

Konseptanalyse for nullutslipps slepebåter

Fahim Masud Ahmed

Christian Mathisen

Jone Førre

Bacheloroppgave i Energiteknologi

Bergen, Norge 2021



Høgskulen
på Vestlandet



Konseptanalyse for nullutslipps slepebåter

Fahim Masud Ahmed

Christian Mathisen

Jone Førre

Institutt for Maskin- og Marinfag

Høgskulen på Vestlandet

NO-5063 Bergen, Norge

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

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Concept analysis of zero emission tugboats

Forfatter(e), studentnummer: Fahim Masud Ahmed, h580842
Christian Mathisen, h574929
Jone Førre, h574943

Studieprogram: Energiteknologi
Dato: Mai 2021
Rapportnummer: IMM 2021-M62
Veileder ved HVL: Peter Edgar Koch
Oppdragsgiver: Ocean Hyway Cluster (OHC)
Oppdragsgivers referanse: Mark Purkis

Antall filer levert digitalt: 2

Forord

Denne oppgaven er skrevet av tre studenter under studieretningen Energiteknologi, ved institutt for maskin- og marinfag (IMM) på Høgskulen på Vestlandet (HVL). Kunnskap fra tidligere emner har vært til stor hjelp, i hovedsak «MAS307-1 20H Hydrogenteknologi» og «MAS123-1 20V Energi: Forbruk, kilder og teknologi».

Hovedtemaet for oppgaven var et hydrogenbasert fremdriftssystem for en nullutslipps slepebåt som skal slepe cruiseskip inn og ut av Geirangerfjorden. Prosjektet ble gitt av Ocean Hyway Cluster (OHC), med ekstern veileder Mark Purkis. Vår interne veileder fra IMM var førsteamanuensis Peter Edgar Koch.

Vi vil takke våre interne og eksterne veiledere Peter Edgar Koch og Mark Purkis for godt samarbeid og kommunikasjon gjennom prosjektet, som har vært viktig for god progresjon i skrivingen. Vi vil også takke Per Wilhelm Saltvedt, daglig leder i Stadt Sjøtransport, for et hyggelig og innholdsrikt intervju som ga oss informasjon som var nødvendig for å forme oppgaven.



Sammendrag

I denne rapporten ble det gjennomført en litteraturstudie for å kartlegge muligheten for å slepe cruiseskip i Geirangerfjorden med nullutslipps slepebåt. Slepefartøyet skal være installert med brenselcellesystem som skal benytte hydrogenbaserte energibærere. Etter intervju med Per Wilhelm Saltvedt fra Stadt Sjøtransport AS, ble det fastslått at en konvensjonell slepebåt ikke har tilstrekkelig slepekraft for cruiseskip som overskrider 100 000 bruttotonn (BT). Det kan derfor være nødvendig med et ankerhåndteringskip (AHTS) som har større slepekraft og bedre dekksplass for brenselcellesystemer.

Det ble vurdert to ulike energibærere; flytende hydrogen og flytende ammoniakk. Behovene per sesong med 192 anløp ble henholdsvis 450 816 og 2 920 128 kg. Videre ble det estimert et totalt utslipp av CO_2 og NO_x fra tre ulike segment; cruiseskip, produksjon og distribusjon. Det ble beregnet utslipp fra produksjon og distribusjon fra et hydrogenanlegg i Leuna, Tyskland og sammenlignet med det planlagte hydrogenanlegget på Mongstad, Norge. Det ble også beregnet utslipp fra ammoniakkanlegget på Herøya, der hydrogenet skal fremstilles med alkalisk elektrolyse.

Resultatene viste at cruiseskipene hadde 98,2% av de totale NO_x -utslippene. Anlegget i Leuna hadde derimot høyest utslipp av CO_2 , som var 138% høyere enn utslippet fra cruiseskipene.

Kostnadene for produksjon og distribusjon ble nesten identiske for flytende hydrogen og flytende ammoniakk fremstilt i Norge. Ved produksjon av flytende hydrogen i Leuna ble kostnadene nesten tre ganger høyere sammenlignet med produksjon i Norge.

Resultatene i denne oppgaven viste at kostnader og utslipp knyttet til produksjon av hydrogen var lavere for nullutslipps slepebåt enn for hurtigferge fra tidligere arbeid.

Det ble til slutt konkludert med at prosjektet er teknisk gjennomførbart dersom infrastrukturen for flytende hydrogen i Norges utbedres, eller at moduler av *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) blir videreutviklet og kommersielt tilgjengelige. Produksjon, flytendegjøring og distribusjon av hydrogen i Leuna ble ikke sett på som en hensiktsmessig løsning på grunn av høyere utslipp og kostnader.

Abstract

In this thesis a literature study was undertaken to address the possibility of a zero-emission tugboat in Geirangerfjord. The tugboat is to tow a cruise ship using a fuel cell system with a hydrogen-based energy carrier. After an interview with Per Wilhelm Saltvedt, managing director of Stadt Sjøtransport AS, it was suggested that a conventional tugboat would not have sufficient towing capacity for cruise ships over 100 000 gross tonnage (GT). Therefore, it was advised to use an Anchor Handling Tug Supply (AHTS) which has a greater towing capacity and more available deckspace.

Liquid hydrogen and liquid ammonia were considered as energy carriers. The total demand per tourist season with 192 cruise calls were 450 816 and 2 920 128 kg, respectively. Further on, total CO_2 - and NO_x -emissions were calculated from three different segments: cruise ships, production and distribution. Calculations regarding total emissions from production and distribution of hydrogen from Leuna, Germany were carried out, and compared with the upcoming hydrogen facility at Mongstad, Norway. Emissions from Yara's ammonia plant at Herøya, which is planning to use alkaline electrolysis to produce hydrogen, were also calculated.

Results showed that the cruise ships accounted for 98,2% of the total NO_x -emissions. The facility at Leuna held the largest share of total CO_2 -emissions, which were 138% greater than the total emissions from the cruise ships.

Production and distribution costs were almost identical for liquid hydrogen and ammonia produced in Norway. Production of liquid hydrogen in Leuna were found out to be three times more expensive when comparing to production in Norway.

The results in this thesis showed that the costs and emissions related to hydrogen production, were lower for a zero-emission tugboat than a high-speed zero-emission ferry from previous work.

To finish off, it was concluded that the project is possible from a technical perspective based on two assumptions. Either that the infrastructure for liquid hydrogen is improved, or that modules of Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) are further developed and gradually becoming commercially available. Production, liquefaction, and distribution of hydrogen in Leuna was not seen as a viable solution both in regards of emissions and costs.

Innhold

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract.....	IX
1. Innledning.....	1
2. Metode.....	2
3. Teori og grunnleggende informasjon	4
3.1 Rutebeskrivelse og slepebåt.....	4
3.2 Gjennomsnittlig cruisestørrelse og passasjerkapasitet	6
3.3 Cruisearløp	7
3.4 Hydrogen som energibærer	8
3.5 Ammoniakk som energibærer.....	13
3.6 Brenselceller	16
3.7 Transport og infrastruktur	17
3.8 Utslipp	20
3.9 Kostnader	21
3.10 Tidligere arbeid	22
4. Resultat	23
4.1 Installert effekt	23
4.2 Flytende hydrogen	28
4.3 Flytende ammoniakk.....	31
4.4 Utslippsberegninger.....	32
4.5 Kostnadsberegninger	37
4.6 Oversikt utslipp og kostnader	40
4.7 Sammenligning av utslipp og kostnader med tidligere arbeid	41
4.8 CO_2 -avgift.....	43
5. Diskusjon.....	44
5.1 Slepslogistikken.....	44
5.2 Teknologien	44
5.3 Lastfaktor for brenselcelle.....	45
5.4 Infrastruktur	46
5.5 Utslipp	47
5.6 CO_2 -avgift.....	47
5.7 Kostnader	48
5.8 Sammenligning av nullutslipps slepebåt og hurtigferge	48

6. Konklusjon	49
Referanser	50
Liste over figurer	56
Liste over tabeller.....	57
Liste over formler	58
Vedlegg A.....	59
Vedlegg B.....	78

1. Innledning

I de senere årene har det for skipsfarten blitt vedtatt strengere regler for utslipp av forurensende gasser, med stor vekt på nitrogenoksider (NO_x) særlig i sammenheng med lokal luftforurensning. Geirangerfjorden er et av områdene som vil få strenge regler for utslipp, ettersom området er på UNESCO's liste over verdensarvområder med ekstra krav til beskyttelse. Vurderinger og undersøkelser som er gjort, viser at mengden NO_x i Geirangerfjorden til tider overstiger verdier som kan ha en negativ påvirkning på helsen. NO_x sammen med sot, røykpartikler og vanddamp fører til at det oppstår røykskyer i fjordene [1].

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. [2].

Det nye regelverket vil kreve at fartøy som skal seile inn i Geirangerfjorden ikke medfører utslipp. En løsning på dette kan være en nullutslipps slepebåt som kan benyttes til å slepe cruiseskip.

I denne oppgaven vil energibehovet til en nullutslipps slepebåt med to ulike energibærere bli beregnet. Det vil bli utført beregninger på hydrogen- og ammoniakkbehov som skal gi en oversikt over nødvendig lagringskapasitet om bord, samtidig som infrastrukturen for flytende hydrogen og flytende ammoniakk blir gjort rede for. CO_2 - og NO_x -utslipp fra produksjon og distribusjon vil bli estimert for de to ulike energibærerne, og sammenlignet med utslipp fra cruiseskip. Det vil også bli estimert en totalpris for flytende hydrogen og flytende ammoniakk per turistseong, som vil baseres på energibehovet for produksjon, elektrisitetspris og en kostnadsmodell for transport.

Ocean Hyway Cluster (OHC) har også tidligere vært i samarbeid med studenter fra HVL under emnet «MAS307-1 20H Hydrogenteknologi». Problemstillingen til oppgaven *Hydrogenbehov i Verdensarvfjordene* [3] var å frakte 1000 cruisepassasjerer per dag fra Ålesund til Geirangerfjorden. I den tidligere oppgaven ble det beregnet hydrogenbehov og kostnader, og dette skal videre sammenlignes med resultatene i denne oppgaven.

2. Metode

I denne rapporten ble det utført en litteraturstudie for bruk av hydrogenbaserte drivstoff i den maritime sektoren. Data som er blitt innsamlet og analysert er fra fagfelleverderte journaler, rapporter og fagbøker. Det ble vurdert to ulike drivstoffmuligheter for en nullutslipps slepebåt; flytende hydrogen og flytende ammoniakk.

I rapporten ble de ulike segmentene analysert:

- Slepebåt og planlagte cruiseanløp
- Installert effekt
- Fremdriftssystem og virkningsgrader
- Energibehov
- Infrastruktur og logistikk
- Lagring
- Utslipp
- Kostnader
- Sammenligning med hurtigferge

Intervju

Tidlig i startfasen ble det gjennomført et intervju med Per Wilhelm Saltvedt, som er daglig leder i Stadt Sjøtransport AS. Intervjuet omhandlet størrelsen på slepebåt og nødvendig slepekraft for store cruiseskip. Intervjuet bidro med informasjon som var nødvendig for å utøve energiberegningene.

Energiberegninger

Energiberegningene som ble gjort i resultatkapittelet tar utgangspunkt i data for drivstofforbruk fra en rapport publisert av DNV GL. Grafen inneholdt informasjon om drivstofforbruk for fartøy ved ulike størrelses- og hastighetssegmenter, som baseres på *Automated Identification System* (AIS) data.

Energibehovet for fartøyene ble beregnet ved å se på nødvendig energi som må leveres av propellen. Dette ble kalkulert fra drivstofforbruk ved gitte hastigheter og virkningsgrader tilknyttet fremdriftssystemet, som også inkluderte et slepstep. Deretter ble den totale energimengden beregnet for kombinert fremdrift av cruiseskip og slepefartøy. Energimengden ble deretter omgjort til flytende hydrogen og flytende ammoniakk. Dette ble gjort ved å se på

totalt energibehov på propell, der virkningsgradene for et hydrogenbasert fremdriftssystem ble inkludert.

Gjennomsnittlig cruisestørrelse og passasjerkapasitet

Beregning av gjennomsnittlig cruisestørrelse tok utgangspunkt i innmeldte anløp fra Stranda Hamnevesen. For å kunne estimere et representativt gjennomsnitt ble alle anløp av samme cruiseskip definert som et eget skip. Dette betyr at f.eks. MS Iona som hadde 17 anløp, ble definert som 17 individuelle cruiseskip i beregningen.

Beregningen av gjennomsnittlig passasjerkapasitet brukte samme metode.

3. Teori og grunnleggende informasjon

3.1 Rutebeskrivelse og slepebåt

Det avgrensede området vist i figur 1 vil være en nullutslippssone for cruiseskip og andre fartøy. Det vil derfor komme et behov for en alternativ fremdriftsmåte for cruiseskip- og fergenæringen. Avgrensingen inn mot Geiranger starter fra 62,252 grader Nord i Sunnylvfjorden [4].



Figur 1 - Områdeavgrensning for verdensarvområdet Geirangerfjorden [4].

Per 21. desember 2020 er det meldt inn 192 cruiseanløp for 2021 som ikke inkluderer Hurtigruten [5]. På grunn av kommende krav om nullutslipp i dette området, vil det bli nødvendig med en alternativ løsning som f.eks. nullutslipps slepebåt.

Etter et intervju med Per Wilhelm Saltvedt, daglig leder i Stadt Sjøtransport AS, ble det fastslått at en slepebåt som f.eks. Stadt Kinn [6] ikke har tilstrekkelig slepekraft for cruiseskip over 100 000 bruttotonn (BT) [7].

Et alternativ vil være å benytte et ankerhåndteringskip (AHTS). Disse fartøyene har kraftige vinsjer og stor slepekraft [8] som gjør dem godt egnet til slep av cruiseskip [7]. Fartøyene har også stor dekksplass som kan benyttes til installasjon av brenselcellesystem og lagringstanker.

Det finnes hovedsakelig to muligheter for hydrogendrevet ankerhåndteringskip; designe et nytt fartøy eller ombygging av et eksisterende fartøy. På grunn av lav etterspørsel i markedet i 2019, lå omtrent en tredjedel av alle offshore-fartøy i opplag [9]. Dette kan gi muligheter for innkjøp eller leie av fartøy.

Dersom ankerhåndteringskipet allerede er utstyrt med dieselelektrisk fremdrift, kan det være enklere å installere et brenselcellesystem [7].

I denne oppgaven blir det tatt utgangspunkt i Normand Ferking, et ankerhåndteringskip som er eid av det norske rederiet Solstad Offshore ASA. [10] Fartøyet bruker mekanisk fremdrift ved slep [11].



Figur 2 - Ankerhåndteringsfartøyet Normand Ferking [10].

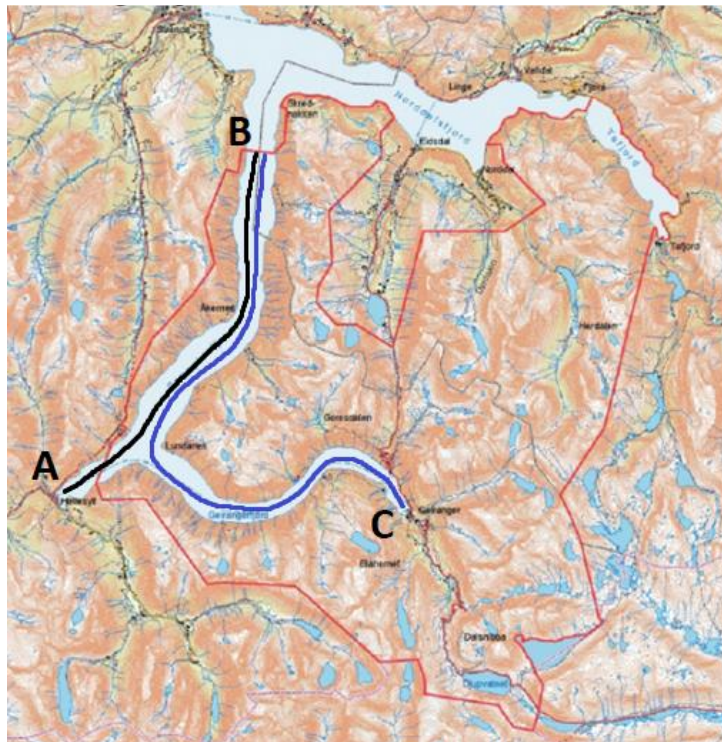
Lengde	89,35 m
Skrogbredde	22 m
Dekksdimensjon	745,2 m ²
Slepekraft	239 t
Hovedmotorer	4 x 3800 kW (Wärtsilä 8L32) [59]

Tabell 1 - Tekniske data for Normand Ferking [10]

Figur 3 visualiserer den antatte ruten som brukes i beregningene. Rundturen vil være i rekkefølgen:

1. AHTS fra A til B.
2. Slep av cruiseskip fra B til C.
3. Slep av cruiseskip fra C til B.
4. AHTS fra B til A.

Lengden på strekning A til B og B til C er henholdsvis 11,55 og 17,44 nautiske mil (nm). Strekningen B til C og tilbake til B, er totalt 34,88 nm.



Figur 3 – Sleperuten. A = Hellesylt, B = Avgrenset område, C = Geiranger [4].

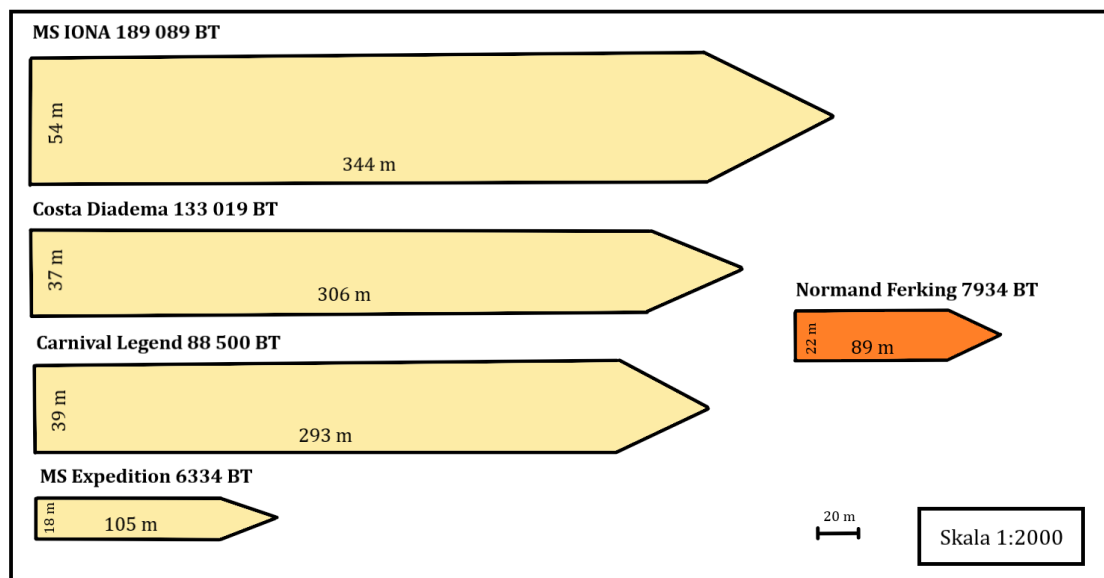
3.2 Gjennomsnittlig cruiseslørrrelse og passasjerkapasitet

I rapporten blir det estimert en gjennomsnittlig bruttotonnasje på 84 601 for cruiseskip som ankommer Geirangerfjorden, der gjennomsnittlig passasjerkapasitet er 2501. *Se vedlegg A.*

Figur 4 gir en oversikt over største og minste cruiseskip som ankommer Geirangerfjorden i 2021 [5] og to utvalgte skip for beregninger, Costa Diadema og Carnival Legend. Førstnevnte har en bruttotonnasje på 133 019 og representerer cruiseskip på over 100 000 BT som brukes til beregning av installert effekt og lagringskapasitet. Carnival Legend har en bruttotonnasje på 88

500 og representerer gjennomsnittlig cruisestørrelse gjennom sesongen, som brukes til beregning av totalt energibehov per sesong.

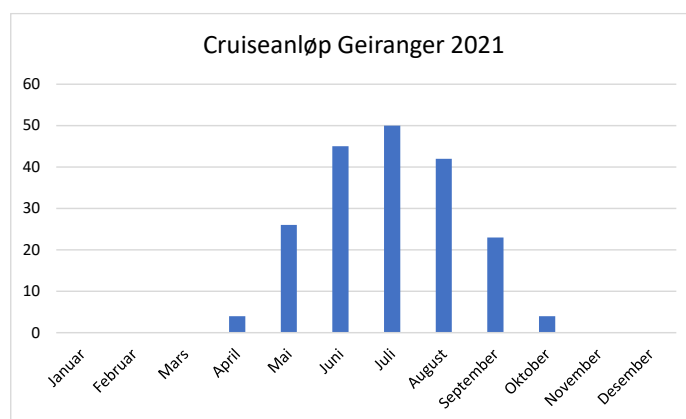
MS IONA og MS Expedition viser forskjellen på største og minste cruiseskip i gjennomsnittsberegningen, med en henholdsvis bruttotonnasje på 184 089 og 6 334.



Figur 4 – Sammenligning av cruiseskip og ankerhåndteringskipet, informasjon hentet fra Marine Traffic.

3.3 Cruiseanløp

Stranda Hamnevesen har en liste over innmeldte cruiseanløp ifra april og ut oktober for 2021. Dette er en foreløpig bestillingsliste og kan endres fortløpende. Det blir likevel tatt utgangspunkt i denne listen per 1. februar 2021 videre i oppgaven.



Figur 5 - Forventet cruiseanløp i Geirangerfjorden 2021 per 21.12.20 [3].

I løpet av sesongen 2021 er det innmeldt 192 anløp, der antall cruiseskip per planlagte dag varierer fra 1-4 med et gjennomsnitt på 1,6.

3.4 Hydrogen som energibærer

Hydrogen er en energibærer og må derfor bli brukt i en kjemisk prosess for å frigjøre energi [12]. Under standardbetingelser er hydrogengass fargeløs, luktfri og ikke giftig. Det kan bli benyttet i en forbrenningsprosess sammen med luft, men i denne prosessen oppstår det utslipp av NO_x -partikler og er derfor i dag lite utbredt. Hydrogen som drivstoff blir derfor i dag stort sett brukt i en brenselcelle for å produsere strøm, noe som ikke forårsaker direkte utslipp av klimagasser [13].

Hydrogenet kan lagres og fraktes i ulike former; komprimert, flytende, kjemisk bundet i metallhydrid eller i en flytende organisk hydrogenbærer.

Fremstilling av hydrogen kan gjøres ved dampreforming av naturgass, elektrolyse av vann eller gassifisering av biomasse. Det produseres i dag rundt 225 000 tonn hydrogen i Norge, hovedsakelig fra Equinor's metanolproduksjonsanlegg på Tjeldbergodden og Yara sitt ammoniakkproduksjonsanlegg på Herøya [14].

Elektrolyse med kraft fra fornybare kilder anses å være den mest miljøvennlige metoden å produsere hydrogen på. Denne metoden krever kun tilgang på elektrisitet og vann, og det kan derfor være en god løsning for lokal produksjon ved hjelp av for eksempel innestengt kraft fra et vind- eller vannkraftanlegg. Ved å produsere lokalt så fjernes behovet for transport og lagring, som kan gjøre elektrolyse mer konkurransedyktig i forhold til reformering av gass [14].

3.4.1 Produksjon

Hydrogen deles inn i tre kategorier etter hvordan det blir produsert, som tar hensyn til hvor stort karbonavtrykket er i fremstillingen. Grått hydrogen fremstilles fra fossile kilder uten *Carbon Capture and Storage* (CCS). Denne produksjonsmetoden står for største delen av hydrogenproduksjon i dag. Blått hydrogen fremstilles fra fossile kilder med CCS. Grønt hydrogen fremstilles vanligvis med elektrolyse, med elektrisitet fra fornybare kilder [15].

Dampreforming av naturgass

Dersom hydrogen skal produseres grått eller blått benyttes vanligvis dampreforming, som står for omtrent 70% av verdens hydrogenproduksjon per 2020 [14].

Gassifisering

Gassifisering kan også benyttes for å fremstille hydrogen. Dette er en prosess hvor råmateriale som f.eks. olje, kull eller biomasse blir tørket og varmet opp. For å oppnå en fullstendig forbrenning skjer reaksjonen uten tilførsel av oksygen. Oppvarmet karbon og vanddamp danner en syntesegass som hovedsakelig består av hydrogen og karbonmonoksid. Dette går videre til en vann/gass skiftreaksjon og her blir karbonmonoksid og vann omgjort til karbondioksid og hydrogen [14]. Denne metoden kan benyttes for fremstilling av blått hydrogen ved hjelp av *Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS)* [16].

Elektrolyse

For å fremstille grønt hydrogen kan elektrolyse med fornybar elektrisitet benyttes. I denne prosessen blir elektrisk strøm benyttet til å splitte vannmolekyler til hydrogen- og oksygenatomer. Det er hovedsakelig to metoder som blir brukt for elektrolyse i dag, alkalisk og PEM (Proton Exchange Membrane) [13].

Alkalisk elektrolyse

Alkalisk elektrolyse er en kjent teknologi og har vært benyttet for å produsere hydrogen i over 100 år. Ved å benytte denne metoden gir katoden fra seg elektroner i en alkalisk løsning i vann, som fører til en splittelse av vannmolekyler. Alkalisk elektrolyse har en driftstemperatur mellom 60-80 °C og en effektivitet som varierer fra 55 til 69% basert på lavere brennverdi for hydrogen. Elektrolysen gir en høy renhetsgrad på hydrogenet som fremstilles [14].

PEM-elektrolyse

PEM-elektrolyse er også en moden teknologi som har blitt anvendt siden 1966, men anses å ha et større forbedringspotensiale enn alkalisk elektrolyse. PEM-elektrolyse opererer med omtrent samme temperatur som alkalisk elektrolyse, men har en lavere effektivitet på rundt 55-66% og produserer ikke like rent hydrogen. PEM-elektrolyse har en lavere driftskostnad (OPEX) enn alkalisk elektrolyse, men en høyere investeringskostnad (CAPEX) og en kortere systemlevetid [14].

3.4.2 Flytendegjøring av hydrogen

For å oppnå en høyere volumetrisk tetthet og redusert lagringsvolum, blir flytende hydrogen vurdert i rapporten. Det er hovedsakelig to metoder som brukes for å flytendegjøre komprimert

hydrogen; helium Brayton syklus og hydrogen Claude syklus. Begge metodene starter med forhåndskjøling av prosessvæsken ned til 80 K ved å fordampe flytende nitrogen (LN_2).

Helium Brayton syklus oppnår tilstrekkelig nedkjøling kun med ekspansjonsturbiner. Ved denne metoden stilles det mindre krav til materialer brukt i syklusen, ettersom helium blir brukt som sirkulerende kjølevæske. Et slikt anlegg vil ha lav CAPEX, men har en lav effektivitet og dermed et relativt høyt energiforbruk fra 12,3 – 13,4 kWh/kg H_2 . Denne metoden blir mest brukt i småskalaanlegg med produksjonskapasitet på 3 tonn/dag, hvor CAPEX har større påvirkning på økonomien enn OPEX [17].

Hydrogen Claude syklus resirkulerer hydrogen som kjølevæske, og har derfor en høyere CAPEX grunnet strengere krav til materialvalg. Etter nedkjøling til 80 K med flytende nitrogen blir væsken videre nedkjølt til omtrent 30 K. Flytendegjøring av hydrogenet blir oppnådd ved å ekspandere hydrogenet gjennom en Joule-Thomson ventil til 20 K. Prosessen har et energiforbruk på 10,8 – 12,7 kWh/kg H_2 . Nye metoder som reduserer dette forbruket til under 6,6 kWh/kg H_2 er utviklet og klar for å bli benyttet kommersielt [17].

For storskalaanlegg blir utelukkende hydrogen Claude syklus benyttet. Ved økende produksjonskapasitet blir OPEX den avgjørende faktoren på lønnsomheten og derfor vil en høy CAPEX bli rettfærdiggjort hvis et lavere energiforbruk blir oppnådd [17].

3.4.3 Distribusjon og lagring

Det finnes flere ulike metoder for transport av hydrogen. Det kan transporteres med tankbil, rørledning, skip eller tog. Transport- og lagringsmetode avhenger i stor grad av volum og distanse [13]. Hydrogen kan transporteres komprimert ved 350-700 bar, flytende ved -253 °C, kjemisk bundet i metallhydrid eller flytende organisk hydrogenbærer (FOHB).

For korte distanser med mindre volum kan frakt og lagring av hydrogen i komprimert form være en gunstig løsning [18]. Ved økende distanser og volum kan flytende hydrogen være en bedre løsning for økt kostnadseffektivitet på grunn av økt volumetrisk tetthet [19]. Dersom hydrogenet lagres flytende, oppstår det konduksjon mellom tank og atmosfære. Konduksjon (varmeledning) fører til fordampning av urenheterne i hydrogenet som gir en trykkøkning. Dette trykket må utlignes ved å slippe noe av hydrogengassen ut. Fenomenet kalles boil-off og tapene ligger på 0,3-3% daglig [20].

Hydrogenet kan også lagres kjemisk bundet i metallhydrid eller i en FOHB. For å lagre 1 kg hydrogen kreves 12-35 kg med lagringsmateriale [18], som gir høy systemvekt. Dette er en ulempe med disse metodene. Dersom hydrogen lagres som metallhydrid, absorberes hydrogenet

inn i krystallstrukturen til metallet. Metallhydrid er veldig attraktiv på grunn av effektiviteten og sikkerheten [21]. Hydrogenet kan også lagres i en FOHB, som er kjemisk bundet hydrogen i organiske forbindelser som har høy hydrogenabsorpsjon. I denne tilstanden har hydrogenet og diesel sammenlignbare kjemiske egenskaper, og kan fraktes på samme metode. Det kreves energi for hydrogenering og dehydrogenering før bruk [13].

Transport med tankbil er den mest vanlige transportmetoden for flytende hydrogen [20]. Fra en rapport av OHC blir det grovt estimert at tankbiler ikke kan dekke behovet for flytende hydrogen i 2032, og med kontinuerlig økende etterspørsel kan skipstransport bli aktuelt i fremtiden [22].

3.4.4 Bunkring av flytende hydrogen

Bunkring av flytende hydrogen til et fartøy er ikke blitt gjennomført per 2020, men prosessen er tilsvarende lik som å overføre flytende hydrogen fra tankbil til ekstern lagringstank [20]. Teknologi for bunkring av kjøretøy på land er mer teknologisk moden, og med litt modifikasjon som høyere fyllerate, kan metodene overføres til den maritime næringen [15].

Standarden for bunkring av flytende hydrogen er heller ikke utarbeidet, men Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) har forespurt bruk av ISO20519:2017 standard for hydrogen [23].

Dersom flytende hydrogen skal bunkres, kan det enten bunkres direkte fra tankbil eller benytte et stasjonært anlegg som vil redusere tidsbruken. Per 2019 finnes det ikke utarbeidede prosedyrer for bunkring av flytende hydrogen, men det kan sammenlignes med bunkring av *liquified natural gas* (LNG) som vist i tabell 2 [24].

Steg	Prosedyre
1	Utstyrssjekk
2	Forhåndskjøling av bunkringsutstyr
3	Ankomst av fartøy
4	Tilkobling av fylleslange
5	Inerting, purging og forhåndskjøling av fylleslange
6	Fylling av LH_2
7	Fjerne væske fra fylleslange og <i>inerting</i>
8	Frakobling av fylleslange
9	Avgang for fartøy

Tabell 2 - Bunkringsprosedyre for LH_2 [24].

Prosedyrene og retningslinjene for bunkring av LNG er godt utarbeidet, og kan brukes som grunnlag for å utvikle prosedyrer og retningslinjer for flytende hydrogen. En av de viktigste forskjellene er det lave kokepunktet til hydrogen, som krever ytterligere nedkjøling av utstyr før bunkring. Dette medfører at lengden på fylleslangene bør begrenses [17]. En annen viktig forskjell er at nitrogen har et høyere kokepunkt enn flytende hydrogen. Nitrogen vil derfor fryse ved kontakt med flytende hydrogen og kan derfor ikke benyttes som inertgass [20].

Det er estimert at bunkring av 1000 kg hydrogen vil ta 40 minutter for nedkjøling, 30 minutter per tonn flytende hydrogen for fylling og 30 minutter for purging og oppvarming før frakobling [17].

3.4.5 Sikkerhet

Hydrogen er en reaktiv og brennbar gass som normalt lagres som komprimert gass ved trykk opp mot 1000 bar, eller flytende ved temperaturer ned mot $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mangel på erfaring er en av utfordringene hydrogenmarkedet møter når det kommer til sikkerhet og utførelse. Tidligere erfaringer har vist at hydrogen ikke bør oppbevares innendørs på grunn av hydrogenets reaktivitet og eksplosjonsfare ved lekkasje. Dersom det oppstår konsentrasjoner mellom 4-75% hydrogen i luft, kan det antennes [23]. Dette intervallet er 6-7 ganger større enn for metan. Hydrogen har også 6-7 ganger raskere forbrenningshastighet og 20 ganger lavere antenningsenergi enn metan [23].

Kokepunktet til flytende hydrogen som er $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, er lavere enn kokepunktet og frysepunktet til hovedkomponentene i luft; nitrogen og oksygen. Dersom det forekommer en lekkasje av flytende hydrogen, vil hydrogenet umiddelbart fordampe og luften kondensere. Dersom hovedkomponentene i luft fryser, kan det ved en signifikant lekkasje oppstå en oksygendetonasjon [23].

Materialvalg på tanker, komponenter og rør er kritisk når hydrogen skal lagres. Det stilles strenge krav til materialvalg for å unngå hydrogensprøhet. Dette er et fenomen som oppstår når hydrogenatomer diffunderer inn i materialet på grunn av differanse i atomstørrelse. Hydrogensprøhet øker sannsynligheten for sprekker og lekkasjer. Det er også viktig med tilstrekkelig isolasjon på komponenter slik at materialet ikke skades ved lekkasje [23] [25].

En av sikkerhetsbarrierene på land er Storulykkeforskriften. Den sier at dersom du har mer enn 50 tonn produsert eller lagret hydrogen på en lokasjon er det krav om risikoanalyse, evakueringsplan og informasjonsplaner dersom en ulykke skulle oppstå. Ved lavere mengder av hydrogen, over fem tonn, er det krav om opplysning til DSB om totalt volum lagret ved lokasjonen [23].

3.5 Ammoniakk som energibærer

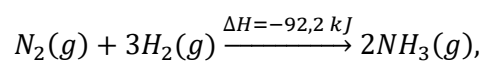
Ammoniakk er en energibærer som under standardbetingelser er giftig, fargeløs og har stikkende lukt [26]. Det produseres i hovedsak for å fremstille mineralgjødsel, men kan også brukes som drivstoff direkte i en høytemperaturs brenselcelle eller forbrenningsmotor.

Ammoniakk regnes som et av de mest lovende alternativene for nullutslipps drivstoff, ettersom det ikke oppstår utslipp av karbon og det produseres allerede i store mengder globalt [27]. I Norge har Yara et anlegg på Herøya der det produseres 530 000 tonn med ammoniakk årlig [28]. Ammoniakk kan fremstilles med Haber-Bosch prosessen, Claude- eller Casale-metoden. Haber-Bosch prosessen står for 75% av totalt produsert volum [26].

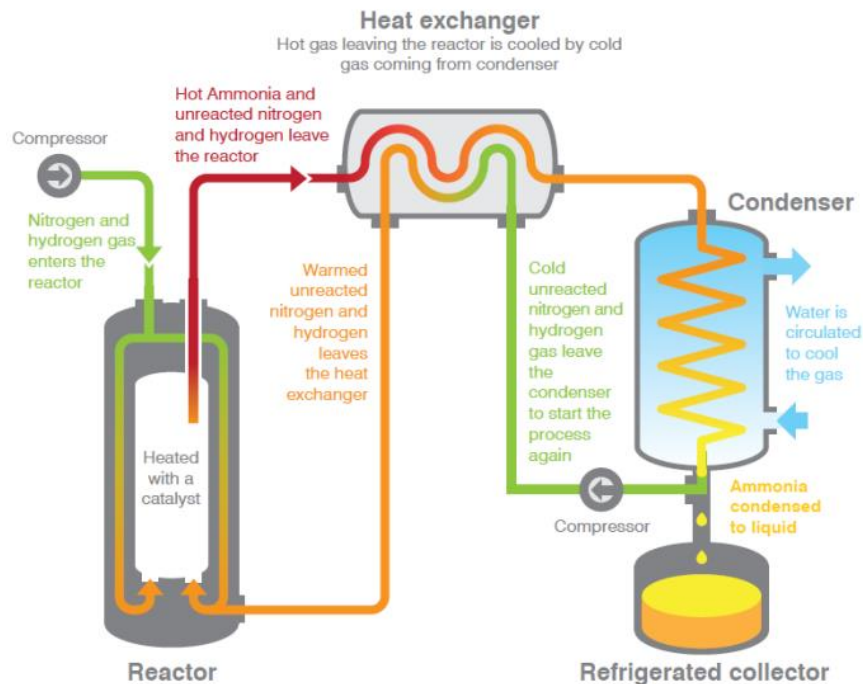
3.5.1 Produksjon

Ammoniakk kan deles inn i fire kategorier; grå, blå, grønn og brun. Det er fremstillingen av hydrogenet som avgjør hvilken kategori ammoniakken får, se 3.4.1 *Produksjon*. Brun ammoniakk produseres med hydrogen fremstilt fra gassifisering av kull eller partiell oksidasjon. Av verdens totale ammoniakkproduksjon bruker 70% grått hydrogen og de resterende 30% benytter brunt. Per 2020 finnes det ikke produksjon av blå og grønn ammoniakk [29].

I hovedsak er det Haber-Bosch prosessen som brukes for ammoniakkfremstilling, og dersom denne prosessen bruker grønt hydrogen og fornybar elektrisitet vil det ikke forekomme utslipp av CO_2 [30]. Haber-Bosch prosessen fremstiller ammoniakk gjennom en kjemisk reaksjon mellom hydrogen og nitrogen ved 350-600 °C og 150-300 atm. For å oppnå tilstrekkelig reaksjonsfart benyttes det en jernbasert katalysator. Reaksjonslikningen for Haber-Bosch prosessen er



og dette er en eksoterm prosess som produserer energi [31].



Figur 6 - Forenklet illustrasjon av Haber-Bosch prosessen [29].

3.5.2 Distribusjon og lagring

Produksjonsanlegg og bunkringsterminaler lagrer ofte store volum av flytende ammoniakk ved metningstemperatur (-33 °C) og lavt trykk (1 atm). Dersom ammoniakk lagres under disse forholdene, må den kontinuerlig nedkjøles ved hjelp av kompressorer og varmevekslere. Store tanker som benyttes for lagring har en sikkerhetsbarriere som skal begrense skaden ved lekkasjer [29]. Fordelen med ammoniakk som energibærer er at det kan lagres flytende i standard ståltanker som allerede brukes for *liquified petroleum gas* (LPG). Dette gjør lagring og distribusjon av ammoniakk relativt enkelt sammenlignet med hydrogen [32]. Ammoniakk kan lagres vannfri eller i en vannløsning. Dersom den lagres vannfri, øker sannsynligheten for spenningskorrosjon, og det stilles høyere krav til materialvalg [33].

Ammoniakk kan distribueres med skip, tankbil, tog og rørledninger. Dersom store mengder skal transporteres, er det skipstransport som er mest aktuelt. I motsetning til flytende hydrogen er infrastrukturen for skipstransport av ammoniakk godt etablert. Skipene transporterer ammoniakk i flytende form ved tre ulike omstendigheter; trykksatt, semi-nedkjølt og nedkjølt, der den sistnevnte er den mest anvendte [29].

Tankbiltransport kan benyttes ved lavere volum av ammoniakk, men utkonkurreres av skipstransport ved økende volum. Transport med tankbil kan derimot være et godt alternativ for pilotprosjekt med ammoniakkdrevne fartøy [29].

3.5.3 Bunkring av ammoniakk

Det finnes ikke anlegg for bunkring av ammoniakk som marint drivstoff, men det forventes å kunne anvende prosedyrene for bunkring av LNG. Krav til dimensjonering for temperatur og trykk er lavere, men det må tas hensyn til sikkerheten rundt giftigheten til ammoniakk. Dersom fylleraten til LNG benyttes, vil ammoniakk kunne bunkres med $40 \text{ m}^3/\text{min}$. Tettheten til LNG ved -161 °C er 426 kg/m^3 [34]. Dette gir en bunkringsrate på 284 kg/min som er $3,52 \text{ min/tonn}$. Det forventes også at tidsbruken for bunkringsprosedyrene er tilsvarende lik som for LNG, der klargjøring er på 40 minutter og frakobling er på 35 minutter [35].

3.5.4 Sikkerhet

Sikkerhetsreguleringer relatert til bruk av ammoniakk som drivstoff ombord i skip er ikke utarbeidet og må derfor etableres. Sammenlignet med hydrogen som har et bredt antennesområde, varierer dette mellom 15-28% for ammoniakk. Ammoniakk er mindre brennbart og har en lavere eksplosjonsrisiko sammenlignet med metan og hydrogen, men på grunn av giftigheten blir det sett på som nødvendig å kontrollere all lekkasje for å opprettholde sikkerheten ombord. Det er derfor viktig at alle sikkerhetshull blir dekket før det blir vurdert som et marint drivstoff. Ifølge DNV GL kan store deler av sikkerhetsreguleringene for LNG bli benyttet når det utarbeides sikkerhetskrav for ammoniakk [36].

Dersom ammoniakk lagres vannfri (*anhydrous ammonia*), øker risikoen ved lekkasje. Vannfri ammoniakk er en hygroskopisk forbindelse, som betyr at den søker vann fra omgivelsene. Dette medfører at øynene, huden og lungene er utsatt ved eksponering på grunn av høyt fuktinnhold [36]. Helsefarer ved eksponering kan være kvelning, etsende forbrenning, bevisstløshet, kramper og alvorlige lungeskader [37].

3.6 Brenselceller

Brenselceller er en galvanisk celle som gjør om kjemisk energi til elektrisk energi gjennom elektrokjemiske reaksjoner. I motsetning til et batteri trenger brenselcellen kontinuerlig tilførsel av reaktanter [38]. Det finnes primært fem typer brenselceller med ulike elektrolytter som igjen blir delt inn i tre ulike temperaturkategorier; lav, middels og høy. Temperaturene er henholdsvis under 100 °C, over 100 °C og over 500 °C [13]. Brenselcelleteknologiene som blir fokusert på i denne rapporten er PEMFC og SOFC.

3.6.1 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

PEMFC er en lavtemperatur brenselcelle som har en fast polymer membran som elektrolytt og er i dag den mest brukte og kommersielt tilgjengelige på markedet. Den kan oppnå en høy strømtetthet, er kompakt og har både rask oppstarts- og responstid som gjør den egnet til bruk i mobile applikasjoner. I motsetning til AFC har PEMFC behov for katalysator av edelmetall, noe som gir en høy CAPEX. Katalysatoren er utsatt for forgiftning av svovel og karbonmonoksid, og trenger derfor hydrogen av høy renhetsgrad. I fremtiden er det estimert at produksjonskostnadene kan komme på nivå med en tradisjonell forbrenningsmotor på rundt 30 USD/ kW_{el} [13].

3.6.2 Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

SOFC er en høytemperatur brenselcelle som opereres ved temperaturer mellom 500-1000° C [13] og er karakterisert ved at den bruker en fast keramisk elektrolytt [39]. Brenselcellen har lang oppstartstid på grunn av driftstemperaturen, som igjen medfører at materialene må være motstandsdyktige mot temperaturpåkjenning. Driftstemperaturen gjør derimot at behovet for en ekstern reformator elimineres, og øker mulighetene for ulike drivstofftyper. I tillegg er den tolerant mot både CO og svovel, og blir sett på som den mest lovende brenselcellen etter PEMFC [13].

3.7 Transport og infrastruktur

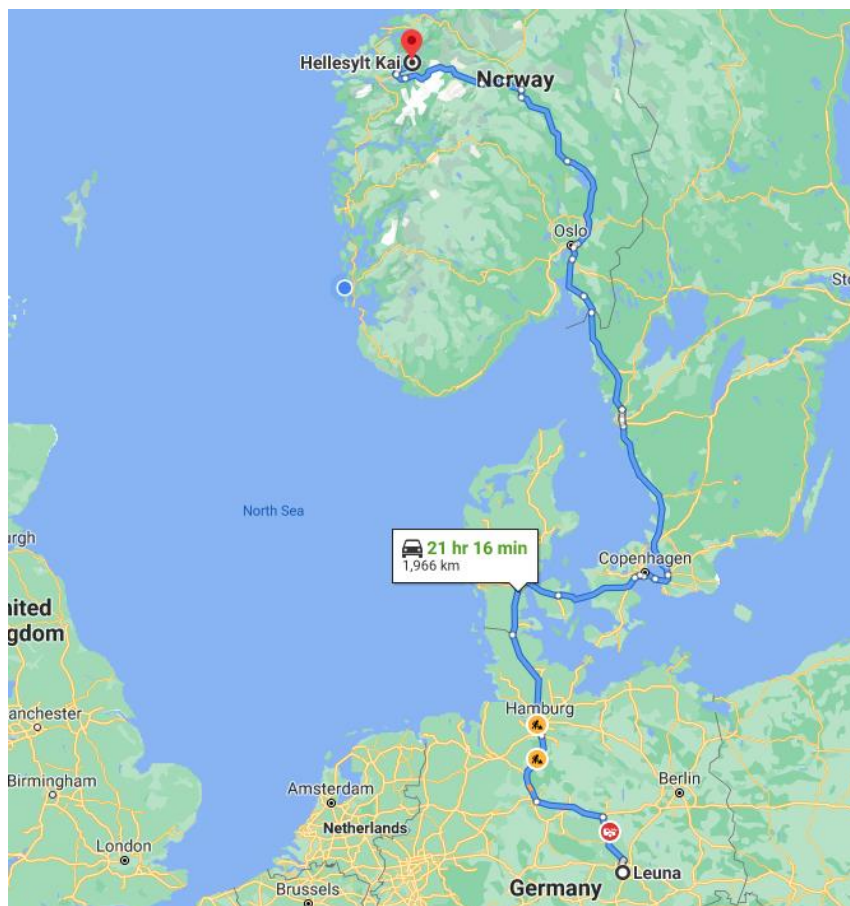
I denne seksjonen blir transport og infrastruktur for flytende hydrogen og flytende ammoniakk analysert.

3.7.1 Flytende hydrogen

Norge har per mars 2021 ingen anlegg for flytendegjøring av hydrogen [22]. Dersom det skal brukes flytende hydrogen som energibærer på slepebåten, må dette transporteres fra utlandet.

Linde er en av de mest aktuelle produsentene for flytendegjøring og distribuering av flytende hydrogen. Anlegget i Leuna, Tyskland er estimert til å bli det største anlegget for grønt hydrogen med utvidelsen av en 24 MW PEM-elektrolyser, med planlagt ferdigstilling andre halvdel 2022 [40].

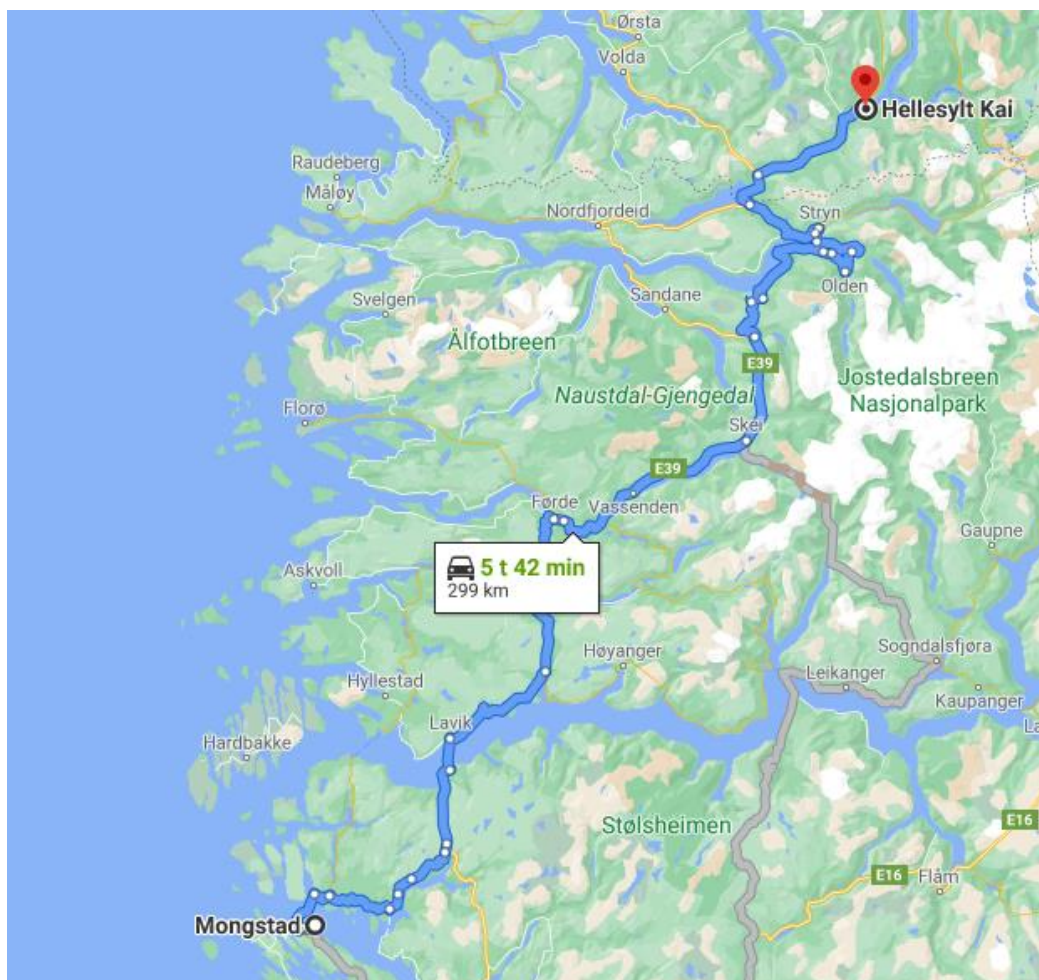
Ved distribusjon av flytende hydrogen på tankbil kan man oppnå en total frakt på rundt 3500 kg, for distanser opp mot 4000 km [13]. Den totale distansen fra Leuna til Hellesylt er 1966 km. Det er nødvendig med 129 tankbiler fra Leuna dersom dette velges som distribusjonsmetode.



Figur 7 – Transportrute fra Leuna – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.

I en rapport fra OHC blir det sett på muligheten for infrastruktur i Norge for leveranse av flytende hydrogen til den maritime sektoren. Det estimeres at allerede planlagte produksjonsanlegg for flytende hydrogen vil være grunnlaget for fremtidig forespørsel av flytende hydrogen [22].

Prosjektet Aurora skal supplere flytende hydrogen til fartøy som opereres mellom Mongstad og Stavanger fra 2024. Den gunstige plasseringen og muligheten for oppskalering, fører til at anlegget er en fremtidig kandidat for produksjon og leveranse til sluttbrukere sør for Trondheim [22]. Reglementet for nullutslipp i verdensarvfjordene skal iverksettes fra 2026 [1], og anlegget vil derfor være ferdigstilt i passende tid. Dersom dette skal transporteres med tankbil fra Mongstad til Hellesylt vil den totale distansen, inkludert to ferjer, bli 299 km. Dette er en reduksjon i transportdistanse på 84,8% sammenlignet med transport fra Leuna.

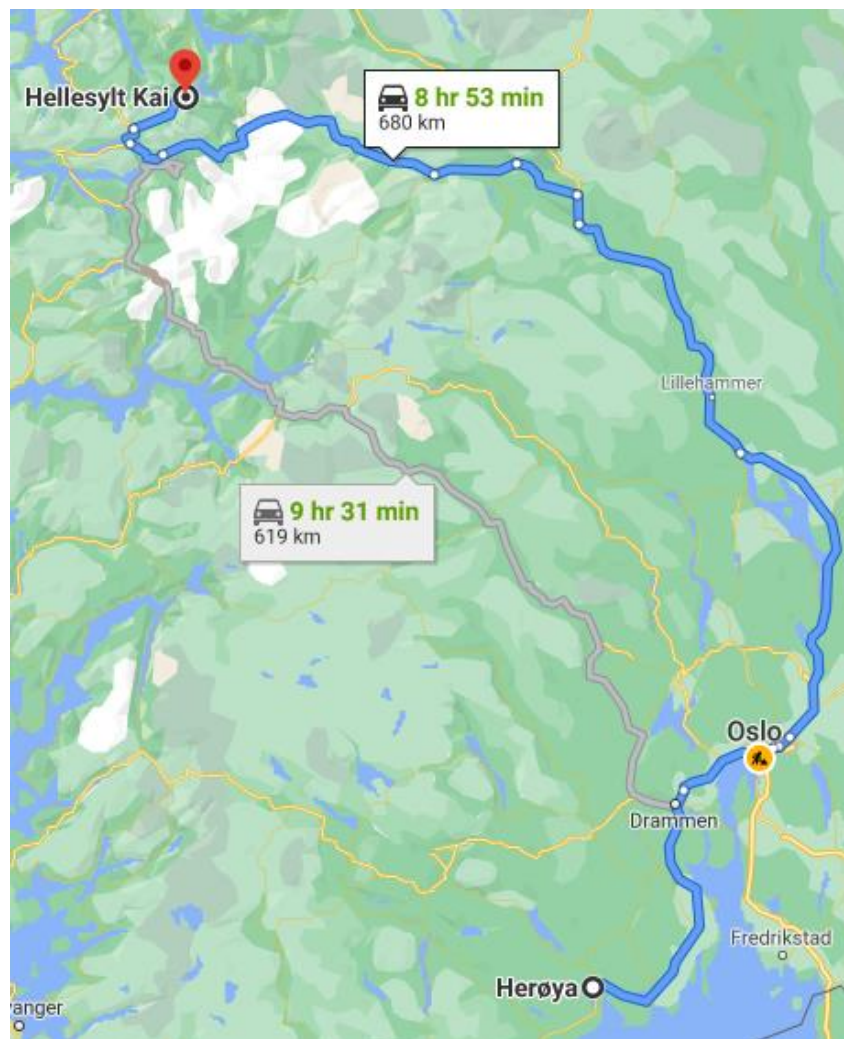


Figur 8 – Transportrute fra Mongstad – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.

3.7.2 Ammoniakk

I motsetning til flytende hydrogen, finnes det anlegg for ammoniakkproduksjon i Norge. Yara Porsgrunn produserer ammoniakk og har en kapasitet på 530 000 tonn/år [28].

Dersom ammoniakk transporteres med tankbil, er det vanlig med kapasitet på 40-60 m^3 [29]. Videre i beregningene blir det tatt utgangspunkt i en middelvei på 50 m^3 , som tilsvarer 34 067 kg dersom ammoniakk lagres ved metningstemperatur og atmosfærisk trykk. Figur 9 viser ruten mellom Herøya og Hellesylt, som har en distanse på 680 km.



Figur 9 - Transportrute fra Herøya – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.

I større volum fraktes ammoniakk vanligvis fullt nedkjølt med skip, der det kan oppnås fraktvolum på 38 000 m^3 [29].

3.8 Utslipp

Utslippsberegningene tar for seg de ulike segmentene; utslipp fra cruiseskip, tankbiltransport, produksjon av flytende hydrogen og flytende ammoniakk.

3.8.1 Cruiseskip

For å gi en oversikt over totale CO_2 -utslipp fra cruiseskip i Geirangerfjorden, brukes Carnival Legend som representerer et gjennomsnittlig cruiseskip. Carnival Legend er utstyrt med Wärtsilä 9L46 [41] som kan kjøres på både *Heavy Fuel Oil* (HFO) og *Marine Diesel Oil* (MDO) [42]. I beregningene blir utslippsfaktor for MDO benyttet, ettersom sjøfartsdirektoratet meldte i 2016 at kun 12% av cruiseskipene opererte på HFO inne i verdensarvfjordene [43].

3.8.2 Produksjon

Produksjonsutslippene blir beregnet ved å se på energiforbruket for de ulike leddene, og kraftmiksen for den aktuelle lokasjonen benyttes videre for å gi et overslag over CO_2 -utslippene. For 2019 var Tysklands og Norges gjennomsnittsverdi henholdsvis 338 [44] og 17 g CO_2 /kWh [22]. NO_x -utslipp fra produksjon av elektrisitet i Tyskland blir neglisjert i oppgaven.

Flytende hydrogen

Den planlagte produksjonen av flytende hydrogen fra anlegget i Leuna skal benytte en PEM-elektrolysør [40]. Elektrolysørene skal produseres og leveres av ITM Power [45], med et energiforbruk på 49-56 kWh/kg hydrogen [46]. Videre i beregningene benyttes 56 kWh/kg. Det kreves også energi for flytendegjøring, og denne oppgis til å være 10,3 kWh/kg hydrogen ved Leuna [47].

I fremtiden kan det bli aktuelt å få levert flytende hydrogen fra det planlagte hydrogenanlegget på Mongstad, som skal ha en produksjonskapasitet på 6 tonn/dag. Dette prosjektet har fått navnet Aurora og er et samarbeid mellom BKK, Air Liquide og Equinor [48]. Videre i oppgaven blir det benyttet samme teknologi for elektrolysør og flytendegjøring som ved Leuna.

Flytende ammoniakk

Den største andelen av ammoniakk produseres fra Haber-Bosch metoden der hydrogenet fremstilles fra dampreforming av naturgass [29]. Yara benytter denne metoden for å fremstille hydrogen, men har inngått et samarbeid med NEL om å gå over til alkalisk elektrolyse [49]. Videre i oppgaven blir det gjort beregninger på ammoniakk fremstilt gjennom en Haber-Bosch prosess, der hydrogenet fremstilles med alkalisk elektrolyse. Dette gir et kombinert energibehov på 9,5 kWh/kg [50].

3.8.3 Distribusjon

Distribusjonsutslippene blir beregnet ved hjelp av en utslippsfaktor for tankbiltransport. For transport med tankbil blir det tatt utgangspunkt i utslippstall fra Statistisk sentralbyrå (SSB). Kjøremonstret blir definert som "fri flyt" med gjennomsnittsfart på 80 km/t, med utslippsfaktor på 802,58 g CO_2 /km og 3,19 g NO_x /km [51].

3.9 Kostnader

For å gi en oversikt over kostnadene til hydrogen og ammoniakk blir det sett på produksjon fra elektrolyse, sammen med flytendegjøring eller Haber-Bosch prosess. Distribusjonskostnadene blir beregnet for tankbiltransport.

3.9.1 Produksjonskostnader

Kostnadene for produksjon er avhengig av fremstillingsmetoden, der den mest økonomiske og brukte metoden er dampreforming av naturgass [52]. I 2019 ble 96% av alt hydrogen fremstilt fra fossile drivstoff. Hydrogen kan også fremstilles ved elektrolyse av vann, men denne metoden har vært mindre utbredt tidligere på grunn av høyere kostnader [53]. På grunn høyt CO_2 avtrykk med dampreforming og et stadig økende antall prosjekter som krever nullutslipp, blir det videre sett på produksjon av hydrogen med elektrolyse.

Kostnadene for produksjon blir beregnet fra energiforbruket til gitt elektrolyse, og deretter energibehovet til flytendegjøringssystemet eller Haber-Bosch prosessen. Beregningene tar utgangspunkt i industriprisen for elektrisitet i 2019, der gjennomsnittsprisen for Tyskland og Norge var henholdsvis 0,1144 og 0,0411 GBP/kWh [54]. Gjennomsnittlig valutakurs for GBP i NOK i 2019 var 11,228 [55]. Dette gir henholdsvis en pris på 128,4 og 46,1 øre/kWh.

3.9.2 Distribusjonskostnader

Distribusjonskostnadene blir beregnet med en kostnadsmodell fra Transportøkonomisk Institutt (TØI) for veitransport. Modellen inneholder informasjon om tids-, distanse-, og terminalkostnader som vist i tabell 3 [56].

- **Tidskostnadene** innebærer lønn, kapitalkostnader, årsavgift, forsikring og administrasjon.
- **Distansekostnadene** er basert på vedlikehold, drivstoff, vask, rekvisita og dekk.
- **Terminalkostnadene (laste- og lossekostnader)** er summen av kostnadene knyttet til bemanning og utstyr for lasting/lossing, og tidskostnadene for tiden det tar å laste/losse.

		Kostnader tankbil	Enhet
Tidskostnader		549	kr /time
Distansekostnader		6,93	kr /km
Laste- og lossekostnader	Kostnader per tonn	11	kr /tonn
	Kostnader per forsendelse	136	kr

Tabell 3 - Kostnadselementer for transport med tankbil [56].

3.10 Tidligere arbeid

Fra en tidligere rapport i emnet «MAS307-1 20H Hydrogenteknologi» ble det sett på to nullutslipps hurtigfartøy med ulik størrelse, The Redrock Ferry Project og Aero 42, hvor fartøyene henholdsvis var 25 og 42 meter lange. Videre i oppgaven skal hydrogenbehov, kostnad og utslipp sammenlignes med den sistnevnte fergen som bruker komprimert hydrogen (CGH_2) som drivstoff.

I den tidligere rapporten skulle 1000 passasjerer fraktes fra Ålesund. Denne oppgaven skal sammenligne transport av 2501 passasjerer med hurtigferge, som er gjennomsnittlig kapasitet på cruiseskipene som ankommer Geiranger i 2021, mot nullutslipps slepebåt [57]. Aero 42 har en passasjerkapasitet på 275, som gir et behov for ti hurtigferger per cruiseskip dersom alle skal fraktes samtidig. Et anløp med Aero 42 fra Ålesund til Geiranger ved 30 knop vil ha en tid på omtrent 3,5 timer og et hydrogenbehov på 406 kg. Det totale hydrogenbehovet med 192 anløp per sesong vil bli 779 520 kg.

Kostnadsmodellen som estimerer prisen på hydrogenet som benyttes i «Hydrogenbehov i Verdensarvfjordene» skal ikke anvendes. Kostnadene vil bli beregnet på nytt i denne oppgaven ut ifra det tidligere estimerte hydrogenbehovet.

4. Resultat

Utregningene tar utgangspunkt i en rapport utarbeidet av DNV GL, *Effekt av hastighetsreduksjon for cruiseskip i verdensarvfjordene*, som tar for seg drivstofforbruket til fartøy ved ulike størrelses- og hastighetssegmenter [4]. Ettersom alle motorene som blir benyttet videre i oppgaven kan bruke MDO som drivstoff [42] [58], antas det videre at både cruiseskip og AHTS benytter MDO i Geirangerfjorden.

Det vil bli utført beregninger for tre ulike skipsstørrelser; 5 000-9 999, 50 000-99 999 og over 100 000 BT som henholdsvis er ankerhåndteringsskipet, et gjennomsnittlig cruiseskip og de største ankommende cruiseskipene. I beregningene vil det inkluderes et slepstap, η_{slep} , på 10% ved en slepshastighet på 6 knop [7].

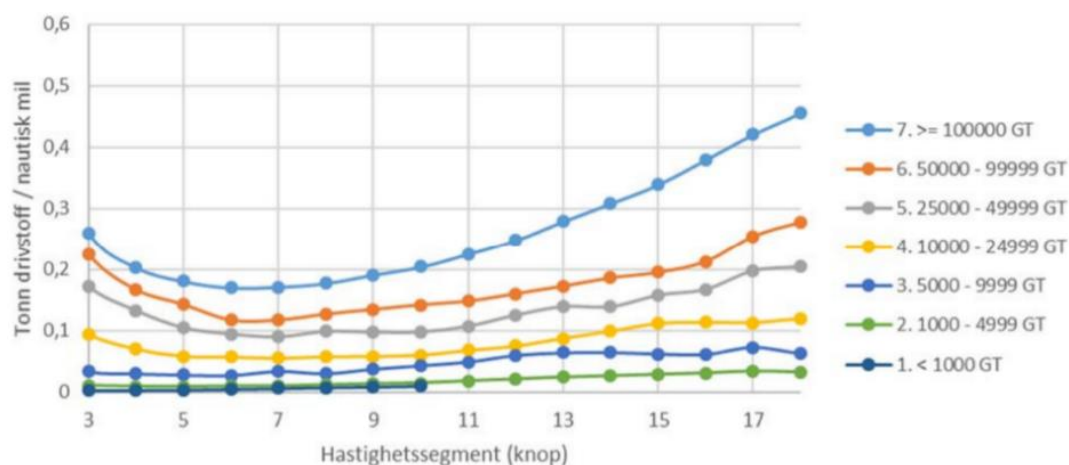
Energibehovet som beregnes er kun for fremdrift, ekskludert hotelldrift. Rutene som brukes i beregningene forklares i figur 3.

4.1 Installert effekt

For å beregne installert effekt blir det sett på nødvendig energibehov for rute B-C-B, hvor slepebåten krever mest energi. Det blir derfor gjort beregninger på drivstofforbruk på cruiseskip over 100 000 BT for å kunne sikre nødvendig installert effekt på slepebåten. I tillegg skal PEMFC-modulene på ankerhåndteringsskipet opereres ved 50% last, se 4.2.2 *virkningsgrader for hydrogenbasert fremdriftssystem*.

4.1.1 Drivstofforbruk

Drivstofforbruket blir estimert ut ifra figur 10.



Figur 10 - Drivstofforbruk ved ulike størrelses- og hastighetssegmenter [4].

Tabell 4 viser avleste verdier for drivstofforbruk fra figur 10 for videre beregning av installert effekt og lagringskapasitet om bord.

Hastighet [knop]	Drivstofforbruk X [tonn/nm]	Størrelsesintervall [BT]	Rute	Fartøy
6	0,03	5 000 – 9 999	B – C – B	Normand Ferking
6	0,18	> 100 000	B – C – B	Costa Diadema

Tabell 4 – Drivstofforbruk for beregning av installert effekt.

4.1.2 Virkningsgrader

I rapporten beregnes energibehovet med virkningsgrader for fremdriftssystemene om bord i Normand Ferking, Costa Diadema og Carnival Legend. Førstnevnte har mekanisk fremdriftssystem ved slep [11], mens de to sistnevnte har dieselelektrisk fremdriftssystem [57] [41].

For å beregne total virkningsgrad for fremdriftssystemene, beregnes drivstoffeffektiviteten til dieselmotorene på Normand Ferking, Costa Diadema og Carnival Legend. Fartøyene er henholdsvis utstyrt med Wärtsilä 8L32 [57], Wärtsilä 12V46 [69] og Wärtsilä 9L46 [41].

Drivstoffeffektiviteten er gitt ved

$$\eta = \left(\frac{3600}{LHV * SFOC} \right) * 100,$$

Formel 1 - Drivstoffeffektivitet [59].

hvor LHV er *lower heating value* og SFOC er *specific fuel-oil consumption*. LHV for marin dieseloilje (MDO) er 42,6 MJ/kg [59]. SFOC for Wärtsilä 12V46, 9L46 og 8L32 er henholdsvis 175, 176 [42] og 178,8 g/kWh [58] ved ISO betingelser. Virkningsgradene blir henholdsvis **48,3%**, **48%** og **47,3%**.

Virkningsgrader for et dieselelektrisk fremdriftssystem

Tabell 5 viser virkningsgradene som blir tatt hensyn til i et elektrisk fremdriftssystem med dieselmotor [60].

Komponent	Virkningsgrad, η	Kilde
Dieselmotor (Wärtsilä 12V46/ Wärtsilä 9L46)	0,483/0,48	
Elektrisk generator	0,97	[60]
Sentralbord	0,999	[60]
Transformator	0,997	[60]
Frekvensomformer	0,97	[60]
Elektrisk motor	0,97	[60]
Aksling	0,99	[60]
Propell	0,65	[61]
Total, $\eta_{\text{Dieselelektrisk}}$	0,283/0,281	

Tabell 5 - Virkningsgrader for et dieselelektrisk fremdriftssystem.

Virkningsgrader for et mekanisk fremdriftssystem

Tabell 6 viser virkningsgradene som blir tatt hensyn til i et mekanisk fremdriftssystem med dieselmotor [60].

Komponent	Virkningsgrad, η	Kilde
Dieselmotor (Wärtsilä 8L32)	0,473	
Aksling	0,99	[60]
Girboks	0,98	[60]
Propell	0,65	[60]
Total, η_{Mekanisk}	0,298	

Tabell 6 - Virkningsgrader for et mekanisk fremdriftssystem.

Virkningsgrader for et hydrogenbasert fremdriftssystem

Tabell 7 viser virkningsgradene som blir tatt hensyn til i et hydrogenbasert fremdriftssystem [62].

Komponent	Virkningsgrad, η	Kilde
PEMFC	0,525	[24]
DC/DC omformer	0,98	[62]
Sentralbord	0,98	[62]
DC/AC omformer	0,98	[62]
VFD	0,97	[62]
Elektrisk motor	0,98	[62]
Propell	0,65	[61]
Total, $\eta_{Hydrogenbasert}$	0,305	

Tabell 7 - Virkningsgrader for et hydrogenbasert fremdriftssystem.

Virkningsgraden for PEMFC som brukes i oppgaven er 0,525. Denne er gitt ved 50% lastfaktor og lavere brennverdi til hydrogen [24].

4.1.3 Energi- og effektbehov for rute B-C-B

Energibehovet er gitt ved

$$E = X * s * \eta_{Fremdrift} * LHV_{MDO},$$

Formel 2 - Energibehov.

hvor X er drivstofforbruk/nautiske mil, s er distansen i nautiske mil, $\eta_{Fremdrift}$ er total virkningsgrad for fremdriftssystem og LHV_{MDO} er *lower heating value* for MDO.

Energibehov på propell for Normand Ferking rute B - C - B blir

$$E_1 = 0,03 \frac{\text{tonn}}{\text{nm}} * 34,88 \text{ nm} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} * 0,298 * 42,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 13\,284 \text{ MJ}.$$

Energibehov på propell for Costa Diadema rute B - C - B blir

$$E_2 = 0,18 \frac{\text{tonn}}{\text{nm}} * 34,88 \text{ nm} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} * 0,283 * 42,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 75\,961 \text{ MJ}.$$

Totalt energibehov på propell, inkludert slepstep, blir

$$E_{Tot} = \frac{E_1 + E_2}{\eta_{Step}} = \frac{13\,284\,MJ + 75\,961\,MJ}{0,9} = 99\,161\,MJ.$$

Ut ifra beregningene for energibehov på propell kan effekten kalkuleres ved å se på energibehovet over tidsperioden, der tapene i et hydrogenbasert fremdriftssystem inkluderes. Rute B-C-B vil ha en tidsbruk på 5 timer og 49 minutter ved hastighet på 6 knop.

Effekt er gitt ved

$$P = \frac{E}{t},$$

Formel 3 - Effekt.

hvor E er energibehovet og t er tidsbruken.

Installert effekt blir

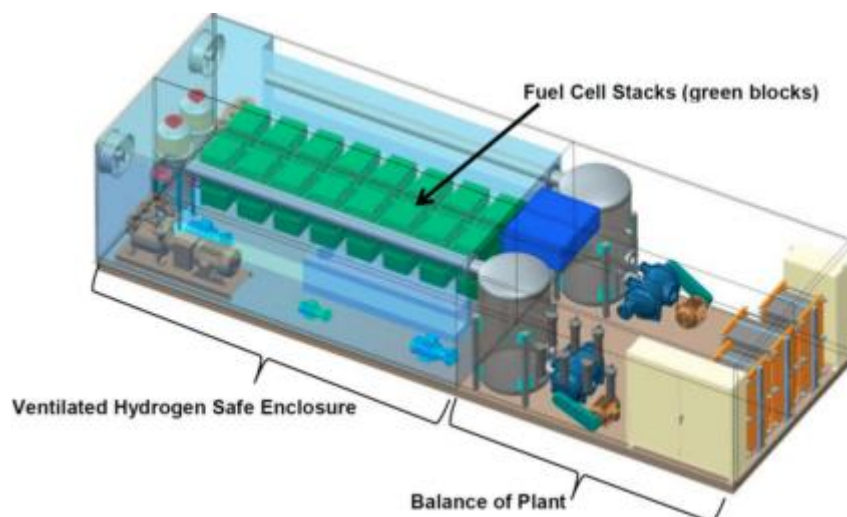
$$P_i = \frac{E_{Tot}}{t * \eta_{Hydrogenbasert}} = \frac{99\,161\,MJ}{5,81\,h * 3600 \frac{S}{h} * 0,305} = 15,5\,MW.$$

Brenselcellemodulene skal opereres ved 50% last, og nødvendig installert effekt vil derfor dobles til 31 MW. Til sammenligning er Normand Ferking utstyrt med fire dieselmotorer som har en total installert effekt på 15,2 MW [10].

4.1.4 Kontainersystem fra ABB

ABB og Ballard har utviklet et komplett kontainersystem som inkluderer brenselceller, filter, kjøling og kontrollsystem. Lengden, bredden og høyden på anlegget er henholdsvis $12,0\,m * 3,6\,m * 2,4\,m$, som gir et areal på $43,2\,m^2$. Anlegget kan ved behov oppskaleres til 3,2 MW [15].

Basert på utregningene på installert effekt, er det nødvendig med ti kontainersystem for å dekke effektbehovet. Den installerte effekten vil være 32 MW etter oppskalering. Det totale arealet til kontainersystemene vil være $432\,m^2$. Dette vil utgjøre 58% av dekkkapasiteten til Normand Ferking.



Figur 11 – 3 MW kontainersystem fra ABB. [15].

4.2 Flytende hydrogen

I denne seksjonen blir flytende hydrogen vurdert som energibærer. Det blir sett på hydrogenbehov, nødvendig lagringsplass og infrastruktur.

For å kunne gi et estimat av totalt hydrogenbehov per sesong, blir det beregnet et nytt energibehov for et gjennomsnittlig cruiseskip på 84 601 BT på ruten B-C-B. Det gjennomsnittlige cruiseskipet representeres av Carnival Legend med en bruttotonnasje på 88 500 BT [63].

4.2.1 Energibehov

Energibehovet for en hel rundtur beregnes med to segmenter; rute A-B-A for Normand Ferking og B-C-B for både Normand Ferking og Carnival Legend, se 3.1 Rutebeskrivelse og slepefartøyet. Drivstofforbruket som benyttes i energiberegningene er beskrevet i tabell 8.

Hastighet [knop]	Drivstofforbruk X [tonn/nm]	Størrelsesintervall [BT]	Rute	Fartøy
11	0,045	5 000 – 9 999	A – B – A	Normand Ferking
6	0,03	5 000- 9 999	B – C – B	Normand Ferking
6	0,125	50 000 – 99 999	B – C – B	Carnival Legend

Tabell 8 - Drivstofforbruk for beregning av energibehov per sesong.

Ved å benytte formel 2 blir energibehovet på propell for Normand Ferking på rute A-B-A

$$E_3 = 0,045 \frac{\text{tonn}}{\text{nm}} * 23,1 \text{ nm} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} * 0,298 * 42,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 13\,196 \text{ MJ}.$$

Ved å benytte formel 2 blir energibehovet på propell for Carnival Legend på rute B-C-B

$$E_4 = 0,125 \frac{\text{tonn}}{\text{nm}} * 34,88 \text{ nm} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} * 0,281 * 42,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 52\,192 \text{ MJ}.$$

Totalt energibehov for hele rundturen, inkludert slepstep, blir

$$E_{Tot_2} = E_3 + \frac{E_1 + E_4}{\eta_{Slep}} = 13\,196 + \frac{(13\,284 + 52\,192) \text{ MJ}}{0,9} = 85\,947 \text{ MJ}$$

4.2.2 Hydrogenbehov

I denne seksjonen vil hydrogenbehovet per sesong beregnes ut ifra totalt energibehov for gjennomsnittlig cruisestørrelse.

Drivstoffbehovet er gitt ved

$$D = \frac{E_{Tot_2}}{LHV * \eta_{Tot}},$$

Formel 4 - Drivstoffbehov.

hvor E_{Tot_2} er energibehovet, LHV er lower heating value og η_{Tot} er total virkningsgrad for fremdriftssystem.

Hydrogenbehovet per rundtur blir

$$D_1 = \frac{E_{Tot_2}}{LHV_{LH_2} * \eta_{TotLH_2}} = \frac{85\,947 \text{ MJ}}{120 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,305} = 2348 \frac{\text{kg}}{\text{rundtur}}.$$

Hydrogenbehov per rundtur og anløp per sesong er henholdsvis 2348 kg og 192.

Totalt hydrogenbehov for en hel sesong blir

$$LH_{2Tot} = 2348 \frac{\text{kg}}{\text{rundtur}} * 192 \text{ anløp} = 450\,816 \frac{\text{kg}}{\text{sesong}}.$$

4.2.3 Lagring

Beregningene for lagringsvolumet i denne seksjonen tar utgangspunkt i Costa Diadema, som er i størrelseskategorien over 100 000 BT. Dette blir utført for å sikre nødvendig lagringskapasitet for å slepe de største skipene som ankommer Geirangerfjorden. Lagringsvolumet er kun volumet som drivstoffet opptar, og tar ikke hensyn til tankens struktur.

Ved å benytte formel 4 blir hydrogenbehovet

$$D_2 = \frac{E_{Tot} + E_3}{LHV_{LH_2} * \eta_{Hydrogenbasert}} = \frac{(99\,161 + 13\,284) \text{ MJ}}{120 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,305} = 3072 \frac{\text{kg}}{\text{anløp}}$$

Volumet er gitt ved

$$V = \frac{m}{\rho},$$

Formel 5 - Volum.

hvor m er masse og ρ er massetetthet.

Ved en temperatur på $-252,87 \text{ }^\circ\text{C}$ og et trykk på $1,013 \text{ bar}$ har flytende hydrogen en tetthet på omtrent 71 kg/m^3 [64].

Lagringsvolumet blir

$$V_{LH_2} = \frac{m_{H_2}}{\rho_{LH_2}} = \frac{3072 \text{ kg}}{71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 43,27 \text{ m}^3.$$

4.2.4 Bunkring

Den planlagte lokasjonen for bunkring av flytende hydrogen er i Hellesylt. Nødvendig bunkringsmengde som har blitt beregnet for et slep er 3072 kg hydrogen.

Tidsbruken for bunkring er gitt ved

$$t_{bunkring} = \text{klargjøringsprosedyre} + \text{fyllerate} * D + \text{frakoblingsprosedyre},$$

Formel 6 - Tidsbruk for bunkring [24].

hvor *klargjøringsprosedyre* er tiden som nødvendig for å klargjøre utstyret, *fyllerate* er drivstoff bunkret/tid, *D* er drivstoffbehov for et anløp og *frakoblingsprosedyre* er tiden som er nødvendig for å kunne frakoble utstyret.

Tidsbruken for bunkring av flytende hydrogen for et slep blir

$$t_{bunkring_{LH_2}} = 40 \text{ min} + 30 \frac{\text{min}}{\text{tonn } LH_2} * 3,072 \text{ tonn } LH_2 + 30 \text{ min} \approx 2 \text{ timer og } 42 \text{ min.}$$

Det planlegges for bunkring om natten slik at slepebåten har fulle hydrogentanker kommende dag.

4.3 Flytende ammoniakk

I denne seksjonen blir flytende ammoniakk (NH_3) vurdert som energibærer. Det blir beregnet ammoniakkbehov, nødvendig lagringsplass og infrastruktur. Flytende ammoniakk kan brukes direkte i en forbrenningsmotor eller i en brenselcelle. Dersom ammoniakk forbrennes i en motor vil det oppstå utslipp av NO_x , men dette utslippet forekommer ikke ved direkte bruk i en SOFC [65].

4.3.1 Ammoniakkbehov

Ammoniakkbehovet per sesong blir beregnet med formel 4, med samme energibehov som ble beregnet i kapittel 4.2.1 *Energibehov*. Det blir brukt en ny total virkningsgrad for brenselcellesystemet der η_{PEMFC} blir erstattet med η_{SOFC} . Virkningsgraden tar utgangspunkt i direkte bruk av ammoniakk i SOFC, som er 0,521 [66]. Den nye totale virkningsgraden, $\eta_{Hydrogenbasert_2}$, blir 0,303. LHV for flytende ammoniakk er $18,65 \frac{MJ}{kg}$ [67].

Ved å benytte formel 4 blir ammoniakkbehovet

$$D_3 = \frac{E_{Tot_2}}{LHV_{NH_3} * \eta_{Tot_{NH_3}}} = \frac{85\,947 \text{ MJ}}{18,65 \frac{MJ}{kg} * 0,303} = 15\,209 \frac{kg}{anløp}$$

Ammoniakkbehov per rundtur og anløp per sesong er henholdsvis 15 282 kg og 192. Totalt ammoniakkbehov for en hel sesong blir

$$NH_{3_{Tot}} = 15\,209 \frac{kg}{rundtur} * 192 \text{ anløp} = 2\,920\,128 \frac{kg}{sesong}$$

4.3.2 Lagring

I denne seksjonen blir nødvendig lagringsvolum for flytende ammoniakk beregnet ut ifra et ammoniakkbehov for en hel rundtur ved slep av Costa Diadema.

Ved å benytte formel 4 blir ammoniakkbehovet

$$D_4 = \frac{E_3 + E_{Tot}}{LHV_{NH_3} * \eta_{Hydrogenbasert_2}} = \frac{(13\,196 + 99\,161) \text{ MJ}}{18,65 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,303} = 19\,883 \frac{\text{kg}}{\text{anløp}}.$$

Ved store volum lagres flytende ammoniakk vanligvis ved metningstemperatur $-33\text{ }^\circ\text{C}$ under atmosfærisk trykk [68]. Tettheten på flytende ammoniakk ved disse betingelsene er $681,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ [69].

Ved å benytte formel 5 blir lagringsvolumet for flytende ammoniakk

$$V_{NH_3} = \frac{m_{NH_3}}{\rho_{NH_3}} = \frac{19\,883 \text{ kg}}{681,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 29,16 \text{ m}^3$$

Nødvendig lagringsplass reduseres med 32,6% dersom flytende ammoniakk benyttes som lagringsmedium sammenlignet med flytende hydrogen.

4.3.3 Bunkring

Nødvendig bunkringsmengde for slep av Costa Diadema er 19 883 kg flytende ammoniakk.

Ved å benytteformel 6 blir tidsbruken for bunkring av flytende ammoniakk

$$t_{bunkring_A} = 40 \text{ min} + 3,52 \frac{\text{min}}{\text{tonn } NH_3} * 19,883 \text{ tonn } NH_3 + 35 \text{ min} \approx 2 \text{ timer og } 25 \text{ min.}$$

4.4 Utslippsberegninger

I denne seksjonen blir det beregnet utslipp for segmentene; cruiseskip, produksjon og distribusjon med tankbil.

4.4.1 Cruiseskip

Typisk seilingshastighet for et cruiseskip i Geirangerfjorden er omtrent 14-16 knop og middelveiden, 15 knop, vil bli benyttet videre i beregningene. Estimert drivstofforbruk for

Carnival Legend i denne hastigheten er 0,2 tonn drivstoff/nautiske mil, som vist i figur 10 [4]. Denne verdien er basert på skipets eget forbruk.

Det totale drivstofforbruket inn og ut Geirangerfjorden, rute B – C – B, er gitt ved

$$D_f = X * s,$$

Formel 7 - Drivstofforbruk.

hvor X er drivstofforbruk/nautiske mil og s er distansen i nautiske mil.

Totalt drivstofforbruk blir

$$D_{f_1} = 0,2 \frac{\text{tonn drivstoff}}{\text{nautiske mil}} * 34,88 \text{ nautiske mil} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} = 6\,976 \text{ kg}.$$

Utslipp av NO_x og CO_2 er gitt ved

$$U = u_f * D_{f_1},$$

Formel 8 - Utslipp.

hvor u_f er utslippsfaktor og D_{f_1} er drivstofforbruk.

NO_x -faktor for MDO er 45 g NO_x /kg brensel [70]. NO_x -utslipp for cruiseskip blir

$$U_{NO_x} = 45 \frac{\text{g } NO_x}{\text{kg brensel}} * 6\,976 \text{ kg brensel} * \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} = 314 \text{ kg } NO_x.$$

Tilsvarende kan gjøres for å beregne utslippet av CO_2 , der CO_2 -faktor for MDO er 3,17 tonn CO_2 /tonn brensel [70].

CO_2 -utslipp for cruiseskip blir

$$U_{CO_2} = 3,17 \frac{\text{tonn } CO_2}{\text{tonn brensel}} * 6,976 \text{ tonn brensel} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tonn}} = 22\,114 \text{ kg } CO_2.$$

Utslipp fra cruiseskip					
Anløp per sesong	192	Drivstofforbruk	CO ₂	NO _x	Enhet
	Per anløp	6 976	22 114	314	kg
	Totalt per sesong	1 339 392	4 245 888	60 288	kg

Tabell 9 - Totalt drivstofforbruk og utslipp fra cruiseskip per turistsesong.

4.4.2 Produksjon av flytende hydrogen ved Leuna og Mongstad

CO_2 -utslipp/kg hydrogen eller ammoniakk produsert er gitt ved

$$U_P = u_f(E_e + E_f + E_{HB}),$$

Formel 9 - Utslipp fra produksjon.

hvor u_f er utslippsfaktoren, E_e er energibehovet/kg LH_2 for elektrolyse, E_f er energibehovet/kg LH_2 for flytendegjøring og E_{HB} er energibehovet for Haber-Bosch prosessen.

CO_2 -utslippet/kg LH_2 fra Leuna blir

$$U_{P_1} = 338 \frac{g CO_2}{kWh} * (10,3 + 56) \frac{kWh}{kg LH_2} * \frac{kg}{1000 g} = 22,42 \frac{kg CO_2}{kg LH_2}.$$

CO_2 -utslippet/kg LH_2 fra Mongstad blir

$$U_{P_2} = 17 \frac{g CO_2}{kWh} * (10,3 + 56) \frac{kWh}{kg LH_2} * \frac{kg}{1000 g} = 1,12 \frac{kg CO_2}{kg LH_2}.$$

Produksjonsutslipp flytende hydrogen					
		Enhet	CO ₂ Leuna	CO ₂ Mongstad	Enhet
Total LH ₂ per sesong	450 816	kg	22,42	1,12	kg CO ₂ /kg LH ₂
		Totalt utslipp per sesong	10 107 295	504 914	kg CO ₂

Tabell 10 - Produksjonsutslipp per sesong for flytende hydrogen ved Leuna og Mongstad.

4.4.3 Distribusjon av flytende hydrogen fra Leuna og Mongstad

I denne seksjonen blir det utført beregninger på transportutslipp fra Leuna og Mongstad. Utslippene fra ferjene på ruten fra Mongstad til Hellesylt neglisjeres på grunn av liten påvirkning på det totale utslippet. Utslipp fra transportsektoren er gitt ved

$$U_T = u_f * s,$$

Formel 10 - Utslipp fra transport.

hvor u_f er utslippsfaktor og s er strekning i kilometer.

Utslipp av CO_2 /tankbil fra Leuna blir

$$U_{T_1} = 802,58 \frac{g CO_2}{km} * 1966 km * \frac{kg}{1000 g} = 1578 \frac{kg CO_2}{tankbil}.$$

Transportutslipp av NO_x /tankbil fra Leuna blir

$$U_{T_2} = 3,19 \frac{g NO_x}{km} * 1966 km * \frac{kg}{1000 g} = 6,3 \frac{kg NO_x}{tankbil}$$

Transportutslipp av CO_2 /tankbil fra Mongstad blir

$$U_{T_3} = 802,58 \frac{g CO_2}{km} * 287,1 km * \frac{kg}{1000 g} = 230 \frac{kg CO_2}{tankbil}$$

Transportutslipp av NO_x /tankbil fra Mongstad blir

$$U_{T_4} = 3,19 \frac{g NO_x}{km} * 287,1 km * \frac{kg}{1000 g} = 0,92 \frac{kg NO_x}{tankbil}$$

Transportutslipp fra Leuna						
		Enhet		CO ₂	NO _x	Enhet
Total LH ₂ per sesong	450 816	kg	Per tankbil	1 578	6,3	kg/tankbil
Kapasitet per tankbil	3 500	kg	Totalt per sesong	203 254	811	kg
Antall tankbiler per sesong	129					
Transportutslipp fra Mongstad						
			Per tankbil	230	0,92	kg/tankbil
			Totalt per sesong	29 625	119	kg

Tabell 11 – Transportutslipp per sesong ved distribusjon av flytende hydrogen fra Leuna og Mongstad.

4.4.4 Produksjon av flytende ammoniakk

Dersom formel 9 benyttes blir utslippet fra ammoniakkproduksjon

$$U_{P_3} = 17 \frac{g CO_2}{kWh} * 9,5 \frac{kWh}{kg NH_3} * \frac{kg}{1000 g} = 0,162 \frac{kg CO_2}{kg NH_3}$$

Produksjonsutslipp flytende ammoniakk				
		Enhet	CO ₂ Norge	Enhet
Total NH ₃ per sesong	2 920 128	kg	0,162	kg CO ₂ /kg NH ₃
		Totalt per sesong	473 061	kg CO ₂

Tabell 12 - Produksjonsutslipp per sesong for flytende ammoniakk i Norge.

4.4.5 Distribusjon av flytende ammoniakk

Ved å benytte formel 8 blir transportutslipp av CO_2 /tankbil fra Herøya

$$U_{T_5} = 802,58 \frac{g CO_2}{km} * 680 km * \frac{kg}{1000 g} = 546 \frac{kg CO_2}{tankbil}$$

Ved å benytte formel 8 blir transportutslipp av NO_x /tankbil fra Herøya

$$U_{T_6} = 3,19 \frac{g NO_x}{km} * 680 km * \frac{kg}{1000 g} = 2,17 \frac{kg NO_x}{tankbil}$$

Transportutslipp fra Herøya						
		Enhet		CO ₂	NO _x	Enhet
Total NH₃ per sesong	2 920 128	kg	Per tankbil	546	2,17	kg/tankbil
Kapasitet per tankbil	34 067	kg	Totalt per sesong	46 802	186	kg
Antall tankbiler per sesong	86					

Tabell 13 - Transportutslipp per sesong ved distribusjon av flytende ammoniakk fra Herøya.

4.4.6 Produksjon av komprimert hydrogen

Her beregnes utslippet fra estimert hydrogenbehov, se kapittel 3.10 Tidligere arbeid.

Ved å benytte formel 9 blir utslipp fra produksjon av komprimert hydrogen

$$U_{P_4} = 17 \frac{g CO_2}{kWh} * 56 \frac{kWh}{kg CGH_2} * \frac{kg}{1000 g} = 0,952 \frac{kg CO_2}{kg CGH_2}$$

Produksjonsutslipp komprimert hydrogen				
		Enhet	CO ₂ Norge	Enhet
Total CGH₂ per sesong	779 520	kg	0,952	kg CO ₂ /kg CGH ₂
		Totalt per sesong	742 103	kg CO ₂

Tabell 14 - Produksjonsutslipp per sesong for komprimert hydrogen i Norge.

4.5 Kostnadsberegninger

I dette kapitlet blir det gjort beregninger på kostnadene for produksjon og distribusjon av flytende hydrogen og flytende ammoniakk.

4.5.1 Produksjonskostnader for flytende hydrogen

Kostnad per kg hydrogen er gitt ved

$$K_{PH} = Pr_{is_{el}}(E_e + E_f),$$

Formel 11 - Produksjonspris for hydrogen.

hvor $Pr_{is_{el}}$ er gjennomsnittlig pris for elektrisitet i 2019, E_e er energibehovet for elektrolyser og E_f er energibehovet for flytendegjøring av hydrogen.

Produksjonsprisen for Leuna blir

$$K_{PH_{Leuna}} = 128,4 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} * (56 + 10,3) \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * \frac{\text{kr}}{100 \text{ øre}} = 85,13 \frac{\text{kr}}{\text{kg}}.$$

Produksjonsprisen for Mongstad blir

$$K_{PH_{Mongstad}} = 46,1 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} * (56 + 10,3) \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * \frac{\text{kr}}{100 \text{ øre}} = 30,56 \frac{\text{kr}}{\text{kg}}.$$

Produksjonskostnader flytende hydrogen					
		Enhet	Pris Leuna	Pris Mongstad	Enhet
Total LH₂ per sesong	450 816	kg	85,13	30,56	kr/kg
		Totale kostnader per sesong	38 377 966	13 776 937	kr

Tabell 15 - Totale produksjonskostnader per turistsesong for Leuna og Mongstad.

4.5.2 Distribusjonskostnader for flytende hydrogen

Ved å benytte kostnadsmodellen for veitransport er det mulig å estimere kostnadene for en tankbil med en kapasitet på 3500 kg flytende hydrogen.

Distribusjonskostnadene er gitt ved

$$K_T = (a * t + b * s) + 2 * (c * m + d),$$

Formel 12 - Distribusjonskostnader [56].

hvor a er tidskostnader, t er tid i timer, b er distansekostnader, s er strekning i kilometer, c er laste- og lossekostnader, m er masse i tonn og d er kostnader per forsendelse. Distribusjonskostnader fra Leuna per leveranse blir

$$K_{T_{Leuna}} = 549 \frac{\text{kr}}{\text{time}} * 21,27 \text{ timer} + 6,93 \frac{\text{kr}}{\text{km}} * 1966 \text{ km} + 2 * \left(11 \frac{\text{kr}}{\text{tonn}} * 3,5 \text{ tonn} + 136 \text{ kr} \right) \\ = 25\,651 \frac{\text{kr}}{\text{leveranse}}$$

Dersom det blir relevant med leveranse av flytende hydrogen fra Mongstad, kan samme kostnadsmodell benyttes.

Distribusjonskostnader fra Mongstad per leveranse blir

$$K_{T_{Mongstad}} = 549 \frac{\text{kr}}{\text{time}} * 5,7 \text{ timer} + 6,93 \frac{\text{kr}}{\text{km}} * 299 \text{ km} + 2 * \left(11 \frac{\text{kr}}{\text{tonn}} * 3,5 \text{ tonn} + 136 \text{ kr} \right) \\ = 5\,550 \frac{\text{kr}}{\text{leveranse}}$$

Distribusjonskostnader flytende hydrogen					
			Leuna	Mongstad	Enhet
Leveranser per sesong	129	Pris	25 651	5 550	kr/leveranse
		Totale kostnader per sesong	3 308 979	715 950	kr

Tabell 16 - Totale distribusjonskostnader per turistsesong ved leveranse fra Leuna og Mongstad.

4.5.3 Produksjonskostnader for flytende ammoniakk

Kostnad per kg flytende ammoniakk er gitt ved

$$K_{PA} = \text{Pris}_{el}(E_e + E_{HB}),$$

Formel 13 - Produksjonspris for flytende ammoniakk.

hvor Pris_{el} er gjennomsnittlig pris for elektrisitet i 2019, E_e er energibehovet for elektrolyser og E_{HB} er energibehovet for Haber-Bosch prosessen.

Produksjonskostnadene for Herøya blir

$$K_{PA} = 46,1 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} * 9,5 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * \frac{\text{kr}}{100 \text{ øre}} = 4,38 \frac{\text{kr}}{\text{kg}}$$

Produksjonskostnader flytende ammoniakk				
		Enhet	Pris Herøya	Enhet
Total NH₃ per sesong	2 920 128	kg	4,38	kr/kg
		Totale kostnader per sesong	12 790 161	kr

Tabell 17 - Totale produksjonskostnader for flytende ammoniakk per turistsesong for Herøya.

4.5.4 Distribusjonskostnader for flytende ammoniakk

Ved å benytte kostnadsmodellen for veitransport er det mulig å estimere kostnadene for en tankbil med kapasitet på 34 067 kg flytende ammoniakk.

Ved å benytte formel 12 blir distribusjonskostnadene fra Herøya per leveranse

$$\begin{aligned}
 K_{T_{Herøya}} &= 549 \frac{\text{kr}}{\text{time}} * 8,88 \text{ timer} + 6,93 \frac{\text{kr}}{\text{km}} * 680 \text{ km} + 2 * \left(11 \frac{\text{kr}}{\text{tonn}} * 34,067 \text{ tonn} + 136 \text{kr} \right) \\
 &= 10609 \frac{\text{kr}}{\text{leveranse}}.
 \end{aligned}$$

Distribusjonskostnader flytende ammoniakk				
			Herøya	Enhet
Leveranser per sesong	86	Pris	10 609	kr/kg
		Totale kostnader per sesong	909 374	kr

Tabell 18 - Totale distribusjonskostnader per turistsesong ved leveranse fra Herøya.

4.5.5 Produksjonskostnader for komprimert hydrogen (CGH₂)

Her beregnes kostnadene for estimert hydrogenbehov, se kapittel 3.10 Tidligere arbeid.

Ved å benytte formel 12 blir produksjonskostnadene i Norge for komprimert hydrogen

$$K_{PH_{Norge}} = 46,1 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} * 56 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * \frac{\text{kr}}{100 \text{ øre}} = 25,82 \frac{\text{kr}}{\text{kg}}.$$

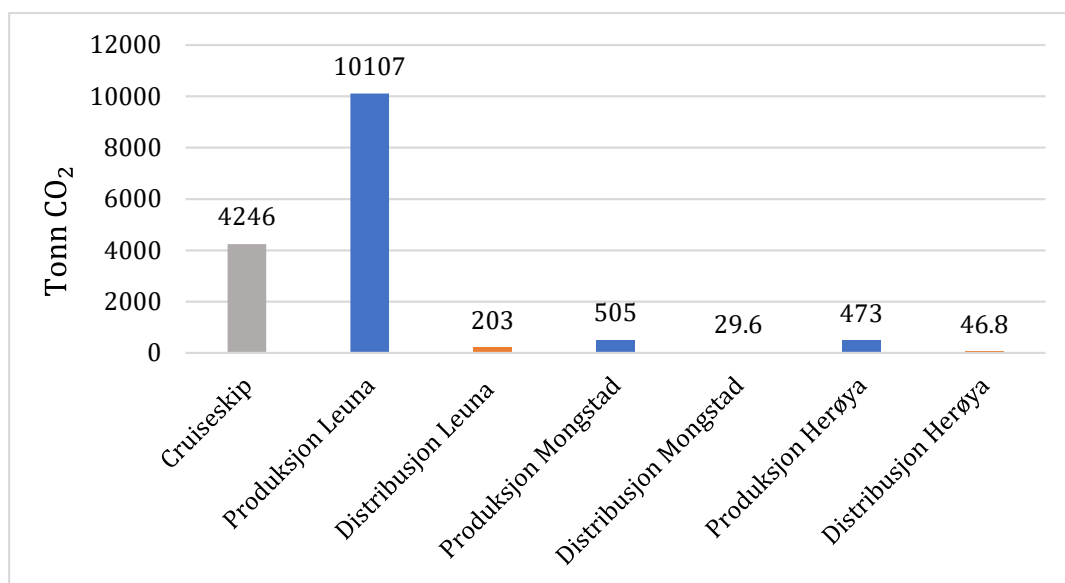
Produksjonskostnader komprimert hydrogen				
		Enhet	Pris Norge	Enhet
Total CGH₂ per sesong	779 520	kg	25,82	kr/kg
		Totale kostnader per sesong	20 127 206	kr

Tabell 19 - Totale produksjonskostnader per turistsesong for Norge.

4.6 Oversikt utslipp og kostnader

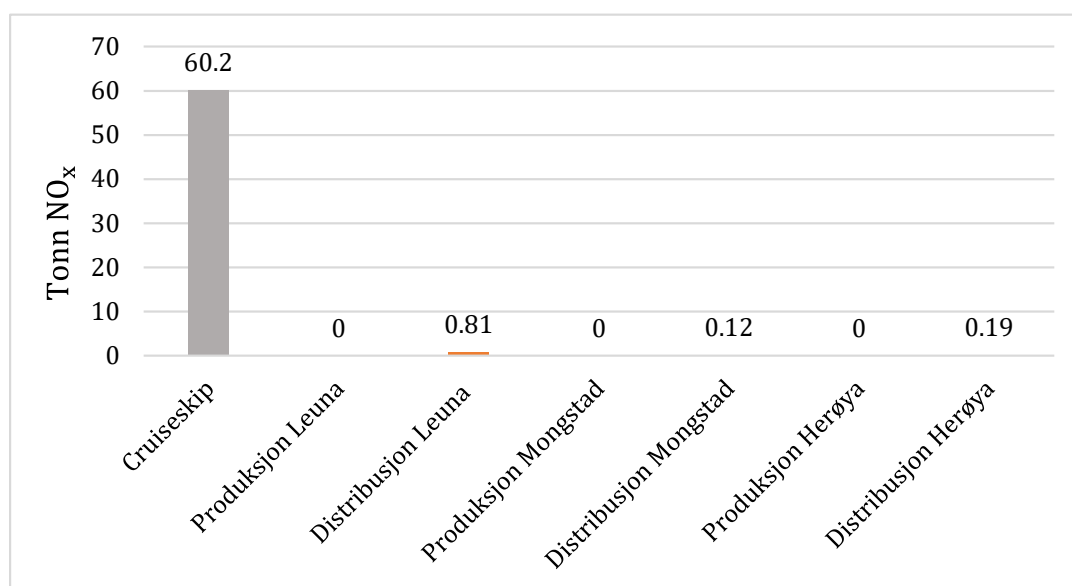
4.6.1 Utslipp

Som vist i figur 12 vil utslipp av CO_2 være høyere ved bruk av hydrogen produsert i Leuna, enn ved bruk av MDO i cruiseskip. Produksjon i Norge vil gi betydelig reduserte utslipp.



Figur 12 - Sammenligning av CO_2 -utslipp fra de ulike segmentene.

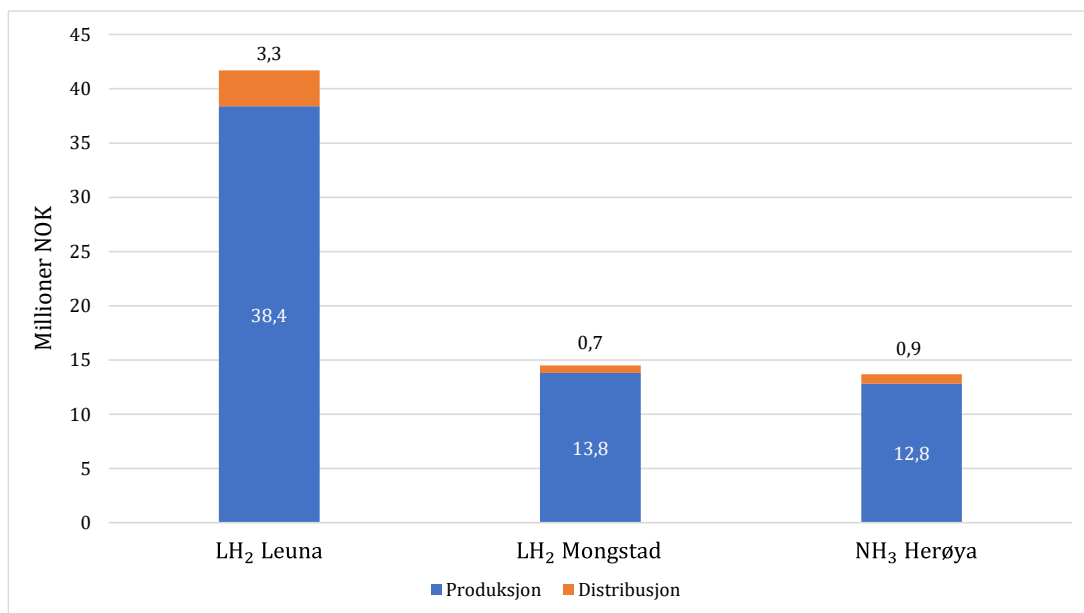
Uavhengig av produksjonsmetode vil NO_x -utslippene, som vist i figur 13, være betydelig redusert ved bruk av hydrogen eller ammoniakk som drivstoff.



Figur 13 - Sammenligning av NO_x -utslipp fra de ulike segmentene.

4.6.2 Kostnader

Basert på strømpriser fra 2019, vil kostnadene for produksjon og distribusjon av flytende hydrogen og flytende ammoniakk være som vist i figur 14. Flytende hydrogen fra Mongstad og flytende ammoniakk fra Herøya vil ha tilsvarende lik kostnad, henholdsvis 14,5 og 13,7 millioner NOK for en turistsesong. Flytende hydrogen fra Leuna vil være relativt kostbart i forhold til norsk produksjon, med en total kostnad på 41,7 millioner NOK.

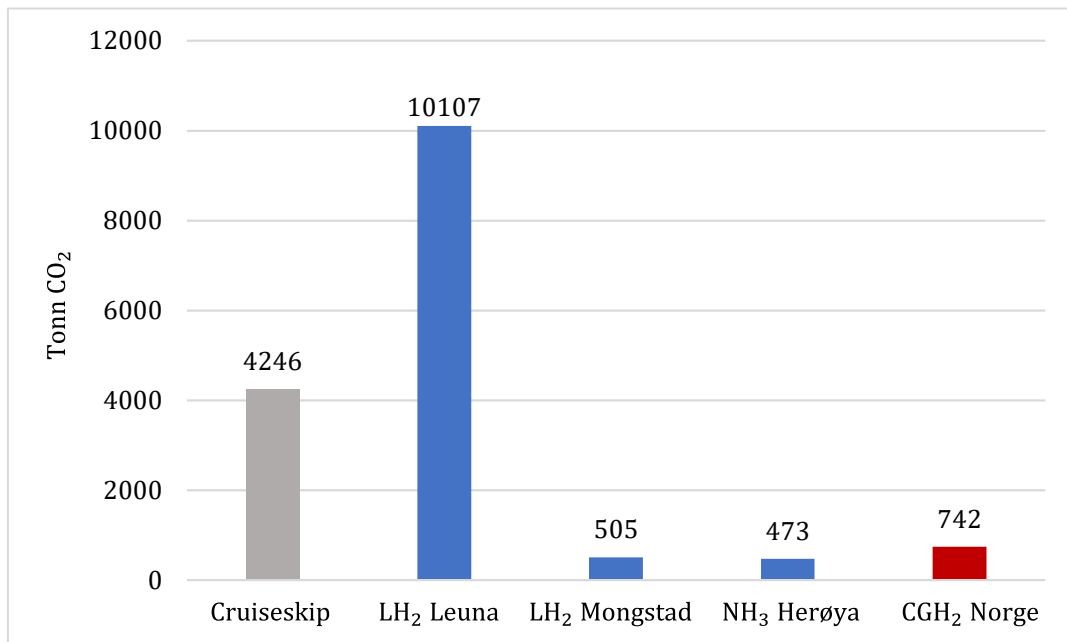


Figur 14 - Kostnader assosiert med produksjon og distribusjon av LH₂ og NH₃.

4.7 Sammenligning av utslipp og kostnader med tidligere arbeid

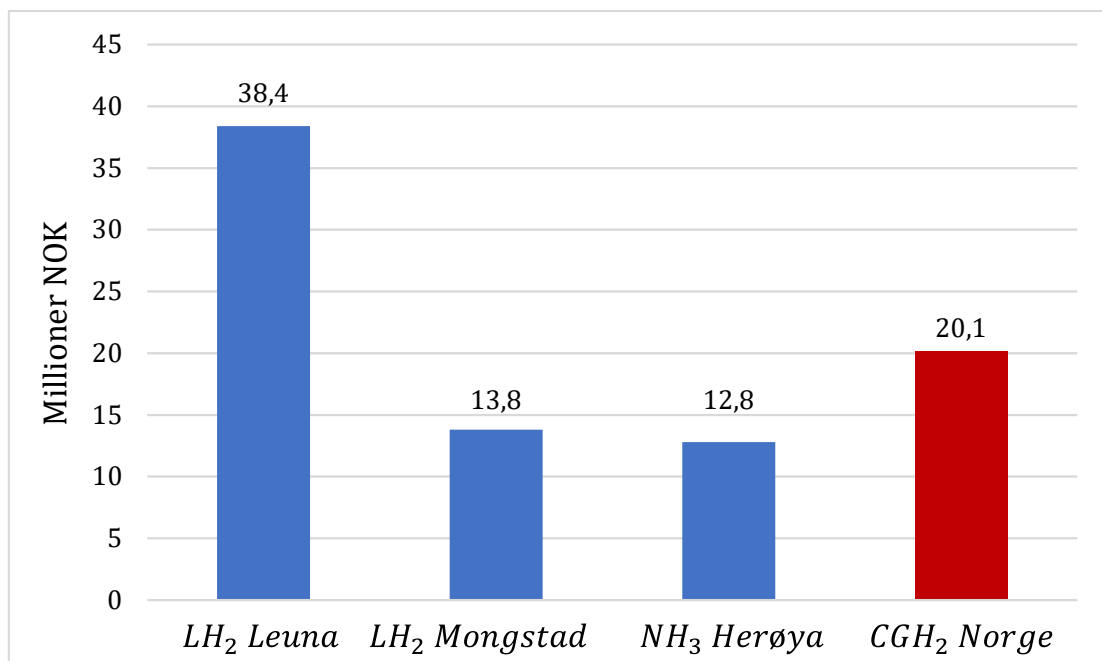
I denne seksjonen skal utslipp og kostnader fra denne oppgaven sammenlignes med tidligere arbeid. Distribusjonskostnadene neglisjeres, og det vil kun bli sett på utslipps- og kostnadsforskjeller fra produksjon.

Figur 15 viser forskjellen på utslipp av CO₂ fra hydrogen- og ammoniakkproduksjon i denne oppgaven, og sammenligner det med CO₂-utslippet fra produksjon av komprimert hydrogen som er basert på tidligere beregninger.



Figur 15 - Sammenligning av utslippsresultater fra cruiseskip, produksjon av LH₂, NH₃ og CGH₂.

Figur 16 viser forskjellen på kostnadene for produksjon av flytende hydrogen og flytende ammoniakk, og sammenlignes med kostnadene for komprimert hydrogen for bruk i nullutslipps hurtigferge. Beregningene for komprimert hydrogen er basert på tidligere beregnet hydrogenbehov.



Figur 16 - Sammenligning av kostnadene for produksjon av H₂ og NH₃

4.8 CO₂-avgift

For at hydrogenbaserte drivstoff skal være økonomisk konkurransedyktige mot fossile drivstoff, må dagens CO₂-avgift økes. Per 8. januar 2021 er CO₂-avgiften 590 kr/tonn CO₂. [71] Avgiften beregnes ut ifra produksjonskostnader i Norge.

For å estimere CO₂-avgiften må prisen for MDO per sesong beregnes. Dette gjøres ved å bruke gjennomsnittsprisen for MGO, som var 530 USD/tonn per februar 2021 [72]. Prisen for MGO blir benyttet i beregningene ettersom det globale markedet vanligvis kun oppgir prisen for MGO. Drivstoffene har sammenlignbare egenskaper og det blir tatt utgangspunkt i samme pris for MDO. Deretter brukes det en valutakurs på 8,5 kr/USD, som var gjennomsnittet for februar 2021 [73]. For å beregne en representativ CO₂-avgift, inkluderes det en NO_x-avgift på 23,48 kr/kg [74]. Beregningene tar kun hensyn til utslipp ved forbruk av drivstoffene i Geirangerfjorden.

Prisen for MDO per sesong blir

$$MDO_{pris} = 530 \frac{USD}{tonn} * 8,5 \frac{kr}{USD} * 1\,339,392 \text{ tonn drivstoff} = 6\,033\,961 \text{ kr}$$

CO₂-avgiften som er nødvendig for at hydrogenbaserte drivstoff skal være økonomisk konkurransedyktige beregnes med formelen

$$CO_2 - avgift = \frac{\text{Produksjonskostander per sesong} - (MDO_{pris} + NO_{xavgift})}{CO_2 - utslipp \text{ fra cruiseskip per sesong}},$$

Formel 14 - CO₂-avgift.

For at flytende hydrogen skal være økonomisk konkurransedyktig må CO₂-avgiften være

$$CO_2 - avgift = \frac{13\,776\,937 \text{ kr} - (6\,033\,961 \text{ kr} + (23,48 \frac{kr}{kg} * 60\,228 \text{ kg}))}{4246 \text{ tonn } CO_2} = 1491 \frac{kr}{\text{tonn } CO_2}.$$

For at flytende ammoniakk skal være økonomisk konkurransedyktig må CO₂-avgiften være

$$CO_2 - avgift = \frac{12\,790\,161 \text{ kr} - (6\,033\,961 \text{ kr} + (23,48 \frac{kr}{kg} * 60\,228 \text{ kg}))}{4246 \text{ tonn } CO_2} = 1258 \frac{kr}{\text{tonn } CO_2}.$$

5. Diskusjon

5.1 Slepslogistikken

Fra planlagte cruiseanløp for 2021 kommer det i gjennomsnitt 1,6 cruiseskip per dag, men i resultatkapittelet ble det gjort beregninger for kun et slep. Dersom det kommer 1,6 cruiseskip per dag, vil det være naturlig med lagringskapasitet om bord for to slep. Det er heller ikke blitt tatt hensyn til annen skipstransport som for eksempel Hurtigruten som har daglig ankomst mellom juni og august, som videre kan påvirke lagringskapasiteten og drivstoffbehovet.

I rutebeskrivelsen ble det planlagt at slepebåten skulle returnere til Hellesylt (punkt A i rutebeskrivelse) etter endt slep ved punkt B som vist i figur 3. Dersom det ved endt slep ligger et cruiseskip tilgjengelig, vil det være unaturlig å returnere til Hellesylt, og det vil forekomme et lavere hydrogenforbruk for to slep. Cruiseskipene ligger som regel i Geiranger over en lengre periode, og det kan bli aktuelt å returnere til punkt B for å slepe inn et nytt skip før det første skal returnere. Drivstofforbruk vil derfor påvirkes av daglig cruisetraffikk.

I rapporten ble det gjort beregninger på ett ankerhåndteringsskip som skulle slepe inn cruiseskipene. Tidligere erfaringer viser at det ofte kreves flere slepebåter for å manøvrere cruiseskip på en hensiktsmessig måte. Cruiseskipene har stort overflateareal langs sidene og kraftig vind kan føre til at ett slepefartøy ikke er tilstrekkelig. Det kan derfor være nødvendig med flere slepebåter som kan assistere.

De fleste planlagte dagene har 1-2 cruiseanløp, men det finnes også dager med 3-4 anløp. Ved sistnevnte tilfelle er det nødvendig med flere ankerhåndteringsskip. Det ble heller ikke tatt hensyn til Hurtigruten og andre fartøy som ankommer Geirangerfjorden, og dette kan videre øke behovet for antall slepebåter.

5.2 Teknologien

I oppgaven ble det vurdert to ulike brenselcelleteknologier, PEMFC og SOFC. I hovedsak ble PEMFC vurdert på grunn av dens kommersielle tilgjengelighet på markedet. ABB er en ledende global leverandør av løsninger basert på PEMFC og kan tilby komplette systemer [75]. PEMFC har også egenskaper som passer til mobile applikasjoner, se 3.6.1 *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*.

På grunn av høyt energilagringsbehov ble flytende hydrogen valgt som en miljøvennlig energibærer for bruk i PEMFC. Flytende hydrogen har en bedre volumetrisk tetthet enn

komprimert, og reduserer derfor nødvendig lagringsvolum. Valg av flytende hydrogen kan også bidra til økt etterspørsel i markedet, som videre kan være en bidragsyter for etablering av infrastruktur i Norge. Dette kan også være positivt for det grønne skiftet mot en bærekraftig maritim næring.

Ved lagring av flytende hydrogen, er det fra et sikkerhetsperspektiv ønskelig å plassere lagringstanker så høyt som mulig på fartøyet. Dette kan gjøre det ugunstig å lagre flytende hydrogen på et AHTS, der all ledig dekksplass i hovedsak er lavere enn styrehuset. I tillegg til plassering, må alt nærstående utstyr tåle kryogeniske temperaturer ved en eventuell hydrogenlekkasje.

Vinsjene på et AHTS er vanligvis plassert inntil styrehuset, hvor vaierne blir ført fra vinsjen og bakover langs midten av skipet. Ved ombygging av et AHTS, må lagringstanker og brenselcellesystem plasseres slik at det ikke oppstår konflikt med vaierne.

I tillegg til flytende hydrogen ble også flytende ammoniakk vurdert som energibærer. Ammoniakk har lavere risiko for eksplosjon, er lettere å lagre, krever mindre volumetrisk lagringsplass og har allerede en etablert infrastruktur i Norge. I motsetning til flytende hydrogen kan ammoniakk lagres under dekk, men det stilles likevel strenge krav til ventilerings- og gasstette rom [36]. Dette kan gjøre ammoniakk gunstig å benytte på et AHTS, siden tankene ikke trenger å plasseres på dekk, og vil dermed ikke være i konflikt med vaierne.

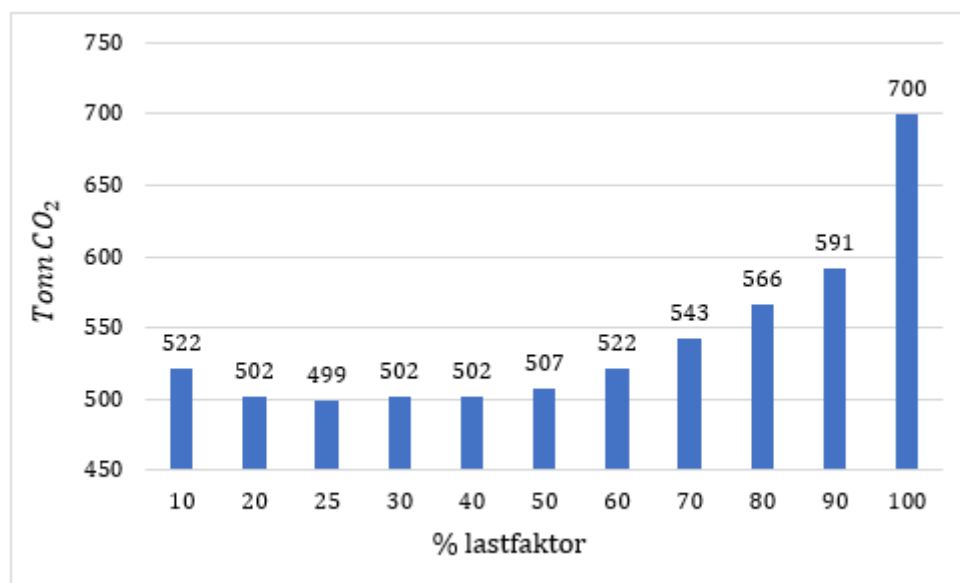
Ved å benytte ammoniakk direkte i en SOFC er det heller ikke nødvendig med en ekstern reformer. Pilotprosjektet ShipFC skal teste denne teknologien på fartøyet Viking Energy, og prosjektets suksess kan være banebrytende for fremtidige ammoniakkprosjekter [76].

I denne oppgaven ble det ikke beregnet installert effekt ved bruk av ammoniakk direkte i en SOFC. Utfordringen var mangel på informasjon om virkningsgrad ved ulike lastfaktorer og modulære systemer for brenselcellen.

Det ble tatt utgangspunkt i samme propellvirkningsgrad for begge fartøyene på grunn av utfordringer assosiert med beregninger for en spesifikk propell. En slik beregning vil være avhengig av faktorer som størrelse, stigning, antall blader og omdreiningstall som kan være utfordrende å finne konkret informasjon om.

5.3 Lastfaktor for brenselcelle

Brenselceller har et gunstig driftsområde med en lastfaktor mellom 30 – 80% [77]. I oppgaven ble 50% brukt for å kunne gi en gunstig virkningsgrad mot nødvendig installert effekt. Figur 17 viser at en lastfaktor på 50% også gav relativt lave utslippstall.



Figur 17 - Produksjonsutslipp for totalt hydrogenbehov ved ulike lastfaktorer

Dersom det benyttes en høyere lastfaktor som gir en lavere virkningsgrad vil antall brenselcellesystem reduseres. Dette vil gi en lavere investeringskostnad for systemene og det vil kreve mindre plass på fartøyet, men hydrogenbehovet og utslippene per sesong vil øke. Valg av lastfaktor vil derfor være avhengig av hva som vekter mest i prosjektet. *Se vedlegg B.*

5.4 Infrastruktur

I denne rapporten ble det utført kostnads- og utslippsberegninger ved distribusjon med tankbil. Dette ble gjennomført for å sammenligne tilsvarende transportmetode for flytende hydrogen og ammoniakk.

På grunn av en allerede eksisterende infrastruktur for transport av ammoniakk på skip, kunne det vært gunstig å distribuere med tankskip fra Herøya til Hellesylt. En leveranse kunne erstattet 112 tankbiler for en sesong.

Dersom hydrogenforespørselen i Hellesylt videre øker fra 2023 på grunn av nullutslipp i Geirangerfjorden, er det mulighet for oppskalering av det kommende hydrogenanlegget i Hellesylt. Hellesylt Hydrogen Hub er et samarbeid mellom ledende partnere i hydrogenfeltet som har fått tildelt 37,6 millioner NOK for å utvikle en verdikjede for hydrogen. Anlegget skal inkludere produksjon, lagring og distribusjon av grønt komprimert hydrogen [78] [79]. Dersom etterspørselen av flytende hydrogen i Geirangerfjorden øker på grunn av nullutslippskravene, kan det i fremtiden være en mulighet å videreutvikle anlegget der det inkluderes et flytendegjøringssystem.

I beregningene i rapporten er det ikke blitt tatt hensyn til energitap ved lagring og distribusjon.

5.5 Utslipp

Dersom målet er å redusere globale CO_2 -utslipp, vil ikke produksjon og distribusjon fra Tyskland være hensiktsmessig basert på karbonavtrykket til kraftmiksen. CO_2 -utslippet fra produksjon i Leuna overskrider det totale utslippet fra cruiseskipene som ankommer Geirangerfjorden i 2021. Produksjon i Tyskland vil derimot bidra med en reduksjon av CO_2 - og NO_x -utslipp i Geirangerfjorden. Ved produksjon i Norge vil både det globale og lokale klimagassutslippet reduseres og være et mer miljøvennlig alternativ.

I beregningene for produksjon og flytendegjøring av hydrogen ble det tatt hensyn til karbonavtrykket i kraftmiksen til Tyskland. Kraftkrevende industrier kan kjøpe grønne sertifikater for å sikre at elektrisiteten kommer fra fornybare kilder, og karbonavtrykket kan dermed være lavere enn antatt i oppgaven.

I utslippsberegningene for cruiseskip, ble det ikke tatt hensyn til systemer som reduserer NO_x -utslipp. *Selective Catalytic Reduction* (SCR) er et system som kan redusere NO_x -utslipp med opptil 95%. Kun 1,58% av alle skip i 2019 hadde slike systemer installert og ble derfor neglisjert i oppgaven. I tillegg til dette er det kun 0,53% av verdensflåten som oppfyller IMO's Tier-3 krav om utslippsreduksjon og ble også neglisjert i beregningene [80].

5.6 CO_2 -avgift

CO_2 -avgiften som ble beregnet tok kun hensyn til utslipp ved forbruk. Utslipp fra andre segmenter som distribusjon og produksjon ble ikke tatt med i beregningene. Oppgaven tok ikke for seg utslipp for dieselproduksjon og derfor neglisjeres all produksjonsutslipp. Distribusjonskostnadene ble antatt å være tilnærmet like og ble også neglisjert.

Beregningene tok hensyn til en fastsatt sats for NO_x -utslipp, som ble inkludert i den totale kostnaden for MDO.

For at flytende hydrogen eller flytende ammoniakk skal være økonomisk konkurransedyktig med MDO som drivstoff, må CO_2 -avgiften økes til henholdsvis 1491 eller 1258 kr/tonn CO_2 . Regjeringen har planlagt en gradvis økning av CO_2 -avgiften til 2000 kr/tonn CO_2 mot 2030. Dersom planen gjennomføres, kan hydrogenbaserte drivstoff også bli konkurransedyktig i forhold til kostnader.

5.7 Kostnader

Per mai 2021 finnes det ikke et marked for grønt hydrogen, og i denne oppgaven ble kostnadene beregnet fra energibehovet og gjennomsnittlig strømpris fra 2019. Dette vil ikke være en representativ salgspris på grunn av varierende faktorer som blant annet variasjon i strømpris, ønskelig profittmargin og etterspørsel. Strømprisen ble beregnet med gjennomsnittlig valutakurs for GBP i NOK i 2019, og kan avvike fra dagens kurs.

Salgsprisen for hydrogen kan også påvirkes av statlige subsidier som gis til bærekraftige prosjekter, som for eksempel hydrogenproduksjon og flytendegjøring på Mongstad. Slike subsidier vil kunne bidra til billigere salgspris og økt attraktivitet.

I likhet med produksjonskostnader, finnes det ikke et marked for storskala distribusjon av flytende hydrogen. Kostnadene for distribusjon ble beregnet fra en kostnadsmodell som ikke tar hensyn til hvilken type gods som blir transportert. Lagring og fylling av flytende hydrogen er noe mer komplisert enn tradisjonelt drivstoff, og kan avvike fra en tradisjonell kostnadsmodell.

5.8 Sammenligning av nullutslipps slepebåt og hurtigferge

Sammenligning av nullutslipps slepebåt og hurtigferge kan være utfordrende. Begge oppgavene har begrensinger og usikkerheter som kan gjøre valg av metode unøyaktig. Konklusjonen baseres derfor på resultatene som fremstilles i oppgaven.

Dersom det årlige behovet av flytende eller komprimert hydrogen produseres i Norge, vil produksjonsutslippene/-kostnadene være høyere for nullutslipps hurtigferge, se figur 15 og 16.

Andre faktorer som investeringskostnader, passasjerlogistikk og slepslogistikk vil også være avgjørende for valg av løsning.

Fra gjennomsnittlig antall cruisepassasjerer på 2 501 og meldte anløp per planlagte dag på 1-4 cruiseskip, kan det risikeres at 10 004 passasjerer skal fraktes med hurtigferge. Dette gir et behov på 37 anløp i løpet av dagen, og kan gi høye investeringskostnader dersom alle passasjerene skal fraktes innenfor et gitt tidsvindu. Utfordringer knyttet til passasjerlogistikk vil også forekomme når omtrent 10 000 passasjerer skal fordeles på samtlige hurtigfartøy.

Oppgaven tok ikke for seg logistikk rundt slep som kan være avgjørende for prosjektets gjennomførbarhet. Vær og vind kan øke antall slepebåter som er nødvendig for å manøvrere cruiseskipene. Dette kan føre til økte investeringskostnader samtidig som det påvirker hydrogenbehov og utslipp.

6. Konklusjon

Det ble gjennomført en litteraturstudie for å kartlegge muligheten for en nullutslipps slepebåt i Geirangerfjorden. Det konkluderes med at alle de undersøkte metodene vil gi lokale reduksjoner i utslipp, men for å få en global reduksjon må hydrogenet fremstilles med energi fra fornybare kilder.

Det høye karbonavtrykket i kraftmiksen til Tyskland førte til at utslippet fra produksjonen ble høyt, og overskred det beregnede CO_2 -utslippet fra cruiseskipene. Utslippet av CO_2 og den høye elektrisitetsprisen førte til at produksjon og distribusjon fra Leuna ikke ble vurdert som en hensiktsmessig løsning.

Drivstoffbehovet for flytende hydrogen og flytende ammoniakk per turistsesong ble beregnet til å være henholdsvis 450 816 og 2 920 128 kg. Ved produksjon og distribusjon i Leuna ble totalt utslipp av CO_2 10 212 tonn. Dette tilsvarer 5944 tonn CO_2 mer enn for cruiseskipene som bruker MDO som drivstoff. Dersom produksjonen flyttes til det planlagte anlegget på Mongstad, vil det totale utslippet være 510 tonn CO_2 . Dette tilsvarer en reduksjon på 3758 tonn sammenlignet med cruiseskipene.

Uavhengig av lokasjon, vil utslipp av NO_x være ubetydelig i forhold til cruiseskipene med et utslipp på 60,2 tonn.

Det ble også gjort beregninger på kostnadene for produksjon og distribusjon av drivstoffene, og i samsvar med utslippene ble også kostnadene høyere ved anlegget i Leuna. Totale kostnader for produksjon og distribusjon ble estimert til 41,7 millioner NOK. Kostnadene for produksjon og distribusjon av flytende hydrogen og flytende ammoniakk i Norge ble henholdsvis 14,5 og 13,7 millioner NOK, som er omtrent 66% reduksjon i kostnader.

Dersom hydrogenbaserte drivstoff skal være økonomisk konkurransedyktig mot fossile drivstoff, må dagens CO_2 -avgift økes. Ved bruk av flytende hydrogen eller flytende ammoniakk må avgiften økes til henholdsvis 1491 og 1258 kr/tonn CO_2 .

Sammenlignes produksjon av komprimert hydrogen til hurtigferge fra tidligere arbeid, vil kostnadene og utslippene være høyere enn for den årlige produksjonen av flytende hydrogen og flytende ammoniakk.

Det ble til slutt konkludert med at prosjektet er teknisk gjennomførbart dersom det utvikles en infrastruktur for flytende hydrogen i Norge, eller at teknologien for SOFC-moduler blir videreutviklet og kommersielt tilgjengelig.

Referanser

- [1] DNV GL, «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene,» 2020.
- [2] Stortinget, «Saker og publikasjoner: Stortingsvedtak; Klimastrategi for 2030 - norsk omstilling i europeisk samarbeid,» [Internett]. Available: <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Vedtak/Vedtak/Sak/?p=69170>. [Funnet Februar 2021].
- [3] J. Førre, F. M. Ahmed, C. Mathisen og H. Eikefet, «Hydrogenbehov i Verdensarvfjordene,» Høgskulen på Vestlandet, Bergen, 2020. **Konfidensielt**.
- [4] DNV GL, «Effekt av hastighetsreduksjon for cruiseskip i verdensarvfjordene,» Høvik, 2018.
- [5] Stranda Hamnevesen, «CRUISE CALLS,» 21 desember 2020. [Internett]. Available: <https://www.stranda-hamnevesen.no/cruise-calls>. [Funnet februar 2021].
- [6] Stadt Sjøtransport, «SPECS T/B STADT KINN,» [Internett]. Available: <https://www.tugs.no/en/specs-stadt-kinn-2/>. [Funnet februar 2021].
- [7] P. W. Saltvedt, Interviewee, *Slepebåt*. [Intervju]. 27 januar 2020.
- [8] E. W. Jakobsen, C. S. Mellbye og R. B. Holmen, «Norske offshorerederier – skaper verdier lokalt, vinner globalt,» 2013.
- [9] H. M. Markussen, «En tredjedel av alle offshorefartøy ligger i opplag,» 17 januar 19. [Internett]. Available: [https://www.skipsrevyen.no/article/en-tredjedel-av-alle-offshorefartoy-i-opplag/#:~:text=Om%20lag%20en%20tredjedel%2C%20eller,%25%20\(OCV\)%20viser%20tallene](https://www.skipsrevyen.no/article/en-tredjedel-av-alle-offshorefartoy-i-opplag/#:~:text=Om%20lag%20en%20tredjedel%2C%20eller,%25%20(OCV)%20viser%20tallene). [Funnet 17 februar 2021].
- [10] Solstad Offshore ASA, «Normand Ferking,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.solstad.com/vessel/normand-ferking/>. [Funnet 17 februar 2021].
- [11] Skipsrevyen, «M/S Normand Ferking,» [Internett]. Available: <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/m-s-normand-ferking/>. [Funnet februar 2021].
- [12] B. Pedersen, «Energibærer,» 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/energib%C3%A6rer>. [Funnet Februar 2021].
- [13] Shell, «ENERGY OF THE FUTURE?,» Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg, 2017.
- [14] DNV GL, «Produksjon og bruk av Hydrogen i Norge,» 2019.
- [15] T. Strømgren, «Zero Emission Tug for Rock Transportation,» Ocean Hyway Cluster, 2020. **Konfidensielt**.
- [16] Office of energy efficiency and renewable energy, «Hydrogen Production: Biomass Gasification,» [Internett]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification?fbclid=IwAR1dXOLCXahWskYmIYa-Kpyq8MKGAgqOhiwKXlja4RqMzFkC676ITQ1PLZY>. [Funnet 19 Februar 2021].

- [17] NCE Maritime CleanTech, «Norwegian future value chains for liquid hydrogen,» 2016.
- [18] A. Valland, «End-user assessment for hydrogen as fuel,» Ocean Hyway Cluster, 2020.
- [19] Z. Yanxing, G. Maoqiong, Z. Yuan, D. Xueqiang og S. Jun, «International Journal of Hydrogen Energy,» *Thermodynamics analysis of hydrogen storage based on compressed gaseous hydrogen, liquid hydrogen and cryo-compressed hydrogen*, vol. 44, nr. 31, pp. 16833-16840, 2019.
- [20] M. Purkis, «Hydrogen Technology and Supply Chains to the Maritime Sector B0,» 2020. **Konfidensielt.**
- [21] M. Sankir og N. D. Sankir, *Hydrogen Storage Technologies*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2018.
- [22] Arena Ocean Hyway Cluster, «Report B.1.1: Liquid hydrogen infrastructure for the maritime,» 2020. **Konfidensielt.**
- [23] Lloyd's Register, «Hydrogen and Ammonia Infrastructure,» 2020.
- [24] J. W. Pratt og L. E. Klebanoff, «Feasibility of the SF-BREEZE: a Zero-Emission, Hydrogen Fuel Cell, High-Speed Passenger Ferry,» Sandia National Laboratories, California, 2016.
- [25] O. Lohne, «Hydrogensprøhet,» November 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/hydrogenspr%C3%B8het>. [Funnet Februar 2021].
- [26] B. Pedersen, «ammoniakk,» Store Norske Leksikon, 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/ammoniakk>. [Funnet mars 2021].
- [27] Hydrogen Europe, «Ammonia as fuel for shipping: challenges and opportunities,» 2021. [Internett]. Available: <https://hydrogeneurope.eu/events/ammonia-fuel-shiping-challenges-and-opportunities#:~:text=Ammonia%20is%20a%20hydrogen%20based,still%20many%20issues%20to%20tackle..> [Funnet mars 2021].
- [28] Herøya Industripark AS, «Yara Porsgrunn,» [Internett]. Available: <https://www.heroya-industripark.no/om-industriparken/bedrifter-i-industriparken/yara-porsgrunn>. [Funnet 1 februar 2021].
- [29] A. Risholm, «Report B.2: Ammonia fuel infrastructure for the maritime sector in 2030,» Ocean Hyway Cluster, 2020. **Konfidensielt.**
- [30] THE ROYAL SOCIETY, «Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store,» februar 2020. [Internett]. Available: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/green-ammonia/>. [Funnet mars 2021].
- [31] B. Pedersen, «Haber-Bosch-metoden,» STORE NORSKE LEKSIKON, 27 desember 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/Haber-Bosch-metoden>. [Funnet 8 mars 2021].

- [32] WIND ENERGY STORAGE, «Ammonia storage,» 2021. [Internett]. Available: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/17-18/windies/ammonia-storage.html. [Funnet mars 2021].
- [33] YARA, «Choose Ammonia from Yara, the world's leading manufacturer,» Yara AS, [Internett]. Available: <https://www.yara.com/chemical-and-environmental-solutions/base-chemicals/ammonia/>. [Funnet 9 mars 2021].
- [34] E. Hahn, «LNG - Liquefied Natural Gas - Methane,» ELGAS, mai 2020. [Internett]. Available: <https://www.elgas.com.au/blog/493-what-is-ling-liquefied-natural-gas-methane#:~:text=Liquefied%20Natural%20Gas%20%E2%80%93%20LNG%20%E2%80%93%20physical,m%C2%B3%20or%2026.5943lb%20ft%C2%B3..> [Funnet mars 2021].
- [35] N. K. Park og S. K. Park, «A Study on the Estimation of Facilities in LNG Bunkering Terminal by Simulation—Busan Port Case,» *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, nr. 354, 2019.
- [36] DNV GL, «Ammonia as a marine fuel safety handbook,» 2020.
- [37] Helse Norge, «Ammoniakk-gass,» [Internett]. Available: <https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/giftige-gasser/ammoniakk-gass/>. [Funnet mars 2021].
- [38] T. Holtebekk, B. Pedersen og G. M. Haarberg, «brenselcelle,» 4 januar 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/brenselcelle>. [Funnet januar 2021].
- [39] R. M. Ormerod, «Chemical Society Reviews,» *Solide oxide fuel cells*, vol. 32, nr. 1, pp. 17-28, 2003.
- [40] Linde, «Linde to Build, Own and Operate World's Largest PEM Electrolyzer for Green Hydrogen,» 13 januar 2021. [Internett]. Available: <https://www.linde.com/news-media/press-releases/2021/linde-to-build-own-and-operate-world-s-largest-pem-electrolyzer-for-green-hydrogen>. [Funnet februar 2021].
- [41] Ship Technology, «Carnival Legend,» [Internett]. Available: https://www.ship-technology.com/projects/carnival_legend/. [Funnet mai 2021].
- [42] WÄRTSILÄ, «Wärtsilä 46F,» 2019. [Internett]. Available: <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-46f>. [Funnet Februar 2021].
- [43] B. Pedersen, «Utslipp til luft og sjø fra skipsfart i verdensarvfjordene,» Sjøfartsdirektoratet, 2017.
- [44] European Environment Agency, «Data and Maps; Data Visualisations; Greenhouse gas emission intensity of electricity generation,» [Internett]. Available: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-6#tab-googlechartid_googlechartid_chart_111. [Funnet Februar 2021].

- [45] ITM POWER, «Sale to Linde of World's Largest PEM Electrolyser,» ITM POWER Linde, Januar 2021. [Internett]. Available: <https://www.itm-power.com/news/sale-to-linde-of-world-s-largest-pem-electrolyser>. [Funnet Februar 2021].
- [46] FIRST BERLIN, «ITM POWER Plc,» Februar 2019. [Internett]. Available: https://www.itm-power.com/images/Investors/PresentationsAndResearch/First-Berlin-ITM_LN-2019-02-20_EN.pdf. [Funnet Februar 2021].
- [47] V. T. S. e. al, «Framework conditions, policies and projections for clean energy export in Norway,» SINTEF Energy Research, Trondheim, 2020.
- [48] BKK, «Aurora nominert som kandidat for europeisk hydrogensatsing,» [Internett]. Available: <https://www.bkk.no/artikkel/97c8a0df-f910-4d2f-a0fd-e0156bf90352>. [Funnet April 2021].
- [49] NEL ASA, «Nel ASA: Signs collaboration agreement with Yara related to green fertilizer project,» 20 august 2019. [Internett]. Available: https://nelhydrogen.com/press-release/nel-asa-signs-collaboration-agreement-with-yara-related-to-green-fertilizer-project/?fbclid=IwAR39CjblPzdlqd0bAJTUyuzDr3aV0bAu6h90o__USnIJQoeQaGaEsASanLU. [Funnet 22 mars 2021].
- [50] K. H. Rouwenhorst, A. G. V. d. Ham, G. Mul og S. R. Kersten, «Renewable and Sustainable Energy Reviews,» *Islanded ammonia power systems: Technology review & conceptual process design*, vol. 114, p. 109339, 2019.
- [51] Statistisk sentralbyrå, «Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper. 2016. g/km,» 2016. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>. [Funnet Februar 2021].
- [52] D. Gielen og E. Taibi, «Hydrogens future: redycing costs, finding markets,» Desember 2019. [Internett]. Available: <https://energypost.eu/hydrogens-future-reducing-costs-finding-markets/>. [Funnet Februar 2021].
- [53] S. S. Kumar og V. Himabindu, «Materials Science for Energy Technologies,» *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review*, vol. 2, nr. 3, pp. 442-454, 2019.
- [54] Department for Business, Energy and Industrial Strategy, «International industrial energy prices,» 24 september 2020. [Internett]. Available: https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-industrial-energy-prices?fbclid=IwAR0f1HZLoO8j1sUIpuHXIWWneUkxSQq0BMcvnrdaEPeLTnYOPY9GtLu_AZ4. [Funnet mars 2021].
- [55] NORGES BANK, «Valutakurser,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.norges-bank.no/tema/Statistikk/Valutakurser/?tab=currency&id=GBP>. [Funnet mars 2021].
- [56] S. E. Grønland, «Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016,» TØI , 2018.
- [57] Ship technology, «Costa Diadema Cruise Ship,» Ship technology, [Internett]. Available: <https://www.ship-technology.com/projects/costa-diadema-cruise-ship/>. [Funnet Februar 2021].

- [58] WÄRTSILÄ, «Wärtsilä 32,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32>. [Funnet februar 2021].
- [59] Engineering Toolbox, «Fuels - Higher and Lower Calorific Values,» 2003. [Internett]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html. [Funnet 17 februar 2021].
- [60] S. D. Harsh, L. Youri, V. Klaas, G. Milinko og S. v. Wim, «EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HYDROGEN-NATURAL GAS ENGINES FOR,» Internal Combustion Engine Division, San Diego, 2018.
- [61] S. S. Håvard Holm, «Motstand og framdrift,» NTNU Institutt for marin teknikk, Trondheim.
- [62] K. Kim, G. Roh, W. Kim og K. Chun, «A Preliminary Study on an Alternative Ship Propulsion System Fueled by Ammonia: Environmental and Economic Assessments,» *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8, nr. 3, p. 183, 2020.
- [63] Marine Traffic, «MS Marina,» [Internett]. Available: https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:712914/mmsi:538003668/imo:9438066/vessel:MARINA?fbclid=IwAR2Bt2CFi3zj-Q2wbkZwsM9Yno4VMvVbGokUvT2NuOaalEJ1DCr_lhbZVpw. [Funnet 27 april 2021].
- [64] Air Liquide, «Resources: How is hydrogen stored?,» [Internett]. Available: <https://energies.airliquide.com/resources-planet-hydrogen/how-hydrogen-stored#:~:text=In%20the%20liquid%20form,-A%20state-of&text=Hydrogen%20turns%20into%20a%20liquid,to%2071%20kg%2Fm3>. [Funnet Februar 2021].
- [65] K. Øystese, «Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart,» Norsk klimastiftelse, 2020.
- [66] L. Barelli, G. Bidini og G. Cinti, «Operation of a Solid Oxide Fuel Cell Based Power,» Department of Engineering, University of Perugia, Perugia, 2020.
- [67] G. Cinti, G. Discepoli, E. Sisani og U. Desideri, «International Journal of Hydrogen Energy,» *SOFC operating with ammonia: Stack test and system analysis*, vol. 41, nr. 31, pp. 13583-13590, 2016.
- [68] Institute for Sustainable Process Technology (ISPT), «Power to Ammonia,» ISPT, 2017.
- [69] Engineering ToolBox, «Ammonia - Properties at Gas-Liquid Equilibrium Conditions,» 2018. [Internett]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/ammonia-gas-liquid-equilibrium-condition-properties-temperature-pressure-boiling-curve-d_2013.html. [Funnet Februar 2021].
- [70] S. H. Morten og O. T. Esben, «Klima- og miljøregnskap for energigass i Norge,» 5 Mars 2013. [Internett]. Available: <https://docplayer.me/2828242-Klima-og-miljoregnskap-for-enerdigass-i-norge.html>. [Funnet Februar 2021].
- [71] DET KONGELEGE KLIMA- OG MILJØDEPARTEMENT, «Klimaplan for 2021-2030,» 2021.

- [72] DNV GL, «Current price development oil and gas,» DNV GL, [Internett]. Available: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/current-price-development-oil-and-gas.html>. [Funnet 14 mai 2021].
- [73] Toll, «Historiske omregningskurser - valutakode USD,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.toll.no/no/verktøy/valutakurser/History?SelectedExchangeRate=USD>. [Funnet 14 mai 2021].
- [74] NOx-fondet, «Rapportering av NOx-utslipp og innbetalinger,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/artikler/rapportering-av-nox-utslipp/>. [Funnet 19 mai 2021].
- [75] NTB Kommunikasjon, «ABB bringer brenselcelleteknologi et skritt nærmere drift av store skip,» ABB, 16 april 2020. [Internett]. Available: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/abb-bringer-brenselcelleteknologi-et-skritt-naermere-drift-av-store-skip?publisherId=5310709&releaseId=17883416>. [Funnet 19 mars 2021].
- [76] Equinor, «Planlegger verdens første forsyningsskip på utslippsfri ammoniakk,» 23 januar 2020. [Internett]. Available: <https://www.equinor.com/no/news/2020-01-23-viking-energy.html>. [Funnet februar 2021].
- [77] J. Bogen, «Webinar, Grønne garitime energisystemer,» ABB, april 2020. [Internett]. Available: https://www.blumaritimecluster.no/download?objectPath=/upload_images/353B709AA65147C7B1A3109A59812665.pdf. [Funnet 2021].
- [78] SINTEF, «Hydrogen til utslippsfrie skip i Geirangerfjorden,» 13 desember 2019. [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/hydrogen-til-utslippsfrie-skip-i-geirangerfjorden/>. [Funnet februar 2021].
- [79] I. Bjørdal og e. a. , «Hellesylt Hydrogen Hub (HHH),» Stranda kommune, 2017.
- [80] United Nations Conference of Trade And Development (UNCTAD), «Review of Maritime Transport 2019,» New York, 2019.
- [81] L. Lundby, Forbrenningsmotor, Oslo: UNIVERSITETSFORLAGET, 1968.

Liste over figurer

Figur 1 - Områdeavgrensing for verdensarvområdet Geirangerfjorden [4].....	4
Figur 2 - Ankerhåndteringsfartøyet Normand Ferking [10].	5
Figur 3 – Sleperuten. A = Hellesylt, B = grense for verdensarvfjorden, C = Geiranger [4].	6
Figur 4 – Sammenligning av cruiseskip og ankerhåndteringsskipet, informasjon hentet fra Marine Traffic.	7
Figur 5 - Forventet cruiseanløp i Geirangerfjorden 2021 per 21.12.20 [3].	7
Figur 6 - Forenklet illustrasjon av Haber-Bosch prosessen [29].	14
Figur 7 – Transportrute fra Leuna – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.....	17
Figur 8 – Transportrute fra Mongstad – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.....	18
Figur 9 - Transportrute fra Herøya – Hellesylt. Hentet fra Google Maps.	19
Figur 10 - Drivstofforbruk ved ulike størrelses- og hastighetssegmenter [4].	23
Figur 11 – 3 MW containersistem fra ABB. [15].....	28
Figur 12 - Sammenligning av CO_2 -utslipp fra de ulike segmentene.	40
Figur 13 - Sammenligning av NO_x -utslipp fra de ulike segmentene.....	40
Figur 14 - Kostnader assosiert med produksjon og distribusjon av LH_2 og NH_3	41
Figur 15 - Sammenligning av utslippsresultater fra cruiseskip, produksjon av LH_2 , NH_3 og CGH_2	42
Figur 16 - Sammenligning av kostnadene for produksjon av H_2 og NH_3	42
Figur 17 - Produksjonsutslipp for totalt hydrogenbehov ved ulike lastfaktorer.....	46

Liste over tabeller

Tabell 1 - Tekniske data for Normand Ferking [10]	5
Tabell 2 - Bunkringsprosedyre for LH_2 [24].	11
Tabell 3 - Kostnadselementer for transport med tankbil [56].	22
Tabell 4 – Drivstofforbruk for beregning av installert effekt.....	24
Tabell 5 - Virkningsgrader for et dieselelektrisk fremdriftssystem.....	25
Tabell 6 - Virkningsgrader for et mekanisk fremdriftssystem.	25
Tabell 7 - Virkningsgrader for et hydrogenbasert fremdriftssystem.	26
Tabell 8 - Drivstofforbruk for beregning av energibehov per sesong	28
Tabell 9 - Totalt drivstofforbruk og utslipp fra cruiseskip per turistsesong	33
Tabell 10 - Produksjonsutslipp per sesong for flytende hydrogen ved Leuna og Mongstad.....	34
Tabell 11 – Transportutslipp per sesong ved distribusjon av flytende hydrogen fra Leuna og Mongstad.....	35
Tabell 12 - Produksjonsutslipp per sesong for flytende ammoniakk i Norge.....	35
Tabell 13 - Transportutslipp per sesong ved distribusjon av flytende ammoniakk fra Herøya...	36
Tabell 14 - Produksjonsutslipp per sesong for komprimert hydrogen i Norge.	36
Tabell 15 - Totale produksjonskostnader per turistsesong for Leuna og Mongstad.	37
Tabell 16 - Totale distribusjonskostnader per turistsesong ved leveranse fra Leuna og Mongstad.	38
Tabell 17 - Totale produksjonskostnader for flytende ammoniakk per turistsesong for Herøya.	39
Tabell 18 - Totale distribusjonskostnader per turistsesong ved leveranse fra Herøya.....	39
Tabell 19 - Totale produksjonskostnader per turistsesong for Norge.....	39

Liste over formler

Formel 1 - Drivstoffeffektivitet [59]	24
Formel 2 - Energibehov.	26
Formel 3 - Effekt.	27
Formel 4 - Drivstoffbehov.....	29
Formel 5 - Volum.	30
Formel 6 - Tidsbruk for bunkring [24].....	30
Formel 7 - Drivstofforbruk.	33
Formel 8 - Utslipp.....	33
Formel 9 - Utslipp fra produksjon.....	34
Formel 10 - Utslipp fra transport.....	34
Formel 11 - Produksjonspris for hydrogen.....	37
Formel 12 - Distribusjonskostnader [56].....	37
Formel 13 - Produksjonspris for flytende ammoniakk.....	38
Formel 14 - CO_2 -avgift.	43

Vedlegg A

Foreløpig cruiseliste 2021.

Cruiselista viser faktiske bestillingar 2021. Det vil kome avbestillingar og lista vil bli oppdatert etter kvart.

Stranda hamnevesen sine vurderingar pr. 01.10 2020 er ein reduksjon i antal anløp på inntil 70 % eller meir.

Reiserestriksjonar og smittesituasjonen i verden, reisevanar og lokale berensingar vil ha stor betydning for avbestilling av cruiseanløp.

Rødt felt indikerer et offshore-fartøy (SEVEN VIKING) og tas ikke hensyn til i gjennomsnittsberegningen.

Totalt antall anløp 2021	194
Anløp Geiranger	191
Anløp Hellesylt	120
Anløp Kun Hellesylt	3

Ankerposisjonar (Kai) kan bli endra når Kystverket legg endeleg Ankerplan før sesongen 2021.

Antall	Fartøy	Ankomst	Avgang	Kai	Forrige havn	Neste havn
1	Hanseatic Inspiration	02.04.2021 11:00	02.04.2021 11:30	Pos. 1	Trondheim	Stavanger
1	AIDASOL	14.04.2021 08:30	14.04.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Molde
	AIDASOL	14.04.2021 08:30	14.04.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	14.04.2021 12:00	14.04.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDASOL	21.04.2021 07:30	21.04.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Haugesund
	AIDASOL	21.04.2021 07:30	21.04.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	21.04.2021 10:30	21.04.2021 19:00	Pos. 4B/SW		

1	AIDASOL	28.04.2021 07:30	28.04.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Haugesund
	AIDASOL	28.04.2021 07:30	28.04.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	28.04.2021 10:30	28.04.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	MSC PREZIOSA	03.05.2021 08:00	03.05.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Molde	Bergen
	MSC PREZIOSA	03.05.2021 08:00	03.05.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC PREZIOSA	03.05.2021 10:00	03.05.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	NIEUW STATENDAM	06.05.2021 07:00	06.05.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Molde	Bergen
1	MSC VIRTUOSA	11.05.2021 07:00	11.05.2021 19:00	Pos. 4B/SW	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	11.05.2021 07:00	11.05.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
	MSC VIRTUOSA	11.05.2021 18:00	11.05.2021 19:00	Hellesylt cruisekai		
1	EXPEDITION	11.05.2021 07:30	11.05.2021 13:00	Pos. 3S	Olden	Trondheim
1	OCEAN MAJESTY	11.05.2021 15:30	11.05.2021 23:30	Hellesylt tender	Flåm	Molde
	OCEAN MAJESTY	11.05.2021 15:30	11.05.2021 16:30	Hellesylt tender		
	OCEAN MAJESTY	11.05.2021 18:00	11.05.2021 23:30	Pos. 2		
1	CELEBRITY SILHOUETTE	12.05.2021 07:00	12.05.2021 15:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Stavanger
1	DEUTSCHLAND	13.05.2021 08:00	13.05.2021 14:00	Pos. 3S	Molde	Ålesund
1	ANTHEM OF THE SEAS	17.05.2021 11:00	17.05.2021 19:00	Pos. 4B/SW	Bergen	Ålesund
1	AIDAPRIMA	18.05.2021 08:30	18.05.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	18.05.2021 08:30	18.05.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	18.05.2021 12:00	18.05.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	OCEAN MAJESTY	18.05.2021 15:30	18.05.2021 23:30	Pos. 3S	Flåm	Molde
	OCEAN MAJESTY	18.05.2021 15:30	18.05.2021 21:00	Pos. 3S		
	OCEAN MAJESTY	18.05.2021 22:30	18.05.2021 23:30	Hellesylt tender		
1	IONA	19.05.2021 06:30	19.05.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	19.05.2021 06:30	19.05.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	19.05.2021 09:00	19.05.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	LE BOREAL	21.05.2021 07:30	21.05.2021 18:30	Pos. 3S	Olden	Leknes
	LE BOREAL	21.05.2021 07:30	21.05.2021 15:30	Pos. 3S		

	LE BOREAL	21.05.2021 17:00	21.05.2021 18:30	Hellesylt cruisekai		
1	AIDASOL	21.05.2021 10:30	21.05.2021 21:00	Hellesylt cruisekai	Eidfjord	Åndalsnes
	AIDASOL	21.05.2021 10:30	21.05.2021 12:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	21.05.2021 13:00	21.05.2021 21:00	Pos. 4B/SW		
1	COSTA FASCINOSA	23.05.2021 09:00	23.05.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Trondheim	Bergen
	COSTA FASCINOSA	23.05.2021 09:00	23.05.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FASCINOSA	23.05.2021 11:00	23.05.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	EXPEDITION	24.05.2021 07:00	24.05.2021 14:00	Pos. 3S	Trondheim	Olden
1	ANTHEM OF THE SEAS	24.05.2021 10:00	24.05.2021 20:00	Pos. 4B/SW	Bergen	Ålesund
1	MSC VIRTUOSA	25.05.2021 07:00	25.05.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	25.05.2021 07:00	25.05.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	25.05.2021 09:00	25.05.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	WORLD EXPLORER	25.05.2021 09:00	25.05.2021 15:00	Pos. 3S	Bergen	Flåm
1	IONA	26.05.2021 06:30	26.05.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	26.05.2021 06:30	26.05.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	26.05.2021 09:00	26.05.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	NIEUW STATENDAM	27.05.2021 06:59	27.05.2021 17:00	Pos. 3F	Ålesund	Bergen
1	MEIN SCHIFF 1	27.05.2021 08:00	27.05.2021 20:30	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Tromsø
	MEIN SCHIFF 1	27.05.2021 08:00	27.05.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MEIN SCHIFF 1	27.05.2021 10:30	27.05.2021 20:30	Pos. 4B/SW		
1	MEIN SCHIFF 6	28.05.2021 08:00	28.05.2021 20:29	Pos. 4B/SW	Bergen	Ålesund
	MEIN SCHIFF 6	28.05.2021 08:00	28.05.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 6	28.05.2021 19:30	28.05.2021 20:29	Hellesylt cruisekai		
1	NORWEGIAN STAR	28.05.2021 08:00	28.05.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Akureyri
	NORWEGIAN STAR	28.05.2021 08:00	28.05.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	28.05.2021 11:00	28.05.2021 17:00	Pos. 3F		
1	HANSEATIC SPIRIT	28.05.2021 13:30	28.05.2021 19:00	Pos. 3S	Flåm	Leknes

1	HANSEATIC NATURE	30.05.2021 12:00	30.05.2021 18:00	Pos. 3S	Bergen	Lerwick (Shetland Islands)
1	COSTA FAVOLOSA	31.05.2021 08:00	31.05.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	31.05.2021 08:00	31.05.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FAVOLOSA	31.05.2021 11:00	31.05.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	AMADEA	01.06.2021 07:00	01.06.2021 13:00	Pos. 4B/SW	Nordfjordeid	Ålesund
1	WORLD EXPLORER	01.06.2021 09:00	01.06.2021 15:00	Pos. 3S	Bergen	Flåm
1	IONA	02.06.2021 06:30	02.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	02.06.2021 06:30	02.06.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	02.06.2021 09:00	02.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	EXPEDITION	02.06.2021 07:00	02.06.2021 13:00	Pos. 3S	Olden	Trondheim
1	MEIN SCHIFF 6	03.06.2021 08:00	03.06.2021 20:29	Pos. 4B/SW	Bergen	Geiranger
	MEIN SCHIFF 6	03.06.2021 08:00	03.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 6	03.06.2021 19:30	03.06.2021 20:29	Hellesylt cruisekai		
1	COSTA FASCINOSA	04.06.2021 09:00	04.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Trondheim	Haugesund
	COSTA FASCINOSA	04.06.2021 09:00	04.06.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FASCINOSA	04.06.2021 11:00	04.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	ARTANIA	05.06.2021 19:00	05.06.2021 21:00	Pos. 3F	Ålesund	Bergen
1	COSTA DIADEMA	07.06.2021 09:00	07.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Haugesund
	COSTA DIADEMA	07.06.2021 09:00	07.06.2021 09:59	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	07.06.2021 12:00	07.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	MSC VIRTUOSA	08.06.2021 07:00	08.06.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	08.06.2021 07:00	08.06.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	08.06.2021 09:00	08.06.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	09.06.2021 06:30	09.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	09.06.2021 06:30	09.06.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	09.06.2021 09:00	09.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	CARNIVAL LEGEND	10.06.2021 07:00	10.06.2021 19:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Bergen

	CARNIVAL LEGEND	10.06.2021 07:00	10.06.2021 11:00	Pos. 4B/SW		
	CARNIVAL LEGEND	10.06.2021 12:30	10.06.2021 19:00	Hellesylt cruisekai		
1	WORLD EXPLORER	10.06.2021 08:00	10.06.2021 21:59	Pos. 3S	Olden	Kristiansund
1	AIDASOL	10.06.2021 10:30	10.06.2021 21:00	Hellesylt cruisekai	Rosendal	Åndalsnes
	AIDASOL	10.06.2021 10:30	10.06.2021 11:30	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	10.06.2021 13:00	10.06.2021 21:00	Pos. 4B/SW		
1	MEIN SCHIFF 3	11.06.2021 08:00	11.06.2021 20:29	Pos. 4B/SW	Bergen	Honningsvåg
	MEIN SCHIFF 3	11.06.2021 08:00	11.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 3	11.06.2021 19:30	11.06.2021 20:29	Hellesylt cruisekai		
1	DEUTSCHLAND	12.06.2021 08:00	12.06.2021 14:00	Pos. 2	Hammarvika - Frøya	Ålesund
1	JEWEL OF THE SEAS	12.06.2021 08:00	12.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Bergen	Akureyri
1	NORWEGIAN STAR	12.06.2021 08:00	12.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Seydisfjordur
	NORWEGIAN STAR	12.06.2021 08:00	12.06.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	12.06.2021 11:00	12.06.2021 17:00	Pos. 3F		
1	AMADEA	13.06.2021 07:00	13.06.2021 13:00	Pos. 4B/SW	Nordfjardeid	Ålesund
1	WORLD VOYAGER	13.06.2021 09:59	13.06.2021 18:00	Pos. 3S	Bergen	Kristiansund
1	ANTHEM OF THE SEAS	14.06.2021 09:00	15.06.2021 13:00	Pos. 4B/SW	Bergen	Stavanger
1	SILVER SPIRIT	15.06.2021 08:00	15.06.2021 15:59	Hellesylt tender	Flåm	Bergen
	SILVER SPIRIT	15.06.2021 08:00	15.06.2021 09:30	Hellesylt tender		
	SILVER SPIRIT	15.06.2021 12:00	15.06.2021 15:59	Pos. 2		
1	IONA	16.06.2021 06:30	16.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	16.06.2021 06:30	16.06.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	16.06.2021 09:00	16.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	CRYSTAL SERENITY	16.06.2021 07:00	16.06.2021 18:59	Hellesylt cruisekai	Bergen	Reine
	CRYSTAL SERENITY	16.06.2021 07:00	16.06.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	CRYSTAL SERENITY	16.06.2021 11:00	16.06.2021 18:59	Pos. 2		
1	COSTA FAVOLOSA	18.06.2021 08:00	18.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	18.06.2021 08:00	18.06.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		

	COSTA FAVOLOSA	18.06.2021 11:00	18.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	VIKING STAR	19.06.2021 08:00	19.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Bergen	Leknes
1	AIDASOL	20.06.2021 09:00	20.06.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Åndalsnes
	AIDASOL	20.06.2021 09:00	20.06.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	20.06.2021 12:00	20.06.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	Seaventure	20.06.2021 14:00	20.06.2021 20:00	Pos. 3S	Bremerhaven	Leknes
1	NORWEGIAN STAR	21.06.2021 07:00	21.06.2021 20:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	21.06.2021 07:00	21.06.2021 17:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	21.06.2021 18:00	21.06.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		
1	COSTA DIADEMA	21.06.2021 09:00	21.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Stavanger
	COSTA DIADEMA	21.06.2021 09:00	21.06.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	21.06.2021 12:59	21.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	OCEAN MAJESTY	21.06.2021 14:00	21.06.2021 22:00	Hellesylt tender	Kiel	Leknes
	OCEAN MAJESTY	21.06.2021 14:00	21.06.2021 14:45	Hellesylt tender		
	OCEAN MAJESTY	21.06.2021 15:45	21.06.2021 22:00	Pos. 3S		
1	MSC VIRTUOSA	22.06.2021 07:00	22.06.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	22.06.2021 07:00	22.06.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	22.06.2021 09:00	22.06.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	23.06.2021 06:30	23.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	23.06.2021 06:30	23.06.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	23.06.2021 09:00	23.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDABELLA	23.06.2021 08:00	23.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bodø	Bergen
1	NIEUW STATENDAM	24.06.2021 06:59	24.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Molde	Bergen
1	ARTANIA	24.06.2021 08:00	24.06.2021 12:59	Pos. 3F	Tromsø	Ålesund
1	EUROPA 2	24.06.2021 13:00	24.06.2021 20:00	Pos. 2	Tromsø	Bergen
1	MEIN SCHIFF 1	25.06.2021 08:00	25.06.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Trondheim	Ålesund
	MEIN SCHIFF 1	25.06.2021 08:00	25.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		

	MEIN SCHIFF 1	25.06.2021 19:30	25.06.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	COSTA FASCINOSA	25.06.2021 09:00	25.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Trondheim	Bergen
	COSTA FASCINOSA	25.06.2021 09:00	25.06.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FASCINOSA	25.06.2021 11:00	25.06.2021 18:00	Pos. 3F		
1	VIKING SEVEN	26.06.2021 08:00	26.06.2021 18:00	Pos. 2	Leknes	Bergen
1	SEABOURN SOJOURN	27.06.2021 06:59	27.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	AMERA	28.06.2021 08:29	28.06.2021 14:29	Pos. 3F	Bergen	Ålesund
1	COSTA DIADEMA	28.06.2021 09:00	28.06.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Flåm
	COSTA DIADEMA	28.06.2021 09:00	28.06.2021 09:59	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	28.06.2021 11:00	28.06.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	MARINA	29.06.2021 07:00	29.06.2021 20:00	Pos. 2	Hellesylt	Kristiansund
	MARINA	29.06.2021 07:00	29.06.2021 15:00	Pos. 2		
	MARINA	29.06.2021 17:00	29.06.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		
1	AIDAPRIMA	29.06.2021 08:00	29.06.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	29.06.2021 08:00	29.06.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	29.06.2021 12:00	29.06.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	30.06.2021 06:30	30.06.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	30.06.2021 06:30	30.06.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	30.06.2021 09:00	30.06.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	MEIN SCHIFF 1	01.07.2021 08:00	01.07.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Haugesund	Tromsø
	MEIN SCHIFF 1	01.07.2021 08:00	01.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 1	01.07.2021 19:30	01.07.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	LE DUMONT D URVILLE	02.07.2021 08:30	02.07.2021 19:30	Hellesylt cruisekai	Olden	Ålesund
	LE DUMONT D URVILLE	02.07.2021 08:30	02.07.2021 10:30	Hellesylt cruisekai		
	LE DUMONT D URVILLE	02.07.2021 12:30	02.07.2021 19:30	Pos. 3S		
1	NORWEGIAN STAR	02.07.2021 11:00	02.07.2021 21:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	NORWEGIAN STAR	02.07.2021 11:00	02.07.2021 12:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	02.07.2021 14:00	02.07.2021 21:00	Pos. 4B/SW		

1	MSC PREZIOSA	03.07.2021 08:00	03.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Honningsvåg	Hamburg
	MSC PREZIOSA	03.07.2021 08:00	03.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC PREZIOSA	03.07.2021 09:59	03.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	COSTA DIADEMA	05.07.2021 09:00	05.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	COSTA DIADEMA	05.07.2021 09:00	05.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	05.07.2021 12:59	05.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	MSC VIRTUOSA	06.07.2021 07:00	06.07.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	06.07.2021 07:00	06.07.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	06.07.2021 09:00	06.07.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	SPIRIT OF ADVENTURE	06.07.2021 10:00	07.07.2021 18:00	Pos. 3F	Bergen	Stavanger
1	IONA	07.07.2021 06:30	07.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	07.07.2021 06:30	07.07.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	07.07.2021 09:00	07.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	MEIN SCHIFF 6	09.07.2021 08:00	09.07.2021 20:29	Pos. 4B/SW	Bergen	Honningsvåg
	MEIN SCHIFF 6	09.07.2021 08:00	09.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 6	09.07.2021 19:30	09.07.2021 20:29	Hellesylt cruisekai		
1	VIKING SUN	09.07.2021 08:00	09.07.2021 18:00	Pos. 2	Ålesund	Torshavn
1	Seven Seas Splendor	10.07.2021 06:59	10.07.2021 18:00	Pos. 2	Ålesund	Bergen
	Seven Seas Splendor	10.07.2021 06:59	10.07.2021 14:00	Pos. 2		
	Seven Seas Splendor	10.07.2021 15:59	10.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai		
1	AIDASOL	10.07.2021 09:00	10.07.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Trondheim
	AIDASOL	10.07.2021 09:00	10.07.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	10.07.2021 12:00	10.07.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	COSTA FAVOLOSA	11.07.2021 08:00	11.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	11.07.2021 08:00	11.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FAVOLOSA	11.07.2021 11:00	11.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	SILVER SPIRIT	11.07.2021 08:00	11.07.2021 16:30	Pos. 2	Olden	Bergen

	SILVER SPIRIT	11.07.2021 08:00	11.07.2021 13:30	Pos. 2		
	SILVER SPIRIT	11.07.2021 15:30	11.07.2021 16:30	Hellesylt tender		
1	AMERA	11.07.2021 18:59	11.07.2021 21:00	Pos. 3F	Ålesund	Eresfjord
1	LE DUMONT D URVILLE	12.07.2021 06:30	12.07.2021 20:00	Pos. 2	Ålesund	Hellesylt
1	NORWEGIAN STAR	12.07.2021 07:00	12.07.2021 20:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	12.07.2021 07:00	12.07.2021 17:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	12.07.2021 18:00	12.07.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		
1	COSTA DIADEMA	12.07.2021 09:00	12.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	COSTA DIADEMA	12.07.2021 09:00	12.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	12.07.2021 13:00	12.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	LE DUMONT D URVILLE	13.07.2021 06:30	13.07.2021 16:00	Hellesylt cruisekai	Geiranger	Olden
1	VIKING STAR	13.07.2021 08:00	13.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Leknes	Bergen
1	VIKING JUPITER	13.07.2021 09:00	13.07.2021 20:00	Pos. 2	Flåm	Ålesund
1	ARTANIA	13.07.2021 14:00	13.07.2021 20:00	Pos. 3F	Ålesund	Bergen
1	IONA	14.07.2021 06:30	14.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	14.07.2021 06:30	14.07.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	14.07.2021 09:00	14.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	CELEBRITY REFLECTION	15.07.2021 07:00	15.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Olden
1	MEIN SCHIFF 4	16.07.2021 08:00	16.07.2021 20:30	Hellesylt cruisekai	Goteborg	Tromsø
	MEIN SCHIFF 4	16.07.2021 08:00	16.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MEIN SCHIFF 4	16.07.2021 10:30	16.07.2021 20:30	Pos. 4B/SW		
1	COSTA FASCINOSA	16.07.2021 10:00	16.07.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Trondheim	Bergen
	COSTA FASCINOSA	16.07.2021 10:00	16.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FASCINOSA	16.07.2021 12:00	16.07.2021 19:00	Pos. 3F		
1	ARCADIA	16.07.2021 16:00	17.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Flåm	Åndalsnes
	ARCADIA	16.07.2021 16:00	17.07.2021 05:30	Hellesylt cruisekai		
	ARCADIA	17.07.2021 08:00	17.07.2021 18:00	Pos. 3F		
1	OCEAN MAJESTY	17.07.2021 15:30	17.07.2021 23:30	Pos. 3S	Kiel	Molde

	OCEAN MAJESTY	17.07.2021 15:30	17.07.2021 21:00	Pos. 3S		
	OCEAN MAJESTY	17.07.2021 22:30	17.07.2021 23:30	Hellesylt tender		
1	AMADEA	17.07.2021 18:00	17.07.2021 19:00	Pos. 2	Ålesund	Bergen
1	STAR PRIDE	19.07.2021 08:00	19.07.2021 18:00	Pos. 3S	Bergen	Ålesund
1	COSTA DIADEMA	19.07.2021 09:00	19.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Kiel
	COSTA DIADEMA	19.07.2021 09:00	19.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	19.07.2021 13:00	19.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	WORLD VOYAGER	19.07.2021 10:00	19.07.2021 18:00	Pos. 2	Bergen	Kristiansund
1	MSC VIRTUOSA	20.07.2021 07:00	20.07.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	20.07.2021 07:00	20.07.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	20.07.2021 09:00	20.07.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	21.07.2021 06:30	21.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	21.07.2021 06:30	21.07.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	21.07.2021 09:00	21.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	MSC PREZIOSA	22.07.2021 07:00	22.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Molde
	MSC PREZIOSA	22.07.2021 07:00	22.07.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC PREZIOSA	22.07.2021 09:59	22.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDAPERLA	23.07.2021 09:00	23.07.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPERLA	23.07.2021 09:00	23.07.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPERLA	23.07.2021 11:00	23.07.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	NORWEGIAN STAR	24.07.2021 08:00	24.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Seydisfjordur
	NORWEGIAN STAR	24.07.2021 08:00	24.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	24.07.2021 11:00	24.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	VIKING SEVEN	24.07.2021 08:00	24.07.2021 18:00	Pos. 2	Leknes	Bergen
1	VIKING SUN	25.07.2021 08:00	25.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Torshavn	Ålesund
1	STAR LEGEND	25.07.2021 13:00	25.07.2021 22:00	Pos. 2	Bergen	Ålesund
1	COSTA DIADEMA	26.07.2021 09:00	26.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Haugesund

	COSTA DIADEMA	26.07.2021 09:00	26.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	26.07.2021 13:00	26.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDAPRIMA	27.07.2021 08:00	27.07.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	27.07.2021 08:00	27.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	27.07.2021 12:00	27.07.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	DEUTSCHLAND	27.07.2021 09:00	27.07.2021 14:00	Pos. 3S	Ålesund	Molde
1	IONA	28.07.2021 06:30	28.07.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	28.07.2021 06:30	28.07.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	28.07.2021 09:00	28.07.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	QUEEN VICTORIA	29.07.2021 08:00	29.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Olden	Bergen
1	EUROPA	29.07.2021 09:00	29.07.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Trondheim
	EUROPA	29.07.2021 09:00	29.07.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	EUROPA	29.07.2021 13:00	29.07.2021 18:00	Pos. 2		
1	VIKING JUPITER	30.07.2021 08:00	30.07.2021 18:00	Pos. 3F	Torshavn	Ålesund
1	MEIN SCHIFF 1	30.07.2021 08:00	30.07.2021 20:30	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Bergen
	MEIN SCHIFF 1	30.07.2021 08:00	30.07.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MEIN SCHIFF 1	30.07.2021 10:30	30.07.2021 20:30	Pos. 4B/SW		
1	THE WORLD	30.07.2021 12:00	30.07.2021 20:00	Pos. 2	Ålesund	Reine
1	AMERA	31.07.2021 07:00	31.07.2021 13:00	Pos. 3F	Svolvær	Ålesund
1	MEIN SCHIFF 6	31.07.2021 08:00	31.07.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Tromsø	Bergen
	MEIN SCHIFF 6	31.07.2021 08:00	31.07.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 6	31.07.2021 19:30	31.07.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	AIDASOL	01.08.2021 07:00	01.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Eidfjord
	AIDASOL	01.08.2021 07:00	01.08.2021 08:30	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	01.08.2021 10:00	01.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	VIKING SUN	02.08.2021 08:00	02.08.2021 18:00	Pos. 2	Ålesund	Torshavn
1	COSTA DIADEMA	02.08.2021 09:00	02.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Stavanger
	COSTA DIADEMA	02.08.2021 09:00	02.08.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		

	COSTA DIADEMA	02.08.2021 13:00	02.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	MSC VIRTUOSA	03.08.2021 07:00	03.08.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	03.08.2021 07:00	03.08.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	03.08.2021 09:00	03.08.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	04.08.2021 06:30	04.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	04.08.2021 06:30	04.08.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	04.08.2021 09:00	04.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	AMADEA	04.08.2021 07:00	04.08.2021 13:00	Pos. 2	Nordfjordeid	Ålesund
1	NIEUW STATENDAM	05.08.2021 07:00	05.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Molde	Bergen
1	SEVEN SEAS VOYAGER	06.08.2021 08:00	06.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Trondheim	Bergen
	SEVEN SEAS VOYAGER	06.08.2021 08:00	06.08.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	SEVEN SEAS VOYAGER	06.08.2021 11:30	06.08.2021 18:00	Pos. 3F		
1	COSTA FASCINOSA	06.08.2021 09:00	06.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Trondheim	Haugesund
	COSTA FASCINOSA	06.08.2021 09:00	06.08.2021 16:00	Pos. 4B/SW		
	COSTA FASCINOSA	06.08.2021 17:00	06.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai		
1	MEIN SCHIFF 4	08.08.2021 08:00	08.08.2021 20:30	Pos. 3F	Bergen	Tromsø
	MEIN SCHIFF 4	08.08.2021 08:00	08.08.2021 18:00	Pos. 3F		
	MEIN SCHIFF 4	08.08.2021 19:30	08.08.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	AIDASOL	08.08.2021 10:30	08.08.2021 21:00	Hellesylt cruisekai	Stavanger	Åndalsnes
	AIDASOL	08.08.2021 10:30	08.08.2021 12:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	08.08.2021 13:00	08.08.2021 21:00	Pos. 4B/SW		
1	AMADEA	09.08.2021 08:00	09.08.2021 13:00	Pos. 2	Nordfjordeid	Ålesund
1	COSTA DIADEMA	09.08.2021 09:00	09.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Stavanger
	COSTA DIADEMA	09.08.2021 09:00	09.08.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	09.08.2021 13:00	09.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	QUEEN VICTORIA	10.08.2021 08:00	10.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW	Trondheim	Southampton
1	IONA	11.08.2021 06:30	11.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen

	IONA	11.08.2021 06:30	11.08.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	11.08.2021 09:00	11.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	COSTA FAVOLOSA	12.08.2021 08:00	12.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	12.08.2021 08:00	12.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FAVOLOSA	12.08.2021 11:00	12.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	SILVER WHISPER	12.08.2021 08:00	12.08.2021 16:30	Pos. 2	Åndalsnes	Flåm
	SILVER WHISPER	12.08.2021 08:00	12.08.2021 13:30	Pos. 2		
	SILVER WHISPER	12.08.2021 15:30	12.08.2021 16:30	Hellesylt tender		
1	NORWEGIAN STAR	14.08.2021 08:00	14.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Seydisfjordur
	NORWEGIAN STAR	14.08.2021 08:00	14.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	14.08.2021 11:00	14.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	COSTA DIADEMA	16.08.2021 09:00	16.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Nordfjordeid
	COSTA DIADEMA	16.08.2021 09:00	16.08.2021 09:59	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	16.08.2021 11:00	16.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	LE JACQUES CARTIER	17.08.2021 06:30	17.08.2021 16:00	Pos. 3S	Ålesund	Olden
	LE JACQUES CARTIER	17.08.2021 06:30	17.08.2021 14:30	Pos. 3S		
	LE JACQUES CARTIER	17.08.2021 14:15	17.08.2021 16:00	Hellesylt cruisekai		
1	MSC VIRTUOSA	17.08.2021 07:00	17.08.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Ålesund
	MSC VIRTUOSA	17.08.2021 07:00	17.08.2021 08:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC VIRTUOSA	17.08.2021 09:00	17.08.2021 19:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	18.08.2021 06:30	18.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	18.08.2021 06:30	18.08.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	18.08.2021 09:00	18.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDASOL	18.08.2021 09:00	18.08.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Nordfjordeid
1	MEIN SCHIFF 6	19.08.2021 08:00	19.08.2021 20:30	Hellesylt cruisekai	Oslo	Ålesund
	MEIN SCHIFF 6	19.08.2021 08:00	19.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MEIN SCHIFF 6	19.08.2021 10:30	19.08.2021 20:30	Pos. 4B/SW		

1	VIKING SUN	19.08.2021 08:00	19.08.2021 18:00	Pos. 2	Ålesund	Flåm
1	MSC PREZIOSA	20.08.2021 08:00	20.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Honningsvåg	Hamburg
	MSC PREZIOSA	20.08.2021 08:00	20.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC PREZIOSA	20.08.2021 09:59	20.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	OCEAN MAJESTY	20.08.2021 08:00	20.08.2021 17:30	Pos. 3S	Honningsvåg	Haugesund
	OCEAN MAJESTY	20.08.2021 08:00	20.08.2021 14:30	Pos. 3S		
	OCEAN MAJESTY	20.08.2021 16:30	20.08.2021 17:30	Hellesylt tender		
1	COSTA FAVOLOSA	21.08.2021 08:00	21.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	21.08.2021 08:00	21.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FAVOLOSA	21.08.2021 11:00	21.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	LE JACQUES CARTIER	21.08.2021 08:30	22.08.2021 17:30	Pos. 3S	Olden	Ålesund
	LE JACQUES CARTIER	21.08.2021 08:30	21.08.2021 14:00	Pos. 3S		
	LE JACQUES CARTIER	22.08.2021 16:00	22.08.2021 17:30	Hellesylt cruisekai		
1	NORWEGIAN STAR	23.08.2021 07:00	23.08.2021 20:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	23.08.2021 07:00	23.08.2021 17:00	Pos. 3F		
	NORWEGIAN STAR	23.08.2021 18:00	23.08.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		
1	COSTA DIADEMA	23.08.2021 09:00	23.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Københavns Havn	Haugesund
	COSTA DIADEMA	23.08.2021 09:00	23.08.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA DIADEMA	23.08.2021 13:00	23.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDAPRIMA	24.08.2021 08:00	24.08.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	24.08.2021 08:00	24.08.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	24.08.2021 12:00	24.08.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	25.08.2021 06:30	25.08.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	25.08.2021 06:30	25.08.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	25.08.2021 09:00	25.08.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	MEIN SCHIFF 1	27.08.2021 08:00	27.08.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Bergen	Ålesund
	MEIN SCHIFF 1	27.08.2021 08:00	27.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 1	27.08.2021 19:30	27.08.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		

1	WORLD VOYAGER	27.08.2021 10:00	27.08.2021 18:00	Pos. 3S	Bergen	Kristiansund
1	AMADEA	27.08.2021 14:00	27.08.2021 20:00	Pos. 2	Bremerhaven	Åndalsnes
1	SCENIC ECLIPSE	28.08.2021 08:00	28.08.2021 11:00	Pos. 3S	Trondheim	Flåm
1	MEIN SCHIFF 6	29.08.2021 08:00	29.08.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Bergen	Ålesund
	MEIN SCHIFF 6	29.08.2021 08:00	29.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 6	29.08.2021 19:30	29.08.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	SILVER SPIRIT	30.08.2021 08:00	30.08.2021 16:30	Pos. 2	Bergen	Flåm
	SILVER SPIRIT	30.08.2021 08:00	30.08.2021 13:30	Pos. 2		
	SILVER SPIRIT	30.08.2021 15:30	30.08.2021 16:30	Hellesylt tender		
1	COSTA FAVOLOSA	30.08.2021 09:00	30.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Åndalsnes
	COSTA FAVOLOSA	30.08.2021 09:00	30.08.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	COSTA FAVOLOSA	30.08.2021 12:00	30.08.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	LE JACQUES CARTIER	31.08.2021 06:30	31.08.2021 14:00	Pos. 2	Ålesund	Olden
	LE JACQUES CARTIER	31.08.2021 06:30	31.08.2021 10:30	Pos. 2		
	LE JACQUES CARTIER	31.08.2021 12:15	31.08.2021 14:00	Hellesylt cruisekai		
1	CELEBRITY SILHOUETTE	31.08.2021 07:00	31.08.2021 15:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Bergen
1	Regal Princess	31.08.2021 08:00	31.08.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Tromsø	Skjolden
	Regal Princess	31.08.2021 08:00	31.08.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	Regal Princess	31.08.2021 12:00	31.08.2021 18:00	Pos. 3F		
1	IONA	01.09.2021 06:30	01.09.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	01.09.2021 06:30	01.09.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	01.09.2021 09:00	01.09.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	DEUTSCHLAND	02.09.2021 08:00	02.09.2021 14:00	Pos. 3S	Trondheim	Ålesund
1	MSC MUSICA	02.09.2021 09:00	02.09.2021 18:00	Hellesylt cruisekai	Stavanger	Københavns Havn
	MSC MUSICA	02.09.2021 09:00	02.09.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	MSC MUSICA	02.09.2021 11:00	02.09.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
1	VASCO DA GAMA	02.09.2021 10:00	02.09.2021 20:00	Pos. 2	Eidfjord	Olden
	VASCO DA GAMA	02.09.2021 10:00	02.09.2021 16:00	Pos. 2		
	VASCO DA GAMA	02.09.2021 19:00	02.09.2021 20:00	Hellesylt cruisekai		

1	NORWEGIAN STAR	03.09.2021 08:00	03.09.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Ålesund	Seydisfjordur
	NORWEGIAN STAR	03.09.2021 08:00	03.09.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	NORWEGIAN STAR	03.09.2021 11:00	03.09.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	LE JACQUES CARTIER	04.09.2021 08:30	04.09.2021 17:30	Pos. 3S	Olden	Ålesund
	LE JACQUES CARTIER	04.09.2021 08:30	04.09.2021 14:00	Pos. 3S		
	LE JACQUES CARTIER	04.09.2021 16:00	04.09.2021 17:30	Hellesylt cruisekai		
1	ARTANIA	04.09.2021 17:00	04.09.2021 19:00	Pos. 2	Ålesund	Bergen
1	MEIN SCHIFF 4	06.09.2021 08:00	06.09.2021 20:30	Pos. 4B/SW	Bergen	Olden
	MEIN SCHIFF 4	06.09.2021 08:00	06.09.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 4	06.09.2021 19:30	06.09.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	MEIN SCHIFF 1	07.09.2021 08:00	07.09.2021 20:30	Pos. 3F	Molde	Ålesund
	MEIN SCHIFF 1	07.09.2021 08:00	07.09.2021 18:00	Pos. 3F		
	MEIN SCHIFF 1	07.09.2021 19:30	07.09.2021 20:30	Hellesylt cruisekai		
1	AIDAPRIMA	07.09.2021 08:00	07.09.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	07.09.2021 08:00	07.09.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	07.09.2021 12:00	07.09.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	IONA	08.09.2021 06:30	08.09.2021 17:00	Hellesylt cruisekai	Olden	Bergen
	IONA	08.09.2021 06:30	08.09.2021 07:15	Hellesylt cruisekai		
	IONA	08.09.2021 09:00	08.09.2021 17:00	Pos. 4B/SW		
1	ANTHEM OF THE SEAS	09.09.2021 07:00	09.09.2021 16:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Bergen
1	MEIN SCHIFF 3	10.09.2021 08:00	10.09.2021 20:29	Pos. 4B/SW	Bergen	Kirkwall
	MEIN SCHIFF 3	10.09.2021 08:00	10.09.2021 18:00	Pos. 4B/SW		
	MEIN SCHIFF 3	10.09.2021 19:30	10.09.2021 20:29	Hellesylt cruisekai		
1	VASCO DA GAMA	10.09.2021 10:00	10.09.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Olden
	VASCO DA GAMA	10.09.2021 10:00	10.09.2021 11:00	Hellesylt cruisekai		
	VASCO DA GAMA	10.09.2021 12:30	10.09.2021 20:00	Pos. 2		
1	AIDASOL	14.09.2021 07:30	14.09.2021 19:00	Hellesylt cruisekai	Molde	Trondheim
	AIDASOL	14.09.2021 07:30	14.09.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	14.09.2021 11:00	14.09.2021 19:00	Pos. 4B/SW		

1	AIDAAURA	15.09.2021 08:30	15.09.2021 18:59	Hellesylt cruisekai	Bergen	Sortland
	AIDAAURA	15.09.2021 08:30	15.09.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAAURA	15.09.2021 11:00	15.09.2021 18:59	Pos. 4B/SW		
1	AMADEA	15.09.2021 14:00	15.09.2021 20:00	Pos. 2	Bremerhaven	Åndalsnes
1	M/S ROTTERDAM	16.09.2021 07:00	16.09.2021 17:00	Pos. 4B/SW	Ålesund	Bergen
1	SPIRIT OF ADVENTURE	16.09.2021 10:00	17.09.2021 18:00	Pos. 2	Bergen	Stavanger
1	AIDAPRIMA	21.09.2021 08:00	21.09.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Molde
	AIDAPRIMA	21.09.2021 08:00	21.09.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	21.09.2021 12:00	21.09.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDASOL	23.09.2021 09:00	23.09.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Åndalsnes
	AIDASOL	23.09.2021 09:00	23.09.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	23.09.2021 12:00	23.09.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDAPRIMA	05.10.2021 08:00	05.10.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	05.10.2021 08:00	05.10.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	05.10.2021 12:00	05.10.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDASOL	08.10.2021 09:00	08.10.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Åndalsnes
	AIDASOL	08.10.2021 09:00	08.10.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	08.10.2021 12:00	08.10.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDASOL	18.10.2021 09:00	18.10.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Haugesund	Åndalsnes
	AIDASOL	18.10.2021 09:00	18.10.2021 10:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDASOL	18.10.2021 12:00	18.10.2021 20:00	Pos. 4B/SW		
1	AIDAPRIMA	19.10.2021 08:00	19.10.2021 20:00	Hellesylt cruisekai	Bergen	Ålesund
	AIDAPRIMA	19.10.2021 08:00	19.10.2021 09:00	Hellesylt cruisekai		
	AIDAPRIMA	19.10.2021 12:00	19.10.2021 20:00	Pos. 4B/SW		

Antall anløp 2021	Fartøy	Bruttotonnasje	Passasjerkapasitet
4	MSC PREZIOSA	139072	3502
8	MSC VIRTUOSA	99902	6334
2	CELEBRITY SILHOUETTE	122210	2886
4	ANTHEM OF THE SEAS	168666	4905
8	AIDAPRIMA	125572	3300
17	IONA	184089	5206
5	COSTA FASCINOSA	114500	3800
4	NIEUW STATENDAM	99902	2666
6	MEIN SCHIFF 1	111500	2894
6	MEIN SCHIFF 6	99800	2534
9	NORWEGIAN STAR	91740	2348
6	COSTA FAVOLOSA	114500	3800
4	ARTANIA	44348	1260
11	COSTA DIADEMA	133019	4947
1	CARNIVAL LEGEND	88500	2124
2	MEIN SCHIFF 3	97000	2506
1	JEWEL OF THE SEAS	90900	2501
3	SILVER SPIRIT	39519	608
1	CRYSTAL SERENITY	68870	900
2	VIKING STAR	48000	930
1	AIDABELLA	69203	2050
1	EUROPA 2	42830	500
1	SEABOURN SOJOURN	32346	450
3	AMERA	38848	835
1	MARINA	66084	1447
2	SPIRIT OF ADVENTURE	58250	999
4	VIKING SUN	47800	930
1	Seven Seas Splendor	55254	750
2	VIKING JUPITER	47800	930
1	CELEBRITY REFLECTION	125366	3046
3	MEIN SCHIFF 4	99256	2506
1	ARCADIA	83871	2094
1	AIDAPERLA	125572	3286
2	QUEEN VICTORIA	92000	2081
1	THE WORLD	43188	200
1	Regal Princess	142714	3560
1	MSC MUSICA	92409	2550
2	VASCO DA GAMA	55451	1258
1	AIDAAURA	42289	1266
1	M/S ROTTERDAM	61849	1404

14	AIDASOL	71304	2174
1	Hanseatic Inspiration	15540	230
3	EXPEDITION	6334	963
5	OCEAN MAJESTY	10417	621
4	DEUTSCHLAND	22400	513
1	LE BOREAL	10944	264
3	WORLD EXPLORER	9923	200
1	HANSEATIC SPIRIT	15540	230
1	HANSEATIC NATURE	15650	230
7	AMADEA	28856	600
3	WORLD VOYAGER	9300	200
1	SEAVENTURE	6752	164
3	LE DUMONT D URVILLE	9900	184
1	STAR PRIDE	9975	208
1	STAR LEGEND	9961	212
1	EUROPA	28890	408
1	SEVEN SEAS VOYAGER	42363	706
1	SILVER WHISPER	28258	382
4	LE JACQUES CARTIER	9988	184
1	SCENIC ECLIPSE	17085	228

Gjennomsnittlig cruisestørrelse [BT]	84601
Gjennomsnittlig passasjerkapasitet	2501

Vedlegg B

Virkningsgrad for system ekskludert PEMFC	0.5815
Høyest oppnåelige virkningsgrad @ 25% lastfaktor	0.533
Virkningsgrad benyttet i oppgave @ 50% lastfaktor	0.525
Installert effekt ABB containersystem (oppskalert) [MW]	3.2
Areal ABB containersystem [m²]	43.2
Produksjonspris Mongstad [NOK/kg LH₂]	30.56
Produksjonsutslipp Mongstad [kg CO₂/kg LH₂]	1.12
Dekksplass Normand Ferking [m²]	745.2
Energibehov for et anløp med fartøy over 100 000 BT [MJ]	112445
Energibehov for et anløp med et gjennomsnittlig fartøy mellom 50 - 99 999 BT [MJ]	86359
Lavere brennverdi for hydrogen [MJ/kg]	120
Massetetthet for LH₂ [kg/m³]	71
Anløp per sesong	192

Fargekoder	Kommentar
Ikke mulig, nødvendig dekksplass større enn tilgjengelig dekksplass på Normand Ferking.	Nødvendig dekksplass er i forhold til dekksplassen på Normand Ferking.
Mulig, dekksplass er tilstrekkelig.	

Linje	Lastfaktor	Virkningsgrad for PEMFC ved ulike lastfaktorer	Installert effekt ekskludert lastfaktor [MW]	Nødvendig installert effekt ved lastfaktor [MW]
1	10%	0.51	16	160
2	20%	0.53	15	77
3	25%	0.533	15	61
4	30%	0.53	15	51
5	40%	0.53	15	38
6	50%	0.525	16	31
7	60%	0.51	16	27
8	70%	0.49	17	24
9	80%	0.47	17	22
10	90%	0.45	18	20
11	100%	0.38	21	21
	Antall containersystem ved nødvendig installert effekt	Nødvendig dekksplass for brenselcellesystem	Lagringsbehov for 1 anløp [kg]	Hydrogenbehov per sesong [kg]
1	50	289.60%	3160	465916
2	24	139.34%	3040	448334
3	19	110.84%	3023	445811
4	16	92.89%	3040	448334
5	12	69.67%	3040	448334
6	10	56.27%	3069	452604
7	8	48.27%	3160	465916
8	7	43.06%	3289	484933
9	7	39.28%	3429	505569
10	6	36.47%	3581	528038
11	7	38.87%	4241	625308
	Hydrogenpris per sesong [Millioner NOK]	Produksjonsutslipp per sesong [kg CO ₂]		
1	14.24	521826		
2	13.70	502134		
3	13.62	499308		
4	13.70	502134		
5	13.70	502134		
6	13.83	506917		
7	14.24	521826		
8	14.82	543125		
9	15.45	566237		
10	16.14	591403		
11	19.11	700345		

