



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Industriell økonomi

Vår, 2023

Åpen

Forfatter:

Anders Hetland Austreim

Fagansvarlig ved UiS:

Sigbjørn Landazuri Tveteraas

Ekstern(e) veileder(e):

André Ødegård Eilertsen

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

Tittel på oppgaven:

Hvilke drift og vedlikeholds oppgaver må gjennomføres under vann på den flytende vindparken Utsira Nord, og hva vil være kostnaden?

Engelsk tittel: Which subsea operational and maintenance tasks must be performed on the Utsira Nord Floating Windfarm, and what are the related costs?

Studiepoeng: 30**Emneord:**

- Floating windfarm
- Operational and maintenance intervalls
- Cost
- Subsea
- Utsira Nord

Sidetall: 75

+ vedlegg/annet:78

Stavanger, (15.06.2023)

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave for mitt masterstudie ved Universitetet i Stavanger. Resultatene i oppgaven kommer fra målrettet arbeid for å finne optimal vedlikeholdsplan for subsea strukturen på flytende vindmøller, samt kostnaden. Kostnaden for flytende vindmølleparker er fremdeles høy, der drift og vedlikehold er en stor del av livsløpskostnadene. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng og blir skrevet i siste semester av studiet.

Jeg er en mann på 25 år som er født og oppvokst i Haugesund. Mye av fritiden min går til trening, fisking og hobby snekring. Jeg har alltid vært en aktiv person, og spilt mye fotball og volleyball i mine tidligere år. Studie bakgrunnen min begynner med tre år på HVL i Bergen der jeg tok bachelor innenfor Subsea, før jeg gikk videre til nåværende studie Industriell økonomi på Universitetet i Stavanger.

Jeg har alltid hatt en stor interesse for alt som foregår i havet, både på en personlig basis og i min yrkeskarriere. Jeg har tilbrakt mange timer på båt i løpet av livet mitt, og har også tatt dykkerlappen klasse A gjennom skolen. Gjennom mine erfaringer på sjøen har jeg alltid hatt en følelse av at havet har uendelige muligheter, spesielt når det kommer til energiproduksjon.

Min interesse for vindmøller på havet ble først introdusert for meg i løpet av en spennende sommerjobb hos DeepOcean i 2022. Der fikk jeg innsyn i hvor stort markedet for havvind var og hvor mange som satset på dette feltet. Jeg ble stadig mer fascinert av dette og begynte å lære mer om teknologien og hvordan den kunne bidra til å produsere ren og fornybar energi.

DeepOcean tilbød meg muligheten til å skrive min masteroppgave sammen med dem om flytende havvind, som jeg med glede takket ja til. Gjennom denne oppgaven har jeg fått muligheten til å fordype meg i teknologien og utforske dens potensial.

Til min veileder fra DeepOcean André Ødegård Eilertsen, veileder fra UIS Sigbjørn Landazuri Tveteraas og alle som har stilt opp til intervjuer:

Jeg vil gjerne takke dere alle for samarbeidet vi har hatt i forbindelse med dette prosjektet. Det har vært en glede å jobbe sammen med dere og å lære mer om de ulike temaene vi har utforsket. Jeg setter pris på den innsikten og kunnskapen dere har delt med meg, og jeg er takknemlig for at dere har vært så åpne og villige til å dele deres erfaringer og perspektiver. Uten deres bidrag ville ikke dette prosjektet vært mulig. Jeg vil også takke dere for den tiden og energien dere har investert i dette prosjektet.

Anders Hetland Austreim

Sammendrag

Drift og vedlikehold på flytende vindmøller er en stor kostnad og utgjør omtrent 20% av kostnaden til en flytende vindmølle gjennom dens levetid. Grunnet at flytende vindmøller er relativt nytt på markedet er det lite informasjon tilgjengelig om hvordan en skal utføre drift og vedlikeholdsoppgaver. Flytende vind er et marked som er i stadig utvikling, og er et satsingsområde i både Norge og flere andre land. I denne oppgaven blir det sett nærmere på hvilke subsea vedlikeholdsarbeid som skal gjennomføres på den nye vindmølleparken Utsira Nord som skal komme i løpet av de neste årene. Det ble også sett på tiden det tar å gjennomføre en slik inspeksjon, for å skape et utgangspunkt til å beregne kostnaden.

Intervjuer med sentrale nøkkelpersoner innenfor havvind, litteratursøk og tett samarbeid med DeepOcean viste til at inspeksjoner for å definere avvik var metoden som ville bli brukt fremfor planlagt vedlikeholdsarbeid. Inspeksjonene skulle brukes til å få en oversikt over komponentene under vann, for å så vurdere om en skulle gjennomføre en reparasjon eller vedlikeholdsarbeid på komponentene. Gjennom intervjuene og litteratursøk var det klart at preventivt vedlikehold ikke var metoden som skulle brukes, men korrektivt vedlikehold. Oppgaven tok derfor en litt annen vending enn planlagt, der det ble laget en sjekklister for inspeksjoner og en tidsplan på hvor lang tid inspeksjon av en vindmølle ville ta fremfor en planlagt vedlikeholdsrutine.

Inspeksjonsintervallene for flytende vindparker ble satt til hvert andre år. Da vil det bli gjennomført en generell visuell inspeksjon av alle komponentene som befinner seg under vann. Dersom en under den generelle inspeksjonen finner avvik vil en måtte vurdere om man skal gjennomføre en mer spesifikk inspeksjon eller en eventuell reparasjon. For å inspisere alle komponentene under vann vil det gå omtrent 62 timer per mølle sett bort ifra mobilisering og demobilisering av utstyret på fartøyet. Dersom en skal utføre inspeksjon på en enkel vindmølle vil dette inkludere mobilisering og demobilisering, og vil koste 5.625.000NOK. Dersom en tar flere vindmøller når båten allerede er ferdig mobilisert på felt, vil det koste 2.583.333NOK per ekstra vindmølle.

Gjennom datainnsamlingen og intervjuene var det tydelig at nye teknologiske løsninger som autonome båter og undervannsdroner ville skape en stor fordel for effektivisering og kostnadseffektivisering for flytende vindparker. Sensorer vil også kunne brukes til å skape en oversikt over tilstanden til komponentene, som kan minimere behovet for visuell inspeksjon.

Abstract

Operation and maintenance of floating wind turbines are a major cost and account for approximately 20% of the cost of a floating wind turbine over its lifetime. Since floating wind turbines are relatively new in the market, there is little information available on how to perform the operation and maintenance of an offshore wind farm. Floating wind is a market that is constantly evolving and is a focus area in Norway as well as in other countries. This assignment looks closer at the subsea maintenance work that needs to be carried out on the new Utsira Nord park that will be completed in the coming years. It also looked at the time it takes to carry out such an inspection in order to establish a basis for calculating the cost.

Interviews with key personnel in the offshore wind industry, literature searches, and close collaboration with DeepOcean indicated that inspections to define deviations would be the method used rather than planned maintenance work. The inspections would be used to provide an overview of the components under water and then assess whether to carry out repairs or maintenance work. The assignment therefore took a slightly different turn than planned, with a checklist for inspections and a time frame for how long an inspection of a wind turbine would take.

Inspection intervals for floating wind parks were set at every two years, during which a general visual inspection of all components located underwater would be carried out. If deviations are found during the general inspection, a more specific inspection or possible repair would need to be considered. To inspect all components underwater, it will take about 62 hours per turbine, excluding mobilization and demobilization of equipment on the vessel. If an inspection is to be carried out on a single wind turbine, this will include mobilization and demobilization and will cost 5.625.000NOK. If multiple wind turbines are taken while the boat is already mobilized in the field, it will cost 2.583.333NOK per additional wind turbine.

Through data collection and interviews, it was clear that new technological solutions such as autonomous boats and underwater drones would create a great advantage for efficiency and cost-effectiveness for floating wind parks. Sensors could also be used so that there is an overview of the condition and then the windfarm can be less dependent on visual inspection.

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon	11
1.1 Problemstilling	12
1.2 Avgrensning	13
1.3 Struktur	13
2. Bakgrunn	14
2.1 Utsira Nord	14
2.2 DeepOcean	15
2.3 Flytere	17
2.3.1 Hovedtypene av flytere	17
2.3.2 Forskjellige flytere på markedet	20
2.3.3 Windfloat Atlantic.....	21
2.4 Forankring	23
2.5 Kabel	24
2.6 Subseastasjon	27
2.7 Undervannsfartøy	28
2.7.1 ROV	28
2.7.2 AID	29
2.7.3 USV	30
2.7.4 AUV	31
2.8 Maritim vedlikehold	31
2.9 Landbaser for Utsira Nord	35
3. Metode	37
3.1 Litteraturstudie/Datainnsamling	37
3.2 Kvalitativ metode	37
3.3 Intervju	38
3.4 Kvantitative data	39
3.5 Excel	39

Vedtatt av dekan 30.09.21

3.6 Analyse av data (fra intervju og litteratur)	40
3.7 Begrensninger/risiko for metode.....	40
4. Analyse	41
4.1 Begrensninger satt av miljøet.....	41
4.2 Budsjetts begrensninger for flytende vindmøller	43
4.3 Intervju	44
4.3.1 Analysering av intervju	45
4.3.2 Oppsummering av intervjuanalyse	48
4.4 Inspeksjoner	49
4.5 Tidsbruk	50
4.6 Kostnadsanalyse	52
5. Resultat.....	53
5.1 Sjekkliste for inspeksjoner	53
5.2 Tidsbruk	56
5.3 Kostnad	58
6. Diskusjon.....	59
7. Konklusjon	62
Referanseliste	64
Appendix.....	69
8.1 Intervjugjennomgang.....	69
8.1.1 Intervju 1 – Drift og vedlikeholds ingeniør	69
8.1.2 Intervju 2 – Operatør for flytende havvind	72
8.1.3 Intervju 3 – Vedlikeholds ingeniør nr.2	75

FIGURLISTE:

Figur 1: Illustrasjon av Utsira Nord feltet [11].....	15
Figur 2: DeepOcean – ROV [12].....	16
Figur 3: Strekkstagsplattform [15].....	17
Figur 4: Spar bøye [15].	18
Figur 5: Halvt nedsenkbar/semisub [15].	18
Figur 6: Illustrasjon av Windfloat Atlantic [23].....	21
Figur 8: Windfloat Atlantiv teknisk tegning [24].	22
Figur 7: Windfloat Atlantic teknisk tegning [24].	22
Figur 9: Illustrasjon av hybrid ankersystem (DeepOcean).	23
Figur 10: Illustrasjon av sugeanke og kjetting.....	24
Figur 11: Inter-array kabel blir dratt opp til mølle [57].	26
Figur 12: Kabelnettverk mellom vindmøllene [57].....	26
Figur 13: Subsea-stasjon [27].	27
Figur 14: DeepOcean ROV (DeepOcean) Figur 15: ROV under inspeksjon [30].....	28
Figur 16 - AID (hentet fra DeepOcean).....	29
Figur 17 - USV (hentet fra DeepOcean).....	30
Figur 18: AUV under kartlegging av havbunn [32].	31
Figur 19: Illustrasjon av Haugaland Næringspark på Gismarvik [39].	35
Figur 20: Illustrasjon av utbyggingsplaner på Husøy [40].	36
Figur 21: Oversikt over Gismarvik, Husøy og Utsira Nord.	36
Figur 22: Kvalitativ vs Kvantitativ intervju [44].	38
Figur 20: Gjennomsnitt vindhastighet Utsira Nord 2021-2022 [50].	41
Figur 21: Historiske data for bølgehøyde Utsira Nord 2020-2021 [52].....	43
Figur 25: Illustrasjon av ankerliner i heksagonmønster.	50
Figur 26: Illustrasjon av Inter-array kabel (Merket i blå).....	51
Figur 27 - Edda Flora (hentet fra DeepOcean)	58

TABELLISTE:

Tabell 1: Ordforklaringer	10
Tabell 2: Fordeler / Ulemper med flytertyper [18].	19
Tabell 3: Flytekonsepter	21
Tabell 4: Windfloat Atlantic spesifikasjoner [24].	22
Tabell 5: Spesifikasjoner inter-array kabel [26].	25
Tabell 6: Spesifikasjoner Eksport kabel [26].	25
Tabell 7: Korrektivt og Preventivt vedlikehold [34].	32
Tabell 8: Signifikant bølgehøyde og vindstyrke for fartøy [18].	42
Tabell 9: Intervjuspørsmål	44
Tabell 10: Intervjuobjekter	45
Tabell 11 - Sjekkliste inter-array kabel [55]	54
Tabell 12 - Sjekkliste oppdriftselementer til kabel [55]	54
Tabell 13 - Sjekkliste flyter konstruksjonen [55]	55
Tabell 14 - Sjekkliste for forankring [55]	55
Tabell 15 - Sjekkliste subsea-stasjon [55]	56
Tabell 16 - Tidsbruk for inspeksjon	57
Tabell 17 - Kostnad for inspeksjon	58

ORDFORKLARINGER:

Utrykk/Forkortelse	Forklaring
AID	Autonom undervannsdrone.
AUV	Autonomous underwater vehicle – autonome undervannsfarkost.
CVI	Close visual inspection.
Flyter	Flytende fundamentet som vindturbinene plasseres på.
GVI	General visual inspection
Hs	Signifikant bølgehøyde, beskriver gjennomsnittshøyden på hver tredje bølge.
LCOE	«levelized cost of electricity» betyr kostnaden for elektrisitetproduksjonen over komponentens levetid.
ROV	Remotely operated vehicle – en undervannsrobot som blir fjernstyrt fra et kontrollrom.
USV	Unmanned surface vehicle
WTG	Wind turbine generator.

Tabell 1: Ordforklaringer

1. Introduksjon

Kostnaden for å drive en flytende vindpark er veldig høy sammenlignet med dens konkurrenter. Gjennom denne oppgaven skal det tas opp temaer om hvordan en skal drifte og vedlikeholde en flytende vindpark som kan brukes til å finne ut hvor en kan effektivisere prosessen, og redusere kostnadene. Flytende havvind er relativt nytt på markedet, som betyr at det finnes mange muligheter for ny og mer effektiv teknologi.

Vindkraft har gjennom historien blitt utnyttet av mennesker til forskjellige formål for å effektivisere hverdagen. Vindmotoren sammen med vannhjulet er en av de eldste formene for å omdanne energi på, og dukket først opp i Persia på 600-tallet [1]. Vindturbiner slik vi kjenner dem i dag består som oftest av tre turbinblader på en horisontal aksel der den kinetiske energien fra vinden blir omdannet til elektrisk energi i en generator inne i maskinhuset [2].

2021 var et rekordår for produksjon av elektrisk energi gjennom vindenergi i forhold til året før. Det var en økning på 17% fra 2020 til 2021, med en total produksjon på 1870.3TWh [3]. Målet for 2030 er en produksjon på 8000TWh, som betyr at det vil være en stor utbygging av vindkraft de neste årene. For å kunne oppnå en produksjon på 8000TWh behøves det store arealer. Flytende vindmøller vil derfor være svært sentralt, da disse åpner opp for bruken av enorme arealer til havs [3]. Installasjoner av vindparker til havs sammenlignet med på land er mer kompliserte, men de har muligheten for å lage større og mer effektive turbiner på grunn av mindre restriksjoner på turbinstørrelse sammenlignet med på land [3]. Flytende parker med vindturbiner vil også fjerne begrensningene på havdybde og åpne opp for store arealer som kan utnyttes for utbygging av parker [3].

Naturvernforbundet har i mange år arbeidet med å stoppe naturødeleggende utbygging av vindkraft. De mener vindkraft vil være ødeleggende for naturen på grunn av betydelige arealinngrep med bygging av veier, skjæringer, utfyllinger, kraftgater og store vindturbiner [4]. Fordelen med å flytte vindturbinene ut på havet vil være at en slipper disse naturinngrepene, og at det åpner opp enorme arealmuligheter for nye vindparker. Ulempene med installasjoner på havet er kostnaden, og hvordan dette vil påvirke dyrelivet under og over vannoverflaten.

I 2022 ble Norges første flytende vindpark tatt i bruk for å forsyne strøm til Gullfaks- og Snorre-feltene i Nordsjøen. Disse 11 turbinene skal stå for 35% av de totale elektriske forbruket for disse to

feltene, som skaper en reduksjon på 200 000 tonn CO₂ hvert år [5]. Flytende vindparker er et relativt ferskt marked, og per dags dato er LCOE verdien veldig høy sammenlignet med andre energikilder. LCOE for flytende vindkraft var i 2021 116,60 øre/kWh som viser at flytende vind er dyrt, sammenlignet med landbasert vindkraft sine 29,94 øre/kWh [6].

Vindmøllenæringen vil møte på nye begrensinger og utfordringer når vindmøllene skal stå til havs kontra å ha de på land. Vindmøllene og flytekonstruksjonene vil være utsatt for store påkjenninger både fra bølger, vind og det saltholdige miljøet. En betydelig andel av levetidskostnadene til en flytende vindpark vil være drift og vedlikeholds oppgavene. Hele 18.9% av levetidskostnadene for en flytende vindpark kommer fra drift og vedlikehold av konstruksjonen [7]. Flere norske aktører ønsker å være konkurransedyktige i markedet for flytende havvind, både på utbygging og vedlikehold av parkene [8]. Norge har en historie rundt olje og gass, og mange store etablerte firmaer har mye kunnskap i området. Dette vil være til stor fordel når de skal inn på flytende havvindmarkedet da metoder for kabellegging, forankring og vedlikehold er sammenlignbare. Leverandørene må være klar over at LCOE verdien er veldig høy for flytende havvind, og teknologiutvikling innenfor drift og vedlikehold vil være avgjørende for å få flytende vind mer profitabelt.

1.1 Problemstilling

Regjeringen har bestemt at de vil legge til rette for utbygging av vindparker på havet i Norge. De har valgt ut to områder for utbygging, Utsira Nord som skal være flytende vindmøller og Sørlige Nordsjø II som skal være bunnfast. Utsira Nord skal lyses ut i første kvartal av 2023 [9]. Innen 2040 skal det deles ut arealer for utbygging av flytende vindkraftverk tilsvarende 30.000 MW i Norge, satsingen vil føre til en industriutvikling, innovasjon og teknologiutvikling innenfor fagfeltet [9].

En betydelig del av kostnadene for en flytende havvindpark er drift og vedlikeholdsfasen. Derfor er tilgjengelighet, avstander og teknologiutvikling sentralt for å minimere kostnadene. Det er betydelig aktivitet når det kommer til utbygging av driftsstasjoner, baser og administrasjonsstasjoner for havvind, som vil bli plassert på land [8]. Utsira Nord som blir brukt som utgangspunkt i denne oppgaven, ligger 12 km fra øyen Utsira i Rogaland. Her vil det være muligheter for å holde driftsstasjonene så lokalt som mulig, for å minimere avstander.

Problemstillingen for oppgaven vil deretter være:

- Hvilke drift og vedlikeholdsoppgaver må gjennomføres på konstruksjonen under vann på en flytende vindpark?
- Hva er kostnadene, og hvordan kan disse reduseres?

Vedtatt av dekan 30.09.21

Grunnet høye drift og vedlikeholds kostnader på en flytende vindpark, vil det være sentralt å se på vedlikeholdsplaner og kostnader for å se etter mulighet til forbedringer og effektiviseringer. LCOE verdien vil i et så ferskt marked være mulig å redusere da teknologien er i stadig endring. En oversikt over hvilke vedlikeholdsoppgaver som må gjennomføres vil skape en god mulighet til å se på hvor og hvordan en kan effektivisere prosesser, og redusere kostnader.

1.2 Avgrensning

Oppgaven vil gjennom intervjuer, litteraturstudie og gjennomgang av eksisterende teori besvare oppgavens problemstilling. Intervjuobjektene vil være personer som jobber innenfor havvind og vil dele sine synspunkter og erfaringer rundt drift og vedlikehold på flytende vindparker.

Vindturbinen har vært på markedet en god stund, og denne oppgaven vil derfor kun se på hvilke drift og vedlikeholdsoppgaver som skal gjøres på komponentene som er i kontakt med vann, det vil si fundamentet (flyteren), anker, forankringsliner, inter-array/strøm kabel og substasjonen. Oppgaven vil ta for seg kun flytende vindmøller. LOCE verdien er høyest for flytende havvind, så det vil derfor være størst behov for nye teknologisk verktøy og effektiviseringer innenfor dette området.

Gjennom oppgaven vil det tas utgangspunkt i Utsira Nord feltet, sammen med DeepOcean sine planer om bruk av flyter, forankring og metoder. Kostnadene vil tas utgangspunkt i Utsira Nord prosjektet, DeepOcean sitt fartøy Edda Freya, samt lokale landbaser i området.

1.3 Struktur

Oppgaven deles inn i:

1. Introduksjon

Introduksjonen tar for seg en kort innføring i det flytende vind-markedet med empiriske data fra fortiden og generelle tanker om fremtiden. Den vil også gå gjennom problemstillingen sammen med avgrensningene satt for oppgaven.

2. Bakgrunn

I kapitlet om bakgrunn vil Utsira Nord prosjektet bli presentert sammen med generell informasjon om området vindparken skal plasseres på. En gjennomgang av DeepOcean sammen med alliansen Windstaller vil bli lagt frem. Relevant informasjon om flytere, vindturbiner, flyter konsepter, og generell gjennomgang om hva drift og vedlikehold for marine strukturer

omhandler. Det vil også bli sett på de forskjellige komponentene som skal vedlikeholdes, samt hjelpemidler som kan bli brukt i denne sammenhengen.

3. Metode

Gjennomgang av hvilke forskningsmetoder som blir brukt for å besvare problemstillingen på en mest relevant måte.

4. Analyse

Her analyseres innsamlet data fra valgte forskningsmetoder, for å kunne besvare problemstillingen.

5. Resultat

Arbeidet som er gjort i analysedelen vil bli omgjort til det endelige resultatet av gjennomføringen av oppgaven i resultatkapittelet.

6. Diskusjon

I diskusjonskapittelet vil resultatet bli diskutert og drøftet for å til slutt konkludere oppgaven.

7. Konklusjon

Konklusjonsdelen legger sammen all innhentet informasjon og konkluderer oppgavens svar på problemstillingen.

2. Bakgrunn

Her vil Utsira Nord prosjektet bli introdusert, med bakgrunnsinformasjon om området. DeepOcean som har forespurt denne oppgaven vil også bli introdusert, sammen med deres allianse Windstaller.

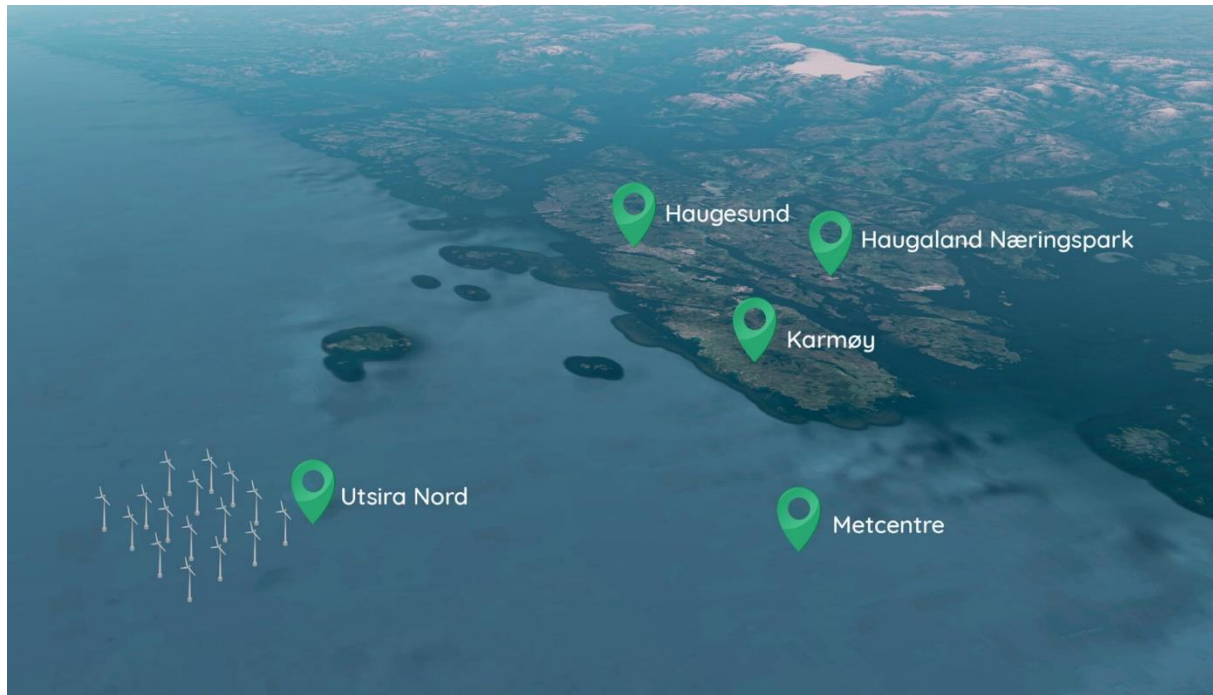
Det vil også bli lagt fram relevant informasjon om flytere, vindturbiner og allerede eksisterende konsepter på markedet. Til slutt blir det en gjennomgang om drift og vedlikehold generelt for marine konstruksjoner.

2.1 Utsira Nord

Utsira Nord prosjektet er et av to store prosjekter som er påtenkt på Norsk sokkel i fremtiden.

Plasseringen av Utsira Nord vil være omtrent 12km fra øyen Utsira i Rogaland, og har et areal på til sammen 1.010 kvadratkilometer [10]. Utsira Nord er åpnet for en kapasitet på 1500MW og skal deles inn i tre konsesjoner med totalt 100 flytende vindmøller, som blir basert på 15MW turbiner. Området

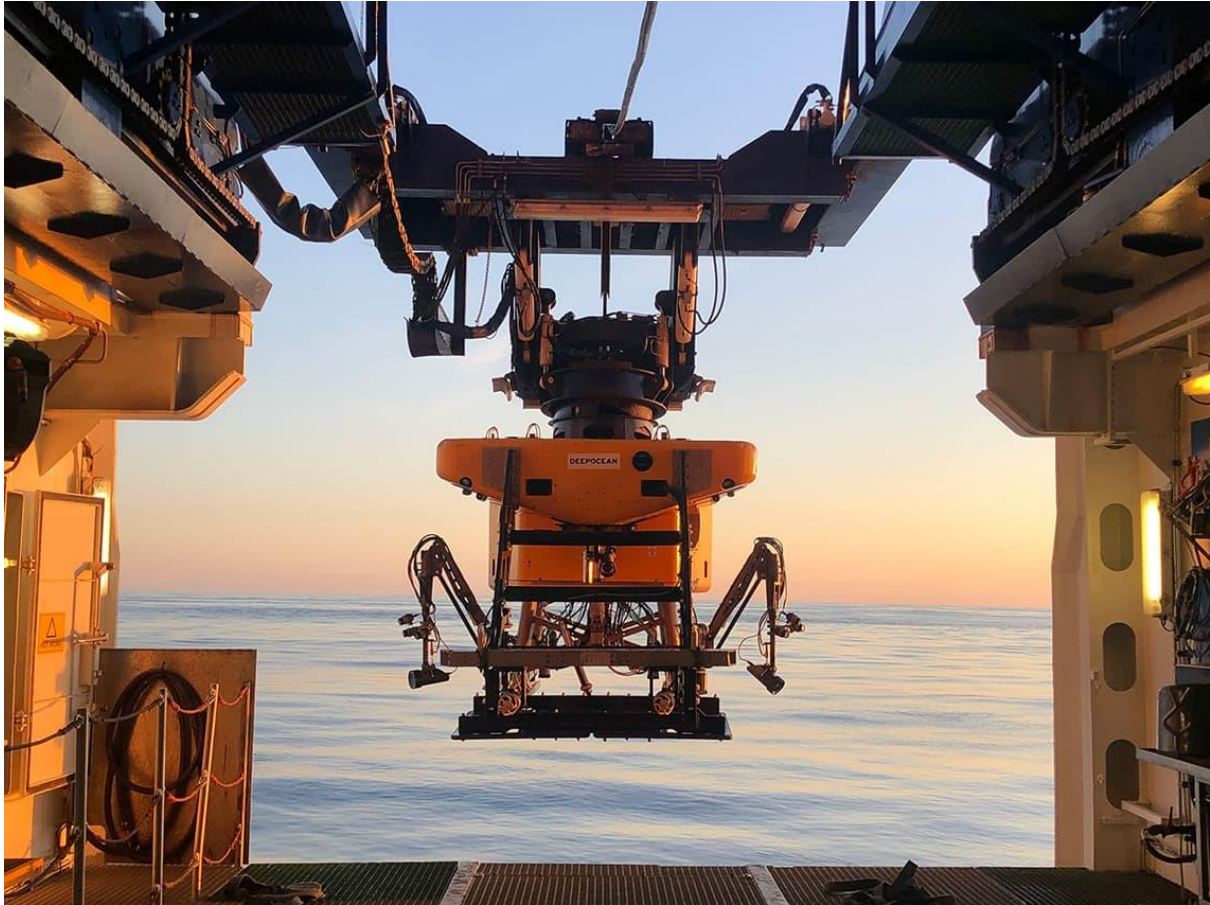
har en gjennomsnittlig dybde på 267meter [9]. Den høye gjennomsnittsdypden gjør at en velger flytende vindpark fremfor fast installasjon.



Figur 1: Illustrasjon av Utsira Nord feltet [11].

2.2 DeepOcean

DeepOcean er en leverandør av offshoretjenester. De opererer innenfor fornybar energi, sjømineraler, og olje og gass næringen. DeepOcean kan utføre en rekke oppgaver innenfor undervannstjenester som inkluderer havbunnskartlegging, havbunnsinstallasjoner, havbunnsinngrep, inspeksjoner, vedlikeholdsoppgaver og kabelinstallasjoner [12]. DeepOcean har en «GOGREEN» holdning som stadig ser etter områder som kan forbedres for å redusere både karbonutslipp og kostnader [12]. Dette gjør de med blant annet å omgjøre fartøyene sine til hybride fartøy, en prosess de allerede er godt i gang med.



Figur 2: DeepOcean – ROV [12].

Deres inngang i vind-industrien åpnet for et nytt marked, og DeepOcean har slått seg sammen med to store aktører Aker Solutions og Solstad Offshore som sammen danner alliansen Windstaller. Windstaller skal være en «One stop shop» for flytende vindkraft, som betyr at de skal være i stand til å levere alle tjenester innenfor utbygging og drifting av en flytende vindpark [13].

Windstaller skal tilby:

- Vedlikehold og modifiseringer
- Ingeniør-tjenester
- Fabrikasjon
- Skipsfartøy
- Undervannstjenester
- Installasjon

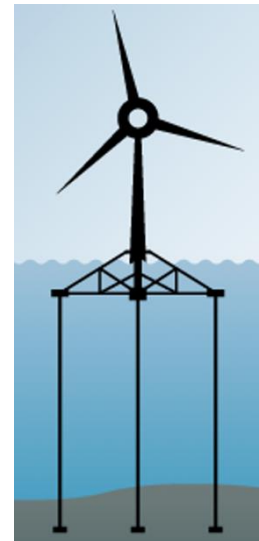
[13].

2.3 Flytere

Omtrent 80% av verdens havvindressurser finnes på havdyp som er større en 60meter [14]. Flytende konstruksjoner i vindmarkedet vil fjerne begrensningen på havdyp, som gjør at disse havvindressursene kan utnyttes i større grad enn før. Det finnes flere typer flytere på markedet. Sparbøyen utnytter tyngdekraften som sørger for god stabilitet. Halvt nedsenkbare flytere utnytter oppdriften, imens strekkstagsplattformer bruker spenningen i forankring systemet [14]. Flyterne er festet til havbunnen ved hjelp av flere forankringslinjer og ankere, mye likt det som blir brukt i flytende olje plattform konstruksjoner [14].

2.3.1 Hovedtypene av flytere

Strekstagplattformen er et konsept som baseres på tre forankringspunkter som holder en triangulær konstruksjon stabil ved å holde de vertikale ankerlinene i spenn. Fordelen med denne er at mesteparten av de vertikale bevegelsene blir eliminert, og den holder sin lokasjon gjennom fortøyingssystemet. Ulempen er at den ikke eliminerer horisontale bevegelser, og dersom en av forankringslinene svikter er det stor sannsynlighet for at konstruksjonen velter. [15].



Figur 3:
Strekstagplattform
[15].

Sparbøyen er en vertikal flytende sylinder med stor diameter med en ballast i bunnen av konstruksjonen. Sparfundamentet blir holdt på plass av forankringslinjer som er festet til enten dregg eller sugeanker. Verdens største flytende vindpark Hywind Tampen bruker disse Sparbøyene. Fordelene med denne konstruksjonen er at den er veldig stabil og kostnadene for forankring er lavere enn strekkstagplattform. Ulempen er at de kan bare brukes på havdyp over 100 meter, og montering av konstruksjonen må mest sannsynlig gjøres offshore på grunn av dens dybde. [16].



Figur 4: Spar bøye [15].

Halvt-nedsenkbar plattform er en flyter som består av flere hule søyler og pongtonger. Søyelene brukes til stabilitet, imens pongtongene gir ekstra oppdrift. Hulrommene inne i konstruksjonen kan bli brukt som ballast, der en fyller de med vann for å få ønsket stabilitet. Tyngdepunktet er over oppdriftssenteret, og stabiliteten oppnås gjennom gjenoppretningsmomentet til søylene. Fortøyning systemet sørger for å holde konstruksjonen på plass, som består av fortøyningslinjer med enten sugeanker eller dregg. Vindturbinen blir plassert enten i midten av flyteelementene, eller på det ene flyteelementet. Ulempen med denne er at den har dårligere grunnleggende stabilitet sammenlignet med Spar og Strekkstagsplattformene. Fordelen er at den kan brukes på et bredt spekter av vanddybder, kostnadene for forankring systemet er lavere, og monteringen av konstruksjonen kan skje på land før en frakter den ut til lokasjonen den skal stå. [16].



Figur 5: Halvt nedsenkbar/semisub [15].

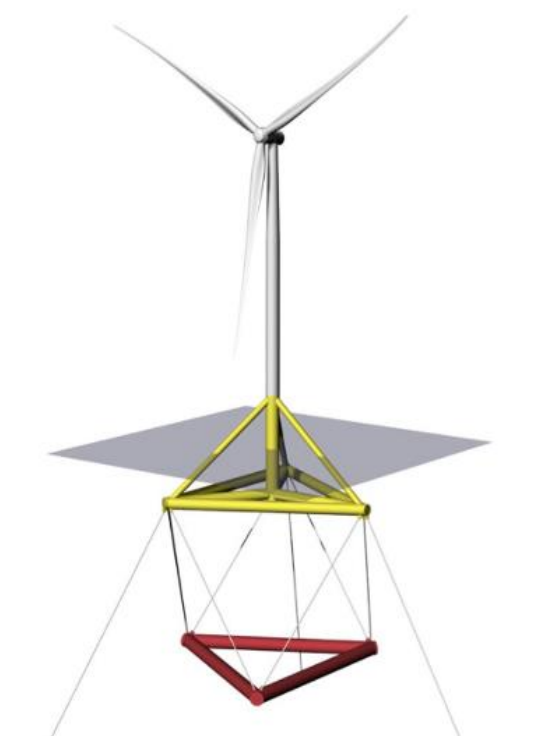

Kilde figur 3-4-5 [17].


Plattform type	Installasjon	Drift og vedlikehold	Avvikling
Strekstags plattform	<p><u>Fordeler:</u> + Kan bli ferdigstilt på land. + Holder posisjonen</p> <p><u>Ulemper:</u> - Komplisert ankersystem. - Lang installeringsstid. - Høy installeringskost. - Skreddersydde lektere. - Store miljøskader.</p>	<p><u>Ulemper:</u> - Vanskelig å koble av, reparasjoner skjer offshore. - Utsatt fortøyningssystem.</p>	<p><u>Ulemper:</u> - Krevende prosess på grunn av komplekst fortøyningssystem. - Vanskelige og ikke utvinnbare peledrevne anker.</p>
Spar bøyen	<p><u>Fordeler:</u> + Stabil</p> <p><u>Ulemper:</u> - Høy konstruksjon gjør tauing komplisert. - Høy installasjonskostnad. - Strammere vær begrensninger. - Avhengig av dypvannskaier</p>	<p><u>Fordeler:</u> + Mye likt som bunnfast vedlikehold.</p> <p><u>Ulemper:</u> - Behøver dypvannskai for reparasjoner.</p>	<p><u>Ulemper:</u> - Behøver skip for tunge løft. - Må bli avviklet delvis i dypt vann.</p>
Halvt nedsenkbar plattform	<p><u>Fordeler:</u> + Enkel installasjon. + Ferdigstilling på land. + Billigere anker og fortøyning system. + Kort og billig installasjonsprosess.</p> <p><u>Ulemper:</u> - Mer sensitiv til bølger under tauing.</p>	<p><u>Fordeler:</u> + Enkel frakopling fra fortøyningssystemet. + Kan enkelt taues til land for reparasjoner. + Ingen skip for tunge løft behøves. + Helikopter tilgang.</p> <p><u>Ulemper:</u> - Dårligere grunnleggende stabilitet</p>	<p><u>Fordeler:</u> + Kan bli i sin helhet tauet tilbake til land for demontering. + Ingen skip for tunge løft behøves.</p>

Tabell 2: Fordeler / Ulemper med flytertyper [18].

2.3.2 Forskjellige flytere på markedet

I tabell 3 er det en oversikt over tre forskjellige konsepter av forskjellig design innenfor flytende havvindskonstruksjoner.

Navn	Informasjon	Illustrasjon av konstruksjonen
Tetraspar	<ul style="list-style-type: none">• Design: Stiesdal• Type flyter: Spar• Material: Stål• Vanndybde: 100-1000m• Forankring: 3stk ploganker med kjetting• Dimensjoner: Høyde - 80m Bredde - 67m <p>Kilde: [19]</p>	
Hywind	<ul style="list-style-type: none">• Design: Equinor• Type flyter: Spar• Material: Betong eller stål• Vanndybde: 75-300m• Dimensjoner: Høyde - 91m Bredde - 14.7m <p>Kilde: [20]</p>	

Hexicon	<ul style="list-style-type: none"> • Design: Hexicon • Type flyter: Multi oppdriftselementer • Material: Stål • Dimensjoner: Høyde: 77m Bredde: 204m <p>Kilde: [21]</p>	
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Tabell 3: Flytekonsepter

2.3.3 Windfloat Atlantic

DeepOcean har brukt flyteren Windfloat Atlantic som utgangspunkt for Utsira Nord prosjektet. Windfloat Atlantic er en halvt-nedsenkbar flyter som baserer seg på en oppdriftsstabilisert flytende turbinplattform. Den består av tre søyler/flyteelementer som er koblet sammen med fagverk av stål. Flyteren kan bli utplassert i havet der dybden er dypere enn 40meter. Den blir forankret til havbunnen gjennom forankringslinjer og anker. På Utsira Nord prosjektet skal det brukes sugeanker, da bunnen består for det meste av sand. Windfloat Atlantic har et enkelt og kostnadseffektivt design, som skal tåle bølger opp til 18meter, og vindkast på 100km/t. [22].

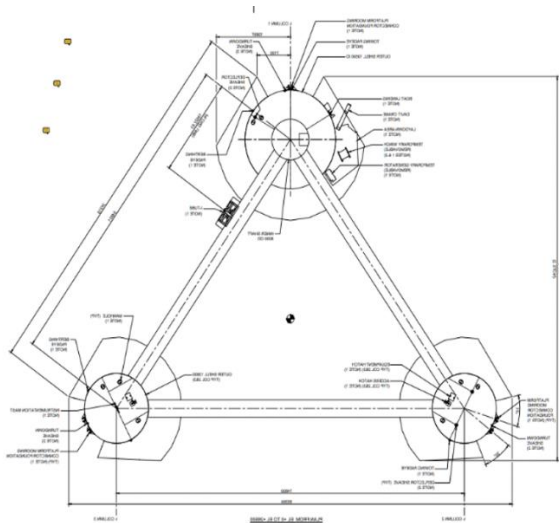


Figur 6: Illustrasjon av Windfloat Atlantic [23].

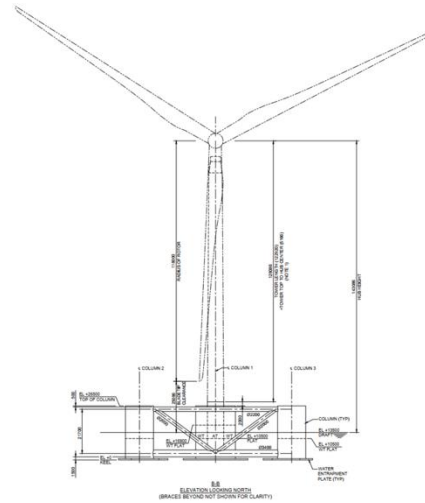
Vedtatt av dekan 30.09.21

Spesifikasjoner for Windfloat Atlantic:

- Tre flyteelementer med interne volum for ballast
- Fagverk av stål for å koble sammen flyteelementene
- Tårn til vindturbinen montert på toppen av det ene flyteelementet
- En turbinrotor med tre turbinblader koblet horisontalt på toppen av tårnet



Figur 8: Windfloat Atlantic teknisk tegning [24].



Figur 7: Windfloat Atlantic teknisk tegning [24].

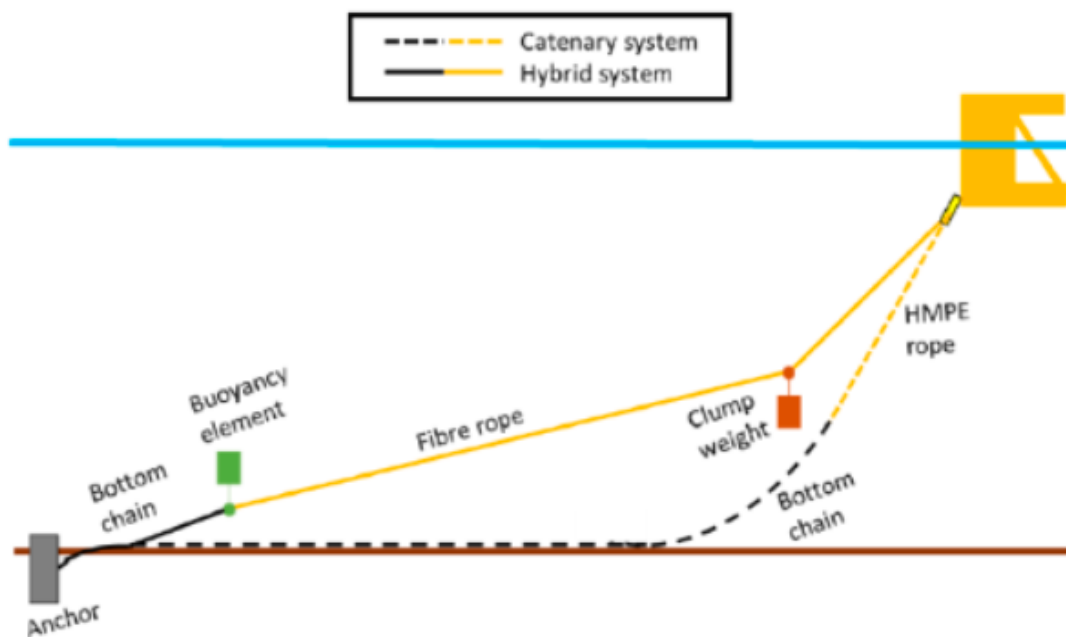
Beskrivelse	Verdi	Enhet	
Primært stål vekt	Flyter 1	1290	Te
	Flyter 2/3 (per stk)	535	Te
	Fagverk	1285	Te
	Total	3646	Te
Total vekt inkludert WTG og ballast	Omtrent: 10,000	Te	
Senter av tyngdekraften (X, Y, Z)	7.2/ 0.0/ 29.9	m	
Operasjonell høyde	13.5	m	

Tabell 4: Windfloat Atlantic spesifikasjoner [24].

2.4 Forankring

Windfloat Atlantic er gjennom designvariabler, konfigurasjoner og dimensjonering konstruert til å ha en iboende stabil ytelse der forankringen er kun for å holde sin plassering. Denne løsningen gjør at en kan bruke en enkel og lite kostbar fortøyning struktur med seks kjettinger som er festet i foretrukket anker [24]. Det vil minimere fotavtrykket til strukturen på havbunnen. De lave kravene til forspenning og ankerkapasitet gjør også at en minimerer installasjonskompleksiteten og fartøyets kapasitet [24].

DeepOcean har sett på et hybridssystem mellom bruk av anker og fibertau til deres prosjekt. Hybridsystemet er markert med hel linje på figur 9. På figuren nedenfor er det illustrert hvordan et slikt hybridssystem brukes. Her vil en kjetting være festet til selve ankeret, og kobles over til et fibertau som går til flyteren. Fibertauet blir holdt over bakken med et oppdriftselement for å hindre slitasje, og et lodd lengre oppe brukes for å stramme opp forankringslinen.



Figur 9: Illustrasjon av hybrid ankersystem (DeepOcean).

På Utsira Nord prosjektet har inspeksjoner vist at havbunnen under det påtenkte anlegget består av sand. På sandbunn vil sugeanker være mest vanlig å bruke. Sugeankerene vil bli montert først, sammen med forankringslinen som blir holdt i overflaten med oppdriftselementer. Når all forankring og kjetting er på plass vil ferdig turbin på flyter bli fraktet ut og koblet opp mot forankringslinene.

Et suganker er en bøtteformet konstruksjon som senkes ned på havbunnen med den åpne delen ned mot sanden. Den vil så skapes et undertrykk inne i bøtteformen ved å pumpe vann ut av ankeret ved at en ROV kobler seg på toppen og suger ut vannet, der undertrykket fester ankeret til havbunnen. Etter installasjonen vil dette ankeret tåle store belastninger både horisontalt og vertikalt. [25]. Hvilke dimensjoner sugankeret må ha kommer an på hvor store krefter ankeret må tåle for å holde konstruksjonen på plass, det samme gjelder for kjettingen.



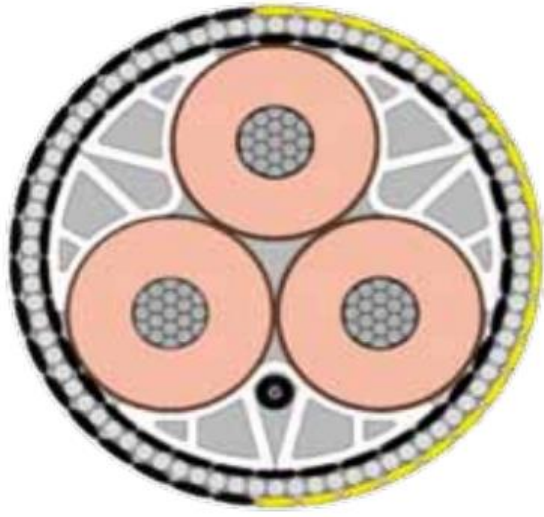
Figur 10: Illustrasjon av suganker og kjetting

2.5 Kabel


Mellom vindturbinene vil det gå strømførende kabler, muligens med optisk fiber i. Lederen i kabelen vil bestå av kobber eller aluminium. Disse kablene vil være en sentral del av DeepOcean sin jobb på feltet, både ved monteringsfasen og i drift- og vedlikeholdsfasen. Det behøves inter-array kabler for å koble sammen alle vindturbinene som avslutningsvis skal fraktes til en export kabel som går videre til land. I tabellene nedenfor er det en oversikt over typiske kabler som blir brukt.

66kV inter-array kabel designet for offshore vind	
Leder	Kobber eller aluminium
Leder skjerming	Ekstrudert halvledende sammensetting
Isolasjon skjerming	Ekstrudert halvledende sammensetting
Skjerming	Individuell Cu-tape skjerming på hver fase
Fiber optisk enhet	Opptil 3 fiberoptiske enheter med metallrør
Opplegg	Tre hoved kjerner lagt opp med ekstruderte fyllstoffer
Avstivings material	Polypropylen

Vedtatt av dekan 30.09.21

Ytre beskyttelse	Polypropylen i utvalgte farger
Armering	Et lag galvanisert ståltråder, med bitumen
Illustrasjon	

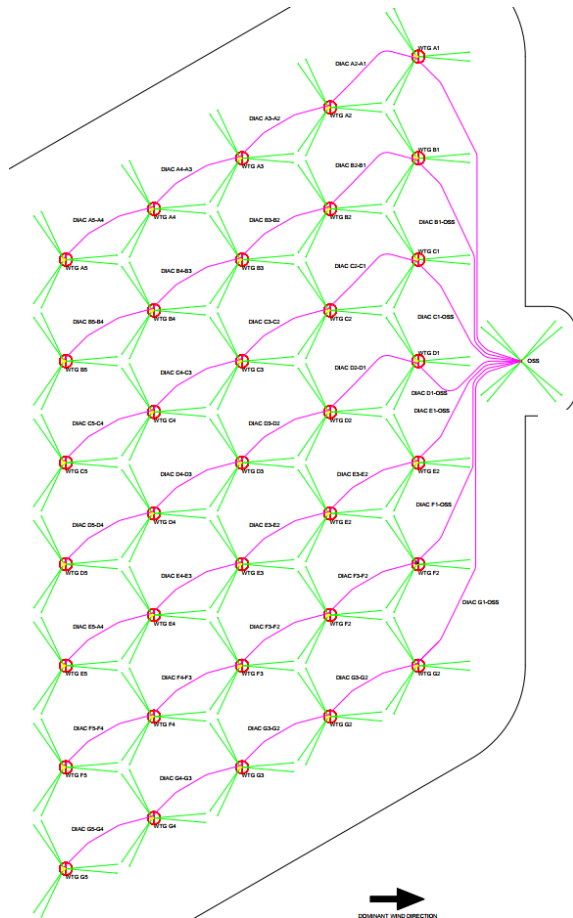
Tabell 5: Spesifikasjoner inter-array kabel [26].

400kV eksportkabel designet for offshore vind	
1.	Leder (Aluminium eller kobber)
2.	Indre halvledende lag
3.	XLPE isolasjon
4.	Ytre halvledende lag
5.	Vannrett tape
6.	Gasstett belegg
7.	PE belegg
8.	Fiberoptisk kabel
9.	PE material (fyllemateriale)
10.	Beskyttelsesbelegg i polypropylen
11.	Armering
12.	Ytterlag
Illustrasjon	

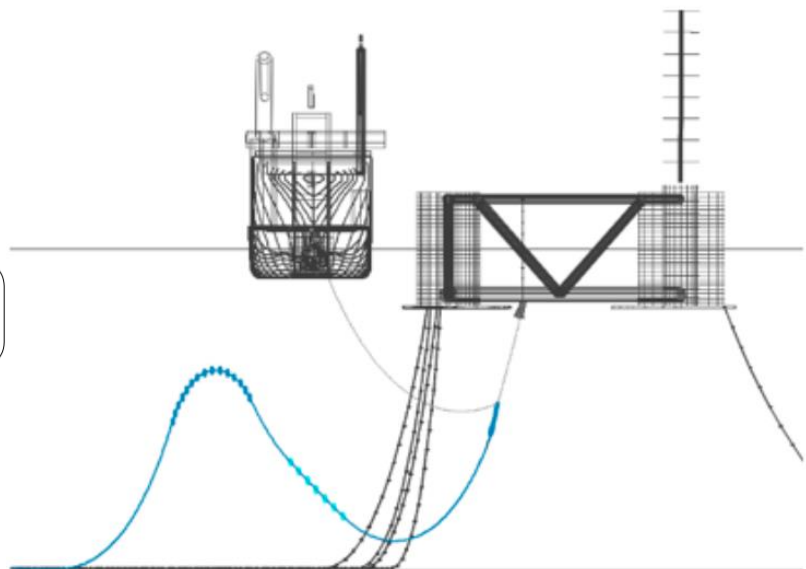
Tabell 6: Spesifikasjoner Eksport kabel [26].

Disse kablene vil sammen danne et nettverk slik en ser på figur 12 under, dette er en illustrasjon på et opplegg for en 500MW flytende vindpark. For å forhindre mest mulig slitasje på kablene vil disse

bli nedgrav i havbunnen, også kalt «trenching» på engelsk. Endepunktene til inter-array kablene blir holdt oppe av oppdriftselementer. Grunnen til at oppdriftselementer blir brukt er for at de skaper en form for fjæring for kabelen slik at bevegelsene i kabelen reduseres og skaper en mindre sannsynlighet for utmattelse eller brudd på kabel. Dette er illustrert på figur 11, der ser man hvordan inter-array (markert i blå) kablene blir lagt mellom de flytende vindturbinene.



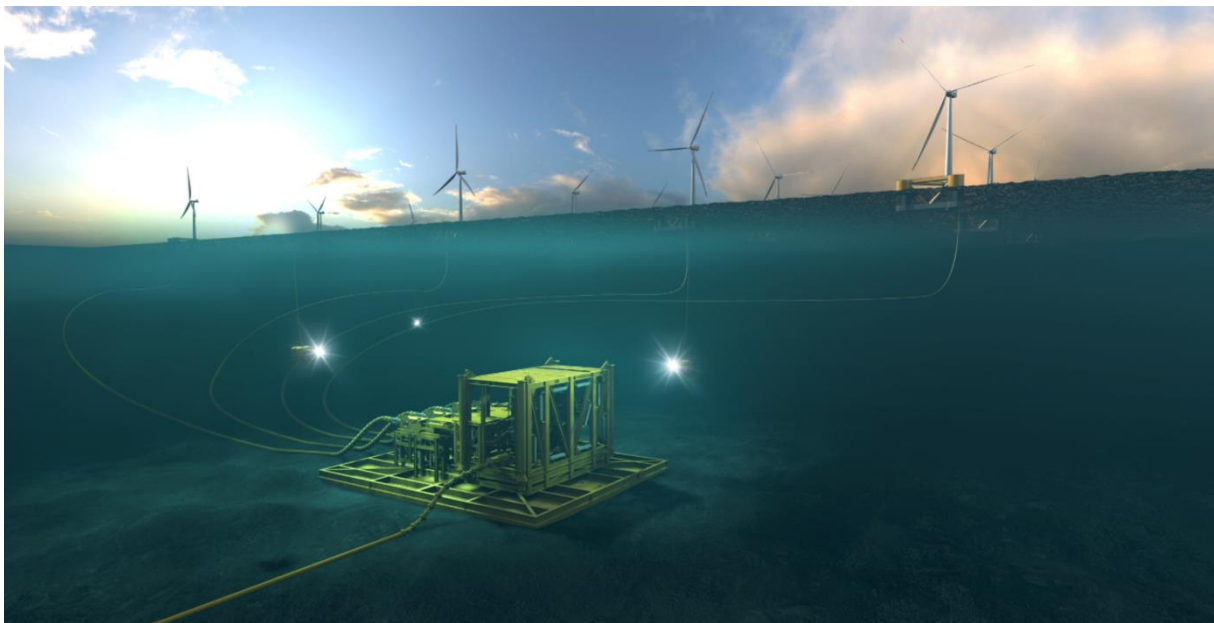
Figur 12: Kabelnettverk mellom vindmøllene [57].



Figur 11: Inter-array kabel blir dratt opp til mølle [57].

2.6 Subseastasjon

En substasjon er en transformator som skal plasseres på havbunnen. Inter-array kablene som går fra vindmøllene vil gå ned til substasjonen, og inne i substasjonen vil strømmen bli transformert før den sendes videre til land via en eksport kabel. Aker Solutions holder på å utvikle en ny versjon av denne, med teknologi hentet fra olje og gass næringen. Den nye substasjonen skal være vedlikeholdsfri i 30år [27].



Figur 13: Subsea-stasjon [27].

2.7 Undervannsfartøy

Undervannsfartøy er brukt i havindustrien som en erstatning av dykkere, særlig under store dyp. Disse undervannsfartøyene blir brukt til forskjellige oppgaver som skanning av havbunn, vedlikeholdsoppgaver og inspeksjoner [28].

2.7.1 ROV

De fleste industrier som arbeider med undervannsoperasjoner vil ha nytte av undervannsrobot såkalt ROV. En ROV består som regel av en undervannsrobot som er utstyrt med verktøy for ønsket bruksområdet. [29]. De opererer under vann og blir fjernstyrt fra et kontrollrom som er plassert enten på land, båt eller en plattform. ROV-ene vil ha mange nyttige bruksområder for offshore-næringen, som inspeksjon, vedlikehold, prøvetaking, kartlegging og driftsoperasjoner.



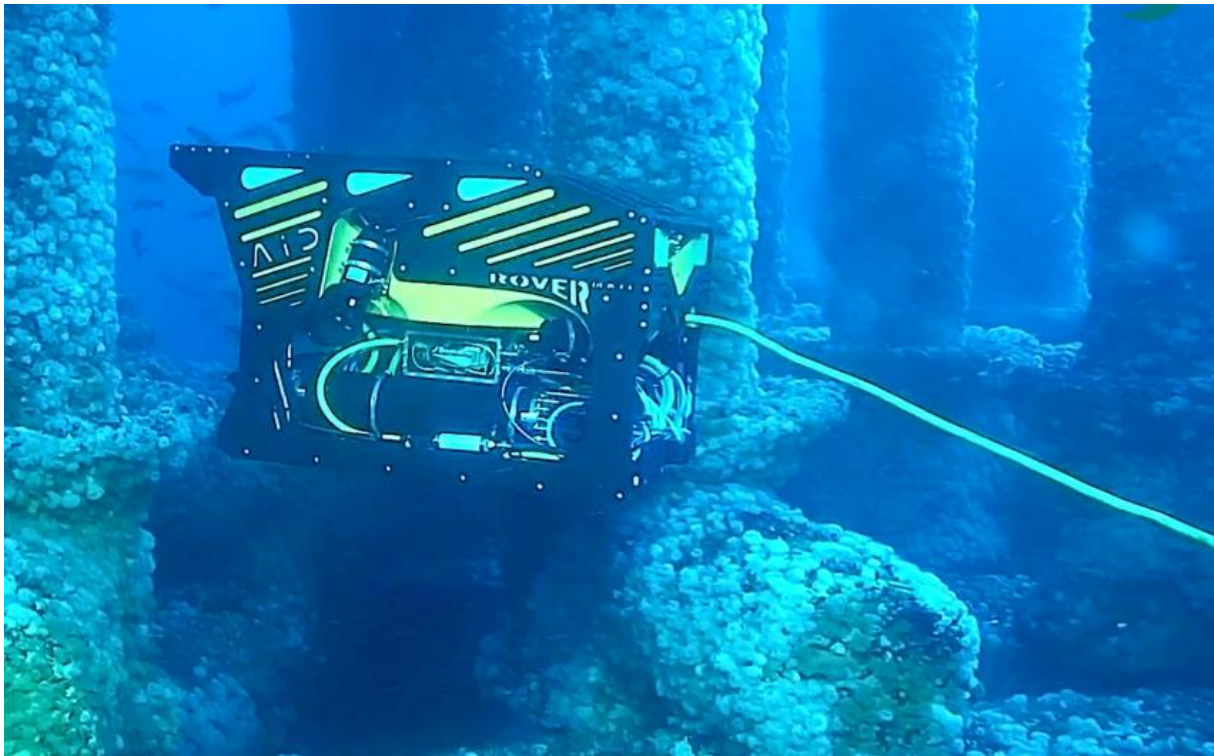
Figur 14: DeepOcean ROV (DeepOcean)



Figur 15: ROV under inspeksjon [30].

2.7.2 AID

AID eller «autonomous inspection drone» er en undervannsdroner med et preinstallert inspeksjonsmønster. Dronen vil gå en rute som er forhåndsbestemt, uten at en trenger en pilot for å føre dronen. Dette vil være svært kostnadsbesparende på grunn av at en slipper å være avhengig av personell til inspeksjoner. Denne dronen kan bli sendt ut fra en båt eller en offshorrestasjon og gå over utvalgte komponenter å sende bildene tilbake til land. Ved bruk av en slik AID vil også kompleksiteten for å gjennomføre inspeksjoner minskes betraktelig.



Figur 16 - AID (hentet fra DeepOcean)

2.7.3 USV

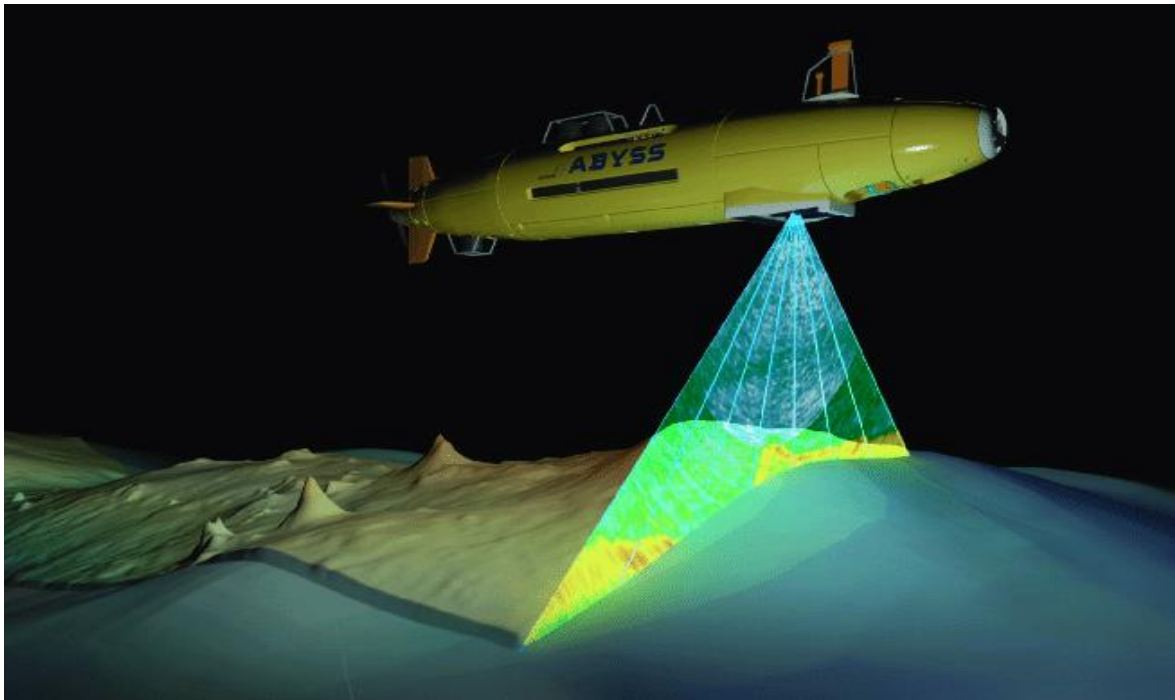
USV som står for “unmanned surface vehicle” er en nyskaping på markedet og skal være en av flere måter for å redusere kostnadene for havvindparker. Denne ubemannede båten skal kunne kjøres ut til feltene for å foreta seg enkle vedlikehold og inspeksjonsoppgaver. USVen vil bli styrt fra en base på land, og inneholde ROVer og droner for inspeksjon over og under vannoverflaten. Denne vil være betraktelig mindre sammenlignet med andre fartøy som blir brukt offshore. Dagsratene på de andre store båtene vil gjøre at en USV vil være mye mer lønnsomt å bruke.



Figur 17 - USV (hentet fra DeepOcean)

2.7.4 AUV

AUV er også en form for undervannsrobot som blir brukt i offshore-næringen. En AUV er en autonom undervannsfarkost som betyr at den er selvgående og blir ikke styrt av en person, men blir programmert til å operere innenfor et bestemt område. AUV brukes som regel til undervannsundersøkelser, kartlegging og inspeksjoner [31].



Figur 18: AUV under kartlegging av havbunn [32].

2.8 Maritim vedlikehold

Vedlikehold er arbeidet som omfatter tiltak som blir gjennomført for å bevare noe eller holde det i fungerende og fullverdig tilstand. Vedlikehold kan inneholde funksjonskontroll, service, reparasjoner og utskifting av nødvendige enheter. Vi skiller mellom preventivt og korrektivt vedlikehold. [33].

Korrektivt vedlikehold er en metode for vedlikeholdsarbeid der en lar komponentene gå helt til de svikter, og blir deretter byttet ut. Preventivt vedlikehold er på den andre siden en vedlikeholds metode som bruker tidsintervaller eller tilstanden på en komponent for å bestemme når en skal utføre vedlikeholdsarbeid. Preventivt vedlikehold baserer seg på at en vil at komponenten skal vare

lengst mulig, og dersom vedlikeholdsarbeidet forlenger levetiden og er kostnadseffektivt vil dette være gunstig.

Korrektivt vedlikehold			Preventivt vedlikehold		
Umiddelbar (med forbehold om tilgjengelighet)	Utsatte (utsatt på grunn av mangel på ressurser)	Uberegnelig (tar fordel av at vedlikeholdsoppgaver kan gjennomføres i takt med andre oppgaver)	Periodevis (tidsintervaller)	Prediktivt (baseres på tilstanden til komponenten)	Proaktivt (vedlikeholde for å forhindre svikt, modelldrevet)

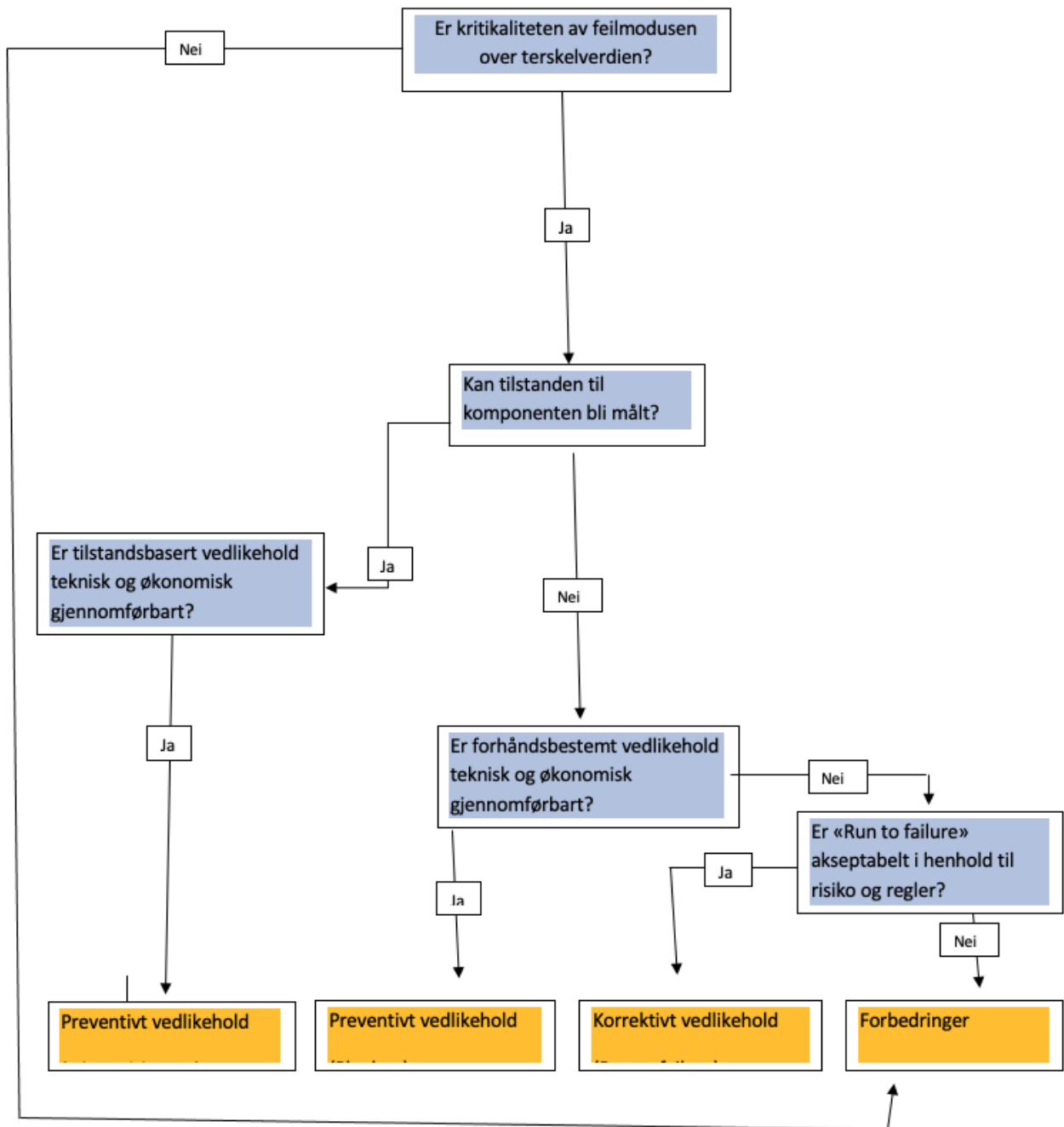
Tabell 7: Korrektivt og Preventivt vedlikehold [34].

I takt med vedlikeholdet vil det være nødvendig med overvåking og inspeksjoner av komponentene. For å kunne spare på kostnader, kan eventuelle inspeksjoner bli gjennomført når vedlikeholds fartøyene først er ute på felt og skal gjennomføre preventivt vedlikehold [35].

Maritime miljø setter begrensninger på tilgjengeligheten på grunn av vind, bølger, og havdypet. Mange av de samme utfordringene rundt vedlikehold på offshore plattformer vil kunne sammenlignes med vedlikeholdsarbeid på flytende vindturbiner. Omgivelsene i maritime miljø har også en naturlig forekomst av saltvann, som fungerer etsende på metaller og skaper korrosjon. På grunn av avstander og begrenset tilgang vil maritimt vedlikeholdsarbeid møte på utfordringer når det kommer til kostnad, effektivitet og HMS. Derfor er det viktig med nøye planlagte vedlikeholds strategier der en bruker all kunnskap og kompetanse for å gjennomføre oppgavene på best og tryggest mulig måte [36].

Flytende havvind er enda i startfasen, derfor vil en gjennom observasjon av de allerede eksisterende havvindparkene kunne tilegne seg kunnskap som kan bidra til en effektivisering av drift og vedlikehold. Kostnaden av drift og vedlikeholds oppgavene vil påvirkes av hvor pålitelige systemene som blir brukt er, overvåkningssystemene, kvalitet på flyter, elektriske komponenter og ankersystemene [18].

Hvordan velge mellom korrektiv eller preventivt vedlikehold:



Kilde: [37]

Specialist Services Redguard har nevnt noen generelle tips for offshore vedlikeholdsarbeid:

1. Følg opp med planlagte undersøkelser og inspeksjoner

Et godt vedlikeholdsprogram innebærer at en jevnlig analyserer og inspiserer utsatte områder av konstruksjonen. Oppfølgingen vil bidra med å forutse problemer, og stanse dem før de oppstår. Nedetiden vil da reduseres, og en vil holde driftskostnadene nede.

2. Ha tilgjengelig reservedeler for offshore vedlikeholdsoppgaver

Det er viktig å ha lagret reservedeler som kan tas i bruk når det behøves. Uforutsette hendelser vil alltid skje, og da er det viktig å ha rask tilgang på deler for å sikre kort nedetid.

3. Kontroll over hvilke egenskaper malingen og belegget som brukes har

Det kommer stadig nye krav til beleggene og malingen som brukes på offshore strukturer. Malingen blir brukt for å hindre korrosjon, og har også krav på å være så miljøvennlig som mulig.

4. Være forberedt på nød reparasjoner offshore

Nød reparasjoner er noe en vil unngå i størst mulig grad, men når det forekommer er det viktig å ha personell til stede for å reparere før skaden utvikler seg og forhindre lange nedetider. Det er da viktig med en handlingsplan for slike tilfeller.

5. Utbytting av utslitte komponenter

Det vil oppstå komponenter som etter sin brukperiode vil være mer økonomisk og effektivt å bytte ut enn å fortsette vedlikeholdsarbeidet.

6. Redusere kostnadene av reparasjoner

Kostnader for reparasjoner på offshore strukturer er store, derfor er det viktig å investere tid i et forebyggende vedlikeholdsprogram for å forhindre dyre reparasjoner.

For offshore strukturer, om det er en plattform eller flytende vindturbiner vil det være sentralt å holde strukturen i optimal tilstand for å holde produksjonseffektiviteten så høy som mulig. På grunn av miljøet de opererer i vil de være utsatt for et bredt spekter av slitasje, bland annet korrosjon og mekaniske krefter. Viktigheten av en god vedlikehold-strategi vil derfor være stor, for å forbedre strukturenes levetid samt produktiviteten. [38].

2.9 Landbaser for Utsira Nord

For drift og vedlikeholdsoppgaver for Utsira Nord prosjektet vil det være kostnadsbesparende å bruke lokal base for oppbevaring av reservedeler og mobilisering stasjon for båtene. Derfor er det blitt nevnt blant annet Gismarvik og Husøy som eventuelle lokasjoner for både bygging og oppbevaring av reservedeler for vindparken på Utsira Nord. Korte avstander mellom vindpark og delelager vil kunne være en påvirkningsfaktor for kostnadene. Lokale landbaser kan være en av flere muligheter for å redusere LCOE verdien for flytende vind.

Haugaland Næringspark i Gismarvik har Norges største industrielle områder, store havneanlegg og dypvannskai. Dypvannskaien er 110m, med en dybde på 16.5m. Det er planlagt videre utbygging av 900m til med kaiområde. Denne lokasjonen kan bli brukt til oppbevaring av reservedeler og base for drift og vedlikeholdsarbeidet for Utsira Nord. [39].



Figur 19: Illustrasjon av Haugaland Næringspark på Gismarvik [39].

Husøy er en øy på Karmøy der flere forskjellige industrielle firma har base. De har nylig kommet med at de skal investere 1500 millioner NOK for å utvikle og utvide øyen enda mer. De skal ha en total kai på 1600m, der 230m vil være dypvannskai. Dette området kan også brukes for oppbevaring av reservedeler, og base for vedlikeholds stasjonen.

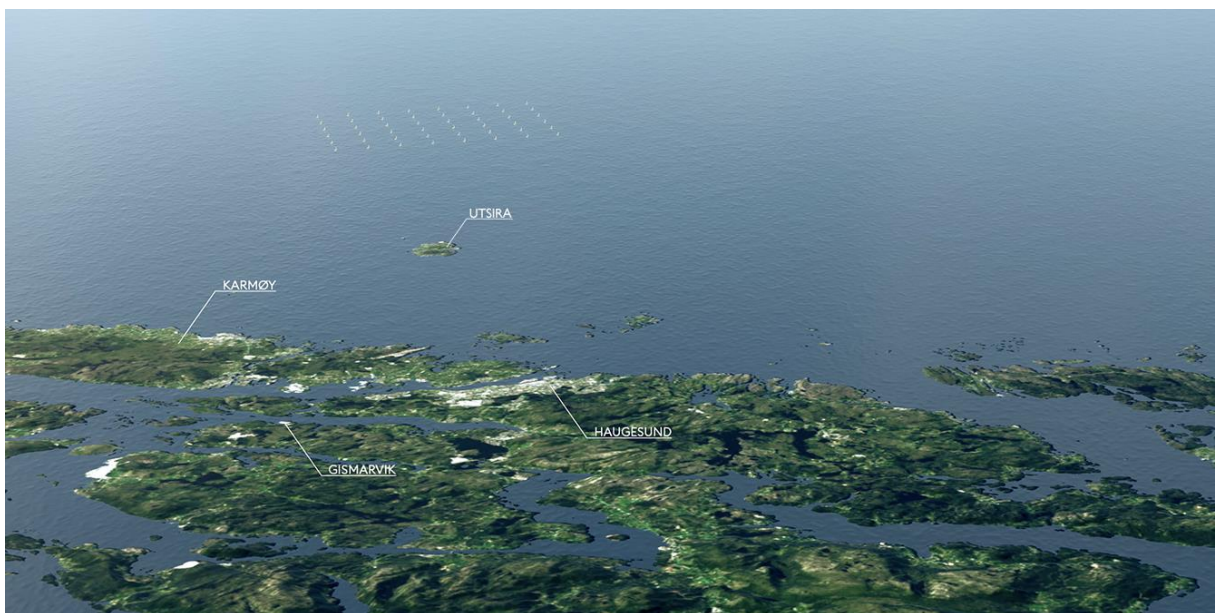
Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet



Figur 20: Illustrasjon av utbyggingsplaner på Husøy [40].

I bildet under ser man en illustrasjon over avstanden fra både Husøy (Karmøy) og Gismarvik til Utsira Nord prosjektet. Kostnadene for leie av områdene er enda usikre da både Husøy og Gismarvik er under planleggingsfasen når det kommer til flytende havvind.



Figur 21: Oversikt over Gismarvik, Husøy og Utsira Nord.

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

3. Metode

Oppgavens problemstilling har blitt besvart gjennom litteraturstudie og datainnsamling fra tidligere drift og vedlikeholds regimer. Data fra DeepOcean har også vært til stor hjelp, da de stadig jobber med anbud og kontraktinngåelser for flytende havvind. Intervju ble brukt for å få innsyn i hvordan tiltenkt vedlikehold vil bli gjennomført av forskjellige aktører, og for å konkretisere særlig viktige drift og vedlikeholdsoppgaver. For å lage en oversikt over resultatene med vedlikehold regime og kostnadsestimat ble det brukt Excel.

3.1 Litteraturstudie/Datainnsamling

Datainnsamling er prosessen med å samle inn data, informasjon eller andre variabler av interesse på en måte som gjør det mulig å besvare en problemstilling. Hovedmålet er å samle inn relevante og pålitelige data som kan føre til troverdige analyser og resultat [41]. Hensikten med å gjennomføre litteratursøk er å systematisk gå gjennom tilgjengelig litteratur for å identifisere den mest relevante informasjonen for å besvare problemstillingen.

For å få besvare problemstillingen har eksisterende vedlikeholds regimer blitt brukt som utgangspunkt. Det finnes allerede flere aktører som har laget vedlikeholdsoppgaver for flytende havvind. Disse dataene har blitt samlet sammen for å lage et mest mulig relevant vedlikeholds regime tilpasset Utsira Nord prosjektet. Kostnaden for utførelsen av vedlikeholdsoppgavene har også blitt satt opp ut ifra litteratursøk og arbeid i samarbeid med DeepOcean og deres kunnskap og erfaring om kostnadsestimering. Det å få sitte på kontoret til DeepOcean har vært til stor hjelp for å få tilgang på dokumenter som relaterer seg til oppgaven, og ikke minst dialog med erfarne personer.

3.2 Kvalitativ metode

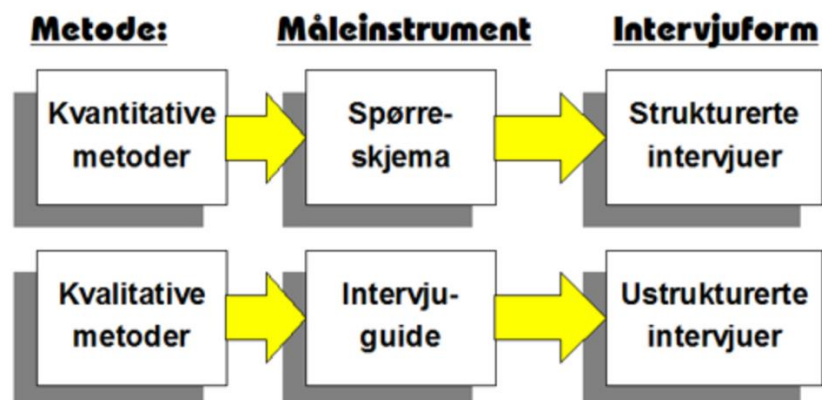
Kvalitativ metode er en forskningsmetode som blir brukt til innsamling og analyse av kvalitative data. Kvalitative data foreligger som regel i form av tekst, i motsetning til kvantitativ data som uttrykkes som tall. Metodene som blir brukt for innsamling av kvalitative data er observasjoner, intervjuer eller kvalitativ innholdsanalyse [42].

I denne oppgaven er den kvalitative innsamlingen intervjuer med sentrale personer innenfor flytende havvind, som har erfaring og kompetanse innenfor problemstillingens tema. Her må forskeren ta utgangspunkt i intervjuobjektens syn på problemstillingen. Resultatet er basert på forskeren tolkning av intervjuobjektens utsagn for å fremskaffe et mest mulig signifikant svar på de forhåndsbestemte spørsmålene.

3.3 Intervju

«Intervju er en samtale der en part innhenter informasjon fra en annen part. Den som leder samtalen kalles intervjuer. Den som svarer kalles intervjuobjekt. Intervjuet er både en arbeidsmetode og en sjanger og ulike profesjoner bruker intervjuer på forskjellige måter.» [43]

Problemstillingen innebærer å identifisere hvilke undervanns drift og vedlikeholdsoppgaver som gjennomføres, samt hvor ofte. Et semistrukturert intervju er et intervju der alle objektene vil få samme overordnede spørsmål, men kan få forskjellige oppfølgingsspørsmål. Dette gjør at dersom de forskjellige intervjuobjektene sitter med ulike kompetanse og meninger kan dette fås frem gjennom oppfølgingsspørsmålene som ikke er planlagt på forhånd. Semistrukturert intervju skaper en god flyt i intervjuet, og ved gode forberedelser vil intervjuet virke profesjonelt og trygt for intervjuobjektet.



Figur 22: Kvalitativ vs Kvantitativ intervju [44].

Semistrukturert intervjuform ble brukt for å få svar på spørsmål som vil understøtte resultatene i oppgaven [45]. Det ble brukt kvalitativ metode for intervjuet, som skaper et ustrukturert intervju. Intervjuformen gjorde at intervjuobjektene fikk belyse sine meninger om fremtiden innenfor drift og vedlikehold, samt kostnader av flytende vindparker. Hovedtemaet rundt problemstillingen ble holdt

så og si gjennom hele intervjuet, men med noen avsporinger om andre temaer. Det ble lagt mye tid ned i spørsmålene for å sikre seg at riktig informasjon kom ut av intervjuene. På grunn av at spørsmålene som ble delt ut trenger forberedelser, fikk intervjuobjektene tilsendt spørsmålene i forkant av intervjuet. Når det kommer til hvordan intervjuobjektene ser på fremtiden innenfor drift, vedlikehold og kostnader var det forskjellige synspunkter. Derfor var det svært nyttig med et semistrukturert intervju for å fange opp intervjuobjektene forskjellige meninger rundt problemstillingen gjennom forskjellige oppfølgingsspørsmål.

3.4 Kvantitative data

Kvantitativ metode er en forskningsmetode som blir brukt under innsamling av kvantitative data, som foreligger i form av tall og andre mengdetermer [46]. Metoder brukt for innsamling av kvantitative data er ofte i form av data-analyse som setter opp informasjonen i tabeller for å få oversikt og kunne sammenligne og analysere dataen. Reliabiliteten er et uttrykk som brukes for hvor pålitelig data en samler inn er, og hvor nøyaktig datainnsamlingen er foretatt [46].

Resultatene er også basert på kvantitative data som tidligere vedlikeholds intervaller, kostnadsanalyser og inspeksjonsintervaller. En kombinasjon av DeepOcean sine tidligere drift og vedlikeholdsoppdrag og intervjuer med sentrale personer, skapte grunnlaget for resultatene i oppgaven.

3.5 Excel

Når dataen var samlet inn ble de plottet inn i Excel, som er et program som baserer seg på regneark der en kan utføre beregninger, analysere informasjon og behandle tabeller og talldata. [47]. Dette ga en god oversikt over intervallene og kostnadene for drift og vedlikeholdsoppgaver. Det gjorde også at det var enklere å sammenligne de forskjellige intervallene og kostnadene opp mot hverandre.

3.6 Analyse av data (fra intervju og litteratur)

Analysedelen av oppgaven er basert på allerede eksisterende vedlikeholdsprogrammer for flytende vind sammen med intervjuer med sentrale personer innenfor temaet.

Først ble det gått gjennom eksisterende vedlikeholdsprogrammer gjennom DeepOcean sine kunder og litteratursøk via internett. Dette ble nøye gått igjennom for å få et best mulig resultat og svar på problemstillingen.

Intervjuene ble gjennomført med noen innledende spørsmål for å sikte intervjuet inn mot hovedtemaet rundt drift og vedlikehold for vindparker. Deretter ble samtalen mer og mer åpen for å ta imot all informasjon og kunnskap intervjuobjektene ville dele. Informasjonen var til stor nytte for å understøtte litteraturstudiene som var gjort før intervjuene.

3.7 Begrensninger/risiko for metode

Informasjon som kommer fra et intervju av forskjellige intervjuobjekter, vil alltid bære med seg en risiko for relabiliteten til svarene. Relabilitet betyr pålitelighet, og er en angivelse av om forskningen viser til virkeligheten og i hvilken grad resultatene kan etterprøves [48].

Intervjuene er preget av intervjuobjektens egne meninger og synspunkter rundt problemstillingen. Det vil derfor være en usikkerhet rundt hvor mye av det som blir sagt stemmer med virkeligheten. Intervjuobjektene kan også velge å holde tilbake sentral informasjon fordi de enten ikke vil dele det, eller at det er konfidensielt. Havvind er et nytt marked som mange bedrifter prøver å komme seg inn i, det vil føre til at ikke all informasjon kan deles. Et ferskt marked betyr også at industrien er såpass ny for alle intervjuobjektene at feilinformasjon kan forekomme. Forskerens tolkning av svarene i intervjuene har også hatt en innvirkning på resultatene i oppgaven.

Når det kommer til litteraturstudie gjennom internett og gjennom DeepOcean innebærer dette også risiko i form av at markedet er ferskt og forskjellige standarder er ikke satt for de spesifikke oppgavene. Det handler derfor om å samle inn den mest relevante informasjonen for problemstillingen for å fremskaffe et pålitelig resultat.

4. Analyse

I analysekapittelet skal dataen som har blitt samlet inn gjennom intervju, litteraturstudiet og informasjonen fra DeepOcean bli analysert for å kunne besvare problemstillingen på mest mulig pålitelig måte.

4.1 Begrensninger satt av miljøet

Både under installasjon og vedlikeholdsarbeid på de flytende vindparkene vil vindstyrke og bølgehøyde være to faktorer som vil sette begrensninger på tilgjengeligheten til anlegget. Dette gjør at flytende vindmøller er mer kompliserte og drifte og vedlikeholde sammenlignet med vindmøller på land. Flytende vindturbiner er også mer kompliserte enn vindturbiner som er festet på havbunnen, på grunn av anker, kjettinger og mer bevegelse i strukturen. Inspeksjoner, reparasjoner eller generelle vedlikeholdsoppgaver under vann vil være svært avhengige av vind og bølgehøyde. Dersom en skal gjennomføre noen av disse oppgavene må sjøen være mest mulig flatliggende, både for oppgavenes utførelse skyld og for sikkerheten til mannskapet.

Halvt flytende plattform som skal brukes på Utsira Nord er en plattform som beveger seg i takt med bølgene. Drift og vedlikehold av disse plattformene vil derfor være avhengig av at sjøen er relativ rolig. På Utsira er det en gjennomsnittlig vindstyrke på 10m/s, som betyr at Utsira har et godt utgangspunkt for å ta i bruk vindmøller. Vinden på Utsira er varierende, noe som gjør at en kan oppleve dager der vindmøllene ikke produserer strøm på grunn av lave vindhastigheter eller dager der en må stoppe vindmøllene for at dem ikke skal bli ødelagt av sterke vindkast [49]. Vindkastene kan komme opp i hele 29m/s på området, som gjør at det kan være risikabelt å la vindturbinene produsere strøm. Gjennom historisk data ser man at de høyeste vindkastene vil være i månedene september til februar [50]. Dette indikerer at i denne tidsperioden vil det kunne være dager der tilgjengeligheten for drift og vedlikeholdsoppgaver vil være redusert. Under ser en illustrasjon av den historiske dataen hentet fra Utsira Nord lokaliteten.



Figur 23: Gjennomsnitt vindhastighet Utsira Nord 2021-2022 [50].

Vedtatt av dekan 30.09.21

Signifikant bølgehøyde er gjennomsnittshøyden av de 1/3 høyeste målte bølgen [51]. Den signifikante bølgehøyden vil påvirke tilgjengeligheten på Utsira Nord. Dersom den signifikante bølgehøyden er mer en 1m, vil marine operasjoner bli vanskelige å gjennomføre, og operasjoner kan stoppe opp når den går over 1,5m. For å kunne øke tilgjengeligheten vil det være stor nytte av spesialbygde båter til den flytende havvind næringen. [18]. Hs er veldig avhengig av hvilke operasjoner som skal gjennomføres. Den laveste værbegrensningen kan være for bare en liten del av jobben, slik at man kan planlegge slik at operasjonen ikke stopper opp.

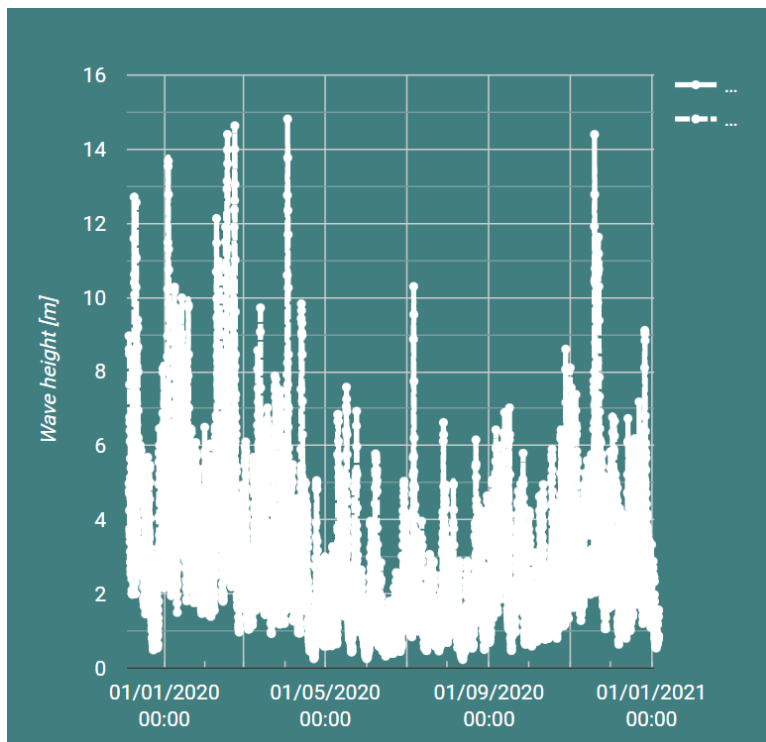
Under er en oversikt over maks signifikant bølgehøyde og vindstyrke for båter som blir brukt i havvind.

Fartøy type	Oppgave	Maks Hs (m)	Maks vindstyrke (m/s)
Ankerhåndteringskip	Installasjon av anker og kjetting	2	20
Taubåt	Tauing	1-1.65	14
Kabellegging/reparasjon	Installasjon og reparasjon av kabel	3.5	15
Skip til tunge løft	Sammenkobling av sparplattformen	1.8	15
Forsyningsskip	Drift og vedlikehold	2	11
Monohull skip	Personellfrakting, drift og vedlikehold	1	-
Katamaran	Personellfrakting, drift og vedlikehold	1.2	10
SWATH	Personellfrakting, drift og vedlikehold	1.5	-
Jackup rigg skip	Personellfrakting, drift og vedlikehold	1.65	16

Tabell 8: Signifikant bølgehøyde og vindstyrke for fartøy [18].

Bølgehøyden på Utsira Nord vil derfor være sentral for tilgjengeligheten og utførelsen av de forskjellige drift og vedlikeholdsoppgavene. Fra en statistikk fra Kystvarslingsenteret ser man at på Utsira Nord er den gjennomsnittlige Hs verdien 1.94m, og i tidsperioden 2020-2022 er den høyeste registrerte signifikante bølgehøyden 8.31m [52]. En Hs verdi på 1.94m er høyere enn grensen på

1,5m som gjør at operasjoner kan stoppe opp. Dette tilsier at tilgjengeligheten til Utsira Nord kan være noe redusert. Igjen vil spesialbygde fartøy for havvind være et alternativ for å øke tilgjengeligheten.



Figur 24: Historiske data for bølgehøyde Utsira Nord 2020-2021 [52].

4.2 Budsjetts begrensninger for flytende vindmøller

LCOE verdien for flytende havvind er som nevnt tidligere veldig høy sammenlignet med andre energikilder. Dette gjør at budsjettene for drift og vedlikehold for flytende havvindsparker vil være særdeles mindre sammenlignet med olje og gass. Konsekvensene for en feil på en flytende vindmølle vil være mindre om en sammenligner det med olje og gass. Derfor vil det være muligheter for at vindmøllene kan gå helt til de svikter, uten at dette skaper miljøkonsekvenser. Avhengig av hvor i koblingsnettet feiler, vil dette bestemme om en eller flere vindmøller stopper opp. Dersom én vindmølle feiler er det ikke sikkert at den blir reparert/vedlikeholdt før flere vindmøller stopper opp. Regnskapet på om det svarer seg å reparere en og en vindmølle versus at den står stille til flere feiler og en kan ta flere samtidig, vil kunne avgjøre om den skal repareres.

For å drifte en vindmøllepark vil en gjøre det en kan av preventivt vedlikehold for at vindmøllen og konstruksjonen skal fungere. Budsjettet for vedlikehold vil gjøre at mange av vedlikeholdsoppgavene og/eller reparasjonene vil gjennomføres ettersom en inspeksjon tilsier at komponentene behøver det.

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

4.3 Intervju

Alle intervjuobjektene fikk utdelt samme spørsmålsskjema før gjennomføringen av intervjuene.

Spørsmålene er nevnt nedenfor i tabell 9. Denne tabellen ble utlevert i forkant av intervjuene, slik at intervjuobjektene kunne finne diverse informasjon og klargjøre sine svar og tanker rundt problemstillingen før intervjuet ble gjennomført.

Spørsmål	Svar
Generelle komponenter som behøver vedlikehold når det kommer til flytere, ankersystemet og inter-array kabler?	
Hva er vedlikeholds intervallene/inspeksjonene av de forskjellige komponentene?	
Kritikaliteten til de forskjellige komponentene?	
Finnes det noen standarder for drift og vedlikehold for flytende vindparker?	
Hvor mye vil avstandene fra base til vindpark påvirke kostnaden av vedlikeholdet? Utenlandsk leverandør vs. Norsk lokal leverandør	
Problemet rundt høye levetidskostnader for flytende vind, hvordan tenker du en kan redusere den med tanke på drift og vedlikehold?	
Har du/dere noen nye teknologiske løsninger på å redusere kostnadene eller effektivisere drift og vedlikehold?	

Tabell 9: Intervjus spørsmål

Tabell 10 inneholder en beskrivelse og stillingsposisjon som beskriver intervjuobjektene, navn og firma vil holdes anonymt for å beskytte intervjuobjektene informasjon.

Intervjuobjekt nummer	Beskrivelse
1	Vedlikeholds ingeniør innenfor havvind
2	Operatør av havvind
3	Vedlikeholds ingeniør

Tabell 10: Intervjuobjekter

4.3.1 Analysering av intervju

Gjennom intervjuene ble det tydelig at en enda ikke har en klar plan på hvordan en skal utføre alle drift og vedlikeholdsoppgavene på flytende havvind. Det blir også tydelig at inspeksjoner er mer relevant fremfor preventive vedlikeholdsoppgaver. Hovedgrunnen til ukonkrete svar er at havvind er et nytt marked med lite erfaringer. Reglene for hva som kreves av en operatør av et slikt anlegg er heller ikke klart, og budsjettet er mye strammere sammenlignet med olje og gass næringen. Hvilke metoder og strategier for drift og vedlikehold som er best egnet for å holde nedetiden så lav som mulig er vanskelig å gi et konkret svar på før en har prøvd og erfart hva som fungerer.

Drift og vedlikehold

Et hovedtema gjennom intervjuene var budsjettet til flytende havvind, hvordan en skal få ned kostnadene rundt det å bygge å drive en flytende vindpark. LOCE verdien for flytende vind er høy, som betyr at med dagens teknologi er flytende vind er en kostbar energikilde. Intervjuobjekt 1 har bakgrunn som vedlikeholds ingeniør fra olje og gass næringen, og sier at en må tenke på nye måter når det kommer til havvind. Olje og gass næringen har et mye høyere budsjett til vedlikeholdsarbeid, og har også mange regler og standarder de må forholde seg til. Intervjuobjekt 1 og 2 nevner begge viktigheten av å planlegge vedlikeholdsoppgavene til måneder der været tilsier at en kan utføre dem. Derfor må en være tidlig ute med å booke inn nødvendig utstyr og båter til månedene en skal utføre store vedlikeholds operasjoner eller inspeksjoner.

Intervjuobjekt 1 mener at på grunn av en høy LOCE verdi og et stramt budsjett er en nødt til å holde vedlikeholdsoppgaver nede til det absolutt nødvendige. Den korrektive vedlikeholds metoden «Run to failure» blir nevnt som en mulighet for flytende vind. Det vil si at en lar komponentene gå helt til de ikke fungerer lengre, for å så bytte de ut. Intervjuobjekt 1 sier at konsekvensene for at en vindmølle stopper er at vindmøllen stopper å produsere strøm. Sammenlignet med olje og gassnæringen vil en feilet komponent ha store miljøkonsekvenser. Derfor mener intervjuobjekt 1 at

en korrektiv vedlikeholdsrutine kan være en måte å drifte og vedlikeholde flytende vindparker på, for å spare penger på inspeksjoner og preventive vedlikeholdsoppgaver. Intervjuobjekt 3 nevner at de planlegger ikke for «run to failure», men heller finne feilene på inspeksjonene før de når et kritisk nivå. Videre nevner intervjuobjekt 3 at det kan være vanskelig å definere slitasjen ut ifra inspeksjoner på noen områder, så derfor vil en i noen situasjoner ikke oppdage slitasjen før den eventuelt feiler.

Intervjuobjekt 2, som er en operatør for flytende havvind svarte på spørsmålet om vedlikeholdsarbeid på en litt annen måte. Her var det mer fokus på det preventive vedlikeholdsarbeidet, og at nedetid er noe som en ikke ønsker i det hele tatt. Intervjuobjekt 2 drar frem typiske komponenter som vil oppleve mest slitasje. Generelle komponenter som blir nevnt er anoder, festepunkter og pakninger til inter-array kabler, J-tube, I-tube, og bend stiffner.

Intervjuobjekt 2 mener at disse områdene av konstruksjonen må gjennom inspeksjoner og testing for å forsikre seg om at komponentene er i god stand og forhindre nedetid. De forskjellige inspeksjonene og vedlikeholdsoppgavene som intervjuobjektet nevnte for flyteren, ankersystemet og kablene står i appendix. Intervjuobjekt 2 mener også at en faktor som vil spille en stor rolle for kostnadene for drift og vedlikehold, er gode estimeringer av slitasjemønsteret til de forskjellige komponentene. Her nevnes det for eksempel den katodiske rustbeskyttelsen, der en kan beregne når disse må byttes.

Det ble også tatt opp nedetider på vindparken, noe intervjuobjektene hadde forskjellig syn på. Intervjuobjekt 2 som er en operatør vil fra et økonomisk standpunkt se på nedetid som et tap av profitt. Intervjuobjekt 1 mente at det at for eksempel en vindmølle sluttet å fungere, var det ikke sikkert det svarte seg å fikse denne med en gang problemet oppstår. Det kan være mer økonomisk å gjennomføre vedlikeholdsoppgaver på vindmøllene når båtene først er ute på felt, eller at flere enn en vindmølle feiler. Det vil kunne være mer kostbart å vedlikeholde en og en vindmølle ettersom problemene oppstår, enn å vente til flere trenger reparasjoner eller at båtene skal ut på feltet. Dette vil kunne være mulig å regne på, for å se på hva som svarer seg økonomisk.

Inspeksjoner

For alle intervjuobjektene var det enighet i at planlagte inspeksjoner fremfor planlagte vedlikeholdsoppgaver var å forvente i havvind næringen. Intervjuobjekt 2 nevnte at på komponenter der en kan forutse slitasjen vil preventive vedlikeholdsoppgaver være en mulighet. Hvor ofte en må inspisere sier intervjuobjekt 1 ikke er bestemt enda på grunn av nye regler som kommer i fremtiden. Intervjuobjekt 2 sier at en stor inspeksjon av anlegget vil mest sannsynlig bli gjennomført det første, tredje og femte året. Intervjuobjekt 1 og 2 var enige om at store inspeksjonsoppgaver mest sannsynlig vil bli gjennomført hvert femte år, imens intervjuobjekt 3 mente at dette ville bli

gjennomført annethvert år. Intervjuobjektene trodde at preventive vedlikeholdsoppgaver med fastsatte intervaller var lite sannsynlig for store deler av konstruksjonen, men at inspeksjoner av komponentenes svakheter var mer veien å gå. Disse inspeksjonene kan bli gjennomført av autonome undervannsdroner, det er en ROV som inspiserer et område ut ifra et forhåndsbestemt programmert mønster. Dette vil forenkle inspeksjonsprosessen, og kostnaden vil bli lavere da en ikke er avhengig av personell. Intervjuobjekt 1 mente at det ikke var på alle områder en kan identifisere slitasje med inspeksjon, og nevnte kjetting som et eksempel. Dersom kjettingen har slitasje eller har feilet vil dette kunne tas opp gjennom GPS plasseringen av konstruksjonen. Det ble også sagt at dersom en kjetting ryker, er det opp til inter-array kabelen om vindmøllen fortsatt kan produsere strøm. Dersom inter-array kabelen tåler bevegelsen som oppstår ved svikt i ankersystemet vil vindmøllen kunne fortsette å produsere strøm.

Sensorer

Bruk av sensorer var et tema alle intervjuobjektene var positive til. Sensorer som registrerer feil og slitasje vil føre til mindre behov for inspeksjoner på konstruksjonen. Ifølge Intervjuobjekt 2 vil sensorer kunne sende ut oppdateringer av tilstanden til konstruksjonen kontinuerlig til en database som gjør at en har oversikt over konstruksjonen hele døgnet. Intervjuobjekt 1 ser for seg at bruk av sensorer vil være svært kostnadsbesparende, da inspeksjoner er en kostbar løsning. Sensorer kan bli brukt til å registrere mange komponenter, men en vil være avhengig av å kombinere sensorbruken med inspeksjoner. Intervjuobjekt 1 nevner for eksempel flyteren som en komponent som en trenger å visuelt inspiserer. Det blir også nevnt av intervjuobjekt 3 at det enda ikke er noen krav til sensurering av konstruksjonen, men at det foreløpig blir brukt til forskning.

Ny teknologi

Videre er det klart at alle intervjuobjektene er positive til en stor fremgang av teknologi i løpet av de neste årene når det kommer til havvind. Det relative ferske markedet med lite erfaringer åpner opp for mange muligheter til å effektivisere prosesser og redusere kostnader. Intervjuobjekt 2 nevner sensorteknologi, spesiallagde undervannsfartøy, og autonome inspeksjonsfartøy som noen av mulighetene for en mer effektivisert drifts prosess. Intervjuobjekt 1 nevner USV «Unmanned surface vessel» med ROV ombord som en løsning for å redusere bruken av store dyre fartøy til enkle vedlikehold og inspeksjonsoppgaver. Slik det ser ut i dag blir mye av installering og vedlikeholdsarbeid utført av fartøy som er brukt i olje og gass næringen, som blir noe overdimensjonert for oppgavene i flytende vind. Videre i fremtiden vil en kunne få mer spesiallagde

fartøy som er mer egnet og dimensjonert til bruk i den flytende vind næringen. Spesiellagde fartøy til havvind vil ha en lavere dagsrate, og være mer effektive for bruk i flytende vindparker.

Vær og vind

Utenfor spørsmålene nevner Intervjuobjekt 2 viktigheten av å ta hensyn til vær og vindforhold på lokaliseringen til den flytende havvindparken. Vær og vind vil være en stor påvirkningsfaktor for drift og vedlikeholdsoppgavene. For dårlige værforhold vil kunne redusere tilgjengeligheten til anlegget, og en ikke har mulighet til å gjennomføre noen vedlikeholdsoppgaver. Det å skape en oversikt av værforholdene gjennom historiske data vil gjøre at operatøren kan bestille inn utstyr og båter til månedene som er mest egnet for utførelsen av inspeksjoner eller vedlikeholdsarbeid. For å få redusert kostnadene for flytende havvind, vil det å booke båter i god tid skape en mer kostnadseffektiv gjennomføring.

Regler og standarder

Reglene for hvordan en skal drifte en slik flytende havvindpark er enda ikke fastsatt, noe som gjør spørsmålene om intervaller og vedlikeholdsoppgaver vanskelig å svare på. Det operatørene tenker de skal gjøre, i forhold til det de er nødt til å gjennomføre for å få lov å drifte en park er enda usikkert. Olje og gass næringens standarder og regelverk har vært i stadig endring, og har forandret seg mye gjennom tiden. Intervjuobjekt 1 mener at dette vil også skje i havvindnæringen. Når det kommer til utbygging av nye vindparker sier intervjuobjekt 3 at myndighetene spiller en stor rolle i hvor effektivt en kan få i gang en flytende vindpark. Det blir mye venting på godkjenninger av myndighetene som setter en brems på utbyggingen.

4.3.2 Oppsummering av intervjuanalyse

Intervjuobjektene var enige på at budsjett er en sentral del av det å drifte en flytende havvindpark, og at inspeksjoner og bruk av sensorer var mer sannsynlig å bli brukt fremfor fastsatte preventive vedlikeholdsoppgaver. Usikkerheten stammer i fra at reglene enda ikke er fastsatt, så ingen vet enda hvilke krav som stilles rundt det å drifte en flytende vindpark. Sensorer var også noe alle intervjuobjektene var enige om kom til å være en viktig del av overvåkingen av vindparken. Fremtiden mente intervjuobjektene ville bringe mange nye teknologiske hjelpemidler og spesiellagde fartøy som skulle effektivisere prosesser og redusere kostnadene. Utenfor spørsmålene nevnte intervjuobjekt 2 viktigheten av å prøve å forutse vær og vindforhold, for å kunne booke båter til korrekt tidspunkt for å gjennomføre inspeksjon eller vedlikeholdsoppgaver.

4.4 Inspeksjoner

Inspeksjoner betyr en besiktelse, tilsyn eller kontroll [53]. Tidligere nevnt i intervjudelen og i litteratursøk var det tydelig at oversikten over tilstanden til subsea strukturen av flytende vindmøller skal bli definert gjennom inspeksjoner fremfor preventivt vedlikehold. Inspeksjoner skal benyttes for å bestemme om en skal gjennomføre vedlikeholdsoppgaver, reparasjoner eller utbytte av komponenter.

DeepOcean har en IMR (Inspection, maintenance, repair) avdeling som tidligere har gjennomført og levert ut tilbud for inspeksjon og vedlikeholdsoppgaver. Gjennom deres erfaringer og litteratursøk ble det satt opp en sjekklister over hva en skal se etter når en inspiserer subsea komponentene for en flytende vindmølle. Sjekkpunktene spesifiserer hva en skal se etter under inspeksjon av flyter, forankring systemet, inter array kabelen og sub-stasjonen. Sjekklisten ligger som vedlegg i appendix.

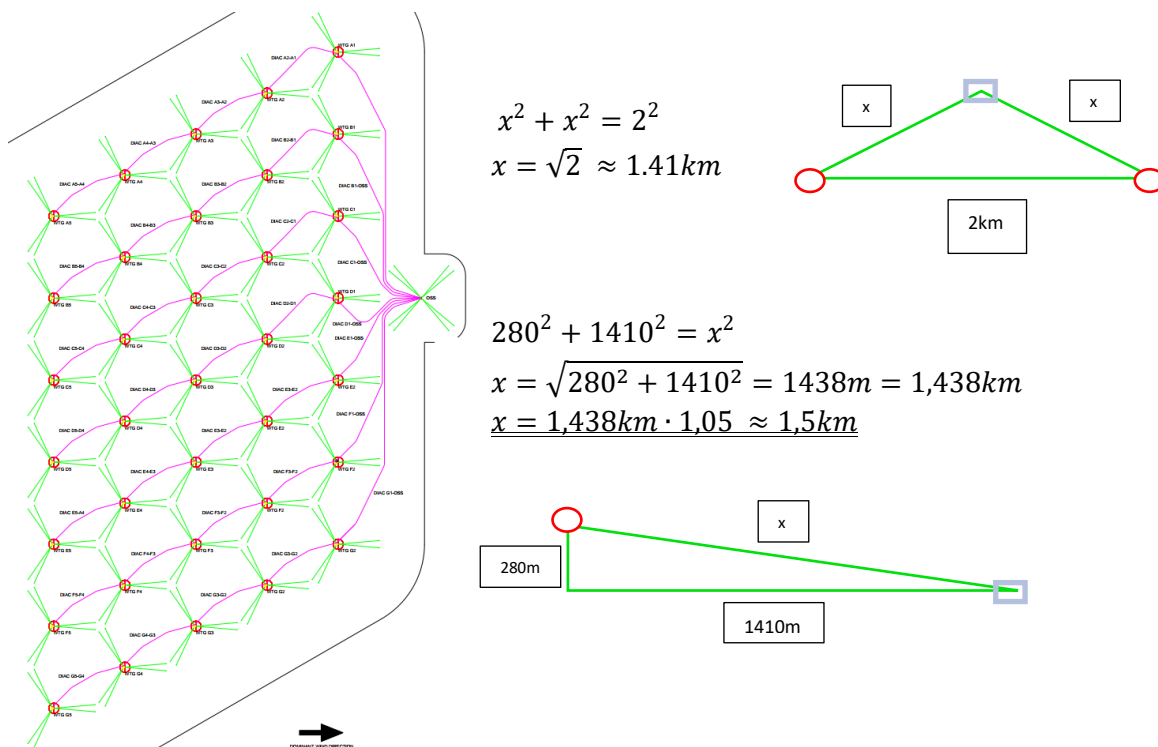
Intervallene for hvor ofte den flytende vindparken skal inspiseres var det ulike meninger om i intervjuet, og under litteratursøk var det ingen konkrete svar på hvor ofte de forskjellige komponentene skulle inspiseres. Det vil komme flere regler i fremtiden om hvor ofte vindparken må inspiseres for å få lov til å drifte parken. Ut ifra informasjonen som er blitt samlet inn vil inspeksjon av parken bli gjennomført hyppig i startfasen, og deretter hvert andre år.

Inspeksjonen som blir gjennomført er en såkalt GVI som betyr en generell visuell inspeksjon. Denne inspeksjonen vil få en oversikt over komponentene og er mindre tidkrevende enn CVI som er en inspeksjon som ser nærmere på utvalgt område. Den generelle inspeksjonen brukes for å se etter og identifisere områder for avvik. Dersom en møter på et avvik i forhold til sjekklisten vil kunden bestemme om de også vil at det skal gjennomføres en CVI for å få bedre oversikt over feilen. Gjennom en CVI vil det bli sett nærmere på spesifikt område for å avklare om en skal ned for å reparere eller vedlikeholde komponenten.

4.5 Tidsbruk

For å kunne estimere kostnaden av drift og vedlikeholdet som skal gjennomføres på subsea strukturen til en flytende vindpark er det nødvendig å se på tiden det tar å gjennomføre inspeksjonene som er planlagt.

I denne oppgaven tas det utgangspunkt i Windfloat Atlantic som er en semisubstruktur av en flyter. Denne flyteren vil bruke seks ankerlinjer per mølle, og skal dele anker med nabo vindmøllene i et heksagonmønster. Heksagonmønsteret er illustrert nedenfor i Figur 24 der vindmøllene er markert i rødt, og grønne streker definerer ankerlinjer. Avstanden mellom møllene skal være cirka 2km, og med felles anker og dybde på 280m vil en ankerline være omtrent 1,5km. Inspeksjonen må derfor ta for seg alle seks ankerlinene på til sammen 9km per vindmølle. Ved siden av figuren ligger utregninger på lengden på ankerlinen, der de grønne linjene illustrerer ankerliner, rød er vindmøllene og blå firkant er ankeret. Verdien 2km kommer fra avstanden mellom møllene, og 280m er dybden på lokasjonen. Lengden på en ankerline vil ut ifra beregningene og et 5% tillegg være omtrent 1,5km.



Figur 25: Illustrasjon av ankerlinjer i heksagonmønster.

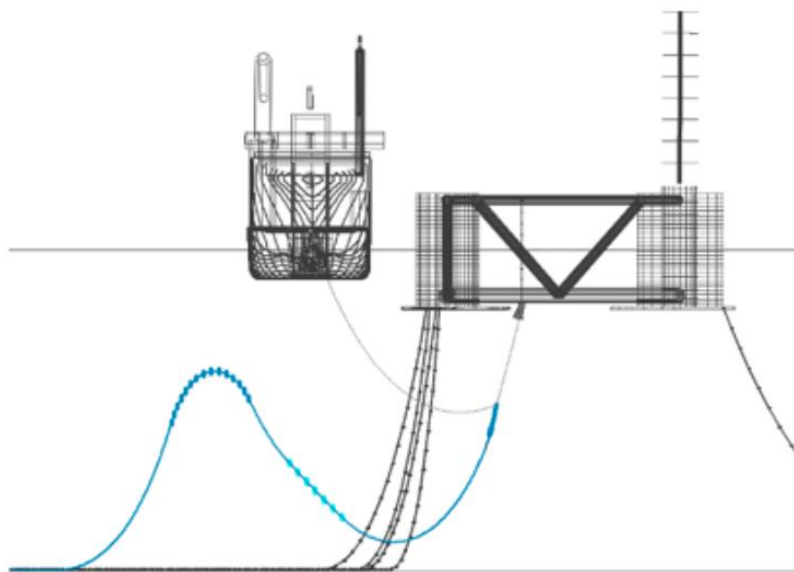
Hywind tampen prosjektet er en flytende vindmøllepark på 11 vindmøller. Denne parken har til sammen 19 sugeanker, som tilsier at en vindmølle i snitt bruker 1,73 anker per vindmølle [54]. Det vil si at også på Utsira Nord vil det tas utgangspunkt i snitt på 1,73 anker per vindmølle. Det vil være

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

mulig at på Utsira Nord prosjektet vil ha mindre anker per mølle med tanke på at parken skal være større, men i denne oppgaven brukes 1,73 anker per mølle.

For inter-array kablene som skal ligge mellom vindmøllene vil ROVen inspisere hele kabelen som ikke er gravd ned. ROVen kan også inspisere nedgravd kabel, men vil få en bedre oversikt over tilstanden til kabel og sedimentet om en også scanner over nedgravd kabel. Inter-array kabelen skal strekke seg mellom vindmøllene, som har en avstand på 2km ifra hverandre. Over havbunnen vil kabelen ha flytelementer koblet til, for å skape en fjæring for kabelen for å forhindre slitasje. Dybden og utformingen inkludert vil inter-array kabelen mellom vindmøllene ende på omtrent 2,5km. ROVen har en maks hastighet på 1,8km/h, men vil mest sannsynlig ha en litt lavere hastighet enn det. Under på figur 25 er utformingen til kabelen illustrert med blå linje.



Figur 26: Illustrasjon av Inter-array kabel (Merket i blå)

Når det gjelder flyteren som er Windfloat Atlantic vil den være satt sammen av tre oppdriftselementer som igjen er satt sammen av ett fagverk. Ankerlinene vil være festet til flyteren, og inter-array kabelen vil være koblet opp inn under vindmøllen. Her vil flyteelementene, stagene som holder flytelementene sammen, festepunktene til ankerliner og inter-array kabel være sentrale når en skal gjennomgå en inspeksjon.

Substasjonen vil være plassert på havbunnen under den flytende vindparken og skal være et bindeledd for strømmen som blir produsert å sende strømmen til land. Aker Solution sier at deres substasjon vil være vedlikeholdsfri i 30år [27]. Inspeksjon bør uansett bli gjennomført når en først er nede med inspeksjonsdroner.

Alle komponentene vil bli inspisert gjennom en generell visuell inspeksjon (GVI), der sjekklisten forteller ROV piloten hva en skal se etter under inspeksjonen. Close visual inspection (CVI) vil

forekomme ettersom om den generelle inspeksjonen finner avvik. Det er opp til kunden selv om de vil ha gjennomført en CVI, denne inspeksjonen tar opptil tre ganger så lang tid sammenlignet med en GVI.

4.6 Kostnadsanalyse

Kostnadene for gjennomføringen av inspeksjonene vil være vanskelig å gi et konkret tall på. Alle prosjektene vil være unike på hver sin måte, og værforholdene vil også kunne påvirke tidsbruk og tilgjengelighet. Kostnadsanalysen vil ta utgangspunkt i Utsira Nord prosjektet, og at mobilisering av fartøy vil skje lokalt på basen til DeepOcean på Killingøy i Haugesund.

Fartøyet som vil bli brukt til kostnadsanalysen vil være en allerede eksisterende båt som DeepOcean har tilgang til. Deretter om mulig vil det være interessant å sammenligne kostnadene med nytt spesiallaget fartøy som er under utvikling av DeepOcean, såkalt USV.

Fartøyene som blir brukt til inspeksjon av subsea komponentene til en flytende vindmøllepark opererer under en dagrate. Degrade betyr kostnaden til fartøyet per dag i arbeid. Denne dagraten vil være forskjellig fra leverandør til leverandør, og vil også påvirkes av faktorer som hvilke utstyr båtene er utstyrt med. I denne oppgaven brukes 1.000.000kr som er utgangspunkt for dagraten. Denne summen er kun brukt for å regne ut et estimat for kostnaden av inspeksjonsoppgavene. For å få en konkret dagrate på akkurat dette prosjektet er en avhengig av flere faktorer som utstyr, avstander og bemanning for å gi en endelig pris.

USV som er en ubemannet båt som skal brukes til inspeksjoner og diverse små reparasjoner for flytende vindmøller har enda ikke en bestemt dagrate. Det er snakk om at en USV skal redusere kostnadene/dagraten med 60-75% sammenlignet med dagens inspeksjonsbåter.

5. Resultat

I kapittel 5 vil resultatene fra analysen gjort rundt problemstillingen bli presentert.

5.1 Sjekkliste for inspeksjoner

Gjennom litteraturstudie, intervjuer og bidrag fra DeepOcean ble det satt sammen en sjekkliste for hva en skal se etter under inspeksjon av subsea strukturen til en flytende vindpark. DeepOcean hadde tilgang til en tidligere rapport om inspeksjonspunkter fra en bunnfast vindmøllepark. Denne ble brukt, sammen med informasjon fra intervju og litteraturstudiet.

Sjekklisten inneholder disse komponentene:

- Inter-array kabler
- Oppdriftselementer for kabelen
- Flyter konstruksjonen
- Forankring
- Subsea-stasjon

Intervallene for hvor ofte en skal inspiserer alle disse komponentene ble satt ut ifra litteratursøk og intervjugjennomgang. Intervjuobjektene nevnte inspeksjoner en, to og fem års mellomrom mellom inspeksjon. Det vil derfor bli satt en inspeksjonstid på hvert andre år for Utsira Nord. Denne inspeksjonen vil inspiserer alle komponentene etter sjekklisten nedenfor.

Sjekklistene for komponentene vil se slik ut:

Inter-array kabel			
Komponent	Kategorisering	Beskrivelse	Intervall
Inter-array kabel	Inspeksjon	Overvåking av havbunns morfologien langs inter-array kabelen.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Inspeksjon	Identifisere potensielle farer når det kommer til eksponering og frie spenn av kabel.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Inspeksjon	Verifikasjon av minimumsnivået for tildekning med sediment for å sikre kabelens beskyttelse.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Inspeksjon	Identifisere slitasjeskader på kabelens festepunkt til turbinen.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Inspeksjon	Lokalisere unormale deformasjoner/avvik på kabel.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Inspeksjon	Identifisere enhver potensiell kilde på avvik som kan akselerere slitasje på kabel.	Hvert andre år

Vedtatt av dekan 30.09.21

Inter-array kabel	Inspeksjon	Identifisere nærliggende objekter til kabel.	Hvert andre år
J-tube	Inspeksjon	Inspeksjon av kabel beskyttelsen og posisjonen	Hvert andre år
Bend-stiffner	Inspeksjon	Identifisere integriteten til bend stiffnerene.	Hvert andre år
Inter-array kabel	Vedlikehold	Bestemmelse ut ifra inspeksjonene om vedlikeholdsoppgaver er nødvendig.	Etter behov

Tabell 11 - Sjekkliste inter-array kabel [55]

Oppdriftselementer kabel			
Komponent	Kategorisering	Beskrivelse	Intervall
Oppdriftselement kabel	Inspeksjon	Identifisere tilstanden på oppdriftselementene til inter-array kableten.	Hvert andre år
Oppdriftselement kabel	Inspeksjon	Registrere avstanden mellom oppdriftselementene.	Hvert andre år
Oppdriftselement kabel	Inspeksjon	Se etter skader, sprekker, eller andre avvik på flyteelementene.	Hvert andre år
Oppdriftselement kabel	Inspeksjon	Registrere at lokasjonen av flytelementene er etter ønsket behov.	Hvert andre år

Tabell 12 - Sjekkliste oppdriftselementer til kabel [55]

Flyter konstruksjonen			
Komponent	Kategorisering	Beskrivelse	Intervall
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Registrere effektiviteten til rustbeskyttelsen av konstruksjonen.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Identifisere mengde katodisk beskyttelse som gjenstår.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Registrere tykkelsen av stålet på konstruksjonen.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Inspeksjon av kritiske området med høy sannsynlighet for defekter.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Testing	Ikke destruktiv testing av konstruksjonen.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Identifisere utmattelseskader.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Inspeksjon for å identifisere strukturens langsiktige integritet.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Evaluerer den marine groen på strukturen.	Annet hvert år
Flyter konstruksjonen	Inspeksjon	Identifisere utmattelseskader på festepunkt mellom flyter og ankerliner.	Annet hvert år

Vedtatt av dekan 30.09.21

Flyter konstruksjonen	Vedlikehold	Ut ifra inspeksjonen se om fjerning av groe er nødvendig.	Etter behov
Flyter konstruksjonen	Vedlikehold	Ut ifra inspeksjonen se om noen av anodene trenger å erstattes.	Etter behov
Coating	Inspeksjon	Identifisere effektiviteten av coatingen på strukturen.	Annet hvert år
Coating	Inspeksjon	Identifikasjon av akselererende slitasje av coatingen.	Annet hvert år

Tabell 13 - Sjekkliste flyter konstruksjonen [55]

Forankring			
Komponent	Kategorisering	Beskrivelse	Intervall
Kjetting line	Inspeksjon	Identifisere integriteten på kjettingens festepunkter.	Annet hvert år
Kjetting line	Inspeksjon	Identifisere integriteten på kjettingens helhet.	Annet hvert år
Kjetting line	Inspeksjon	Identifisere integriteten på kjettingens helhet.	Annet hvert år
Kjetting line	Inspeksjon	Inspiser kjettingen for marin groe.	Annet hvert år
Kjetting line	Inspeksjon	Se etter manglende eller skadet bolter i kjetting leddene.	Annet hvert år
Kjetting line	Vedlikehold	Utfør vedlikehold eller utbytte av ødelagte/slitte komponenter basert på inspeksjonene.	Etter behov
Fibertau	Inspeksjon	Inspiser integriteten til fibertauet, spesielt på utsatte punkter som endene og der loddet er festet.	Annet hvert år
Sugeanker	Inspeksjon	Inspisere integriteten til den eksponerte delen av ankeret for sprekker, sveis og utmattelse.	Annet hvert år
Sugeanker	Testing	Mål trykket inne i sugesankeret.	Annet hvert år
Sugeanker	Inspeksjon	Sjekk at den katodiske beskyttelsen fungerer etter ønsket formål.	Annet hvert år
Sugeanker	Inspeksjon	Sjekk om penetrasjonsdybden på ankeret i havbunnen er korrekt.	Annet hvert år
Sugeanker	Inspeksjon	Sjekk den vertikale posisjonen til ankeret for den eksponerte delen.	Annet hvert år
Sugeanker	Inspeksjon	Se etter overflateskader, utmattelse, rust eller andre diverse skader på den eksponerte delen.	Annet hvert år
Sugeanker	Vedlikehold	Utfør vedlikehold eller utbytte av ødelagte/slitte komponenter basert på inspeksjonene.	Annet hvert år

Tabell 14 - Sjekkliste for forankring [55]

Subsea-stasjon			
Komponent	Kategorisering	Beskrivelse	Intervall
Subsea-stasjon	Inspeksjon	Inspisere integriteten til substasjonen.	Annet hvert år
Subsea-stasjon	Inspeksjon	Marin vekst.	Annet hvert år
Subsea-stasjon	Inspeksjon	Korrosjonsbeskyttelsen.	Annet hvert år
Subsea-stasjon	Inspeksjon	Festepunktene inn til sub stasjonen for export og inter-array kablene.	Annet hvert år

Tabell 15 - Sjekkliste subsea-stasjon [55]

5.2 Tidsbruk

For å kunne regne ut hva det vil koste å gjennomføre en slik inspeksjon vil det være nødvendig å sette sammen en tidsplan for å se hvor lang tid en slik jobb tar. Avstandene som skal inspiseres for ankerliner og inter-array kabler vises til i analysekapittelet, sammen med hastigheten til ROven. Denne tidsplanen inneholder kun GVI (General Visual Inspection), da CVI (Close Visual Inspection) er en oppgave som gjennomføres dersom en finner defekter en vil se nærmere på. En eventuell reparasjon av komponenter vil også være spesialtilfelle som ikke kan settes en tidsbruk eller kostnad på, da alle reparasjoner er unike og krever forskjellig utstyr og kompetanse. Dersom en skal gjennomføre en CVI på utvalgt komponent vil dette ta opp mot 3 ganger så lang tid som en standard GVI.

Tidsplanen for en GVI av en flytende vindmølle vil da se slik ut:

Oppgave	Tidsbruk i timer
Subsea GVI av en flytende vindmølle inkl mob/demob	135
Subsea GVI av en flytende vindmølle ekskl mob/demob	62
1. Mobilisering av fartøy	24
Mobilisering	24
2. Transit til felt	3
Transit	3
3. Inspeksjon av forankring	15
GVI av ankerline 1	2
Lokalisere ankerline 2	0.5
GVI av ankerline 2	2
Lokalisere ankerline 3	0.5
GVI av ankerline 3	2
Lokalisere ankerline 4	0.5
GVI av ankerline 4	2
Lokalisere ankerline 5	0.5

Vedtatt av dekan 30.09.21

GVI av ankerline 5	2
Lokalisere ankerline 6	0.5
GVI av ankerline 6	2
4. Inspeksjon av inter-array kabel	7
GVI av IAC	1.25
GVI av flyteelementer	0.25
GVI av koblingspunkt	0.25
GVI av forankring av IAC	0.25
Scanne sedimentet rundt IAC	4
Hente opp scanner	1
5. Inspeksjon av flyter	7.5
GVI av flyteelement 1	1.5
GVI av flyteelement 2	1.5
GVI av flyteelement 3	1.5
GVI av stagene mellom flyteelementene	1
GVI av festepunkter til anker	1
GVI av festepunkter til IAC	1
6. Inspeksjon av sub-stasjon	1
Inspeksjon av sub-stasjon	1
7. Transit til neste vindmølle	1
Transit til neste vindmølle	1
8. Transit til land	1
Transit til land	1
9. Demobilisering av fartøy	12
Demobilisering	12

Tabell 16 - Tidsbruk for inspeksjon

Det vil som en ser i tabellen gå 135 timer på å inspisere en enkelt mølle, men dersom en allerede er ute på felt vil en slippe transit, mobilisering og demobilisering og inspeksjonstiden vil da ende på 62 timer per vindmølle. Det vil være en fordel som nevnt i analysedelen å gjennomføre vedlikeholdsoppgavene i månedene mars til august.

5.3 Kostnad

For å se på kostnadene brukes det en «dagate» for fartøyet. En dagrate er en rate som gis av operatøren, for hva det koster å leie båten til en arbeidsoppgave per døgn. Kostnadene som blir nevnt i oppgaven vil ikke være en endelig kostnad, da alle prosjekter er ulike og utstyrsnivået på fartøyet bestemmer hva dagraten blir. DeepOcean sitt fartøy Edda Flora blir brukt i denne oppgaven, med en dagrate på 1.000.000NOK.



Figur 27 - Edda Flora (hentet fra DeepOcean)

En dagrate på 1.000.000NOK vil gi disse kostnadene:

Kostnad Edda Flora	
GVI inkl transit/mob/demob	5.625.000 NOK
GVI ekskl transit/mob/demob	2.583.333 NOK
GVI 30 vindmøller	80.541.667 NOK
GVI 100 vindmøller (hele Utsira Nord)	261.375.000 NOK

Tabell 17 - Kostnad for inspeksjon

Kostnadene for inspeksjon vil være slik som i tabell 17 dersom en bruker fartøy som allerede eksisterer, som ikke er spesiallaget til bruk i flytende vindparker. Denne kostnaden representerer en GVI, og kostnaden vil øke dersom en må gjennomføre en CVI. Reparasjoner er heller ikke tatt med i resultatet, da disse vil være unike for vær gang og vil være vanskelig å estimere en kostnad på.

Spesiallaget fartøy som en USV vil være et godt alternativ for å få inspeksjonskostnadene ned. USV er en båt utstyrt med en ROV som kan fjernstyres fra land. Denne USV vil kunne kjøres ut til feltet og utføre inspeksjonsoppgaver og enkle reparasjoner. Dette spesiallagde fartøyet er enda ikke i bruk, da det er under utvikling. USVen vil kunne redusere kostnadene ned mot 2/3 av prisen dersom en sammenligner den med dagens fartøy som brukes.

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

6. Diskusjon

Utfallet av forskningen som er gjennomført i denne masteroppgaven viser til hvordan en ser for seg å gjennomføre subsea drift og vedlikehold på en flytende vindpark. Gjennom litteratursøk, tett samarbeid med DeepOcean og intervju med sentrale personer innenfor flytende havvind har resultatet blitt dannet.

Litteratursøk er en viktig del av forskningsprosessen for å få oversikt over tidligere studier og finne ut hva som allerede er kjent om et emne. I dette tilfellet avdekket litteratursøket at det var begrenset informasjon om konkrete planer for drift og vedlikehold av flytende vindparker. Dette viser at det fortsatt er behov for videre forskning på dette området for å utvikle effektive strategier og redusere levetidskostnadene for denne typen anlegg. Intervjuene var med på å underbygge usikkerheten rundt hvordan drift og vedlikehold skulle gjennomføres, selv om intervjuobjektene kom med mer konkrete svar. Alle intervjuobjektene hadde sin tanke om hvordan drift og vedlikehold skulle gjennomføres, men uten erfaringer var det vanskelig å være helt sikker. Reglene for drift og vedlikehold er enda usikre, som gjør at deres tankegang om hvordan drift og vedlikehold skal gjennomføres kan bli begrenset av reglene som kommer for flytende havvind i fremtiden.

Samtidig ble det i litteraturen identifisert behovet for effektivisering og spesialfartøy for å redusere kostnadene. Dette tyder på at det er et stort potensial for å forbedre drift og vedlikehold av flytende vindparker å utvikle nye teknologier. Gjennom intervjuene ble det også nevnt under flere omstendigheter viktigheten av å utvikle teknologien videre for å effektivisere prosessene innenfor flytende vind. Spesiellagde fartøy og andre hjelpemidler vil ifølge intervjuobjektene være svært nyttig for å få ned LCOE verdien til flytende havvind. De nevnte for eksempel autonome ROVer som skulle kunne gjennomføre inspeksjoner på egenhånd, for å redusere bemanningen.

Intervjuobjektene understreket at det bør legges større vekt på planlagte inspeksjoner enn planlagte vedlikeholdsoppgaver. Planlagte inspeksjoner kan være en effektiv måte å oppdage potensielle problemer på og dermed hindre større skader og behov for kostbart vedlikehold. Ved å utføre inspeksjoner regelmessig kan man også identifisere eventuelle feil og mangler som kan påvirke driften av en flytende vindpark på en negativ måte. Samtidig kan det være en utfordring å vite nøyaktig når en inspeksjon skal utføres og hvor ofte den skal gjentas. Dette kan være avhengig av en rekke faktorer, som for eksempel værforhold og slitasjemønster.

Når det gjelder vedlikehold, kan det være mer kostnadseffektivt å utføre reparasjoner og vedlikeholdsoppgaver kun når inspeksjonene tilsier at det er nødvendig. På denne måten kan man

unngå unødvendige kostnader for å reparere eller erstatte deler som ikke trenger det. Det er viktig å finne en balanse mellom inspeksjoner og vedlikehold, slik at man oppdager eventuelle problemer i tide, samtidig som man unngår å bruke unødvendige ressurser på forebyggende vedlikehold. Dette påvirket resultatet i form av at det ble laget et inspeksjons regime, fremfor et drift-og-vedlikeholds regime. Intervjuobjekt 2 som er en operatør for flytende vindparker var litt skeptisk til å ikke ha preventive vedlikeholdsoppgaver. Intervjuobjekt 2 nevner bruken av preventivt vedlikehold for hvert fall de komponentene der en kan beregne slitasjemønsteret. Fra ingeniørenes og operatørens ståsted er det derfor litt uenighet om hva som er lureste metoden å gjennomføre vedlikeholdet. Dersom en ser det fra operatøren sin side vil nedetid bety tap av penger, imens ingeniøren ser mer på det totale bildet om det egentlig lønner seg økonomisk å gjennomføre preventive vedlikeholdsoppgaver. Dette vil være et regnestykke som kan gjennomføres i en videre forskning, der en sammenligner forskjellige scenarier.

På grunn av at flytende vindkraft fortsatt er et relativt nytt marked, er det begrenset med erfaring og kunnskap om typiske skader eller defekter som kan oppstå. Derfor vil en etter hvert som en får mer erfaring, kunne sette opp flere preventive vedlikeholdsoppgaver for å redusere risikoen for uforutsette hendelser og øke påliteligheten til anlegget. I dag vil imidlertid inspeksjoner være den primære metoden for å oppdage svakheter i konstruksjonen. Som et resultat av intervjuene med sentrale personer innen havvind, ble det utviklet et inspeksjonsregime som fokuserer på de komponentene som befinner seg under vannoverflaten. Dette resulterte i en sjekklister over hva som skal undersøkes på de forskjellige komponentene under en GVI (General Visual Inspection) under vann. Dette er et viktig steg for å sikre at flytende vindparker er driftssikre og har en lengst mulig levetid.

Gjennom litteratursøk nevnes det at sensorer kan være et viktig verktøy for å optimalisere drift og vedlikehold av flytende vindturbiner i fremtiden. Ved å bruke sensorer kan man samle inn data om vindturbinenes tilstand og ytelse på en kontinuerlig basis, og på den måten få en bedre oversikt over eventuelle problemer eller feil. Dette kan bidra til å redusere behovet for inspeksjoner og forebyggende vedlikehold, og dermed senke kostnadene for drift og vedlikehold. Selv om bruk av sensorer kan være kostnadseffektivt på lang sikt, kan det være en stor investering å installere og vedlikeholde sensornettverkene. Intervjuobjekt 3 mente at sensorer ville bli brukt mer som forskning, fremfor en type overvåking. Imens de andre to intervjuobjektene hadde troen på at sensorer kunne være nyttig i en vedlikeholds sammenheng. Hva som lønner seg vil en kunne finne ut gjennom en kostnadsanalyse, der en vurderer nøye hvor og hvordan sensorene blir plassert for å gi

størst mulig nytteverdi. I tillegg er en avhengig av å ha databaser som kan samle inn sensor dataen som vil brukes til å ta beslutninger.

I tillegg til å samle inn data om vindturbinene, kan sensorer også bidra til å optimalisere driften av vindparken som helhet. Ved å måle vindretningen og -hastigheten, kan man for eksempel justere turbinenes posisjon og vinkel for å maksimere energiproduksjonen. Dette kan også bidra til å forlenge levetiden til vindturbinene og dermed øke LCOE-verdien.

Det kan være utfordrende å vurdere kostnadene og nytteverdien av inspeksjoner og vedlikehold av flytende vindturbiner. På den ene siden er det viktig å ha regelmessige inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver for å sikre at vindmøllene fungerer optimalt og unngå større skader eller feil som kan føre til høye reparasjonskostnader eller tap av produksjonstid. På den andre siden kan hyppige inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver føre til høye kostnader og mulig tap av produksjonstid.

Resultatene viser at planlagte inspeksjoner hvert andre år er i dag den metoden som mest sannsynlig vil bli brukt til drift og vedlikehold av flytende vindturbiner. Ved å ha en sjekklister som beskriver hva man skal se etter under inspeksjonen, kan man også bidra til å sikre en systematisk tilnærming til inspeksjonene.

Tidsskjemaet i tabell 16 viser at inspeksjoner tar relativt lang tid, spesielt når man tar hensyn til overfart, mobilisering og demobilisering. Dette kan føre til tap av produksjonstid og økte kostnader. Det er derfor viktig å ha en god planlegging og organisering av inspeksjonsprosessen for å sikre at man maksimerer effektiviteten og minimerer tap av produksjonstid.

Kostnadene som er presentert viser at inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver kan være en betydelig kostnad for flytende vindparker. Det er derfor viktig å gjøre grundige kostnadsanalyser og vurdere nøye hvor og når inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver bør utføres for å gi størst mulig nytteverdi. Bruk av avansert teknologi som sensorer kan også bidra til å redusere kostnadene for inspeksjoner og vedlikehold på sikt.

Det er viktig å merke seg at resultatene fra litteratursøket og intervjuene er begrenset av tilgjengeligheten av data og kan også være påvirket av hvilke intervjuobjekter som ble brukt i forskningen. Det er derfor nødvendig å utføre flere undersøkelser og involvere flere intervjuobjekter for å få en bredere forståelse av problemstillingen og utvikle mer effektive strategier for drift og vedlikehold av flytende vindparker.

7. Konklusjon

Forskningen i oppgaven siktet etter å finne ut hvordan det planlegges å drifte og vedlikeholde en flytende vindpark.

Problemstillingen for oppgaven var:

1. Hvilke drift og vedlikehold oppgaver må gjennomføres under vann på den flytende vindparken Utsira Nord?
2. Hva vil være kostnaden?

Grunnen til at problemstillingen ble forsket på var utilgjengeligheten på hvordan en planlegger å utføre drift og vedlikehold på en flytende vindpark. Forventingene var at det var mye mer informasjon om temaet enn det som ble funnet, og at det skulle utføres preventivt vedlikeholdsoppgaver på anleggene. Forskningen på temaet ga et annet resultat enn forventet, der drift og vedlikehold heller blir gjennomført i form av inspeksjoner. Inspeksjonene skal brukes for å lete etter avvik på komponentene. Derfor ble det laget et inspeksjons regime, som baserer seg på GVI fremfor preventive vedlikeholdsoppgaver. Inspeksjonsregimet viser til hva en skal inspisere, hvor ofte, og hva en skal se etter under inspeksjonen.

Resultatet viser til at drift og vedlikehold vil bli gjennomført i form av planlagte inspeksjoner hvert andre år, og vedlikeholdsoppgaver eller reparasjoner vil bli utført dersom inspeksjonen tilsier at det trengs. Sjekklisten i tabell 11-15 viser de forskjellige komponentene som subsea strukturen deles inn i, sammen med hva en skal se etter under inspeksjon.

Tidsskjemaet i tabell 16 viser til at inspeksjon av én enkelt vindmølle dersom en inkluderer overfart, mobilisering og demobilisering vil ta 135 timer. Dersom en allerede er på felt vil det ta 62 timer ekstra om en går direkte til neste vindmølle. Inspeksjonen er en generell visuell inspeksjon, og tiden vil forlenges om en skal ha en mer nøyaktig å nærmere inspeksjon av eventuelle kritiske punkter.

Kostnadene er vist i tabell 17, der det tas utgangspunkt i Edda Flora som er en båt DeepOcean har tilgjengelig, sammen med en dagrate på 1.000.000 NOK. Om en gjennomfører alle vindmøllene på Utsira Nord feltet i en tur, som består av 100 flytende vindmøller vil dette ha en kostnad på 261.375.000 NOK.

Selv om intervjuene med nøkkelpersoner innen havvind ga en god innsikt og førte til utviklingen av et konkret inspeksjonsregime for drift og vedlikehold av flytende vindparker, er det viktig å huske på at resultatet har sine begrensninger. Det kunne ha vært intervjuet flere personer for å få et bredere spekter av synspunkter og erfaringer. I tillegg må det tas hensyn til at tid og kostnad ble vurdert fra

Vedtatt av dekan 30.09.21

DeepOcean sitt ståsted, og andre selskaper eller organisasjoner kan ha en annen tilnærming til disse aspektene. Likevel, intervjuene med nøkkelpersoner innen havvind ga et verdifullt innblikk i hvordan drift og vedlikehold av flytende vindparker bør håndteres, og resultatene kan være nyttige for selskaper som DeepOcean og andre som er involvert i havvindindustrien.

Videre arbeid vil være å utvikle nye spesiallaget fartøy til flytende vindparker for å redusere kostnader. Det vil også være sentralt å utføre forskning på parkene, for å samle mer informasjon om hvordan en kan effektivisere og forbedre utførelsen av drift og vedlikehold på en flytende vindpark. Bruk av sensorer på flytende vindparker vil også være en faktor som kan effektivisere prosesser, og redusere kostnader.

Referanseliste

- [1 S. N. Leksikon, "Vindmølle," 30 10 2019. [Online]. Available: <https://snl.no/vindm%C3%B8lle>.
]
- [2 S. N. Leksikon, "Vindkraft," 30 11 2022. [Online]. Available: <https://snl.no/vindkraftverk>.
]
- [3 P. Bojek, "Wind Electricity," 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/wind-electricity>.
]
- [4 M. Ødegaard, "Vindkraft," 01 08 2022. [Online]. Available:
] https://naturvernforbundet.no/vindkraft/vindkraft/?gclid=CjwKCAiAk--dBhABEiwAchIwkVcgwqu8u4cCQytGIHuXgFGcfkyJlIUYMKGGBGZZs1h5WYzJPFzQZVhoClsoQAvD_BwE.
- [5 I. S. Taranger, "NRK," 2022. [Online]. Available: https://www.nrk.no/rogaland/norges-forste-og-verdens-storste-flytende-vindpark-har-startet_stromproduksjon-1.16179358.
]
- [6 M. Buvik, "NVE," 31 01 2022. [Online]. Available: <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/kostnader-for-kraftproduksjon/>.
]
- [7 Catapult, "Offshore Renewable Energy," 2022. [Online]. Available:
] <https://guidetoanoffshorewindfarm.com/wind-farm-costs>.
- [8 I. Bank, "Havvind," 2021. [Online]. Available: <https://info-bank.no/infobank/havvind/>.
]
- [9 Regjeringen, "Regjeringen går videre i sin satsing på havvind," 06 12 2022. [Online]. Available:
] <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-gar-videre-i-sin-satsing-pa-havvind/id2949762/>.
- [1 Utsira, "Utsira gir energi," 2020. [Online]. Available: <https://www.utsira.no/utsira-nord/>.
0]
- [1 Havvind, "Utsira Nord," [Online]. Available: <https://info-bank.no/infobank/havvind/>.
1]
- [1 DeepOcean, "About," 2023. [Online]. Available: <https://www.deepocean.com/>.
2]
- [1 Windstaller, "About," 2022. [Online]. Available: <https://www.windstalleralliance.com/partners>.
3]

- [1 Equinor, "Flytende havvind," 2022. [Online]. Available:
4] <https://www.equinor.com/no/energi/flytende-havvind>.
- [1 J. G. Speight, "Subsea and Deepwater Oil and Gas Science and Technology," 2015. [Online].
5] Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tension-leg-platforms>.
- [1 A. Du, "Semi-Submersible, Spar and TLP – How to select floating wind foundation types?," 2021.
6] [Online]. Available: <https://www.empireengineering.co.uk/semi-submersible-spar-and-tlp-floating-wind-foundations/>.
- [1 Kwangtae Ha, Hoai Vu Anh Troung, Tri Dung Dang, Kyoung Kwan Ahn , "Recent Control
7] Technologies for Floating Offshore Wind Energy System: A Review," 06 08 2020.
- [1 E. a. o. w. energy, "Floating offshore wind turbines: Installation, operation, maintenance and
8] decommissioning challenges and opportunities," Wind Energy Science , 2021.
- [1 Stiesdal, "Tetraspar full-scale," 2020. [Online]. Available:
9] <https://www.stiesdal.com/offshore/the-tetraspar-full-scale-demonstration-project/>.
- [2 FWE, "Hywind Tampen," 2018. [Online]. Available: <https://questfwe.com/wp-content/uploads/2018/08/Hywind-Tampen.pdf>.
- [2 Hexicon, "Floating offshore wind," 2023. [Online]. Available: <https://www.hexicongroup.com/>.
1]
- [2 Edp, "Windfloat Atlantic," [Online]. Available: <https://www.edp.com/en/innovation/windfloat>. .
2]
- [2 P. Power, "Windfloat Atlantiv," [Online]. Available:
3] <https://www.principlepower.com/projects/windfloat-atlantic>.
- [2 P. Power, "About," 2022. [Online]. Available: <https://www.principlepower.com/about>.
4]
- [2 Wikipedia, "Sugeanker," 2020. [Online]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Sugeanker>.
5]
- [2 DeepOcean, "Utsira Nord Project," DeepOcean, 2022.
6]
- [2 A. Solutions, "Subsea Substation – Unlocking the potential of floating offshore wind," [Online].
7] Available: <https://www.akersolutions.com/news/news-archive/2022/subsea-substation--unlocking-the-potential-of-floating-offshore-wind/>.
- [2 S. N. Leksikon, "Fjernstyrt undervannsfartøy," 2020. [Online]. Available:
8] https://snl.no/fjernstyrt_undervannsfart%C3%B8y.

- [2 Blueeye, "Hva er ROV-er?," 2021. [Online]. Available: <https://www.blueeye.no/blog/hva-er-rov-er-9>]
- [3 P. Australia. [Online]. Available: <https://petroleumaustralia.com.au/innovations/oil-and-gas-0-demand-shapes-subsea-pipelines/>. [Accessed 2019].
- [3 N. O. Service, "What is the difference between an AUV and a ROV?," 30 09 2022. [Online].
1] Available: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/auv-rov.html>.
- [3 Researchgate. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Artistic-impression-of-an-AUV-performing-a-deep-sea-multibeam-survey-courtesy-of-Tom_fig1_333639078.
- [3 S. N. Leksikon, "Vedlikehold," 2021. [Online]. Available: <https://snl.no/vedlikehold.3>]
- [3 P. R. T. a. L. J. Giovanni Rinaldi, "Current Status and Future Trends in the Operation and
4] Maintenance of Offshore Wind Turbines: A Review," *Energies*, 2021.
- [3 V. 96, "ScienceDirect," 01 2011. [Online]. Available:
5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832010001705#s0015>.
- [3 Sulzer, "The Challenges of Maintaining Equipment on Offshore Platforms," 2017. [Online].
6] Available: <https://www.sulzer.com/-/media/files/campaigns/res/offshorewhitepapercampaignthechallengesofmaintainingequipmentonoffshoreplatformswhitepaperpdfrender.ashx?la=en>.
- [3 A. J. Kolios and U. Smolka, "Risk-based Maintenance Strategies for Offshore Wind Energy Assets,"
7] University of Strathclyde; Ramboll WInd, 2020.
- [3 S. S. Redguard, "7 tips for offshore facilities maintenance," 23 9 2019. [Online]. Available:
8] <https://blog.specserve.redguard.com/7-tips-for-offshore-facilities-maintenance>.
- [3 H. Næringspark, "Om oss," 2022. [Online]. Available: <https://haugaland-park.no/>.
9]
- [4 DeepOcean, "Utsira Nord Project," DeepOcean, 2022.
0]
- [4 Techopedia, "Hva er datainnsamling? - definisjon fra techopedia," 2023. [Online]. Available:
1] <https://no.theastrologypage.com/data-collection>.
- [4 S. N. Leksikon, "Kvalitativ metode," 2023. [Online]. Available: https://snl.no/kvalitativ_metode.2]
- [4 S. N. Leksikon, "Intervju," 2018. [Online]. Available: <https://snl.no/intervju.3>]

- [4 K. Sander, "estudie," 2020. [Online]. Available: <https://estudie.no/kvalitative-intervju/>.
4]
- [4 D. transkribent, "Intervju som metode," 2022. [Online]. Available:
5] <https://www.dintranskribent.no/intervju-som-metode/>.
- [4 S. N. Leksikon, "Kvantitative data," 2023. [Online]. Available: https://snl.no/kvantitativ_metode.
6]
- [4 Wikipedia, "Microsoft Office Excel," 2016. [Online]. Available:
7] https://no.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Office_Excel.
- [4 K. Sander, "Estudie," 2020. [Online]. Available: <https://estudie.no/reliabilitet/>.
8]
- [4 I. Oksvold, "Bellona," 24 5 2005. [Online]. Available: [https://bellona.no/nyheter/energi/2005-05-9\) slutt-for-utsira-hydrogenanlegg](https://bellona.no/nyheter/energi/2005-05-9) slutt-for-utsira-hydrogenanlegg).
- [5 Yr, "Utsira," 2022. [Online]. Available: [https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-0\) 47300/Norge/Rogaland/Utsira/Utsira](https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-0) 47300/Norge/Rogaland/Utsira/Utsira).
- [5 Wikipedia, "Signifikant bølgehøyde," 2021. [Online]. Available:
1] https://no.wikipedia.org/wiki/Signifikant_b%C3%B8lgeh%C3%B8yde.
- [5 Kystvarslingscenteret, "Utsira Nord," 2021. [Online]. Available: Kystvarslingscenteret [Online] /
2] auth. Kystvarslingscenteret // Kystvarslingscenteret . -
[https://www.kystvarslingscenteret.no/point-histcast-01/..](https://www.kystvarslingscenteret.no/point-histcast-01/)
- [5 S. N. Leksikon, "Inspeksjon," 2021. [Online]. Available: <https://snl.no/inspeksjon>.
3]
- [5 Offshorewind, "DOF Subsea Installs Suction Anchors on World's Largest Floating Offshore Wind
4] Farm," 2022. [Online]. Available: <https://www.offshorewind.biz/2022/05/20/dof-subsea-installs-suction-anchors-on-worlds-largest-floating-offshore-wind-farm/>.
- [5 W. Alliance, "Baltic Eagle Offshore Windfarm BoP Maintenance Services," Windstaller Alliance,
5] 2022.
- [5 Regjeringen, "Regjeringen går videre i sin satsing på havvind," 06 12 2022. [Online]. Available:
6] <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-gar-videre-i-sin-satsing-pa-havvind/id2949762/>.
- [5 Windstaller, "Dynamic Inter Array Cables Installation Study Report," Windstaller, 2022.
7]

[5 A. work, "Semistrukturert intervju og andre intervjuteknikker," 2022. [Online]. Available:
8] <https://www.academicwork.no/insights/arbeidsgivere/intervjuteknikker>.

[5 [Online].
9]

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

Appendix

8.1 Intervjugjennomgang

En oversikt over spørsmålene som ble stilt i intervjuet, sammen med en tolkning av svarene intervjuobjektene leverte.

8.1.1 Intervju 1 – Drift og vedlikeholds ingeniør

INTERVJUOBJEKT 1 – DRIFT OG VEDLIKEHOLDNINGENIØR	
Spørsmål	Svar
Første gjennomførte intervju var med to vedlikeholds ingeniører som hadde tidligere erfaring fra olje og gass næringen, som nå jobbet innenfor flytende havvind. Intervjuet ble gjennomført gjennom Teams, sammen med veileder fra DeepOcean. Intervjuet startet med en kort introduksjon av problemstillingen, før gjennomgang av de forhåndssendte spørsmålene.	
Generelle komponenter som behøver vedlikehold når det kommer til flytere, ankersystemet og inter-array kabler?	På spørsmål 1 forteller intervjuobjektet at de viktigste komponentene når det kommer til Subsea vedlikehold vil være dem som er nevnt i spørsmålet, som vil si flyteren, ankersystemet og inter-array kablene som skal føre strøm mellom vindmøllene og til land. Intervjuobjektet sier også at om det vil være faste vedlikeholdsoppgaver, inspeksjoner eller kun sensurering av komponentene er enda usikkert.
Hva er vedlikeholds intervallene/inspeksjonene av de forskjellige komponentene?	For dette spørsmålet har intervjuobjektet sett for seg bruk av sensorer for å registrere feil og bevegelser på komponentene, sammen med inspeksjoner av områder der sensorer ikke vil fungere. Grunnen til det er kostnad, det er en stor kostnad å gjennomføre inspeksjoner kontra å ha sensorer som gir en tilbakemelding ettersom en feil oppstår. «Run to failure» ble også nevnt i intervjuet som et alternativ til vedlikeholdsarbeid på flytende vindparker. «Run to failure» betyr at komponentene går av seg selv helt til de svikter, og en utfører vedlikehold eller utbytting etter komponenten har feilet. Dette er en korrektiv metode for vedlikeholdsarbeid, som intervjuobjektet mener kan være en metode for drift og vedlikehold for flytende vind som kan redusere kostnadene. Konsekvensene av at en vindmølle stopper å fungere er at vindmøllene stopper å produsere strøm, men vil ikke skape noen miljøskader sammenlignet med olje og gass næringen. I olje og gass næringen er det strenge preventive vedlikeholds intervaller for å

Vedtatt av dekan 30.09.21

	<p>forhindre miljøskader, men i flytende vindpark industrien vil en ikke ha de samme konsekvensene av at komponenter feiler.</p> <p>Videre sier intervjuobjektet at inspeksjonene som gjennomføres av de diverse komponenten under vann vil gjennomføres av autonome undervannsdroner. Dette er ROVer som gjennom programmering vil gå over et forhåndsbestemt område og automatisk ta for seg en inspeksjon av for eksempel ankerlinene eller inter-array kablene.</p> <p>Intervjuobjektet var usikker på om ankerlinene trengte inspeksjon i det hele tatt, da det er vanskelig å se om en kjetting er slitt eller ikke gjennom en inspeksjon. På mange områder kan en bruke sensorer isteden for inspeksjoner, som vil gjøre det mer effektivt og kostnadsbesparende. Hvor mange ganger en er nødt til å gjøre en visuell inspeksjon er enda ikke klare regler på. Dersom en kjetting ryker, vil det komme an på hvor mye bevegelse i konstruksjonen inter-array kablen tåler. Flyteren har flere kjettinger, og dersom en ryker, men ikke har store nok bevegelser til å slite ut inter-array kablen kan vindmøllen fortsette å produsere strøm. Ved hjelp av sensorer vil en kunne ut ifra tilbakemeldingene fra sensoren registrere om vindmøllens komponenter gjør den jobben de er satt til, eller om en skal stoppe vindmøllen dersom feil registreres.</p> <p>På flyteren vil det være mer nødvendig å bruke visuelle inspeksjoner for å få oversikt over tilstanden på flyteren. Her vil det bli brukt autonome undervannsdroner som skal inspisere diverse svakheter på flyteren, og der en tror feil kan oppstå. Dette vil være typiske områder der to deler er sveiset sammen eller ballastsystemet.</p>
Kritikaliteten til de forskjellige komponentene?	Ikke besvart.
Finnes det noen standarder for drift og vedlikehold for flytende vindparker?	Intervjuobjektet sier at reglene for hvor ofte en må inspisere og gjennomføre vedlikeholdsoppgaver på en flytende vindpark enda ikke er helt fastsatt, men at i fremtiden vil

	<p>det komme flere regler for dette som operatørene av vindparken må ta hensyn til for å få lov til å drifte en slik vindpark. Derfor vil intervallene fastslås når reglene om hvor ofte en må inspisere bli mer standardisert i fremtiden. Intervjuobjektet tror at i dag så sier loven om at store inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver skal gjennomføres cirka med intervaller på fem år.</p>
<p>Hvor mye vil avstandene fra base til vindpark påvirke kostnaden av vedlikeholdet? Utenlandsk leverandør vs. Norsk lokal leverandør</p>	<p>Når det kommer til oppbevaring og tilgjengeligheten til reservedeler, vil dette kunne ha en stor påvirkning til kostnadene. Tilgjengeligheten til reservedeler er veldig viktig, da en skal holde nedetiden til vindmøllene så liten som mulig. For små reparasjonene som en kan reparere offshore vil det være viktig å ha rask tilgang til reservedeler for å få vindmøllene til å produsere igjen så raskt som mulig. En løsning er en USV/ROV som kontinuerlig er ute på feltet med reservedeler, som også kan utføre små vedlikeholdsoppgaver.</p> <p>Kostnadene for båtene sier intervjuobjektet vil uansett være den store kostnaden. Dersom det er store skader vil en måtte taue vindmøllene inn til land, og det vil være kostnads-ratene til båtene som vil være den store kostnaden. Det er også viktig med god planlegging for større vedlikeholdsoppgaver, å gjennomføre disse i dem månedene som har roligst værforhold.</p>
<p>Problemet rundt høye levetidskostnader for flytende vind, hvordan tenker du en kan redusere den med tanke på drift og vedlikehold?</p> <p>Har du/dere noen nye teknologiske løsninger på å redusere kostnadene eller effektivisere drift og vedlikehold?</p>	<p>Intervjuobjektet mente at innenfor flytende havvind vil det i fremtiden komme mange teknologiske hjelpemidler som vil effektivisere prosessene og gjøre flytende vind mindre kostbart. Som allerede nevnt har autonome inspeksjonsdroner allerede vært et tema gjennom intervjuet, som vil kunne redusere bruk av personell. USV som er et autonomt overflatefartøy som kan sette ut ROV der det skulle trengs er også et prosjekt som er under utvikling for å redusere kostnadene til flytende havvind.</p>
<p>Avsporing/Diverse informasjon</p>	<p>Ingen ekstra info.</p>

8.1.2 Intervju 2 – Operatør for flytende havvind

INTERVJUOBJEKT 2 – OPERATØR FOR FLYTENDE HAVVIND	
<p>Det andre intervjuet var med en ingeniør som jobber i et operatørselskap for flytende havvind. Intervjuobjektet snakket først om forskjellen på korrektiv og preventive vedlikeholdsarbeid, og forklarer hvordan vedlikeholdsarbeidet påvirker flytende havvind sin LCOE verdi. Her forteller han at gir-boksen og generatoren var de store kostnadene når det kom til vedlikeholdsarbeid på flytende havvindparker.</p>	
Spørsmål	Svar
<p>Generelle komponenter som behøver vedlikehold når det kommer til flytere, ankersystemet og inter-array kabler?</p>	<p>Intervjuobjektet nevner flere sentrale komponenter som behøver en form for vedlikehold og inspeksjoner på konstruksjonen under vann. Komponenter som blir nevnt er:</p> <ul style="list-style-type: none">- Anoder.- Festepunkter og pakninger til inter-array kablene.- Platene som skal holde kablet nede, inkludert brakettene.- J-tube/I-tube for ankersystemet- Bend stiffner, som skal forhindre knekk på inter-array kablet. <p>Disse ble nevnt som noen av de typiske plassene en kan finne slitasje, og som vil ha behov for vedlikehold/inspeksjon for å forsikre seg om at komponentene er i god eller dårlig stand. Intervjuobjektet nevner noen typiske inspeksjonsformer som vil bli gjennomført for en flytende vindpark:</p> <ul style="list-style-type: none">- Generell visuell inspeksjon- Spesiell visuell inspeksjon- Ikke ødeleggende testing- Katodisk inspeksjon <p>Videre deler intervjuobjektet inn de forskjellige komponentene som er nevnt i spørsmålet, flyter, ankerliner og inter-array kabler. Der intervjuobjektet nevner noen punkter om hvilke inspeksjoner og vedlikeholdsoppgaver som må gjennomføres på disse komponentene.</p> <p>1. Flyter</p>

	<p>For flyteren vil det være nyttig å bruke ROV for inspeksjon av:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strukturell integritet - Beskyttelsessystemet for rust - Rust - Synlige slitasje, og følge opp disse - Defekt coating - IAC og export kabel festepunkter - Marine vekst - Defekter i fundamentets ankerpunkt <p>For den overordnede tilstanden og bevegelsesmønsteret av den flytende konstruksjonen kan en bruke GPS. En kan også ta nytte av akselerometer og inklinometer fra vindkraftverket, ut ifra disse kan en få oversikt over:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Integritet og ytelsen til ankersystemet o Integritet på ballastsystemet o Integritet på flyter og dens ytelse <p>2. Ankersystemet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visuell inspeksjon av festepunktene til ankeret - Visuell inspeksjon av hele lengden av kjettingen brukt til ankersystemet <p>3. IAC og export kabel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visuell inspeksjon av den fulle lengden av inter array kabler og eksport kabler
<p>Hva er vedlikeholds intervallene/inspeksjonene av de forskjellige komponentene?</p>	<p>Her nevner intervjuobjektet at preventive vedlikeholdsoppgaver vil kunne bli gjennomført på komponenter som en vil kunne forutse slitasjen på. Her nevnes det for eksempel den katodiske rustbeskyttelsen, der en kan forutse slitasjen disse utsettes for slik at en omtrent vet når de trenger utbytte. Intervjuobjektet sier også at det vil gjennomføres en stor inspeksjonsrunde det første, tredje, og femte året. Etter dette vil intervallene for den store inspeksjonen være på fem år.</p>
<p>Kritikaliteten til de forskjellige komponentene?</p>	<p>Ikke besvart.</p>
<p>Finnes det noen standarder for drift og vedlikehold for flytende vindparker?</p>	<p>Ikke besvart.</p>

Vedtatt av dekan 30.09.21

Hvor mye vil avstandene fra base til vindpark påvirke kostnaden av vedlikeholdet? Utenlandsk leverandør vs. Norsk lokal leverandør	Intervjuobjektet mener at ved gode estimeringer på hvordan og hvor ofte slitasje og ødeleggelser skjer for de forskjellige komponentene, vil hjelpe å få ned kostnadene og opprettholde opptiden til vindparken. Deres mål som operatør er å holde vindmøllene i gang hele tiden, og derfor vil også lokale landstasjoner med reservedeler være en stor fordel.
Problemet rundt høye levetidskostnader for flytende vind, hvordan tenker du en kan redusere den med tanke på drift og vedlikehold?	Som nevnt i spørsmålet ovenfor, vil det å lage gode estimeringer for hvor lenge en komponent holder sin ønskede standard, være til stor nytte for å effektivisere drift og vedlikeholds oppgavene for flytende vind. Dette fører til redusert nedetid, og at en kan bestille inn båter i god tid før oppgavene skal gjennomføres.
Har du/dere noen nye teknologiske løsninger på å redusere kostnadene eller effektivisere drift og vedlikehold?	Her nevnes det autonome undervanns fartøy som skal kunne erstatte bruken av personell. Dette kan være: <ul style="list-style-type: none"> - Ren observasjon (Video) - Observasjon med sensorer - Undervannsfartøy med mulighet til å gjennomføre enkle oppgaver - Undervannsfartøy for å arbeide på havbunnen - Spesial undervannsfartøy til spesifikke arbeidsoppgaver
Avsporing/Diverse informasjon	Intervjuobjektet snakker også om hvordan vær og vind vil påvirke tilgjengeligheten til finne ut hvilke måneder som er best å utføre vedlikeholdsarbeid. Derfor vil en gjennom analysen vite når en skal booke båter til å utføre vedlikeholdsoppgaver, for å skape en mest mulig kostnadseffektiv gjennomføring. <p>Videre nevner også dette intervjuobjektet bruk av sensorer for å ha en oversikt over de forskjellige komponentene. Dette vil gi en kontinuerlig oversikt over komponentene, og en vil få beskjed gjennom et datasystem når det skjer forandringer eller at komponenten svikter.</p>

8.1.3 Intervju 3 – Vedlikeholds ingeniør nr.2

INTERVJUOBJEKT 3 – DRIFT OG VEDLIKEHOLDSINGENIØR nr.2

Tredje intervjuobjekt har bakgrunn fra drift og vedlikehold i olje og gassnæringen, og jobber i dag med flytende havvind.	
Spørsmål	Svar
Generelle komponenter som behøver vedlikehold når det kommer til flytere, ankersystemet og inter-array kabler?	<p>Intervjuobjektet mener inspeksjonene vil brukes fremfor preventivt vedlikehold. Der en bruker inspeksjoner for å identifisere avvik, og helst så langt mulig på forhånd slik at en kan planlegge en kampanje for å reparere. Akutte reparasjoner vil en unngå, og en bruker inspeksjonskampanjene for å sikre seg at dette ikke skjer.</p> <p>Når det kommer til marin vekst, vil dette skje ganske fort etter installasjon. Men dette vil en la gro fordi det vil være positivt for økosystemet så lenge det ikke vil komme arter der som ikke hører hjemme der. Designet på konstruksjonen vil være designet slik at de skal tåle marin groe.</p> <p>Etter hvert som en lærer om hvordan en skal drifte en vindpark vil intervaller og metoder endres. Dersom en gjør mange funn av en type skade, vil en for eksempel kunne øke intervallene på inspeksjoner/reparasjoner av den komponenten.</p> <p>Inspeksjoner mener intervjuobjektet at vil bli gjennomført annet hvert år. Vedlikeholdsoppgavene vil igjen bli styrt av inspeksjonene og være risikobaserte.</p> <p>Klassing vil bli gjennomført på noen av vindmølleparkene. Myndighetene vil også ville kunne gi noen standere som operatørene er nødt til å følge for å drive parken.</p>
Hva er vedlikeholds intervallene/inspeksjonene av de forskjellige komponentene?	Det vil være lite preventivt vedlikehold, heller risikobaserte vedlikeholdsoppgaver som blir bestemt gjennom inspeksjoner.

	<p>Inspeksjonsintervallene for vindparkene mener intervjuobjekt 3 vil være annen hvert år. Korrektivt vedlikeholdsarbeid eller «run to failure» vil en prøve å unngå, men heller bruke inspeksjonene for å identifisere slitasje. Når en har identifisert slitasje vil en kunne sette sammen en kampanje for å reparere komponenten før den eventuelt skulle blitt ødelagt.</p> <p>Samtidig kan det oppstå at komponenter feiler. Grunnen til det er at gjennom en inspeksjon vil det være vanskelig å se diverse slitasjeskader, og en vil kanskje ikke oppdage slitasjen før den feiler.</p>
<p>Kritikaliteten til de forskjellige komponentene?</p>	<p>Ikke besvart.</p>
<p>Finnes det noen standarder for drift og vedlikehold for flytende vindparker?</p>	<p>Enn så lenge finnes det lite standarder for flytende vind, men vil komme mer av i fremtiden da dette markedet er rimelig ferskt. I dag er det ingen krav for sensurering av konstruksjonen, men blir mer brukt til forskning.</p>
<p>Hvor mye vil avstandene fra base til vindpark påvirke kostnaden av vedlikeholdet? Utenlandsk leverandør vs. Norsk lokal leverandør</p>	<p>Intervjuobjektet sier at det er vanskelig å svare konkret på, da alle prosjekter er forskjellige. Det finnes også mange båter som kan oppbevare mange reservedeler på havet, og som er raskt tilgjengelig. Dersom leverandør selv styrer vedlikeholdet vil de som regel ha oversikt over dette.</p>
<p>Problemet rundt høye levetidskostnader for flytende vind, hvordan tenker du en kan redusere den med tanke på drift og vedlikehold?</p> <p>Har du/dere noen nye teknologiske løsninger på å redusere kostnadene eller effektivisere drift og vedlikehold?</p>	<p>Tidsbruk for inspeksjoner er vanskelig å svare på. Men en kan klare en generell visuell inspeksjon av 2-3 vindmøller til dagen. Dersom ROV flyr raskt, vil en bruke en til to timer per km med line i timen. Intervjuobjektet nevner også at det kan være at inspeksjonene fungerer slik at en tar generell inspeksjon av noen komponenter, imens en går nærmere på noen områder med en mer spesifisert inspeksjon.</p> <p>Videre nevnes det at inspeksjonene mest sannsynlig vil bli gjennomført med autonome undervannsfartøy.</p>

	<p>Intervjuobjektet sier at alle mulige teknologiske løsninger som kan spare på tid og arbeidskraft vil være nødvendig og noe vi kommer til å se i fremtiden. Dette vil være typiske autonome fartøy, både under og over vann.</p>
<p>Avsporing/Diverse informasjon</p>	<p>Intervjuobjektet nevner også at tidslinjen på hvor lang tid en utbygging av en flytende vindpark vil bli mye påvirket av myndighetene og deres krav for utbygging.</p> <p>For store reparasjoner vil en måtte taue hele konstruksjonen til land. Dersom en lager et fartøy som kan gjøre reparasjonene offshore vil dette være veldig kostbart og det er usikkert hvor mye en trenger et slikt fartøy. Derfor vil kabel og ankerliner som kan kobles fra vindmøllen på en effektiv måte være viktig.</p>

Vedtatt av dekan 30.09.21

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet