



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

**STUDIEPROGRAM/SPECIALISERING:**

Industriell Økonomi/Risikoanalyse,  
kontraktstrategi

**Høstsemesteret, 2021**

**Open**

**Forfatter:**

Håkon Bentsen Veholmen

(signatur)

**Veileder:**

Sigbjørn Landazuri Tveteraas

**Tittel:**

Flytende havvind, hvilke teknologiske utfordringer må løses for å få LCOE ned på et økonomisk bærekraftig nivå?

**Engelsk tittel:** Floating offshore wind, what technological challenges must be solved to bring LCOE to an economically sustainable level?

**Studiepoeng: 30**

**Emneord:**

- Flytende havvind
- LCOE
- Tekniske utfordringer
- Virkemiddelapparatet
- Kvalitativ

Antall sider: 45

+ vedlegg/annet: 9

Stavanger, 11.01.2022

## Forord

Denne masteroppgaven er mitt avsluttende arbeid etter endt utdanning innenfor Industriell Økonomi ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven er et resultat av målrettet arbeid som har forsøkt å finne svar på sentrale utfordringer innenfor flytende havvind, et ungt hurtigvoksende marked hvor utvinningskosten foreløpig ikke er på et legitimt nivå. Oppgaven er skrevet i siste semester av studiet og utgjør 30 studiepoeng.

Jeg (Forskeren) er født og oppvokst i Stavanger, en kystby i Norge. I hele min oppvekst har jeg bedrevet seiling, både som rekreasjonsaktivitet, men også aktivt i konkurranse. Vindenergi er dermed noe jeg har dratt nytte av hele mitt liv. I senere tid bestemte jeg meg for å ta sertifikatene som var nødvendig for å føre båt i kommersiell sammenheng. I den forbindelse har jeg hatt flere spennende oppdrag, deriblant var jeg kaptein på et «crew transfer vessel» som var med på å installere Tetraspar-turbinen utenfor Karmøy sensommeren 2021. Dette var mitt første møte med havvindsbransjen, og som tidligere utdannet maskiningeniør ble jeg imponert over den store og høye konstruksjonen. Dette oppdraget gjorde meg derfor nysgjerrig på havvindsbransjen, hvor jeg bestemte meg der og da for at min siste avhandling ved Universitet måtte omhandle akkurat dette. Bransjens unge alder, kombinert med egne interesser ble derfor avgjørende for valg av akkurat dette temaet.

Jeg vil starte med å takke alle som har deltatt i undersøkelsen. Både bedrifter, forskningsinstitusjoner og klynger. Uten dere hadde det ikke vært mulig å besvare oppgavens problemstilling. Jeg vil takke for at dere sa ja til intervju og stilte på kort varsel. Samtlige respondenter hadde mange fine og beskrivende ytringer som danner grunnlaget for oppgavens empiri.

Jeg ønsker videre å takke min veileder, Sigbjørn Tveteraas som har gitt god veiledning i hele prosessen. Jeg takker for at du har stilt opp når jeg har hatt behov for det, og kommet med verdifulle innvendinger. Jeg ønsker til slutt å takke min arbeidsgiver, Front Innovation AS for at dere har gitt meg anledning til å gjennomføre denne siste avhandlingen, selv i full stilling.

Håkon Bentsen Veholmen

04.01.22

## Sammendrag

Flytende havvind har den klart høyeste LCOE-kostnaden av alle de ulike segmentene av vindproduksjon. Teknologien er også den yngste i vindmarkedet og er i liten grad kommersialisert/industrialisert. Samtidig ligger fornybar energi og flytende havvind som et satsningsområde for norsk industri i det pågående grønne skiftet. Denne avhandlingen søker derfor å adressere hvilke tekniske utfordringer som må løses for å senke LCOE til et bærekraftig nivå for flytende havvind. Det ble gjennomført en kvalitativ undersøkelse av seks representanter fra seks ulike bedrifter som spenner over ulike områder av verdikjeden (havvindselskaper, leverandører, forskningsorganisasjoner og klynger). Undersøkelsen ble utført for å la bransjen selv identifisere de største utfordringene som må løses for å senke LCOE til et bærekraftig nivå. Videre ble også intervjugruppen spurt om virkemiddelapparatets rolle i å løse disse utfordringene.

Avhandlingens empiri viser at det er en rekke definerte tekniske utfordringer som må løses for å senke LCOE for flytende havvind. Utfordringene knyttes til alle deler av en flytende vindturbin, men det er ikke tvil om at masseproduksjon og sammenstillingsmetodikk er det respondentene ser som de mest kritiske utfordringene. For å løse disse primærutfordringene er det imidlertid flere delutfordringer som må løses simultant. Disse delutfordringene er tilknyttet samtlige delsystemer hvor følgende kan nevnes som de mest kritiske; øke turbinstørrelse, optimalisere flyterdesign, øke pålitelighet fra kabelsystem og senke kostnader tilknyttet ankringsystem. Dersom alle utfordringer løses hevder en av respondentene at flytende havvind kan bli rimeligere enn bunnfast, grunnet større rom for standardisering av flyter.

Respondentene var enige om at virkemiddelapparatet må komme på banen med risikoavlastende støtte dersom Norge skal vinne kappløpet om det flytende havvindmarkedet. Samtlige respondenter var også enige om at støtte fra virkemiddelapparatet er avgjørende for om de tekniske utfordringene knyttet til flytende vindturbiner skal kunne løses. Intervjugruppen var noe uenig i hvordan støtten fra virkemiddelapparatet har vært til nå. Der noen var fornøyde, var andre misfornøyde. Dette var forventet sett i lys av at det ikke eksisterer nok FoU-midler til at alle bedrifter kan realisere sine prosjekter.

## Abstract

Floating offshore wind has by far the highest LCOE cost of all the different segments of wind production. The technology is also the youngest in the wind market and to a small extent commercialized/industrialized. At the same time, renewable energy and floating offshore wind are an investment area for the Norwegian industry in the ongoing green shift. This dissertation therefore aims to address the technical challenges associated with floating offshore wind that must be solved for the LCOE to reach a sustainable level. A qualitative survey was conducted of six representatives, each from different companies, that span different areas of the value chain (offshore wind companies, suppliers, research organizations and clusters). The survey was conducted to provide an industry perspective on the biggest technical challenges that need to be addressed to lower the LCOE to a sustainable level. Furthermore, the interview group was also asked about the policy instruments involved in solving these challenges.

The empirical evidence of the dissertation shows that there are several defined technical challenges that must be solved in order to lower the LCOE for floating offshore wind. The challenges are linked to all parts of a floating wind turbine, but there is no doubt that mass production and assembly methodology are what the respondents see as the most critical challenges. To solve these primary challenges, however, there are several sub-challenges that must be solved simultaneously. These sub-challenges are associated with all subsystems where the following can be mentioned as the most critical: increase turbine size, optimize floater design, increase cable system reliability, and lower costs associated with anchoring system. If all challenges are solved, one of the respondents claims that floating offshore wind can be cheaper than bottom-fixed due to greater room for standardization of floaters.

The respondents agreed that the policy instruments must come to the fore with risk-relieving support if Norway is to win the race for the floating offshore wind market. There was also a wholly agreement on the need of support from policy instruments if the technical challenges associated with floating offshore wind turbines are to be solved. The interview group disagrees somewhat with how the support from the policy instruments has been so far. Some were satisfied while others were not. However, this was expected considering there are not enough R&D funds for all companies to realize their projects.

# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Problemstilling.....	2
1.2	Avgrensinger.....	3
1.3	Oppgavens struktur .....	4
2	Bakgrunn .....	5
2.1	Generelt om vindturbiner.....	5
2.1.1	Turbinstørrelse .....	6
2.2	Vindturbinens flyter.....	8
2.2.1	Strekstagplattform .....	8
2.2.2	Halvt-nedsenkbar plattform.....	9
2.2.3	Sparbøye.....	9
2.2.4	Andre konsepter.....	10
2.3	Prognoser for havvind .....	11
2.3.1	LCOE - Havvind .....	11
2.3.2	Prognose for havvind .....	14
2.4	Finansiering og subsidier til innovasjonsprosjekter .....	15
2.4.1	Spesielt om subsidier til flytende havvind .....	15
3	Metode.....	17
3.1	Kvalitativ metode.....	17
3.2	Abduktiv metode .....	18
3.3	Datainnsamling og intervjugjennomføring.....	19
3.4	Analyse av data.....	20
3.5	Forskningsprosess.....	20
3.6	Begrensninger/risiko i valg av metode .....	22
4	Analyse og diskusjon .....	23
4.1	Tekniske utfordringer .....	23
4.1.1	Masseproduksjon .....	23
4.1.2	Turbinstørrelse .....	27
4.1.3	Flyter, kabel- og ankringssystem .....	29
4.1.4	Fremtidens flytende turbiner .....	31
4.1.5	Oppsummering.....	34
4.2	Norske myndighetenes bidrag til å gjøre flytende havvind bærekraftig .....	36

4.2.1	Hvordan oppleves FoU-støtten fra myndighetene? .....	37
4.2.2	Er FoU-støtten avgjørende for om flytende havvindsprosjekter igangsettes?..	39
4.2.3	Oppsummering.....	41
5	Konklusjon .....	43
5.1	Videre forskning.....	45
	Referanseliste .....	46
	Vedlegg 1 – Forespørsel om deltakelse i intervju .....	53
	Vedlegg 2 – Intervjuguide .....	54

## Tabelliste

Tabell 1 - LCOE Vindkraft (Buvik, 2021).....	2
Tabell 2 – Datapunkter hentet fra trendlinje i Figur 4 .....	7
Tabell 3 – Effekt-økning per meter økning i rotordiameter fordelt på intervaller .....	7
Tabell 4 - CAPEX for bunnfast og flytende havvind. Dollarkurs omregnet til NOK etter gjennomsnitt av 2019 (kilde: (Stehly et al., 2020)) .....	12
Tabell 5 - LCOE-kalkulasjon for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020).....	14
Tabell 6 - Forskjell i virkemåte for induktiv, deduktiv og abduktiv metode .....	18
Tabell 7 - Intervjuobjekter .....	19
Tabell 8 – Tekniske utfordringer – sitater .....	23
Tabell 9 - Sitater - Masseproduksjon.....	24
Tabell 10 - Turbinstørrelse - sitater .....	27
Tabell 11 – flyter og kabel - sitater.....	29
Tabell 12 - Ankringsystem - utdrag fra intervju .....	30
Tabell 13 - Fremtiden for flytende havvind - sitater .....	31
Tabell 14 - Hvordan oppleves FoU-støtten fra myndighetene? - Sitater.....	37
Tabell 15 - Er FoU-støtte avgjørende for flytende havvind? - Sitater .....	40

## Figurliste

Figur 1 - Vindkart for Norge Kilde: NVE, 2021.....	1
Figur 2 - Oppgavens struktur .....	4
Figur 3 - Illustrasjon av flytende vindturbin. Modifisert illustrasjon lånt fra (Lønning, 2020)...	5
Figur 4 - Rotordiameter versus turbineffekt. Datagrunnlag hentet fra (Matysik & Bauer, 2022) .....	6
Figur 5 - Forskjellige typer flytere. Fra venstre Sparbøye, halvt nedsenkbar plattform (semi) og strekkstagsplattform. Illustrasjon av Joshua Bauer, NREL (Laurie, 2017).....	8
Figur 6 - Tetraspar Demo, Illustrasjon: (Stiesdal, 2021).....	10
Figur 7 - Wind Catching System, Illustrasjon (Windcatching, 2021) .....	10
Figur 8 - CapEx for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020) .....	11
Figur 9 - LCOE for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020) .....	13
Figur 10 - Prognose for vind mot 2050. Kilde: (Wiser et al., 2021).....	14
Figur 11 - Stordriftsfordeler. Illustrasjon: (Consuunt Staff, 2021) .....	25
Figur 12 - Oppsummering forskningsspørsmål 1 .....	34

## Formelliste

Formel 1 – Effekt basert på rotordiameter i eksisterende turbin-konsepter. Effekt (kW), d= rotordiameter (m) .....	6
Formel 2 - LCOE for vind. Hentet fra (Stehly et al., 2020).....	11

## Ordliste

<b>Uttrykk</b>	<b>Beskrivelse</b>
Flyter	Den flytende konstruksjonen en flytende vindturbin er plassert på. Disse kan ha forskjellig størrelse og utforming avhengig av prosent og turbinstørrelse.
FoU	Forskning og utvikling
Hywind Demo	Verdens første flytende vindturbin opprinnelig eid av Equinor. Denne har nå blitt solgt til Unitech og har byttet navn til: Unitech Zefyros
LCOE	Levelized cost of energy – et begrep som brukes for å måle elektrisitetsproduksjon versus levetidskostnad for ulike energikilder.
O&M	Drift- og vedlikeholdskostnader
Semi	Bransjeuttrykk for halvt nedsenkbar plattform, engelsk semi-submergible platform. En konsepttype for flytende vindmøller
Storskalafordeler	Masseproduksjon gir fordeler i form av senkede enhetskostnader over tid. Dette kalles storskalafordeler
Støtteintensitet	Et mål på hvor stor andel av prosjektkostnadene som dekkes av virkemiddelapparatet. Oppgis i prosent.
Tetraspar	En flytende turbin som ble installert utenfor Karmøy i 2021. Demoturbinens flyter har en helt unik utforming, som gjør at den kan produseres på en turbinfabrikk.
Turbin	I denne oppgaven brukes turbin og vindturbin om hverandre. En vindturbin er en innretning som produserer elektrisk energi fra vind, oftest ved hjelp av tre rotorblader som er horisontalt akslet.
Vindpark	Et område hvor flere turbiner utvinner energi.
Virkemiddelapparatet	Virkemiddelapparatet er de organene som distribuerer statlig støtte. Norges største organer er Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Enova.



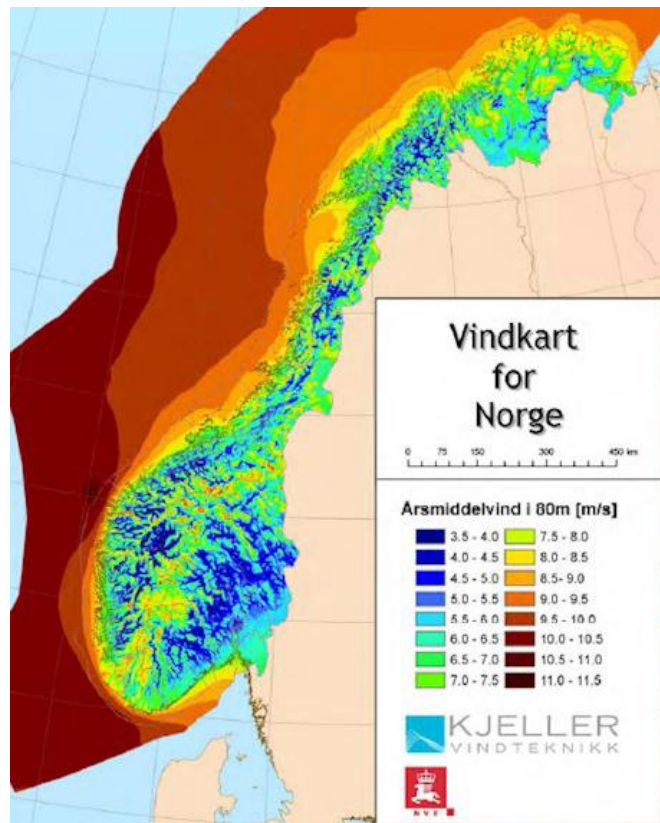
## 1 Innledning

Mennesker har siden dets opprinnelse benyttet vind som ressurs for å effektivisere sin hverdag, i første omgang til å skape fremdrift til båter (seil). Senere fant man også ut at vinden kunne brukes alternativt. Vindmotoren ble implementert på 600-tallet og brukt til å male korn og drenere vann fra åkere (Mæhlum & Rosvold, 2019). Med elektrisitetens inntog fant man også ut at vind kunne benyttes til å skape elektrisk strøm. I Norge ble den første vindturbinen bygget på Andøya allerede i 1916. Denne turbinen kunne forsyne 16 abonnemeter med strøm (Hofstad, 2019).

Vindkraft vokser nå i et raskt tempo over hele verden, og mange ser på denne energikilden som en av fremtidens største bidragsyttere i det pågående grønne skiftet (European Commission, 2020). I Norge fantes det ved utgangen av 2020 1164 landbaserte turbiner som til sammen hadde en installert ytelse på 3977 MW (Wold, 2021). Denne type landbasert kraftutbygging har vært høyt debattert og man har flere ganger sett demonstranter lenke seg fast for å forhindre konstruksjonsarbeid av nye landbaserte vindparker. Skeptikerne stiller seg kritisk til parkenes forurensende visuelle effekt, så vel som de negative innvirkningene disse parkene har på omkringliggende vegetasjon.

Støyproblematikk og fare for dyreliv

(særlig for fugler) er også momenter som gjør at folk stiller seg kritisk til landbaserte vindparker (Dugstad et al., 2020). Samtidig ser også forskere at man kan oppnå langt mer effektiv og stabil utvinning av vindenergi om man flytter vindturbinene ut på havet (se illustrasjon «vindkart for Norge»). Utfordringen er at sjøen, i de områdene der det blåser mest, ofte er for dyp til at man kan installere konvensjonelle bunnfaste vindturbiner. Dette har ført til at mange bedrifter nå snur seg rundt og utvikler flytende turbinkonsepter. Norske myndigheter satser også på havvind, og har blant annet allokert dedikerte forskningsområder til formålet. Heriblant METCentre utenfor Karmøy i Rogaland fylke hvor Hywind Demo (nå Unitech Zephyros), verdens første flytende vindturbin ble installert i 2011 og Tetraspar ble installert i 2021. Dette er begge demonstrasjonsturbiner, som skal bevise at det er mulig å utvinne elektrisk energi fra vind på havet basert på flytende konstruksjoner. Der for eksempel vårt naboland Danmark har en undersjøisk topografi hvor man enkelt kan



Figur 1 - Vindkart for Norge Kilde: NVE, 2021.

plassere vindturbiner på sjøbunnen, er det langt dypere i Norge, noe som gjør at sjøbunnfiksert montering ikke alltid er mulig. Begge demoturbinene er derfor flytende og ankret opp ved bruk av spesialtilpassede ankringsystemer. Dette er teknisk krevende, og følgelig kostnadsdrivende.

LCOE (Levelized cost of energy) er en parameter som brukes for å måle levetidskostnaden av å utvinne en bestemt energikilde med hensyn på energiproduksjon under installasjonens levetid (Buvik, 2021). I Norge måles som regel denne parameteren i øre per kilowatt-time (øre/kWh). I Tabell 1 er det presentert LCOE for utvinning av vindenergi. Tallgrunnlaget er hentet fra NVE. Tabellen viser at det er vesentlig mye dyrere å utvinne vind fra flytende turbiner sammenlignet med både landbaserte og bunnfaste vindturbiner. Dagens LCOE for flytende havvind er ikke forenelig med strømprisen i Norge, hvor gjennomsnittsprisen i 2020 var ca. 20 øre/kWh før avgifter og nettleie (SSB, 2021). Samtidig er dette et stort satsningsområde og selskaper er nå i gang med utvikling av flytende turbiner som både skal forsyne det norske strømmettet, men også skal elektrifisere den norske sokkelen.

Tabell 1 - LCOE Vindkraft (Buvik, 2021)

Ressurs	LCOE (øre/kWh)
Landbasert vind	29,94
Bunnfast havvind	69,03
Flytende havvind	116,60

## 1.1 Problemstilling

Bunnfast og flytende havvind vil ifølge en rapport fra EU-kommisjonen spille en sentral rolle i avkarboniseringen av det europeiske energisystemet (European Commission, 2020). Mange vil derfor si seg enig i at flytende havvind kan bli Norges neste industrieventyr, men man er også enig i at omfattende innovasjon og nytenking må på banen for å gjøre dette lønnsomt. I denne kritiske fasen er det avgjørende at virkemiddelapparatet i Norge tilrettelegger for at utviklingsarbeid kan gjennomføres, gjennom risikoavlastende støtte til utviklerbedriftene.

For å redusere LCOE for flytende havvind er man avhengig av teknisk innovasjon. Det er flere selskaper som har kastet seg over utfordringen og streber hver dag etter å vinne kappløpet om å levere den mest kostnadseffektive flytende turbinløsningen. Samtidig har man også flere leverandørbedrifter som prøver å redusere kostnader i vindturbinenes delsystemer. Statlige støtteorganer som Innovasjon Norge, Forskningsrådet og Enova er også sterke pådrivere for denne satsningen, og bistår med risikoavlastende økonomisk støtte for flytende havvindsprosjekter. Avhandlingen søker å finne svar på følgende problemstilling:

*Flytende havvind, hvilke teknologiske utfordringer må løses for å få LCOE ned på et økonomisk bærekraftig nivå?*

Avhandlingen tar utgangspunkt i å besvare følgende forskningsspørsmål tilknyttet problemstillingen:

1. Hvilke tekniske utfordringer må løses for å senke levetidskostnaden til en flytende vindturbin?

## 2. Hvilken rolle har virkemiddelapparatet i å legge til rette for å løse disse utfordringene?

Oppgavens problemstilling er særlig relevant sett i lys av FN's/IPCC's nylig publiserte klimarapport som tilsier at vi ikke vil oppnå klimamålene med mindre vi omstiller oss vesentlig. I tillegg har regjeringen en klar målsetning om å skape flere grønne arbeidsplasser i Norge, hvor havvind anses som en av fremtidens store satsningsområder (Nesse, 2022).

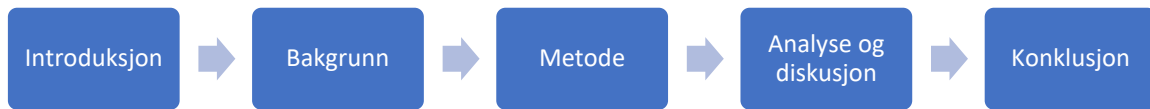
### 1.2 Avgrensinger

Oppgaven knytter sammen eksisterende forskning med primærdata skaffet gjennom å intervju seks nøkkelpersoner som jobber innenfor flytende havvind. Det ønskes å presisere at alle intervjuobjektene jobber i Norge og på den måten er oppgavens svardata også avgrenset til et norsk synspunkt, selv om mange av de intervjuede bedriftene jobber i et internasjonalt marked. Man skal ikke utelukke at man hadde havnet på en annen konklusjon om man hadde økt antall intervjuobjekter og spredd disse over et større geografisk område.

Videre er også oppgaven avgrenset i form av at man kun ser på den flytende havvindbransjen. Det vil si; de som utvikler og produserer utstyr for vindturbiner som skal flyte i havoverflaten og ikke være fundamentert på sjøbunnen med annet enn ankere. Skulle man sett på hele havvindmarkedet (bunnfast og flytende) ville omfanget bli mye større ettersom det dreier seg om to forskjellige teknologier i forskjellige modningsfaser. Siden flytende havvind er relativt ikke-utprøvd sammenlignet med bunnfast, har denne teknologien det høyeste LCOE-nivået. Næringens alder kombinert med høy LCOE gjør derfor at det er størst sannsynlighet for kostnadsreduksjoner av betydning i denne bransjen. Derfor er avhandlingen begrenset til den flytende næringen.

Oppgaven er også avgrenset i at en forsker har gjort alt arbeidet (undertegnede). Foruten om intervjuobjektene synspunkter vil forskeren derfor ha stor frihet i å bevege oppgaven i den retning han vil. Det understrekes imidlertid at forskeren har gjort alt i sin makt for å holde en objektiv vinkling i avhandlingen.

### 1.3 Oppgavens struktur



*Figur 2 - Oppgavens struktur*

Avhandlingen er delt inn i fem kapitler som vist i Figur 2. Kapittel 1 Introduksjon, gir en innføring i problemstillingen, samt definerer avhandlingens avgrensninger.

Kapittel 2 Bakgrunn, tar for seg forskning og kunnskap om teknologi i nåsituasjonen i markedet for flytende havvind. Kapitlet er delt i fire, hvor første del tar for seg vindturbinen, dens fundamentering og tekniske oppbygning. Andre del tar for seg flytertechnologi. Tredje del viser LCOE-beregning for flytende havvind, så vel som LCOE-prognose for flytende turbiner i årene som kommer. Siste del omhandler virkemiddelapparatet i Norge og hvordan det støtter norske bedrifter som bedriver FoU-prosjekter innen flytende havvind.

Kapittel 3 Metode, beskriver valg av forskningsmetode for oppgaven, denne er begrunnet og gjort rede for. Videre forklares oppgavens forskningsstrategi før risikomomenter knyttet til metodevalg drøftes.

Kapittel 4 analyse og diskusjon, drøfter tilbakemelding fra respondentene i intervjuene seksjonert etter forskningsspørsmål. I siste kapittel konkluderes oppgaven og forslag til videre forskning blir presentert.

## 2 Bakgrunn

Kapittel 2 Bakgrunn, tar for seg relevant bakgrunnsinformasjon som til sammen skal gi en forståelse av oppbygningen av en flytende vindturbin og eksisterende flytende konsepter. Kapittelet gjennomgår også LCOE-kalkulasjon for flytende havvind, som er direkte relatert til dagens kostnadsnivå. Videre presenteres en LCOE-prognose for vindkraft. Kapittelet avsluttes med en innføring i virkemiddelapparatet i Norge og hvordan de har støttet flytende havvindsprosjekter til nå.

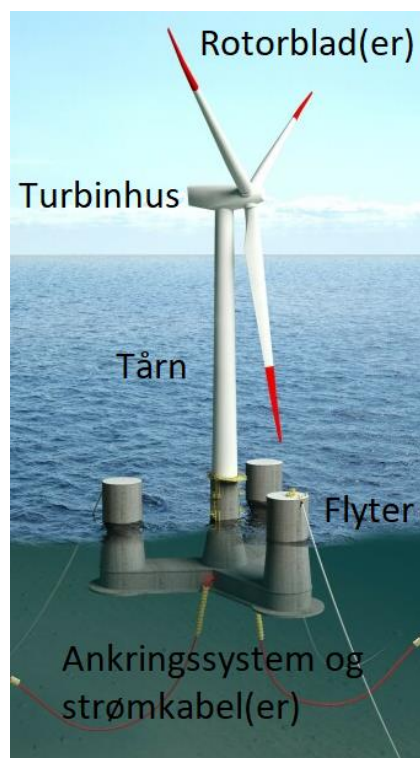
### 2.1 Generelt om vindturbiner

Vindturbiner genererer strøm i vindhastigheter mellom 3 og 25 M/S, med maks effekt på rundt 13 M/S (Hofstad & Rosvold, 2019). Den klassiske vindturbinen består av tre rotorblader som til enhver tid har rotasjonsaksen rettet mot vinden (se Figur 3). Rotorbladenes vindfang (pitch) justeres etter vindstyrke for å maksimere turbinens strømproduksjon. For å konvertere de roterende bladenes energi til elektrisk strøm benyttes en generator, noen ganger i kombinasjon med et foranliggende girhus. Denne sammenstillingen blir ofte kalt turbinhuset (engelsk nacelle) i vindturbinen (huset bak bladenes rotasjonsakse). Turbinhuset er plassert på toppen av et sylindrisk tårn; mest vanlig produsert i stål.

Rotorbladene, turbinhuset og tårnet utgjør det man kaller en vindturbin. Vindturbiner i dag er relativt standardiserte, og man benytter mer eller mindre samme turbiner uavhengig av om man skal bruke dem på land eller på havet (både bunnfast og flytende). De kan variere stort i størrelse avhengig av hvor mye energi man ønsker at de skal produsere. Fordelen med å utvinne vindenergi i havet er at den avsidesliggende plasseringen ikke krever inngrep som er skjemmende for mennesker, hverken visuelt eller støymessig. Dette gjør at man ikke trenger å ta samme hensyn som med vindturbiner på land, følgelig er vindturbiner «offshore» i gjennomsnitt større enn vindturbiner «onshore» (LUVSIIDE Staff, 2020).

Det skal også nevnes at det finnes konsepter som ikke har den tradisjonelle utformingen med tre blader og horisontalakslet rotasjonsretning som vist i Figur 3. Selskaper som Vertiwind, SeaTwirl og VertAx Wind utvikler turbiner med vertikalakslet rotasjon beregnet for bruk på havet.

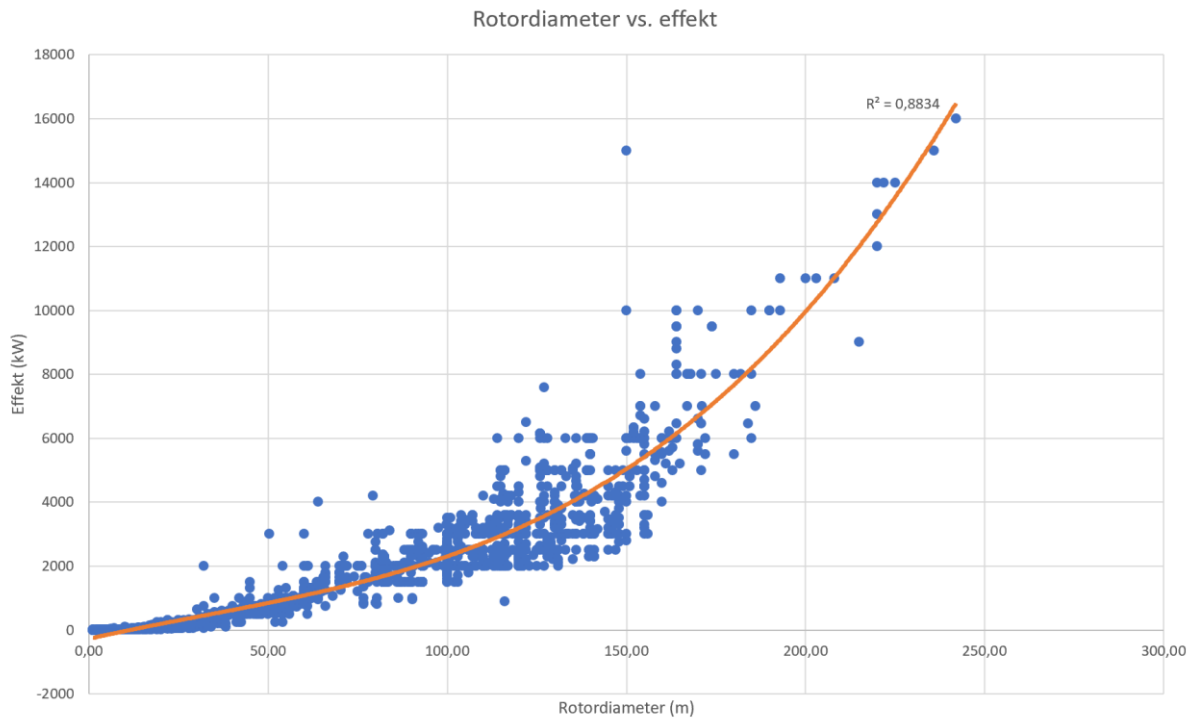
Vindturbinene fundamenteres ulikt basert på hvor de skal plasseres. **Landbaserte vindturbiner** fundamenteres i bakken, ofte på en base av betong med innstøpte gjengestag som er boret langt ned i bakken (fjellbolter) eller med et gravitasjonsfundament som forhindrer den i å velte (CNBM, 2018). **Bunnfaste vindturbiner** blir benyttet på inntil 60



Figur 3 - Illustrasjon av flytende vindturbin. Modifisert illustrasjon lånt fra (Lønning, 2020)

meters dybde. De fundamenteres på havbunnen, mest vanlig ved hjelp av et gravitasjonsfundament, sugebøtte eller monopile (van der Valk, 2014). Teknologien bak disse fundamenteringstypene vil ikke bli ytterligere gjort rede for ettersom de har lite relevans for oppgaven. **Flytende havvindturbiner** står på en flytende konstruksjon, heretter kalt «flyter». Flyteren er ankret opp på havbunnen. Utforming og størrelse på disse flyterne kan variere stort, noe vi skal se i kapittel 2.2 Vindturbinens flyter.

### 2.1.1 Turbinestørrelse



Figur 4 - Rotordiameter versus turbineffekt. Datagrunnlag hentet fra (Matysik & Bauer, 2022)

Turbinens rotordiameter har mye å si for hvor mye strøm den klarer å produsere. Figuren over er laget med data hentet fra (Matysik & Bauer, 2022). Dette er en stor database som inneholder over 2200 forskjellige turbindesign. Siden noen input-parametere manglet på enkelte design, er Figur 4 basert på 2140 forskjellige turbindesign.

Man ser tydelig at det ikke er en lineær sammenheng mellom rotorens diameter og turbinens effekt. Trendlinjen i Figur 4 viser at effekt per ekstra enhet turbindiameter øker betraktelig til større turbinen er. Funksjonen vi får ut fra trendlinjen er som følger:

$$Effekt = 0,0012d^3 - 0,1175d^2 + 25,192d - 272,69$$

Formel 1 – Effekt basert på rotordiameter i eksisterende turbin-konsepter. Effekt (kW),  $d$ = rotordiameter (m)

Basert på denne funksjonen kan følgende datapunkter hentes fra trendlinjen:

Tabell 2 – Datapunkter hentet fra trendlinje i Figur 4

d(m)	50	100	150	200	250
Effekt (kW)	843	2 272	4 912	9 666	17 432
Økning siden forrige punkt (kW)	0	1 428	2 641	4 753	7 766

Man ser tydelig at turbinens gjennomsnittlige effekt øker betraktelig per ekstra 50 meter man legger på rotordiameteren. Basert på tallene i Tabell 2 kan dataen ytterligere bearbejdes for å finne en lineær økning i hvert intervall. Denne dataen er vist i Tabell 3.

Tabell 3 – Effekt-økning per meter økning i rotordiameter fordelt på intervaller

Intervall rotordiameter (m)	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250
Økning (kW/m)	17	29	53	95	155

Tabell 3 viser at man vil få langt mer effekt ut fra hver enhet økning i diameter på en stor turbin, sammenlignet med en liten turbin. Isolert sett i et økonomisk perspektiv, hvor man ikke tar høyde for produksjons- og/eller installasjonskostnad, vil det derfor være mer lønnsomt å bygge store turbiner sammenlignet med små turbiner. Dette kan man også se om man sammenligner 200- og 100 -meterspunktet i trendlinjen (Tabell 2). Om man doubler rotorbladenes lengde vil man mer enn firedoble strømproduksjonen.

## 2.2 Vindturbinens flyter

Det finnes i hovedsak tre typer flytere på markedet i dag hvor majoriteten av disse er adopterte konsepter fra olje- og gassbransjen. Disse er vist i figuren under og vil bli ytterligere beskrevet i de følgende delkapitlene.



Figur 5 - Forskjellige typer flytere. Fra venstre Sparbøye, halvt nedsenkbar plattform (semi) og strekkstagsplattform. Illustrasjon av Joshua Bauer, NREL (Laurie, 2017).

### 2.2.1 Strekkstagplattform

En strekkstagplattform (Engelsk: Tension leg platform) er et adoptert konsept fra olje- og gassindustrien (Bachynski & Moan, 2012). Flyteren har i de fleste tilfeller en triangulær utforming og tre forankringspunkter, hvor linene mellom plattform og anker alltid er i spenn. Fordelen med dette konseptet er at vindturbinen vil stå helt i ro under operasjon, og man unngår dermed slakk i strømkabel som følge av bølger, strøm og vind. Det gjør det også enkelt å plassere flere vindturbiner i en vindpark ettersom de ikke vil bevege seg i forhold til hverandre. Den største bakdelen med konseptet er at dersom et av stagene svikter som følge av høy belastning, vil vindturbinen mest sannsynlig velte. Dette har foreløpig ikke forekommet innen vindproduksjon, men Typhoon-ulykken i 2005 hvor orkanen Rita klarte å rive løs ett av strekkstagene i plattformen «Typhoon TLP» er et synlig eksempel på bakdelene med denne type flyter (Dykes, 2007).

Det finnes flere selskaper som har troen på dette konseptet, men det understrekes at det i liten grad er satt i drift for flytende havvind. Selskaper verdt å nevne som er i utviklingsfasen med dette konseptet er Pelastar (Buljan, 2021a), SBM Offshore (Foxwell, 2020) og Bluewater.



### 2.2.2 Halvt-nedsenkbar plattform

En halvt nedsenkbar plattform, på engelsk semi-submergible platform, heretter kalt «semi» er også et konsept som er adoptert fra olje- og gassindustrien (Fulton et al., 2005). Flyteren har oppdrift som følge av flere (mest vanlig tre stykk) hule søyler og pongtonger, hvor man kan fylle disse tomrommene med vann eller permanent motvekt (eksempelvis betong eller stål). Denne ballasten regulerer hvor dypt konstruksjonen ligger i vannet og avgjør følgelig stabiliteten til systemet. Eksempelvis er løfteplattformen «Sleipnir» (verdens største løfterigg) en halvt-nedsenkbar plattform. Flytende vindturbiner basert på dette konseptet ankres til havbunnen, mest vanlig med tre ankerliner per turbin med tre tilhørende ankere.

Fordelene med konseptet er at man ved å senke pongtongene under havoverflaten reduserer både tyngdepunktet, men også arealet hvor havoverflaten treffer plattformen. Dette gjør at hivbevegelsene av plattformen blir minimert, noe som er heldig både i forbindelse med å redusere mekaniske belastninger, men også for å skape stabilitet i konstruksjonen.

Semi-konseptet er populært blant havvindselskapene. Under følger noen eksempler på bedrifter som baserer sine flytende turbiner på et semi-konseptet. Odfjell Oceanwind er i gang med utvikling av et semikonsept som skal kunne håndtere en 15MW turbin. Denne løsningen skal i tillegg inkludere energilagring. Flagship, som blir verdens største flytende havvindturbin (10MW) når installert i METCentre utenfor Karmøy neste år, er også basert på dette konseptet. Flyteren er, til forskjell fra Odfjell sitt konsept, bygget i betong fremfor stål (METCENTRE, 2021). Verdens første vindpark basert på semi-konseptet er også satt i drift utenfor Portugal. Parken er utviklet av Windplus Consortium og består av fem stykk 8,4MW turbiner (OE Staff, 2020).

### 2.2.3 Sparbøye

Sparbøye-konseptet har et lavt tyngdepunkt som følge av en særdeles dyptgående kjøll. Verdens første flytende vindturbin (opprinnelig kalt Hywind Demo) ble bygget på dette konseptet. Prosjektet var på den tiden eid av Statoil (nå Equinor), og satt i live i 2009 utenfor Karmøy (Equinor Staff, n.d.-a). Konseptet har vist seg svært effektivt, noe som gjorde at også Hywind Scotland, verdens første flytende vindpark ble bygget på samme konsept i 2017. Equinor har også besluttet å bruke sparbøyer for Hywind Tampen som er planlagt ferdigstilt i 2024.

Konseptet har enestående hiv-egenskaper ettersom (1) det kun går 1 søyle går gjennom havoverflaten og (2) konseptet har en svært dyptstikkende kjøll. Konseptets største bakdel er knyttet til produksjon og installasjonsprosess, samt senere vedlikeholdskostnader dersom det må i dokk/til land. På grunn av det svært dyptstikkende undervannskroget, er det få havnefasiliteter som har kapasitet/dyppgang til å ta imot disse konstruksjonene. Flyter og vindturbin har derfor historisk sett blitt heist ut og sammenstilt midtfjords, før turbinene har blitt slept til endelig lokasjon. Dette er ikke bare tid- og kostnadsdrivende, men det krever også svært gode værforhold. På samme måte må disse demonteres om turbinen må til land for vedlikehold. Det skal imidlertid presiseres at Equinor skal gjøre sammenstilling ved kai i det pågående Tampen-prosjektet, før turbinene slepes ut og installeres på lokasjon (Equinor Staff, n.d.-b).

## 2.2.4 Andre konsepter



Figur 6 - Tetraspar Demo, Illustrasjon: (Stiesdal, 2021)



Figur 7 - Wind Catching System, Illustrasjon (Windcatching, 2021)

Det finnes også flere selskap som har prøvd seg på mer radikale konsepter. Tetraspar Demo (Figur 6) er det seneste konseptet som er satt ut i livet. Vindturbinen ble slept fra Danmark til kystlinjen utenfor Karmøy og forankret på ca. 200 meters dybde sensommeren 2021. Konseptet kombinerer semi- og spar-konseptet på en måte som gir 1) lav vannmotstand og 2) ekstremt gode stabilitetsegenskaper, samtidig som konseptet enkelt kan taues inn og ut fra land med en dyptgående på kun 14 meter (Stiesdal, 2021). Konseptet er også spesielt med tanke på at det er designet på en måte som gjør at turbinprodusenten, også enkelt kan produsere flyteren.

Wind Catching Systems er et norsk selskap som utvikler det de mener er løsningen for flytende havvind (se Figur 7). Et radikalt konsept basert på et gigantisk flytende rammeverk bestående av over 100 stk. rotorblader er grunnlaget for innovasjonen (Wind Catching Systems, 2021). Slike løsninger blir ofte omtalt som *windseil*. Dette er imidlertid et tidligfasekonsept som foreløpig ikke er realisert på annet enn tegnebrettet.

Det finnes også et utall andre konsepter under utvikling av produsenter verden over. Herunder TwinWay utviklet av svenske Hexicon, hvor to vindturbiner blir satt på samme flyter. Det er planlagt testing av dette konseptet i METCentre utenfor Karmøy i 2024. Kanskje mer radikalt er Rosenbergs konsept kalt FlexiFloat som er en flyter på 420x240 meter med 9 vindturbiner på toppen. Flyteren er ikke rigid, som vil si at flytende deler vil kunne bevege seg i forhold til hverandre i vertikalaksen. FlexiFloat skal derfor i tillegg til å utvinne vindenergi, også kunne utvinne energi fra bølger. Konstruksjonen i sin helhet er estimert til å kunne levere 72MW strøm (Førde, 2020). Det er med andre ord ikke tvil om at mange nå har meldt seg på i kappløpet om å erobre det flytende havvindmarkedet.

## 2.3 Prognoser for havvind

I kapittel 2.2 Vindturbinens flyter ble det presentert en rekke ulike selskaper som bedriver utvikling av flytende vindkonsepter. Noen av disse konseptene er også i større eller mindre grad utprøvd. Man ser likevel at kostnadene fortsatt for høye sammenlignet med prisen for å utvinne bunnfast og landbasert vind, samt i sammenligning med andre fornybare energikilder. Dette kapitlet har som hensikt å gi en innføring i de økonomiske faktorene lagt til grunn for dagens LCOE-nivå, samt en prognose for havvind i de kommende årene.

### 2.3.1 LCOE - Havvind

Ifølge en rapport utarbeidet av NREL (National Renewable Energy Laboratory) i USA kan LCOE for vindkraft kalkuleres etter formelen gitt i boksen under (Formel 2). Denne rapporten (Stehly et al., 2020) danner grunnlaget for oppgavens LCOE kalkulasjon, men talldata er konvertert til norsk valuta. Kalkulasjonen tar utgangspunkt i at identiske turbiner brukes for det bunnfaste og flytende referansekonseptet. Det flytende konseptet er av semi-typen. Alle tabeller og tekst i dette delkapitlet er basert på denne rapporten.

$$LCOE = \frac{(CapEx * FCR) + OpEx}{(AEP_{net}/1000)}$$

Hvor følgende er angitt som:

*LCOE* – Levelized cost of energy (Øre/kWh)

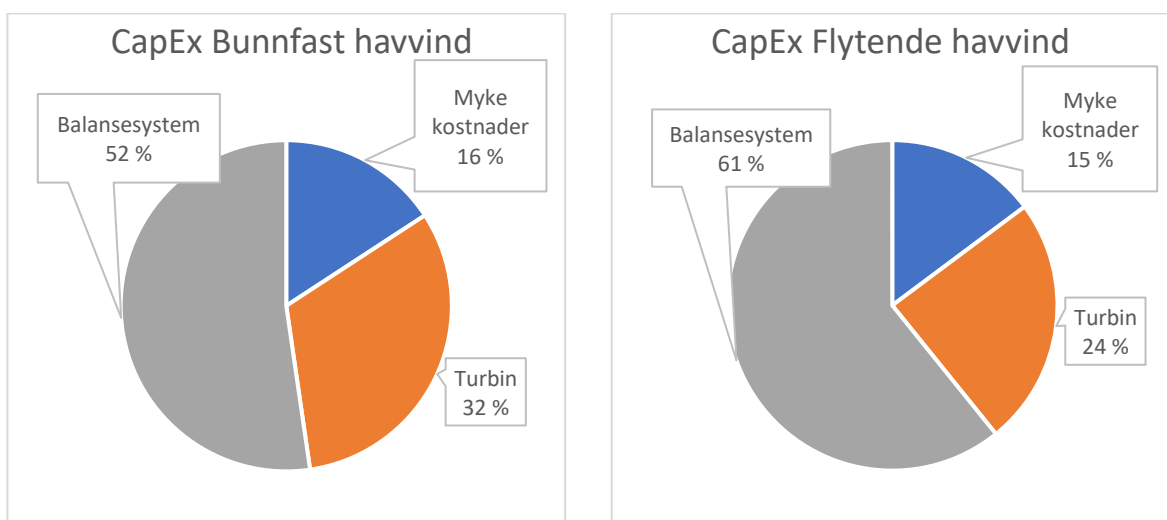
*CapEx* – Investeringskost (øre/kW)

*FCR* – fixed charge rate (representerer inntekten som kreves for å dekke de årlige regnskapsføringsgebyrene som er påført kapitalandelen på prosjektet) (%)

*AEP<sub>net</sub>* – gjennomsnittlig årlig energiproduksjon (kWh/kW/år)

*OpEx* – operasjonskostnader (øre/kW/år)

Formel 2 - LCOE for vind. Hentet fra (Stehly et al., 2020)



Figur 8 - CapEx for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020)

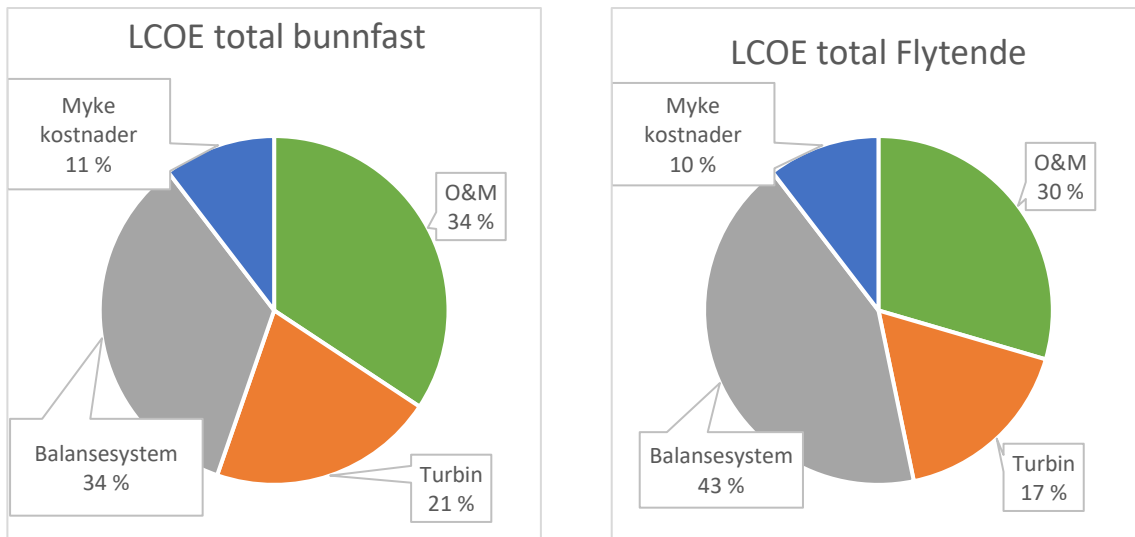
Figur 8 viser fordelingen av CapEx for bunnfast og flytende havvind. Flytende havvind har en relativt større andel av kostnader forbundet med balansesystemet, sammenlignet med en

bunnfast installasjon. Dette på grunn av at en flyter både må håndtere oppdrift og balanse, mens en bunnfast installasjon ikke behøver oppdrift da den er direkte fundamentert i havbunnen. En bunnfast installasjon behøver heller ikke et ankringsystem, som er en annen kostnadsdriver for en flytende vindturbin. Bryter vi dette ytterligere ned ser vi at flytende havvind også har mye høyere CapEx enn bunnfast (Tabell 4).

Tabell 4 - CAPEX for bunnfast og flytende havvind. Dollarkurs omregnet til NOK etter gjennomsnitt av 2019 (kilde: (Stehly et al., 2020))

<b>CapEx nedbrutt for bunnfast og flytende havvind</b>				
	<b>Bunnfast</b>		<b>Flytende</b>	
	NOK/kW	%	NOK/kW	%
<b>Turbinkost</b>	11 449,2	32,00	11 449,2	24,40
Utviklingskostnader	1 214,4	3,40	1 452,0	3,10
Engineering og ledelse	616,0	1,70	748,0	1,60
Undervannstruktur og fundament	7 189,8	20,10	12 654,8	27,00
Havn, klargjøring, logistikk og transport	510,4	1,40	387,2	0,80
Elektrisk infrastruktur	6 697,0	18,70	8 615,5	18,40
Sammenstilling og installasjon	1 742,5	4,90	3 863,3	8,20
Leiepris	774,4	2,20	774,4	1,70
<b>Balansesystem</b>	<b>18 753,4</b>	<b>52,30</b>	<b>28 486,6</b>	<b>60,80</b>
Forsikring under bygging	387,2	1,10	457,6	1,00
Avviklingsobligasjon	510,4	1,40	668,8	1,40
Konstruksjonsfinansiering	1 610,5	4,50	1 944,9	4,20
Beredskap	2 780,9	7,70	3 423,3	7,30
Igangsettelse av system	387,2	1,10	457,6	1,00
<b>Myke kostnader</b>	<b>5 676,2</b>	<b>15,80</b>	<b>6 952,2</b>	<b>14,80</b>
<b>Total CAPEX</b>	<b>35 878,8</b>	<b>100,00</b>	<b>46 888,0</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Øre/kW</b>	<b>3 587 880</b>		<b>4 688 800</b>	

Det er spesielt interessant å se på kostnadsforskjellene på «undervannstruktur og fundament» samt «elektrisk infrastruktur», hvor kostanden til en flytende turbin er mye høyere enn for en bunnfast. Dette vitner om at det absolutt vil være mulighet for å redusere kostnader på disse delsystemene. Når man videre tar inn faktisk energiproduksjon, Drift og Vedlikeholdsfasen (O&M) og forventer en levetid på 25 år får man LCOE for de to havvindsegmentene. Dette er illustrert i figuren under (Figur 9).



Figur 9 - LCOE for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020)

O&M utgjør 30%-35% av LCOE til en havvindturbin, uavhengig om den er bunnfast eller flytende. Dette er en stor andel og mange vil hevde at det er mye som kan gjøres for å redusere denne kostanden. For å redusere kostnaden er man avhengige av å utvikle mer pålitelige konstruksjoner som krever mindre vedlikehold, så vel som å effektivisere selve vedlikeholdsarbeidet. Det er flere selskaper som jobber med dette per dags dato. Et eksempel er Dokka Fasteners, som i samarbeid med NTNU utvikler en smartbolt som selv gir beskjed dersom den mister sin spennkraft (NTNU, 2021). Gitt at en vindturbin i dag består av over 1000 bolter som fra tid til annen må sjekkes, vil dette utgjøre en vesentlig kostnadsreduksjon dersom man kan forlenge intervallene mellom hver bolteinspeksjon og dermed spare operatørselskapene for millioner av kroner i vedlikehold (Ulateig, 2020). Det snakkes også blant annet om fjernstyring av operasjoner og mindre vedlikehold gjennom mer pålitelige kabelsystemer som viktige bidragsyttere for å redusere vedlikeholdskostnaden på en havvindturbin. Sistnevnte står faktisk for over 50% av erstatningskravene innen havvind (Buljan, 2021b).

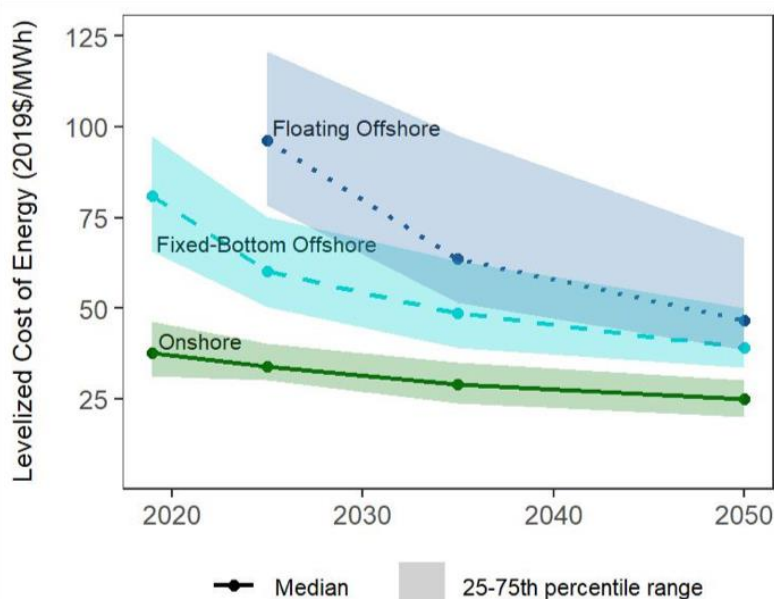
Den største kostnadsdriveren i O&M er imidlertid dersom en vindturbin må gjennomføre en stor overhaling, for eksempel bytte av blader eller turbin i sin helhet. Med dagens løsninger er man i de fleste tilfeller tvunget til å taue hele konstruksjonen inn i skjermet farvann for å gjennomføre dette. Store offshorefartøy må engasjeres, hvor disse koster millioner av kroner per operasjonsdøgn. At noen kommer til å innovere på dette området anses som rimelig sikkert.

Tabell 5 - LCOE-kalkulasjon for bunnfast og flytende havvind. Tall hentet fra (Stehly et al., 2020)

LCOE-kalkulasjon for bunnfast og flytende havvind		
	Bunnfast	Flytende
	Øre/kW	Øre/kW
CAPEX (Øre/kW)	3 587 882	4 688 800
OPEX(Øre/kW/år)	109 124	114 404
Fixed Charge rate (%)	5,8%	5,8%
Gjennomsnittlig årlig energiproduksjon (kWh/kW/år)	4 270 000	3 328 000
<b>Total LCOE (Øre/kWh)</b>	<b>74,29</b>	<b>116,09</b>

Tabell 5 viser de siste brikkene i rapportens utregning. LCOE-kalkulasjonen viser at flytende havvind er ca. 57% dyrere å utvinne enn bunnfast havvind i en kalkulasjon basert på like store turbiner. Dette vitner om at det er store rom for å senke kostnader gjennom å løse tekniske utfordringer.

### 2.3.2 Prognose for havvind



Figur 10 - Prognose for vind mot 2050. Kilde: (Wiser et al., 2021)

En studie utført av Berkeley Labs viser at store kostnadsreduksjoner er forventet i årene som kommer, både for bunnfast og flytende havvind frem mot 2050 (Wiser et al., 2021). Studien oppsummerer en global undersøkelse bestående av 140 vindeksperter på tre vindapplikasjoner; landbasert, bunnfast og flytende. Det er i hovedsak fem faktorer som er lagt til grunne for studien; CapEx-kostnader, O&M-kost, kapasitetsfaktor, levetid og finansieringskostnad. Selv om studien ganske sikkert slår fast at LCOE for de tre typer vindkraft vil reduseres betydelig de neste tiårene, er det fortsatt en usikkerhet knyttet til

studien. Dette spesielt forbundet med flytende havvind. Grunnen til dette er antall x-faktorer som inngår i regnestykket. Man er avhengig av å redusere kostnader på alle områder for å nå medianscenarioet presentert i figuren over (Figur 10). Det nevnes i rapporten at en nøkkeldriver for å redusere kostnader er å øke turbinstørrelse, dette var også noe vi så i kapittel 2.1.1 Turbinstørrelse. Det forventes i rapporten at gjennomsnittlig turbinstørrelse for en havvindturbin økes fra 6MW i 2019 til 17 MW i 2035. Prognosen for flytende vind er med andre ord svært lovende. Dette forutsetter innovasjon og utvikling innen alle segmenter.

## 2.4 Finansiering og subsidier til innovasjonsprosjekter

I Norge finnes det i hovedsak tre organer som subsidierer innovasjonsprosjekter i næringslivet. Mer spesifikt er dette Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Enova, hvor alle har forskjellige fokusområder. Alle disse organene er statlig finansiert og har som formål å stimulere til økonomisk vekst, nye arbeidsplasser og i forlengelse av det, økte skatteinntekter til Norge.

Forskningsrådet er et organ som skal redusere finansiell risiko i prosjekter hvor man må gjøre vesentlig forskning og/eller utviklingsarbeid for å komme frem til ny kunnskap, nye produkter eller nye tjenester (Forskningsrådet, n.d.). De er særdeles opptatte av den teknologiske risikoen de omsøkte prosjektene medfører, og kunnskapen prosjektene fremskaffer på internasjonalt nivå. Dette er på mange måter utslagsgivende for hvilke prosjekter de støtter, selvfølgelig i kombinasjon med tildelingskriteriene for ordningene. Organet støtter både forskningsinstitusjoner som SINTEF, men også kommersielle aktører gjennom sine programmer. Forskningsrådet er ansvarlig for Norges største og mest brukte støtteordning, SkatteFUNN, hvor det i 2020 var 6311 aktive prosjekter.

Innovasjon Norges målsetning er å stimulere til nye arbeidsplasser og økt verdiskapning i Norge. Organet prioriterer prosjekter med et stort kommersielt potensial og bedrifter som kan vise til god gjennomføringsevne. Samtidig er det også viktig med teknisk og markedsmessig risiko i prosjektet for å oppnå godkjenning, hvor dette i mindre grad er utslagsgivende for støtte sammenlignet med hos Forskningsrådet.

Enova har som formål å støtte prosjekter som bidrar til lavere utslipp og høyere energieffektivitet sammenlignet med eksisterende. Det er ikke nødvendig at søkerbedrift selv gjør utviklingsarbeid for å oppnå godkjenning på et prosjekt. Enovas rolle er å være utløsende for at klimavennlige prosjekter blir igangsatt. Organet støtter alt fra innkjøp av elektriske biler til store miljøprosjekter i milliardklassen.

### 2.4.1 Spesielt om subsidier til flytende havvind

Flytende havvind er relativt nytt og ikke-utprøvd på verdensbasis. Samtidig er det et satsningsområde for Norge i forbindelse med det grønne skiftet. Kombinasjonen av disse to faktorene gjør at virkemiddelapparatet bevilger store summer til utvalgte bedrifter som ønsker å bedrive utvikling på feltet. Investeringene i flytende havvindsprosjekter er så store

at det ikke er regningsssvarende for en bedrift å sette i gang utvikling og bygging av flytende konsepter uten risikoavlastende støtte. Virkemiddelapparatet blir derfor i mange tilfeller avgjørende for om prosjekter blir igangsatt og gjennomført.

Dette kan vi se gjennom avisoppslag hvor Equinor, Statkraft og Aker i februar 2021 ba om tilskudd i milliardklassen for å starte på utviklingen av feltet nord for Utsira der de ønsker å bygge ut 500 MW flytende vindkraft(Hovland, 2021). Samtidig ser vi også at virkemiddelapparatet tildeler store summer for utvikling og realisering av havvindsprosjekter. Et eksempel på dette er Equinor sitt Tampen-prosjekt som mottok 2,3 milliarder NOK i støtte fra Enova. Det største tilskuddet som noen gang er delt ut fra organet (Enova, 2019). Odfjell Oceanwind mottok også nylig 10 MNOK i forprosjekt-støtte til sitt flytende havvindsprosjekt (MOWU) sommeren 2021(Offshore staff, 2021). EU-støtte på flere hundre millioner er også bevilget til Flagship, verdens største flytende vindturbin når installert (Lønning, 2020). Dette beviser at norsk havvindindustri er med på å lede veien, også i et europeisk perspektiv.

Virkemiddelapparatet har også bidratt til å etablere egne forskningsentre for havvind. Et eksempel på dette er NorthWind som ble startet i 2021 og er finansiert av Forskningsrådet i kombinasjon med private aktører. Også havvindklyngen Norwegian Offshore Wind Cluster har mottatt støtte fra Innovasjon Norge. Formålet med denne klyngen er å bidra til verdiskapning gjennom bærekraftig innovasjon innen havvind.

Det er med andre ord allerede gjennomført en rekke tiltak for å støtte utvikling av havvind i Norge. Spørsmålet som stilles i denne oppgaven er om det gjøres nok for å hjelpe flytende havvind til å bli økonomisk bærekraftig i Norge. Eksempelvis var det bare et havvindsprosjekt i den nyeste utlysningen «grønn plattform» fra regjeringen som ble godkjent (Nærings og fiskeridepartementet, 2021). Er dette tilstrekkelig?



## 3 Metode

Kapittelet tar for seg begrunnelsen for oppgavens valg av metode. Elementære prinsipper benyttet, beskrivelse av forskningsprosess samt metode for datainnsamling og analyse vil bli presentert i kapittelet.

### 3.1 Kvalitativ metode

Kvalitativ metode ble valgt for denne oppgaven. Siden det per dags dato eksisterer relativt få selskaper som bedriver utvikling av flytende havvind, og at antallet attraktive intervjuobjekter er deretter, ble det besluttet å bruke en metode som kunne gi en inngående forståelse av hvert objekt sitt syn på problemstillingen i oppgaven.

*Kvalitativ* metode baserer seg på innsamling og analyse av data som foreligger i tekstform (Grønmo & Malt, 2020). Data som genereres må senere tolkes/analyseres av forskeren(e). Bruk av denne metoden krever ofte at forskeren(e) må gjøre egne vurderinger i hvordan man skal tolke svarene til hver enkelt respondent. Dette gir også rom for å manipulere resultater, eller dreie dem i den retning hen ønsker. Dette er en bakdel ved bruk av metoden. En kvantitativ metode gir derimot mindre rom for tolkning og manipulasjon av data ettersom den baserer seg utelukkende på innsamling og analyse av kvantitative data, data som kan måles i form av tall eller andre mengdetermer. Tallgrunlaget analyseres som oftest ved hjelp av statistiske metoder. Bakdelen med denne metoden er at man trenger mange respondenter for å fremskaffe et signifikant svar på de forhåndsbestemte spørsmålene.

Det finnes flere måter å gjøre en kvalitativ datainnsamling, men semistrukturerte intervjuer ble vurdert som mest hensiktsmessig for denne oppgaven. Et semistrukturert intervju baserer seg på at temaer fremfor at konkrete spørsmål styrer intervjuets retning (Andersen, 2020). Metoden er godt egnet for et mindre antall respondenter. En slik intervju type legger til rette for at objektene kan komme med nye vinklinger og synspunkter så lenge samtalen ikke sklir ut fra hovedtemaene i intervjuguiden. Intervjuer står også fritt til å stille de oppfølgingsspørsmål hen måtte ønske. Sett i lys av oppgavens problemstilling er dette svært verdifullt fordi man ikke er sikre på hvilken retning bransjen for flytende havvind vil bevege seg, og man da ikke setter noen begrensninger på intervjuobjektens svar. Man kunne ikke gjort tilsvarende om man hadde valgt et strukturert intervju som egner seg for større grupper. Andre metoder innenfor kvalitativ metode er deltakende observasjon og fokusgrupper hvor begge disse er lite egnet til å grave ut informasjon på en rask og effektiv måte.

### 3.2 Abduktiv metode

Tabell 6 - Forskjell i virkemåte for induktiv, deduktiv og abduktiv metode

Induktiv	Deduktiv	Abduktiv
Man har en hypotese om at en stein synker til bunns dersom man kaster den i sjøen. For å teste denne hypotesen spør vi 1000 personer om de tror steinen vil synke, alle svarer ja og vi har da sannsynliggjort at steinen vil synke dersom den kastes i sjøen.	Antakelse: Alle steiner synker i sjøen. Du holder en stein i hånden. Med andre ord kan man dedusere at også denne steinen vil synke i sjøvann.	Du kaster en stein på sjøen, den synker. Hypoteser etableres: Synker den på grunn av massetetthet kombinert med tyngdekraft? Er det en usynlig fisk som har dratt den ned til bunnen? Er det en vannstrøm som går ned og presser alt mot bunnen? Basert på tilgjengelig informasjon trekker man den mest logiske slutningen, nemlig at massetetthet kombinert med tyngdekraft er grunnen til at den synker.

Det ble besluttet å gå for en abduktiv metode/tilnærming i denne oppgaven. Abduktiv metode kalles også gjerne for en «kvalifisert gjetning» eller «slutning til beste forklaring». Begrepet ble først brukt av filosofen Charles Sanders Peirce (f.1839-d.1914) for rett over 100 år siden (Persson, 2019). Siden svarene til respondentene i oppgaven mest sannsynlig vil variere noe, må forskeren derfor foreta kvalifiserte gjetninger for å trekke konklusjoner. Tilnærmingen er derfor godt egnet for å besvare oppgavens problemstilling sammenlignet med *induktiv og deduktiv metode* som er alternativene.

*Induktiv metode* handler om å etablere en hypotese for så å teste denne ut med formål om å danne allmenne prinsipper eller lover. Dette er en velkjent metode som er brukt i vitenskapen i lang tid. Fordelen med metoden er at hypotesen får virkelighetskontakt, bakdelen er at man aldri vil få 100% bekreftet hypotesen man tester ut. *Deduktiv metode* har som formål å avlede logiske konsekvenser ved å anvende logikken på angitte antakelser (Tranøy, 2019). Forskjellen i virkemåte for de tre ulike metodene er presentert i tabellen over (Tabell 6).

### 3.3 Datainnsamling og intervjugjennomføring

For å besvare oppgavens problemstilling på en pålitelig måte ble individuelle ekspertintervjuer tatt i bruk. Det vil si at respondentene ble håndplukket med mål om å få pålitelige kilder med mye bransjeinnsikt. Alt med formål om å innhente troverdig data. Videre ble det også forsøkt å holde en viss bredde med tanke på respondentenes bakgrunn for å besvare spørsmålene (Jacobsen, 2015). Det vil si at nøkkelpersonell fra alt fra oljeselskap som er engasjert i flytende havvind, til rene havvindsbedrifter, Forskningsorganisasjoner, og klyngemedlemmer ble brukt i datainnsamlingen. Intervjuobjektene er presentert med tittel og selskapstype i Tabell 7.

Metode for åpent individuelt intervju ble valgt for å (1) gi respondentene mulighet til å gi en dyp og grundig besvarelse av spørsmålene som ble stilt, (2) ikke la respondentene bli påvirket av andre objekter som kan skje i gruppeintervjuer og (3) la alle respondentene komme til ordet og tømme seg for informasjon. Seks intervjuer på om lag 40 minutter ble avholdt.

Videre ble en intervjuguide utarbeidet med formål om å strukturere intervjuet i den grad det er mulig (Se Vedlegg 2 – Intervjuguide). Spørsmålene ble møysommelig utformet med formål om å treffe de som skulle besvare dem. Intervjuguiden har som formål å starte med relativt åpne spørsmål for å gjøre objektene komfortable på situasjonen, før mer utfordrende spørsmål stilles. Siden det ble valgt å gjennomføre et åpent intervju ble ingen objekter avbrutt om de snakket utover guidens retningslinjer, dette med formål om å samle mest mulig informasjon. Innledningsvis ble respondentene bedt om å greie ut om sin egen bakgrunn og bedriftens bakgrunn før vi hoppet over til to temaer som til sammen skulle være med å besvare oppgavens problemstilling. Nærmere del 1 som omhandlet tekniske utfordringer som må løses for å senke levetidskostand og del 2, virkemiddelapparatets rolle i å løse disse utfordringene.

Tabell 7 - Intervjuobjekter

Intervjuobjekt nr.	Rolle
1	CEO- Havvindselskap
2	Manager - Havvindavdeling
3	Forskningsleder - Forskningsorganisasjon
4	Manager - Havvindavdeling
5	CEO – Leverandør havvind/Styremedlem klynge
6	CEO – Leverandør havvind/Styremedlem klynge

### 3.4 Analyse av data

Analyse og diskusjonsdelen består av en kombinasjon av primærdata (innsamlet i intervjuer) og informasjon innhentet i kapittel 2 Bakgrunn.

Primærdataen er timevis med intervjumateriale. Dette skaper store mengder data, som bare til dels er strukturert på grunn av forskningsmetoden som ble valgt. Totalt utgjorde datagrunnlaget ca. 24 000 ord. For å systematisere og kategorisere dataen ble derfor alle intervjuene transkribert.

Deretter ble det opprettet et dokument for å kategorisere relevante sitater/replikker innsamlet i intervjuene. Dette ble gjort på følgende måte: Totalt 5 temaer med forskjellige fargekoder ble etablert. Hvert av temaene fikk sin egen tabell med 3 kolonner hvor kolonne 1 var selskapsnavn, kolonne 2; relevant replikk og 3 innholdskommentar fra forsker. Hvert selskap fikk en egen rad i hver tematabell hvor relevante replikker ble lagt inn. Samtidig som data ble overført fra de transkriberte filene ble teksten markert med fargekode ut ifra hvilket tema teksten ble lagt under. Dette slik at man i ettertid enkelt kan se hva som har blitt tatt med i analysen. Totalt utgjorde dette dokumentet ca. 8000 ord.

Når dokumentet var ferdigstilt ble det besluttet å kategorisere analyse- og diskusjonskapittelet i delkapitler. Dette for å danne en strukturert diskusjon rundt funnene i intervjuene. Utdrag som ble inkludert ble sjekket med eksisterende teori på området for å verifisere relevans. I slutten av hvert delkapittel ble en oversiktlig oppsummering gitt.

### 3.5 Forskningsprosess

Planen for gjennomføring av denne avhandlingen ble dannet på grunnlag av problemstilling og forskerens vurdering av hvordan denne best kunne besvares. En forskningsstrategi kan være enten utforskende, beskrivende, forklarende eller en kombinasjon av disse (Saunders et al., 2009). For denne oppgaven ble det valgt en utforskende metode. Det vil si at man har som formål å identifisere hva som foregår og oppnå ny innsikt. Metoden ble valgt på grunnlag av at det ikke eksisterer mye kunnskap rundt oppgavens problemstilling grunnet bransjens unge alder. Videre ble det også vurdert at abduktiv metode var mest egnet for denne avhandlingen. Denne metoden gir mulighet til å innhente informasjon/teori fra internettet og kombinere denne med data innsamlet i intervjuene. Dette kan så struktureres og tolkes i kombinasjon, før man fatter en konklusjon eller «slutning til beste forklaring».

Prosessten startet med initiale undersøkelser av tilgjengelig materiale på internett med mål om å etablere (1) hva som finnes av havvindselskaper, (2) hvilken teknologi som per dags dato blir brukt for flytende havvind og (3) hvordan myndighetenes subsidieordninger har støttet opp om flytende havvind så langt. Dette med formål om å kontakte relevante selskaper/organisasjoner/institutter som satser på flytende havvind. Til sammen var målet at de valgte intervjuobjektene skulle gi en god forståelse for hva som er de største utfordringene i bransjen i tiden fremover samt hva som skal til for å løse disse.

Siden en relativt liten gruppe respondenter ble vurdert som kvalifiserte for å delta i undersøkelsen ble det besluttet å bruke en kvalitativ metode for intervjuene. Dette i

hovedsak fordi det er vanskelig å stille gode spørsmål som er enkle å kvantifisere, og det er et relativt lite utvalg mennesker som er relevante for å delta i å besvare oppgavens problemstilling. Å bruke et mindre antall intervjuobjekter og stille disse inngående spørsmål ble derfor vurdert til å være mest hensiktsmessig for formålet. Videre ble det besluttet å intervju selskaper og instanser i ulike deler av verdikjeden og med ulike intensjoner for å danne et komplett bilde over situasjonen, se om det var varierte meninger innen temaet og ikke minst for å utelukke ekstreme tilfeller.

Etter å ha gjort en nøye kartlegging av både tilgjengelig teori samt hva som rører seg i bransjen ble en intervjuguide utarbeidet. Relevante intervjuobjekter ble deretter kontaktet via mail (se Vedlegg 1 – Forespørsel om deltakelse i intervju) og intervjudatoer satt. I forkant av hvert intervju ble det foretatt en enda grundigere bakgrunnssjekk av hvert objekt for å stille best mulig forberedt.

Semistrukturerte intervjuer ble valgt. Dette for å gi respondentene frihet til å snakke om det de selv mener er de største utfordringene i bransjen. Med mindre respondenten var langt utenfor oppgavens problemstilling ble hen ikke avbrutt. På den måten ble det fremskaffet mye interessant data som ikke ville blitt medtatt dersom spørsmålssettet hadde vært mer rigid.

Alle intervjuer ble tatt opp. Dette slik at intervjuer kunne fokusere på respondentens svar fremfor å notere. Etter hvert intervju var gjennomført ble det transkribert og organisert i egnet mappestruktur.

Når alle intervjuer var transkribert, ble det opprettet en egen fil for å kategorisere relevant svarmateriale. Dette etter tema for å enkelt kunne finne igjen ønsket materiale for argumentasjon i diskusjonsdel. I kolonnen ved siden av svarutdraget ble det skrevet noen stikkord om innhold for å enkelt navigere i relevant svarmateriale, som kokte ned til om lag 8000 ord.

Diskusjonsdelen ble utformet med tanke på å besvare oppgavens problemstilling på en oversiktlig måte. Teori og respondentenes svar ble sammenlignet og analysert før en konklusjon ble dratt.

### 3.6 Begrensninger/risiko i valg av metode

Det vil alltid være en risiko i en intervjuprosess. I dette tilfellet kan man dele denne opp som følger:

*Risiko forbundet med objektets relevans for temaet.* Spesielt bransjen for flytende havvind er ganske ung. Det vil si at det kan være vanskelig å finne egnede objekter til å besvare intervjuguidens spørsmål fordi en begrenset mengde erfaring/kunnskap eksisterer. Ved å spre intervjuene mellom flere selskap som opererer i ulike deler av havvindsektoren er det større sjans for at deltakernes samlede relevans for å besvare problemstillingen er høyere. Risikoreducerende med andre ord.

*Risiko forbundet med objektenes vilje til å dele informasjon.* Det er ingen tvil om at utviklingen innenfor flytende havvind er noe det satses stort på i disse dager. Mange av selskapene holder derfor kortene tett til brystet hva kommer til å dele informasjon som kan gi andre en fordel. Denne oppgavens problemstilling har som mål å peke på utfordringer i bransjen og man havner da i en todelt problemstilling:

- Objektet kan holde tilbake informasjon med vilje for å unnlate å dele utfordringer, ettersom dette kan gi andre selskaper ideer om hva som blir viktig i tiden fremover.
- Objektet kan, dersom hen har lite erfaring fra bransjen dele utfordringer som ikke eksisterer. Det blir derfor viktig å vurdere objektets troverdighet og sjekke om utfordringene nevnt, har rot i virkeligheten. Dette spesielt dersom like svar ikke fremkommer av flere respondenter.

Videre har man også en utfordring når svar skal tolkes og konklusjoner trekkes. Siden en kvalitativ metode blir benyttet blir svarene vanskelige å gjenskape sammenlignet med kvantitativ metode. Fordelen med å benytte kvalitativ metode er at objektet får større spillerom når det kommer til utforming av svar. Mest sannsynlig vil dog svarene variere, og i forlengelse av kan det bli vanskelig å generalisere funnene, noe som blir en annen utfordring/risikomoment.

## 4 Analyse og diskusjon

I dette kapitlet skal den innsamlede dataen analyseres og drøftes med mål om å trekke relevante slutninger som bidrar til å besvare oppgavens problemstilling. Kapitlet er strukturert etter forskningsspørsmål, noe som er naturlig for å besvare oppgavens problemstilling.

### 4.1 Tekniske utfordringer

Delkapitlet har som formål å analysere det kvalitative grunnlaget med hensikt om å besvare forskningsspørsmål 1:

*Hvilke tekniske utfordringer må løses for å senke levetidskostnaden til en flytende vindturbin?*

Da temaet ble presentert for respondentene var det flere som var skeptiske. De dannet et initialt inntrykk av at det ikke eksisterte særlig mange teknologiske utfordringer for flytende havvind. Noen svarte ala. «teknologien har vi jo, det er bare å gjøre det». I Tabell 8 er to av respondentenes svar presentert.

Tabell 8 – Tekniske utfordringer – sitater

<p>«Mye av teknologien har vi jo, det er jo ikke snakk om å få det til, det klarer vi.»</p> <p>- 3 - Forskningsleder - Forskningsorganisasjon</p>	<p>«Det er i hovedsak kjente teknologier som er benyttet, men de er satt sammen på en ny måte som gjør at vi tror at det skal være lett å masseprodusere og der kommer vi egentlig til det vi tror er nøkkelen til å lykkes med flytende havvind.»</p> <p>- 4 - Manager - Havvindavdeling</p>
---	---

Når temaet ble satt det i sammenheng med kostnadsreduksjon endret respondentene mening. Flere klare utfordringer ble tatt opp i intervjuene. Det ble blant annet snakket om masseproduksjon, turbinstørrelse, flyterdesign, materialvalg og -bruk, samt utfordringer knyttet til kabling og installasjon. Dette skal vi se nærmere på i de neste delkapitlene. Det er ikke tvil om at mange av utfordringene overlapper flere temaområder. Den store datamengden gjør likevel at delkapitlet er strukturert i flere underkapitler. En oppsummering av funnene finnes til slutt.

#### 4.1.1 Masseproduksjon

Alle intervjuobjektene var uoppfordret enig om at masseproduksjon er en kritisk utfordring som må løses for å senke levetidskostnaden på en flytende vindturbin. Dette blir av de fleste respondentene nevnt som den største utfordringen som må løses for å få CapEx-kostnader ned. Masseproduksjon er en klar teknisk utfordring. For å etablere en stabil og optimalisert masseproduksjon må man nemlig tilpasse design, materialvalg, bruk og

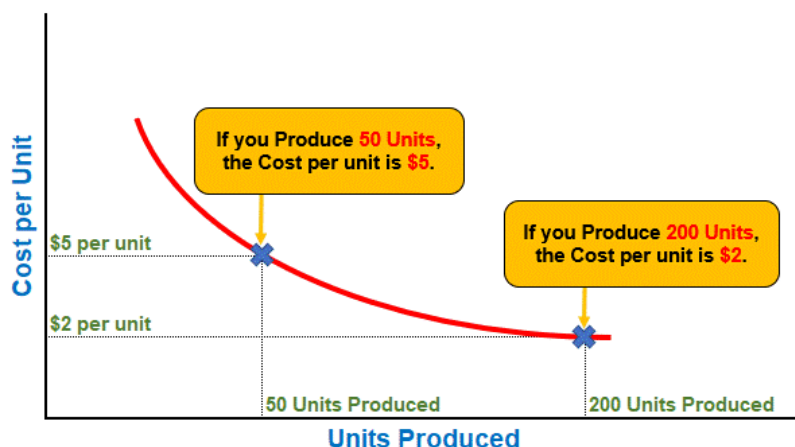
sammenstillingsmetoder (Tanenbaum, 2019). Tabell 9 inkluderer sitatene som underbygger at masseproduksjon er en utfordring.

Tabell 9 - Sitater - Masseproduksjon

<p>«Det som vi kanskje har brukt mest tid på er jo selve industrialiseringen av produksjonen.»</p> <p>- 1 – CEO - Havvindselskap</p>	<p>«Man er nødt til å få et stort volum på det, sånn at du får en masseproduksjon av disse vindmøllene i gang for å ta ned enhetskostnaden.»</p> <p>- 4 – Manager - Havvindavdeling</p>
<p>«Men på et overordnet perspektiv, for å få ned kostnaden så er det en ting som er veldig viktig, og det er industrialisering. Lage fabrikk, serieproduksjon for å få volum og kunne produsere dette i store volumer.»</p> <p>- 2 – Manager - Havvindavdeling</p>	<p>«En av de store utfordringene for flytende vind i dag er at det er veldig tidlig i utviklingsløpet som betyr at man ikke har fått øvd seg på industrialisering i storskalafordele med å lage mange enheter som er like.»</p> <p>- 5 – CEO – Leverandør havvind/styremedlem - klynge</p>
<p>«Jeg tror den store forskjellen fra all den offshorekompetansen vi har er at vi er vant med å bygge one-of-a-kind type ting. Vi bygger veldig sånn; en produksjonsplattform for et felt. Man har gode romslige investeringsrammer og trenger egentlig ikke kutte så mye kostnader/tenke så mye på kostnader. Mens her på havvind så er det egentlig masseproduksjon vi snakker om.»</p> <p>- 3 – Forskningsleder - Forskningsorganisasjon</p>	<p>«Men for at det skal være lønnsomt; at flytende havvind skal kunne konkurrere med andre energikilder så må vi ned på under 300 MNOK per enhet. Og da er det produksjon selvfølgelig, det er et veldig viktig kostnadskutt faktisk.»</p> <p>- 6 – CEO – Leverandør havvind/styremedlem - klynge</p>

Masseproduksjon spiller en stor rolle for at flere av våre essensielle produkter er tilgjengelig for den generelle kunden. Svært få hadde for eksempel hatt råd til å kjøpe en bil, smarttelefon eller å spise laks til middag om disse produktene ikke hadde blitt masseprodusert. Skulle eksempelvis Tesla manuelt formet hvert panser til sine elbiler hadde delen mangedoblet seg i pris. Masseproduksjon krever dog at leverandøren har et stort marked å levere til, da det er kostbart å sette opp en effektiv masseproduksjon. Med andre ord, vil det si at de faste kostnadene blir betydelig høyere mens enhetskosten går ned når en masseproduksjon etableres. Dette blir i økonomien kalt for stordriftsfordeler noe vi skal se nærmere på i neste avsnitt. Masseproduksjon strømlinjeformer også det økonomiske bildet i form av reduserte priser på tilsatsmaterialer ettersom disse kjøpes hyppig i store kvantum.





Figur 11 - Stordriftsfordeler. Illustrasjon: (Consumt Staff, 2021)

Masseproduksjon gir stordriftsfordeler (engelsk: Economies of Scale). Dersom en bedrift kan doble produksjonskvantum uten å doble produksjonskostnadene har man en stordriftsfordel. Med andre ord, de langsiktige gjennomsnittskostnadene per enhet faller med økende produksjon (Idsø, 2021). Som Figur 11 viser faller kostnadene per enhet etter hvor mange enheter man produserer frem til produksjonen når sitt maksimum og kostandene begynner å stige igjen (sistnevnte er ikke tegnet i figuren). Slik vil det også være for flytende havvindturbiner om man strømlinjeformer produksjonen. En av respondentene understreker viktigheten av dette ytterligere:

*«Vår analyse var at hvis vi skal lykkes i dette markedet må vi ha en leverandørkjede, en leveransemodell som kan skaleres opp til i alle fall 100 enheter per år, som vi bygger.»*

- 1 – CEO – Havvindselskap

Dette viser unektelig at stordriftsfordeler er viktig for bedriftene som nå satser på flytende havvind. Stordriftsfordeler har også vært avgjørende for at bunnfast havvind har det kostnadsnivået det har i dag. Dette peker en av respondentene på i sitt intervju:

*«Volum har vært en nøkkel for bunnfast vind også. Hva tok kostandene på bunnfast vind fra å kreve fire ganger strømprisen til at de nå konkurrer på null subsidier. I England, på kontinentet, de auksjonene som går nå; de som vinner er jo på markedspris. Myndighetene går ikke inn med noe som helst form for garanterte priser eller subsidier på den måten. Og det er volum som er hovedgrunnen til dette.»*

- 2 – Manager - Havvindavdeling

La oss se litt nærmere på dette. De siste åtte årene har LCOE for bunnfast havvind falt med 67% (Lee & Zhao, 2021). Dette simultant med at installert kapasitet har mer enn fordoblet seg. Fra 312 GW installert globalt i 2013 til 707 GW installert i 2020. Dette fallet i LCOE kan med andre ord relateres til storskala produksjon av både fundamenter og turbiner.

Denne kostnadsreduksjonen vil også komme for flytende turbiner. Hvor stor reduksjonen blir avhenger av hvor godt man klarer å løse dagens utfordringer (se kapittel 2.3.2 Prognose for havvind for en utdypende prognose for LCOE vindkraft). Noen av respondentene går så langt

som å hevde at, dersom man løser utfordringene knyttet til masseproduksjon for flytende havvind, kan det faktisk bli billigere enn bunnfast havvind. Grunnen til dette er at man kan standardisere produksjonen i større grad enn for flytende og bygge helt identiske enheter. Der man i det bunnfaste markedet bygger tilpassede søyler til hver turbin avhengig av bunnforhold og dybde, kan man i mye større grad standardisere dette for flytende havvind og kun tilpasse ankringssystemet (van der Valk, 2014).

*«Det som kan tale for at flytende etter hvert vil bli billigere enn bunnfast er at man kan bygge identiske enheter, altså flytere og man kan i større grad gjøre installasjonen ved land og taue det ut og forankre når man kommer ut på site. På bunnfast er man nødt til å tilpasse fundamentet til bunnforholdene, dybden er veldig sjelden helt lik og bunnforholdene er sjelden helt like i hele vindparken. På flytende er det mindre tilpasninger i forhold til forankring, og den biten som skal til.»*

- 5 - CEO – Leverandør havvind/ styremedlem klynge

Men hvordan skal man egentlig lage en kostnadseffektiv masseproduksjon for flytende havvind? Der spilles i hovedsak tre faktorer inn som grunnleggende. Nærmere bestemt; (1) man må rigge om den norske leverandørindustrien fra å være spesialisert på skreddersøm til å bli spesialisert på masseproduksjon (dette vil bli ytterligere gjort rede for i neste avsnitt). (2) Man må kvitte seg med konseptene som har et stort dyptgående for å kunne sammenstille alt ved kaien før det slepes ut og (3) konkurranse må etableres i Norge, men også i utlandet. Man vil aldri kunne komme ned på et kostnadseffektivt nivå med kun en leverandørkjede som har monopol i markedet. Konkurranse spilles inn som en viktig driver av mange av respondentene.

*«Det viktigste bidraget Norge har gjort til nå gjennom Tina Bru<sup>1</sup>, er å sørge for at Utsira Nord er mer enn bare et felt. Hadde det bare vært et felt hadde det blitt gitt til Equinor og vi hadde ikke sett noe kostnadsreduksjon. Nå blir det minst tre og vi jobber for at det skal bli 4 eller kanskje 5. At det blir 5 forskjellige utbyggere, 5 forskjellige leverandørkjeder. Og det er nettopp det som er, at vi får konkurranse og får bygget opp en bredde av leverandørkjeder for å senke kostnader.»*

- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge

Ifølge respondentene må norske leverandørbedrifter omstille seg for å håndtere det flytende havvindmarkedet. Der den norske leverandørkjeden til nå har operert nesten utelukkende på skreddersøm i olje- og gassmarkedet, må man nå levere større volumer av standardiserte enheter for å bringe kostnader ned i det flytende havvindmarkedet (Se Tabell 9 – sitat fra respondent nr. 3). Det krever ikke bare et kompetanseløft, men investeringer av betydning for de fleste av leverandørbedriftene for å gjennomføre denne omstillingen. Spesialverktøy må konstrueres og bygges, og lokasjoner må klargjøres for å imøtekomme markedet. Dette

---

<sup>1</sup> Olje- og energiminister i Erna Solbergs regjering fra 2020- 2021.

er dyrt og tidkrevende arbeid som på sikt vil resultere i lavere CapEx-kost for flytende turbiner.

#### 4.1.2 Turbinstørrelse

Turbinstørrelse dras opp som en annen viktig pådriver for å senke levetidskostanden til en flytende vindturbin. Men her kommer man også opp i en problemstilling hvor avveininger må gjøres. For større turbiner er i dag ekvivalent med større flyter, noe som krever at man må gjøre en avveining mellom turbinstørrelse, levert effekt og Investeringskostnad.

Tabell 10 - Turbinstørrelse - sitater

<p>«Altså tetraspar på 3,6MW er en liten fisleturbin når du snakker offshore, så der er det mye kostnader knyttet til at du har forholdsvis liten produksjon på en flyter.»</p> <p>- 5 - CEO – Leverandør havvind/ styremedlem klynge</p>
<p>«Den andre hovedkomponenten for å senke levetidskostnader er å øke størrelse på turbinen....»</p> <p>- 2 - Manager - Havvindavdeling</p>
<p>«Vi har også gjort et annet grep, skroget vårt er jo designet for 15 MW turbin, selv om vi kommer til å utruste de første med en 11 MW turbin så kan turbinen byttes ut gjennom levetiden. For vi tror jo at kanskje en av de viktigste faktorene for å få ned kostnaden er å få dette til å leve så lenge som mulig»</p> <p>- 1 - CEO- Havvindelskap</p>

Og det er helt klart noe i dette. Som vi så i kapittel 2.1.1 Turbinstørrelse vil effekt per enhet økning i rotordiameter være langt høyere for en stor turbin, sammenlignet med en mindre turbin. Det dette kapitlet imidlertid ikke tar for seg er kostander relatert til flyteren med økende turbinstørrelse. Når man kommer opp i en viss størrelse, vil det bli særdeles vanskelig å finne egnede havnefasiliteter å sammenstille turbinene i, og installasjonskostnad vil øke fordi man trenger større og flere offshorefartøy for å ankre dem opp på havet. Så hvordan skal man gjøre dette på en kostnadseffektiv måte? Her er det en respondent som kommer med et interessant innspill:

«Vinnende strategi er å bare lage større og større turbiner. Men det er ingen som har begynt å lage turbiner for havvind; som bør være lettere. De eneste vi ser på markedet er Mingyang Smart Energy. Og det at det kommer inn i Europa på ett eller annet tidspunkt blir utrolig viktig. Både for kostnadsutviklingen på turbiner, men også for å sette press på å lage lettere turbiner.»

- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge

Det brukes i dag samme turbiner for vindproduksjon, uavhengig av hvor de skal stå: land, bunnfast, flytende (se kap. 2.1 Generelt om vindturbiner). Disse turbinene er ikke optimalisert på vekt ettersom dette ikke spiller så stor rolle for landbasert og bunnfast marked (de to største markedene per dags dato). For flytende turbiner er dette imidlertid meget viktig. Å gå vekk fra «standard turbiner» og utvikle lettvekts-turbiner for flytere er

dermed en faktor som kan bidra til å redusere kostnader for flytende havvind. Dette vil nemlig resultere i at oppdrift og motvekt (kjølvekt) i flyteren kan reduseres, som er ekvivalent med å redusere flyterstørrelse. Det nevnes videre at:

*«En annen uheldig ting vi ser med flytende turbiner nå er at når turbinene blir større og større, blir det ubalanse i vekten på grunn av dynacellen. Man flytter transformatoren opp i nacellen, slik at det balanserer vekten. Det betyr jo at enda mer vekt går opp i høyden, som betyr at flyterne må bli enda større, som krever mer betong under vann. Derfor må bransjen gå i seg selv. Vi må lage lettvektede turbiner for flytere, vi må få vekten ned fra nacellen, slik at flytene kan bli rimeligere.»*

- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge

Skal man lage en optimalisert turbin for flytende havvind må man med andre ord gå tilbake et par hakk i utviklingen og sette nye designkriterier. Det er nemlig helt andre faktorer som spiller inn dersom man skal optimalisere en flytende vindturbin, kontra en bunnfast eller landplassert (Thiagarajan & Dagher, 2014). Tyngdepunkt og egenvekt i turbinen er nok de viktigste utfordringene som må adresseres for å lykkes i denne utviklingen. Dersom man klarer å flytte vekt ned fra turbinhuset (senke tyngdepunkt), samtidig som man også konstruerer tårn og turbin i lettere materialer (for eksempel kompositt), vil turbinen bli betraktelig lettere, og man kan følgelig redusere flyterens volum og kjølvækt uten at dette går på bekostning av stabilitet. Samtidig vet vi også at lettere materialer ofte er ekvivalent med høyere materialpris og mer kostnadskrevende fremstillingsmetoder. Avveininger må med andre ord gjøres for å optimalisere dette økonomisk.

Dette er komplekse problemstillinger som krever vesentlig FoU-innsats for å løse. For å overkomme problemstillingen knyttet til turbinstørrelse nevnes det derfor at enkel skalering av flyter er viktig. Der noen respondenter hevder de har et særdeles skalerbart design er andre usikre på hvordan de skal angripe utfordringen med at større turbiner krever større flytere. Det er mulig at noen må skrape hele sitt konsept, og begynne fra bunn.

*«Flyteren vår er designet for å være skalerbar. Den er bygget omtrent som du zoomer på en Iphone, større/mindre; alt etter hvilken turbin du skal ha på toppen. Og det er noe som vi tror er gunstig for å tilpasse/optimalisere en park med flytende vindmøller.»*

- 4 - Manager - Havvindavdeling

Det er med andre ord utfordringer som må adresseres og løses for å overkomme utfordringen med turbinstørrelse vs. investeringskostnad.

#### 4.1.3 Flyter, kabel- og ankringssystem

Tabell 11 – flyter og kabel - sitater

<p>«Jeg tror vi har hatt mer enn 3000 iterasjoner på hoveddimensjonene på flyterens skrog og det er jo før vi har gått iterasjoner via leverandører for å fullt ut forstå hvordan vi kan tilpasse designet for en mest mulig kostnadseffektiv produksjon.»</p> <p>- 1 - CEO- Havvindselskap</p>
<p>«Kabelsystemet må bli betydelig mer feilfritt. Og du må ha flere aktører. Du må få ned kabelkost. Hele installasjonsprosessen må gjøres enklere. Det er for mange offshoredager nå, det kan også reduseres med betydelig enklere kabeldesign. Altså vi har jo patentert og utviklet et kabeldesign hvor en slipper å montere flyteelementer og accessories som krever mye offshorekost, installasjonskost.»</p> <p>«Så har du selve innholdet i turbinen. Det er jo fortsatt basert på landturbiner eller bunnfaste turbiner. Helt håpløst. Du har elektrikere og allslags gammeldags utstyr mens man bør utvikle plug-and-play. Det er jo også for å hjelpe; altså vedlikeholdskostnadene er jo 40% av levetidskostnadene for en type havvindpark. Der må en bytte ut veldig mye av dagens systemer, med mer plug and play-systemer som gjør at det blir billigere å installere billigere og skifte ut.»</p> <p>«Vi må gjøre noe med å kunne bruke mer plug-and-play komponenter, vi må ha en fritthengende kabel ut, vi må jobbe ned vekten på turbinen, og flytte vekt ned, og så må det være flyterløsninger som er enkle å masseprodusere for vi ser jo fortsatt en utvikling i dag på bunnfast. Det er ikke sånn at bunnfast har kommet ned på det laveste kostnadsnivået som er mulig.»</p> <p>- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge</p>

Tabell 11 siterer to av respondentenes ytringer knyttet til flyter og underliggende systemer. Utfordringer knyttet til flyterdesign er mye omtalt av respondentene. Se for eksempel respondent 1 sin ytring i Tabell 11. Med all kompetanse ingeniører i Norge har fra bygging og drift av oljeplattformer og andre maritime konstruksjoner, kunne man anta at det ville være relativt enkelt for norske havvindselskaper å lage et godt flyterdesign. Det er imidlertid tre elementer som gjør at det blir vanskeligere å dimensjonere/designe en flyter kontra en offshorerigg. 1) Tyngdepunktet er mye høyere oppe i luften, og konstruksjonen er høyere enn den er bred/lang. 2) Man har ikke de samme standardene å forholde seg til. Det er ekstremt høye krav til sikkerhet på en offshorerigg. Derfor overdimensjoneres alt for å være sikker på at konstruksjonen ikke under noen omstendighet vil bryte sammen/kollapse. For flytende havvind har man ikke de samme kravene noe som gjør at man kan designe på en enklere og mer kostnadseffektiv måte, samtidig som sikkerhet må ivaretas. Optimalisere materialbruk blir derfor kritisk for å redusere kostnader. 3) Videre må designet tilpasses masseproduksjon, noe norske bedrifter har lite erfaring med. Når man designer/dimensjonerer noe for masseproduksjon må man tenke på en helt annen måte enn for installasjoner bygget etter skreddersøm. Man må designe på en måte som ivaretar

produksjonsvennlighet, det vil si at deler enkelt kan maskineres, at man har enkel tilgang på deler som kjøpes fra tredjepart og ikke minst at konstruksjonen i sin helhet kan sammenstilles på en effektiv måte. Sist, men ikke minst er budsjettene for bygging av installasjoner for olje- og gassinstallasjoner relativt romslige. For flytende havvind vil ikke dette være tilfelle, noe som setter press på designoptimalisering. Dette er noe norske leverandørbedrifter ikke er vant til.

Videre snakkes det om kabling og forankring av de flytende vindturbinene. Spesielt kabling er dyrt. Respondent 6 jobber i dette markedet og ytrer flere elementer som er viktig for å senke kabelkost. Både i investeringsfasen, men også for å redusere drifts- og vedlikeholdskostnader. Utfordringene knyttet til kabling kan oppsummeres som følger: 1) De må bli mer driftssikre, 2) de må utvikles «plug-and-play»-løsninger for å redusere antall offshoredager og 3) man må se på nye materialer for ledere ettersom kobberprisen stiger i raskt tempo. Bare de siste to årene har kobberprisen nesten doblet seg (Macrotrends Staff, 2022). Klarer man å løse disse utfordringene vil levetidskostnaden reduseres betraktelig. Driftsstans som følge av feil på kabel er nemlig den største årsaken til forsikringskrav innenfor havvind i dag (Buljan, 2021b).

Til slutt har man ankringsystemet for flytende turbiner. Her virker det som om enkelte respondenter mener de kan senke kostnader vesentlig, men holder kortene tett til brystet hva angår selve utfordringene. Se utdraget i Tabell 12:

Tabell 12 - Ankringsystem - utdrag fra intervju

Intervjuer	<i>Finnes det utfordringer knyttet til forankring?</i>
1 - CEO- Havvindselskap	<i>Ja, da begynner det å bli litt hemmelig da.</i>
Intervjuer	<i>Ok, da trenger du ikke å gå i detalj på det.</i>
1 - CEO- Havvindselskap	<i>Men forankring er faktisk en ganske stor andel av kosten. Faktisk, 15-20% av investeringen hvis du ikke gjør det riktig. Så derfor bruker vi mye tid på forankringsløsninger. Hvis vi skal i en permanent vindpark så er det naturlig å tenke seg litt mer kreative løsninger for å senke kostnader.</i>

Det eksisterer få flytende vindparker i verden, noe som gjør at forankring av vindparker er relativt ikke-utforsket. En mulig måte å kutte kostnader på forankring er å koble flere turbiner til samme anker. Klarer man å konstruere ankeret kraftigere har man mulighet til å bruke det samme ankeret på flere ankerliner. Dette vil senke ankringskostnadene betraktelig da oppdimensjonering av ankeret slik at det kan håndtere flere ankerliner, ikke vil koste like mye som å produsere eksempelvis tre ankere. Samtidig sparer man også kostnader på installasjonsprosessen da man kun trenger å sette ut ett anker istedenfor tre. Merk at dette kun er aktuelt for vindparker, og ikke enkeltinstallasjoner som for eksempel demoprojekter hvor en turbin settes ut.

#### 4.1.4 Fremtidens flytende turbiner

For å få en enda bedre forståelse for hvilke utfordringer som må løses i tiden fremover ble samtlige respondenter spurt om hvordan de trodde en flytende vindturbin ville se ut om 30 år. Mange var usikre på sine svar, noe som er naturlig når man gjør en prognose. Spørsmålet frembrakte allikevel mye verdifull data som blir presentert under.

Tabell 13 - Fremtiden for flytende havvind - sitater

<p>«Jeg tror jo at vi kommer til å se flere varianter, for eksempel FlexiFloat, et konseptet hvor det er en massiv plattform som utviner bølgekraft og vindkraft samtidig. Det gjør at man kan fange både bølger og vind, og faktisk at det kan installeres solceller på samme plattform. Så jeg tror vi kommer til å se mer av varianter hvor det er sambruk av ulike ting. Sjøareal er et knapphetsgode, så det å effektivisere bruken av sjøarealet og det arealet du legger beslag på når du innfører en installasjon blir nok viktig i fremtiden.</p> <p>Den vertikalakslede som SeaTwirl holder på med, de hevder jo at de kan plassere turbinene tettere sammenlignet med en konvensjonell horisontalakslede turbin. Det er noen mekanismer der med vind og turbulens som gjør at du faktisk kan få økt utnyttelse av vindkraften som følge av at det er vakeeffekt mellom turbinene med denne teknologien. Så kanskje det blir et gjennomslag for vertikalakslede turbiner og at om 30 år så er det flest vertikalakslede turbiner som blir installert rundt omkring og disse tradisjonelle horisontalakslede er gone.»</p> <p>- 5 - CEO – Leverandør havvind/ styremedlem klynge</p>	<p>«Jeg tror ikke nødvendigvis at de standardkonseptene vil bli så veldig forskjellige, jeg tror fortsatt at Sparbøyen vil være en god løsning, det kan godt være man finner en smartere måte å støpe dem på, du kan finne andre materialer, eller mer effektiv materialbruk som gjør at du kan gjøre dette lettere og bruke mindre materialer. Både betong og metallkonsepter vil spare mye på dette. Når du tar innover deg at et slikt fundament er på størrelse med en middels borerigg og du skal ha for eksempel 60 stk. av de så er det voldsomme mengder med tilsatsmateriale, stål og all slags mulig som skal til for å få det til.</p> <p>Om du gå inn i turbinen og ser på tilstandsovervåking så tror jeg det kommer til å skje mye der. Fjernstyre prosessene kan spare mange tilkomster og det kan få turbinen raskere opp å gå som er kjempeviktig for økonomien totalt sett.»</p> <p>- 2 - Manager - Havvindavdeling</p>
<p>«Vi har jo gått for et ganske tradisjonelt semi-design med litt mer spektakulære greier i skuffen. Jeg tror at denne type design vil alltid være der og så vil det alltid være folk som vil prøve seg med andre ting, gode eller mindre gode ideer. Så langt så har vi ikke sett noe som umiddelbart er så veldig mye smartere.</p>	<p>«Hvis vi ser på skipene i dag så er de vanvittig mye større enn det de var til de samme typene formål for 30 år siden. Se på et supply-skip eller en fiskebåt i dag, det er skip som er uendelig mye mer effektive, men de er som regel mye mer teknologisk kompliserte. De har på en måte skrellet vekk det som</p>

<p><i>Spesielt ikke når en tenker kostnad for en hel livssyklus.</i></p> <p><i>Det finnes jo dem som har to turbiner per flyter for eksempel. Det kan jo kanskje virke smart, men når du teller opp hva det betyr; hvis du får svikt på en, så må du stenge begge, og så blir det ubalanse osv. Så jeg tror ikke det er helt åpenbart, og disse store vindseilene som blir et mareritt for en vaktminister å passe på. Og så har du det Rosenbergkonseptet der det er masse løse deler.</i></p> <p><i>Så vi har satset på noe som er robust. Vi bruker gjerne mer penger i investeringsfasen for å få driftskostnadene ned. For eksempel så har ikke vi noe aktivt ballastsystem. Det orker ikke vi tanken på å eie og vedlikeholde gjennom 50 år. Så enkelt skrog som mulig med en mest mulig robust/kvalitets vindturbin er veien å gå for oss.»</i></p> <p>- 1 - CEO- Havvindselskap</p>	<p><i>viste seg å være unødvendig, det tipper jeg skjer på vind også.</i></p> <p><i>Men å forutse hva det betyr, det er vanskelig. Men jeg tror det må bety at du klarer å kvalifisere teknologi der du tar ut det som over tid viser seg å ikke være nødvendig som driver kost. Både hvilken type materialer du bruker, hvilken type turbiner du bruker, og så optimaliserer på kost vs. leveranse av det du trenger.»</i></p> <p>- 4 - Manager - Havvindavdeling</p>
<p><i>«Det finnes jo ganske mange forskjellige design i dag selv om det ser ut til at folk samler seg litt rundt semi-konsepter med tre bein.</i></p> <p><i>Tetrasparkonseptet er noe helt annet. Der har man på en måte tenkt produksjon, og man har tenkt ut fra vindturbinprodusenten sitt ståsted. Så det er jo et dansk konsept hvor danskene har turbinprodusenter og turbinleverandører, og de lager jo også tårn.</i></p> <p><i>Om man ser på andre typer flytere så er det typisk noen som lager flyteren, og så er det vindturbinprodusenten som lager tårn og rotor og sånn. Men tetraspar er jo en ide for at vindturbinprodusenten skal kunne produsere hele flyteren. Så det er bygget opp av tårndeler.</i></p>	<p><i>«Jeg tror det blir store endringer. Vi har jo så vidt begynt med å skratte i mulighetene rundt automatisering, digitalisering og dronebruk. Vi ser bare så vidt konturen av det som kommer. Vi vil se en park som har betydelig bruk av droner, flytere i helt andre materialer, sterkere materialer, lettere materialer som danner lettere konstruksjoner.</i></p> <p><i>Utfordringen er jo at når du går ned i vekt, så går du ofte litt ned i stabilitet, men kanskje vil vi se andre løsninger for å få stabilitet enn det vi bruker i dag som stort sett er vekt egentlig. Så skal vi jo også gå ned fra 25 forskjellige flytere til tre i løpet av nå til 2040 tenker jeg. Så jeg tror med andre ord det vil skje en god del endringer.</i></p>



<p><i>Men at man har noen form for optimalisering for å kunne få giret opp produksjon vil nok komme, men om det blir sånn som tetraspar? Jeg tviler litt på at det kommer til å bli veldig mange av den.</i></p> <p><i>Jeg tror også at vi vil se færre hywindturbiner, rett og slett fordi det er for vanskelig å jobbe med i forhold til sammenstilling og installasjon. Dette fordi du trenger så veldig dyptgående, i alle fall 70m vanddyp eller noe slikt for å kunne løfte på tårn og turbiner. Det er ikke så mange plasser du kan gjøre det da. Må du gjøre det ute på sjøen må du bruke store tungløfts fartøy som er veldig kostbart. Så man ønsker å få til sammenstilling ved kai, at man løfter tårn og turbin på ved kaien slik at man kan bruke landbaserte kraner.</i></p> <p><i>Jeg tror i alle fall det vi kommer til å se mest av i 2030 og litt fremover kommer til å være semier med typisk tre søyler.»</i></p> <p><i>- 3 - Forskningsleder - Forskningsorganisasjon</i></p>	<p><i>«Om jeg tror det blir mer normalt med flere turbiner på en flyter? Nå har jo den mest ekstreme, Wind Catching har 140 stk 1MW turbiner på et skip. Jeg tenker jo at den type enheter med masse turbiner på kan egne seg veldig godt i farvann som er høyt trafikkert, sånn som i Singaporeområder og så videre, og kanaler. Så jeg tror nok det er rom for det, men jeg er veldig usikker på om de med to er bedre enn de med 1, jeg aner ikke.»</i></p> <p><i>- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge</i></p>
---	--

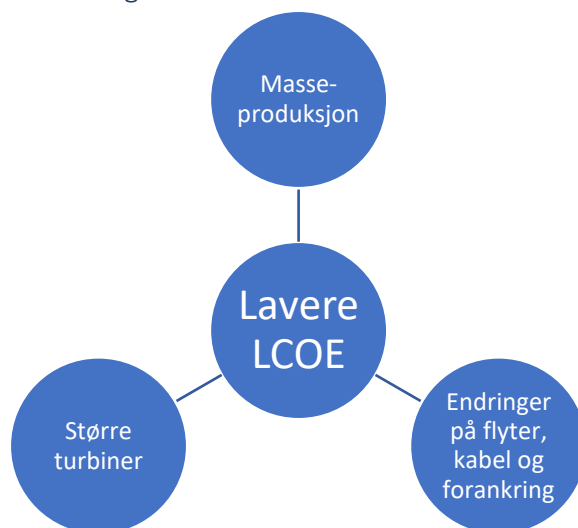
Det er varierte meninger om hvordan fremtiden for havvind vil se ut. Respondent 4 viser i sitt svar til andre bransjer og sier at man nødvendigvis ikke vil se så store endringer visuelt, men smartere løsninger som gjør turbiner mer effektive. Han nevner i sitt svar også flere andre bransjer som ikke er tatt med i utdraget. Det kan godt hende at dette er fasiten, rett og slett at selve turbinen vil se ganske lik ut, men at innmat, tilsatsmaterialer og produksjonsprosess vil endre seg. Videre har man respondent nr. 1, 2 og 3 som støtter dette utsagnet og tror at det vil bli flest semier på markedet i fremtiden. Rett og slett fordi de er mest robuste og det er slike typer konstruksjoner man har mest erfaring med fra olje- og gassbransjen.

Så har vi de to klyngemedlemmene som har en annen oppfatning av fremtiden, respondent 5 og 6. De mener at man vil se store endringer, spesielt respondent 5 tror at man vil se løsninger med både et annet utseende og som utviner energi fra flere energikilder samtidig (vind, sol, bølger) for å utnytte sjøarealet maksimalt. Respondenten snakker også om vertikalakslede turbiner som en turbintype som kanskje blir kommersialisert innen 2050. Respondent 6 tror absolutt man vil se store endringer, både fysisk i form av stabilitetsløsninger, men også i materialbruk, fjernstyring og digitaliseringssystemer på turbinene.

Respondentene har med andre ord delte i meninger rundt hvordan en flytende vindturbin vil se ut i fremtiden. Dette er også naturlig, da flere av dem som svarer at det ikke kommer så store endringer kommer fra olje- og gassbransjen. Disse kan oppfattes mer konservative, og er vant med eksempelvis semi-design derfra.

Det tar også tid å skaffe markedsaksept for konsepter med et helt nytt utseende eller funksjon. Se for eksempel på elbilmarkedet. Think City var en av de tidligste alternativene som kom på dette markedet. Bilen hadde et karosseri i plastikk, som var noe folk aldri hadde sett før. Samtidig hadde den også en del barndomssykdommer som følge av at de var en av de første bilene ut med et slikt fremdriftssystem. De klarte på grunn av dette ikke å penetrere markedet (Moe, 2019). Nå blir det imidlertid solgt flere elbiler enn fossilbiler i Norge, og man kan gjerne tenke seg at grunnen til dette er at det har blitt gradvis innarbeidet. Dette selvsagt også i kombinasjon med subsidier fra myndighetene. Så kanskje det ikke vil skje så mange drastiske visuelle endringer på en flytende vindturbin de neste 30 årene, men at man ser gradvise endringer knyttet til innmat, materialvalg, fjernstyringssystemer, og produksjon- og sammenstillingsmetoder og så videre. Det er vanskelig å si sikkert. Det som imidlertid er sikkert, er at mange konsepter av ulik karakter vil måtte bli testet ut før man kan dra noen slutning rundt dette. På den reisen vil dessverre noen konsepter også vise seg som ikke levedyktige på et funksjonelt grunnlag, kostnadsgrunnlag eller en kombinasjon av disse. Mange selskaper vil gå konkurs, mens andre vil lykkes, akkurat som i andre bransjer.

#### 4.1.5 Oppsummering



Figur 12 - Oppsummering forskningsspørsmål 1

De viktigste funnene fra første del av analysen er presentert i figuren over. Det kan brytes ned i tre kategorier.

**Masseproduksjon** blir dratt opp av samtlige intervjuobjekter som den største utfordringen som må løses for å senke LCOE for flytende havvind. Det er avgjørende å produsere flere

like enheter for å senke enhetskostnaden og dermed LCOE. Relatert til masseproduksjon nevnes videre en rekke faktorer:

- **Antall identiske enheter produsert** er viktig for stordriftsfordeler.
- **Design tilpasset masseproduksjon** står sentralt for å senke kostnader. Et design som er lett å gjenskape og produsere, som krever så lite tilsatsmateriale som mulig blir avgjørende. Samtidig må også dette designet kunne tåle påkjenningene gjennom turbinens levetid på 25+ år.
- **Sammenstillingsprosess** har mye å si på installasjonskostnaden. Det at turbin og flyter kan sammenstilles ved land er med på å senke levetidskostnaden betydelig. Historisk sett har man i mange tilfeller leid inn store løftefartøy som har en døgnrate på mange millioner kroner for å gjennomføre sammenstilling på lokasjon. Denne type sammenstilling er også veldig sensitiv for vær som er uheldig. Sammenstilling ved land blir avgjørende for å senke kostnader.
- **Leverandørkjede/konkurransen**. Skal man senke kostnadene for en flytende vindturbin må den norske leverandørindustrien rigges for masseproduksjon. Norge er i dag eksperter på skreddersøm, og må konvertere til masseproduksjon for å bidra til å senke levetidskostnader. Etablere konkurranse mellom flere leverandørkjeder nasjonalt og internasjonalt spiller en sentral rolle i dette ifølge respondentene.

**Større turbiner** nevnes også som et sentralt element for å senke levetidskostnader for en flytende vindturbin. Mer spesifikt at turbinen blir større mens flyteren nødvendigvis ikke øker med samme faktor i pris. Man ser også at for hver enhet ekstra rotordiameter vil effektiviteten øke proporsjonalt. I forbindelse med turbinstørrelse nevnes følgende utfordringer:

- **Vekt** står sentralt for dette. I dag er alle turbiner mer eller mindre like, uavhengig om de står fundamentert i grunnen eller på en flyter. Skal man klare å øke turbinstørrelse uten at flyteren må øke nevneverdig i størrelse er det avgjørende at selve turbinen blir konstruert på en lettere måte. Optimalisering av materialbruk, så vel som materialvalg nevnes som utfordringer som må løses for å redusere vindturbinens vekt.
- **Turbinens tyngdepunkt** er i dag for høyt. For mange komponenter blir plassert i turbinhuset, noe som gjør at turbinene blir svært sensitive for hivbevegelser. For å senke tyngdepunktet må derfor vekt flyttes lengre ned i turbinen. Resultatet av dette vil være at flyterens størrelse og kjøllekt også kan reduseres, noe som er kostnadsbesparende.

Til slutt har man **flyteren, kablings og forankringsystemet**. Det finnes flere utfordringer som må løses for å få ned kostnaden på disse komponentene.

- **Flyterens utforming** må optimaliseres for høy pålitelighet og sikkerhet, samtidig som materialbruk må minimeres. Dette er en sentral utfordring som angripes fra to vinkler. På den ene siden har man turbinprodusentene som designer flyteren slik at de selv kan produsere denne på turbinfabrikken (eks. Tetraspar). På den andre siden har vi bedriftene med bakgrunn fra olje- og gassbransjen. De baserer sine design i

stor grad på riggdesign som de har mye erfaring med fra før. Hva som blir best i form av levetidskost er vanskelig å si på dette tidspunktet. Respondentene har delte meninger om dette.

- **Kabelsystemet** er i dag for lite pålitelig. Den største andelen forsikringsaker innen havvind kommer i dag på grunn av kabelsystemet. Man må løse utfordringer knyttet til pålitelighet, samt sikker og enkel opp/sammenkobling. Samtidig må man også senke kabelkosten. Nye ledermaterialer må utforskes for at dette skal bli mulig ettersom kobberprisen ser ut til å fortsette å stige i årene som kommer.
- **Ankringssystemene** er heller ikke på det laveste mulige kostnadsnivået foreløpig. Det nevnes utfordringer knyttet til både utforming av ankere, så vel som layouten av ankrene. Det var vanskelig å hente ut informasjon fra respondentene rundt dette temaet, noe som indikerer at dette er et segment hvor mange søker å finne nye revolusjonerende løsninger for å senke kostnader.

Til slutt ble **fremtiden for flytende vindturbiner** drøftet. Det var delte meninger om dette. Det man imidlertid kan stadfeste er at vindturbinene vil bli mer digitaliserte/fjernstyrte og man vil se nye konsepter, laget i nye materialer sett i bransjeperspektiv. Optimalisering av produksjon og sammenstilling vil gjennomføres. Hvordan det fysiske utseende vil endes er vanskelig å se ut fra datagrunnlaget. Men flere nevner semikonseptet som det de har mest troen på i fremtiden.

## 4.2 Norske myndighetenes bidrag til å gjøre flytende havvind bærekraftig

Delkapittel 4.1 Tekniske utfordringer gjør rede for en rekke tekniske utfordringer som må tas tak i dersom man skal senke LCOE til et bærekraftig nivå for flytende turbiner. Å løse disse utfordringene er kostbart og innebærer høy risiko; både teknologisk, men også økonomisk og markedsmessig for bedriftene som påtar seg oppgaven med å løse dem. I slike risikofylte prosjekter kommer virkemiddelapparatet i Norge inn som en viktig bidragsyter for å redusere økonomisk risiko for utviklingsbedriftene. Statlig støtte er i mange tilfeller utløsende for at slike prosjekter blir igangsatt. Hvordan føler intervjuobjektene at det norske virkemiddelapparatet har hjulpet dem til å realisere flytende turbinprosjekter? Det presiseres at vi i dette kapitlet snakker om statlig støtte i form av FoU-tilskudd og ikke konsesjoner og andre bidrag. Kapitlet har som hensikt å besvare forskningsspørsmål 2:

*Hvilken rolle har virkemiddelapparatet i å legge til rette for å løse disse utfordringene?*

Kapitlet er delt inn i seksjoner for å besvare spørsmålet på en oversiktlig måte. Vi skal i første del se på hvordan respondentene har følt at norske myndigheter har støttet dem opp til nylig, mens andre del setter søkelys på hvorvidt de synes myndighetens bidrag er avgjørende for at flytende havvindsprosjekter blir realisert.

#### 4.2.1 Hvordan oppleves FoU-støtten fra myndighetene?

FoU-støtte kan være med å hjelpe norske bedrifter til å utvikle den teknologien som er nødvendig for å vinne kappløpet om det flytende havvindmarkedet globalt. Det er derfor svært interessant å høre om hvordan bedriftene selv vurderer støtten som har blitt gitt av myndighetene frem til nå. Det er ikke nok FoU-midler avsatt i statsbudsjettet til at alle bedrifter kan få støtte. Hypotesen som ble satt i forkant av intervjuene var derfor at man ville få svært varierende tilbakemeldinger på spørsmålet, hvor tilfredsheten var varierende. Dette skulle også vise seg å stemme, selv med et så lite antall respondenter. En oppsummering av respondentenes tanker rundt temaet er samlet i tabellen under (Tabell 14).

Tabell 14 - Hvordan oppleves FoU-støtten fra myndighetene? - Sitater

<p>«Det er helt vesentlig at det er tilstrekkelig med støtte og så er det viktig at dette kommer på plass relativt raskt så man ikke taper i konkurransen mot andre markeder, andre aktører, andre land som også planlegger å bygge større industrialiserte prosjekter.»</p> <p>- 5 - CEO – Leverandør havvind/ styremedlem klynge</p>	<p>«Hvis jeg bare skal snakke om prosjekt x så er det ikke tvil om at vi har blitt møtt med stor entusiasme og velvilje fra myndighetene.»</p> <p>2 - Manager - Havvindavdeling</p>
<p>«Alle vil jo ha mer, men vi er ganske godt fornøyde. Vi har jo hatt støtte fra både Innovasjon Norge, og er i et Enova-forprosjekt nå, og så bruker vi SkatteFUNN i den grad det er noen hull som ikke er støttet. Så kommer jo den store prøvelsen når vi skal søke fullskalastøtte til det første byggeprogrammet vårt som forhåpentligvis starter neste år. Men myndighetene sier jo alle de rette tingene og politisk og så heier de jo også på den type løsning som vi holder på med.»</p> <p>- 1 - CEO- Havvindselskap</p>	<p>«Det har skjedd ganske mye de siste årene i forhold til de industrileda prosjektene i Forskningsrådet. Der har det vært lite historisk sett på havvind, men nå i det siste har det plutselig vært mange flere, spesielt IPN-prosjekter (innovasjonsprosjekt for næringslivet). Det har vi hatt mye mer av enn vi hadde før innenfor havvind.</p> <p>Hvorfor det er sånn? Det har skjedd noe under Korona og faktisk, rett og slett, jeg tror at det er flere ting som har gått opp for folk under korona. I løpet av fjoråret var det et enormt rush på folk om ville søke på sånne prosjekt. De har jo som regel behov for å ha med seg forskningspartnere i det.</p> <p>Men om det er nok satsning fra myndighetene? Nei jeg vet ikke, det er veldig vanskelig å svare på. Nei de kan godt være mer aggressive tror jeg. Man må få opp farten, men da tror jeg man må gi opp i alle</p>

	<p><i>ledd. Ikke bare konsesjonsordninger, vi må løfte både Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Enova.»</i></p> <p>- 3 - Forskningsleder - Forskningsorganisasjon</p>
<p><i>«Det tok jo evig tid før Innovasjon Norge fant ut at havvind var verdt å løfte, løfte klyngen vår opp til de den er i dag. Så har du et virkemiddelapparat som fortsatt ikke jobber strategisk for AS Norge. Så har du et virkemiddelapparat som ser på hvor flinke en er til å skrive en søknad, og så er det noen eksterne som skal vurdere hvor god denne søknaden er og hvor mange fine bokser og trekanter som eksisterer i den, altså satt litt på spissen, det er jo helt håpløst. Det er ikke mange kroner som er investert i havvind gjennom virkemiddelapparatet i Norge, altså Enova har jo investert i tampen og sånne ting. Det er jo ikke med på å ta ned kostandene. Det er flott at vi får mer erfaring og at Equinor får mer erfaring men det vil ikke bidra til kostnadsreduksjon annet enn at de monterer en større turbin.»</i></p> <p>- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge</p>	

Spørsmålet ble besvart fra litt forskjellige angrepsvinkler fra respondentene. Noen snakket generelt om FoU-støtte til flytende havvind, mens andre snakket om støtte de har fått/ikke fått for utviklingen. En av respondentene besvarte ikke dette spørsmålet.

Respondent 1 og 2 er fornøyde med støtten de har mottatt fra myndighetene så langt. Begge disse sier at de har følt en støtte og entusiasme fra virkemiddelapparatet til sine prosjekter, noe som også viser at det eksisterer en satsning innen feltet. Respondent 1 beskriver at de i sitt havvindsprosjekt har kombinert flere støtteordninger fra ulike organer. De kombinerer støtte fra flere forskjellige ordninger for å øke den totale støttegraden. Dette er svært effektivt dersom man har et prosjekt som ligger innenfor flere organers satsningsområder. Man er imidlertid regulert av statsstøtteregulverket<sup>2</sup> som sier hvor mye støtte man maksimalt kan motta for et prosjekt per bedrift. Dette er gitt i form av et støttetak i prosent av totalkostnader på prosjektet (støtteintensitet). Respondent 2 sier seg også fornøyd med deres støttenivå på sitt flytende havvindsprosjekt uten å utdype dette noe ytterligere.

De tre andre respondentene er imidlertid noe uenig. De mener at myndighetene må komme på banen raskt for at Norge skal vinne kappløpet om det flytende vindmarkedet. Spesielt tilbakemelding fra respondent 6 er interessant. Han sier at virkemiddelapparatet er mer opptatt av hvor flinke bedriftene er til å skrive en søknad, fremfor hvor viktig prosjektet er for Norge. Kan det være noe i dette? Det eksisterer nemlig flere bedrifter som har spesialisert seg på å hjelpe til i søknadsprosesser mot virkemiddelapparatet. Heriblant Igaidi, og Esacon som omsetter for flere titalls millioner kroner hvert år. Bedriftene spesialiserte seg

<sup>2</sup> Statstøtteregulverket: Norge er underlagt EU's støtteregulverk fordi vi er medlemmer i EØS. Utgangspunktet i regelverket er at all statlig støtte er forbudt. Regelverket beskriver imidlertid et sett unntaksregler som muliggjør statlig støtte. Aktiviteter som kan finansieres av myndighetene og hvilken støtteintensitet man kan ha på disse. Lovlig støtteintensitet blir i hovedsak bestemt av prosjektets merking (industriell forskning eller eksperimentell utvikling) i kombinasjon med bedriftsstørrelse (Liten, medium eller stor bedrift) (Innovasjon Norge, 2020).

i statsstøtteregeleverket, hvilke prosjekter som kvalifiserer til ulik støtte og ikke minst, hva de forskjellige organene ser på i en søknad. Det er etter hvert mange bedrifter som bedriver FoU som har begynt å outsource søknadsskrivingen til slike selskaper, enten fordi de ikke har tid til å gjøre det selv, eller fordi de ikke har kompetansen til å gjøre det.

Virkemiddelapparatet er nemlig blitt en jungel som blir vanskeligere å navigere i for hvert år som går ettersom regler, rapporteringskrav og tildelingskriterier endres hyppig.

Svaret til respondent 3 er også interessant. Respondenten jobber i en organisasjon som delvis bedriver oppdragsbasert forskning. Han sier at det har vært en økning i antall havvindsprosjekter fra industrien under Korona mens antall prosjekter relatert til olje og gass har sunket betraktelig (Det sistnevnte er ikke inkludert i tabellen). Videre sier at han at han tror det har noe med pandemien og gjøre. Det var nemlig en kraftig dipp i oljepris når pandemien kom til verden (dette henger selvfølgelig sammen med andre faktorer). Fra januar 2020 til april 2020 falt prisen på råolje fra om lag 60 til 20 dollar fatet. Dette delvis på grunn av at koronapandemien reduserte oljeforbruk til blant annet flytrafikk, bilkjøring, industri og produksjon. Når oljeprisen falt, kuttet oljeselskapene kostnader, noe som resulterte i at flere leverandør- og serviceselskaper sto uten arbeid.

For at norske bedrifter skulle unngå å permittere ansatte innvilget regjeringen derfor ekstra FoU-midler i 2020 og 2021. 2,5MRD ekstra ble bevilget til FoU-aktiviteter i 2020, det absolutt høyeste noensinne (Forskningsrådet, 2021). Det kan virke som at dette har stimulert til grønn omstilling og FoU-satsning hos bedriftene. 46% av de som fikk innvilget støtte fra januar 2020- september 2020 hadde ikke mottatt FoU-støtte de tre foregående årene (Rybalka, 2020). Man ser også at antall innvilgede oljerelevante prosjekter falt dramatisk i samme periode.

Som vi så i kapittel 2.4.1 Spesielt om subsidier til flytende havvind var det flere havvindsprosjekter som fikk støtte i dette tidsrommet. Heriblant Equinor sitt Hywind-prosjekt som fikk innvilget over 2 mrd i støtte. Dette samtidig som andre aktører ikke fikk en eneste krone. Et naturlig spørsmål å stille seg da er om støtten har blitt skjevt fordelt innenfor havvindsegmentet til nå? Dette er særlig interessant med tanke på at respondentene som svarte de var fornøyde med støtten tilhører operatørselskaper, mens de som var mindre fornøyde i større grad er tilknyttet underleverandører. Spørsmålet er uansett vanskelig å svare på gitt antall respondenter og at det er flere faktorer som går inn i vurderingen av kvaliteten på ulike prosjekter. Oppsummert kan vi si at meningene er spredde rundt virkemiddelapparatets bidrag til flytende havvind så langt, men at koronapandemien har ført til økt satsning på området, det er ganske sikkert. Majoriteten av respondentene mener likevel at myndighetene bør gjøre mer.

#### 4.2.2 Er FoU-støtten avgjørende for om flytende havvindsprosjekter igangsettes?

Videre ble respondentene spurt om FoU-støtten fra myndighetene er avgjørende for at flytende havvindprosjekter blir realisert i deres bedrifter. Som hovedregel skal statlig støtte være utslagsgivende for om et FoU-prosjekt blir realisert. FoU-støtte har heller ikke tilbakevirkende kraft som vil si at man ikke kan få støtte for kostnader pådratt før søknad er

levert. Skattefunnordningen er et unntak her. Denne ordningen har tilbakevirkende kraft i godkjenningsåret. I Oppdragsgiverrapport fra Innovasjon Norge for 2020 svarte 95% av bedriftene som mottok støtte at denne var utslagsgivende for prosjektgjennomføringen (Innovasjon Norge, 2021). Forventende svar på dette spørsmålet var derfor at FoU-støtten er avgjørende, noe som også viste seg å stemme. Tabell 15 oppsummerer relevante sitater fra intervjugruppen.

Tabell 15 - Er FoU-støtte avgjørende for flytende havvind? - Sitater

<p>«Det er helt avgjørende. Det kommer ikke til å bli satt i gang flytende vindprosjekter i Norge de neste 15 årene, la oss si 12 år da skal vi være optimistiske dersom ikke virkemiddelapparatet støtter bransjen. Det er helt avgjørende med støtte fra myndighetene, for hvis ikke så taper vi dette kappløpet med andre nasjoner og da taper i fremtidig sysselsetting og fremtidige eksportverdier fra norske leverandører.»</p> <p>- 5 - CEO – Leverandør havvind/ styremedlem klynge</p>	<p>«Det er helt avgjørende for oss. Om vi ikke hadde fått støtte hadde vi ventet med å etablere selskapet. For vi tjuvstarter litt nå, og grunnen til at vi kan tjuvstarte er at vi oppfatter at vi får en backing fra myndighetene. Hvis vi ikke hadde fått backing fra norske myndigheter så måtte vi enten ventet til det kom eller etablert oss i et annet land.»</p> <p>- 1 - CEO- Havvindselskap</p>
<p>«Jeg tror helt klart at jeg må si at vi ikke hadde fått med oss hverken selskapet eller partnerne våre på en investeringsbeslutning på prosjekt x dersom vi ikke hadde fått tilskudd fra virkemiddelorgan x. Det var det som vippet det over selv om vi på det tidspunktet hadde en negativ buisnesscase. Med støtte ble den så langt opp mot null at den ble akseptert. Hvis den var uten tilskudd så hadde den vært på et nivå hvor vi ikke hadde fått det til.</p> <p>Men jeg tror at for de første prosjektene som kommer på norsk sokkel på flytende så tror jeg at man er avhengig av støtte og subsidier på et eller annet vis, skatt eller andre ting. Det må være en pakke der som gjør opp for forventningen om at man ikke kommer til å tjene penger her på de første prosjektene, det tror jeg bare en må innse.»</p> <p>- 2 - Manager - Havvindavdeling</p>	<p>«Jeg tror at hvis Norge skal ta denne firstmoverposisjonen med et stort offshore havvindfelt så er jeg sikker på at det blir avgjørende med støtte fra virkemiddelapparatet».</p> <p>- 4 - Manager - Havvindavdeling</p>
<p>«Det hadde ikke gått an å ha samme type satsning på havvind uten Forskningsrådet eller uten virkemiddelapparatet. Det hadde ikke vært mulig.</p>	<p>Jeg tror ikke støtten er veldig avgjørende for kjempestore selskaper rundt omkring i verden, men</p>



<p><i>Jeg tror på en måte engasjementet rundt havvind hadde vært annerledes, eller mye lavere i Norge dersom man ikke hadde hatt langsiktig satsning på forskning innen havvind, som man tross alt har. Så det er helt avgjørende.</i></p> <p>- 3 - Forskningsleder - Forskningsorganisasjon</p>	<p><i>for at vi skal bygge nye brede leverandørkjeder og kommersielle løsninger så blir dette avgjørende.</i></p> <p><i>Men igjen, det er demonstrasjon vi må få penger til, og det må investeres i vindkraft i industrien.</i></p> <p>- 6 - CEO – leverandør havvind/Styremedlem klynge</p>
--	--

Samtlige respondenter uttalte at støtte fra virkemiddelapparatet er avgjørende for at flytende havvindprosjekter blir realisert. Spesielt interessant er svaret fra respondent 1 som uttaler at ikke engang bedriften hadde blitt etablert dersom de visste at de ikke hadde fått støtte for utviklingen. Dette viser tydelig virkemiddelapparatets rolle i å skape norske arbeidsplasser og fremtidige eksportvarer. Hadde ikke selskapet hvor respondent 1 jobbet blitt støttet av virkemiddelapparatet hadde det med andre ord eksistert et stykk mindre havvindsselskap, et stykk mindre konsept for flytende havvind, og ca. 20 personer hadde stått uten arbeid. Dette illustrerer tydelig virkningen av virkemiddelapparatet i Norge.

Videre ser man at respondent 2 uttaler at deres havvindprosjekt heller ikke hadde blitt realisert dersom det ikke hadde vært støttet av virkemiddelapparatet. De hadde en negativ businesscase uten støtte fra myndighetene. Dette grunnet det foreløpig høye LCOE-nivået for flytende havvind. Men det er nettopp gjennom «learning-by-doing»-prinsippet at man kan få ned LCOE-kostnaden. At myndighetene kommer på banen i denne fasen slik at bedrifter kan bygge opp kunnskap rundt flytende havvind er derfor avgjørende. Man må sette prosjekter ut i livet. Dette understreker også respondent 6 i sitt svar.

Hypotesen ser med andre ord ut til å stemme for intervjugruppen. Samtlige er enige om at støtte fra virkemiddelapparatet er avgjørende for at flytende havvindprosjekter skal bli realisert de kommende årene. Dette setter et tydelig press på myndighetene og virkemiddelapparatet ettersom man ikke vil klare å vinne konkurransen om det flytende markedet om de ikke ytterligere øker sin satsning innen havvind.

#### 4.2.3 Oppsummering

Vi har nå sett på respondentenes kommentarer og erfaringer rundt virkemiddelapparatets bidrag til flytende havvind i Norge. Under følger en oppsummering av de viktigste funnene.

Første del av analysen viser at **respondentene er uenig om hvordan støtten fra myndighetene har vært til nå**. Der noen er svært fornøyde, er andre misfornøyde. Dette kan være et resultat av at virkemiddelapparatet må gjøre prioriteringer på hvilke prosjekter som får støtte. Det er simpelthen ikke nok FoU-midler i statsbudsjettet til at alle kan få støtte. Videre ble det snakket om **kombinasjon av støtte** for å muliggjøre utvikling. En av respondentene snakker om hvordan de kombinerer ulike støtteordninger for å senke sin økonomiske risiko i sitt flytende havvindprosjekt. Dette er en svært effektiv måte å nå den lovlige støtteintensiteten til et FoU-prosjekt.

En annen respondent snakker om hvordan virkemiddelapparatet prioriterer prosjekter når de avgjør hva som er støtteberettiget og ikke. Han mener **virkemiddelapparatet legger alt for mye fokus på hvor bra søknaden er, fremfor å vurdere hvor viktig prosjektet er for Norge**. Gjennom undersøkelser på nettet ser vi også at det er flere konsulentbedrifter som har spesialisert seg på akkurat søknadsskriving mot det norske virkemiddelapparatet. Dette sitatet gir derfor god mening og illustrerer hvor viktig søknaden er for virkemiddelapparatet.

Forskningslederen (Respondent 3) sier at de har hatt **en økning i antall havvindsprosjekter fra industrien de siste årene**. Han tror dette har noe med pandemien å gjøre. Etter undersøkelse har man funnet ut at virkemiddelapparatet økte støttebudsjettet når pandemien inntraff. Videre viser disse undersøkelsene at andelen olje- og gassrettede FoU-prosjekter falt under pandemien. Det ble også etablert at 46% av bedriftene som fikk innvilget støtte i Q1-Q3 i 2020 ikke hadde mottatt støtte de siste 3 årene. Dette viser at det er en økende satsning på FoU i industrien hvor flere søker omstilling til grønne teknologier. Vi ser tydelig fra bakgrunn-kapittelet at det også er flere flytende havvindsprosjekter som har fått støtte under pandemien.

Andre del søkte å finne svar på om virkemiddelapparatets bidrag er avgjørende for realisering av havvindsprosjekter. Gitt at 95% av de som mottok støtte fra virkemiddelapparatet mente det var utslagsgivende for prosjektgjennomføring i 2020 var hypotesen at dette også ville være tilfelle for flytende havvindsprosjekter. Dette viste seg å stemme.

En av respondentene sier at de **ikke hadde etablert bedriften om de ikke hadde fått støtte fra virkemiddelapparatet**. Dette illustrer tydelig viktigheten av virkemiddelapparatets rolle når nye næringer etableres. Støtte var også avgjørende for en annen respondents investeringsbeslutning for flytende havvind. Respondentene er enig om at myndighetene må bevilge mer penger til flytende havvind dersom Norge skal vinne det pågående kappløpet om det flytende havvindmarkedet. **Det må bevilges mer penger til FoU og demonstrasjonsprosjekter slik at norske bedrifter får øvd seg på gjennomføring** i denne relativt unge bransjen. Dette er avgjørende for at de tekniske utfordringene identifisert i kapittel 4.1 skal bli løst, og på den måten at LCOE for flytende havvind kommer ned på et bærekraftig nivå.

## 5 Konklusjon

På bakgrunn av klimaendringer, global oppvarming og derfor en økende satsing på fornybar energi fra industrien, har denne avhandlingen søkt å finne svar på hvilke utfordringer som må løses for at en relativt ung og ikke utprøvd fornybar teknologi skal bli økonomisk bærekraftig på energimarkedet. Følgende problemstilling har vært styrende for oppgavens innhold:

*Flytende havvind, hvilke teknologiske utfordringer må løses for å få LCOE ned på et økonomisk bærekraftig nivå?*

For å besvare problemstillingen ble det bestemt at en kvalitativ undersøkelse skulle gjennomføres, dette ved hjelp av semistrukturerte intervjuer. Seks nøye utvalgte representanter fra forskjellige bedrifter innenfor havvind deltok i undersøkelsen. Intervjuobjektene hadde forskjellig bakgrunn; alt fra havvindsselskaper og leverandørbedrifter til styremedlemmer i havvindsklynger og forskningsorganisasjoner er grunnlaget for denne analysen. Dette for å gi en bredde i datagrunnlaget som skulle ligge til grunn for å besvare oppgavens problemstilling. For å bryte ned problemstillingen ble to forskningsspørsmål utarbeidet, hvor det ene omhandlet tekniske utfordringer, mens det andre omhandlet virkemiddelapparatets rolle i å legge til rette for å løse disse utfordringene.

En grundig bakgrunn for oppgaven ble etablert før intervjuene ble gjennomført. Dette for å skape en god forståelse av vindturbinens virkemåte, samt hva som finnes av konsepter på havvindmarkedet i dag, så vel som hvordan LCOE kalkuleres for vindkraft. Videre tok man også for seg virkemiddelapparatet i Norge og hvordan de har støttet flytende havvindsprosjekter frem til nå (2021).

Empirien kommer med klare indikasjoner på hva som er de største utfordringene innenfor flytende havvind per dags dato. Respondentene er enstemmig enig i at masseproduksjon er den største utfordringen som må løses for å senke LCOE for flytende havvind. De nevner flere sentrale delutfordringer som må løses for å muliggjøre effektiv masseproduksjon hvor disse er ansett som de viktigste; stordriftsfordeler, produksjonsoptimalisert design, sammenstillingsprosess som må kunne gjøres ved kai og restrukturering av den norske leverandørkjeden; fra skreddersøm, til masseproduksjon.

Videre er det stor enighet om at å øke turbinstørrelse er en sentral utfordring som må løses for å senke levetidskostnaden. Bakgrunn beskriver at man har en stor fordel av å øke turbinstørrelse. Problemet som tas opp av en av respondentene er at turbiner i dag er standardiserte. For å senke levetidskostnader må man derfor lage lettvekts-turbiner for flytende fundamenter. Dette vil muliggjøre at man kan bruke mindre flytere på større turbiner noe som kan bli vesentlig for å senke LCOE. Videre nevnes også at tyngdepunktet i turbinen må senkes for turbiner brukt på flytere, siden dette vil øke stabilitet.

Til slutt har man flere funn rundt utfordringer knyttet til kabel- og ankringsystem samt flyter. Flyterens utforming har mye å si for levetidskostnaden. I dag ser vi et utall forskjellige konsepter, hvor flesteparten har utspring i olje- og gasskonstruksjoner. Man har også turbinprodusenter som har laget konsepter som muliggjør produksjon av flyter på

turbinfabrikk. Hva som vil vise seg som mest bærekraftig dersom man ser på levetidsinvesteringen er vanskelig å si sikkert, men respondentene indikerer at mengde tilsatsmateriale er viktig for hvilke konsepter som blir billigst å produsere. Videre nevnes utfordringer knyttet til kabelsystemet. I dag er feil på kabel den største årsaken til erstatningssaker innen havvind noe som betyr at utfordringer knyttet til pålitelighet må løses. Også installasjonskostnader kan reduseres dersom utfordringer knyttet til installasjonsprosess løses. Respondenten snakker videre om at nye ledematerialer må implementeres for å senke kabelkost. Til slutt ble det snakket om ankringsystem. Her virket det som flere bedrifter holdt kortene tett til brystet, noe som tyder på at dette er et område hvor de mener de kan redusere kostnader. Det som imidlertid kom frem, er at utfordringer knyttet til organisering av ankerene i en havvindpark blir viktig. Klarer man å få et anker til å håndtere flere ankerliner vil både investeringskostnaden og installasjonskost forbundet med forankring reduseres.

Videre viser empirien at virkemiddelapparatets bidrag til å løse disse utfordringene er avgjørende for at Norge skal vinne det pågående kappløpet om det flytende havvindmarkedet. Respondentene er utelukkende enige i at støtte fra virkemiddelapparatet er utløsende for flytende havvindsprosjekter. De er imidlertid noe uenighet om hvordan virkemiddelapparatet har støttet flytende prosjekter frem til nå. To respondenter er fornøyd med støtten de har mottatt på sine respektive havvindsprosjekter, mens de andre mener myndighetene har gjort for lite. Det snakkes blant annet om at virkemiddelapparatet vurderer søknader på feil måte og at det generelt bevilges for lite penger for at denne teknologien kan kommersialiseres. De mener at myndighetene må komme på banen raskt slik at norske bedrifter får startet omstillingen, og at de får øvd seg med risikoavlastende støtte i denne kritiske startfasen. Virkemiddelapparatets bidrag er med andre ord av stor betydning for at LCOE for flytende havvind skal komme ned på et bærekraftig nivå.

Konkludert kan vi derfor oppsummere som følger: Det er en rekke tekniske utfordringer som må løses for å senke LCOE for flytende havvind. Det virker som at utfordringer knyttet til alle deler av en flytende vindturbin må løses for at LCOE skal komme ned på laveste nivå, men det er ikke tvil om at masseproduksjon og sammenstillingsmetodikk er det respondentene ser som de mest kritiske utfordringene. Men for å løse disse utfordringene må utfordringer knyttet til samtlige delsystemer løses simultant. Videre er respondentene enstemmig enige om at virkemiddelapparatet må komme på banen med mer risikoavlastende støtte for at Norge skal vinne kappløpet om det flytende havvindmarkedet ettersom dette er avgjørende for om prosjekter igangsettes og gjennomføres.

## 5.1 Videre forskning

Det har i denne avhandlingen blitt presentert en rekke tekniske utfordringer som bør løses for å senke LCOE for flytende havvind. Videre forskning som anbefales er:

- Forskning på hvor mye løsninger på de enkelte utfordringene reduserer LCOE.
- Utvide antall respondenter for å tydeliggjøre utfordringene ytterligere. Det anbefales her at man tar inn respondenter fra andre land for å skape et mer internasjonalt perspektiv på problemstillingen.
- Videre ble det i bakgrunn-kapittelet etablert at O&M utgjør over 30% av LCOE til en flytende vindturbin. Å gjøre en mer inngående analyse av utfordringer knyttet til drift og vedlikehold ville derfor være interessant. Vedlikeholdsprosedyrer, tilkomstoptimalisering, fjernstyring osv. er temaer som ikke er særlig omtalt i denne oppgaven. Det er ikke tvil at om man klarer å løse utfordringer knyttet til dette, vil LCOE for flytende havvind kunne senkes ytterligere.

Flytende havvind er en relativ ung bransje som i liten grad er industrialisert/kommersialisert. Det blir derfor svært spennende å følge den videre forskningen på temaet og jeg (forskeren) håper at noen kan ta tak i noe av den foreslåtte forskningen i sine fremtidige avhandlinger.

## Referanseliste

Andersen, G. (2020, April 16). Kvalitative intervjuundersøkelser. *NDLA*.

<https://ndla.no/subject:1:9bb7b427-3f5b-4c45-9719-efc509f3d9cc/topic:1:432baee9-5671-47ce-870e-48b8fc3b7a42/topic:1:1db7bf3c-3a7b-44af-b632-e3c5ff2a999e/resource:201ce19e-7011-49a6-b415-91fd42d5dfe9>

Bachynski, E. E., & Moan, T. (2012). Design considerations for tension leg platform wind turbines. *Marine Structures*, 29(1), 89–114.

<https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2012.09.001>

Buljan, A. (2021a, May 25). GE, Glosten Present 12 MW Floating Wind Turbine Concept.

*Offshore WIND*. <https://www.offshorewind.biz/2021/05/25/ge-glosten-present-12-mw-floating-wind-turbine-concept/>

Buljan, A. (2021b, November 9). Subsea Cables Account for Over 50 Pct of Total Claims

Spend in Offshore Wind – GCube Insurance. *Offshore WIND*.

<https://www.offshorewind.biz/2021/11/09/subsea-cables-account-for-over-50-pct-of-total-claims-spend-in-offshore-wind-gcube-insurance/>

Buvik, M. (2021). *Kostnader for kraftproduksjon*. NVE - Norges Vassdrags- og

energidirektorat. <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/>

CNBM. (2018, May 9). Wind Turbine Foundation: 5 Foundation Types Explained For Onshore

Wind Turbine. *CNBM International*. <http://www.steelwindtower.com/wind-turbine-foundation-5-foundation-types-explained-for-onshore-wind-turbine/>

Consuunt Staff. (2021). What are Economies of Scale? *Consuunt*.

<https://www.consuunt.com/economies-of-scale/>

- Dugstad, A., Grimsrud, K., Kipperberg, G., Lindhjem, H., & Navrud, S. (2020). Acceptance of wind power development and exposure – Not-in-anybody’s-backyard. *Energy Policy*, 147, 111780. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111780>
- Dykes, D. J. (2007). *ACCIDENT INVESTIGATION REPORT* (p. 7). UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR MINERALS MANAGEMENT SERVICE. <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/reports/safety/050923-pdf.pdf>
- Enova. (2019, August 22). *Enova-støtte til Hywind Tampen*. <https://presse.enova.no/pressreleases/enova-stoette-til-hywind-tampen-2909002>
- Equinor Staff. (n.d.-a). Hywind Demo. *Equinor*. <https://www.equinor.com/no/what-we-do/floating-wind/hywind-demo.html>
- Equinor Staff. (n.d.-b). Hywind Tampen. *Equinor*. Retrieved 1 December 2021, from <https://www.equinor.com/en/what-we-do/hywind-tampen.html>
- European Commission. (2020). *An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future*. European Commission. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/offshore\\_renewable\\_energy\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/offshore_renewable_energy_strategy.pdf)
- Førde, T. (2020, September 27). Stålkonstruksjonen er større enn 14 fotballbaner, flyter i vannet og skal sørge for store mengder grønn strøm. *Teknisk Ukeblad*. <https://www.tu.no/artikler/stalkonstruksjonen-er-storre-enn-14-fotballbaner-flyter-i-vannet-og-skal-sorge-for-store-mengder-gronn-strom/499598>
- Forskningsrådet. (n.d.). Forskningsrådet. *Forskningsrådet*. <https://www.forskningsradet.no/>
- Forskningsrådet. (2021). *Indikatorrapporten [Årsrapport]*. Forskningsrådet. <https://www.forskningsradet.no/indikatorrapporten/indikatorrapporten-dokument/bevilgninger-og-virkemidler/nasjonale-bevilgninger/>

Foxwell, D. (2020, July 27). 'Breakthrough TLP technology' to be tested in Mediterranean.

*Riviera Maritime Media Ltd.* <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/lsquobreakthrough-tlp-technologysquo-to-be-tested-in-mediterranean-60380>

Fulton, G. R., Malcom, D. J., Elwany, H., Stewart, W., Moroz, E., & Dempster, H. (2005). *Semi-Submersible Platform and Anchor Foundation Systems for Wind Turbine Support.*

NREL. <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/40282.pdf>

Grønmo, S., & Malt, U. (2020). Kvalitativ metode. In *Store norske leksikon.*

[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)

Hofstad, K. (2019). Vindkraftverk. In *Store norske leksikon.* <https://snl.no/vindkraftverk>

Hofstad, K., & Rosvold, K. A. (2019). Vindturbin. In *Store norske leksikon.*

<https://snl.no/vindturbin>

Hovland, K. M. (2021, February 2). *Gigantallianse ber staten sette fart på norsk havvind: -*

*Det haster ganske mye.* <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/kRp97k/gigantallianse-ber-staten-sette-fart-paa-norsk-havvind-det-haster-ganske-mye>

Idsø, J. (2021). Stordriftsfordeler. In *Store norske leksikon.* <https://snl.no/stordriftsfordeler>

Innovasjon Norge. (2020, April 22). Statstøttereguleringen. *Innovasjon Norge.*

<https://www.innovasjon norge.no/no/tjenester/finansiering2/statsstottereguleringen/>

Innovasjon Norge. (2021). *Oppdragsgiverrapport fra Innovasjon Norge 2020* (p. 350).

Innovasjon Norge. [https://www.innovasjon norge.no/globalassets/0-](https://www.innovasjon norge.no/globalassets/0-innovasjon norge.no/om-innovasjon-norge/oppdrag-og-resultater/2020/oppdragsgiverrapport-2020.pdf)

[innovasjon norge.no/om-innovasjon-norge/oppdrag-og-](https://www.innovasjon norge.no/om-innovasjon-norge/oppdrag-og-resultater/2020/oppdragsgiverrapport-2020.pdf)

[resultater/2020/oppdragsgiverrapport-2020.pdf](https://www.innovasjon norge.no/om-innovasjon-norge/oppdrag-og-resultater/2020/oppdragsgiverrapport-2020.pdf)

Jacobsen, D. I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* (3rd ed.). Cappelen Damm

akademisk.



- Laurie, C. (2017, August 14). NREL Market Report Finds U.S. Offshore Wind Industry Poised for Multigigawatt Surge. *National Renewable Energy Laboratory*.  
<https://www.nrel.gov/news/program/2017/nrel-market-report-finds-us-offshore-wind-industry-poised-multigigawatt-surge.html>
- Lee, J., & Zhao, F. (2021). *GWEC - Global Wind Report 2021* [Årsrapport]. Global Wind Energy Council. <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
- Lønning, E. V. W. (2020, March 30). EU gir 290 millioner kroner til å teste flytende havvind. *Innovasjon Norge*. <https://www.innovasjon Norge.no/no/om/nyheter/2020/eu-gir-290-millioner-kroner-til-a-teste-flytende-havvind/>
- LUVSIDE Staff. (2020, May 26). ONSHORE AND OFFSHORE WIND ENERGY: A COMPARISON. *LUVSIDE*. <https://www.luvside.de/en/onshore-offshore-wind-energy-comparison/>
- Macrotrends Staff. (2022). Copper Prices—45 Year Historical Chart. *Macrotrends LLC*.  
<https://www.macrotrends.net/1476/copper-prices-historical-chart-data>
- Mæhlum, L., & Rosvold, K. A. (2019). *Vindmølle*. <https://snl.no/vindm%C3%B8lle>
- Matysik, S., & Bauer, L. (2022). Wind Turbines database. *Wind-Turbine-Models.Com*.  
<https://en.wind-turbine-models.com/turbines?view=table>
- METCENTRE. (2021). *FLAGSHIP* [Nettside]. METCENTRE.  
<https://metcentre.no/project/flagship/>
- Moe, E. (2019, June 8). Elbilen som stoppet på startstreken. *NRK*.  
<https://www.nrk.no/innlandet/xl/den-norske-elbilen-stoppet-pa-startstreken-1.14571761>
- Nærings og fiskeridepartementet. (2021, September 7). Grønn plattform: 1 milliard kroner til elleve store grønne omstillingsprosjekter. *NTB Kommunikasjon*.  
<https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/gronn-plattform-1-milliard-kroner-til->

elleve-store-gronne-

omstillingsprosjekter?publisherId=14943704&releasId=17915187

Nesse, A. (2022, January 10). Innlegg: Havvindnæringen har ikke tid til kabelstrid. *Dagens*

*Næringsliv*. [https://www.dn.no/innlegg/fornybar-](https://www.dn.no/innlegg/fornybar-energi/havvind/senterpartiet/innlegg-havvindnaringen-har-ikke-tid-til-kabelstrid/2-1-1141355?fbclid=IwAR2BS14qf_QvTy3sVlf0WMoAfsnK5aBP0zCt5CnkxafgD11nrHeCdIMc9w)

[energi/havvind/senterpartiet/innlegg-havvindnaringen-har-ikke-tid-til-kabelstrid/2-1-](https://www.dn.no/innlegg/fornybar-energi/havvind/senterpartiet/innlegg-havvindnaringen-har-ikke-tid-til-kabelstrid/2-1-1141355?fbclid=IwAR2BS14qf_QvTy3sVlf0WMoAfsnK5aBP0zCt5CnkxafgD11nrHeCdIMc9w)

[1141355?fbclid=IwAR2BS14qf\\_QvTy3sVlf0WMoAfsnK5aBP0zCt5CnkxafgD11n-](https://www.dn.no/innlegg/fornybar-energi/havvind/senterpartiet/innlegg-havvindnaringen-har-ikke-tid-til-kabelstrid/2-1-1141355?fbclid=IwAR2BS14qf_QvTy3sVlf0WMoAfsnK5aBP0zCt5CnkxafgD11nrHeCdIMc9w)

[rHeCdIMc9w](https://www.dn.no/innlegg/fornybar-energi/havvind/senterpartiet/innlegg-havvindnaringen-har-ikke-tid-til-kabelstrid/2-1-1141355?fbclid=IwAR2BS14qf_QvTy3sVlf0WMoAfsnK5aBP0zCt5CnkxafgD11nrHeCdIMc9w)

NTNU. (2021). Dokka Smart Bolt. *NTNU*. [https://www.ntnutto.no/prosjekter-items/dokka-](https://www.ntnutto.no/prosjekter-items/dokka-smart-bolt/)

[smart-bolt/](https://www.ntnutto.no/prosjekter-items/dokka-smart-bolt/)

OE Staff. (2020, July 27). World's First Semi-submersible Floating Wind Farm Now Online.

*Offshore Engineer*. [https://www.oedigital.com/news/480465-world-s-first-semi-](https://www.oedigital.com/news/480465-world-s-first-semi-submersible-floating-wind-farm-now-online)

[submersible-floating-wind-farm-now-online](https://www.oedigital.com/news/480465-world-s-first-semi-submersible-floating-wind-farm-now-online)

Offshore staff. (2021, August 20). Odfjell Oceanwind secures funds for mobile offshore wind

units. *Offshore Magazine*. [https://www.offshore-mag.com/renewable-](https://www.offshore-mag.com/renewable-energy/article/14209083/odfjell-oceanwind-secures-funds-for-mobile-offshore-wind-units)

[energy/article/14209083/odfjell-oceanwind-secures-funds-for-mobile-offshore-wind-](https://www.offshore-mag.com/renewable-energy/article/14209083/odfjell-oceanwind-secures-funds-for-mobile-offshore-wind-units)

[units](https://www.offshore-mag.com/renewable-energy/article/14209083/odfjell-oceanwind-secures-funds-for-mobile-offshore-wind-units)

Persson, C. P. (2019, April 3). Abduksjon: Metoden for å finne den beste forklaringen.

*Forskning.No*. [https://forskning.no/om-forskning-samfunnsvitenskap/abduksjon-](https://forskning.no/om-forskning-samfunnsvitenskap/abduksjon-metoden-for-a-finne-den-beste-forklaringen/1317339)

[metoden-for-a-finne-den-beste-forklaringen/1317339](https://forskning.no/om-forskning-samfunnsvitenskap/abduksjon-metoden-for-a-finne-den-beste-forklaringen/1317339)

Rybalka, M. (2020). *Bidrar virkemiddelapparatet til nytenking under krise?* Forskningsrådet.

[https://www.forskningsradet.no/indikatorrapporten/les-mer/bidrar-](https://www.forskningsradet.no/indikatorrapporten/les-mer/bidrar-virkemiddelapparatet-til-nytenking-under-krise/)

[virkemiddelapparatet-til-nytenking-under-krise/](https://www.forskningsradet.no/indikatorrapporten/les-mer/bidrar-virkemiddelapparatet-til-nytenking-under-krise/)

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business Students*

(fifth). Pearson.

SSB. (2021). *Veldig lav strømpris i 2020*. SSB - Statistisk sentralbyrå.

<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/veldig-lav-strompris-i-2020>

Stehly, T., Beiter, P., & Duffy, P. (2020). *2019 Cost of Wind Energy Review* (p. 86)

[Vitenskaplig]. National Renewable Energy Laboratory.

<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78471.pdf>

Stiesdal. (2021). The TetraSpar full-scale demonstration project. *Stiesdal*.

<https://www.stiesdal.com/offshore-technologies/the-tetraspar-full-scale-demonstration-project/>

Tanenbaum, M. (2019). Mass production. In *Britannica*.

<https://www.britannica.com/technology/mass-production>

Thiagarajan, K. P., & Dagher, H. J. (2014). *A Review of Floating Platform Concepts for Offshore Wind Energy Generation*. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.658.859&rep=rep1&type=pdf>

Tranøy, K. E. (2019). Metode. In *Store norske leksikon*. <https://snl.no/metode>

Ulateig, F. A. (2020, January 9). Ny innovasjon på NTNU i Gjøvik. *NTNU Nyheter*.

<https://www.ntnu.no/nyheter/ny-innovasjon-pa-ntnu-i-gjovik/>

van der Valk, P. L. C. (2014). *Coupled Simulations of Wind Turbines and Offshore Support Structures* (p. 228) [Doktorgrad]. Technische Universiteit Delft.

<file:///C:/Users/xhbv9/Downloads/2014-10->

[10\\_PhD\\_Thesis\\_PaulvanderValk\\_repository.pdf](10_PhD_Thesis_PaulvanderValk_repository.pdf)

Wind Catching Systems. (2021). Scale Comparison. *WindCatching*.

<https://windcatching.com/>

Wiser, R., Rand, J., Seel, J., Beiter, P., Baker, E., Lantz, E., & Gilman, P. (2021). Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050. *Nature Energy*, 6(5), 555–565. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00810-z>

Wold, M. (2021). *Vindkraft*. NVE - Norges Vassdrags- og energidirektorat.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/>

## Vedlegg 1 – Forespørsel om deltakelse i intervju

(Sendt ut via mail)

Hei,

Jeg forespør deg om deltakelse i intervju for å hjelpe med å besvare min masteroppgave's problemstilling. Avhandlingen blir mitt siste steg for å fullføre min mastergrad innenfor industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger.

Oppgaven har som formål å undersøke utfordringer innenfor flytende havvind ettersom denne energiutvinningsmetoden per dags dato har den desidert høyeste LCOE (levelized cost of energy). Jeg vil i oppgaven intervjuer både utbyggere og underleverandører for å prøve å finne ut hva bransjen ser som de mest kritiske faktorene for å senke levetidskostnaden for et slikt energiutvinningsystem.

Enkelt forklart er det oppgaven har som formål å besvare som følger:

*«Flytende havvind, hvilke teknologiske utfordringer må løses for å få LCOE ned på et økonomisk bærekraftig nivå?»*

### **Plan for intervjugjennomføring:**

Jeg er ute etter informasjon om hva du og ditt selskap anser som de største utfordringene innenfor flytende havvind og hva som skal til for å løse disse utfordringene (både generelle tekniske utfordringer, organisatoriske utfordringer, produksjonsutfordringer så fremt som statlige bidrag sin rolle i å løse disse utfordringene).

Generell info om gjennomføring:

- Intervjuet er estimert til å ha en total varighet på 30-40 min. Kan gjennomføres over video eller fysisk etter ditt ønske.
- Du velger selv et tidspunkt som passer for deg.
- Med ditt samtykke ønsker jeg å ta opp intervjuet for så å transkribere slik at svarene enkelt kan bli behandlet i ettertid. Når transkriberingen er gjennomført vil opptakene bli slettet.
- Undersøkelsen vil være anonym
- Det er frivillig å delta i intervjuet. Du kan når som helst trekke deg fra deltakelse uten å oppgi grunnen. Alle data relatert til din deltakelse vil da bli slettet.

### **Personvern:**

Personopplysninger vil kun bli benyttet til formålet i oppgaven. All innsamlet data og personopplysninger vil bli oppbevart lokalt, og kun bli tilgjengeliggjort for meg og min veileder ved Universitetet. Dataene som blir samlet inn vil bli slettet når oppgaven er levert.

Håper du har lyst til å delta ettersom du og din bedrift er særdeles relevant for å besvare oppgavens problemstilling.

Ser frem til å høre fra deg,

//Håkon

## Vedlegg 2 – Intervjuguide

### Del 1 – Generelt

- a. Kan du fortelle kort om selskapet/instansen du jobber for og din rolle i dette.
- b. Hva er grunnen til at dere satser på flytende havvind og hvor lenge har dere jobbet innenfor denne bransjen?

### Del 2 – tekniske utfordringer

- a. Hva anser du som den/de største tekniske utfordringene som må løses for å redusere levetidskostnaden på en flytende vindturbin og hvilken del av turbinen er disse relatert til? (ankringssystem, base/floater eller selve turbinen)?
- b. I hvilken grad er eksisterende utstyr brukt i havet overførbart til flytende havvind og hva gjør det eventuelt mer komplisert å utvikle en kostnadseffektiv flytende vindturbin sammenlignet med for eksempel en flytende oljerigg?
- c. Har man produksjonsutfordringer forbundet med flytende havvind kontra for eksempel bunnfast? Grei gjerne ut om dette.
- d. Tror du en flytende vindturbin vil se lik ut om 30 år som den gjør nå? Hvor tror du de største endringene vil skje (turbin, base eller ankringssystem) og hvorfor?

### Del 4 – Myndighetenes bidrag til å gjøre flytende havvind bærekraftig i Norge

- a. I hvilken grad føler du at myndighetene støtter dere i utviklingen av flytende havvind?
- b. Synes du de kunne gjort mer? Eventuelt hva?
- c. I hvilken grad er myndighetenes bidrag avgjørende for om dere igangsetter utviklingsprosjekter innenfor sektoren?