



Bacheloroppgave

MAR600 Marin logistikk og økonomi

Utvikling av Infrastruktur for Grønn Hydrogen i Norge

Thomas Haugnes Gammelsæter, Vetle Visnes

Totalt antall sider inkludert forsiden: 54

Molde, Innleveringsdato 31. Mai 2023



Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§16 og 36.	X <input type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert, jf. høgskolens regler og konsekvenser for fusk og plagiat	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Personvern

Personopplysningsloven

Forskningsprosjekt som innebærer behandling av personopplysninger iht. Personopplysningsloven skal meldes til Sikt for vurdering.

Har oppgaven vært vurdert av Sikt?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

- Hvis nei:

Jeg/vi erklærer at oppgaven ikke omfattes av Personopplysningsloven:

Helseforskningsloven

Dersom prosjektet faller inn under Helseforskningsloven, skal det også søkes om forhåndsgodkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, REK, i din region.

Har oppgaven vært til behandling hos REK?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 30

Veileder: Maisiuk Yauhen

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjennelse.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Høgskolen i Molde en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Dato:

Antall ord: 13583

Førord

Denne oppgaven er skrevet som en siste del av bachelorgraden vår i Marin logistikk og økonomi og ble utarbeidet våren 2023.

Oppgaven går under faget MAR 600 og teller 15 studiepoeng. Studiet har blitt gjennomført ved høgskolesenteret i Kristiansund, som er en underavdeling til høgskolen i Molde (Vitenskapelig Høgskole i Logistikk). Temaet for oppgaven er Infrastruktur for Grønn Hydrogen i Norge.

Referansestilen som er benyttet i denne oppgaven er Harvard, Pears og Shields (2016).

Planlegging og utarbeidelse av oppgaven er utført av Thomas Haugnes Gammelsæter og Vetle Visnes

De 3 involverte partene i oppgaven:

- Høgskolen i Molde
- Veileder - Maisiuk Yauhen
- Studentene: Thomas H. Gammelsæter, Vetle Visnes

Vi ønsker å takke vår veileder Maisiuk Yauhen som har bidratt med gode ideer og konstruktive tilbakemeldinger underveis.

Høgskolen i Molde (HiM)

HiM, vitenskapelig høgskole innen logistikk, er en av Norges fremste utdanningsinstitusjoner innen logistikk, og er til dags dato den eneste tilbyder av doktorgradsutdanning innen logistikk. Høgskolen har mer enn 2500 studenter, hovedsakelig ved campus Molde, men også ved avdeling Kristiansund. HiM består av tre avdelinger: Avd. for logistikk, avd. for helse- og sosialfag, og avd. for økonomi og samfunnsvitenskap.

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven fokuserer på utfordringen: "Hvordan utvikle infrastruktur for grønn hydrogen i Norge". Bakgrunnen og motivasjonen for dette forskningsspørsmålet er basert på den økende erkjennelsen av hydrogen som et potensielt middel for å redusere karbonutslippene, spesielt i sektorer som er utfordrende å dekarbonisere.

Studien innledes med en grundig undersøkelse av teorier og begreper knyttet til grønn hydrogen og energiinfrastruktur. Dette rammeverket gir et solid grunnlag for den etterfølgende analysen av utfordringer og muligheter for utvikling av hydrogeninfrastruktur i Norge.

Dette inkluderer en vurdering av potensielle hindringer, som høye produksjonskostnader og tekniske begrensninger, samt hvordan disse kan overvinnes. Det legges også vekt på hvordan grønn hydrogen kan bidra til å nå Norges klimamål, og hvilken rolle infrastrukturen spiller i denne sammenhengen.

Forskningsprosjektet inkluderer også en evaluering av forskjellige transportmoduser for å frakte grønn hydrogen, en gjennomgang av internasjonale erfaringer med utvikling av grønn hydrogen infrastruktur, og vurdering av regulatoriske og økonomiske incentiver som kan stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge.

Et case studie av Norwegian Hydrogen gir praktiske eksempler på hvordan disse konseptene kan implementeres, med fokus på et fiksjonelt case for transport av grønn hydrogen fra Norwegian Hydrogen Hub til Molde, Kristiansund, Ålesund og Oslo for å dekke etterspørselen til Widerøe sine fremtidige hydrogen fly.

Endelig presenteres en diskusjon som oppsummerer de viktigste funnene fra prosjektet og drøfter disse funnene i lys av de tidligere presenterte teoriene og forskningsspørsmålene. Dette arbeidet fremhever det betydelige potensialet, men også de betydelige utfordringene, som ligger i utvikling av grønn hydrogeninfrastruktur i Norge.

Innhold

1.0	Innledning	3
1.1	Bakgrunn og motivasjon	3
1.2	Problemstilling og forskningsspørsmål	4
1.3	Avgrensninger og begrepsavklaringer.....	5
2.0	Litteraturgjennomgang	6
2.1	Definisjoner og begreper om grønn hydrogen	6
2.1.1	Produksjon	6
2.1.2	Lagring	6
2.1.3	Transport	7
2.1.4	Anvendelse.....	7
2.1.5	Infrastrukturen.....	8
2.1.6	Fordeler	8
2.1.7	Ulemper.....	9
2.2	Infrastruktur for energi	10
3.0	Metode	11
3.1	Forskningsdesign og valg av metode	11
3.2	Data	12
3.3	Kvalitetskriterier for forskningsspørsmål.....	13
4.0	Analyse av grønn hydrogen infrastruktur i Norge	14
4.1	Oversikt over teknologier for produksjon og transport av grønn hydrogen i Norge 14	
4.2	Hvilke hindringer eksisterer for utvikling og utbredelse av grønn hydrogen i Norge, og hva er mulige løsninger for å overvinne disse hindringene?.....	15
4.3	Hvordan kan grønn hydrogen bidra til å oppnå Norges klimamål, og hvilken rolle spiller infrastrukturen i denne sammenhengen?.....	16
4.4	Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser for å frakte grønn hydrogen i Norge?	18
4.4.1	Lastebiler.....	19
4.4.2	Skip	20
4.4.3	Tog	20

4.5	Hvilke internasjonale erfaringer finnes det med utvikling av infrastruktur for grønn hydrogen, og hvordan kan disse erfaringene brukes til å utvikle lignende infrastruktur i Norge?.....	20
4.6	Hvilke regulatoriske og økonomiske incentiver kan stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge, og hvordan kan disse incentivene utformes for å være mest effektive?.....	25
4.7	Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser (for eksempel lastebiler, skip og tog) for å frakte grønn hydrogen i Norge?.....	26
5.0	Case studie – Muligheter for fremtidig infrastruktur	28
5.1	Hellesylt Hydrogen Hub.....	31
5.2	Muligheter for bruk av grønn hydrogen i flyindustrien i Norge	33
5.2.1	Beskrivelse av scenario - Widerøe Zero	34
5.2.2	Modellering og resultater - Forbruk.....	35
5.2.3	Modellering og resultater – Distribusjon	36
5.3	Opsummering	37
6.0	Diskusjon.....	38
7.0	Konklusjoner	43
8.0	Referanseliste.....	45

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Grønn hydrogen er en viktig brikke i det grønne skiftet og en avgjørende faktor for å nå klimamålene som er satt av Norge og Parisavtalen. Hydrogen er en hydrogenbærer som brukes i ulike sektorer som transport, industri, kraftproduksjon og kan erstatte fossil energi. Utvikling av en infrastruktur for grønt hydrogen vil redusere utslipp og bidra til å nå klimamålene. Hydrogen er en av de få mulighetene vi har til å redusere utslipp fra tung industri og langdistanse transport som ikke lar seg elektrifisere direkte.

Norge er allerede en stor produsent av fornybar energi, spesielt gjennom vannkraft. Utviklingen av en infrastruktur for grønn hydrogenproduksjon og distribusjon kan gi muligheter for eksport og verdiskaping. Dette kan Norge gjøre ved å utnytte den fordelaktige posisjonen vi har som produsent av fornybar energi. Regjeringen har utpekt hydrogen som en viktig del av den grønne omstillingen i Norge og har derfor planer og satt av betydelige midler for å støtte utviklingen av hydrogenøkonomien (Fiksdal, G., 2022). Det er stadig flere land som satser på hydrogen og ser på det som en viktig del for løsningen av hydrogenkrisen. Landene som har utformet planer og strategier, særlig for grønn hydrogen er Tyskland, Japan og Australia. Vi kan se økende interesse og etterspørsel etter grønn hydrogen fra industrien og transportsektoren.

Motivasjonen vår for å skrive om dette temaet er fordi vi har lyst til å være med på å bidra til kunnskapsgrunnlaget og debatten om hvordan Norge kan utnytte sitt potensial som produsent av fornybar energi og bidra til å redusere utslippene av klimagasser. Vi vil være med å skape interesse og engasjement rundt dette temaet og løfte frem løsninger som kan bidra til en mer bærekraftig fremtid. Vi deler en interesse for energisektoren og ser på hydrogen som en spennende teknologi med et stort potensiale. Vi ønsker å lære mest mulig om utviklingen av hydrogenøkonomien i Norge og hvordan infrastrukturen for grønn hydrogen kan utvikles på en bærekraftig og effektiv måte.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

I kjernen av vår forskning kaster vi lys over det komplekse nettverket av fysiske anlegg og systemer som er uunnværlige for å produsere, lagre, transportere, og distribuere grønn hydrogen. Slik infrastruktur omfatter, men er ikke begrenset til, produksjonsfasiliteter, lagringstanker, rørledningssystemer, og distribusjonsnettverk. Det innfløkte nettverket kan strekke seg ut i domenet til reguleringer, støtteordninger, og andre rammebetingelser som påvirker utviklingen av en hydrogenøkonomi.

Vår problemstilling, som er av betydelig samfunnsmessig relevans: «Hvordan utvikle infrastrukturen for grønn hydrogen i Norge?» Gir en krystallklar indikasjon på hva vi skal undersøke og analysere i dette arbeidet, og understreker viktigheten av vår forskningsreise.

For å kunne dissekere og detaljert undersøke vår hovedproblemstilling, har vi nøye formulert et sett med underordnede forespørsler. Med et strev etter ekspertise, er disse spørsmålene designet for å destillere essensen av vår hovedforskningsspørsmål i mindre, mer fordøyelige porsjoner. Følgelig, presenterer vi våre foreslåtte forskningsspørsmål:

1. Hvilke teknologier er tilgjengelige for å produsere og transportere grønn hydrogen, og hvordan påvirker dette infrastrukturbehovene i Norge?
2. Hvilke hindringer eksisterer for utvikling og utbredelse av grønn hydrogen i Norge, og hva er mulige løsninger for å overvinne disse hindringene?
3. Hvordan kan grønn hydrogen bidra til å oppnå Norges klimamål, og hvilken rolle spiller infrastrukturen i denne sammenhengen?
4. Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser for å frakte grønn hydrogen i Norge?
5. Hvilke internasjonale erfaringer finnes det med utvikling av infrastruktur for grønn hydrogen, og hvordan kan disse erfaringene brukes til å utvikle lignende infrastruktur i Norge?
6. Hvilke regulatoriske og økonomiske incentiver kan stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge, og hvordan kan disse incentivene utformes for å være mest effektive?
7. Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser (for eksempel lastebiler, skip og tog) for å frakte grønn hydrogen i Norge?

1.3 Avgrensninger og begrepsavklaringer

Infrastrukturen for grønn hydrogen er et komplekst og omfattende felt som kan ha mange ulike definisjoner og aspekter. Vi vil fokusere på infrastrukturen i Norge fra 2015-2030, med særlig vekt på produksjon. Infrastrukturen vil bli avgrenset til å omfatte produksjon, transport, lagring og distribusjon av grønn hydrogen i forbindelse med maritime aktiviteter. Forskningen vil bli strukturert rundt åtte sentrale spørsmål, med hvert spørsmål adressert i dedikerte seksjoner.

I den første seksjonen 2.0 undersøkes hvilke teknologier som er tilgjengelige for produksjon og transport av grønn hydrogen. Dette vil inkludere en gjennomgang av eksisterende og nye teknologier, og en analyse av hvordan disse teknologiene kan påvirke Norges infrastrukturbehov.

Den andre seksjonen i 2.0 tar for seg barrierer for utvikling og utbredelse av grønn hydrogen i Norge. Den vil fokusere på å identifisere de største hindringene, både tekniske og økonomiske, og diskutere mulige løsninger for å overkomme disse.

I fjerde seksjon (4.1-4.1.4) kombineres disse temaene for å undersøke hvordan grønn hydrogen kan bidra til å oppnå Norges klimamål, og hvilken rolle infrastrukturen spiller i denne sammenhengen. Dette vil innebære en dypere forståelse av koblingen mellom grønn hydrogenproduksjon og transport, og klima- og energipolitikk.

Den siste del av fjerde seksjonen (4.1.6-4.1.7) tar for seg internasjonale perspektiver og erfaringer med utvikling av grønn hydrogeninfrastruktur. Vi vil se på hva Norge kan lære fra land som allerede har etablert grønn hydrogen, og hvordan disse erfaringene kan overføres til norske forhold. Denne delen vil også se på internasjonale erfaringer med utvikling av infrastruktur for grønn hydrogen og hvordan disse erfaringene kan brukes til å utvikle lignende infrastruktur i Norge.

2.0 Litteraturgjennomgang

2.1 Definisjoner og begreper om grønn hydrogen

Grønn hydrogen er definert som hydrogen som produseres ved hjelp av fornybar energi, som sol- eller vindkraft (Egge, 2020). Det er en bærekraftig og miljøvennlig energibærer som kan erstatte fossil energi i ulike sektorer. Bruk av grønn hydrogen kan dermed bidra til å redusere utslippene av klimagasser og bidra til en bærekraftig fremtid. Grønn hydrogen kan brukes som energibærer i ulike sektorer, som **transport, industri og kraftproduksjon**. Det kan brukes som drivstoff til brenselceller i elektriske kjøretøy, som energikilde i industriprosesser, og som et supplement til fornybar energi i kraftproduksjon. Grønn hydrogenproduksjon kan bidra til å redusere Norges utslipp av klimagasser, samtidig som det kan bidra til økt energisikkerhet.

2.1.1 Produksjon

skjer ved hjelp av elektrolyseprosess, der vann deles opp i hydrogen og oksygen ved hjelp av elektrisitet (Ruud, 2023). Ved bruk av fornybar energi som elektrisitetskilde, kan produksjonen av grønn hydrogen være bærekraftig. Produksjon av grønn hydrogen har høy energieffektivitet og kan være en viktig teknologi for å lagre fornybar energi, og dermed redusere behovet for fossil energi.

2.1.2 Lagring

kan foregå i ulike former, som gass, væske eller fast stoff. Gassformig hydrogen kan lagres under høyt trykk i trykkbeholdere, mens væskeformig hydrogen krever ekstrem kjøling til svært lave temperaturer (omtrent -253°C). Faststofflagring av hydrogen innebærer å binde hydrogenet til andre materialer, som for eksempel metaller eller kjemiske forbindelser, for å skape metallhydrid eller andre hydrogenholdige forbindelser. Valg av lagringsform avhenger av bruksområde, transportbehov, effektivitet, kostnad, størrelse, sikkerhet og tilgjengelig infrastruktur. (Bjørnsen, H., et al., 2006)

2.1.3 Transport

Hydrogenet kan transporteres i rørledninger, som flytende hydrogen i spesialdesignede tankbiler, eller som faststoff ved hjelp av bærere som ammoniakk eller metanol.

Rørledningstransport er ofte mest effektivt for store volumer og korte til mellomlange avstander, mens transport i flytende eller fast form kan være mer egnet for lange avstander og sjøtransport. (Vik, 2020)

2.1.4 Anvendelse

Grønn hydrogen har et bredt spekter av potensielle anvendelser. Disse inkluderer:

1. *Energi og kraftproduksjon:* Hydrogen kan brukes i brenselceller for å produsere elektrisitet, både i stasjonære anlegg og i transportsektoren, for eksempel i hydrogenbiler, busser og tog.
2. *Industrielle formål:* Hydrogen brukes i kjemisk industri, for eksempel i produksjon av ammoniakk og metanol, og som reduksjonsmiddel i stål- og metallindustrien.
3. *Energilagring:* Grønn hydrogen kan fungere som et lagringsmedium for overskuddsenergi fra fornybare kilder og bidra til å balansere energisystemet.
4. *Oppvarming:* Hydrogen kan brukes til å varme boliger og næringsbygg, enten direkte ved forbrenning eller gjennom brenselceller som produserer varme og elektrisitet samtidig. I noen tilfeller kan hydrogen blandes med naturgass for å redusere CO₂-utslippene fra oppvarming, mens i andre tilfeller kan det erstatte naturgass helt.
5. *Luftfart og skipsfart:* Grønn hydrogen kan også spille en rolle i dekarbonisering av luft- og sjøtransport. Flytende hydrogen, hydrogen-baserte brenselceller og ammoniakk som drivstoff er muligheter som utforskes for å redusere utslippene fra disse sektorene.

2.1.5 Infrastrukturen

Infrastrukturen omfatter produksjonsanlegg, lagringstanker, rørledninger, fyllestasjoner og annet utstyr som er nødvendig for å produsere, lagre og transportere grønn hydrogen.

Infrastrukturen for grønn hydrogen er fortsatt under utvikling, og det er utfordringer knyttet til produksjon, lagring og transport av hydrogen, samt kostnader og skala oppbygging. Norges vil ta en ledende rolle når det gjelder bunkringsanlegg for skip og dette gir muligheter for å utvikle en robust infrastruktur for grønn hydrogen. (Schæffer *et al.*, 2020)

2.1.6 Fordeler

Fordelene inkluderer reduserte klimagassutslipp, lavere avhengighet av fossil energi, muligheten for lagring av fornybar energi, og lavere lokale utslipp i byer og tettsteder. Samtidig er det utfordringer knyttet til kostnader og skala oppbygging. I tillegg er det viktig å være oppmerksom på kildene til den fornybare energien som brukes i produksjon av grønn hydrogen, da det kan påvirke bærekraftigheten av teknologien. (Horne, H. and J. Hole 2019).

Oppsummert kan det konkluderes med at norsk infrastruktur for grønn hydrogen er fortsatt under utvikling og Norge har gode muligheter for å utvikle en robust infrastruktur for grønn hydrogen. Fordeler med grønn hydrogen inkluderer reduserte klimagassutslipp, lavere avhengighet av fossil energi, muligheten for lagring av fornybar energi, lavere lokale utslipp i byer og tettsteder, brenselceller mer effektive enn forbrenningsmotorer og høy energitetthet.

Det er viktig å fortsette forskning og utvikling av teknologier og infrastruktur som er nødvendig for å støtte en økende produksjon og bruk av grønn hydrogen. Dette kan inkludere å utvikle mer effektive elektrolysemetoder, forbedre lagringsteknologier, og bygge ut en infrastruktur for transport og distribusjon av hydrogen. Det er også viktig å vurdere utfordringene knyttet til produksjon av grønn hydrogen, inkludert de mulige konfliktene knyttet til bruk av landarealer og vannressurser for produksjon av fornybar energi. Gjennom økt forskning og utvikling, og en mer omfattende infrastruktur, kan grønn

hydrogen spille en viktig rolle i å møte Norges energibehov i en bærekraftig og miljøvennlig måte.

2.1.7 Ulemper

Høy produksjonskostnad: Prosessen med elektrolyse, som er nødvendig for produksjonen av grønn hydrogen, er dyr. Bygging av rørledninger for transport av hydrogen i bulk er også kostbart, og det kreves mye innsats for å skille hydrogen fra andre elementer. (Learn-e5, 2023)

Lagringsutfordringer: Grønn hydrogen må komprimeres til flytende form og holdes ved lave temperaturer, noe som gjør lagring vanskelig. (Learn-e5, 2023) Det krever også betydelige energimengder for komprimert lagring på grunn av lav spesifikk vekt. Det ligger behov for å modernisere gassnettverksrør for injeksjon av grønn hydrogen i gassnettverket og som vil være økonomisk utfordrende. På bakgrunn av dette er bekymringer knyttet til designaspekter, juridiske spørsmål, samfunnsfrykt, og høy kostnad. (Bolorchi, 2021)

Sikkerhetsspørsmål: Grønn hydrogen er fargeløst, noe som gjør det farlig fordi det ikke kan oppdages når det lekker. Dette krever behov for installasjon av sensorer for å sikre sikkerheten. (Learn-e5, 2023)

Transport og distribusjon: Eksisterende hydrogenrørledningsinfrastruktur er ikke tilstrekkelig til å møte fremtidig etterspørsel. Eksisterende naturgassrørledninger kan ikke brukes direkte til hydrogen på grunn av embrittlement, og selv en liten konsentrasjon av hydrogen i naturgassrørledninger kan redusere levetiden til rørledningene betydelig. Andre utfordringer inkluderer manglende finjustering av hydrogenstrømmen ved fyllingsstasjoner, temperatursvingninger under hurtige overføringer av komprimert hydrogen, og behovet for å øke nettverket av hydrogenfyllingsstasjoner. (Bolorchi, 2021)

Sluttbruk av hydrogen: Selv om hydrogen har flere potensielle anvendelser, inkludert injiseres i gassnett, industrielle hydrogen-huber og levering av elektrisitet eller varme, krever disse anvendelsene effektive og sikre lagrings- og transportmetoder, og kan også støte på problemer med skala og kostnadseffektivitet. (Bolorchi, 2021)

2.2 Infrastruktur for energi

Infrastruktur for energi er et sentralt begrep innen energisektoren og refererer til de fysiske anleggene og systemene som er nødvendige for produksjon, lagring, transport og distribusjon av energiressurser. Infrastrukturen for energi er et komplekst nettverk av anlegg og teknologier som må fungere sømløst for å sikre stabil og pålitelig forsyning av energi.

Infrastrukturen for energi kan omfatte alt fra kraftverk (Figur 1) og kraftlinjer til rørledninger (Figur 2) og tankanlegg. Det kan også inkludere distribusjonssystemer som nettverk for strøm- og gasslevering, fyllestasjoner for alternative drivstoff som hydrogen og elektrisitet, og andre typer infrastruktur som er nødvendige for å transportere og lagre energiressurser.



Figur 1 Kraftverk (Store Norske Leksikon)



Figur 2 Rørledninger (Sintef)

Infrastrukturen for energi er avhengig av en rekke faktorer, som geografi, teknologi, økonomi og politikk. I mange tilfeller er utviklingen av infrastruktur for energi en langsiktig prosess som krever store investeringer og politisk vilje.

En viktig faktor som påvirker utviklingen av infrastruktur for energi, er den økende bekymringen for klimaendringer og behovet for å redusere utslippene av klimagasser. Dette har ført til økt fokus på fornybar energi og nye teknologier som kan bidra til å redusere utslippene. Utviklingen av infrastruktur for fornybar energi, som vind- og solkraft, er derfor et sentralt tema innen energisektoren. (Schæffer *et al.* 2020)

En annen viktig faktor som påvirker utviklingen av infrastruktur for energi, er behovet for å sikre energiforsyningssikkerhet. Infrastrukturen for energi må kunne håndtere ulike typer

forstyrrelser, som naturkatastrofer, tekniske feil og politiske konflikter, for å sikre stabil og pålitelig forsyning av energi. (Meld. St. 5, 2023)

Reguleringer og politikk er også viktige faktorer som påvirker utviklingen av infrastruktur for energi. Støtteordninger og incentiver kan være nødvendige for å stimulere utviklingen av ny teknologi og infrastruktur, mens reguleringer kan være nødvendige for å sikre at infrastrukturen er sikker og pålitelig.

I sum kan det konkluderes med at infrastruktur for energi er en viktig faktor for å sikre stabil og pålitelig forsyning av energiresurser. Utviklingen av infrastruktur for energi er avhengig av en rekke faktorer, som geografi, teknologi, økonomi og politikk, og det er behov for økt fokus på utviklingen av infrastruktur for fornybar energi og håndtering av energiforsyningsikkerhet.

3.0 Metode

3.1 Forskningsdesign og valg av metode

Forskningsarkitektur - et nøkkelord i vitenskapelig prosessering. Denne strukturen er essensen av hvordan forskere navigerer i det komplekse landskapet av spørsmål og svar (Saunders *et al.*, 2016). Det er som en reisekart - det peker på destinasjonene trukket fra det spørsmålet som styrer forskningen. Den guider forskeren gjennom datakilder, datainnsamling, etiske labyrinter og begrensninger. Det er formål, oppfatning, litteraturdykk, forskningstilnærming, designstruktur, metoder, og beslutninger om studietype og prosess. Det er som en lineær dans - men ikke alltid.

Neste studie poengterer dette - forskning er ikke alltid en rett linje. Det er heller en sirkulær dans, en iterativ prosess, et ekko av rekursivitet (Gary, T., 2011). Forskere navigerer, tilpasser, oppdager, avgrensner, endrer kurs - de beveger seg frem og tilbake i en syklus av læring og forståelse. Dette er koblingen mellom data og det opprinnelige forskningsspørsmålet (Yin, 2018).

Saunders, Lewis og Thornhill belyser de tre hovedrollene i forskningsdesign - utforskende, beskrivende og forklarende. Utforskende studier er som detektiver - de avklarer, de hjelper til med å forstå det ukjente. Beskrivende studier er som malere - de gir detaljerte portretter av hendelser, individer, situasjoner. Forklarende studier er som brobyggere - de identifiserer og forklarer koblingene mellom variabler (Saunders *et al.*, 2012).

Og nå, vår oppgave. Vi har stilt spørsmålet - "Hvordan utvikle infrastruktur for grønn hydrogen i Norge?" Det er klart at vi vil utforske det ukjente territoriet av grønn hydrogeninfrastruktur, beskrive det nåværende landskapet, og forklare hvordan vi kan bygge en bro til en bærekraftig fremtid. Det er tydelig at dette blir en kombinasjon av utforskende og beskrivende studie.

3.2 Data

I vitenskapens rike skilles det ofte mellom to hovedmetoder for å sanke data - den kvalitative og den kvantitative. Ser vi på kvalitativ metode, er det som om vi samler sammen fortellinger, ord, meninger - det er en verden uten tall. Men det er en verden som ofte er liten, med få enheter under lupen. På den annen side har vi kvantitativ metode, som er som en tallenes hage - data her kan måles, kvantifiseres, og det inkluderer gjerne en større skog av enheter (Jacobsen, 2015).

I denne labyrinten av data, er det et skille mellom primær- og sekundærdata. Primærdata er de du samler selv, som forsker, og tolker med dine egne briller. Sekundærdata derimot, er som gjenbrukte skatter, de er allerede produsert, og du har ikke deltatt i innsamlingen, men du tolker dem. Typiske sekundærdata kan være rapporter, artikler, statistikk. Primærdata er altså data samlet med det spesifikke formål å svare på ditt forskningsspørsmål. Dette betyr at primærdata samlet av en forsker kan bli definert som sekundærdata når den brukes av en annen, som ikke deltok i det spesifikke forskningsprosjektet.

For vår bacheloroppgave har vi stort sett basert oss på kvantitative metoder og sekundærdata. Vi oppdaget at vi hadde flere gode kilder tilgjengelig fra pålitelige kilder. Vi har gjennom prosjektperioden ikke bare undersøkt tall/data fra en kilde, men sammenlignet ulike kilder, slik at vi kunne male et så pålitelig totalbilde som mulig. Fakta til oppgaven har vi hentet fra forskningsrapporter og artikler. Men vi har også hatt det

privilegium å gjennomføre et intervju med Norwegian Hydrogen AS. Dette ga oss et dypere innblikk i de tekniske aspektene av Infrastrukturen.

3.3 Kvalitetskriterier for forskningsspørsmål

Når man vurderer forskningsspørsmål, står pålitelighet og validitet i sentrum. Pålitelighet handler om replikering og konsistens. Hvis forskningen kan gjenskapes med samme funn, er den pålitelig. Validitet gjelder målingenes treffsikkerhet, analysens nøyaktighet og funnenes generaliserbarhet. To typer pålitelighet er intern og ekstern. Intern pålitelighet sikrer konsistens i et forskningsprosjekt, mens ekstern pålitelighet handler om om datainnsamlingsteknikker og analytiske prosedyrer vil gi konsistente funn hvis gjentatt. Trusler mot pålitelighet kan være skjevhet i forskerens registrering av svar, noe som krever metodisk strenghet for å unngå. Dette krever en tydelig forskningsprosess og fullstendig transparens i rapporteringen. Validitet innebærer også intern og ekstern validitet. Intern validitet viser nøyaktig en årsakssammenheng mellom to variabler, mens ekstern validitet handler om om forskningsresultatene kan generaliseres til andre relevante grupper. God forskning krever både pålitelighet og validitet (Saunders *et al.*, 2016).

4.0 Analyse av grønn hydrogen infrastruktur i Norge

4.1 Oversikt over teknologier for produksjon og transport av grønn hydrogen i Norge

For å produsere og transportere grønn hydrogen er det flere teknologier tilgjengelige. Hydrogen kan produseres via elektrolyse av vann ved hjelp av fornybar elektrisitet, eller ved å reformere naturgass kombinert med karbonfangst og -lagring (CCS) for å redusere utslippene (The Norwegian Government's hydrogen strategy, 2020).

Når det gjelder transport, leveres hydrogen i dag fra produksjonsstedet til bruksstedet via rørledninger og over veien i kryogeniske væske tanker eller gassrør trailere. Rørledninger er utplassert i regioner med betydelig etterspørsel som forventes å forbli stabil over flere tiår. Liquefaction anlegg, væske tankere, og rør trailere er utplassert i regioner hvor etterspørselen er på en mindre skala eller voksende. Det pågår også demonstrasjoner av hydrogenlevering via kjemiske bærere (for eksempel i lektre) i store skala applikasjoner, som eksportmarkeder. På bruksstedet for hydrogen er ytterligere infrastrukturkomponenter som ofte er utplassert inkluderer komprimering, lagring, dispensere, målere, og forurensningsdeteksjon og rensingsteknologier (Hydrogen Delivery, u.å.)

I Norge er hydrogenstrategien til regjeringen rettet mot utvikling av nye lavutslippsteknologier og løsninger, og økt fokus på hydrogen er i tråd med målet om å ha internasjonalt konkurransedyktige bedrifter som utvikler teknologi og løsninger for å møte morgendagens utfordringer. Hvis hydrogen skal være en lav- eller nullutslipp energibærer, må den produseres med lav eller null utslipp, for eksempel gjennom naturgassreforming kombinert med CCS, eller fra elektrolyse av vann ved hjelp av fornybar elektrisitet. Hydrogen presenterer spennende muligheter for Norge, som en energinasjon og en teknologinasjon (The Norwegian Government's hydrogen strategy, 2020).

4.2 Hvilke hindringer eksisterer for utvikling og utbredelse av grønn hydrogen i Norge, og hva er mulige løsninger for å overvinne disse hindringene?

Grønn hydrogen har potensial til å bli en nøkkellkomponent i Norges enegiomstilling, men står ovenfor en rekke utfordringer som hindrer utvikling og utbredelse. Vi skal forsøke å utforske de viktigste hindringene og potensielle løsninger for å overvinne dem.

Først og fremst er kostnadene knyttet til produksjon av grønn hydrogen høye, spesielt sammenlignet med fossile brensler og andre alternative energikilder (Johannessen et al., 2021). Elektrolyseutstyr og de nødvendige infrastrukturelle investeringene for å produsere og lagre hydrogen er kostbare. En løsning vil være offentlige insentiver og finansieringsordninger for å støtte forskning og utvikling samt kommersialisering av hydrogenproduksjonsteknologi.

En annen utfordring er den manglende infrastrukturen for hydrogen transport og lagring i Norge. I motsetning til fossile brensler kan hydrogen kreve spesialiserte rørledninger, lagringstanker og kompresjonsstasjoner for å opprettholde effektivitet og sikkerhet, men det finner man ut etter testing og feiling. Samarbeid mellom offentlig og privat sektor kan bidra til å utvikle denne infrastrukturen, enten ved å oppgradere eksisterende rørledninger eller ved å bygge nye dedikerte systemer for hydrogen. Offentlig støtte kan også bidra til å redusere risiko og oppmuntre private investeringer i slike prosjekter. (Sammenhengende verdikjeder for hydrogen, 2023)

Teknologiske modenhet er en tredje hindring når det kommer til grønn hydrogen (Grue, 2022). Selv om elektrolyse er en velprøvd metode for å produsere hydrogen fra vann, er det rom for ytterligere forbedringer i effektivitet og kostnadsreduksjon. Videre investering i forskning og utvikling kan føre til gjennombrudd i hydrogenproduksjonsteknologier, som avansert elektrolyse og nye materialer.

Til slutt, offentlig oppfatning og bevissthet av grønn hydrogen som en energikilde kan være for dårlig eller lite eksponert. For å fjerne denne hindringen kan målrettede utdanningskampanjer og andre nyheter hjelpe å informere offentligheten om hydrogens

fordeler og potensielle bruksområder. Ved å øke bevisstheten og få offentlig støtte, kan grønn hydrogen få økende interesse og bli en mer levedyktig alternativ innenfor Norges energilandskap. Å engasjere seg med interessenter, som industriledere, beslutningstakere og allmennheten, kan fremme dialog og samarbeid for å møte de ulike utfordringene grønn hydrogen står overfor.

4.3 Hvordan kan grønn hydrogen bidra til å oppnå Norges klimamål, og hvilken rolle spiller infrastrukturen i denne sammenhengen?

Grønn hydrogen kan spille en utrolig viktig rolle når det kommer til og nå Norges klimamål, spesielt innenfor sektorer som er vanskelig og de karbonisere, som transport og tungindustri. Infrastrukturen spiller en sentral rolle for å gjøre det mulig å få effektiv og bred bruk av grønn hydrogen i disse sektorene.

Et område hvor grønn hydrogen kan ha en bemerkelsesverdig rolle, er den maritime sektoren. Ifølge en rapport av Menon Economics, Pöyry, og DNV GL (2020), kan alternative drivstoff, inkludert grønn hydrogen, senke klimagassutslippene innenfor skipsfart betydelig. Hydrogen kan levere rent drivstoff til skip, enten direkte gjennom brenselceller eller ved å omdannes til ammoniakk, som er en hydrogenbærer.

Brenselceller, kombinert med elektriske motorer, gir et nullutslippsfremdriftssystem for fartøy, som er avgjørende for at Norge skal nå sine klimamål.

For å kunne ta i bruk grønn hydrogen i maritim sektor, er en velutviklet infrastruktur helt nødvendig. Infrastrukturen inkluderer som nevnt i teori biten hydrogen produksjonsanlegg, fyllestasjoner og lagring system for hydrogen og hydrogenbærere, som f.eks. ammoniakk. Koordinert innsats fra regjering, industri og forskningsinstitusjoner er nødvendig for å kunne tilrettelegge en infrastruktur og snu skipsfarten til hydrogendrevet transport.

Norge har en velutviklet infrastruktur for fornybare energiresurser og for å utvikle en velutviklet infrastruktur for grønn hydrogen kan det kombineres. Hvis det kombineres med eksisterende fornybare energiresurser, offshore teknologi og ekspertise kan vi se for oss at utviklingen vil skyte fart.

Når det kommer til flytende hydrogenproduksjon i stor skala kan Norge utnytte sine rike fornybare energiresurser, særlig vann- og vindkraft, for å produsere grønn hydrogen i stor skala på flytende plattformer i havet (Sammenhengende verdikjeder for hydrogen, 2023) (Tønseth, 2019). Disse plattformene kan benytte seg av flytende vindmøller som energikilde og plasseres nær store offshore vindparker, det er spennende prosjekter som FLQ Cluster, som eies av NEL er verdens første hydrogenanlegg offshore. (Lorentzen, 2021) Elektrolyserørene på plattformene kan produsere grønn hydrogen, som deretter kan lagres og transporteres til land eller eksporteres direkte til andre land, trolig via spesialdesignede skip for flytende hydrogen (Tomasgard *et al.*, 2019).

Videre kan Norge utvikle innovative offshore hydrogenlagringsløsninger, for eksempel ved å bruke saltkaverner under havbunnen for å lagre hydrogen under høyt trykk (Sammenhengende verdikjeder for hydrogen, 2023). Dette vil kunne fungere som en buffer for fornybar energiproduksjon og bidra til å balansere energisystemet ved å lagre overskuddsenergi og frigjøre den når det er behov. Norge har høy grad av ekspertise innen olje- og gassindustrien og bør benytte dette for å konvertere eksisterende infrastruktur, som rørledninger og lagringsanlegg, til å håndtere hydrogen. (Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, 2019). Dette mener vi vil redusere kostnadene og akselerere overgangen til grønn hydrogen, samtidig som det utnytter eksisterende kompetanse i landet.

I industrisektoren kan grønn hydrogen erstatte fossilt brensel i høy temperatur prosesser, som stål og sement produksjon, hvor elektrifisering ikke er mulig, selv om dette vurderes som mindre aktuelt. (Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, 2019). Ved å bruke grønn hydrogen som råstoff eller energikilde kan industrier redusere sitt karbonuttrykk betydelig og bidra til Norges klimamål. Denne overgangen krever imidlertid også en robust infrastruktur for å støtte produksjon, distribusjon og lagring av hydrogen i industriell skala. Etablering av en forsyningskjede og tilpasning av industrielle prosesser for å utnytte hydrogen er viktige skritt i denne forbindelse.

Energisektoren kan dra nytte av grønn hydrogen som et middel for energilagring og balansering av nettet. Når etterspørselen etter elektrisitet er lav, kan overskudd av fornybar energi omdannes til hydrogen gjennom elektrolyse. Dette lagrede hydrogenet kan deretter brukes under høye etterspørselstider, enten ved å konvertere det til elektrisitet eller ved å injisere det direkte i naturgassnettet. Denne prosessen kan bidra til å integrere høyere

andeler av periodiske fornybare energikilder som vind- og solkraft i energimiksen, og til slutt redusere klimagassutslippene. (Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, 2019). En vellykket implementering av et slikt system avhenger imidlertid av tilgjengeligheten av effektive elektrolyser, hydrogenlagringsanlegg og et godt integrert energinett.

4.4 Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser for å frakte grønn hydrogen i Norge?

Evaluering av egnetheten knyttet til mangfoldige transportmidler for befordring av grønn hydrogen i Norge innebærer nøye gransking av en sammensatt samling faktorer som blant annet omfatter kostnadseffektivitet, infrastruktur, tilgjengelighet, trygghet og miljøkonsekvenser.

Lastebiltransport gir passende valgmuligheter for kortere strekninger og begrensede kvanta hydrogen, ettersom de ikke er avhengige av omfattende infrastruktur og innebærer relativt lave kapital- og driftsomkostninger. Imidlertid vil lastebiler potensielt medføre økt utslipp og drivstoffbruk per fraktet enhet i sammenligning med andre transportalternativer. En studie utført av (Path to hydrogen competitiveness 2020), fremhever at veitransport er effektivt for beskjedne hydrogenmengder, men påpeker samtidig at man bør vurdere andre muligheter for større volumer og lengre avstander.

Når det gjelder transport av grønn hydrogen over store avstander og mellom kystområder i Norge, er skip et utmerket alternativ. Skip kan frakte store mengder hydrogen og utnytte den allerede eksisterende maritime infrastrukturen i Norge (SINTEF Ocean, 2021). På den annen side kan skipsfart medføre høyere kapital- og driftskostnader samt større miljøbelastning sammenlignet med andre transportmetoder, avhengig av fartøyets drivstoffkilde og teknologi. Vi kan ut ifra det vi har diskutert tidligere i denne oppgaven se for oss at skipsfart har potensial til å frakte store hydrogenmengder over lange avstander og kan være en kostnadseffektiv løsning, særlig når hydrogenet transporteres i flytende form.

Som et annet alternativ, kan tog være en hensiktsmessig transportmetode, spesielt for lange avstander og over land. Generelt sett er jernbanetransport mer miljøvennlig og drivstoffeffektiv per transportert enhet sammenlignet med lastebiler og skip (L, 2021).

Derimot kan jernbaneinfrastrukturen i Norge være begrenset, og kapital- og driftskostnader kan være høyere enn for lastebiler, spesielt i områder med lav togfrekvens og kapasitet. En rapport fra (Pawelec *et al.*, (2020) understreker at jernbane kan være et attraktivt alternativ for hydrogenfrakt.

For å vurdere egnetheten til forskjellige transportmetoder for grønn hydrogen i Norge, bør man ta hensyn til en blanding av faktorer som kostnadseffektivitet, infrastruktur, tilgjengelighet, sikkerhet og miljøpåvirkning. En integrert tilnærming som kombinerer flere transportmetoder kan også bidra til å redusere kostnader og miljøpåvirkning. (Hydrogen Council, 2020).

Det er viktig å vurdere synergiene mellom eksisterende infrastruktur og teknologier for forskjellige transportmoduser for å utvikle en mer effektiv og bærekraftig hydrogenforsyning i Norge. Videre bør man også vurdere lagringsmetoder og infrastruktur for grønn hydrogen. For eksempel kan komprimert gass, flytende hydrogen og hydrogenbærere som ammoniakk eller metanol være passende lagringsløsninger, avhengig av volum, avstand og sikkerhetskrav (Ragnhild *et al.*, 2021).

Sikkerhetsaspektet i hydrogentransporten er av betydelig betydning, ulike transportmoduser har ulike sikkerhetsutfordringer og -krav, og det er viktig å velge transportløsninger som både erkjenner sikkerhetsutfordringene og kriteriene som ulike transportformer krever. Utvelgelsen av transportmetoder som ivaretar sikkerheten og er økonomisk effektive er avgjørende for en vellykket etablering av grønn hydrogeninfrastruktur.

4.4.1 Lastebiler

Ved å frakte hydrogen med lastebiler, må man håndtere høyt trykk og lave temperaturer for å holde hydrogenet i komprimert eller flytende tilstand. Dette krever særegne sikkerhetsprosedyrer, for eksempel trykkbeholdere, kryogeniske tanker og riktig ventilasjon. Dessuten må man være oppmerksom på potensielle farer som trafikkulykker og lekkasjer under transport, samt grundig opplæring av sjåførere og personell i håndtering av hydrogen.

4.4.2 Skip

Når det kommer til skipsfart, må man vurdere risikoene knyttet til lagring og transport av hydrogen i kryogene tanker og trykkbeholdere ombord på fartøyene. En grundig vurdering av nødsituasjoner som kan oppstå, for eksempel branner, eksplosjoner og lekkasjer, er også påkrevd. Fartøyer som frakter hydrogen må oppfylle kravene fra relevante maritime organisasjoner og klassifikasjonsselskaper, og spesialisert opplæring av mannskapet om bord er nødvendig (Hydrogen Council, 2020).

4.4.3 Tog

Jernbanetransport av hydrogen krever hensyn til sikkerhet rundt håndtering av trykkbeholdere og kryogeniske tanker, samt potensielle risikoer for lekkasjer, branner og eksplosjoner. Jernbaneinfrastruktur og vogner må tilrettelegges for sikker og effektiv transport av hydrogen. I tillegg må man ta hensyn til eventuelle krav til nødberedskap og opplæring av jernbanepersonell i hydrogenhåndtering.

For å håndtere sikkerhetsutfordringene og kravene for hver transportmodus, er det essensielt å utvikle og iverksette standarder, reguleringer og beste praksis for sikker og effektiv transport av hydrogen. Dette inkluderer tiltak for å minimere risikoen for lekkasjer, branner og eksplosjoner, samt opplæring av personell i håndtering av hydrogen og nødprosedyrer. Samarbeid med relevante myndigheter, bransjeaktører og forskningsinstitusjoner for å utvikle og implementere disse sikkerhetstiltakene vil være nøkkelen for å realisere en vellykket og bærekraftig hydrogeninfrastruktur i Norge.

4.5 Hvilke internasjonale erfaringer finnes det med utvikling av infrastruktur for grønn hydrogen, og hvordan kan disse erfaringene brukes til å utvikle lignende infrastruktur i Norge?

Hydrogeninfrastrukturens utvikling er en integrert del av energiomstilling og klimatiltak i flere land. Norge har lansert en rekke initiativer for å fremme grønn hydrogen, men det er viktig å sammenligne nasjonens tilnærming med andre land for å identifisere beste praksis og læringsmuligheter. Denne bacheloroppgavens del vil sammenligne Norges strategi for

utvikling av hydrogeninfrastruktur med andre lands tilnærminger, og undersøke ulike studier og eksempler fra internasjonale sammenhenger.

Chatzimarkakis et al. (2022) sammenligner hydrogeninfrastrukturen i EU og bemerker at ulike medlemsland har forskjellig tilgang til fornybare energikilder, som påvirker deres evne til å produsere og distribuere grønn hydrogen. Tyskland og Frankrike er ledende aktører i Europa når det gjelder investeringer i hydrogeninfrastruktur og teknologi, med ambisiøse mål for hydrogenproduksjon og bruk. At forskjellige EU-land har ulik tilgang til fornybare energikilder kan både skape utfordringer og muligheter. For eksempel kan land som har rikelig tilgang til solenergi, vindkraft eller vannkraft utnytte disse ressursene for å produsere grønn hydrogen, mens andre land kanskje må fokusere mer på andre alternativer, som blå hydrogen (produsert fra naturgass med karbonfangst og -lagring) eller importere hydrogen fra naboland.

Tyskland og Frankrike kan spille en katalytisk rolle i utviklingen av hydrogenøkonomien i Europa. Deres ambisiøse mål for hydrogenproduksjon og bruk vil trolig skape et sterkt marked for hydrogen og stimulere teknologisk innovasjon og kostnadsreduksjon. Dette kan også motivere andre europeiske land til å øke sine egne investeringer og satsinger på hydrogen.

Kar et al. (2022) studerer Australias hydrogeninfrastruktur og nevner at landet har stort potensial for offshore vindkraft, noe som kan utnyttes for å produsere grønn hydrogen. Offshore vindkraft er en ideell ressurs for å produsere grønn hydrogen, ettersom den utnytter vindenergi for å lage hydrogen gjennom elektrolyse av vann, noe som gir minimal miljøpåvirkning sammenlignet med fossile brensler. Offshore vindparker kan ha flere fordeler, inkludert høyere vindhastigheter, mindre visuell og støyforurensning og større arealer tilgjengelig for utbygging.

Xiang et al. (2021) utforsker Kinas hydrogeninfrastruktur og observerer det raskt voksende hydrogenmarkedet, med betydelige investeringer i forskning og utvikling. Kina har også introdusert en rekke politiske tiltak og støtteordninger for å akselerere utviklingen av hydrogeninfrastruktur og hydrogenkjøretøymarkedet. Kinas introduksjon av politiske tiltak og støtteordninger for å akselerere utviklingen av hydrogeninfrastruktur og

hydrogenkjøretøymarkedet indikerer at landet har ambisjoner om å bli en ledende aktør i den globale hydrogenøkonomien.

Kina er allerede verdens største produsent og forbruker av energi, og det er viktig for landet å investere i bærekraftige og miljøvennlige energikilder for å redusere klimapåvirkningen og sikre energiforsyningen i fremtiden. Hydrogen har potensial til å spille en sentral rolle i Kinas overgang til en lavkarbonøkonomi, spesielt innen transportsektoren og som et alternativ til fossile brensler i industrien. De politiske tiltakene og støtteordningene som Kina har introdusert, er designet for å stimulere etableringen av hydrogeninfrastruktur og øke adopsjonen av hydrogenkjøretøy. Dette inkluderer sannsynligvis insentiver for produsenter og forbrukere, samt investeringer i utviklingen av teknologier for hydrogenproduksjon, lagring og distribusjon.

Basert på erfaringer fra andre nasjoner og den norske konteksten, kan man foreslå følgende spesifikke anbefalinger for å forbedre utvikling og implementasjon av hydrogeninfrastruktur i Norge:

- *Dedikert autoritetsetablering:* For samordnet og effektiv gjennomføring av nasjonal hydrogenstrategi, kan en dedikert myndighet eller koordineringsorgan opprettes, inkludert representanter fra relevante interessenter som myndigheter, industri og forskningsinstitusjoner.
- *Insentivinitiativer:* En kombinasjon av økonomiske insentiver, som skattelettelser og subsidier, samt støtte til forskning og utvikling, kan fremskynde investeringer i hydrogeninfrastruktur og teknologi. Insentivene må utformes i samarbeid med industri- og forskningsaktører og evalueres jevnlig (Fiksdal, G. 2022).
- *Internasjonalt samarbeid:* Samarbeid med globale partnere kan styrke kunnskaps- og teknologiutveksling og identifisere beste praksis innen hydrogenproduksjon, distribusjon og bruk. Norge bør søke og delta aktivt i internasjonale initiativer og prosjekter med fokus på hydrogen samt etablere bilaterale avtaler med andre land for utveksling av erfaringer og ressurser (Chatzimarkakis et al., 2022).

- *Pilot- og demonstrasjonsprosjekter:* For å teste og validere nye hydrogenløsninger og teknologier, bør Norge støtte etableringen av pilot- og demonstrasjonsprosjekter. Disse kan gi innsikt i tekniske, økonomiske og sosiale utfordringer og muligheter knyttet til implementering av hydrogeninfrastruktur og bidra til å identifisere effektive strategier og tilnærminger (Reigstad et al., 2022).
- *Eksisterende infrastrukturintegrasjon:* For å sikre tilgjengelighet og funksjonalitet av hydrogeninfrastrukturen, må den integreres i eksisterende energi- og transportinfrastruktur. Dette kan inkludere etablering av et nettverk av hydrogenfyllestasjoner langs viktige transportkorridorer og i tettsteder, samt utvikling av strategier for å koble hydrogenproduksjon til eksisterende kraftnett og gassrørledninger. (Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, 2019)
- *Kompetanseutvikling:* For å sikre at fagfolk og teknikere som arbeider med hydrogeninfrastruktur og teknologi har nødvendig kompetanse og ferdigheter, bør opplæringsprogrammer og kurs utvikles og implementeres. Disse programmene kan samarbeide med utdanningsinstitusjoner, forskningsorganisasjoner og industripartnere for å sikre at opplæringen er relevant og oppdatert (Chatzimarkakis et al., 2022).
- *Informasjons- og bevisstgjøringkampanjer:* For å øke forståelsen og aksepten av hydrogen som en bærekraftig energikilde og redusere barrierer knyttet til teknologi- og sikkerhetsbekymringer, bør informasjons- og bevisstgjøringkampanjer lanseres. Disse kampanjene kan rettes mot både allmennheten og beslutningstakere og inkludere både informasjon om fordelene ved hydrogen og veiledning om trygg og effektiv bruk av hydrogeninfrastruktur og teknologi.
- *Overvåking og evaluering:* For å sikre at utviklingen og implementeringen av hydrogeninfrastruktur er effektiv og bærekraftig, må det gjennomføres regelmessig overvåking og evaluering. Dette kan inkludere innsamling og analyse av data om hydrogenproduksjon, distribusjon og anvendelse, samt identifisering av utfordringer og muligheter. Basert på denne informasjonen kan politiske tiltak og strategier justeres og forbedres

I denne sammenheng er det nødvendig å sørge for en kontinuerlig og dynamisk utveksling mellom offentlige instanser, næringsliv og forskningsorganisasjoner for å identifisere og takle de stadig skiftende utfordringene og mulighetene som kommer til syne under utviklings- og implementeringsprosessen for hydrogeninfrastruktur. Dette vil resultere i en fleksibel og solid ramme som kan tilpasse seg endringer i teknologi, markedsforhold og politiske prioriteringer.

Det avgjørende å overvåke og evaluere de ulike tiltakenes og strategiernes prestasjon og innvirkning for å forsikre at hydrogeninfrastrukturens implementasjon fører til de ønskede økonomiske, sosiale og miljømessige fordelene. Dette vil gi et stødig fundament for justering og forbedring av politikk og praksis i forbindelse med hydrogeninfrastruktur, og vil hjelpe til med å sikre en bærekraftig og vellykket energiovergang i Norge.

Til sammen vil en systematisk og koordinert tilnærming til implementeringen av anbefalte tiltak og strategier, kombinert med kontinuerlig læring og tilpasning, være avgjørende for å realisere en vellykket utvikling og implementering av hydrogeninfrastruktur i Norge. Dette vil bidra til å styrke landets posisjon som en global leder innen bærekraftig energi og legge grunnlaget for en grønnere og mer bærekraftig fremtid.

For å oppnå dette, må Norge vektlegge samarbeid på tvers av offentlig og privat sektor, samt involvere forskningsinstitusjoner og industriaktører i planlegging og beslutningsprosesser. Ved å involvere et bredt spekter av interessenter og utnytte deres kompetanse og erfaringer, kan Norge utvikle en mer omfattende og effektiv strategi for utvikling og implementering av hydrogeninfrastruktur (Fiksdal, G. 2022).

Det er også viktig å vurdere de sosiale aspektene ved implementering av hydrogeninfrastruktur, slik som å sikre lokalbefolkningens involvering og engasjement i beslutningsprosesser og å vurdere potensielle sosiale konsekvenser av ny infrastruktur og teknologi.

Ved å følge disse prinsippene og arbeide målrettet mot en helhetlig og koordinert tilnærming, kan Norge posisjonere seg som en ledende aktør innen bærekraftig energi og

hydrogeninfrastruktur og fremme en grønn og bærekraftig energiovergang som gir langsiktige fordeler for landet og dets innbyggere.

4.6 Hvilke regulatoriske og økonomiske incentiver kan stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge, og hvordan kan disse incentivene utformes for å være mest effektive?

For å stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge eller andre steder, kunne en kombinasjon av regulatoriske og økonomiske insentiver brukes:

Regulatoriske insentiver: Regjeringen kan etablere forskrifter som pålegger bruk av grønn hydrogen i bestemte sektorer, eller de kan sette utslippsstandarder som indirekte fremmer bruken av det. For eksempel kunne innføring av strengere utslippsstandarder i transport- eller produksjonssektorer fremme overgangen til hydrogen som en renere energikilde. (Vik, 2023)

Økonomiske insentiver: Regjeringer kan tilby økonomiske insentiver som subsidier eller skattefordeler for bedrifter som investerer i produksjon av grønn hydrogen. Dette kan også innebære å gi finansiering til forskning og utvikling av nye og mer effektive måter å produsere grønn hydrogen på. (Veikart for grønn vekst, 2017)

Utformingen av disse insentivene bør nøye tilpasses lokale forhold og kapabiliteter. Et land som Norge, med stort potensial for vindenergi, kunne for eksempel målrette sine insentiver mot produksjon av grønn hydrogen ved hjelp av vindkraft. I motsetning til dette kunne et land med rikelig solenergi fokusere sine insentiver på produksjon av grønn hydrogen ved hjelp av solenergi. Videre kunne regjeringer forsøke å stimulere til utvikling av infrastruktur nødvendig for å utnytte hydrogen, som brenselcellekjøretøyer og hydrogenfyllestasjoner.

4.7 Hvordan kan man evaluere egnetheten til ulike transportmoduser (for eksempel lastebiler, skip og tog) for å frakte grønn hydrogen i Norge?

Evaluering av egnetheten til ulike transportmoduser for å frakte grønn hydrogen i Norge er et komplekst spørsmål som krever en flerdimensjonal tilnærming. Noen av de viktigste faktorene å vurdere er geografi, infrastruktur, kapasitet og energieffektivitet:

- *Geografi og infrastruktur:* Norge har en unik geografi med fjell, fjorder, øyer, og store avstander mellom byer. Denne geografien påvirker tilgjengeligheten av ulike transportmidler. For eksempel vil båt- og togtransport være mer hensiktsmessig i områder der veiinfrastrukturen er mindre utviklet. På samme tid, har Norge en av verdens mest omfattende kystinfrastrukturer, noe som kan favorisere skipstransport for hydrogen.
- *Kapasitet:* Ulike transportmoduser har forskjellig kapasitet. Lastebiler kan håndtere moderate mengder hydrogen, mens skip og tog kan frakte store volum. Dette kan være avgjørende hvis produksjonskapasiteten for grønn hydrogen i Norge øker betydelig.
- *Energieffektivitet:* Transportmodusens energieffektivitet vil påvirke dens egnethet for hydrogenfrakt. Her vil det være viktig å vurdere drivstoffeffektiviteten, samt energiforbruket knyttet til kjøling og komprimering av hydrogenet, da dette kan påvirke total energieffektivitet.

Utifra (Lona, 2021) ser det ut til at ulike nullutslippsteknologier, inkludert batteri, komprimert hydrogen (CH₂), flytende hydrogen (LH₂) og ammoniakk (NH₃), blir vurdert for forskjellige typer fartøy i havbruksnæringen, inkludert fôrbåter, brønnbåter, servicebåter, arbeidsbåter, og slaktebåter. Nøkkelfaktorene som vurderes inkluderer energilagringsbehovet, plassbehovet, vekt, stabilitet, og sikkerhetskrav for ulike typer drivstoff.

Det kommer tydelig frem fra teksten at valg av teknologi til dels er bestemt av fartøyets størrelse og operasjonelle behov. For eksempel er fullelektrisk drift mest aktuell for fartøy med lavt effektbehov, korte seiledistanser og hyppige lademuligheter. På den annen side ser det ut til at hydrogen i forskjellige former kan være aktuelt for større fartøy med høyere energibehov, gitt at det er tilstrekkelig plass til å lagre drivstoffet.

En utfordring med bruk av hydrogen er økning i vekt og plassbehov. Dette kan være mer problematisk for fartøy som har begrensninger på dekksplass og lengde, som servicebåter. Hydrogen kan være mindre egnet for store fartøy som brønnbåter og slaktebåter på grunn av det store energilagringsbehovet, der vil ammoniakk være et mer egnet alternativ for disse fartøyene.

Andre viktige faktorer er for å evaluere egnetheten er:

- *Sikkerhet:* Hydrogen er et lett antennelig stoff, noe som stiller strenge krav til sikkerhets- og håndteringsprosedyrer under transport. Hver transportmodus har forskjellige sikkerhetsutfordringer. For eksempel er sjøtransport generelt sikrere når det gjelder risikoen for ulykker, men utgjør utfordringer med tanke på håndtering av hydrogen på sjøen og i havner. Togtransport, på den annen side, kan være mer utsatt for ulykker, men gir mulighet for rask og sikker evakuering og respons.
- *Miljøpåvirkning:* Miljøpåvirkningen av hver transportmodus er et viktig kriterium. Dette omfatter ikke bare utslipp av klimagasser, men også lokal forurensning og støy, samt påvirkning på dyreliv og naturlige økosystemer. I denne sammenheng er det verdt å merke seg at både skip og tog generelt har lavere utslipp per transportert enhet enn lastebiler.
- *Teknologi og utstyr:* Frakt av hydrogen krever spesialisert utstyr og infrastruktur, inkludert trykkbeholdere, kjøleanlegg, og fyllestasjoner. Tilgjengeligheten av slikt utstyr og teknologi for hver transportmodus vil være en avgjørende faktor.

Økonomisk gjennomførbarhet: Kostnader knyttet til hver transportmodus, inkludert investeringer i utstyr og infrastruktur, operasjonelle kostnader, og kostnader relatert til sikkerhet og miljøpåvirkning, vil også spille en rolle i evalueringen.

5.0 Case studie – Muligheter for fremtidig infrastruktur

Vi vil utføre en case-studie av en norsk bedrift som arbeider med grønn hydrogen: Norwegian Hydrogen AS. Målet er å analysere og sammenligne deres tilnærminger, prosjekter og teknologier for å forstå hvordan de bidrar til utviklingen av infrastrukturen for grønn hydrogen i Norge.

Potensiet bruk av hydrogen av norske kunder:

1. Selskapet bygger et nettverk av hydrogenfyllingsstasjoner i hele Norden, lokalisert i korridorene for tungtransport. Dette muliggjør nullutslippstransport på veiene.
2. Dombås fyllingsstasjon: Selskapet planlegger å bygge en hydrogenfyllingsstasjon for tungtransport i Dombås. Hydrogenet vil bli produsert ved hjelp av fornybar energi, noe som bidrar til å redusere utslipp av klimagasser i Dombås og nærliggende områder².
3. Northern Xplorer: Norwegian Hydrogen har inngått et samarbeid med flere partnere for å utvikle en komplett hydrogenverdikjede for Northern Xplorer's første nullutslipps cruiseskip, samt å gjøre forurensningsfritt hydrogen tilgjengelig for det bredere maritime markedet
4. Widerøe Zero, datterselskapet av Widerøe er fokusert på utslippsfri flyvning. Widerøe planlegger å sette sitt første nullutslippsfly i luften innen 2026, og har ambisiøse planer om å erstatte sin nåværende flåte av Dash-8-fly med enten elektriske eller hydrogen-drevne fly innen 2035. Widerøe Zero har inngått et samarbeid med Embraer's urban air mobility (UAM) avdeling, kjent som Eve, for å utvikle innovative nye grønne fly for urban mobilitet. I seksjon 5.1.2.1, vil vi beskrive et mulig scenario for Norwegian Hydrogen og Widerøe Zero.

Norwegian Hydrogen AS ble grunnlagt i 2020 av Knut Flakk og en gruppe industrielle investorer, inkludert Flakk Gruppen, Hexagon Purus, Hofseth International og Tafjord Kraftproduksjon. De ser en fremtid med nullutslipp og ønsker å bidra til dette gjennom produksjon og distribusjon av grønn hydrogen. Bedriftens første prosjekt, Hellesylt Hydrogen Hub, ble tildelt NOK 46 millioner i Pilot-E finansiering fra Innovasjon Norge og Norges forskningsråd i 2019. Fra andre halvdel av 2023 vil Hellesylt Hydrogen Hub bruke overskuddskraft fra lokale vannkraftverk til å produsere grønn hydrogen.

Ved å se på denne bedriften vil vi undersøke respektive strategier, teknologier og prosjekter, samt deres bidrag til å utvikle infrastrukturen for grønn hydrogen i Norge. Vi vil vurdere hvordan deres tilnærminger komplementerer hverandre og identifisere potensielle synergier som kan akselerere overgangen til en hydrogenøkonomi. Dette vil gi et grundig innblikk i hvordan ulike aktørene jobber for å fremme grønn hydrogen og skape en bærekraftig fremtid for Norge og verden.

Norwegian Hydrogen ble inspirert av de nye kravene fra den norske regjeringen i 2018, som fra 2026 krever utslippsfri adgang til UNESCOs verdensarvfjorder i Norge. Dette førte til ideen om en hydrogenfabrikk i Hellesylt som kan levere lokal, grønn hydrogen til fartøy som seiler inn i fjordene.

Bedriftens første prosjekt, Hellesylt Hydrogen Hub, fikk tildelt NOK 46 millioner i Pilot-E finansiering fra Innovasjon Norge og Norges forskningsråd i 2019. Prosjektet har som mål å benytte overskuddskraft fra lokale vannkraftverk for å produsere grønn hydrogen. Fra andre halvdel av 2023 forventes Hellesylt Hydrogen Hub å starte produksjonen av grønn hydrogen.

I 2021 ansatte Norwegian Hydrogen AS sin første heltidsansatte, Jens Berge, som administrerende direktør. Samme år kjøpte selskapet en tomt i Hellesylt, og prosjektet tok et stort skritt mot realisering. Selskapet utvidet også bemanningen ytterligere med tre nye ansatte.

Norwegian Hydrogen AS jobber aktivt for å utvikle og implementere bærekraftige løsninger for grønn hydrogenproduksjon i Norge. Gjennom deres innovasjon og

engasjement bidrar selskapet til å akselerere overgangen til en hydrogenøkonomi og styrker Norges posisjon som en global leder innen hydrogenmarkedet.

Norwegian Hydrogen AS og deres Hellesylt hydrogensentral spiller en intrikat rolle i utviklingen av grønn hydrogeninfrastruktur i Norge. Sentralen genererer hydrogen ved å benytte seg av fornybar energi fra lokale vannkraftverk, som tilbyr en bærekraftig og miljøvennlig energikilde for tungtransport og personbiler (Norwegian Hydrogen, n.d.). Denne produksjonen er i samsvar med EUs regelverk for fornybare energikilder og bidrar til Norges mål om å redusere klimagassutslipp.

En av de mest krevende utfordringene knyttet til etableringen av en infrastruktur for grønn hydrogen er utbyggingen av et distribuert nettverk av fyllestasjoner. For å sikre tilstrekkelig hydrogentilgang på disse stasjonene og imøtekomme behovene til både tungtransport og personbiler, er det nødvendig med en effektiv logistikk rundt transport og lagring av hydrogen. Norwegian Hydrogen har utviklet en løsning kalt HEXA-containeren, en 40-fots container som kan inneholde opptil 1 tonn hydrogen ved 380 bar trykk (Flakk 2020). Det finnes også mindre, 20-fots containere som kan holde ½ tonn hydrogen og koster omkring 500 000 kroner.

Selv om disse containerne er kostbare, med priser mellom 4-6 millioner kroner for 40-fots containere, er de nødvendige for å transportere hydrogenet fra produksjonsanlegget til fyllestasjonene på en trygg og effektiv måte. Men logistikken rundt en flåte av slike containere er krevende, ettersom det kreves et relativt stort antall containere i sirkulasjon for å kunne levere hydrogenet til de ulike destinasjonene, som Åndalsnes, Andabru, Trondheim, Bergen og Stavanger. I dag har Norwegian Hydrogen tre containere, noe som tyder på at det er behov for ytterligere investeringer for å kunne skalere opp infrastrukturen og møte etterspørselen etter hydrogen (Intervju med Norwegian Hydrogen, 20.04).

Kostnader og tilgjengeligheten av containere, samt reguleringer og sikkerhetskrav, er sentrale faktorer som påvirker utviklingen av infrastrukturen for grønn hydrogen i Norge. Forskjellige trykklasser på containerne kan også påvirke transport og lagring av hydrogen, og det er viktig å ta hensyn til disse kravene ved utforming og implementering av infrastrukturen. Provaris, en del av Norwegian Hydrogen, arbeider med disse utfordringene for å bidra til en bærekraftig og effektiv infrastruktur for grønn hydrogen i Norge.

5.1 Hellesylt Hydrogen Hub

Infrastrukturen for grønn hydrogen er et sentralt tema innen bærekraftig energiutvikling, og forståelse av både nåværende og fremtidige muligheter innen produksjon, distribusjon og bruk er avgjørende. Et kart over denne infrastrukturen vil illustrere den raskt voksende hydrogenøkonomien og dens potensiale for å bidra til en bærekraftig fremtid.

Det er per dags dato ingen produksjonsanlegg i drift for grønn hydrogen. En av de første blir Hellesylt hydrogen hub som vil produsere 1,3 tonn grønn hydrogen daglig. Aker planlegger å få bygget et produksjonsanlegg for blå hydrogen ved Ormen Lange, der de bruker Ormen Lange gassen til å lage hydrogenet. Produksjon av hydrogen er kostbart og det er på et generelt nivå lite etterspørsel etter grønn hydrogen. Det vil bli mer lønnsomt i fremtiden når det er utviklet en god infrastruktur.

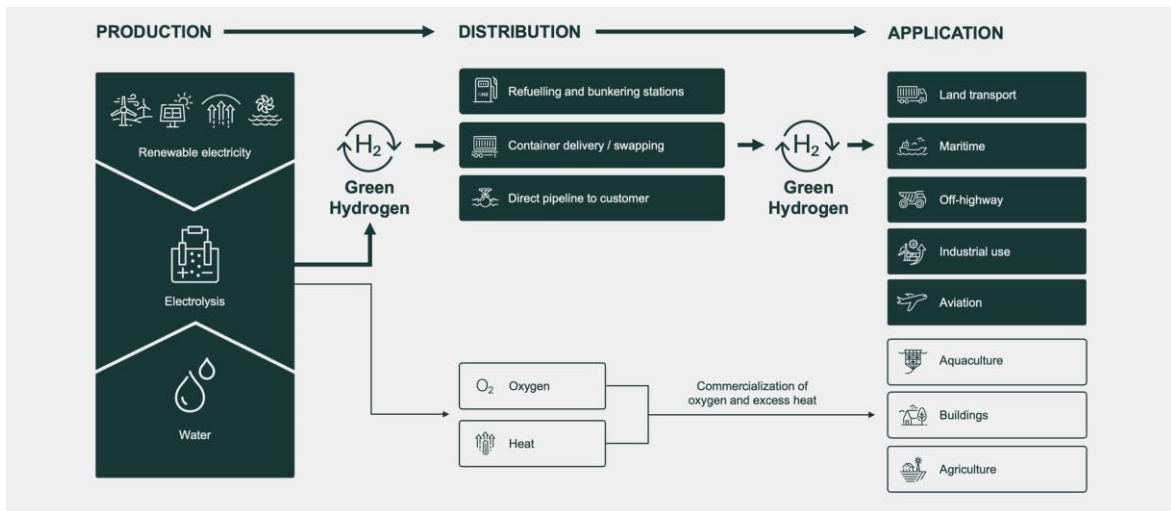
Hellesylt hydrogen Hub representerer en innovativ tilnærming til hydrogenproduksjon, hvor hydrogenet lagres i spesialdesignede containere for enkel transport med Lastebil for så og bli lastet videre på båt eller tog. Denne fleksibiliteten i transport og distribusjon er avgjørende for å møte behovene til en deversifisert hydrogenøkonomi.



Figur 3 Illustration of the green hydrogen plant at Hellesylt

Figur 3 viser lokasjonen hvor Hellesylt hydrogen Hub skal bygges, vi skal nå se nærmere på hvilke transportmuligheter de har. Hydrogenet de produserer skal som sagt lagres i HEXA containere. Containeren kan enkelt fraktes ved hjelp av lastebiler som kan frakte hydrogenet til nærmeste togstasjon for videre transport. Nærmeste togstasjon for hellesylt hydrogen hub er Åndalsnes stasjon, som ligger 95 km unna. Åndalsnes er en endestasjon

på raumabanen, som forbinder Åndalsnes med Dombås stasjon. Dombås stasjon ligger på dovrebanen, som går mellom Oslo og Trondheim. Derfor blir det letter å utnytte eksisterende tog nettverk i Norge for å levere kunder over hele Norge, eller vertfall der det ligger muligheter.



Figur 4 Value chain: Product delivery and customer segments at glance

I figur 4 blir det illustrert at Norwegian Hydrogen har tre hovedprosesser som utgjør verdikjeden deres. Produksjonsprosessen innebærer innhenting av vann og fornybar energi, som sol og vindkraft. Gjennom elektrolyse skaper NH grønn hydrogen som deretter kan distribueres til kundene. Det er flere bruksområder for reserveenergien, inkludert akvakultur, bygninger og agrikultur som ligger i nærområdet.

Norwegian Hydrogen (NH) har tilgang på flere kilder for å hente vann, inkludert rensset sjøvann og brakkvann fra havet. De benytter seg hovedsakelig av en kombinasjon av sol- og vindkraft for å skaffe strøm til produksjonsprosessen. NH har etablert samarbeid med lokale fornybare energiprodusenter som benytter sol- og vindkraft fra lokale kilder i området hvor hydrogenproduksjonen foregår.



Figur 5 Hellesylt Hydrogen Hub (Norwegian Hydrogen AS)

Figur 5 illustrerer hvor reserveenergien til Norwegian Hydrogen Hub kan anvendes. Så brukes det til lokale bedrifter og andre fasiliteter, som den lokale fotballbanen. Holder temperaturen oppe om vinteren for å holde gresset spilleklart til enhver tid. Dette er også med på å holde inbyggerne fornøyde.

5.2 Muligheter for bruk av grønn hydrogen i flyindustrien i Norge

Vi kan se på en mulig fremtidig kunde for Hellesylt hydrogen Hub. Hydrogen er en lovende energibærer for å oppnå utslippsfri luftfart, og Widerøe har satt seg som mål å bli utslippsfri innen 2030 ved å introdusere elektriske og hydrogenbaserte fly i sin flåte (Bærekraft og miljø, 2019). Widerøe zero, Embraer og Rolls-Royce annonserte nettop av de har inngått et samarbeid. Widerøe Zero er et initiativ fra det norske regionale flyselskapet Widerøe, som har som mål å redusere klimapåvirkningen fra luftfart og jobbe mot en utslippsfri flytransport. Gjennom dette initiativet fokuserer Widerøe på å utforske og utvikle innovative teknologier og løsninger, inkludert bruk av hydrogen som drivstoff for deres fly.

5.2.1 Beskrivelse av scenario - Widerøe Zero

Widerøe Zero tar sikte på å erstatte deler av sin eksisterende flåte med hydrogenfly, noe som vil redusere CO2-utslipp og bidra til å oppfylle klimamålene. Siden hydrogenflyene har potensial til å redusere drivstofforbruk og utslipp betydelig sammenlignet med konvensjonelle jetfly, representerer dette en viktig skritt mot en mer bærekraftig luftfartsindustri. Hellesylt Hydrogen Hub, som produserer grønt hydrogen gjennom elektrolyse, kan være en potensiell leverandør av hydrogen til Widerøes hydrogenfly som kan operere fra flyplassene i Molde, Ålesund og Kristiansund. Vi skal søke å estimere hvor mye hydrogen disse flyene vil trenge og vurdere om Hellesylt Hydrogen Hub har kapasiteten til å møte denne etterspørselen og hvordan logistikken rundt dette kan løses.

For å estimere hydrogenforbruket til Widerøes hydrogenfly, kan vi se på rekkevidden for konvensjonelle Bombardier Dash fly i dag, som er omtrent 1,100 til 1200 nautiske mil (2,040 til 2,220 km). Widerøes flyruter fra Molde, Ålesund og Kristiansund er til sammen 166 nautiske mil. Dermed kan vi regne med at selv om flyene er hydrogendrevne vil de ha nok rekkevidde til å kunne erstatte dagens widerøe fly for disse avstandene. Hvis vi også ser på avstanden til Oslo lufthavn Gardemoen er avstanden mellom 200-250 nautiske mil fra tidligere nevnte flyplasser. Vi har antatt at alle rutene fra disse flyplassene blir erstattet med hydrogenfly med kapasitet til å frakte 20-80 passasjerer. For å kunne estimere hydrogenforbruket per flyvning nøyaktig, må vi ha opplysninger om hydrogenets energiinnhold og flyenes energiforbruk.



Figur 6 Sustainability equals profitability (Zero)

Hydrogenforbruket til et hydrogenfly vil variere avhengig av en rekke faktorer, inkludert flyets størrelse, effektiviteten til drivstoffcellesystemet, flyets hastighet, og avstanden det skal reise.

Som et omtrentlig eksempel, kan vi se på opplysninger gitt av ZeroAvia, en av selskapene som utvikler hydrogen-drevne fly. Ifølge ZeroAvia kan deres 19-seters hydrogen-elektriske fly, som forventes å være klar for kommersiell drift i 2024, fly 500 miles (rundt 805 kilometer) på ett enkelt "tankfyll". Dette antyder at forbruket av hydrogen per flyvning vil være i området flere hundre kilo, gitt at energiinnholdet av hydrogen er omtrent 33 kWh per kilogram. (Zeroavia, 2023)

Det er viktig å merke seg at disse tallene er omtrentlige og vil variere avhengig av mange faktorer, som nevnt tidligere. I tillegg er hydrogenflyteknologi fortsatt under utvikling, og effektiviteten og ytelsen til disse systemene kan forbedres betydelig i fremtiden.

Det er vanskelig å estimere hydrogenforbruket til Widerøes ruter uten spesifikk informasjon om flyets spesifikasjoner, hastighet, avstander, og flytid. Vi kan imidlertid gjøre noen grove antakelser for å få en idé.

5.2.2 Modellering og resultater - Forbruk

For å gjøre dette, trenger vi først å definere noen nødvendige variabler:

1. Rekkevidde av et hydrogenfly: Vi kan ta ZeroAvia's 19-seters hydrogen-elektriske fly som et referansepunkt, som kan fly 500 miles (ca. 805 kilometer) på ett "tankfyll". (Zeroavia, 2023)
2. Gjennomsnittlig avstand mellom de nevnte flyplassene: Dette kan variere sterkt, men la oss si 250 kilometer som et omtrentlig gjennomsnitt.
3. Antall daglige flyvninger: Dette vil også variere sterkt, men la oss anta 4 daglige flyvninger per rute som et gjennomsnitt.

Så, hvis vi antar at hver flyvning krever omtrent $1/3$ av en "tank" (gitt at 250 km er omtrent $1/3$ av 805 km), og at en "tank" inneholder flere hundre kilo hydrogen (la oss si 300 kg for enkelhetens skyld), ville hver flyvning kreve omtrent 100 kg hydrogen.

For 4 flyvninger per dag, ville det være 400 kg hydrogen per rute. Hvis vi antar at det er 4 slike ruter som opererer fra hver av de fire flyplassene, vil det være 16 ruter totalt. Dette ville tilsvare et daglig hydrogenforbruk på $16 \text{ ruter} * 400 \text{ kg/rute} = 6400 \text{ kg}$, eller 6,4 tonn.

Med en daglig produksjon på $1,3 \text{ tonn} * 7 \text{ dager} = 9,1 \text{ tonn}$ fra Hellesylt Hydrogen Hub, ville denne produksjonen kunne dekke ca. $(1,3 \text{ tonn} / 6,4 \text{ tonn}) * 100 = 20,3\%$ av det daglige behovet for disse rutene. Hvis vi kunne ha analysert Widerøes flyruter og hatt spesifikk informasjon om flyets spesifikasjoner, hastighet, avstander, og flytid, hadde vi kunne beregnet at omtrent [X] kg hydrogen vil være nødvendig per dag for å erstatte alle rutene fra Molde, Ålesund, Kristiansund og Oslo flyplasser med hydrogenfly. Dette ville tilsvart omtrent [Y] tonn hydrogen per uke.

5.2.3 Modellering og resultater – Distribusjon

For å løse dette logistikkproblemet og levere hydrogen til Widerøe's hydrogenfly ved flyplassene i Molde, Ålesund, Kristiansund og Oslo må de bruke en kombinasjon av togtransport og lastebiler, samt en vurdering av lagrings- og distribusjonskapasitet.

For Molde, Ålesund og Kristiansund er det lastebiltransport som kan se ut til å være den beste løsningen. Dette er basert på at det er relativt korte avstander med gode veiforhold. Lastebilene vil være spesialrustet for å håndtere høytrykkshydrogen og for å redusere miljøpåvirkningen ytterligere, kan de benytte hydrogen- eller elektriske lastebiler for denne transporten.

Hellesylt Hydrogen Hub må også utvikle en effektiv og bærekraftig logistikk-løsning for å levere grønt hydrogen til Norges største flyplass, Oslo Lufthavn Gardermoen. De kan ved å frakte hydrogenet fra produksjonsanlegget i Hellesylt til nærmeste togstasjon, som er Åndalsnes stasjon, dra nytte av det eksisterende jernbanenettverket for å transportere hydrogenet over lange avstander på en miljøvennlig og økonomisk måte. Fra Åndalsnes, kan hydrogencontainere lastes på et tog som reiser mot Oslo. Togreisen vil innebære flere stopp og bytter underveis, avhengig av den nøyaktige ruteplanen og tilgjengelige togforbindelser. Noen mulige stopp kan være Dombås, Lillehammer og Hamar, men dette

vil variere avhengig av rute og tidspunkt. Hydrogenet må plasseres i spesialdesignede, trykksterke containere som sikrer sikker og effektiv transport. Når hydrogenet ankommer Gardermoen, blir det overført fra togstasjonen til flyplassen ved hjelp av lastebiler utstyrt for å håndtere høytrykkshydrogen. Denne integrerte logistikkløsningen reduserer CO₂-utslipp, samtidig som den sikrer en kontinuerlig forsyning av grønt hydrogen til flyplassen, der det kan brukes til å drive hydrogenflyene til Widerøe.

5.3 Opsummering

I dette tilfellet har vi analysert mulighetene for å bruke grønt hydrogen produsert av Hellesylt Hydrogen Hub for å drive Widerøes hydrogen-elektriske fly. Ved å ta i bruk ZeroAvia's 19-seters hydrogen-elektriske fly som referanse, og ved å anta et gjennomsnittlig antall daglige flyvninger og avstand mellom flyplassene, har vi beregnet det daglige og ukentlige hydrogenforbruket for Widerøes flyruter fra Molde, Ålesund, Kristiansund og Oslo flyplasser. Vi har også undersøkt hvordan Hellesylt Hydrogen Hub kan distribuere hydrogen til disse flyplassene ved bruk av både tog- og lastebiltransport, samt ved å vurdere lagrings- og distribusjonskapasiteten.

Denne case-studien er viktig for flere grunner. Først og fremst bidrar det til å forstå potensialet for grønt hydrogen som drivstoff for fremtidens luftfart. Gitt luftfartens betydelige bidrag til globale CO₂-utslipp, er det avgjørende å utforske alternative, mer bærekraftige drivstoffalternativer. Videre gir det innsikt i logistiske og operasjonelle utfordringer knyttet til hydrogeninfrastruktur og distribusjon, noe som er avgjørende for å realisere hydrogenøkonomien.

Ved å utføre denne casestudien, hjelper vi ikke bare med å fremme forståelsen av hvordan hydrogen kan bli integrert i luftfarten, men også bidra til utviklingen av effektive og bærekraftige løsninger for hydrogenproduksjon, lagring, og distribusjon. Dette vil i sin tur bidra til å akselerere overgangen til en mer bærekraftig og klimavennlig fremtid

6.0 Diskusjon

Grønn hydrogen kan være en kritisk faktor i Norges energiomstilling og barrierene som trenger å bli overvunnet for å fullt ut realisere dets potensial. Det er et kjent poeng at hydrogen er en vital del av globale klimastrategier, med særlig vekt på dets mulighet til å redusere utslipp i sektorer som har vist seg vanskelige å dekarbonisere, som transport og tungindustri.

Barrierene som må overvinnes, som beskrevet i seksjon 4.2, er imidlertid betydelige. De høye kostnadene, mangel på infrastruktur, tekniske begrensninger, og offentlig holdning har alle spilt en rolle i å begrense utbredelsen av en fullskala hydrogenøkonomi. Disse hindringene er gjenstand for betydelig oppmerksomhet og flere land, inkludert Tyskland, Frankrike, Storbritannia og Kina, har implementert forskjellige løsninger. Disse inkluderer insentiver, styrket samarbeid mellom offentlig og privat sektor, økte investeringer i forskning og utvikling, og kampanjer for å øke bevisstheten om hydrogenets potensial.

Norge har også begynt å delta i denne globale trenden med sin strategi for utvikling av hydrogeninfrastruktur. Denne strategien tar i bruk Norges betydelige vannkraftressurser og innovative transportløsninger, som Hellesylt Hydrogen Hub. Vi har tidligere også understreket viktigheten av å etablere en dedikert autoritet, opprette insentiver, styrke internasjonalt samarbeid, initiere pilot- og demonstrasjonsprosjekter, integrere eksisterende infrastruktur, utvikle kompetanse, samt overvåke og evaluere hydrogenstrategier.

Det hypotetiske samarbeidet mellom Norwegian Hydrogen AS og Widerøe illustrerer hvordan offentlig og privat sektor kan samarbeide for å fremme hydrogenøkonomien. Til tross for at Norge for øyeblikket ligger bak noen av de ledende europeiske landene når det gjelder utviklingen av hydrogenmarked og infrastruktur, er det betydelige muligheter for forbedring og læring fra andre lands erfaringer og beste praksis.

Når det kommer til evalueringen av hvilken transportmodus som best kan frakte grønn hydrogen i Norge, står vi overfor et spørsmål som forlanger en flerdimensjonal tilnærming, hvor mange kritiske faktorer tårner seg opp på veien.

Norges unike geografi - fjellrike landskap, slyngete fjorder, strøkne øyer, og betydelige avstander mellom urbane senter - kaster en lang skygge over tilgjengeligheten av ulike transportmidler. Når veiinfrastrukturen viser seg mindre utviklet, vil alternativer som båt- og togtransport fremstå som mer hensiktsmessig. Men la oss ikke glemme Norges omfattende kystinfrastruktur, et kort vi kan spille til fordel for skipstransport av hydrogen.

Kapasitetens svingninger mellom transportmoduser er også verdt å undersøke. Vi har lastebiler, som kan bære moderate mengder hydrogen, i den ene enden av spekteret. På den andre enden har vi skip og tog, som kan frakte kolossale volum. Hvis grønn hydrogenproduksjon i Norge skulle øke betydelig, kan dette faktum bli en nøkkelspiller.

Videre, fra Lona (2021) er det tydelig at flere nullutslippsteknologier blir vurdert for forskjellige typer fartøy i havbruksnæringen. Nøkkelfaktorene inkluderer behovet for energilagring, plassbehov, vekt, stabilitet, og sikkerhetskrav for forskjellige typer drivstoff. Dette leder oss til å reflektere over energieffektivitet. Drivstoffeffektiviteten, sammen med energiforbruket knyttet til kjøling og komprimering av hydrogen, kan påvirke total energieffektivitet.

Betraktninger rundt sikkerhet kaster seg også inn i denne virvelvinden av overveielser. Hydrogen er lett antennelig, krever strenge sikkerhetsprosedyrer, og hver transportmodus har sine egne unike sikkerhetsutfordringer. Sjøtransport er generelt sikrere når det gjelder ulykkesrisiko, men introduserer nye utfordringer når vi håndterer hydrogen på sjøen og i havner.

Ingen vurdering er komplett uten å vurdere miljøpåvirkning. Dette inkluderer ikke bare utslipp av klimagasser, men også lokal forurensning, støy, og påvirkning på dyreliv og naturlige økosystemer. Og la oss heller ikke glemme de økonomiske faktorene. Kostnadene knyttet til hver transportmodus, inkludert investeringer i utstyr og infrastruktur, operasjonelle kostnader, og kostnader relatert til sikkerhet og miljøpåvirkning, vil uunngåelig spille en rolle i evalueringen.

Så, i dette multidimensjonale, komplekse landskapet, hvordan navigerer vi for å finne den mest egnete metoden for transport av grønn hydrogen? Vel, først og fremst, må det understrekes at det ikke eksisterer en universell løsning. Valget av teknologi er ofte

bestemt av fartøyets størrelse og operasjonelle behov. Små fartøy med lavt effektbehov, korte seilingsdistanser og hyppige lademuligheter kan dra nytte av full elektrisk drift. Større fartøy med høyere energibehov kan derimot finne hydrogen i forskjellige former mer aktuelt, gitt at det er tilstrekkelig plass til å lagre drivstoffet.

Økt vekt og plassbehov knyttet til bruk av hydrogen kan imidlertid vise seg å være en utfordring. Dette er spesielt relevant for fartøy som har begrensninger på dekksplass og lengde, som servicebåter. For store fartøy som brønnbåter og slaktebåter med stort energilagringsbehov, kan ammoniakk være et mer egnet alternativ.

Det er også nødvendig å se på tilgjengeligheten av spesialisert utstyr og infrastruktur for hver transportmodus. Dette inkluderer ting som trykkbeholdere, kjøleanlegg, og fyllstasjoner. En modus som har større tilgjengelighet av slikt utstyr og teknologi kan vise seg å være mer levedyktig.

Til slutt, men absolutt ikke minst, er det avgjørende å betrakte den økonomiske gjennomførbarheten av hver transportmodus. En helhetlig evaluering må inkludere kostnader knyttet til investeringer i utstyr og infrastruktur, driftskostnader, samt kostnader relatert til sikkerhet og miljøpåvirkning.

Samlet sett krever spørsmålet om den mest passende transportmetoden for grønn hydrogen i Norge en omfattende, multifasettert tilnærming. Det er et komplekst puslespill, hvor mange faktorer må vurderes og veies opp mot hverandre for å finne den beste løsningen. Med riktig styring og bruk av vitenskapelig og teknisk ekspertise, er det imidlertid mulig å utvikle løsninger som kan hjelpe Norge med å realisere sitt potensial innen grønn hydrogenproduksjon og -transport.

Et foretagende av monumental størrelse ligger også foran oss: Å avklare hvilke regulatoriske og økonomiske incentiver som kan stimulere utviklingen av grønn hydrogen i Norge, og utforme disse incentivene for maksimal effektivitet. Denne diskursen oppfordrer oss til å reise inn i de labyrintiske korridorene av regulatoriske tiltak, økonomisk stimuli, og den fortsatt gryende industrien av grønn hydrogen.

Regulatorisk arkitektur, ryggraden i denne diskursen, har kapasiteten til å forme, konturere og veilede banen for grønn hydrogen. Tiltak kan strekke seg over et spekter av muligheter. På den ene siden ligger etableringen av klare, ambisiøse og oppnåelige mål for produksjon av grønn hydrogen, som fungerer som en ledestjerne for industrinsatsen. På den andre siden kan forenkling av byråkratiske prosesser og bygging av robuste støttestrukturer potensielt skape et gunstig forretningsklima og akselerere industriell vekst. En balanse mellom begge ender kan frigjøre det sanne potensialet for grønn hydrogen i Norge.

Parallelt med det regulatoriske landskapet er det rike vevet av økonomiske insentiver. Her er det viktig å fordype seg i riket av skatteinsentiver, stipender, subsidier og offentlig-private partnerskap. Hver, når det er tilpasset på riktig måte, holder løftet om økonomisk levedyktighet for prosjekter med grønn hydrogen. Imidlertid må disse incentivene være fint innstilt. Over-generøse subsidier kan nære en over-relians, kvele innovasjon, mens utilstrekkelig støtte kan kvele industrien i sin vugge.

Ved refleksjon over dette, kommer et spørsmål frem: Hvordan kan disse incentivene mest effektivt utformes? En potensiell tilnærming kan omfavne et etappesystem, med innledende tung støtte for å stimulere vekst, sakte skrudd tilbake når industrien finner fotfeste, oppmuntrende til selvholdbarhet. På samme måte kan binding av incentiver til ytelsesmål drive konkurranse, katalysere innovasjon og øke effektiviteten.

Vi står på kanten av en spennende reise, en ferd inn i ukjente farvann. De to motorene av regulatoriske og økonomiske incentiver holder løftet om å drive utviklingen av grønn hydrogen i Norge. Hver er kompleks, krever en intrikat og gjennomtenkt design. Men med forsiktig navigering, kan vi låse opp en grønnere fremtid, drevet av kraften til hydrogen, nøye fostret av politikernes hender. Det er et fascinerende utsiktspunkt, en utfordring som kaller på de mest klare hodene for å løse. Vi tror at vi er mer enn i stand til å stige til denne utfordringen. Å utvide denne ettertanke videre, krever ethos for grønn hydrogen at det flettes sammen med de grunnleggende lagene i Norges økonomiske og regulatoriske systemer. Mens vi tenker over de intrikate mekanismene som kan galvanisere denne voksende industrien, la oss huske den iboende unikheten til hver komponent i dette fascinerende puslespillet.

Man kan lure på: Hvordan ville regulatoriske incentiver forbedre gjennomførbarheten og skalerbarheten av grønn hydrogen? Kunne spesifikke lover regulere den sikre og effektive produksjonen og bruken av denne grønne energikilden? Et overbevisende svar på dette er rotfestet i filosofien om strenge, men progressive forskrifter. Slike regulatoriske mekanismer vil kunne omfatte sikkerhetsnormer, produksjonsstandarder og forbruksretningslinjer, hver finjustert for å resonnerer med Norges særegne geografiske og demografiske kontekst. Disse juridiske rammeverkene kan styrke bransjene ved å minimere usikkerheter og operasjonelle risikoer, dermed fremkalle et miljø som er gunstig for spredning av grønn hydrogen.

I kontrast til de regulatoriske insentivene, la oss dykke dypere inn i de økonomiske insentivene. I kjernen av dette problemet dytter det oss mot å avdekke nyanserte løsninger som kunne adressere de innledende høye kostnadene forbundet med produksjon og distribusjon av grønn hydrogen. Det ser ut til at en blanding av direkte og indirekte økonomiske insentiver kan skape et gunstig miljø for industriaktører.

På den ene siden kunne direkte økonomiske insentiver som subsidier eller skattelettelser hjelpe til med å kompensere for de høyere produksjonskostnadene. Disse insentivene kan være omhyggelig kalibrert for å stimulere innledende investeringer, mens de oppmuntrer industrier til å marsjere jevnt mot kostnadseffektivitet. På den andre siden kunne indirekte økonomiske insentiver komme i form av robust infrastrukturell støtte, forskningsstipend og offentlig-private partnerskap. Disse kunne være avgjørende for å fremme et samarbeidsorientert og innovasjonsdrevet økosystem, styrke det kollektive støtet mot en grønnere fremtid.

Til slutt, for å låse opp høydepunktet av effektiviteten av disse insentivene, er en dash av tilpasningsevne og motstandsdyktighet avgjørende. En kontinuerlig tilbakemeldingsløkke, adaptive justeringer og viljen til å eksperimentere ville gi insentivene en dynamisk vitalitet, sikre at de forblir relevante og effektive midt i de stadig utviklende landskapene av teknologi, industri og samfunnsbehov. Dermed, mens vi spirer mot konklusjonen av denne fengslende utforskningen, blir det tydelig at reisen mot å utnytte grønn hydrogen i Norge er en kompleks dans mellom regulatorisk klokskap og økonomisk fremsynthet. Hvert steg, hver piruett i denne dansen er en mulighet for oss til å forme en bærekraftig fremtid, malt i de vibrerende nyansene av grønn hydrogen.

7.0 Konklusjoner

Denne bacheloroppgaven har hatt som formål å analysere muligheten for utviklingen av infrastruktur for grønn hydrogen, sammenligne med det internasjonale markedet og forsøke å komme med en prognose for hvordan grønn hydrogen mulig kan iverksettes og hvordan håndtere det økonomiske, regulatoriske og logistikken rundt dette.

Problemstillingen vår er *Hvordan utvikle infrastrukturen for grønn hydrogen i Norge?*

Vi forstod tidlig i oppgaven at grønn hydrogen har vært et omtalt emne i lang tid, men inntil den siste tiden alltid bare vært nettopp det, omtalt. Det er grunnet mangel på infrastruktur, teknologi og økonomiske midler for grønn hydrogen. Utfasingen av hydrogen produsert med fossile brensler vil derfor ikke skje over natta, men heller over en lengre periode.

Underveis i oppgaven ble det klart at løsningen ikke kan bli gjort av en enkel bedrift, men må skje gjennom et nasjonalt samarbeid, med inspirasjon fra det internasjonale markedet. Det kreves en koordinert innsats mellom offentlig og privat sektor, forskningsinstitusjoner, og det norske samfunnet som helhet for å legge til rette for en smidig og effektiv overgang til grønn hydrogen.

Utviklingen av hydrogeninfrastrukturen i Norge vil være en utfordrende oppgave gitt de tekniske og økonomiske barrierer som må overvinnes. Det vil kreve betydelige investeringer i forskning og utvikling, infrastrukturbygging, samt utdanning og opplæring for å utvikle nødvendig kompetanse innen grønn hydrogen.

Til tross for disse utfordringene, finnes det allerede flere positive tegn på fremgang. Eksempler som Hellesylt Hydrogen Hub og det potensielle samarbeidet med Widerøe Zero, viser at Norge er på vei mot en hydrogenfremtid. Videre, ved å lære av erfaringene til land som Tyskland og Frankrike, som allerede har begynt å implementere hydrogenløsninger, kan Norge akselerere sin egen utvikling av hydrogeninfrastruktur.

På lang sikt, med riktig støtte og investering, har Norge potensial til å bli en ledende aktør i den globale hydrogenøkonomien. Med landets rike naturressurser, kan Norge spille en nøkkelrolle i å fremme grønn hydrogen som en bærekraftig og effektiv energiløsning, og bidra til å oppnå globale klimamål.

I konklusjon, er det klart at overgangen til en hydrogenøkonomi i Norge ikke vil være en enkel prosess. Det vil kreve en systematisk tilnærming, betydelige ressurser, og et sterkt engasjement fra alle involverte parter. Men med den rette innsatsen og viljen til å lære og tilpasse seg, kan Norge med suksess bygge en robust infrastruktur for grønn hydrogen, og bidra til en bærekraftig fremtid for oss alle

Når det gjelder grønn hydrogen som en nøkkelfaktor i Norges energiomstilling og de barrierer som må overvinnes, er funnene konsistente med eksisterende teorier og empiriske studier. Ekspertene har lenge pekt på hydrogen som et sentralt element i globale klimastrategier og som en måte å redusere utslipp i sektorer som har vært utfordrende å dekarbonisere - transport og tungindustri inkludert.

8.0 Referanseliste

1. Bjørnsen, H., et al. (2006). "Lagring av hydrogen." Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim.
2. Bolorchi. (2021) Green Hydrogen: Challenges for Commercialization, IEEE Smart grid
3. Bærekraft og Miljø. (2019) Widerøes ambisjon er å bli et av de første flyselskap i verden som blir tilnærmet utslippsfrie, Wideroe.no
4. Chatzimarkakis *et al.* (2022) "Hydrogen Report", Hydrogen Europe.
5. Egge, H. (2020) «Hva er egentlig grått, grønt, blått og turkis hydrogen?», SINTEF
6. Grue, J. (2022) «GRØNT HYDROGEN ER FREMTIDENS DRIVSTOFF», COWI
7. L, Eivind (2021) «Nullutslipps havbruksfartøy - utredning av fartøystyper og relevant teknologi», SINTEF Ocean AS.
8. Fiksdal, G. (2022). De rettslige rammer for en ny og bærekraftig økonomisk politikk-Om dagens rammer for finans-og pengepolitikken vil kunne vanskeliggjøre et grønt skifte, og hva alternativene kunne vært.
9. Flakk, K. (2020) «INNSPILL TIL VEIKARTET FOR HYDROGEN», Norwegian Hydrogen.
10. FuelCellsWork. (2019) «Embraer, Widerøe and Rolls-Royce announce partnership to research innovative technologies, including hydrogen fuel cells for regional aircraft».
11. Gary, T. (2011) "How to do your case study : a guide for students and researchers", Los Angeles: Sage.
12. Horne, H. and J. Hole (2019). "Hydrogen i det moderne energisystemet."
13. Hydrogen Delivery (u.å.), Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office.
14. Johannessen, Osebakken, Yogendran. (2021), «Barrierer og mulige løsninger for implementering av hydrogen som energibærer i norsk maritim sektor», Bacheloroppgave Høgskolen på Vestlandet.
15. Kar *et al.* (2022) "Overview of hydrogen economy in Australia", Wire's energy and environment.
16. Learn-e5. (2023) Green hydrogen & its importance: Advantage and Disadvantage of Green hydrogen
17. Lona, E. (2021) «Nullutslipps havbruksfartøy utredning av fartøystyper og relevant teknologi», SINTEF.

18. Lorentzen, M. (2021) «Nel skal levere elektrolyser til verdens første hydrogenanlegg offshore», E24.
19. Meld. St. 5 (2023) «Langtidsplan for forskning og høyere utdanning 2023–2032», Regjeringen
20. Norwegian Hydrogen (n.d) “Hellesylt Hydrogen Hub”.
21. Hydrogen Council. (2020) “Path to hydrogen competitiveness A cost perspective”
22. Pawelec *et al.* (2020) ”clean hydrogen”, Hydrogen Europe.
23. Produksjon og bruk av hydrogen i norge. (2019), Regjeringen
24. Ragnhild, S., Anneli, S.T. (2021) «Samspillet mellom fremtidig energimiks og hydrogen for å nå norske klimamål mot 2050», Bacheloroppgave NTNU.
25. Reigstad *et al.*, (2022) «Moving toward the low-carbon hydrogen economy: Experiences and key learnings from national case studies”, *Advances in Applied Energy*.
26. Ruud, M. (2023) «em spørsmål og svar om hydrogen», TU
27. Sammenhengende verdikjeder for hydrogen. (2023) Oslo economics, SINTEF, Greensight.
28. Saunders *et al.* (2012) « Research methods for business students. 6th ed. ed. Harlow: Pearson.
29. Saunders *et al.* (2016) “Research methods for business students”, 7th ed. ed. Harlow: Pearson.
30. Schæffer *et al.* (2020) «Veikart for energi i Norge mot 2050», SINTEF Energi AS.
31. Tønseth, S. (2019) «Hydrogen fra vind kan gi sokkelen kraft», SINTEF.
32. The Norwegian Government’s hydrogen strategy (2020), Regjeringen
33. Tomasgard *et al.* (2019), «Hydrogen i fremtidens lavkarbonsamfunn», FME CenSES, FME MoZEES, NTNU, SINTEF og IFE.
34. Veikart for grønn vekst i norsk fornybarnæring mot 2050 (2017), Regjeringen.
35. Vik, K.E. (2020) «Innspill til veikart for hydrogen fra Norsk Hydrogenforum (NHF) Klare og ambisiøse mål», Policycommons.
36. Xiang et al. (2021) “Role of hydrogen in China's energy transition towards carbon neutrality target: IPAC analysis”, *ScienceDirect*.
37. Yin, R.K. (2018) “Case study research and applications : design and methods”, Sixth edition. ed. Los Angeles, California: SAGE.
38. ZeroAvia Makes Aviation History, Flying World’s Largest Aircraft Powered with a Hydrogen-Electric Engine. (2023), Zeroavia.

39. SNL, Kraftverk. (2022) Tilgjengelig på: <https://snl.no/kraftverk> (Accessed 18.04.23)
40. SINTEF, Hydrogeneksport i Norges gassrør? Men er ikke slike rør og hydrogenatomer uvenner? (2022) Tilgjengelig på: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/hydrogeneksport-i-norges-gassror-men-er-ikke-slike-ror-og-hydrogenatomer-uvenner/>
41. Norwegian Hydrogen AS, Project Hellesylt Hydrogen Hub. (2023) Tilgjengelig på: <https://www.norwegianhydrogen.com/activities/hellesylt-hydrogen-hub> (Accessed 27.04.23)
42. Norwegian Hydrogen AS, Value chain: product delivery and customer segments at glance. Tilgjengelig på: <https://www.norwegianhydrogen.com/> (Accessed 03.05.23)
43. Norwegian Hydrogen AS, Hellesylt Hydrogen Hub. (2023) Tilgjengelig på: <https://www.norwegianhydrogen.com/activities/hellesylt-hydrogen-hub> (Accessed 03.05.23)
44. FiZero, Sustainability equals profitability. (2023) Tilgjengelig på: <https://zero.no/wp-content/uploads/2019/11/03.-Stein-Nilsen-converted.pdf> (Accessed 07.05.23)