meter	50	991	32
SUM	9 656	206 451	5 839

Tabell 4-3: Utslipp i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment med ulike benevninger

4.1.5 Hydrogen- og ammoniakkbehov til fremdrift






I Tabell 4-4 foreligger et teoretisk estimat av hydrogenbehovet som kreves for fremdrift dersom alle fartøyene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 konverterer til hydrogen- eller ammoniakkdirift. Dette er med forbehold om identisk trafikkmønster som i 2019.

Det totale teoretiske hydrogen- og ammoniakkbehovet til fremdrift er henholdsvis estimert til 764 tonn dersom det benyttes PEMFC og 5 912 tonn ved bruk av SOFC.

Segment	Hydrogenbehov med PEMFC [Tonn]	Ammoniakkbehov med SOFC [Tonn]
Hurtigbåter	0,9	7,3
Ferger	130	1004
Sightseeingfartøy	45,4	351
Yachter	4,2	32,8
Fiskefartøy	0,2	1,3
Seilskip	0,2	1,8
Lasteskip	0,2	1,7
Kystvakt	0,3	1,9
Offshorefartøy	0,9	7,3
Hurtigruten	59,8	463
Cruiseskip	518	4009
Fartøy under 24m	3,9	30,5
Sum	764	5912






Tabell 4-4: Teoretisk hydrogen- og ammoniakkbehov dersom alle fartøy konverteres til hydrogen- eller ammoniakkdirift

Det er ikke realistisk at alle fartøy konverterer til hydrogen- eller ammoniakkdrift innen 2026. Det er derfor utført et estimat for hydrogen- og ammoniakkompatibilitet basert på teknologisk utvikling og relevante prosjekter. Hensikten med dette er å fremstille et mer realistisk anslag for fremtidig hydrogen- og ammoniakkbehov til fremdrift. Til dette er det benyttet fargekoder som vist i Tabell 4-5. Faktorene som ligger bak kompatibilitetsestimatet er motorens utgående effekt, alder på fartøy og motor, fartøystørrelse og formål til fartøy.

Høy kompatibilitetsgrad	
Lovende kompatibilitetsgrad	
Middels kompatibilitetsgrad	
Lite lovende kompatibilitetsgrad	
Lav kompatibilitetsgrad	

Tabell 4-5: Kompatibilitetsfargekoder

Etter vurdering av samtlige fartøys kompatibilitetsgrad er det blitt estimert hydrogen- og ammoniakkbehov for de respektive fargekodene. I Tabell 4-6 er disse dataene fremstilt. Det estimeres et minimalt behov på 190 tonn hydrogen eller 1 470 tonn ammoniakk basert på fartøyene med høy kompatibilitetsgrad. Fartøyene med lovende kompatibilitetsgrad vurderes også som realistisk å konvertere til hydrogen- eller ammoniakkdrift innen 2026. Et realistisk anslag hydrogen- og ammoniakkbehov til fremdrift er henholdsvis intervallene 190 – 288 og 1 470 – 2 230 tonn.

Kompatibilitetsfargekode	Hydrogenbehov med PEMFC [Tonn]	Ammoniakkbehov med SOFC [Tonn]
	190	1470
	98	760
	55	429
	82	634
	339	2620

Tabell 4-6: Hydrogen- og ammoniakkbehov basert på kompatibilitetsgrad

4.2 Hotelldrift i havn

Resultatene i delkapittel 4.1 er utelukkende gjort med hensyn på energi til fremdrift, som summen av energi til fremdrift og eventuelle energikrevende faktorer som følger med de respektive fartøyene under seiling. Et eksempel er cruiseskipene som også krever energi til hotelldrift under seiling. Denne energien er inkludert i beregningene for fremdrift i delkapittel 4.1. Etersom cruisesegmentet i 2019 totalt benyttet 1 862 timer i havnene Geiranger og Hellesylt er det knyttet betydelige mengder energi og utslipp til dette. Alle cruiseskipene som besøkte Geirangerfjorden dette året lå i havn mellom 1 og 166 timer. Ingen av fartøyene tilknyttet Hurtigruten hadde registrert tid i havn dette året.

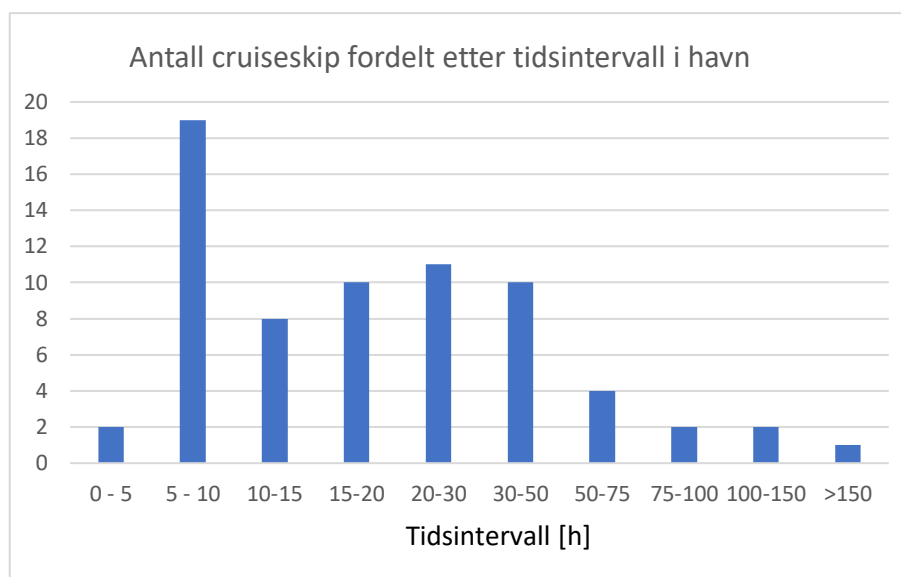
Hotelldriften knyttet til cruiseskipene varierte ut fra størrelse og passasjerkapasitet. Et av de mindre cruiseskipene *Star Pride* på 133 meter hadde ikke behov for mer enn 4,4 MWh til hotelldrift, mens *Celebrity Reflection* på 319 meter krevde 40,3 MWh med tilsvarende tid i havn. Cruiseskipene brukte til sammen 1 042 tonn drivstoff som tilsvarer nominell energi lik 5 102 MWh.

Utslippene av de relevante klimagassene med forbrenning av 1 042 tonn drivstoff tilsvarer 3 238 tonn CO₂, 2 tonn SO₂ og 66 tonn NO_x. For å dekke nominell energi på 5,1 GWh foreligger det et hydrogenbehov på 255 tonn, eller et ammoniakkbehov lik 1 975 tonn. Det totale hydrogen- eller ammoniakkbehovet er summen av behov ved havn og til fremdrift. I Tabell 4-7 foreligger tallene tilknyttet hotelldrift for cruisesegmentet som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019.

Tid [h]	Energi [MWh]	Utslipp			Hydrogenbehov [Tonn]	Ammoniakkbehov [Tonn]
		CO ₂ [Tonn]	SO ₂ [tonn]	NO _x [tonn]		
1 862	5 102	3 238	2	66	255	1 975

Tabell 4-7: Årsverdier tilknyttet hoteldrift i havn for cruisesegmentet

I Figur 4-8 er det presentert tiden cruiseskipene i utvalget lå i havn fordelt etter tidsintervall. Det er varierende hvor lenge cruiseskipene lå i havn. Gjennomsnittlig årlig tid i havn for cruiseskipene var 27 timer i havnene Hellesylt og Geiranger. De fleste cruiseskipene har flere anløp til Geiranger og Hellesylt i 2019. Gjennomsnittlig tid i havn for ett anløp er syv timer og tolv minutter.



Figur 4-8: Antall cruiseskip fordelt etter tidsintervall i havn i 2019

4.3 Reelt hydrogen- og ammoniakkbehov for utvalgte segmenter

I dette kapitlet benyttes hydrogen- og ammoniakkteknisk kompatibilitet til å kartlegge hydrogen- eller ammoniakkbehovet i Geirangerfjorden for fartøysegmentene som er aktuelle for å konvertere til brenselcellebasert system. Dette blir benyttet til å presentere et mer realistisk estimat, for hvert enkelt segment. De utvalgte segmentene er bestemt på grunnlag av relevante prosjekter som foreligger i delkapittel 2.7, og formålet til de respektive fartøysegmentene. Det blir redegjort hydrogen- og ammoniakkbehov for både fremdrift og hoteldrift, men hoteldrift er bare aktuelt for cruisesegmentet. Beregningene i dette delkapitlet tar utgangspunkt i at hele systemet skal være drevet av hydrogen eller ammoniakk. Hybride løsninger er ikke tatt hensyn til, men kan likevel bli aktuelt for noen fartøy.

Det totale estimerte hydrogenbehovet som legges frem i dette delkapitlet vil være mulig å dekke med forventet hydrogenproduksjon fra det planlagte produksjonsanlegget i Hellesylt. Dette er redegjort for i delkapittel 2.6.

4.3.1 Hurtigbåter

Det finnes flere lovende prosjekter innenfor hydrogendrevne hurtigbåter. Dette bidrar til at hurtigbåtsegmentet er definert til høy kompatibilitetsgrad, som illustrert i Tabell 4-8. Hurtigbåter ønsker å holde en relativ høy hastighet og seile lange distanser mellom hver bunkring, noe som er energikrevende. Det vil være mulig å plassere hydrogentanker høyt på fartøyet av sikkerhetsmessige grunner. Hydrogendrift vil være et bedre alternativ enn batteridrift for hurtigbåter ettersom faktorer som vekt, bunkringstid og energilagringspotensial favoriserer hydrogenteknologi.

Hurtigbåtene som inngår i Tabell 4-8 er henholdsvis: *MS Valderøy*, *MS Gabriele M* og *MS Geirangerfjord II*. *MS Geirangerfjord II* er i denne rapporten definert i segmentet sightseeingfartøy, men er utformet fysisk som en hurtigbåt og inkluderes derfor i Tabell 4-8 i tillegg til Tabell 4-9. Det er utelukkende i disse to tabellene at et fartøy blir inkludert utover ett segment. Det er estimert et hydrogen- og ammoniakkbehov for hurtigbåter til henholdsvis 24 og 186 tonn. *MS Geirangerfjord II* utgjør 96 prosent av estimatet.

Antall fartøy	Kompatibilitets-fargekode	Hydrogenbehov [Tonn]	Ammoniakkbehov [Tonn]
3		24	186

Tabell 4-8: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen hurtigbåtsegmentet

4.3.2 Ferger og sightseeingfartøy

Hydrogenbaserte ferger har flere forutsetninger for å satses på, blant annet ettersom de operer i rutetrafikk som gjør hyppig bunkring mulig, og at infrastrukturen vil legges til rette for dette. Det eksisterer flere lovende prosjekter innenfor hydrogendrevne ferger. Derfor er fergene som opererer i fast rute i fjorden klassifisert med høy kompatibilitetsgrad. Fergene *MF Bolsøy* og *MF Veøy* tilbakela flest nautiske mil av alle fartøyene som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019. Disse to har et hydrogenbehov tilsvarende 127 tonn. I tillegg opererer fergen *MF Aukra* i fast rutetrafikk. Disse tre fergene er klassifisert til høy kompatibilitetsgrad. *MF Geiranger* er den eneste fergen som klassifiseres til lovende kompatibilitetsgrad, ettersom den ikke opererer i fast rutetrafikk.

For å opprettholde tilbudet om sightseeing-mulighetene for turister i Geirangerfjorden, må sightseeingfartøyene konverteres til nullutslippsløsninger. Hydrogendrift vurderes som høyaktuelt for sightseeingfartøyene som opererer i fast rutetrafikk. Fartøyene dette gjelder er *MS Geirangerfjord* og *MS Geirangerfjord II* som begge er klassifisert til høy kompatibilitetsgrad. Sightseeingfartøyene *MS Polaris I*, *MS Stockholm av Göteborg* og *MS Bruvik* er vurdert til lovende kompatibilitetsgrad ettersom disse har gode muligheter for å legge om til hydrogendrift, men opererte ikke regelmessig i fjorden i 2019.

For ferger og sightseeingfartøy ansees hydrogen som mest aktuelt, ettersom ammoniakk er mer plasskrevende og infrastrukturen blir tilrettelagt for hydrogendrift. I Tabell 4-9 er hydrogen- og ammoniakkbehovet redegjort, for segmentene ferger og sightseeingfartøy, basert på kompatibilitetsgrad.

Antall fartøy	Kompatibilitets-fargekode	Hydrogenbehov [Tonn]	Ammoniakkbehov [Tonn]
5		175	1351
4		0,6	4,2

Tabell 4-9: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen segmentene ferger og sightseeingfartøy

4.3.3 Hurtigruten

Hurtigruten er et rederi som utelukkende opererer i norsk farvann, og besøker verdensarvfjordene opptil flere ganger hvert år. Dette selskapet har i årene 2017 – 2021 designet fartøy med økende grad av miljøvennlighet. Dette segmentet har gode forutsetninger for at samtlige fartøy seiler med nullutslippsteknologi innen 2026, og derfor er alle fartøy i dette segmentet gradert til lovende kompatibilitetsgrad.

Hvorvidt nullutslippsteknologien som blir valgt er brenselceller eller basert på andre drivstoff har ikke selskapet uttalt. Fartøyene til Hurtigruten er derfor ikke gradert til høy kompatibilitetsgrad.

De 12 fartøyene til Hurtigruten som opererte i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 benyttet 1 195 MWh, som gjør dette til det tredje største segmentet i utvalget. For å opprettholde denne nominelle energien vil segmentet kreve et hydrogen- eller ammoniakkbehov lik 60 eller 463 tonn. Dette er presentert i Tabell 4-10.

Antall fartøy	Kompatibilitets-fargekode	Hydrogenbehov [Tonn]	Ammoniakkbehov [Tonn]
12		60	463

Tabell 4-10: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene i Hurtigruten

4.3.4 Cruiseskip

Lengde, motoreffekt og bruttotonnasje varierer stort for cruiseskip. De største cruiseskipene kan frakte opp til flere tusen passasjerer, og driver hotellvirksomhet på havet. Det er behov for store brenselceller dersom cruiseskip skal omlegge til hydrogenbasert fremdriftssystem, som i dag ikke er kommersielt tilgjengelig. Det er funnet informasjon om to cruiseskiprederier som er i en slik omstillingsfase; Viking Ocean Cruises og AIDA cruises. Dette står mer om i delkapittel 2.7.3.

De fire cruiseskipene som er vurdert til høy kompatibilitetsgrad er alle tilhørende rederiet Viking Ocean Cruises, på bakgrunn av aktuelle hydrogenprosjekter. De elleve cruiseskipene som er vurdert til lovende kompatibilitetsgrad er fartøy som har besøkt Geirangerfjorden jevnlig, og har motorsystem som ikke krever høyere motoreffekt enn cruiseskipene tilhørende Viking Ocean Cruises. Det er i tillegg tatt hensyn til dagens motorsystem. Dersom dette er modent for utskiftning er det et argument for at brenselcelleteknologi kan være erstatningen.

Fartøyene som er vurdert til middels kompatibilitetsgrad har forutsetninger for å omlegge til brenselcelleteknologi, ettersom de har lignende motoreffekter som de fartøyene med lovende kompatibilitetsgrad. Det som skiller disse fartøyene fra de med lovende kompatibilitetsgrad er hyppigheten av anløp til Geiranger og at motorsystemene er relativt moderne. Det er usikkert om rederiene ønsker å skifte ut moderne systemer.

Syv cruiseskip hadde så store motorsystem at brenselcelleteknologien trenger utvikling for å imøtekomme effektbehovet til disse fartøyene, men disse har motorsystem som er moden for utskiftning. Spesielt er det nødvendig å utvikle effektivitet og kapasiteten til brenselcellesystemene uten at disse tar opp for mye plass. Det kan være at slik utvikling forekommer i årene før 2026.

For de resterende cruiseskipene er det ikke funnet informasjon som indikerer at hydrogenbasert fremdriftssystem kan bli aktuelt innen 2026. Derfor er disse 26 fartøyene vurdert til lav kompatibilitetsgrad. Dette er store fartøy med relativt moderne motorsystem. I Tabell 4-11 er hydrogen- og ammoniakkbehov for cruisesegmentet presentert.

Antall fartøy	Kompatibilitets-fargekode	Behov til fremdrift		Totalt behov inkludert hoteldrift	
		Hydrogen [Tonn]	Ammoniakk [Tonn]	Hydrogen [Tonn]	Ammoniakk [Tonn]
4		14	111	22	167
11		38	291	52	400
21		51	396	72	555
7		77	597	114	883
26		338	2 613	514	3 979

Tabell 4-11: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen cruisesegmentet

5 Diskusjon

I studien benyttes historisk data om trafikken i Geirangerfjorden til å estimere hvordan fremtiden vil bli seende ut. Det kan med sikkerhet bli konkludert med at store andeler utslipp av klimagasser vil bli redusert, som spesielt vil være med på å bedre luftkvaliteten lokalt i Geiranger. Hvordan trafikken og hydrogenbehovet vil være i fremtiden er det derimot knyttet større usikkerhet til. Responen til den maritime turistnæringen på nullutslippskravet vil være sentralt i utfallet av fremtidig trafikk og hydrogenbehov. Hvor stor er viljen til endring, og hvor mye betyr det for de respektive rederiene å ha et tilbud i Geirangerfjorden? Kanskje vil det bli økt aktivitet i andre fjorder på Vestlandet uten nullutslippskrav, som en konsekvens av innførte krav i verdensarvfjordene. Antagelig vil den maritime aktiviteten gå ned som en følge av kravene om nullutslipp på kort sikt. Rederiene som operer i fjorden må omstille driften og tenke nytt, og må blant annet ta stilling til følgende spørsmål: Er det fortsatt lukrativt å drive turistvirksomhet i fjorden? Er det nødvendig å bygge nye fartøy, eller er det mulig å legge om fremdriftssystemet til hydrogendrift? Må eksisterende størrelse på fartøyene reduseres dersom fremdriftssystemet legges om, eller må eksisterende trafikkmønster endres?

5.1 Alternative løsninger for endret trafikkmønster

Dersom trafikkmønsteret må endres er det et par muligheter. Den ene er at store cruiseskip som ikke kan legge om til hydrogendrift, men som likevel vil tilby turer til Geiranger, kan legge til kai i Ålesund og transportere cruisepassasjerene inn til Geiranger i hydrogendrevne hurtigbåter. Hydrogendrift av hurtigbåter har antagelig en lovende fremtid og ble vurdert til høy kompatibilitetsgrad i denne studien. Det vil kreves flere hurtigbåter for hvert cruiseskip som velger denne løsningen og kan føre til en betydelig økning i hurtigbåter i den vernede delen av Geirangerfjorden.

Den andre løsningen kan være å slepe turistfartøy inn i den vernede delen med hydrogendrevne slepefartøy. Ettersom det vil være energikrevende å slepe de største cruiseskipene vil det stilles høye krav til effekt for slepebåtene. Det vil antagelig være nødvendig med større slepefartøy til å utføre denne jobben, som for eksempel ankerhåndteringsskip. Om det er mulig med omlegging til hydrogendrift for disse fartøyene er foreløpig usikkert. Slik omlegging ville ført til økt sysselsetting av disse fartøyene, som i dårligere tider har blitt satt i opplag. Dette ville vært et tydelig signal for omstilling av arbeidsmuligheter i det grønne skiftet. Begge disse mulighetene vil kreve både selskaper som tilbyr hydrogendrevne hurtigbåter og slepefartøy til disposisjon i Ålesund. DNV har estimert at Ålesund er en av fem havner i Norge med størst potensial for hydrogenbunkringsanlegg. [49]

5.2 Hydrogen og ammoniakk

Det totale hydrogen- og ammoniakkbehovet som er estimert i Tabell 4-4 er kun basert på den vernede delen av Geirangerfjorden. I disse beregningene er det også antatt at samtlige fartøy i utvalget legger om til hydrogen- eller ammoniakdrift. Antagelig ønsker fartøyene som legger om fremdriftssystemet sitt å seile med hydrogen utover det vernede området. Dersom resultatet i Tabell 4-4 skal være representativt for hele Geirangerfjorden må disse fartøyene være hybridrevet og starte hydrogendriften på grensen til det vernede området. Dette vil antagelig ikke være tilfellet, og derfor vil hydrogenbehovet være høyere for hele Geirangerfjorden.

Kompatibilitetsgraden som er blitt benyttet til estimering av hydrogen- og ammoniakkbehov er en vurdering som er åpen for diskusjon. Flere av prosjektene som kompatibilitetsgraden baseres på er enda ikke realisert. Det var derfor utfordrende å avgjøre denne graden for fartøyene i utvalget.

Hensikten er å estimere et realistisk hydrogen- eller ammoniakkbehov for de fartøyene som er underlagt rederier som antagelig ønsker å fortsette driften i fjorden etter innførte krav. For fartøy med høy kompatibilitetsgrad er det enten at selve fartøyet kan legge om til hydrogendrift, eller at fartøyet det representerer kan legge om til hydrogendrift. For det sistnevnte alternativet vil selve fartøyet erstattes av et nytt hydrogendrevet fartøy. I denne studien er hydrogenbehovet estimert basert på effektene fra fartøyene i 2019. Dette kan endres ved omlegging til hydrogendrift og på denne måten vil også hydrogenbehovet endres.

I studien har fokuset lagt på hydrogenbasert teknologi, og derfor er ikke andre nullutslippsløsninger blitt vurdert. Noen av fartøyene som er vurdert til høy kompatibilitetsgrad vil også kunne legge om til fullelektrisk drift. Batteriteknologi er en velkjent teknologi som fungerer godt der forholdene ligger til rette for den, og vil da være et godt alternativ for flere av fartøyene i utvalget. Det planlagte hydrogenproduksjonsanlegget i Hellesylt vil derimot være et solid argument for å velge hydrogendrift. Fra et samfunnsperspektiv er det ønskelig at produksjonsanlegget blir benyttet i stor grad, og fra et driftsperspektiv vil det være fordelaktig for rederiene å velge hydrogendrift med tanke på tilgjengelighet og bunkringstid.

I denne studien er fremtidig ammoniakkbehov gjennomgående redegjort for i lik grad som hydrogenbehovet. Tallene som er presentert er urealistiske, ettersom alle fartøy ikke kommer til å benytte samme energibærer. Store fartøy som bunkrer over 3 000 m³ drivstoff vil antagelig kreve enormt energikrevende nedkjølingssystemer for å holde hydrogen flytende. Dette problemet gjelder ikke for ammoniakk fordi kokepunktet er betydelig høyere sammenlignet hydrogen. Derfor er ammoniakk som energibærer trolig mer lukrativt for de største cruiseskipene. I tillegg benyttes ammoniakk i gjødselindustrien, og den tilhørende infrastrukturen er til en viss grad på plass.

Mindre fartøy, som ferger, sightseeingfartøy eller fritidsbåter, vil ikke kreve like avanserte kjølesystemer. Hvis ammoniakk skal benyttes som brensel må den gjennom flere ledd som beskrevet i delkapittel 2.5. Hydrogen må produseres først, derfor er ammoniakk mer energikrevende å produsere. Dersom det ikke er nødvendig å benytte ammoniakk, er det trolig ønskelig å unngå det ekstra omgjøringsleddet.

De fartøyene fra utvalget med størst sannsynlighet for hydrogenbasert fremdriftssystem innen 2026 er i hovedsak ferger og sightseeingfartøy. For disse fartøyene er tilsynelatende hydrogen det beste alternativet; Det kreves en mindre masse i forhold til ammoniakk, virkningsgraden til fremdriftssystemet er lovende og hydrogen skal produseres lokalt i Hellesylt.

5.3 Infrastruktur

Det grønne skiftet krever en endring av infrastrukturen tilknyttet energi i Norge. Etterspørselen etter bensin og diesel som energibærer reduseres gradvis, men det er spekulativt hvorvidt og til hvilken grad den tilhørende infrastrukturen skal erstattes eller oppgraderes.

Kraftlinjer satses lite på over lange strekninger, på grunn av de høye kostnadene tilknyttet utbygging av kraftlinjer med spenninger over 1 kV. Likevel er det en etterspørsel som øker, så nødvendige investeringer for å dekke etterspørselen er å forvente fra Norges myndigheter.

Det vil antagelig utvikles kraftigere strømlinjer mellom produksjonssted og fergeleier i Norge etter hvert som fergene elektrifiseres. De fergene som ikke elektrifiseres vil kanskje benytte strøm i hybridløsning. Dette er på grunn av kombinasjonen av det forutsigbare driftsmønsteret og god tilgang på utslippsfri elektrisitet. Den resterende delen av havnæringen har ikke like forutsigbart

driftsmønstre, og de fleste fartøy som driver næring på havet er større enn ferger. Det er problematisk for store skip å benytte elektrisitet, både under seiling og i havn. Dette er på grunn av at det kreves større plass til batteripakker enn det skipene har tilgjengelig. I tillegg er det tvilsomt at en havn vil bygge ut et strømnnett som leverer effekter mellom 1 og 3 MW til cruiseskipene som ligger i havn. En slik investering hadde sannsynligvis ført til at cruiseskipene ville betalt høye strømpriser. Dette vil bli så dyrt at cruiseskipene trolig vil unngå å benytte det dersom det investeres i. Derfor ser antagelig majoriteten av skipsrederiene etter andre nullutslippsløsninger enn elektrisitet.

Noen syntetiske dieseloljer testes med et håp om at disse kan erstatte fossil diesel og dermed ikke kreve omvelting i infrastrukturen av signifikant art. De mer lovende energibærerne har ikke denne fordelene. Ammoniakk og hydrogen er begge energibærere som ikke kan benytte de samme metodene for frakt, oppbevaring eller overføring fra oppbevaring til bruksinnretning, som konvensjonelle energibærere. Det kreves andre teknologier, i tillegg til høyere volum for at ammoniakk eller hydrogen skal erstatte konvensjonell infrastruktur, men ikke like betydelig bygging av infrastruktur som 100 prosent elektrifisering medfører.

Det kan tenkes at eksisterende rør til transport av naturgass kan benyttes til å transportere hydrogen og ammoniakk. Dette er noe som må forskes mer på. Det er spesielt utfordrende at hydrogenmolekylene er så små og kan trekke inn i metallet og danne sprøbrudd. Derfor stilles det høye krav til kvaliteten på rørene. Dette vil ikke være tilfellet for ammoniakk.

Noen faktorer kan forenkle en slik oppgradering. For eksempel kan overskudd av vannkraft tilrettelegge for strategiske bunkringsområder for skipsnæringen, dersom dette overskuddet benyttes til hydrogen- eller ammoniakkproduksjon. Dette forutsetter at den maritime næringen går mot bruk av hydrogen eller ammoniakk som energibærer, og vil være lukrativt på grunn av vannkraftverk sin nærhet til strandsonen. For Geirangerfjorden vil de mest aktuelle distribusjonsområdene være i Hellesylt og Ålesund. Turismen i Ålesund har direkte innflytelse på turismen i Geirangerfjorden på grunn av geografisk nærhet. Gode bunkringsmuligheter og utbygging av havnen i Ålesund vil antagelig gi positive ringvirkninger for turismen i Geiranger.

5.4 Politikk og konsekvens av krav 672

De innførte kravene er vedtatt på Stortinget og vil høyst sannsynlig bli innført innen 2026 slik som ordlyden i vedtaket lyder. Rederiene som driver turistvirksomhet i fjorden vil miste en del av forretningstilbudet dersom de ikke utfører større investeringer for å innfri nullutslippskravet. På bakgrunn av dette kan det tenkes at det vil bli mulig å få økt støtte fra statlige støtteorganisasjoner ved omlegging til hydrogendrift. En konsekvens av kravene vil trolig være at færre turister besøker Geiranger, og at dette går ut over den lokale turistnæringen. Kravene kommer til å bli mer konkretisert frem mot 2026, derfor vil det fortsatt være mulig å påvirke hvordan de endelige definisjonene av kravene skal se ut. Påvirkningskraften til folket bør ikke undervurderes.

Dersom det tilrettelegges for nullutslippskrav som ikke er fullstendig nullutslipp, men 90 eller 95 prosent sammenlignet med historiske data, kan andre teknologier også bli aktuelle. Løsninger som LNG eller andre biodrivstoff er ikke definert som nullutslipp men kan komme innenfor rammeverket av et slikt lovverk. [12] Disse er mer lik konvensjonelle drivstoff og dermed kanskje rimeligere for rederiene å legge om til.

De globale utslippene vil antagelig ikke reduseres betydelig, siden flere av fartøyene vil fortsette å operere andre steder hvor det ikke er krav om nullutslipp. Dersom cruiseskipene ikke ønsker å legge

om til nullutslippsløsninger kan det tenkes at dette vil medføre lekkasje til andre fjorder langs Norges vestkyst, eller at de utelukker Norge som destinasjon. Dette vil være et uheldig utfall for norsk turistnæring. I tillegg er et av målene med kravet å akselerere bruk av nullutslippsløsninger som skal redusere utslippene nasjonalt og globalt, som heller ikke blir utfallet dersom rederiene unngår å innføre nullutslippsteknologi. Kravet skal sette fart på innovasjon rundt hydrogen som energibærer, noe som vil skape nye arbeidsplasser.

Ved mindre utslipp i Geirangerfjorden vil dette medføre at luftkvaliteten bedres. Fravær av synlig røyk vil antagelig bedre opplevelsen av fjorden, i tillegg til andre positive ringvirkninger som enda ikke er redegjort for. Dette kan være faktorer som bedret levevilkår for plante-, fiske- og dyrebstanden i fjorden, støyforurensingen kan reduseres, i tillegg til positive helsemessige påvirkninger for lokalbefolkningen.

5.5 Økonomi

Store omveltninger i samfunnet er tilknyttet betydelige investeringskostnader. Pengene som brukes til slike investeringer kommer stort sett fra skattebetalere, og derfor er det svært viktig at investeringene er godt gjennomtenkt og gir noe tilbake til samfunnet. Det er tre grupper som helst skal komme ut av endringen av infrastruktur i Geirangerfjorden uten signifikante økonomiske tap: Lokalbefolkningen, rederiene og firmaene som produserer energibærere.

Firmaene som produserer energibærerne olje, gass og elektrisitet vil trolig overleve omstillingen uavhengig av kravene i Geirangerfjorden. De fleste firmaer av dette slaget er allerede støttet av staten, som i Norge er veldig økonomisk forutsigbar.

Rederiene er alle i en individuell situasjon, avhengig av segment, hvilken nasjon de skatter til, hvilke kontakter rederiet har, omdømme og økonomisk historie. Disse faktorene skal imidlertid ikke rettferdiggjøre signifikante utslipp av miljø- og helseskadelige klimagasser, men de er en del av forklaringen til hvorfor slike omveltninger kan ta tid. Noen av disse rederiene er avhengig av forutsigbar og normal trafikk for å beholde sine arbeidere. Andre rederier har nok økonomisk stabilitet til å teste innovative systemer på sine kommersielle fartøy, og dermed ta risikoen som er tilknyttet dette. Dersom dette viser seg å bli for kostbart er det mulig at flere rederier trekker seg ut av innovative prosjekter, for heller å vente på at andre rederier gjør gjennombrudd. Dersom rederiene som i dag satser på ny nullutslippsteknologi opplever stor suksess, vil dette trolig gi et økonomisk forsprang til de mer avventende rederiene. Et slikt forsprang kan ligge i at disse får eksklusive muligheter til å besøke verneverdige områder som andre rederier ikke har tilgang til.

Noen steder i Norge er lokalbefolkningen avhengig av turisme for å oppleve økonomisk vekst i lokalsamfunnet. Steder som Geiranger og Flåm er verdenskjent ettersom de innehar natur som er ekstraordinær, og dette er stort sett det lokalsamfunnene lever av. Det er en uheldig bieffekt dersom vedtak 672 fører til at lokalsamfunnene i verdensarvfjordene opplever negativ økonomisk vekst. På kort sikt er negativ økonomisk vekst ikke bærekraftig for disse lokalsamfunnene, og utslippene som følger med konvensjonell turisme vil være å foretrekke over dette.

5.6 Feilkilder

Det var mulig å sammenligne resultatene for beregninger av utslipp og drivstoffmasse i denne studien, med studien DNV gjennomførte for trafikken i Geirangerfjorden i 2018. Begge disse faktorene tar utgangspunkt i energiberegninger som også gir en indikasjon på hydrogen- og ammoniakkberegningene. Trafikkmønsteret i fjorden var relativt likt i 2018 som for i 2019. Det var

ikke store avvik mellom resultatene i disse studiene, noe som tyder på god validitet. Det er likevel en del mulige feilkilder som kan ha påvirket resultatene. Ved noen få anledninger har det blitt identifisert AIS-data som er misvisende eller selvmotsigende, det kan derfor hende at dataen ikke til enhver tid er pålitelig. Gjennomsnittshastigheten for hvert enkelt fartøy ble estimert for én dag som skulle gjelde for resten av dagene fartøyet seilte i fjorden. Det kan tenkes at den dagen fartøyet ble målt, ikke er representativ for de resterende dagene. Det er en mulighet for at fartøyene har skiftet motortype og at kildene ikke er oppdatert på dette.

Det var vanskelig å estimere nøyaktig hvilket Tier-krav fartøyene fulgte, og således hvilke NO_x-faktorer som skulle benyttes. Dette har hatt innvirkning på resultatet for utslipp av nitrogenoksid. SO₂-faktoren som er benyttet i studien tok hensyn til SECA-kravet som ble innført mars 2019, men denne er likevel blitt brukt i beregninger for januar og februar. Dette gjorde små utslag i resultatet tilknyttet utslipp av svoveldioksid. I disse to månedene er det lite trafikk, noe som begrenser feilmarginen. Det er også blitt benyttet en unøyaktig metode for fartøyene under 24 meter ettersom 10 fartøy skal representere alle 177 fartøyene under 24 meter. Dette segmentet utgjør en relativt liten del av energiberegningene i studien og feilmarginen er tilnærmet neglisjerbar.

Energiberegningene tilknyttet fremdrift er utført med et polynom som skal være representativt for alle fartøyene i utvalget. Dette er en feilmargin som var nødvendig ettersom effekt-hastighetskurver for fartøyer er konfidensielle og unntatt offentligheten. Det er kjent at slike kurver er ganske like polynomet som er benyttet, men antagelig er det umulig å utføre dette nøyaktig. Effekt-hastighetskurvene for de respektive fartøyene i utvalget vil variere signifikant, ut fra størrelse og formål til fartøyene.

Energiberegningene for hoteldrift tar utgangspunkt i forholdet mellom oppgitt effekt til hoteldrift i havn og merket motoreffekt. Forholdstallet som er benyttet tar utgangspunkt i ett fartøy som skal være representativt for resten av utvalget. Det er ikke sikkert at forholdet er det samme for alle fartøyene, og antagelsen som er gjort er basert på at hoteldriften økes lineært med merket motoreffekt. Dette fører til en ukjent feilmargin. Det er kjent at passasjerantall og omgivelsestemperatur er sentrale faktorer for energien som kreves til hoteldrift på cruiseskip. Dette er faktorer som det ikke foreligger data om.

F1: Håkon Hammer Eikefet; F2: Erik Træland Hella; F3: Lars Skjoldnes

6 Konklusjon

Norske myndigheter ønsker nullutslippssoner i verdensarvfjordene, senest innen 2026. Dersom dette skal realiseres er det nødvendig med tilrettelagt infrastruktur for nullutslippsteknologi. For å opprettholde lik trafikk i vernet del av Geirangerfjorden som var observert i 2019, kreves 1 019 tonn hydrogen eller 7 887 tonn ammoniakk for både hotelldrift og seiling. Dette tilsvarer en daglig distribusjon på 2,8 tonn hydrogen eller 21,6 tonn ammoniakk.

For å dekke hydrogen- eller ammoniakkbehovet til de fartøyene som er vurdert til høy hydrogenteknisk kompatibilitetsgrad kreves 198 tonn hydrogen eller 1 526 tonn ammoniakk årlig. For å opprettholde fast rutetrafikk i den vernede delen av Geirangerfjorden må det årlig distribueres 175 tonn hydrogen, eller 1 351 tonn ammoniakk. Fartøyene som opererer i fast rutetrafikk er to sightseeingfartøy og tre ferger, som alle er vurdert til høy kompatibilitetsgrad.

For å dekke hydrogen- eller ammoniakkbehovet til alle fartøyene som er vurdert til høy kompatibilitetsgrad kreves en daglig distribusjon på 542 kg hydrogen, eller 4 181 kg ammoniakk.

Hellesylt hydrogen hub vil produsere nok hydrogen til å dekke behovet til fartøyene som er vurdert til høy kompatibilitetsgrad. Anlegget vil produsere nok til å opprettholde identisk trafikkmønster som i 2019, dersom brenselcellesystemet på alle fartøy bare er i bruk i den vernede delen. Identisk trafikkmønster som i 2019 vil ikke forekomme etter innførte krav, på bakgrunn av at alle fartøyene i utvalget ikke kan gå over til nullutslippsløsninger innen 2026. Det konkluderes imidlertid med at fartøy som er vurdert til høy eller lovende kompatibilitetsgrad vil kunne legge om til brenselcellebasert driftssystem innen 2026, og dermed fortsette å besøke Geirangerfjorden.

Det er mulig og realistisk å imøtekomme stortingsvedtak 672 innen 2026. Brenselcelleteknologien er tilgjengelig og moden for maritime prosjekter. Basert på aktivitet i Geirangerfjorden i 2019 vil det bespares:

12 879 tonn CO₂, 272 tonn NO_x og 8 tonn SO₂ i vernet del av Geirangerfjorden hvert år.

Dette vil føre til at luftkvaliteten lokalt i Geiranger vil bli bedre, og at problemet med sotpartikler sammen med vandamp som danner røykskyer vil forsvinne. Formålet ved å bevare områder med verdensarvstatus blir ivaretatt.

Figurliste

Figur 1-1: Oversikt over lovgivningsorgan.....	4
Figur 2-1: Prinsippskisse av en brenselcelle.....	6
Figur 2-2: Hydrogenproduksjon fra fossilt brensel	9
Figur 2-3: Hydrogenproduksjon	10
Figur 2-4: Haber-Bosch-prosessen	10
Figur 3-1: Illustrasjon av vernet område.....	19
Figur 3-2: Analyseområde fra Kystdatahuset.....	19
Figur 3-3: Generelt polynom for effekt- hastighetskurve sammenlignet med lineær og eksponentiell kurve.....	23
Figur 4-1: Seilt distanse i nautiske mil fordelt etter månedene i året	26
Figur 4-2: Antall fartøy i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment	27
Figur 4-3: Seilingsfordeling i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment	28
Figur 4-4: Antall fartøy fordelt etter seilt distanse i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment.....	28
Figur 4-5: Antall fartøy fordelt etter gjennomsnittshastighet i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment.....	29
Figur 4-6: Sammenhengen mellom faktisk og nominell energi	30
Figur 4-7: Nominelt energiforbruk i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment.....	30
Figur 4-8: Antall cruiseskip fordelt etter tidsintervall i havn i 2019.....	34

Tabelliste

Tabell 1-1: Maksimalt lovlig utslipp av NO _x -partikler fra fartøy, avhengig av tier-krav og motorens omdreiningstall	3
Tabell 2-1: Sammenligning av diverse energibærere, respektive tettheter og kokepunkt	6
Tabell 2-2: Sammenligning av komprimert- og flytende hydrogen	11
Tabell 2-3: Nåværende og planlagt kapasitet for de tre hurtigbårutene	13
Tabell 3-1: Virkningsgrader basert på omdreiningstall	21
Tabell 3-2: Virkningsgrader for brenselceller	21
Tabell 3-3: Effektive brennverdier for ulike drivstofftyper	21
Tabell 3-4: CO ₂ -faktorer	23
Tabell 3-5: NO _x -faktorer	25
Tabell 4-1: Nominell energiforbruk i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment	31
Tabell 4-2: Nominell drivstoffmasse i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment	31
Tabell 4-3: Utslipp i vernet del av Geirangerfjorden i 2019 etter segment med ulike benevninger	32
Tabell 4-4: Teoretisk hydrogen- og ammoniakkbehov dersom alle fartøy konverteres til hydrogen- eller ammoniakkdirift	32
Tabell 4-5: Kompatibilitetsfargekoder	33
Tabell 4-6: Hydrogen- og ammoniakkbehov basert på kompatibilitetsgrad	33
Tabell 4-7: Årsverdier tilknyttet hotelldrift i havn for cruisesegmentet	34
Tabell 4-8: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen hurtigbåtsegmentet	35
Tabell 4-9: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen segmentene ferger og sightseeingfartøy	35
Tabell 4-10: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene i Hurtigruten	36
Tabell 4-11: Hydrogen- og ammoniakkbehov for fartøyene innen cruisesegmentet	36

Formelliste

Formel 1: Hydrogenproduksjon ved dampreforming, steg 1	9
Formel 2: Hydrogenproduksjon ved dampreforming, steg 2	9
Formel 3: Reaksjonsligning på katodisk side i alkalisk elektrolyse	9
Formel 4: Reaksjonsligning på anodisk side i alkalisk elektrolyse	9
Formel 5: Total reaksjonsligning i alkalisk elektrolyse	9
Formel 6: Ammoniakkproduksjon	10
Formel 7: Beregning for seilingshastighet	22
Formel 8: Beregning for drivstoffmasse	22
Formel 9: Generelt polynom for effekt- hastighetskurve	22
Formel 10: Beregning for utslipp av CO ₂	24
Formel 11: Beregning for utslipp av NO _x og SO ₂	24
Formel 12: Beregninger for hydrogen- og ammoniakkbehov	25

Bideliste

Bilde 1: Oversiktsbilde av Geirangerfjorden (Foto: Håkon Hammer Eikefet)	1
Bilde 2: Illustrasjon av den hydrogendrevne bilfergen MF Hydra [66]	13
Bilde 3: Illustrasjon av Hurtigbåten Aero42 [69]	14
Bilde 4: Illustrasjon av Havila Kystruten [72]	15
Bilde 5: Viking Energy [78]	16
Bilde 6: Cruiseskipet AIDAnova. [80]	16
Bilde 7: Illustrasjon av cruiseskipet til Viking [84]	17
Bilde 8: Eksempel for hastighetsprofil [88] (fartøy: AIDAdiva, 10/07 - 19)	29

Vedlegg

Fartøy	Lengde (m)	Segment	Merket makshastighet (knop)	Merket motoreffekt (kW)	Motortype
Geirangerfjord	25,05	Passasjerskip/Sightseeingfartøy	14 [90]	750 [91]	2x Scania Marin DI16 42M [91]
Geirangerfjord II	25,65	Passasjerskip/Hurtigbåt/Sightseeingfartøy	19,9 [92]	1176 [92]	2x Scania Marin DI16 [93]
Storegg	28	Fiskefartøy	8,8 [94]	736 [94]	-
Elden	28	Passasjerskip/Yacht	27 [95]	2983 [95]	-
Boa Heimdall	32	Offshore/Taubåt	14 [96]	3840 [96]	-
Valderøy	32	Passasjerskip/Hurtigbåt	30 [97]	1800 [97]	-
Oljevern 01	32,5	Offshore/utslippskontroll	10,9 [98]	524 [99]	-
Eye of the Wind	33	Seilskip/Brigatin	8 [100]	441 [101]	-
Imagine B	33,62	Seilskip	12 [102]	425 [103]	-
Polaris 1	34,06	Passasjerskip/Sightseeingfartøy	10 [104]	492 [104]	-
Pure Bliss	36,6	Passasjerskip/Yacht	18 [105]	2069 [105]	-
Stockholm av Goteborg	37,8	Passasjerskip/Sightseeingfartøy	10 [106]	423 [106]	-
Oosterschelde	38,08	Seilskip	8,25 [107]	221 [107]	-
Gabriele M	40	Passasjerskip/Hurtigbåt	34 [108]	3000 [108]	-
Daydream	42,7	Passasjerskip/Yacht	16 [109]	2163 [109]	-
Awatea	45	Passasjerskip/Yacht	13 [110]	1432 [110]	-
Bruvik	45,06	Passasjerskip/Sightseeingfartøy	16 [111]	515 [112]	-
Njord	47,2	Kystvakt	16 [113]	1832 [113]	-
Nornen	47,2	Kystvakt	16 [114]	1452 [114]	-
Torvaag	48,84	Lasteskip	10,7 [115]	240 [115]	-
Jade 959	51,8	Passasjerskip/Yacht	18 [116]	4000 [116]	-
Latitude	52	Passasjerskip/Yacht	17 [117]	2759 [117]	-
Forever one	54,65	Passasjerskip/Yacht	16 [118]	3820 [118]	-
Astra	55	Passasjerskip/Yacht	15,5 [119]	2100 [119]	-
Volpini 2	57,7	Passasjerskip/Yacht	15,5 [120]	2760 [120]	-
Christian Radich	58,55	Seilskip/Fullrigget	14 [121]	670 [121]	-
Vive la Vie	59,4	Passasjerskip/Yacht	15,5 [122]	2950 [122]	-
Aukra	64,3	Passasjerskip/Ferge	13,5 [123]	993 [123]	-
Geiranger	64,32	Passasjerskip/Ferge	13 [124]	883 [125]	-
Bulkviking	65,82	Lasteskip	14,5 [126]	750 [126]	-
Bolsøy	67,98	Passasjerskip/Ferge	15 [127]	1540 [91]	Wichmann 7ACAT [91]
Cloudbreak	72,25	Passasjerskip/Yacht	15 [128]	874 [128]	-
Dytan	73,51	Passasjerskip/Yacht	14 [129]	1960 [129]	-
Veøy	74,99	Passasjerskip/Ferge	15 [130]	1840 [91]	Wichmann 5AX [91]
Nystein	82,38	Lasteskip	12 [131]	1350 [131]	-
Energy Empress	83,28	Offshore/PSV	15 [132]	5369 [132]	-
Lofoten	87,4	Hurtigruten	15 [133]	2447 [91]	1x MAN B&W - DM742VT2BF90 [91]
Ocean adventurer	100,01	Cruise/Passasjerskip	13 [134]	5400 [134]	2x MAN B&W 8-35VF-62 [135]
Expedition	105,23	Cruise/Passasjerskip	17 [136]	8140 [136]	2x MAN B&W 10U45HU
Gann	108,55	Cruise/Passasjerskip	17,5 [137]	4760 [137]	2x Bergen Diesel KVM-16 [91]
Vesterålen	108,57	Hurtigruten	17,5 [138]	4760 [91]	2x Bergen Diesel KVM-16 [91]
Anna	110	Passasjerskip/Yacht	18,5 [139]	8000 [139]	-

F1: Håkon Hammer Eikefet; F2: Erik Træland Hella; F3: Lars Skjoldnes

Nordlys	121,67	Hurtigruten	18 [140]	9000 [91]	2x MaK 6M552C [141]
Richard With	121,8	Hurtigruten	18,6 [142]	9000 [91]	2x MaK 6M552C [141]
Kong Harald	121,8	Hurtigruten	18 [143]	9000 [91]	2x MaK 6M552C [141]
Polarlys	123	Hurtigruten	18 [75]	7940 [91]	2x Ulstein Bergen BRM-9 [91]
Nordkapp	123,3	Hurtigruten	18 [145]	9000 [91]	2x MaK 6M552C [141]
Nordnorge	123,3	Hurtigruten	18 [146]	9000 [91]	2x MaK 6M552C [141]
Ocean majesty	130,64	Cruise/Passasjerskip	20 [147]	12016 [147]	2x W16V32D [148]
Le Dumont d'Urville	131,56	Cruise/Passasjerskip	15 [149]	6400 [68]	4x W8L20 + 4000 kW el-motor [69]
Star Pride	133,4	Cruise/Passasjerskip	19 [70]	7280 [70]	2x KVMB 12 - 2x KVMB 8 [153]
Star Breeze	133,8	Cruise/Passasjerskip	19 [154]	7280 [154]	2x KVMB 12 - 2x KVMB 8 [153]
Finnmarken	135,75	Hurtigruten	18 [155]	8240 [91]	2x W9L32 [148]
Trollfjord	135,75	Hurtigruten	18 [156]	8280 [91]	2x W9L32 [148]
Midnatsol	135,75	Hurtigruten	18 [157]	8280 [91]	2x W9L32 [148]
Hanseatic nature	139	Cruise/Passasjerskip	16 [158]	11200 [158]	4x MAK 8M25E [159]
Dream Goddess (Berlin)	139,3	Cruise/Passasjerskip	18 [160]	7060 [161]	2x MaK 12M453AK [162]
Roald Amundsen	140	Hurtigruten	17 [163]	14500 [164] [165]	4x B33:45L6 + 1,36 MWh batteripakke [165] [166]
L'Austral	142,1	Cruise/Passasjerskip	17,4 [167]	6400 [168]	4x W8L20 [151]
Le Boreal	142,1	Cruise/Passasjerskip	17,4 [169]	6400 [170]	4x W8L20 [151]
Hamburg	145	Cruise/Passasjerskip	18 [171] [172]	10560 [171] [172]	4x W6L32 [148]
Silver Wind	155,81	Cruise/Passasjerskip	20,5 [173]	11700 [173]	2x W6R46 [174]
Astoria	160,08	Cruise/Passasjerskip	19 [175]	10708 [175]	2x W16V32 [148]
World Odyssey (Deutschland)	175,49	Cruise/Passasjerskip	20 [176] [177]	12320 [176] [177]	2x MaK-DMR 8M32 - 2x MaK-DMR 6M32 [178]
Astor	176,26	Cruise/Passasjerskip	20 [179]	15400 [179]	2x W6ZAL40 - 2x W8ZAL40 [180]
Marco Polo	176,28	Cruise/Passasjerskip	20,5 [181]	15445 [181]	2x Sulzer-Cegielski 7RND76 [181]
Pacific Princess	181	Cruise/Passasjerskip	21 [182]	13500 [182]	4x W12V32 [148]
Azamara Journey	181	Cruise/Passasjerskip	21 [183]	18240 [183]	4x W12V32LNE [148]
Amadea	190	Cruise/Passasjerskip	21 [184]	17314 [184]	2x MAN 7 L 58/64 [185]
Europa	198,6	Cruise/Passasjerskip	21 [186]	21600 [186]	2x MAN B&W 7ZYL 40/54 - 2x 8ZYL 40/54 [187]
Blue Sapphire (Saga Sapphire)	199,63	Cruise/Passasjerskip	21 [188]	21280 [188]	1x MAN K7SZ70/125B [189]
Aidaaura	203,2	Cruise/Passasjerskip	21 [190]	27550 [191] [192]	2x W12V38B - 1x W8L38B - 1x W6L38B [192]
Amera (Prinsendam)	204	Cruise/Passasjerskip	21,8 [193]	21120 [193]	4x Wärtsilä-Sulzer 8ZAL40S [180]
Albatros	205,46	Cruise/Passasjerskip	21,5 [194]	17400 [127]	4x W6L38A [192]

Fremtidig hydrogenbehov i Geirangerfjorden

Boudicca	206,96	Cruise/Passasjerskip	21 [195]	14000 [195]	4x MAN 7L32/40 [196]
Zenith	208	Cruise/Passasjerskip	21,5 [197]	19980 [197]	2x MAN B&W 6L40/54 - 2x MAN B&W 9L40/54 [198] [196]
Silver Spirit	210,7	Cruise/Passasjerskip	20,3 [199]	26100 [199]	4x W9L38B [192]
Balmoral	217,91	Cruise/Passasjerskip	22,5 [119]	21300 [119]	2x MaK 6M35 - 2x MaK 8M601
Vasco da Gama	219,21	Cruise/Passasjerskip	22,6 [201]	34560 [201]	2x W S12ZAV40S - 3x W S8ZAL40 [98] [134]
Magellan	221,57	Cruise/Passasjerskip	19,5 [203]	23520 [203]	2x Sulzer 7 RLB 66 [204]
Seven Seas Explorer	224,02	Cruise/Passasjerskip	23,5 [205]	32000 [205]	4x MaK 8M43C/514 [206]
Europa 2	225,62	Cruise/Passasjerskip	21,4 [207]	24000 [207]	4x MAK 6M43C [206]
Viking Sea	227,2	Cruise/Passasjerskip	20 [208]	23520 [208]	2x MAN 9L32/44CR - 2x MAN 12V32/44CR [209]
Viking Jupiter	228,26	Cruise/Passasjerskip	20 [210]	23520 [210]	2x MAN 9L32/44CR - 2x MAN 12V32/44CR [209]
Viking Sky	228,28	Cruise/Passasjerskip	20 [211]	23520 [211]	2x MAN 9L32/44CR - 2x MAN 12V32/44CR [209]
Viking Sun	228,3	Cruise/Passasjerskip	20 [212]	23520 [164]	2x MAN 9L32/44CR - 2x MAN 12V32/44CR [162]
Artania	230,6	Cruise/Passasjerskip	21,5 [213]	29160 [166]	4x W12V32 [148]
Spirit of Discovery	236	Cruise/Passasjerskip	18 [214]	21600 [214]	4x MAN B&W 9L32/44CR [215] [209]
Borealis (Rotterdam)	238	Cruise/Passasjerskip	25 [216]	57600 [216]	5x Sulzer type 16ZAV40S [217] [218]
Marina	239,2	Cruise/Passasjerskip	22 [219]	42000 [219]	2x W8L46C - 2x W12V46C [174]
Columbus	245,6	Cruise/Passasjerskip	21,5 [220]	39000 [220]	4 x MAN B&W 8L58/64 [185]
Crystal Serenity	250	Cruise/Passasjerskip	23 [221]	52198 [221]	6x W12V38B [192]
Aidativa	251,9	Cruise/Passasjerskip	22 [222]	36000 [222]	4x MaK M43C [206]
Aidabella	251,9	Cruise/Passasjerskip	22 [223]	36000 [223]	4x MAK 9M43C [206]
Aidasol	253,2	Cruise/Passasjerskip	23 [224]	36000 [224]	4 x MAK 9M43C [206]
Marrela Explorer	263,9	Cruise/Passasjerskip	21,5 [225]	37130 [225]	2x MAN B&W 6L48/60 - 2x9L48/60 [226]
Norwegian Spirit	268,6	Cruise/Passasjerskip	24 [227]	58800 [227]	4x MAN B&W 14V48/60 [226]
Aurora	270	Cruise/Passasjerskip	24 [228]	79900 [228]	4x MAN B&W 14V48/60 [226]
Arcadia	285,1	Cruise/Passasjerskip	24 [229]	63378 [230]	4x 16ZAV40S - 2x 12ZAV40S [218] [202]
Costa Pacifica	289,6	Cruise/Passasjerskip	23 [231]	75600 [231]	2x W12V46C - 4x W16V46C [174]
Costa Favolosa	289,7	Cruise/Passasjerskip	22 [232]	75600 [232]	6x W12V46C [174]

F1: Håkon Hammer Eikefet; F2: Erik Træland Hella; F3: Lars Skjoldnes

Sapphire Princess	290	Cruise/Passasjerskip	23 [233]	60700 [233]	2x W8L46C - 2x W9L46C [174]
Costa Mediterranea	292,5	Cruise/Passasjerskip	24 [234]	62370 [234]	6x W9R46 [174]
Mein Schiff 3	293,2	Cruise/Passasjerskip	21,7 [235]	48000 [235]	2x W8L46F - 2x W12V46 [174]
Mein Schiff 4	293,2	Cruise/Passasjerskip	21,7 [236]	48000 [236]	2x W12V46F - 2x W8L46F [174]
Serenade of the Seas	293,2	Cruise/Passasjerskip	24 [237]	57816 [237]	2x GE gasturbine type LM 2500 [238]
Mein Schiff 5	293,6	Cruise/Passasjerskip	21,7 [239]	48000 [239]	2x W12V46FA2-TP - 2x W8L46FA2-TP [174]
MSC Poesia	293,8	Cruise/Passasjerskip	23 [240]	58000 [240]	5x W16V38B [192]
Disney Magic	294	Cruise/Passasjerskip	23 [241]	57663 [241]	5x Sulzer 16ZAV40S [218]
Norwegian Pearl	294,15	Cruise/Passasjerskip	25,6 [242]	72080 [242]	5x MAN B&W12V48/60B [226]
Nieuw Statendam	299,75	Cruise/Passasjerskip	22,2 [243]	50400 [243]	4x MaK 12VM43C [206]
Explorer of the Seas	311,12	Cruise/Passasjerskip	23 [244]	75544 [244]	5x W12V46 [174]
Celebrity Silhouette	315	Cruise/Passasjerskip	24 [245]	67200 [245]	4x MAN 14V48/60 CR [226]
Mein Schiff 1	315,7	Cruise/Passasjerskip	22 [246]	48000 [246]	2x W12V46FA2-TP + 2x W8L46FA2-TP [174]
MSC Meraviglia	315,83	Cruise/Passasjerskip	21,6 [247]	58800 [247]	2x W16V46CR - 2x W12V46CR [174]
Celebrity Reflection	319	Cruise/Passasjerskip	21 [248]	67200 [248]	4x MAN 14V48/60 [226]
Norwegian Getaway	325,65	Cruise/Passasjerskip	21 [249]	67200 [249]	2x MAN 14V48/60 - 2x MAN 12V48/60 [226]
MSC Preziosa	333,33	Cruise/Passasjerskip	23,7 [250]	71400 [250]	2x W16V46CR - 3x 12V46CR [174]

Vedlegg 1: Kildeliste for motorer, makseffekter og makshastigheter til fartøyene over 24 meter i utvalget

Forholdstall $f(x)$ gitt $0 < x < 7$

$$f(1) = 1 \quad \text{og} \quad f(0,5) = 0,35$$

Under forutsetning:

$$ax^2 + bx = f(x)$$

$$0,5^2 a + 0,5 b = 0,35$$

$$b = \frac{0,35 - 0,5^2 a}{0,5} = \frac{7}{10} - 0,5 a$$

$b = 2$ fra $f(x)$ gitt $0 < x < 100$

$$f(1) \Rightarrow a + \left(\frac{7}{10} - 0,5a\right) = 1$$

$$\Rightarrow 0,5 a = 1 - \frac{7}{10}$$

$$\Rightarrow a = 0,6 \quad \text{og} \quad b = 0,4$$

Bibliografi

- [1] S. Askheim og G. Thorsnæs, «Geirangerfjorden», *Store norske leksikon*. feb. 18, 2021. Åpnet: mai 04, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/Geirangerfjorden>
- [2] Statsforvalteren i Møre og Romsdal, «Verdsarv», *Statsforvalteren i Møre og Romsdal*. <https://www.statsforvalteren.no/nn/More-og-Romsdal/Miljo-og-klima/Verneomrade/Verdsarv/> (åpnet mai 04, 2021).
- [3] G. Thorsnæs, «Geiranger», *Store norske leksikon*. aug. 24, 2020. Åpnet: mai 04, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/Geiranger>
- [4] E. R. Yttredal, S. Babri, og M. Diez, «Antall besøkende og kjøretøy i Geirangerområdet 2018». Gøgskulen I Volda, 2019. [Online]. Tilgjengelig på: https://bravo.hivolda.no/hivolda-xmlui/bitstream/handle/11250/2620487/Notat%2004_2019_Yttredal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] Sjøfartsdirektoratet, «Rapport om utslipp fra skipsfart i verdensarvfjorder». <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/forebygging-av-forurensning-fra-skip/rapport-om-utslipp-fra-skipfart-i-verdensarvfjorder/> (åpnet mai 04, 2021).
- [6] «Vedtaksliste fra 'Klimastategi for 2030 - Norsk omstilling i europeisk samarbeid'», *Stortinget*, feb. 13, 2008. <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Vedtak/Vedtak/Sak/?p=69170> (åpnet apr. 22, 2021).
- [7] Det kongelige klima- og miljødepartement, «Meld. St. 13 Klimaplan for 2021-2030», *Melding til Stortinget (2020-2021)*, jan. 08, 2021. <https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/nn-no/pdfs/stm202020210013000dddpdfs.pdf> (åpnet apr. 22, 2021).
- [8] K. miljødepartementet, «Skal fase ut klimagassutslippene fra internasjonal skipsfart», *Regjeringen.no*, apr. 13, 2018. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/imo/id2597993/> (åpnet mai 04, 2021).
- [9] S. N. Aksnes og R. Hustad, «Vil ikke utsette krav om nullutslipp i verdsarvfjordene», *NRK*, feb. 19, 2021. <https://www.nrk.no/mr/vil-ikkje-utsette-krav-om-nullutslipp-i-verdsarvfjordene-1.15381819> (åpnet mai 04, 2021).
- [10] S. Pedersen, I. Kjelsaas, og P. Aalen, «Samfunnsøkonomisk analyse av miljøkrav til fartøy i verdensarvfjordene», Menon Economics, jan. 2018. Åpnet: mai 04, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2018-3-Samfunns%C3%B8konomisk-analyse-av-milj%C3%B8krav-til-fart%C3%B8y-i-verdensarvfjordene.pdf>
- [11] «Representantforslag om utsettelse av kravet om nullutslipp i verdensarvfjordene fra 2026», *Stortinget*, okt. 15, 2020. <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=81685> (åpnet apr. 22, 2021).
- [12] Sjøfartsdirektoratet, «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene», DNV GL AS Maritime, Høvik, 2019–1250, Rev. 0, feb. 2020.
- [13] «Prevention of Air Pollution from Ships». <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx> (åpnet apr. 26, 2021).
- [14] «Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13». [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) (åpnet apr. 26, 2021).
- [15] European Union, «Commission delegated regulation (EU) 2016/2071», *Official Journal of the European Union*, L 320, 26 November 2016, 11 2016. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2016:320:TOC> (åpnet apr. 26, 2021).
- [16] N. Kjerstad, «AIS», *Store norske leksikon*. okt. 26, 2020. Åpnet: mai 02, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/AIS>
- [17] «Energisystemet_vårt», s. 3.
- [18] P. K. Kofstad og B. Pedersen, «hydrogen», *Store norske leksikon*. mar. 05, 2021. Åpnet: mar. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/hydrogen>
- [19] A. Tomasgard, «Hydrogen i fremtidens lavkarbonsamfunn». https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden_rapport_A4_web_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c (åpnet mar. 23, 2021).
- [20] J. Liebl, *Der Antrieb von morgen 2019: Diversifizierung konsequent vorantreiben 13. Internationale MTZ-Fachtagung Zukunftsantriebe*. Springer-Verlag, 2019.

- [21] P. Neiså, «Flytende, komprimert eller noe midt i mellom?» <https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/nyhetsbrev/hvilken-rolle-far-flytende-hydrogen.pdf> (åpnet mar. 23, 2021).
- [22] K. Hofstad, «ammoniakk – energibærer», *Store norske leksikon*. jun. 15, 2020. Åpnet: mar. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: http://snl.no/ammoniakk_-_energib%C3%A6rer
- [23] «RS-Densitet-artikkel-NFOGM.pdf». Åpnet: mar. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://nfogm.no/wp-content/uploads/2014/02/RS-Densitet-artikkel-NFOGM.pdf>
- [24] Yara International ASA, «Åpner for historisk satsing på grønt hydrogen og grønn ammoniakk i Norge | Yara International», *Yara None*, feb. 18, 2021. <https://www.yara.com/corporate-releases/apner-for-historisk-satsing-pa-gront-hydrogen-og-gronn-ammoniakk-i-norge/> (åpnet apr. 06, 2021).
- [25] B. Comer, «Transitioning away from heavy fuel oil in Arctic shipping», 02 2019. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Transitioning_from_hfo_Arctic_20190218.pdf (åpnet mar. 23, 2021).
- [26] M. Simonsen, «Hydrogen», jan. 21, 2010. <http://sip1.vestforsk.no/pdf/Felles/Hydrogen.pdf> (åpnet mar. 23, 2021).
- [27] T. Holtebekk, B. Pedersen, og G. M. Haarberg, «brenselcelle», *Store norske leksikon*. jan. 04, 2021. Åpnet: mar. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/brenselcelle>
- [28] R. E. Rosli *mfl.*, «A review of high-temperature proton exchange membrane fuel cell (HT-PEMFC) system», *Int. J. Hydrog. Energy*, bd. 42, nr. 14, s. 9293–9314, apr. 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.211.
- [29] O. J. Murphy, A. Cisar, og E. Clarke, «Low-cost light weight high power density PEM fuel cell stack», *Electrochimica Acta*, bd. 43, nr. 24, s. 3829–3840, aug. 1998, doi: 10.1016/S0013-4686(98)00143-1.
- [30] D. Hart, F. Lehner, S. Jones, og J. Lewis, «The fuelcell industry review 2019». e4tech, nov. 01, 2019. Åpnet: apr. 28, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://fuelcellindustryreview.com/archive/TheFuelCellIndustryReview2019.pdf>
- [31] «Solid Oxide Fuel Cells - an overview | ScienceDirect Topics». <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/solid-oxide-fuel-cells> (åpnet mar. 23, 2021).
- [32] «Ultra-High Power Density Solid Oxide Fuel Cell Stack for High Efficiency Propulsion and Power Systems | SBIR.gov». <https://www.sbir.gov/node/413464> (åpnet mar. 23, 2021).
- [33] A. Goncalves, «Diesel or Petrol Engines: Which Pollutes More?», *Youmatter*, feb. 15, 2019. <https://youmatter.world/en/diesel-or-petrol-what-pollutes-more/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [34] D. Akal, S. Öztuna, og M. K. Büyükkakın, «A review of hydrogen usage in internal combustion engines (gasoline-Lpg-diesel) from combustion performance aspect», *Int. J. Hydrog. Energy*, bd. 45, nr. 60, s. 35257–35268, des. 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.02.001.
- [35] T. Tsujimura og Y. Suzuki, «The utilization of hydrogen in hydrogen/diesel dual fuel engine», *Int. J. Hydrog. Energy*, bd. 42, nr. 19, s. 14019–14029, mai 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.01.152.
- [36] Y. A. Cengel, M. A. Boles, og M. Kanoglu, «6-10 The Carnot Heat Engine», i *Thermodynamics*, 9. utg., New York: McGraw-Hill Education, 2019, s. 297–300.
- [37] D. Bokach, «PEM fuel cells», HVL, Bergen, apr. 16, 2020.
- [38] Y. A. Cengel, M. A. Boles, og M. Kanoglu, «9-7 Stirling and Ericsson Cycles», i *Thermodynamics*, 9. utg., New York: McGraw-Hill Education, 2019, s. 493–496.
- [39] M. Chahartaghi og M. Sheykhi, «Energy, environmental and economic evaluations of a CCHP system driven by Stirling engine with helium and hydrogen as working gases», *Energy*, bd. 174, s. 1251–1266, mai 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.03.012.
- [40] Statistisk sentralbyrå, «Bilparken», *ssb.no*, mar. 31, 2020. <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar/2020-03-31> (åpnet mar. 15, 2021).
- [41] M. Gjerset og S. Schjølset, «Elektrifisering av skipsfarten». Zero, Grøns Skipsfartsprogram, nov. 2020. Åpnet: apr. 29, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2020/12/Elektrifisering-av-skipfarten-Status-for-bruk-av-landstrom-i-stamnetthavner-ZERO-Gront-Skipsfartsprogram.pdf>
- [42] M. Handwerker, J. Wellnitz, og H. Marzbani, «Comparison of Hydrogen Powertrains with the

Battery Powered Electric Vehicle and Investigation of Small-Scale Local Hydrogen Production Using Renewable Energy», *Hydrogen*, bd. 2, nr. 1, Art. nr. 1, mar. 2021, doi: 10.3390/hydrogen2010005.

[43] «Hornsedale Power Reserve | South Australia's Big Battery».

<https://hornsedalepowerreserve.com.au/> (åpnet mar. 15, 2021).

[44] Norsk Klimastiftelse, «Elektriske bilferger i Norge», *Energi og Klima*, apr. 2021.

<https://energiogklima.no/elektriske-bilferger-i-norge/> (åpnet apr. 28, 2021).

[45] L. Van Hoecke, L. Laffineur, og R. Campe, «Challenges in the use of hydrogen for maritime applications.», *Royal society of chemistry*. Royal society of chemistry, Antwerpen, Belgia, mar. 10, 2021.

[46] J. Hole og H. Horne, «Hydrogen i det moderne energisystemet». NVE, 2019. [Online].

Tilgjengelig på: https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf

[47] V. PATTABATHULA og J. Richardson, «Introduction to Ammonia Production», sep. 08, 2016. /resources/publications/cep/2016/september/introduction-ammonia-production (åpnet mar. 29, 2021).

[48] B. Pedersen, «Haber-Bosch-metoden», *Store norske leksikon*. des. 27, 2020. Åpnet: mar. 29, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/Haber-Bosch-metoden>

[49] J. Arnes, G. P. Haugom, og B. Norheim, «Produksjon og bruk av Hydrogen i Norge», DNV GL, Høvik, 2019–0039, REV.1, jan. 2019.

[50] U.S. Department of energy, «Gaseous Hydrogen Compression», *Energy.gov*.

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/gaseous-hydrogen-compression> (åpnet apr. 30, 2021).

[51] G. Sdanghi, G. Maranzana, A. Celzard, og V. Fierro, «Review of the current technologies and performances of hydrogen compression for stationary and automotive applications | Elsevier Enhanced Reader», des. 17, 2018.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032118307822?token=CAC65C624D4FC7C195721A659B06F61B309CCD5BBEFA5A80EA326A21388D83BA4058997CAE7D1E8619F5EC3BF8F98352> (åpnet mar. 31, 2021).

[52] P. K. Kofstad og B. Pedersen, «hydrogen», *Store norske leksikon*. mar. 05, 2021. Åpnet: mar. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/hydrogen>

[53] U.S. Department of energy, «Hydrogen storage». *energy.gov*, mar. 2017. Åpnet: apr. 30, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/fcto-h2-storage-fact-sheet.pdf>

[54] Wartsilia, «Boil-off gas (BOG)», *Wartsila.com*.

[https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-\(bog\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-(bog)) (åpnet apr. 30, 2021).

[55] I. Rafiqul, C. Weber, B. Lehmann, og A. Voss, «Energy efficiency improvements in ammonia production—perspectives and uncertainties», *Energy*, bd. 30, nr. 13, s. 2487–2504, okt. 2005, doi: 10.1016/j.energy.2004.12.004.

[56] A. Turnbull, «4 - Hydrogen diffusion and trapping in metals», i *Gaseous Hydrogen Embrittlement of Materials in Energy Technologies*, bd. 1, R. P. Gangloff og B. P. Somerday, Red. Woodhead Publishing, 2012, s. 89–128. doi: 10.1533/9780857095374.1.89.

[57] N. Olson og J. Holbrook, «NH₃ - The other hydrogen». Åpnet: mar. 31, 2021. [Online].

Tilgjengelig på: <https://www.pc.gov.au/inquiries/completed/climate-change-adaptation/submissions/sub046-attachment5.pdf>

[58] DNV GL, «Teknisk vurdering av skip og av infrastruktur for forsyning av drivstoff til skip», Miljø- og klimadepartementet, Bestilt prosjekt 2014–1669, Rev.0, des. 2014. [Online]. Tilgjengelig på:

https://www.regjeringen.no/contentassets/cffd547b30564dd9a2ae616042c22f26/teknisk_vurdering_av_skip_og_av_infrastruktur_for_forsyning_av_drivstoff.pdf

[59] N. Hydrogenforum, «Her finner du hydrogenstasjonene i Norge», *Norsk Hydrogenforum*.

<https://www.hydrogen.no/stasjoner/kart-over-stasjoner> (åpnet apr. 05, 2021).

[60] O. energidepartementet, «CO₂-håndtering i Norge», *Regjeringen.no*, okt. 23, 2019.

<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/co2-handtering/co2-handtering/id2601471/> (åpnet apr. 04, 2021).

[61] «Hurtigladekartet | Finn riktig lading av elbil | Ladestasjoner.no».

<https://www.ladestasjoner.no/hurtiglading/hurtigladekartet/> (åpnet apr. 30, 2021).

[62] «Fjordbuda/Yx - Bensinstasjon i Geiranger, Stranda», *Fjord Norway*.

- <https://no.fjordnorway.com/se-og-gjoere/shopping/fjordbuda-yx-p1833443> (åpnet apr. 30, 2021).
- [63] «NewsWeb». <https://newsweb.oslobors.no/message/491635> (åpnet apr. 04, 2021).
- [64] Ocean Hyway Cluster, «Norway's 2030 Maritime Hydrogen Map», *Interactive Map - Potential Maritime Hydrogen in Norway*. <https://www.oceanhywaycluster.no/hydrogen-map-of-norway> (åpnet mai 18, 2021).
- [65] «About Energy Observer», *Energy Observer*. <https://www.energy-observer.org/about> (åpnet mai 01, 2021).
- [66] Norled, «NORLED. World's first ship driven by LH2», Florø, sep. 18, 2019. Åpnet: apr. 26, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://static1.squarespace.com/static/5d1c6c223c9d400001e2f407/t/5d89f356caa8b03e5508f708/1569321826638/Norled.pdf>
- [67] «MF Nesvik i rute - Norled», apr. 14, 2021. <https://www.norled.no/nyheter/mf-nesvik/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [68] T. inge Jøssang, «Ny kai klar til verdens første hydrogenferje», feb. 19, 2021. <https://www.aftenbladet.no/trafikk/i/weKQXM/ny-kai-klar-til-verdens-foerste-hydrogenferje> (åpnet apr. 29, 2021).
- [69] T. Strømgren, H. Kvist, A. Aa, O. A. Aa, L. E. Larsen, og Pål. G. Eide, «Utviklingskontrakt utslippsfri hurtigbåt». Åpnet: apr. 26, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.trondelagfylke.no/contentassets/bd8d4260feb14f6bb7503ddc6360e168/brodrene-aa-sluttrapport-offentlig.pdf>
- [70] Samferdselsdepartementet, «Kystruteavtale for perioden 2021-2030», *Regjeringen.no*, jan. 09, 2020. <https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/kollektivtransport/kystruten/kystruteavtale-for-perioden-2021-2030/id2517842/> (åpnet apr. 28, 2021).
- [71] «New delivery date for the ships - Havila Voyages». <https://www.havilakyststruten.no/about-havila/news/new-delivery-date-for-the-ships> (åpnet apr. 29, 2021).
- [72] «Havila Kystruten», *Arena Ocean Hyway Cluster*, sep. 30, 2019. <https://www.oceanhywaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/havila> (åpnet apr. 29, 2021).
- [73] Skipsrevyen, «Prototype for hydrogen et skritt nærmere - Skipsrevyen.no», nov. 04, 2019. <https://www.skipsrevyen.no/article/prototype-for-hydrogen-et-skrutt-naermere/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [74] A. Valland, «100 millioner for å gi Kystruten hydrogendrift», *SINTEF*, des. 17, 2018. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2018/100-millioner-for-a-gi-kystruten-hydrogendrift/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [75] J. arne Tomsgard, «Slik skal de frakte passasjerer fra Bergen til Kirkenes og kutte utslipp samtidig», *Tu.no*, feb. 03, 2020. <https://www.tu.no/artikler/slik-skal-de-frakte-passasjerer-fra-bergen-til-kirkenes-og-kutte-utslipp-samtidig/484003> (åpnet apr. 28, 2021).
- [76] N. Hydrogenforum, «Utslippsfri kystrute langs Norskekysten», *Norsk Hydrogenforum*. <https://www.hydrogen.no/en/maritime/utslippsfri-kystrute-langs-norskekysten> (åpnet apr. 29, 2021).
- [77] G. Omdal, «Prototech Awarded Contract to Supply 2MW Zero-Emission Ammonia Fuel Cell Module», jan. 23, 2020. <https://prototech.no/news/2020/01/23/prototech-awarded-contract-to-supply-2mw-zero-emission-ammonia-fuel-cell-module/> (åpnet apr. 30, 2021).
- [78] «Viking Energy», *Arena Ocean Hyway Cluster*, feb. 04, 2020. <https://www.oceanhywaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/viking-energy> (åpnet apr. 29, 2021).
- [79] T. Stensvold og A. B. Jensen, «Eidesvik skal få verdens første utslippsfrie offshorefartøy: Bruker ammoniakk», *Tu.no*, jan. 23, 2020. <https://www.tu.no/artikler/verdens-forste-eidesvik-bygger-om-viking-energy-til-ammoniakk-drift/483392> (åpnet apr. 30, 2021).
- [80] «Pa-X-ell2 - AIDAnova», *Arena Ocean Hyway Cluster*, okt. 16, 2019. <https://www.oceanhywaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/aidanova> (åpnet apr. 29, 2021).
- [81] Papadias, Ahluwalia, Connely, og Devlin, «Total Cost of Ownership (TCO) Analysis for Hydrogen Fuel Cells in Maritime Applications – Preliminary Results». sep. 12, 2019. Åpnet: apr. 29, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f68/fcto-h2-at-ports-workshop-2019-viii5-ahluwalia.pdf>
- [82] «Research on fuel cells continue», *MEYER WERFT*, okt. 10, 2019. https://www.meyerwerft.de/en/press/press_detail/research_on_fuel_cells_continue.jsp (åpnet apr. 29,

2021).

- [83] «Pa-X-ell2: First Fuel Cells for AIDAnova», *Offshore Energy*, okt. 11, 2019. <https://www.offshore-energy.biz/pa-x-ell2-first-fuel-cells-for-aidanova/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [84] Sjøfartsdirektoratet, «Norway may get the world's first hydrogen-powered cruise ship», sep. 28, 2017. <https://www.sdir.no/en/news/news-from-the-nma/norway-may-get-the-worlds-first-hydrogen-powered-cruise-ship/> (åpnet apr. 29, 2021).
- [85] S. Kostøl, «2030 Hydrogen Demand in the Norwegian Domestic Maritime Sector», Arena Ocean Hyway Cluster, Florø, C. Åpnet: mai 20, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: https://static1.squarespace.com/static/5d1c6c223c9d400001e2f407/t/5eaa953e60de577608cd6dfc/1588237641225/C_Hydrogen+demand+2030+Summary+report.pdf
- [86] SSB, «Emission used in the estimations of emissions from combustion». SSB, jan. 18, 2017. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.ssb.no/_attachment/291696/binary/95503?_version=547186
- [87] C. Trozzi og R. De Lauretis, «International maritime navigation, international inland navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats». Long-range Transboundary Air Pollution & European Environment Agency, 2016.
- [88] «Kystdatahuset | Kystverket | v1.0.90 - tirsdag 13. april 2021, 11:15». <https://kystdatahuset.no/tallogstatistikk/sporskip> (åpnet mai 03, 2021).
- [89] Norsk elbilforening, «Tesla Model X Standard Range (75, 2016-2019)», *elbil.no*. <https://elbil.no/elbil/tesla-model-x-75d/> (åpnet apr. 20, 2021).
- [90] Vesseltracker, «Geirangerfjord». <https://www.vesseltracker.com/en/Ships/Geirangerfjord-8117536.html> (åpnet feb. 22, 2021).
- [91] H. Weggeberg *mfl.*, «Utslipp til luft og sjø fra skipsfart i fjordområder med stor cruisetrafikk». Sjøfartsdirektoratet, feb. 05, 2017. Åpnet: feb. 09, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.sdir.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
- [92] K. W. Vadset, «Geirangerfjord II (08/2018)», *Maritimt Magasin*, aug. 07, 2018. <https://maritimt.com/nb/batomtaler/geirangerfjord-ii-082018> (åpnet feb. 22, 2021).
- [93] NOGVA, «DI16 - Nogva Motorfabrikk AS». <http://www.nogva.no/no/produkter/fremdrift/scania/di16> (åpnet feb. 22, 2021).
- [94] Marine Traffic, «STOREGG (Fishing Vessel)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:307437/mmsi:257564600/imo:9244752/vessel:STOREGG> (åpnet feb. 22, 2021).
- [95] Superyacht Times, «Elden». <https://www.superyachtimes.com/yachts/elden> (åpnet feb. 22, 2021).
- [96] BOA Management AS, «Boa Heimdal ASD Harbour/Towage/Salvage Tug». BOA Management, mar. 2018. Åpnet: feb. 09, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.boa.no/wp-content/uploads/2018/11/BOA-Heimdal-brochure_-Final-v3-Copy.pdf
- [97] Skipsrevyen, «M/S 'Valderøy'», feb. 14, 2018. <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/ms-valderoy/> (åpnet feb. 22, 2021).
- [98] Fleetmon, «NITROX (Work vessel)», *FleetMon.com*. https://www.fleetmon.com/vessels/nitrox_7712949_40823/ (åpnet feb. 22, 2021).
- [99] Marine Traffic, «OLJEVERN 01 (Pollution Control Vessel)», *MarineTraffic.com*. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:306502/mmsi:257390500/imo:7712949/vessel:OLJEVERN_01 (åpnet feb. 22, 2021).
- [100] Slowtravel, «Eye of the Wind - Langsamreisen», *Slowtravel*, mar. 12, 2020. <https://www.langsamreisen.de/en/sailing-trips/sailing-ships/eye-of-the-wind/> (åpnet feb. 22, 2021).
- [101] Marine Traffic, «EYE OF THE WIND (Sailing Vessel)», *MarineTraffic.com*. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:154705/mmsi:233789000/imo:5299864/vessel:EYE_OF_THE_WIND (åpnet feb. 22, 2021).
- [102] Boatinternational, «IMAGINE B». <https://www.boatinternational.com/yachts/the-superyacht-directory/imagine-b--72583> (åpnet feb. 22, 2021).
- [103] Superyacht Times, «Imagine B». <https://www.superyachtimes.com/yachts/imagine-b> (åpnet feb. 22, 2021).
- [104] Marine Traffic, «POLARIS I (Yacht)», *MarineTraffic.com*.

- <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:180454/mmsi:228016600/imo:4500163/vessel:POLARIS I> (åpnet feb. 22, 2021).
- [105] Fraser, «PURE BLISS YACHT FOR CHARTER | FRASER». <https://www.fraseryachts.com/en/yacht-for-charter/pure-bliss-2/> (åpnet feb. 22, 2021).
- [106] Marine Traffic, «STOCKHOLM AV GOTEBOG (General Cargo)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:320466/mmsi:265472000/imo:8226612/vessel:STOCKHOLM AV GOTEBOG> (åpnet feb. 22, 2021).
- [107] Marine Traffic, «OOSTERSCHELDE (Sailing Vessel)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:264671/mmsi:246011000/imo:5347221/vessel:OOSTERSCHELDE> (åpnet feb. 22, 2021).
- [108] Marine Traffic, «GABRIELE (High Speed Craft)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:275191/mmsi:257074870/imo:9156357/vessel:GABRIELE> (åpnet feb. 22, 2021).
- [109] Marine Traffic, «DAYDREAM (Yacht)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:401653/mmsi:339327000/imo:9564229/vessel:DAYDREAM> (åpnet feb. 22, 2021).
- [110] Marine Traffic, «AWATEA (Yacht)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:384311/mmsi:319011900/imo:1009326/vessel:AWATEA> (åpnet feb. 22, 2021).
- [111] Schippertje, «BRUVIK». <http://www.schippertje.be/SPECIALS/BRUVIK/BRUVIK.html> (åpnet feb. 22, 2021).
- [112] Marine Traffic, «BRUVIK (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:305140/mmsi:257209600/imo:5054343/vessel:BRUVIK> (åpnet feb. 22, 2021).
- [113] Marine Traffic, «NJORD (Patrol Vessel)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:304146/mmsi:257082200/imo:9353357/vessel:NJORD> (åpnet feb. 22, 2021).
- [114] Marine Traffic, «NORNEN (Patrol Vessel)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:304045/mmsi:257067200/imo:9353321/vessel:NORNEN> (åpnet feb. 22, 2021).
- [115] Marine Traffic, «TORVAAG (General Cargo)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:311896/mmsi:258446000/imo:6904935/vessel:TORVAAG> (åpnet feb. 22, 2021).
- [116] Marine Traffic, «JADE 959 (Yacht)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:385077/mmsi:319070900/imo:9753715/vessel:JADE 959> (åpnet feb. 22, 2021).
- [117] Marine Traffic, «LATITUDE (Yacht)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:384582/mmsi:319030200/imo:1009168/vessel:LATITUDE> (åpnet feb. 22, 2021).
- [118] YachtCharterFleet, «FOREVER ONE Yacht - ISA | Yacht Charter Fleet», *Yachtcharterfleet.com*. <https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-42527/forever-one.htm> (åpnet feb. 22, 2021).
- [119] Yacht Harbour, «Astra», *Yacht Harbour*. <https://yachtharbour.com/yacht/astra-1945> (åpnet feb. 22, 2021).
- [120] Amels, «Amels Limited Editions 188 VOLPINI 2 for Sale | Romeo United Yachts». <https://sale.ruyachts.com/yachts/amels/limited-editions/limited-editions-188/volpini-2/> (åpnet feb. 22, 2021).
- [121] Marine Traffic, «CHRISTIAN RADICH (Training Ship)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:311771/mmsi:258373000/imo:5071729/vessel:CHRISTIAN RADICH> (åpnet feb. 22, 2021).
- [122] YachtCharterFleet, «VIVE LA VIE Yacht - Lurssen | Yacht Charter Fleet», *Yachtcharterfleet.com*. <https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-22969/vive-la-vie.htm> (åpnet feb. 22, 2021).
- [123] Marine Traffic, «AUKRA (Ro-Ro/Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:305120/mmsi:257207400/imo:7704631/vessel:AUKRA>

el:AUKRA (åpnet feb. 22, 2021).

[124] Schippertje, «GEIRANGER».

<http://www.schippertje.be/FERRIES/GEIRANGER/GEIRANGER.html> (åpnet feb. 22, 2021).

[125] Marine Traffic, «GEIRANGER (Ro-Ro/Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.

<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:305632/mmsi:257262400/imo:7816408/vessel:GEIRANGER> (åpnet feb. 22, 2021).

[126] Marine Traffic, «BULK VIKING (General Cargo)», *MarineTraffic.com*.

https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:701712/mmsi:259416000/imo:7502021/vessel:BULK_VIKING (åpnet feb. 22, 2021).

[127] Schippertje, «BOLSOY». <http://www.schippertje.be/FERRIES/BOLSOY/BOLSOY.html> (åpnet feb. 22, 2021).

[128] Yachting Partners International, «CLOUDBREAK Superyacht | Luxury Motor Yacht for Charter | YPI». <https://www.ypiyachts.com/en/luxury-charter-yacht/motor-yachts/cloudbreak-abeking-rasmussen-75m-247ft-4002730> (åpnet feb. 22, 2021).

[129] YachtCharterFleet, «DYTAN Yacht (ex. Flying Fox) - Nobiskrug | Yacht Charter Fleet», *Yachtcharterfleet.com*. <https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-24378/dytan.htm> (åpnet feb. 22, 2021).

[130] Schippertje, «VEOY». <http://www.schippertje.be/FERRIES/VEOY/VEOY.html> (åpnet feb. 22, 2021).

[131] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Nystein - IMO 9137284», jul. 08, 2020.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/general-cargo/10067-nystein-imo-9137284> (åpnet feb. 22, 2021).

[132] Golden Energy Offshore, «Energy Empress, Multi-Purpose Support Vessel (MPSV)».

<https://www.geoff.no/fleet/energy-empress> (åpnet feb. 22, 2021).

[133] Nedcruise, «∞ LOFOTEN ∞», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/lofoten.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[134] Nedcruise, «SEA ADVENTURER», *Nedcruise.info*.

<https://www.nedcruise.info/sea%20adventurer.htm> (åpnet feb. 22, 2021).

[135] Sunstoneships, «M/V Ocean Adventurer», *SunStone Ships*.

<https://www.sunstoneships.com/mv-ocean-adventurer.html> (åpnet feb. 22, 2021).

[136] Nedcruise, «EXPEDITION», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/expedition.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[137] Nedcruise, «GANN», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/gann.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[138] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Vesteraalen - IMO 8019368», *Scheepvaartwest.be*.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/9285-vesteraalen-imo-8019368> (åpnet feb. 24, 2021).

[139] YachtCharterFleet, «ANNA Yacht - Feadship | Yacht Charter Fleet», *Yachtcharterfleet.com*.

<https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-50004/anna.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[140] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Nordlys - IMO 9048914», *Scheepvaartwest.be*.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7952-nordlys-imo-9048914> (åpnet feb. 24, 2021).

[141] The World Marine Power Directory, «Record display: 6M552C»,

Theworldmarinepowerdirectory.com. <https://www.theworldmarinepowerdirectory.com/3062-mak-ib-6m552c-d-496414.html> (åpnet feb. 24, 2021).

[142] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Richard With - IMO 9040429», *Scheepvaartwest.be*.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7891-richard-with-imo-9040429> (åpnet feb. 24, 2021).

[143] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Kong Harald - IMO 9039119», *Scheepvaartwest.be*.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/9194-kong-harald-imo-9039119> (åpnet feb. 24, 2021).

[144] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Polarlys - IMO 9107796», *Scheepvaartwest.be*.

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7938-polarlys-imo-9107796> (åpnet feb. 24, 2021).

[145] Hurtigruten, «MS Nordkapp», *Hurtigruten.no*. <https://www.hurtigruten.no/skip/ms-nordkapp/>

(åpnet feb. 24, 2021).

[146] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Nordnorge - IMO 9107784», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7781-nordnorge-imo-9107784> (åpnet feb. 24, 2021).

[147] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Ocean Majesty - IMO 6602898», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2777-ocean-majesty-imo-6602898> (åpnet feb. 24, 2021).

[148] Wärtsilä Marine Solutions, «Wärtsilä 32 Product Guide». Wärtsilä, jan. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w32.pdf?>

[149] K. W. Vadset, «Le Dumont d'Urville (08/2019)», *Maritimt Magasin*, aug. 27, 2019. <https://maritimt.com/nb/batomtaler/le-dumont-durville-082019> (åpnet feb. 24, 2021).

[150] Ponant, «Cruise On LE DUMONT-D'URVILLE - Cruise Ship | Ponant», *en.ponant.com*. <https://en.ponant.com/le-dumont-d-urville> (åpnet feb. 24, 2021).

[151] Wärtsilä Marine Solutions, «Wärtsilä 20 - Diesel engine», *Wartsila.com*. <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-20> (åpnet feb. 24, 2021).

[152] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Star Pride - IMO 8707343», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/5805-star-pride-imo-8707343> (åpnet feb. 24, 2021).

[153] Mship, «Bergen Diesel KVMB 12», *Mship*. <https://mship.no/spare-parts/628-bergen-diesel-kvmb-12.html> (åpnet feb. 24, 2021).

[154] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Seabourn Spirit - IMO 8807997», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2832-seabourn-spirit-imo-8807997> (åpnet feb. 24, 2021).

[155] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Finnmarken - IMO 9231951», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7826-finnmarken-imo-9231951> (åpnet feb. 24, 2021).

[156] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Trollfjord - IMO 9233258», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7913-trollfjord-imo-9233258> (åpnet feb. 24, 2021).

[157] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Midnatsol - IMO 9247728», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/9450-midnatsol-imo-9247728> (åpnet feb. 24, 2021).

[158] Nedcruise, «HANSEATIC NATURE», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/hanseatic%20nature.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[159] Caterpillar Marine Power System, «MaK Marine Propulsion Engines». Caterpillar, 2010. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.mak-unatrac.com/pdf/products/mak-engine-selection-guide2010.pdf>

[160] Marine Traffic, «DREAM GODDESS (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*. [https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:284659/mmsi:311000998/imo:7904889/vessel:DREAM GODDESS](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:284659/mmsi:311000998/imo:7904889/vessel:DREAM%20GODDESS) (åpnet feb. 24, 2021).

[161] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Berlin - IMO 7904889», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/8367-berlin-imo-7904889> (åpnet feb. 24, 2021).

[162] Mship, «MaK 12 M 453 AK», *Mship*. https://mship.no/mak-spares-parts/246-mak-12-m-453-ak.html?search_query=4481689 (åpnet feb. 24, 2021).

[163] Nedcruise, «ROALD AMUNDSEN», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/roald%20amundsen.htm> (åpnet feb. 24, 2021).

[164] DNV GL, «ROALD AMUNDSEN - DNV GL Vessel Register», *Dnvgl.com*. <https://vesselregister.dnvgl.com/VesselRegister/vesselDetails.html?vesselid=37071> (åpnet feb. 24, 2021).

[165] Rolls-Royce Marine, «B33:45 - Defined by our customers». Rolls-Royce plc, 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/marine-product-finder/b33-45-engine-brochure.pdf>

- [166] T. Stensvold, «Nå er det like før: Slik skal Hurtigrutens ekspedisjonsskip seile miljøvennlig i arktiske strøk», *Tu.no*, nov. 08, 2016. <https://www.tu.no/artikler/na-er-det-like-for-slik-skal-hurtigrutens-ekspedisjonsskip-seile-miljovennlig-i-arktiske-strok/364004> (åpnet feb. 24, 2021).
- [167] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - L'Austral - IMO 9502518», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/6982-l-austral-imo-9502518> (åpnet feb. 24, 2021).
- [168] Ponant, «Cruise On L'AUSTRAL - Cruise Ship | Ponant», *en.ponant.com*. <https://en.ponant.com/l-austral> (åpnet feb. 24, 2021).
- [169] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Le Boreal - IMO 9502506», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2747-le-boreal-imo-9502506> (åpnet feb. 24, 2021).
- [170] Ponant, «Le Boreal», *en.ponant.com*. <https://en.ponant.com/le-boreal> (åpnet feb. 24, 2021).
- [171] Marine Traffic, «HAMBURG (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:370605/mmsi:309908000/imo:9138329/vessel:HAMBURG> (åpnet feb. 25, 2021).
- [172] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - c.Columbus - IMO 9138329», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2657-c-columbus-imo-9138329> (åpnet feb. 25, 2021).
- [173] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Silver Wind - IMO 8903935», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2840-silver-wind-imo-8903935> (åpnet feb. 25, 2021).
- [174] Wärtsilä Marine Solutions, «Wärtsilä 46F - diesel engine», *Wartsila.com*. <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-46f> (åpnet feb. 25, 2021).
- [175] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Astoria - IMO 5383304», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9632-astoria-imo-5383304> (åpnet feb. 25, 2021).
- [176] Faktaomfartyg, «M/S DEUTSCHLAND (1998)», *Faktaomfartyg.se*, 2016. http://www.faktaomfartyg.se/deutschland_1998.htm (åpnet feb. 25, 2021).
- [177] Marine Traffic, «WORLD ODYSSEY (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:132264/mmsi:311000410/imo:9141807/vessel:WORLD_ODYSSEY (åpnet feb. 25, 2021).
- [178] Caterpillar Marine Power System, «M 32 C Low Emission Engine». Caterpillar, 2009. [Online]. Tilgjengelig på: http://www.mak-unatrac.com/index.php?pg=login&type=login&id=product_pdf%2F14.pdf&title=M32&fbclid=IwAR1R04UJnvOOSZt_iJAQL-ywxW1HxH9VgZIwsJhqDfq96s-8EnnzM0_g9IE
- [179] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Astor - IMO 8506373», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2632-astor-imo-8506373> (åpnet feb. 25, 2021).
- [180] Equip Matching, «Sulzer 8ZAL40S (Low Hours) Genset | price & specs | EquipMatching Ad 64989», *Equipmatching.com*. https://www.equipmatching.com/used_equipment/5/270/64989.php?fbclid=IwAR1ieVGmwszmYPQFYmcfGNdVSFQSGBVTyKU_LRLHxG96rXUrDFUu6vixXRg (åpnet feb. 25, 2021).
- [181] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Marco Polo - IMO 6417097», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2754-marco-polo-imo-6417097> (åpnet feb. 25, 2021).
- [182] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Pacific Princess - IMO 9187887», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2785-pacific-princess-imo-9187887> (åpnet feb. 28, 2021).
- [183] Nedcruise, «AZAMARA JOURNEY», *Nedcruise.info*. https://www.nedcruise.info/azamara_journey.htm (åpnet feb. 28, 2021).
- [184] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Amadea - IMO 8913162», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2616-amadea-imo-8913162> (åpnet feb. 28, 2021).
- [185] MAN Diesel Group, «MAN Diesel Augsburg Hosts 58/64 Customers - Danske Maritime»,

- yumpu.com. <https://www.yumpu.com/en/document/read/2659064/man-diesel-augsburg-hosts-58-64-customers-danske-maritime> (åpnet feb. 28, 2021).
- [186] Hapag-Lloyd Cruises, «MS EUROPA Ship details Technical details». Hapag-Lloyd Cruises, jul. 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.webcitation.org/67OJ3aBeV?url=http://www.eurolloyd.com/Hapag-Lloyd/EUROPA.pdf>
- [187] MAN B&W Diesel, «MAN Program 2000». MAN B&W Diesel, 2000. [Online]. Tilgjengelig på: <http://engine.od.ua/ufiles/MAN-Program-2000.pdf?fbclid=IwAR0mqiwjDVqMFkC6PUzqWTKbuQBLbqVnXajtYTMXGgHrVaQUQ9vpW0qAjl4>
- [188] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Saga Sapphire - IMO 7822457», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/4310-saga-sapphire-imo-7822457> (åpnet feb. 28, 2021).
- [189] MAN, «Two-stroke Diesel engines Type KSZ-B/BL». MAN, nov. 1977. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.pemen.gr/files/library/MAN%20two-stroke%20diesel%20eng.%20type%20KSZ-B-BL.pdf>
- [190] Nedcruise, «AIDAaura», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/aidaaura.htm> (åpnet feb. 28, 2021).
- [191] DNV GL, «AIDAAURA - DNV GL Vessel Register», *Dnvgl.com*. <https://vesselregister.dnvgl.com/VesselRegister/vesseldetails.html?vesselid=G94691> (åpnet feb. 28, 2021).
- [192] Wärtsilä Marine Solutions, «Wärtsilä 38 Project Guide». Wärtsilä, nov. 2008. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/Wartsila%2038%20project%20guide.pdf>
- [193] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Amara - IMO 8700280», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9683-amara-imo-8700280> (åpnet mar. 01, 2021).
- [194] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Albatros - IMO 7304314», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2613-albatros-imo-7304314> (åpnet mar. 01, 2021).
- [195] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Boudicca - IMO 7218395», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2651-boudicca-imo-7218395> (åpnet mar. 01, 2021).
- [196] MAN Diesel & Turbo, «L32/40 Project Guide - Marine Four-stroke GenSet compliant with IMO Tier II». MAN Diesel & Turbo, 2011. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.abato.nl/bestanden/weichaischeepsmotoren/man/L27/manuals/L32-40_GenSet_TierII.pdf
- [197] Meyer Werft, «At a Glance: Zenith | Cruise Ship», *MEYER WERFT*. <https://www.meyerwerft.de/en/ships/zenith.jsp> (åpnet mar. 01, 2021).
- [198] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Zenith - IMO 8918136», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2878-zenith-imo-8918136> (åpnet mar. 01, 2021).
- [199] Fincantieri, «Fincantieri | Silver Spirit», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/silver-spirit/> (åpnet mar. 01, 2021).
- [200] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Balmoral - IMO 8506294», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2645-balmoral-imo-8506294> (åpnet mar. 01, 2021).
- [201] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Vasco Da Gama - IMO 8919245», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9578-vasco-da-gama-imo-8919245> (åpnet mar. 02, 2021).
- [202] Equip Matching, «Sulzer 12ZAV40S Power Station 8649 kW (Low Hours) | price & specs | EquipMatching Ad 64990», *Equipmatching.com*. https://www.equipmatching.com/used_equipment/5/75/64990.php (åpnet mar. 02, 2021).
- [203] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Magellan - IMO 8217881», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/5777-magellan-imo-8217881> (åpnet mar. 02, 2021).

- [204] Skylineships, «Sulzer 7 RLB 66 Sulzer», *Skyline International*. <http://www.skylineships.com/sulzer-7-rlb-66/> (åpnet mar. 02, 2021).
- [205] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Seven Seas Explorer - IMO 9703150», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9651-seven-seas-explorer-imo-9703150> (åpnet mar. 02, 2021).
- [206] Caterpillar Marine Power System, «M 43 C Low Emission Engine». Caterpillar, 2010. [Online]. Tilgjengelig på: http://www.mak-unatrac.com/index.php?pg=login&type=login&id=product_pdf%2F28.pdf&title=M%2043%20C&fbclid=IwAR0nBK9wr-j245IRxOB0WC79cNUzVa3y8ur-LUhe1jBIEpcJWPrDrJfDZU
- [207] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Europa 2 - IMO 9616230», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/3448-europa-2-imo-9616230> (åpnet mar. 02, 2021).
- [208] Fincantieri, «Fincantieri | Viking Sea», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-sea/> (åpnet mar. 02, 2021).
- [209] MAN Energy Solutions, «MAN V32/44CR Propulsion». MAN Energy Solutions, jul. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/man-es_l3_man_v32-44cr-propulsion_preview.pdf?sfvrsn=b1011b96_14
- [210] Fincantieri, «Fincantieri | Viking Jupiter», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-jupiter/> (åpnet mar. 02, 2021).
- [211] Fincantieri, «Fincantieri | Viking Sky», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-sky/> (åpnet mar. 02, 2021).
- [212] Fincantieri, «Fincantieri | Viking Sun», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-sun/> (åpnet mar. 02, 2021).
- [213] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Artania - IMO 8201480», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9083-artania-imo-8201480> (åpnet mar. 08, 2021).
- [214] Meyer Werft, «Spirit of Discovery | Built by MEYER WERFT in Papenburg», *MEYER WERFT*. https://www.meyerwerft.de/en/ships/spirit_of_discovery.jsp (åpnet mar. 08, 2021).
- [215] Nedcruise, «SPIRIT of DISCOVERY», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/spirit%20of%20discovery.htm> (åpnet mar. 08, 2021).
- [216] Nedcruise, «ROTTERDAM», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/rotterdam.htm> (åpnet mar. 08, 2021).
- [217] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Rotterdam - IMO 9122552», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2815-rotterdam-imo-9122552> (åpnet mar. 08, 2021).
- [218] Cheapower, «Specification of Sulzer 16ZA40S diesel generator». Cheapower.com. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.cheapower.com/photos/000270f.pdf>
- [219] Fincantieri, «Fincantieri | Marina», *Fincantieri.com*. <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/marina/> (åpnet mar. 08, 2021).
- [220] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Columbus - IMO 8611398», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/7508-columbus-imo-8611398> (åpnet mar. 08, 2021).
- [221] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Crystal Serenity - IMO 9243667», *Scheepvaartwest.be*. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/5820-crystal-serenity-imo-9243667> (åpnet mar. 08, 2021).
- [222] Meyer Werft, «AIDAdiva | Premium Cruising», *MEYER WERFT*. <https://www.meyerwerft.de/en/ships/aidadiva.jsp> (åpnet mar. 08, 2021).
- [223] Meyer Werft, «AIDAbella | Built by MEYER WERFT | At a Glance», *MEYER WERFT*. <https://www.meyerwerft.de/en/ships/aidabella.jsp> (åpnet mar. 08, 2021).
- [224] Meyer Werft, «AIDAsol | Cruise Ship | Built by MEYER WERFT with shore power connection», *MEYER WERFT*. <https://www.meyerwerft.de/en/ships/aidasol.jsp> (åpnet mar. 08, 2021).
- [225] Nedcruise, «MARELLA EXPLORER», *Nedcruise.info*. <https://www.nedcruise.info/marella%20explorer.htm> (åpnet mar. 10, 2021).
- [226] MAN Diesel Group, «L + V48/60CR Four-Stroke Diesel Engine». MAN Diesel Group.

- [Online]. Tilgjengelig på: http://marengine.com/ufiles/MAN-48_60CR.pdf
- [227] Marine Traffic, «NORWEGIAN SPIRIT (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:375494/mmsi:311746000/imo:9141065/vessel:NORWEGIAN_SPIRIT (åpnet mar. 10, 2021).
- [228] Meyer Werft, «Aurora | Cruise Ship», *MEYER WERFT*.
<https://www.meyerwerft.de/en/ships/aurora.jsp> (åpnet mar. 10, 2021).
- [229] Fincantieri, «Fincantieri | Arcadia», *Fincantieri.com*.
<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/arcadia/> (åpnet mar. 10, 2021).
- [230] George.GM, «Arcadia», *Ships Nostalgia*, mai 2020.
<https://www.shipsnostalgia.com/media/arcadia.469267/> (åpnet mar. 10, 2021).
- [231] Fincantieri, «Fincantieri | Costa Pacifica», *Fincantieri.com*.
<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/costa-pacifica/> (åpnet mar. 11, 2021).
- [232] Fincantieri, «Fincantieri | Costa Favolosa», *Fincantieri.com*.
<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/costa-favolosa/> (åpnet mar. 11, 2021).
- [233] Marine Traffic, «SAPPHIRE PRINCESS (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:201387/mmsi:235103357/imo:9228186/vessel:SAPPHIRE_PRINCESS (åpnet mar. 11, 2021).
- [234] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Costa Mediterranea - IMO 9237345», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2677-costa-mediterranea-imo-9237345> (åpnet mar. 11, 2021).
- [235] Meyer Werft, «Mein Schiff 3 | Our first luxury liner for TUI Cruises», *MEYER WERFT*.
https://www.meyerwerft.de/en/ships/mein_schiff_3.jsp (åpnet mar. 11, 2021).
- [236] Meyer Werft, «Mein Schiff 4 | Built by MEYER TURKU in Finland», *MEYER WERFT*.
https://www.meyerwerft.de/en/ships/mein_schiff_4.jsp (åpnet mar. 11, 2021).
- [237] Marine Traffic, «SERENADE OF THE SEAS (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:374965/mmsi:311492000/imo:9228344/vessel:SERENADE_OF_THE_SEAS (åpnet mar. 11, 2021).
- [238] GE Marine, «LM2500 Marine Gas Turbine». GE Marine, nov. 09, 2006. [Online].
 Tilgjengelig på:
https://web.archive.org/web/20120915210420/http://www.geaviation.com/engines/marine/pdfs/datash eet_lm2500.pdf
- [239] Meyer Werft, «Mein Schiff 5 | Made in Finland by MEYER TURKU», *MEYER WERFT*.
https://www.meyerwerft.de/en/ships/mein_schiff_5.jsp (åpnet mar. 11, 2021).
- [240] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - MSC Poesia - IMO 9387073», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/6502-msc-poesia-imo-9387073> (åpnet mar. 11, 2021).
- [241] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Disney Magic - IMO 9126807», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/5731-disney-magic-imo-9126807> (åpnet mar. 11, 2021).
- [242] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Norwegian Pearl - IMO 9342281», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/9249-norwegian-pearl-imo-9342281> (åpnet mar. 11, 2021).
- [243] Fincantieri, «Fincantieri | Nieuw Statendam», *Fincantieri.com*.
<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/nieuw-statendam/> (åpnet mar. 11, 2021).
- [244] Marine Traffic, «EXPLORER OF THE SEAS (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:374597/mmsi:311316000/imo:9161728/vessel:EXPLORER_OF_THE_SEAS (åpnet mar. 11, 2021).
- [245] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - Celebrity Silhouette - IMO 9451094», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/2666-celebrity-silhouette-imo-9451094> (åpnet mar. 11, 2021).
- [246] Meyer Werft, «Mein Schiff 1 | Made by MEYER TURKU», *MEYER WERFT*.
https://www.meyerwerft.de/en/ships/mein_schiff_1.jsp (åpnet mar. 11, 2021).

[247] Scheepvaartwest, «scheepvaartwest - MSC Meraviglia - IMO 9760212», *Scheepvaartwest.be*.
<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/passengers-cruise/7401-msc-meraviglia-imo-9760212> (åpnet mar. 11, 2021).

[248] Marine Traffic, «CELEBRITY REFLECTION (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:1688/mmsi:229074000/imo:9506459/vessel:CELEBRITY REFLECTION](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:1688/mmsi:229074000/imo:9506459/vessel:CELEBRITY%20REFLECTION) (åpnet mar. 11, 2021).

[249] Marine Traffic, «NORWEGIAN GETAWAY (Passenger Ship)», *MarineTraffic.com*.
[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:373651/mmsi:311050900/imo:9606924/vessel:NORWEGIAN GETAWAY](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:373651/mmsi:311050900/imo:9606924/vessel:NORWEGIAN%20GETAWAY) (åpnet mar. 11, 2021).

[250] Nedcruise, «MSC PREZIOSA», *Nedcruise.info*.
<https://www.nedcruise.info/msc%20preziosa.htm> (åpnet mar. 11, 2021).