



Høgskulen  
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE:

Strømføring i forankret Subwavesystem

---

Islam Yousif Abdulbaqi  
Leander Valvik  
Thomas Breivik  
Tommy Steindal Tobiassen

31. mai. 2019

**WAVECO**

Green Energy from Ocean Waves

## Dokumentkontroll

<b>Rapportens tittel:</b> BO19E-56 Bachelormal	<b>Dato/Versjon</b> 31. mai. 2019/2.0
	<b>Rapportnummer:</b> B019E-56
<b>Forfatter(e):</b> Islam Yousif Abdulbaqi Leander Valvik Thomas Breivik Tommy Steindal Tobiassen	<b>Studieretning:</b> 16HELK
	<b>Antall sider m/vedlegg</b> 44
<b>Høgskolens veileder:</b> Reza Arghandeh	<b>Gradering:</b> Åpen
<b>Eventuelle Merknader:</b> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<b>Oppdragsgiver:</b> Waveco As	<b>Oppdragsgivers referanse:</b> Inge Bakke
<b>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</b>  Inge Bakke Email: <span style="float: right;">post@waveco.no</span> Mobile: +47 995 19 795	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
1.00	10.01.19	Endret: - Forside - Dokumentnavn - Datoer - Dokumentkontroll Utkast på: Forord, 3.1.1 Løsningsalternativ, 1.1 Prosjektorganisasjon	Tommy Steindal Tobiassen Islam Yousif Abdulbaqi
1.01	09.03.19	Endret: - Lagt inn forstudie dokumentet - Samlet forstudie og oppgave i ett dokument	Islam Yousif Abdulbaqi Leander Valvik Thomas Breivik Tommy Steindal Tobiassen (Alle i gruppen)
1.15	13.05.19	Forord Diskusjon Appendix B og C	Alle i gruppen
2.0	31.05.19	Fullføring av rapport	Alle i gruppen

## **Forord**

Først og fremst ønsker vi å takke Inge Bakke ved Waveco AS, for veldig god oppfølging på prosjektet. Vi ønsker også å takke vår veileder, Dr. Reza Arghandeh, for god oppfølging. Videre ønsker vi å takke vår klasseansvarlig Lasse Sivertsen for masse god hjelp.

Denne rapporten tar for seg arbeidet vårt med vår bacheloroppgave, «strømføring i forankret Subwavesystem». Den er skrevet i forbindelse med gjennomføring av en bachelorstudiet for avgangstudenter ved Høgskolen på Vestlandet (HVL). Oppgaven teller 20 studiepoeng, og studentene skal gjennomføre en problemorientert oppgave med utgangspunkt i ett realistisk ingeniørproblem som krever kunnskaper og ferdigheter fra sentrale områder i våres studieløp, Bachelor i Elkraftteknikk. Oppgaven er gjennomført for HVL i samarbeid med Waveco AS.

Bølgekraft er en fornybar energi ressurs med stort internasjonalt potensial, og spesielt langs Europas atlantiske kyst. Vi har møtt på en del utfordringer underveis, og det har tidvis vært utfordrende å få tak i informasjon om bølgekraft, siden det er en lite utbredt og utprøvd teknologi. Det er veldig mye energi i havet, som også tilsier at det krever stor mekanisk styrke for å kunne lage noe driftssikkert ute i havet. Vi syntes at denne problemstillingen har vært svært utfordrende og spennende.

## Sammendrag

Prosjektet vårt har gått ut på å utrede forslag til løsning på strømføringssystemet til bølgeturbinen Waveco AS har utviklet.

Slik markedet er i dag, har vi funnet ut av at det for dyrt å satse på denne typen bølgeturbin som kraftproduksjon som ett eget system. Turbinene lager også relativt lite effekt i forhold til kostnadene knyttet til etablering av kraftverket, så det å satse på ett rent bølgekraft system vil gi for lite energi i forhold til kostnadene tilknyttet byggingen av kraftverket.

Det vi har konkludert med, er at denne teknologien passer best i kombinasjon med havvind for å roe ned sjøen i feltet og for å hente ut litt mer energi fra naturkreftene. Dette er fordi havvind turbiner jobber bedre når sjøen er rolig enn når det er masse bølger. Da er det veldig gunstig å ta opp den energien med bølgekraftverk for å øke utnyttelsen av ett havvind-felt. Det er også da allerede etablert infrastruktur i forbindelse med havvind turbinene som skal frakte energien til land.

Ett annet viktig marked er forskning. Ved å bruke en liten bølgekraftturbin til en forskningssonde kan det gjøre at turbinen krever mindre areal for solceller, og samtidig være selvforsynt med energi til å drive forskningssonden og utstyret som er i sonden.

Vi har ikke levert helt 100% opp mot kravspesifikasjonen, men mer generelt om systemet, og knyttet våre generelle funn opp mot systemet vi har valgt iht. kravspesifikasjonen. Dette er fordi vi ønsker å levere våre funn videre til oppdragsgiver, slik at dette også kan brukes hvis bølgekraftverket skal plasseres en annen plass, og ikke bare hvordan det er skrevet i kravspesifikasjonen.

## 1 Innhold

Dokumentkontroll .....	2
Forord .....	3
Sammendrag .....	4
1 Innledning.....	8
1.1 Organisering av rapporten .....	8
1.2 Oppdragsgiver .....	8
1.3 Studietur til Måløy.....	9
1.4 Problemstilling.....	10
1.5 Hovedidé for løsningsforslag .....	10
1.5.1 Turbinen .....	11
1.5.2 Turbinkabel.....	11
1.5.3 Koblingsboks.....	11
1.5.4 Bøye.....	11
1.5.5 Systemkabler .....	11
1.5.6 Samlepunkt.....	11
1.5.7 Landkabel .....	11
2 Kravspesifikasjon .....	12
3 Analyse av problemet.....	13
3.1 Utredning av problemstillinger .....	13
3.2 Sammenlikning av problemstillinger .....	13
4 Diskusjon av løsningsalternativer .....	15
4.1 Overføringssystem.....	15
4.2 Vindkraft .....	19
4.2.1 Hvordan virker en vindturbin .....	19
4.2.2 Betz lov og virkningsgrad.....	19
4.2.3 Miljøpåvirkning.....	20
4.3 Havvindkraft .....	21
4.3.1 Oppbygging av faste og flytende vindkraftverk .....	21
4.3.2 Virkemåte .....	22
4.3.3 Energi og effekt i vind.....	22
4.3.4 Energiomforming.....	22
4.3.5 Vind og bølgeressursen .....	23
4.4 Subsea Oljeboring.....	24

---

4.4.1	Subsea Transformatorstasjoner .....	24
4.4.2	Offshore substasjon plattform .....	24
4.4.3	Kontakter .....	25
4.5	Diskusjon opp mot vårt eget system .....	26
4.5.1	Koblingsboks .....	26
4.5.2	Samlepunkt .....	27
4.5.3	Bøye .....	28
4.5.4	Kabler .....	28
4.6	Forskningssonder .....	31
5	Konklusjon av diskusjon og forslag til løsning av problemstilling .....	32
5.1	System .....	32
5.2	Systemspenning .....	32
5.3	Turbinkabel .....	32
5.4	Koblingsboks .....	33
5.5	Systemkabler .....	33
5.6	Samlepunkt .....	33
5.7	Landkabel .....	33
5.8	På land .....	33
6	Diskusjon .....	34
7	Konklusjon .....	35
Appendiks A	Forkortelser og ordforklaringer .....	36
Appendiks B	Prosjektledelse og styring .....	37
B.1	Prosjektorganisasjon .....	37
B.2	Oppfølging og loggføring .....	37
B.3	Fremdriftsplan .....	38
B.4	Risikoliste .....	38
Appendiks C	Illustrasjoner og koblingsdiagrammer .....	39
C.1	3-fase Turbin med sleperinger .....	39
C.2	2-fase turbin med sleperinger .....	39
C.3	Turbin med induktiv svivel og likeretter .....	40
C.4	Strålenett .....	40
C.5	Ringnett .....	41
C.6	Maskenett .....	41
C.7	Valgt løsning .....	42

Appendiks D	Timelister .....	43
Referanser .....		44
Figur 1	Måløytur den 12.02.2018 .....	9
Figur 2	HVAC System .....	15
Figur 3	HVDC System .....	16
Figur 4	Overføringstap .....	17
Figur 5	AC/DC tap .....	18
Figur 6	Vindmølle .....	19
Figur 7	Bunnfast vindturbin .....	21
Figur 8	Luftvolum med vind .....	22
Figur 9	Bølger er også solenergi .....	23
Figur 10	Offshore substasjon .....	25
Figur 11	Induktiv svivel .....	27
Figur 12	Sjøkabel .....	30
Figur 13	Tesla Powerpack .....	31

## 1 Innledning

### 1.1 Organisering av rapporten

Rapporten er organisert slik at vi først tar for oss problemstillingen og utfordringer med prosjektet. Deretter går vi gjennom informasjonen vi har innhentet, virkemåten til tilsvarende teknologi og litt om hvordan systemene vi har tenkt å låne teknologi fra virker. Så skal vi sammenligne det med løsningsalternativene vi har valgt. Til slutt vil vi gå inn på ett samlet løsningsforslag på hvordan vi tror det er best å utforme strømføringssystemet. Vi vil også gå litt innpå om vi tror det er lønnsomt, hvordan markedet er, og hvilke marked vi ser for oss er de beste for teknologien (per dags dato).

Referanser står i [X] format, og referanseliste står på siste side av rapporten.

### 1.2 Oppdragsgiver

Vår oppdragsgiver er Waveco AS, og ble grunnlagt 1. november 2015 av Inge Bakke. Selskapet er lite og drevet av 2 personer. De har seks aksjonærer, der Bakke eier 75 prosent. Waveco AS ligger i Selje, ett lite og idyllisk tettsted på vestkysten av Norge. Det ligger mellom Bergen og Ålesund. For å komme til nærmeste by, må du kjøre ca 45 minutter med bil. Da kommer du til Måløy.[1]

De deltok i konkurransen Climate Launchpad 2016, og var en av finalistene i europafinalen i Tallin senere samme år.[2] Dette er en prestisjefull konkurranse som har fokus på det grønne skifte.

Waveco AS er ett datterselskap i en stor virksomhetsklynge på Vestlandet, GCE Subsea. GCE Subsea sine ambisjoner er å tiltrekke seg talenter og investorer, utvikle løsninger ut over olje og gass, teknologiinnovasjon, og å ta en lederposisjon innenfor bærekraftig utvikling av sjøens ressurser.[3]

Waveco er støttet av Innovasjon Norge, GCE Subsea og Sparebanken Vest for å teste og utvikle sin patenterte bølgeturbin («Subwavesystem»). De har utviklet og bygd en prototype «Automar», den første prototypen av en sånn turbin.

De har også samarbeid med Stadt Towing Tank AS, som har en test-tank for skipsmodeller. Her har de mulighet til å teste annen teknologi, og en tidligere bacheloroppgave på institutt for maskin- og marinfag ved HVL testet turbinen til Waveco i vannstrøm.[4]

#### Kontaktinformasjon:

Waveco AS, N-6740 SELJE, Norway  
Organization nummer: 916 216 645  
Email: post@waveco.no  
Mobile: +47 9951 9795

**WAVECO**  
Green Energy from Ocean Waves



### 1.3 Studietur til Måløy

I forbindelse med prosjektet, reiste vår bachelorgruppe og den andre bachelorgruppen som skriver om turbinen, og vår veileder, Reza, til Måløy for å besøke en av samarbeidspartnerne til Wavaco. Turen gikk med båt fra Bergen til Måløy, og derfra ble vi hentet av Inge Bakke. Så dro vi til Stadt Towing Tank og fikk en omvisning på anlegget. Vi fikk se hvor de gjorde slepetester på turbinen, og hvor de hadde planer om å bruke en prototype som strømforsyning til å måle aktiviteten i sjøen utenfor anlegget. Dette er fordi de ønsker å kartlegge bølgeaktiviteter utenfor anlegget slik at de også kan bruke sjøen utenfor som ett sted å teste sine modeller. Etter vi hadde gått en runde med slepetanken, dro vi på besøk til nabobedriften som lager glassfiberbåter. Easy Form AS lager modeller av store båter som de bruker til å teste i tanken, og de lager båter i full størrelse, og former til å lage båter i. De har også en gigantisk CNC-maskin. De jobbet også med å ferdigstille verdens første bilferge med komposittskrog. Etter omvisningen satt vi oss på ett kontrollrom og snakket om prosjektet vårt mens vi spiste lunsj. Så tok vi en tur med vognen over slepetanken, der de viste oss hvordan de genererte bølger.

På turen fikk vi god innsikt i hva de jobber med, og markedet for teknologien som Wavaco AS utvikler. Vi fikk også mer motivasjon til å jobbe med prosjektet etter at vi så flere muligheter med teknologien.



*Figur 1 Måløytur den 12.02.2018*

## 1.4 Problemstilling

Det er enda ikke utviklet ett system der turbinene blir aktivert av bevegelsene fra en bøye i havoverflaten. Utfordringen er at det må lages ett pålitelig system som beveger seg opp og ned flere tusenvis av ganger uten å bli ødelagt. Det må også tåle havets påkjenninger og prisen må være innenfor gitte kostnadsrammer. Strømføringsevnen må også være tilstrekkelig god nok. Det er også vanskelig å dimensjonere etter strømføringsevne, siden systemet ikke har jevn produksjon av strøm. Turbinene går raskest "midt i bølgen", mens den går tregere i endepunktene. Derfor er det vanskelig å beregne hvor stor strømføringsevne systemet må ha.

Turbinene må også få rotere, så det bør brukes en svivel slik at vi ikke ødelegger kabler når turbinen roterer i opphenget. Utstyret vil til enhver tid være omringet av vann, så utfordringen her vil være å ha en tilstrekkelig god nok kapslingsgrad, og vi må ta høyde for korrosjon på metallene. Naturkrefter skal heller ikke undervurderes, som eventuelle vinterstormer som kan havare kraftverket.

Det må også tas høyde for at systemet skal være konkurransedyktig med tanke på pris og levetid, dette må også sees i sammenheng med kompleksiteten av systemet.

## 1.5 Hovedidé for løsningsforslag

Oppdragsgivers hovedidé, er at det må være ett kabelsystem, en svivel, en koblingsboks og en måte å få energien til land. Vi har kommet frem til at det mest oversiktlige er å dele opp strømføringssystemet ytterligere for å gjøre det mer oversiktlig. Punktene vi har valgt, er;

1. Turbinen
2. Turbinkabel
3. Koblingsboks
4. Bøye
5. Systemkabler
6. Samlepunkt
7. Landkabel

Dette er fordi at for å kunne klare å få en oversikt over hvordan systemet er som en helhet, må vi dele det opp i flere anleggsdeler. Ved å dele det opp på denne måten, får vi en hensiktsmessig inndeling av hovedkomponentene i systemet, og vi får en oversiktlig måte å forklare hvor en eventuell feil er når systemet en gang blir satt i drift.

### 1.5.1 Turbinen

Turbinen er tatt for seg av en annen bachelorgruppe som skal se på hvordan de vil få energi ut fra turbinen. Det vil vi gå minst mulig inn på i vår oppgave.[5]

### 1.5.2 Turbinkabel

Kabel fra turbin og svivel. Dette er kabelen som går fra turbinen og opp til koblingsboksen. Denne vil enten ha bærewire, eller ha en høy nok bruddstyrke til å tåle belastningen av hele systemet. Men det er ikke en elektrisk utfordring, så bruddstyrken på denne kabelen vil vi gå minst mulig inn på i denne oppgaven. Kabelen må også tåle sjøvann.

### 1.5.3 Koblingsboks

Koblingsboksen er punktet i systemet der systemkablene blir avgreinet til å gå videre i systemet, og til å gå ned til hver enkelt turbin. Her må det også være en svivel ned mot turbinen. Svivelen skal unngå at vridningskrefter sliter av kabelen. Koblingsboksen må være så enkel som mulig, men også gjøre det enkelt å vedlikeholde systemet. Det må også være bygd slik at det kan være under havoverflaten i 20+ år.

### 1.5.4 Bøye

Bøye er den anleggsdelen som tar opp bølgeenergien og overfører det til turbinen. Den ligger i overflaten og følger bølgene. Den kan kreve en strømforsyning til thrustere i fremtiden, men vårt system er forankret og derfor kommer vi ikke til å gå inn på dette.

### 1.5.5 Systemkabler

Dette er kabelsystemet som forbinder sammen alle turbinene. Systemkablene skal gå fra koblingsboks til koblingsboks. Dette er kablene som ligger mellom koblingsboksene og eventuelle samlepunkter. Disse kablene må være selvbærende. De må være nøytrale i sjøen, henge fra bøyer eller henge mellom koblingsboksene. Kabelen må også være solid nok til å tåle ytre påvirkninger i form av naturkrefter, sjøvann osv. Den må også ha nok strømføringsevne til å transportere energien turbinene produserer.

### 1.5.6 Samlepunkt

Samlepunkt for kabler fra alle turbinene og utgang til land. Dette er hvor vi samler alle systemkablene, og hvor vi eventuelt transformerer opp spenningen for å få mindre tap mot land. Samlepunktet kan også være en koblingsboks om systemspenningen er høy nok. Det kan også være ett punkt der vi endrer fra AC til DC hvis vi velger å ha AC på systemkablene.

### 1.5.7 Landkabel

Kabelen som går mot land. Mest sannsynlig en helt vanlig sjøkabel. Ett unntak kan være ved å ha det endelige samlepunktet i en bølgekraft turbin eller ett samlepunkt som «flyter» under havoverflaten. Da må sjøkabelen tåle de mekaniske bevegelsene som systemkablene, slik at vi ikke får tretthetsbrudd eller andre mekaniske problemer som kan oppstå ved mange kontinuerlige bevegelser.

## 2 Kravspesifikasjon

Waveco AS planlegger å bygge et felt for utnytting av bølgeenergi bestående av 36 Subwaveenheter, for eksempel arrangert slik det er illustrert i oppgaven. Hver Subwaveenhet består av en turbin der vingenes sveipte areal har en diameter på 20 meter, hengende 100 meter under en diskosformet bøye som også har en diameter på 20 meter. Enhetene er forbundet med hverandre med horisontale kabler 15 meter under havflaten.

I skjæringspunktet mellom vertikale og horisontale kabler må det være en koblingsboks der både bøyer og turbiner kan hektes av og på. Det må være svingler på kabelen fra koblingsboksen og opp til bøyen og på kabelen fra koblingsboksen og ned til turbinen. Svingelen ned til turbinen må også ha slip-ring for strømgjennomføring. Vi forutsetter at strøm til lys og eventuelle instrumentering i bøyen kan dekkes av solcellepaneler på dennes overside.

Mekanisk design av koblingsbokser regnes ikke med til oppdraget men idéforslag til mottas likevel med takk.

Avstanden mellom enhetene bør minst være 20 ganger bøyediameteren for å unngå gjensidig bølgepåvirkning som kan redusere det totale kraftuttaket fra feltet. Hele feltet skal holdes på plass av en rekke forankringer i ytterkantene. Langs en eller flere av disse kan strøm føres ned til en bunnkabel og videre til land.

Basert på teoretiske beregninger kan vi regne med et energiutbytte på 700 MWh per år i et kystnært bølgeklime utenfor kysten av Vestlandet (Bømlo). Det tilsvarer ca. 80 kW per time hele året rundt. Men været, og dermed bølgene, er jo omskiftelig, slik at mesteparten av energien blir høstet i perioder med mye bølger og mye høyere effekt. Hver Subwaveturbin skal derfor ha en samlet installert generatoreffekt på 300 kW for å kunne høste den høye energien i disse periodene.

Waveco ønsker å få et anbefalt design for strømbehandling og strømføring, fra den enkelte turbin, via feltkabler, koblingsbokser, forankring, bunnkabel til land og levering tilpasset til det nasjonale strømmettet på land. Forutsett at avstanden fra feltet til et egnet sted for ilandføring er 10 km.

Vi ønsker også å få et overslag over materiellbehov og kostnader for materiell.

Vi må avslutningsvis understreke at alt skjer i et dynamisk saltvannsmiljø med de utfordringene dette medfører. Anlegget skal ha en varighet på minst 20 år.

### 3 Analyse av problemet

#### 3.1 Utredning av problemstillinger

Problemstillingene vi har i systemet vårt, er mange. Det første og mest utfordrende med systemet er at turbinene skal stå i havet, under vann. Dette fører med seg masse problemer som må tas hensyn til. De fleste problemstillingene er mekaniske, og utenfor vårt fagfelt i denne rapporten, men vi må likevel forsøke å ta hensyn til dem når vi skal utforme strømføringssystemet. For eksempel vil mekaniske utfordringer være viktige å ta hensyn til når vi skal velge en kabel. Vi må også ta hensyn til mekaniske utfordringer når vi velger kompleksiteten på systemer. Dette er for å bruke så lite komponenter som mulig, og for å opprettholde driftssikkerhet i systemet.

En av utfordringene er at vi må lage ett system med minst mulig elektrisk tap. Vi må velge ett spenningsnivå, og mellom AC/DC, for å forsikre at systemet får mest mulig effektiv overføring av energi. Det må også velges utstyr som har tilfredsstillende isolasjon og ledekapasitet til å lage ett driftssikkert system som varer i mange år. Det må også brukes utstyr som er billigst mulig, for å holde kostnader nede.

En annen utfordring er hvordan skal vi få systemet til å lede strøm gjennom en roterende kobling under vann, med minst mulig tap. Turbinene må få rotere fritt, da må vi ha en roterende overføring mellom turbin og koblingsboks. Svivelen bør være der, fordi at hvis det ikke får rotere fritt kan det oppstå ugunstige vri-krefter på andre komponenter som vi helst vil unngå.

Problemstillingene med generering av energi med bølgekraft er at det vil ikke være noe jevnt kraftuttak slik som i vannkraft, der du kan regulere farten på turbinen. I vårt bølgekraftsystem vil ikke turbinen ha en jevn hastighet. Derfor er en del av problemstillingen at vi må se på hvordan vi kan utjevne den variable energiproduksjonen fra turbinene, eller om det i det hele tatt er ett problem, for eksempel i ett stort felt der mange turbiner er koblet sammen.

#### 3.2 Sammenlikning av problemstillinger

Når vi innhentet informasjon fra tidligere kraftverk som skal være ute i havet, la vi merke til at systemet vi ser på har noen unike utfordringer. Likevel har det også en del felles utfordringer med forskjellige andre systemer, der utfordringene allerede har blitt løst. Derfor kommer vi til å sammenligne vårt prosjekt hovedsakelig med havvind. Vi har også sett på teknologi de bruker til oljeutvinning, som Subsea transformatorstasjoner og undervannskontakter. Vi har også sett litt på vindkraft og andre bølgekraftverk.

Bølgekraftverk har hatt tendenser til å havarere på grunn av de enorme kreftene som er i bølgekraft. Dette er potensiell energi vi kan bruke til å produsere energi, men også en energi som er veldig destruktiv for alt som blir sjøsatt, så denne må temmes. Vi må unngå at systemet havarerer, og derfor er det viktig at vi tar hensyn til alle utfordringene vi står framfor.

Bølgekraftverket vi jobber med, har ganske mange unike utfordringer i forhold til de andre kraftverkene vi har sett på, men også noen likheter. Likevel har vi ikke funnet noe særlig om strømføringssystemene til de andre bølgekraftverkene som vi kan bruke, så vi har ikke gått inn på dette.

Men vi har fokusert mest på havvind, fordi hovedforskjellen er måten energi blir produsert, og det er veldig mye informasjon tilgjengelig om dette allerede.

## 4 Diskusjon av løsningsalternativer

### 4.1 Overføringssystem

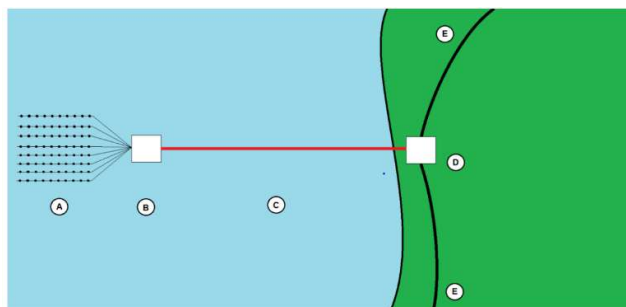
Med AC er vi nødt til å sørge for at alle turbinene er i fase. Det vil også være en utfordring å holde frekvensen lik på nettet, fordi turbinene har ulike hastigheter til ulike tider. Derfor kan det føre til seg mye styresystemer hvis vi velger å bruke AC på systemkablene. Omfanget vil være litt forskjellig ved bruk av 2 eller 3 faser, men vi må tilpasse det strømmettet når det kommer til land. Så vi må ha ett landanlegg uansett om vi velger AC eller DC.

Hvis anlegget blir plassert lengre fra land, vil det være en utfordring med tap i AC-kabler. Dette er fordi når avstandene blir lange, vil motstanden i AC-kabler øke. Problemet med overføring av elektrisk energi over lengre avstander via AC, er at det blir mye tap knyttet til reaktiv effekt i kabelen. Den reaktive effekten kommer av kapasitansen i kabelen og frekvensen. Jo høyere frekvens, jo høyere reaktive tap. Det vil også gjøre det vanskelig å sende strømmen til land, ved at lange AC kabler har stort tap over lange kabellengder.

**HVAC** er den mest vanlige metoden for kraftoverføring, inntil nyere år var det den eneste teknologien som ble brukt når det gjelder vindparker.

En generell beskrivelse av HVAC overføring er at det blir produsert energi av for eksempel vindparker som blir sendt til en offshore substasjon, som inneholder transformatorer som øker spenningen til verdier, typisk mellom 110kV og 275kV. Energien overføres ved disse spenningsnivåene gjennom sjøkabler til den kommer til landstasjonen, der forbindelsen til nettet er. Andre komponenter som bryteranlegg og reaktiv effektkompensasjonssystemer er nødvendig for å garantere kraftoverføringen.

Figur 2 viser et generelt overblikk over en HVAC offshore kraftoverføring. Det er verdt å merke seg at AC systemer har tre faser, og bildet er et enlinjeskjema.



I punkt A ser vi en offshore vindpark, *Figur 2 HVAC System* der turbinene produserer og overfører

MVAC til en offshore substasjon som vi ser i punkt B. Offshore substasjonen kjører spenningen opp til HVAC. Offshore substasjonen inneholder mange komponenter, deriblant step-up transformatorer, brytere og effektkompensasjonssystem. I punkt C er det tre-fase sjøkabler som bringer effekten fra substasjonen til landstasjonen i punkt D, med høy spenning. Noe av det landstasjonen inneholder er reaktive kompensasjonssystemer, brytere og transformatorer. Landstasjonen er der det blir forbindelse med nettet og der tilpasses spenningen til det nivået nettet krever.

**MVAC** fungerer veldig likt som HVAC, men opererer med en lavere spenning. Spenningen blir ikke transformert opp fra der den blir sendt fra, så spenningen overføres på samme spenningsnivå som blir produsert i vindparken.

Konsekvensen av det er at det er ikke nødvendig med transformatorer, så kostnaden blir betydelig redusert. Da kan den hende at man kan spare seg for en offshore stasjon siden det ikke er behov for å tilpasse spenningsnivået, men om man drifter på lavere spenning vil strømmen bli høyere. Med veldig store strømstyrker er det nødvendig med trefasesystemer for å overføre nok mengder med energi. Ohmske tap kan potensielt være mye høyere enn i HVAC, fordi effekttap er avhengig av strøm og motstand i kablen.

MVAC er da best egnet om disse tapene kan begrenses, dvs. med små vindmølleparker eller svært korte avstander fra land. MVAC foreslås å være egnet for offshore vindparker som produserer mindre enn 200 MW, og er mindre enn 20 km fra land. Det er uansett tvilsomt om man skal bruke MVAC, fordi det fører med større overføringstap enn HVAC. Hvis man ser på Nysted 1 vindmøllepark som produserer 165.6 MW, har en overføringslengde på 10.75 km og de bruker HVAC. Det gjør de mest sannsynlig for å redusere overføringstapet. [6]

**HVDC** er ett system der det brukes høyspent likestrøm til kraftoverføring i stedet for vekselstrøm, som er det mest vanlige. HVDC kan være aktuelt når en eller flere av følgende betingelser er oppfylt:

- stor effekt skal overføres over meget lang avstand (mer enn 1000km)
- kabeloverføring er nødvendig over mellomlang avstand
- sterke vekselspenningsnett skal sammen kobles men en enkel, relativt svak forbindelse.

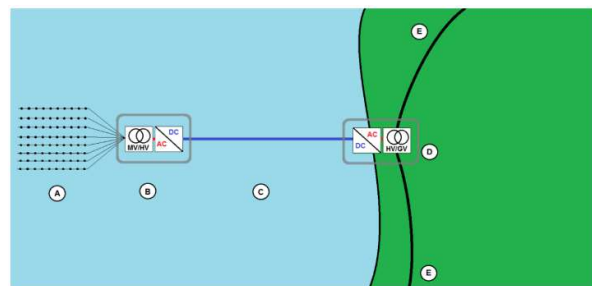
Det kan også være andre grunner til å velge HVDC, da teknikken gir god mulighet til å kunne regulere effekt hurtig og presist i nettet og dermed blant annet kunne dempe hurtige effektsvingninger.

Ved store sjøkabelforbindelser forlagt i norske fjorder vil man også benyttet HVDC teknikk. Teknikken er velkjent og driftssikkerheten er god.

Figur 3 gir et generelt overblikk over en HVDC kraftoverføring.

I punkt A er det en offshore vindpark som overfører medium spenning gjennom fordelingskabler til en offshore stasjon i punkt B, den inneholder forskjellige

elektriske komponenter, deriblant en step-up-transformator og en omformer. Der øker spenningen til en verdi som passer omformerstasjonen. Deretter konverterer



Figur 3 HVDC System



omformerstasjonen spenningen og strømmen fra AC til DC. HVDC linjen i punkt C transporter kraften fra offshore stasjonen ved høy spenning til landstasjonen i punkt D. Landstasjon består hovedsakelig av en omformer der spenningen blir konvertert tilbake til AC, den har ofte flere transformatorer slik at den kan tilpasse seg spenningsnivået som kreves i nettet.[7]

### Bedre virkningsgrad

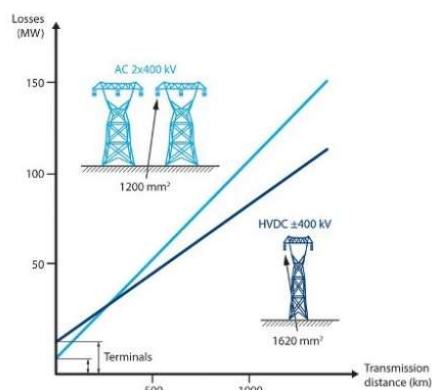
Konverteringen til og fra likestrøm vil alltid belaste virkningsgraden til en HVDC-system. Før måtte man regne med mellom 1,5 og 2 prosent tap i hver av de to stasjonene, men i dag er dette kommet ned under 1 prosent.

### Eksempler på HVDC sjøkabler i drift[8]

Navn	forbindelse	Spenning	kapasitet	lengde
Baltic Cable	Sverige-Tyskland	450 kV	600 MW	250 Km
Cross-Skagerak	Norge-Danmark	350 KV	1700 MW	127 Km
Estlink 1	Finland-Estland	150 KV	350 MW	74 Km
Estlink 2		450 KV	650 MW	145 Km
Fenno-Skan1	Sverige-Finland	400 KV	550 MW	200 Km
Konti-Skan 2	Sverige-Danmark	285 KV	300 MW	149 Km
NordBalt	Sverige-Litauen	300 KV	700 MW	400 Km
NorNed	Norge-Nederland	450 KV	700 MW	580 Km

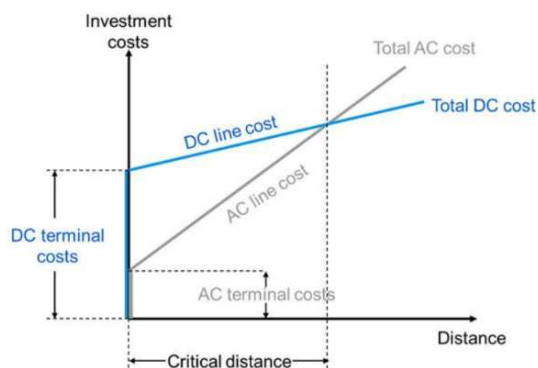
**Lavere tap:** HVDC-overføringstap er lavere enn vekselstrøm-tap i nesten alle tilfeller. En optimalisert HVDC-kraftoverføringslinje har lavere tap enn AC-linjer med samme kapasitet-tap i omformerstasjonene må også legges til og de er omtrent 0,6 prosent for HVDC-Classic og under 1 prosent for HVDC-Light av overførte kraften i hver stasjon.

Sammenligner vi dem, er de totale HVDC-overføringstapene fortsatt lavere enn AC-tapene i alle tilfeller.



Figur 4 Overføringstap

HVDC-kabler har også lavere tap enn vekselstrømkabler. Diagrammet nedenfor viser en sammenligning av tapene i 1.200MW overføringskanaler med AC og HVDC.



Figur 5 AC/DC tap

Selv om HVDC-kabler er betydelig billigere enn HVAC-kabler, øker den totale kostnaden for et HVDC-prosjekt (terminal + kabel) langsommere med avstand enn totalkostnaden for et HVAC-prosjekt (stasjon + kabel). Etter en kritisk avstand er den totale kostnaden for et HVDC-prosjekt mindre enn et HVAC-prosjekt. Dette faktum gjør HVDC til ideelt valg for langdistanse (over 800 kilometer) i tillegg til underjordisk og undersjøisk kraftoverføring.

**Lavere investeringskostnader:** En HVDC-overføringslinje koster mindre enn AC-linje for samme overføringskapasitet. Problemet er at HVDC-terminalstasjonene er dyrere på grunn av at de må konvertere fra AC til DC, og DC til AC. Men over en viss avstand, den såkalte «break even distance» (ca. 600-800 km), vil HVDC-alternativet alltid gi den laveste prisen.

Pris er alltid viktig parameter når det skal gjøres store investeringer i infrastruktur. Noe som driver opp prisen på HVDC er de store anleggene, like og vekselretting på hver side av linjene. Noe som driver opp prisen på HVDC er de store anleggene, like og vekselretting på hver side av linjene. Slike anlegg kan være en stor del av hele investeringen i en ny linje, og begrenser hvor økonomisk de er på kortere strekninger. Moderne halvlederteknologi har bidratt sterkt til å gjøre HVDC mer praktisk og billigere. Her snakker vi ikke om halvledere vi kjenner fra datamaskiner, men svære anlegg som kan behandle effekter på et stort antall gigawatt.

Reaktiv effekt er generelt en stor utfordring ved AC, og krever at hele nettet balanseres ved bruk av spoler og kondensatorer. I lange AC-linjer kan det være nødvendig og kompensere for slike reaktive tap langs linjen.

DC har noen fordeler i forhold til AC i dette systemet. Det er ikke nødvendig å «holde ting i fase», og AC kan transformeres til DC relativt enkelt med moderne teknologi. Det er også lettere å sende energien ut av turbinene fordi det er 2 ledere, og ikke 3. Det er heller ikke behov for likeretteranlegg når det skal sendes til land.

Når vi skal velge spenningsnivå, må vi dimensjonere i henhold til størrelsen på turbinen (i MVA). Vi må holde strømmen i systemet nede, slik at vi ikke lager for tunge kabler. Når vi velger spenningsnivå, må vi også betrakte avstander og pris på kablene.[9]

## 4.2 Vindkraft

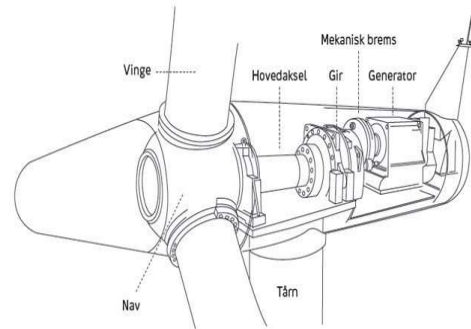
Vindkraft er en fornybar energikilde der bevegelsesenergien i vind blir omdannet til elektrisitet ved hjelp av vindturbiner. Vinden blåser på bladene, som roterer og driver en generator som produserer elektrisk energi. Vindkraft er en av de mest miljøvennlige formene for storskala kraftproduksjon, og en av de mest miljøvennlige formene for mengdeproduksjon av elektrisk energi. [10]

### 4.2.1 Hvordan virker en vindturbin

Hovedoppgaven til en vindturbin er å omdanne vindens bevegelsesenergi til elektrisk energi.

En vindturbin består av:

- Tårn
- Vinger
- Maskinhus med gir, generator og sleperinger. (Nacelle)



Figur 6 Vindmølle

Vinden får bladene til å rotere, og turbin går rundt. (Vinden virker med en kraft på turbinbladene og det utføres ett arbeid) Når turbinen roterer, roterer også drivakselen, som er koblet til generatoren og girkassen. Generatoren omdanner bevegelsesenergien i rotasjonshastigheten til elektrisk energi. Girene gjør at den langsomme rotasjonshastigheten til drivakselen blir raskere og mer egnet til å generere strøm i generatoren.

På maskinhuset har vindturbinene en vindhastighetsmåler og en vindretningsmåler. Energiomdannelsen starter når vinden er på 3 m/s, og da dreier maskinhuset til rotoren blir stående mot vinden. Maksimal produksjon er når vindhastigheten er fra 13 m/s. Produksjonen vil stanse hvis vinden over 25 m/s for å unngå skade.

### 4.2.2 Betz lov og virkningsgrad

Betz lov sier at en vindturbin i teorien kan utnytte maks 59% av bevegelsesenergien i vinden som passerer bladene. Skulle vindturbinen utnytte 100% ville det vært helt vindstille bak turbinen. Det går ikke, for vinden må ha nok energi til å fortsette videre etter å ha passert turbinen. Av denne grunn krever vindturbiner avstand mellom seg, fordi det dannes turbulens i vinden etter at den har passert en vindkraftturbin.

Virkningsgraden til en vindturbin er hvor mye vindenergi du klarer å gjøre om til elektrisk energi. Når energien går fra en form til en annen vil det alltid være noe som går tapt på veien. Først og fremst kan ikke 41% av vindens bevegelsesenergi brukes, på grunn av Betz lov. De

fleste møllene er heller ikke effektive nok til å omgjøre 59%. deretter må energien generere elektrisk strøm, og her vil litt av energien gå tapt i form av friksjon og varme. Til slutt sitter man igjen med ca. 40-45% av vindens energi som elektrisk kraft. For å sammenligne har de beste vannkraftturbinen en virkningsgrad på ca.98% og de beste solcellene ca. 31%.

#### **4.2.3 Miljøpåvirkning**

Vindkraft er en fornybar og miljøvennlig energikilde uten forurensende utslipp, men alle former for storskala kraftproduksjon påvirker miljøet. Vindparker må ligge der det blåser ofte på åsrygger eller åpne sletter. Ved bygging av vindparker legges et stor vekt på å unngå konflikt med blant annet friluftsliv, biologisk mangfold, reindrift og bebyggelse. Derfor det det viktig på konsesjonssøknad for en vindpark er grundig utrede den planlagte vindparken sin virkning på fugler, reindrift, forsvaret, samt å utrede visuell forurensning og støy fra vindparken.

### 4.3 Havvindkraft

Havvind er vindturbiner som står i felt ute på havet. Turbinene er flytende eller fundamentert på havbunnen. Det er gjennomsnittlig sterkere vind ute på havet, og derfor vil også turbinene kunne produsere mye mer elektrisitet enn tilsvarende turbiner på land. Men havet byr på mange utfordringer. Bølger, stormer og saltvann gjør at vindturbinene ute i havet må kunne tåle mye mer enn vindturbinene på land. Siden havvind-anlegg står i samme miljøet som turbinen til Waveco AS, vil derfor vi ha omtrent de samme problemstillingene som dem når det gjelder miljøpåvirkning. Også vi må kunne frakte energien til land, og derfor vil det kreve omtrent de samme komponentene i systemet. [11]

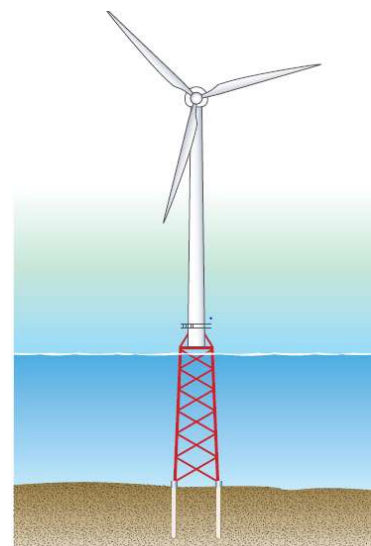
Som vi vet vindkraft til havets er fortsatt en ung teknologi, men er i ferd med å utvikle til en betydelig industri. Fra starten i 1991 er det i dag installert om lag 1100 MW vindkraft til havs. Det alt vesentlige vanddyb under 15 meter. Dette utgjør noe over 1 % av total vindkraft installert i verden. Danmark og Storbritannia har kommet lengst, og står hver for over 35% av den totale er nå prosjekter underveis i USA, Asia og Sør-Amerika.

#### 4.3.1 Oppbygging av faste og flytende vindkraftverk

**Bunnfaste anlegg** krever solid fundamentering. Å lage vindturbiner for plassering på havet er en utfordrende oppgave. De aller fleste forslagene til utforming vi har sett så langt, bygger direkte på det som har utviklet seg til å bli standardløsningen på land, nemlig tre-vingers turbinhjul montert på én horisontal akse. På land støper man ett flere hundre tonns tungt betongfundament for å holde turbin og tårn på plass. Er vannet grunt nok, kan man feste tårnet i havbunnen også. Slike anlegg er allerede bygd i flere land og EU har definert havvindkraftverk som en viktig brikke i det grønne skiftet.

**Flytende anlegg** må har tilfredsstillende stabilitet. Er vannet dypt (typisk dypere enn ca. 50 meter), må vindkraftverket lages flytende. Den første utfordringen for slike vinturbier er å sikre at den flytende konstruksjonen er stabil, det vil si at den ikke krenger for mye eller velter rundt når vinden står på. Denne utfordringen er akkurat som for skipsbygging, men i og med et flytende fundament for vindturbiner utformes ulikt fra skipskrog. Som vi vet at stabiliteten kan sikres på to måter:

- ved å ha tyngdepunktet langt nok nede
- ved å ha et stort nok bærende areal ut fra sentreaksen i vannoverflaten.

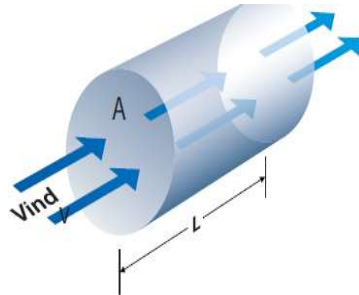


Figur 7 Bunnfast vindturbin

### 4.3.2 Virkemåte

Løftekrefter på rotorbladene gir dreiemoment på rotor. Vinden gir krefter på turbinbladene på samme måte som for flyvinger. Løftkreftene skyldes at trykket minker når hastigheten øker, noe man lett kan se ved blåse over et ark man holder framfor deg.

### 4.3.3 Energi og effekt i vind



Masse av luft:  $m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot L$

Kinetisk energi i et luftvolum:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot L \cdot v^2$$

Figur 8 Luftvolum med vind

Med vindenergi mener vi den kinetiske energien til luft i bevegelse, og størrelsen på denne kan vi derfor regne med  $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ . La oss anta at et tenkt volum av luft med tverrsnittsareal  $A$  og lengde  $L$  som vist i figuren, passerer vindturbinen i løpet av tiden  $\Delta t$ . Den kinetiske energien til dette volumet av luft blir:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot L \cdot v^2 \text{ [J]}$$

Energistrøm per tverrsnittsareal i vindretningen. Energien som passerer gjennom hver  $m^2$  av tverrsnittet  $A$  per tiden  $\Delta t$ , altså vindens effektressurs pr.  $m^2$

Blir:

$$\frac{P_{\text{vind}}}{A} = \frac{E_k}{A \Delta t} = \frac{\rho \cdot A \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot A \cdot \Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Formelen forteller altså hvor stor strøm av kinetisk energi i vind med en hastighet  $v$  har pr.  $m^2$  areal normal på vindretningen. F.eks. gir 10m/s en effekts ressurs pr.  $m^2$  lik 0,65kW/ $m^2$  (ved tetthet 1,29 kg/ $m^3$ ).[12]

### 4.3.4 Energiomforming

#### **Grense for effektandelen som utnyttes en vindturbin.**

I 1920 klaret en tysk mariningeniør ved navn Albert Betz å beregne en teoretisk øve grense for den effekten som kan hentes ut av vinden ed en vindturbin. Resultatet hans viste at maksimalt 16/27 kan omformes til mekanisk energi i vindturbinen, altså

$$P_{\text{max}} = \frac{16}{27} \cdot A_{\text{rotor}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 = \frac{16}{54} \cdot \rho \cdot A_{\text{rotor}} \cdot v^3 \text{ [W]}$$

### **Virkningsgrader på veien til strøm.**

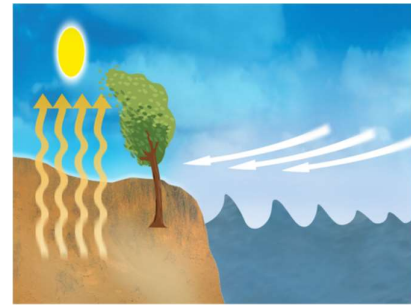
De beste turbinene i dag klarer å omlag 80% av Betz øvre grense, altså har de en rotor virkningsgrad på  $\eta_{\text{rotor}} = 0,8 \cdot \frac{16}{54} = 0,47$ . Før energien kan leveres til strømmettet, er det ytterligere tap i omformingen fra mekanisk til elektrisk energi. I dagens turbiner benytter vanligvis et mekanisk gir for å øke akselhastigheten fra mellom 10 og 20 omdreininger per minutt ved turbinen til 1500 omdreininger per minutt ved generatoren. Høyere rotasjonshastighet gjør at generatoren kan ha langt mindre tap og bedre virkningsgrad, typisk mellom 0,92-0,96. Den mekaniske girkassen for vindturbiner inneholder gjerne tre gir trinn, og kan ha virkningsgrader på opptil ca. 0,97, avhengig av utvekslingsforholdet.

Den totale virkningsgraden i forhold til den tilgjengelige energien i vinden kan beregnes som:

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{rotor}} \eta_{\text{gir}} \eta_{\text{el}} = 0,47 \cdot 0,97 \cdot 0,95 = 0,43$$

### **4.3.5 Vind og bølgeressursen**

Temperaturforskjellene som oppstår i atmosfæren og på jordoverflaten som følge av solstrålingen gir trykkforskjeller som skaper vind. Når vinden blåser over havoverflaten dannes bølger, jo lengre tid og lengre strekning vinden blåser over, jo høyere blir bølgene, og bølgelengden øker.



Figur 9 Bølger er også solenergi

#### **Vindressursen**

Det er vindhastigheten og tettheten til lufta som bestemmer hvor mye energi som er tilgjengelig i vinden. Man ønsker derfor å plassere selve turbinen i et vindkraftverk et stykke opp fra vannoverflaten, hvor hastigheten er jevnere og større.

#### **Bølgeressursen**

Bølgene ruller over havet, og det kan være et godt bilde på hva som skjer. Under overflaten går nemlig vannpartiklene i sirkulære baner på dypt vann, og i ellipseformede baner på grunt vann. Amplituden til bevegelsen avtar dypere ned i vannet man går. Energien i bølgene kan sees på som en kombinasjon av potensiell energi på grunn av høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal, og kinetisk energi på grunn av vannets sirkelbevegelse. Bølgestørrelsen kommer an på vindhastighet, virkedistanse eller den distansen vinden har anledning til å dra bølgene og bunn-topografi, altså hvordan havbunnen er utformet. De nordlige og sørlige områdene på kloden er de beste stedene for å hente ut bølgekraft og de vestlige vindene her er sterkest.

Bølgene i Norge er ikke så enkle å utnytte, men man antar at potensialet bare er noe mindre enn energipotensialet i alle norske vassdrag. En fordel med å utnytte bølgeenergi i Norge er at det er mest bølger om vinteren og da trenger vi mest energi.

Det er blitt forsket mye på hvordan vi kan utnytte bølgeenergi. En av utfordringene er å lage konstruksjoner som tåler de store belastningene som bølger fra stormer og orkaner lager. Bølger kan også utnyttes til å drive skip fremover ved hjelp av en foilpropell.

Bølgeenergi er en mekanisk effekt fra havets overflatebølger. Denne effekten utnyttes for å omdanne den kinetiske energien til en annen form, elektrisk energi. Bølgekraft er på samme måte som vindkraft og solkraft, en fornybar energikilde. For at bølgeenergi skal kunne nyttiggjøres må den omformers til elektrisk energi via en generator.

#### **4.4 Subsea Oljeboring**

Grunnen til at vi ser på dette området, er fordi her er det ganske mye subseaprodukter som allerede er blitt utviklet. Vi skal ikke se på selve oljeboringsprosessen, men de elektriske distribusjonssystemene de bruker. Det er utviklet transformatorstasjoner, brytere, kontakter osv. for bruk under vann. Men denne teknologien er enda ikke veldig utbredt i andre virksomheter enn olje, og derfor er kostnadene fremdeles veldig høye. Det er også en del teknologi som ikke er oppfunnet enda, men noe de jobber med. Ett eksempel på dette er transformatorstasjoner som er under havoverflaten, men ikke forankret på sjøbunnen. Det er teknologi som kan være gunstig å bruke i bølgekraftverk, fordi hvis turbinene blir plassert i veldig dype vann kan det bli veldig dyrt hvis alle systemkablene skal gå helt ned til havbunnen.

##### **4.4.1 Subsea Transformatorstasjoner**

Her er det 2 forskjellige hovedtyper. Dem som er forankret på havbunnen, og dem som flyter under havoverflaten. Begge typene er veldig dyre anleggsdeler, og vil øke prisen på systemet betraktelig.

Disse transformatorstasjoner inneholder alt en vanlig transformatorstasjon inneholder. Brytere, transformatorer og styringssystemer. Hovedforskjellen er kapslingsgraden og prisen.

Hvis det skal være likeretteranlegg i transformatorstasjonen vil også prisen øke betraktelig.  
[13]

##### **4.4.2 Offshore substasjon plattform**

En offshore vindpark er typisk satt sammen av fire hoveddeler, vindturbiner, det inder rutenettet, offshore substasjon og eksternt rutenett. Det indre rutenettet opererer i medium spenning og en transformator øker spenningen til transmisjonsspenningen. Offshore substasjon mottar kraft fra turbinene og eksporterer det til nettet. På grunn av miljøforhold er offshorestasjoner implementert som innendørs strukturer på plattformer forankret til havbunnen.



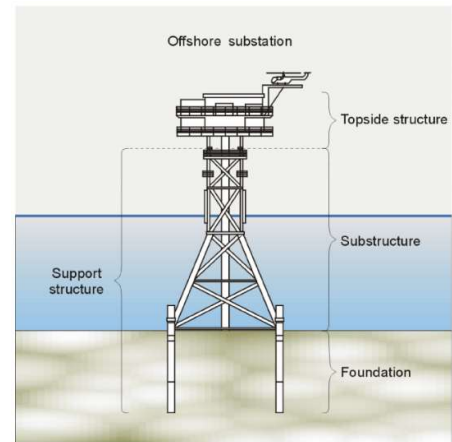
Det elektriske utstyret på en offshore substasjon er avhengig av om det er vekselstrøm eller likestrøm (AC eller DC) som er brukt for overføring av elektrisk energi. Grunnen for å velge HVDC substasjoner framfor HVAC substasjoner for å overføre effekt fra havet til land er ofte mange og ganske komplekse, men i de fleste tilfeller er overføringsavstanden til kysten hovedgrunnen.

Det grunnleggende elektriske utstyret for HVAC-stasjoner er:

- Transformatorer
- Hjelpetransformatorer
- Jordtransformatorer
- GIS høy- og mellomspenningsbryter
- Backup-generatorer
- Jordingsmotstander
- Reaktorer
- AC-filtre

Hovedfunksjonen til HVDC substasjoner er og konverterer AC spenning til DC spenning. Dermed er det flere elementer til en HVDC-stasjon i forhold til hva det er i en HVAC-stasjoner inkluderer:

- IGBT-omformere med kjølesystem
- Utjevnings-spoler
- DC-filtre



Figur 10 Offshore substasjon

På grunn av mye ekstra utstyr vil HVDC plattformen være mye større og kan veie opptil 15000 tonn, mens HVAC plattformen kan veie opptil 2000 tonn. Siden komponentene er innendørs vil de være standard for det fleste leverandører. [14]

#### 4.4.3 Kontakter

Hovedforskjellen mellom wet connectors og dry connectors, er om du kan koble de sammen under vann. Wet connectors er oppbygd slik at de kan kobles sammen under vann. Men de er mye dyrere enn kontakter som må kobles sammen over vann.

Det kan være at det vil være gunstig å bruke wet-connectors på enkelte koblinger for å lette vedlikehold av Waveco AS sine turbiner, men det vil også øke kostnaden på anlegget. Det er derfor noe som må vurderes nærmere ved ett senere tidspunkt. [15]

## 4.5 Diskusjon opp mot vårt eget system

### 4.5.1 Koblingsboks

Hva koblingsboksen skal inneholde, må vi tenke nøye gjennom. Det burde være mulig å koble ut turbinen i tilfelle feil, så derfor kan det være lurt med fjernstyrte brytere i koblingsboksen. Det bør også være mulig å ta opp turbin og svivel uten å løfte opp kablet for å sikre kontinuerlig drift av de andre turbinene. Men, alt dette vil komplisere koblingsboksen. Det blir også flere ting som kan bli ødelagt.

Det kan også være en idé å ha kommunikasjons-system for å kunne overvåke tilstand og drift, oppe i koblingsboksen. Det er kan også være en fordel å ha dette oppe i koblingsboksen, fordi da kan det være enklere å overføre informasjonen til land. Vi slipper da også svivler på kommunikasjonskablene.

Svivelen bør være en hylleware, fordi ellers vil denne komponenten bli veldig kostbar. Svivelen må være vanntett, og tåle de strømmene som blir produsert av turbinen. Det er utviklet induktive svivler, som kan være en smart komponent å bruke i systemet. Men vi må forsikre oss om at komponenten ikke har for mye elektrisk tap. Den må også passe systemet vårt, og den må være innenfor våre kostnadsrammer. Fordelen med induktive svivler er at det er færre komponenter, men det kan være høyere elektriske tap. [16]

Vi kan også vurdere om det burde brukes olje til isolasjon av koblingsboksen, eller om det bør brukes faste isolasjonsmaterialer. Fordelene er at vi kan minske faseavstanden på grunn av høyere dielektrisk motstand. Det negative ved bruk av olje som isolasjonsmateriale, er at det stiller krav til oljeoppsamling ved bruk av mineralbaserte oljer. For å slippe unna dette kravet, må vi se nærmere på hva type olje som kan brukes, og det bør brukes en olje som er biologisk nedbrytbar for å unngå en miljøkatastrofe. Ved bruk av faste stoffer vil ikke oljeoppsamling være noe problem, og med dagens isolasjonsmaterialer er det gode alternativer til olje som isolasjonsmateriale. For eksempel epoxy er veldig mye brukt, men med oljeisolasjon har du muligheter for bedre kjøling av komponenter som kan være en fordel hvis det er fare for at noen av komponentene har høy varmeutvikling.

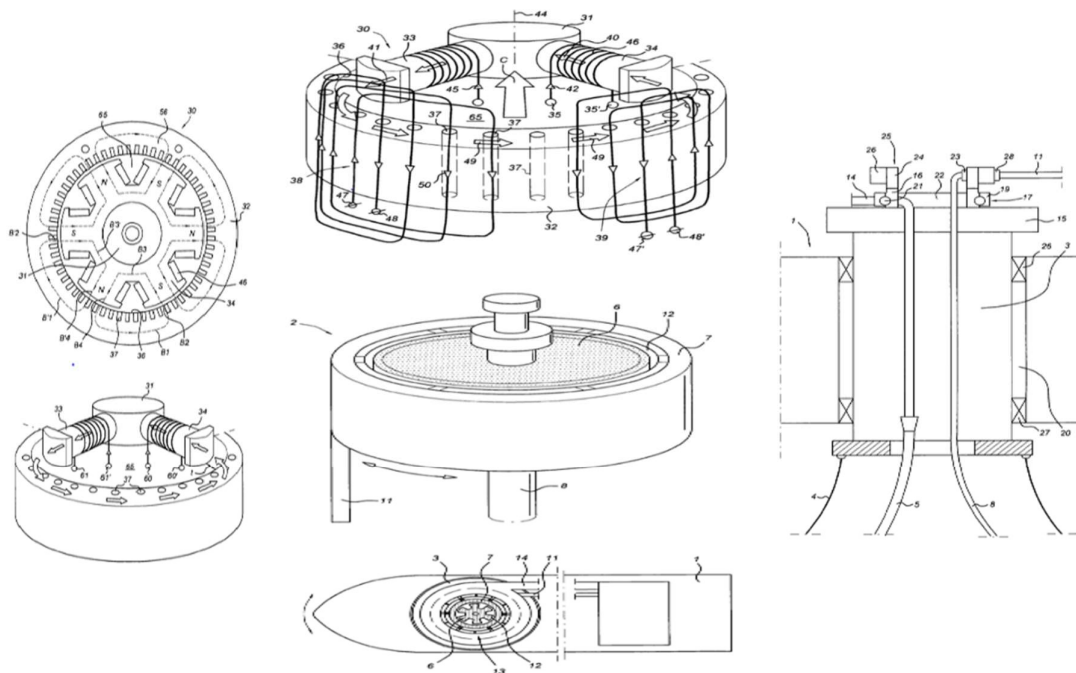
**Svivel med børster** er bygd opp slik som børstene på en vanlig elektromotor. Den er en roterende kobling på en kabel, som gjør at kablet kan snurre fritt uten å få vridningskrefter på kablet som igjen kan føre til at den blir vridd av. [17]

Svivelen har en roterende ring, og børster som har mekanisk kontakt med ringen. Børstene har ofte fjærer som presser de inn i metallringen for å få en bedre kontakt. Siden det er en overgang via forskjellige materialer på en slik svivel, vil det være tap knyttet til svivelen.

Svivler som dette blir brukt på vindturbiner, og er en ganske utbredt teknologi når den ikke er under vann. Det er derfor en kostbar del i systemet. Men for MVAC er disse svivlene alt for

store og totalt ubrukelige for vårt system. De er i størrelsen 5-8 meter høye og veier altfor mye. Men det finnes svivler som er mindre.

**Induktiv svivel** er en relativt ny komponent som ble patentert i 2010. Den overfører energi på samme måten som en svivel med børster, men i stedet for en mekanisk tilkobling mellom begge roterende deler, vil energien bli overført med induksjon. Her er det også ett tap, men det kan være en mye mer driftssikker løsning fordi det er ingen mekanisk kontakt mellom de roterende delene, og det er færre ting som kan bli ødelagt. Men det kan være det er mer tap i svivelen.[18]



Figur 11 Induktiv svivel

**Kort om elektromagnetisk induksjon:** Elektromagnetisk induksjon er når en leder blir utsatt for et varierende elektromagnetisk felt. Om kretsen er knyttet til en lukket sløyfe, vil det gå en strøm i lederen. Det er beskrevet matematisk ved Faraday's lov.[12]

#### 4.5.2 Samlepunkt

Vi har bestemt oss for at det beste er å bruke 2 koblingsbokser som samlepunkt i forhold til kravspesifikasjonen.

Ved store felt kan det være en stor fordel å ha en transformatorstasjon som samlepunkt. Men her er det mest ideelle å kombinere bølgekraftverket med havvind fordi da er ikke kostnadene så veldig store i forhold til etablering av infrastruktur, fordi alt dette vil da være bygd for vindkraftverkene, og kraftproduksjonen av bølgekraftverkene vil ikke være så mye i forhold til

vindkraftverkene. Bølgekraftturbinene vil også øke det totale energiutbytte på havvindfeltet, og det vil ta opp noe av bølgeenergien slik at havvindturbinene får stillere sjø å jobbe i.

#### 4.5.3 Bøye

Vi bør tilrettelegge for at fremtidige system kan få en strømforsyning til bøye. Dette er fordi at i fremtiden kan systemet brukes med selvposisjonerende bøyer, og ikke forankrede bøyer. For å gjøre dette, har vi 2 alternativer. Separat strømforsyning, eller kabel opp fra koblingsboksen.

Separat strømforsyning kan løses med solceller og batteribank, men dette krever stort areal i det området der mest utstyr kan bli ødelagt av bølger. Kabel fra koblingsboksen kan gi oss mindre utstyr i havoverflaten.

#### 4.5.4 Kabler

Det er en utfordring å velge riktig kabel for dette strømføringsystemet, det er svært mange faktorer som må tas hensyn til. For å lage ett pålitelig system, er det absolutt nødvendig at kablene oppfyller kravene vi setter til dem. Derfor er det viktig å kartlegge alle kildene til feil, og hvordan vi må løse problemene vi har funnet. Først av alt, vi må ha kabler som tåler å ligge under vann. Disse kablene er som regel store, tunge og stive når vi skal ha stor kapasitet og høyt isolasjonsnivå.

Tretthetsbrudd av kabler blir også en utfordring i konstruksjonen av måten det er lagt opp på. Generelt for nesten alle kablene i hele systemet vil det være krav til høy bruddstyrke. Kablene må også tåle å være i konstant bevegelse. Kabler som skal være fleksible, har ofte mange tynne kordeler for å ikke få brudd i ledere, og isolasjonen må også tåle dette slik at det ikke blir skader på denne. Det kan være en utfordring å få kabler som er lagd for MVAC, som samtidig skal oppfylle disse kravene.

Det kan også være forskjellige kabler mellom koblingsboksene, mellom turbinen og koblingsboksen og mellom bøyen og koblingsboksen. Dette er fordi de har forskjellige behov. Mellom turbinen og koblingsboksen er det større krav til strekkfasthet, og det kan også være en mulighet for å ha en «elastisk kabel» i stedet for svivel for å tillate litt rotasjon. Dette vil også forenkle systemet og gjøre det billigere. Men om det er mulig å skaffe en slik kabel, kan det sees nærmere på. Mellom koblingsboksen og bøyen kan det være ett høyere behov for kommunikasjonskabler og andre krav til strømføringsevne, og det kan være høyere strekkfasthet enn den som går ned til turbinen. Dette er grunnet denne kablen kan kanskje bære hele systemet hvis det ikke blir brukt bærewire.

**Likestrømkabler:** Ved store avstander kan tapene i en vekselstrømkabel bli svært store. Det skyldes kapasitansen som oppstår mellom lederen og den omkringliggende armeringen av stål, noe som gir opphav til reaktiv effekt. Når avstanden er større enn om lag 70 kilometer, er det vanlig å gå over til en likestrømforbindelse HVDC som gir lavere overføringstap.

En slik løsning krever imidlertid store anlegg for omforming av strøm mellom vekselstrøm og likestrøm. For eksempel er de sjøkablene som forbinder Norge med Danmark, Nederland og Tyskland er alle likestrømkabler.

**Vekselstrømkabler:** De fleste sjøkabler overfører trefasevekselstrøm og består av normalt tre ledere. Denne type kabel er mest vanlig å bruke når havvindpark skal tilknyttes nettet på land.

For overføring av større kraftmengder kan det bli aktuelt å bruke tre separate kabler, der hver kabel inneholder en elektrisk leder, en for hver fase. For å øke driftspåliteligheten til kabelforbindelsen, blir det ofte lagt ut en fjerde kabel, parallelt med de tre andre, som kobles til som en reservekabel hvis en av de tre andre blir ødelagt.

#### **4.5.4.1 Turbinkabel**

Her har vi to løsningsalternativer. Den ene er en kabel som har så stor bruddstyrke at den kan bære turbinen, og den tåler bølgeenergien som blir overført fra bøyen til turbinen. Altså at kablen blir den delen av systemet som bærer turbinen.

Det andre alternativet er at vi har en bærewire, og fester kablen i den. Da kan kablen ha mindre bruddstyrke, men da har også systemet flere deler.

Kablen må også kunne transportere den elektriske energien som turbinen produserer. Siden det bare er én turbin, kan den ha mindre tverrsnitt enn systemkablene.

#### **4.5.4.2 Systemkabler**

Systemkablene bør være «nøytral» i havet, altså den bør være av en så tung masse som gjør at den ikke synker, men heller ikke flyter. Ved høye spenningsnivå, får vi høyere krav til isolasjonsmaterialene, som kan påvirke både pris og størrelse på kablene. Det må utredes hvorvidt vi vil ha veldig høye spenningsnivåer. Vi må også tenke på at hvis vi velger for lavt spenningsnivå, vil kablene ha vanskeligheter med å oppfylle en «nøytral masse» i havet. Vi må også tenke på om vi vil ha kommunikasjon til for eksempel brytere, koblingsboks og bøye i kablen vår. Alternativet er trådløs kommunikasjon, men da kan det også være støy og lignende inne i bildet som kan gjøre det vanskelig å kommunisere.

Kablen mellom turbinene, må tåle eksterne påvirkninger som fremmedobjekter og for eksempel store fisker. Men det er ikke noe vi ønsker å gå inn på i denne oppgaven, fordi det er utenfor vårt fagfelt. Kablen mellom turbinene er den som trenger høyest strømføringsevne, og den som trenger lavest bæreevne. Høyere spenningsnivåer er en fordel når det kommer til å få kablen «nøytral» i sjøen, fordi da får vi mindre ledermateriale og mer isolasjonsmateriale. Men det vil også øke prisen og isolasjonsbehovet for resten av systemet.

#### 4.5.4.3 Landkabel

I kravspesifikasjonen ble vi bedt om å forutse at bunnkabelen skal ha en avstand fra feltet til et egnet sted på 10 km. Når vi har denne avstanden, ser vi at det kan være en mulighet å unngå å transformere opp spenningen hvis vi velger å bruke MVAC. Dette vil gjøre systemet billigere og mindre komplisert. Men det vil fremdeles være behov for ett samlingspunkt for systemkablene.

Sjøkabel er en undersjøisk elektrisk kabel for overføring av elektrisk energi. Bruk av sjøkabler åpner for elektrisk kraftoverføring på tvers av store havstrekninger, men brukes også for å krysse mindre innsjøer. Kabelen inneholder en eller tre isolerte elektriske leder, som er kapslet inn og beskyttet mot omgivelsene. Den elektriske lederen kan bestå av kobber eller aluminium, og for å forsterke kabelen mot fysiske påkjenninger er den armert med vaier laget av stål. I tillegg blir det ofte utstyrt med optiske fiber, som kan brukes til datakommunikasjon.



Figur 12 Sjøkabel

Elektriske kabler utføres for alle spenninger og bruksmåter, for elektriske installasjoner i bygninger skip og lignende, eller for utendørs overføringer og fordelingsanlegg som hengekabler, jordkabler eller sjøkabler. Det skiller mellom kabler for sterkstrøm.

**Elektrisk kraftoverføring** er overføring av elektrisk energi fra kraftverk til storforbruker eller til et elektrisk anlegg som for eksempel en transformatorstasjon.

Kraftoverføring skjer ofte via en egen kraftledning som er bygd for dette formålet, men der forholdene ligger til rette for det kan kraftoverføring også skje gjennom det ordinære overføringsnettet. Overføring av kraft til mindre forbrukere omtales gjerne som elektrisk distribusjon.

Transport av elektrisk energi er forbundet med tap som øker med avstand, og transport av elektrisk energi over større avstander ble først mulig da likestrømanleggene ble erstattet av vekselstrømanlegg. Vekselstrøm kan lett transformeres til høyere spenningsnivå, som gir mindre overføringstap. Ved svært store kan det bli nødvendig å benytte en høyspent likestrømforbindelse (HVDC), som har mindre overføringstap.

#### 4.5.4.4 På land

På land er det en fordel hvis vi har mulighet til å kommunisere med turbinene. Det kan også være en fordel med en batteribank. Grunnen til dette, er fordi en batteribank vil være med på å stabilisere nettet, men også fordi bølgekraft vil mest sannsynlig ikke generere energien kontinuerlig. Det er da viktig å ha en måte å stabilisere dette på.

Hvis vi velger å bruke HVAC eller MVAC, er det muligheter for både 2-fase og 3-fase. Hvis vi velger 2-fase, må det brukes utstyr for å få dette til HVAC som ligger i fase med distribusjons- eller regionalnettet.

**Batteribank:** Tesla har bygget integrerte batterisystemer i biler over ti år. På samme grad av kompetanse, kvalitetskontroll og teknologi innovasjon har vært kilden til prosessen med å utvikle høytytelse batterier for strømmettet.[19]

Hver powerpack inneholder 16 individuelle batterikamre, hver med isolert DC-DC-omformer. Kammerarkitektur og innebygd kraftelektronikk optimaliserer ytelse på tvers av matrisen og muliggjør enkelt utskifte til enhver tid.



Figur 13 Tesla Powerpack

**Celledesign og overvåking:** Powerpack bruker arkitektur av høyt volum, høy pålitelighet som testet over en milliard Miles i Model S. kombinert med hundrevis av innebygde sensorer, tilbyr powerpack uovertruffen ytelse, sikkerhet og pålitelighet.

**Temperatur:** Internt, flytende kjøle- og oppvarmingssystemer tillater nøyaktig temperaturkontroll inne i powerpacken. En dobbelt kjølevæske og kjølesløyfesystem, tilpasset fra Model S, sikrer maksimal ytelse i alle klima med bedre effektivitet enn luftigkjøling.

**Vær:** Powerpack-innfatningen kan brukes i alle utendørsmiljøer. Ingen flere strukturer eller deksler er nødvendig, noe som reduserer klargjøringsutgiftene.

Powerpack støtter en rekke applikasjoner som tilbyr kommersielle forbrukere og energileverandører større kontroll, effektivitet og pålitelighet over det elektriske strømmettet.

#### 4.6 Forskningssonder

Ett område der denne teknologien kan passe veldig bra, er for forskningssonder som skal ligge i havet å måle diverse. Det er en teknologi som kan lages kompakt, og hvis den kommersialiseres er det noe som mulig har enklere konstruksjon enn de aller fleste alternativene i dag. Den krever ikke sol, eller areal til solceller osv.

## 5 Konklusjon av diskusjon og forslag til løsning av problemstilling

### 5.1 System

På korte distanser vil prisen på stasjonene og tapene favorisere AC. Ved veldig lange distanser og høye effekter, vil det etter hvert bli billigere å bruke DC. Spesielt gjelder dette under vann hvor tapene i en AC-kabel i form av varmeutvikling i lederen og eventuelt induerte tap i armering, blir mye høyere enn ved luftstrek.

Hvor stor tapene skal være en høyspentlinje eller i en kabel bestemmes av mange faktorer og er en antakelse av forholdene i minst 20 år fremover. Tapene kan reduseres ved å øke tverrsnitt på lederen.

Større marked og teknologiutvikling gir lavere priser på likestrømanlegg, men vekselstrøms overføringer utvikler seg også. Det kan se ut som DC tar mer av markedet for overføring av strøm på lange strekninger fra fornybar kraft generes til der den skal brukes.

I henhold til kravspesifikasjonen ser vi at det beste for vårt anlegg er hvis alt er AC. Men vi har ikke tatt stilling til 2 eller 3-faser.

### 5.2 Systemspenning

Vi har ikke helt funnet ut av hva spenningsnivå som er mest ideelt for systemet. Fordi det er usikkerhet rundt om at generatoren klarer å opprettholde en høy systemspenning. Men hvis det er mulig, er det en fordel hvis vi klarer å få 66kV i «koblingsboksene», for da er vi på samme spenningsnivå som Havvind, og det er der systemet vårt kan yte best, og det er der markedet gjerne er lettest å komme inn på.

Grunnen til at vi ønsker så høy systemspenning, er fordi vi vil ha så lite tap som mulig, og da hvis vi får til 66kV i koblingsboksene, vil det ikke være noe problem med for lav spenning når det skal sendes til land.

### 5.3 Turbinkabel

Her har vi valgt å gå for kabel som ikke skal bære turbinen, og å bruke en bærewire til turbinen. Dette er fordi vi ønsker å holde kostnadene nede. Hvis kablen skal også bære turbinen, må den nok spesialproduseres, og det er dyrt. Hvis vi velger å bruke kabel ned til turbinen som ikke har så høy bruddstyrke at den skal tåle alle kreftene, bidrar det til å få ned kostandene.

Her har vi ikke konkludert sånn veldig på hva kabel vi vil bruke, fordi det kommer an på hva kabel vi får tak i, og om vi bestemmer at det skal være en bærewire eller om kablen skal bære turbinen. Men alt dette er usikkert, og det må sjekkes opp mot leverandør av kabel.



## 5.4 Koblingsboks

I svivelen har vi konkludert med at det greieste er å bruke induksjons-svivler, fordi det vil gi oss en kontaktløs overføring av energi, uten å måtte bruke utstyr som gir oss deler som vil bli slitt ut og er utilstrekkelig kapslet. Induktive svivler kan lettere kapsles inn for å forhindre inntrengning av sjøvann osv., fordi det ikke krever en «mekanisk» forbindelse mellom de roterende kontaktene.

## 5.5 Systemkabler

For systemkablene er det mest ideelle at er nøytral i sjøen. Det medfører at kablen kan ha mindre bruddstyrke og vi kan slippe å ha bøyer til å bære kablene på midten av «spennet» mellom koblingsboksene. Men dette må også sjekkes opp mot en leverandør.

## 5.6 Samlepunkt

Vi har konkludert med at i akkurat dette tilfellet, er det greiest å ha to av koblingsboksene som samlepunkt for systemkablene. Dette er for å redusere kostnader knyttet til dyre transformatorstasjoner og slikt.

## 5.7 Landkabel

Kabel mot land, har vi valgt at skal være en vanlig sjøkabel som er koblet direkte på koblingsboksene. Vi har også funnet ut av at det er greit å ha muligheter for å ha kablet forbindelse med styrings-systemene i turbinen også. Denne må velges når spenningsnivå er valgt, og vi må velge tverrsnitt ut fra hvor høy strøm, og isolasjonsnivå ut fra spenningsnivå.

## 5.8 På land

På land har vi konkludert med at det kan være lurt å bruke en batteribank (powerpack). Men dette er kostbart.

Det må i hvert fall være en stasjon som transformerer spenningen opp mot nettspenning, og det må også være noe som sørger for at det ligger i fase med nettspenningen.

## 6 Diskusjon

Vi har støtt på litt utfordringer med å holde tidsplanen vår, fordi alle i gruppen har vært veldig travle med andre ting i tillegg til bacheloroppgaven. Tilpasninger vi har gjort i forhold til dette, er at vi har jobbet mye individuelt med oppgaven, og brukt samlinger som «møter» for å diskutere hvordan vi ønsker å jobbe videre. Dette har virket forholdsvis greit, men det har vært en litt utfordrende gruppedynamikk til tider.

Den aller største utfordringen vi hadde med prosjektet, var når vi skulle søke refusjon av utgifter til billetter tilknyttet studieturen til Måløy. Dette skulle bli gjort veldig komplisert og var en veldig tungvinn prosess. Etter at refusjons-skjemaet var blitt sendt til regnskap, var det også blitt feil utfylt, slik at det gikk unødvendig mye tid vekk i dette. Det gikk også veldig lang tid før pengene ble refundert.

## **7 Konklusjon**

En havvindturbin virker bedre når sjøen er rolig, og derfor er det svært gunstig å kombinere bølgeturbinene med havvind. Fordi bølgeturbinene tar opp bølgeenergi, som gjør sjøen roligere. Det vil også gjøre at energiutbytte i feltet er større, fordi det blir også tatt opp energi fra bølgene.

Som strømforsyning til plattformer kan dette være en god løsning, men det leverer veldig lite energi i forhold til havvind turbiner, som kan være by på en utfordring. Det som kan redde det, er hvis det er mulig å bygge turbinene så billig at det kan konkurrere med havvind i kostnad per MW.

Som strømforsyning til forskningssonder kan teknologien passe veldig bra. Da er det mindre kostbare komponenter som skal til for å få det til å virke, og turbinene er veldig mobile, så det kan fungere veldig bra til dette formålet.

## **Appendiks A      Forkortelser og ordforklaringer**

Liste med relevante forkortelser og ordforklaringer i alfabetisk rekkefølge.

AC	Alternating Current (Vekselstrøm)
DC	Direct Current (Likestrøm)
HVAC	High Voltage Alternating Current (Høyspenning Vekselstrøm)
HVDC	High Voltage Direct Current (Høyspenning Likestrøm)
HVL	Høgskulen på Vestlandet
MVAC	Medium Voltage Alternating Current (Mellomhøyspenning Vekselstrøm)
MVDC	Medium Voltage Direct Current (Mellomhøyspenning Direct Current)
MVA	Mega Volt Ampere
km	kilometer

## Appendiks B      Prosjektledelse og styring

### B.1            Prosjektorganisasjon

Arbeidsoppgaver blir fordelt etter hvert. Vi har fordelt arbeidsoppgaver på våre ukentlige møter hver tirsdag, og har lagt opp til mye selvstendig arbeid. Vi har også hatt flere møter med gruppen ved behov. Vi valgte denne måten å samarbeide på, grunnet at vi er veldig travle studenter med fulle timeplaner. Da har det vært lettere for alle med selvstendig arbeid og samling hver tirsdag. Ellers, har vi hatt en flat struktur innad i gruppen, der alle har mulighet til å si sitt, men prosjektleder har hatt det endelige ordet ved uenighet. Prosjektleders hovedoppgave er å delegere arbeidsoppgaver, og å sørge for at arbeidsoppgavene er jevnt fordelt i gruppen.

Vi hadde også en inndeling av ansvarsområder innad i gruppen, for å få litt struktur på hvem som har ansvar for hva. Den er som følger:

#### Tommy

- Kommunikasjon med veiledere
- Overordnet oversikt
- Inndeling av Arbeidsoppgaver

#### Islam

- Bestille grupperom
- Oppmøteansvarlig

#### Leander

- Organisering av filarkiv
- Skriveansvarlig

#### Thomas

- Skrive Møtereferat
- Kildeansvarlig
- Forkortelser

### B.2            Oppfølging og loggføring

Helt i begynnelsen lagde vi en oversikt over når alle hadde undervisningsfri, slik at vi hadde en oversikt over når det passet best for alle å ha kollektiv jobbing. Etter hvert har vi funnet ut av at Tirsdag fra 09:00 og ut er den beste dagen for hovedmøte med gruppen. Vi har også funnet ut at det mest effektive har vært å jobbe med oppgaven selvstendig.

Vi har ført en prosjektdagbok og timeliste i ett eget regneark. Helt i begynnelsen av prosjektet lagde vi ett spørreskjema der vi førte inn hva vi gjorde, og hvor lang tid vi brukte på det. Alle i gruppen har hatt ansvar for å føre sine egne timer, og holde kontroll på timeantall og hva vi har gjort. Dette har fungert sånn halvveis. Timeliste ligger i appendiks D og tabellen under viser ett sammendrag av timelistene.

### **B.3 Fremdriftsplan**

Fremdriftsplanen vår har ikke vært veldig streng. Dette er fordi at vi har få, men tidkrevende punkter på planen vår.

#### **Forarbeid:**

10-20 januar:	Forberedende planlegging og organisering
20-23 januar:	Forberedende arbeid til første møte med ekstern veileder
24-27 januar:	Arbeid med forarbeid innlevering.
27-31 januar:	Ferdigstilling av forarbeid innlevering.
31. januar:	Frist for innlevering av forarbeid

#### **Arbeid mot midtveispresentasjon:**

01-28 februar:	Innhenting av kunnskap og diskusjon av løsningsalternativer
01-31 mars:	Innhenting av kunnskap og diskusjon av løsningsalternativer
12 februar:	Studietur til Stadt Towing Tank
13-18 april:	Ferdigstilling av powerpoint og gjennomgang av framføring
19 april:	Midtveispresentasjon

#### **Avsluttende arbeid:**

01-30 april:	Skriving av bacheloroppgave
01-30 mai:	Skriving av bacheloroppgave
09. Mai:	Gjennomgang og modifisering av powerpoint til presentasjon
10 Mai:	Presentasjon
17 Mai:	Lage EXPO-plakat
31 Mai:	Innlevering av bachelor oppgave

#### **Etterarbeid:**

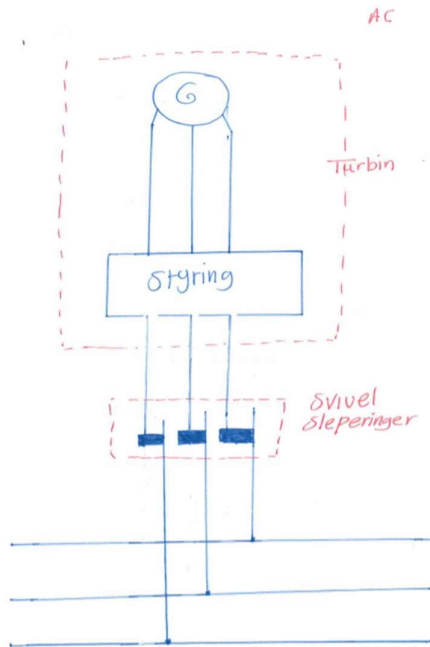
06-11 Juni:	Forberedelse til presentasjon av bacheloroppgave for sensor
12 Juni:	Presentasjon av bacheloroppgave for sensor
13 Juni:	EXPO

### **B.4 Risikoliste**

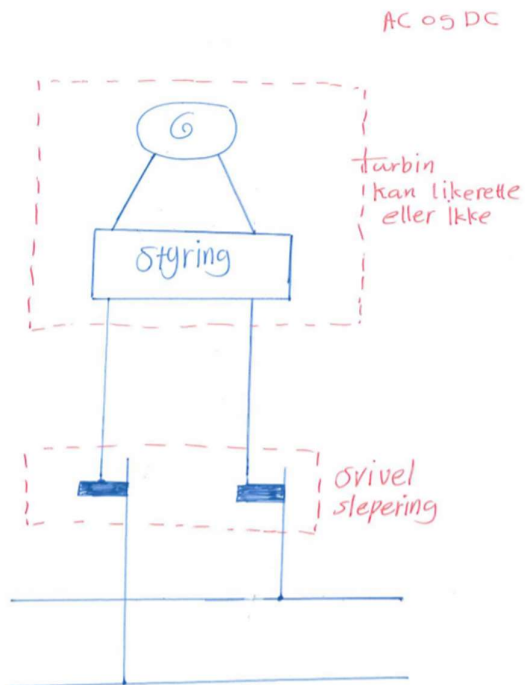
Vi har ikke noe spesiell risiko i forhold til vår bacheloroppgave. Vår oppgave er hovedsakelig en skriveoppgave, og vi har derfor ikke behov for noen ekstra sikkerhetstiltak.

## Appendiks C Illustrasjoner og koblingsdiagrammer

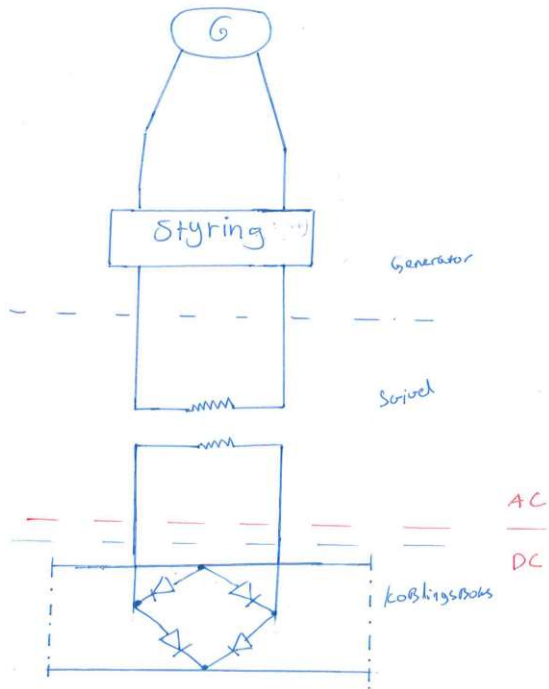
### C.1 3-fase Turbin med sleperinger



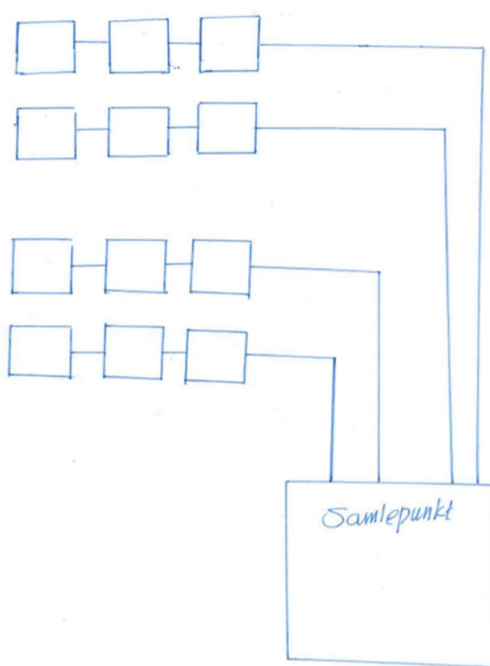
### C.2 2-fase turbin med sleperinger



### C.3 Turbin med induktiv svivel og likeretter



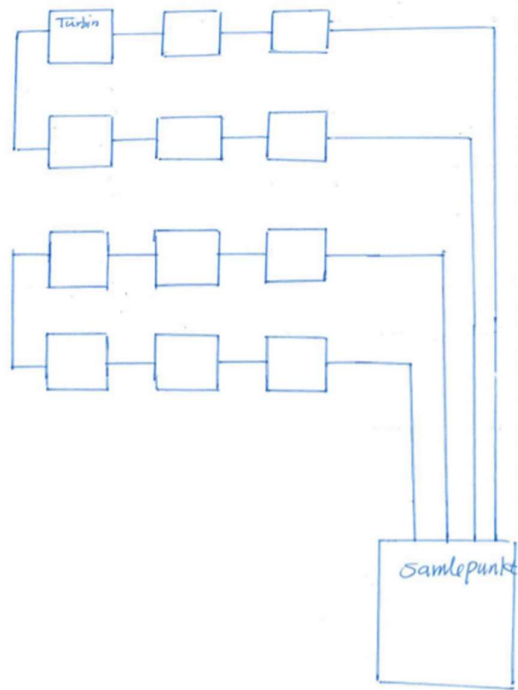
### C.4 Strålenett





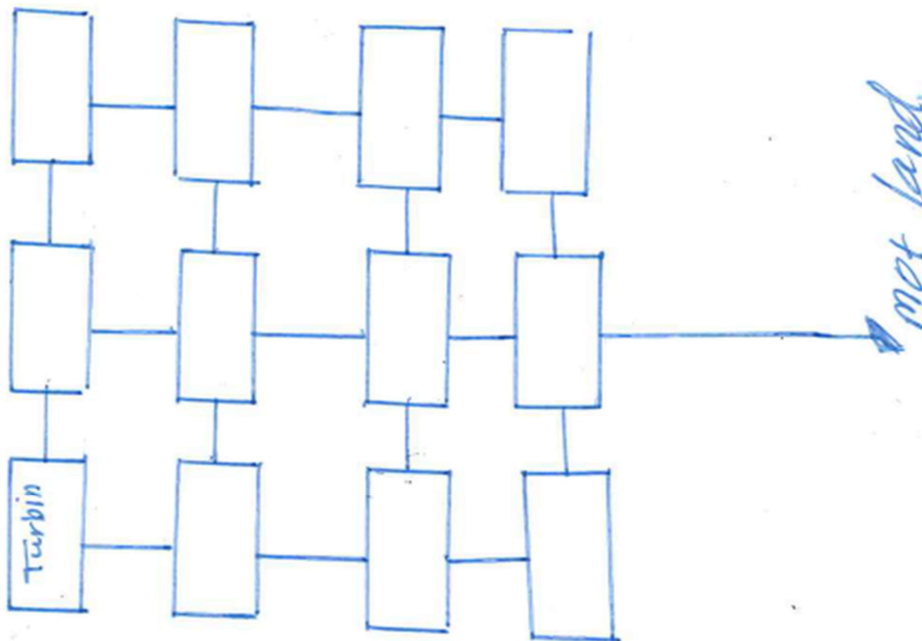
C.5

Ringnett

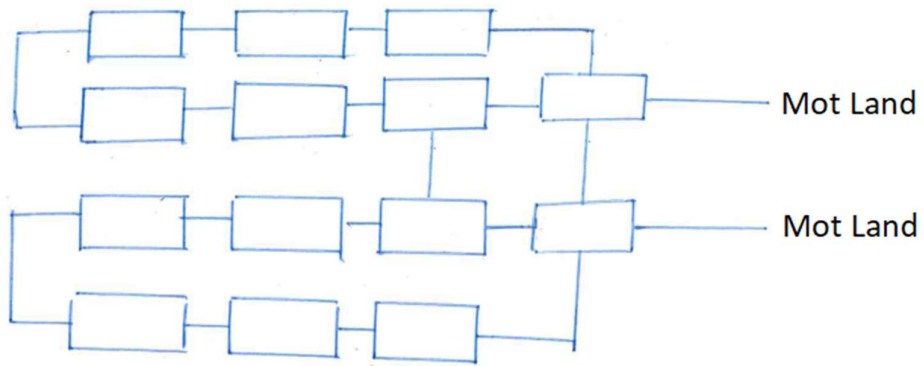


C.6

Maskenett



**C.7 Valgt løsning**



## Appendiks D Timelister

Hvem?	Dag?	Klokkeslett fra-til?
Tommy Steindal Tobiassen	17-Dec	11:00-12:00
Thomas Breivik	17-Dec	11:00-12:00
Leander Valvik	17-Dec	11:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	17-Dec	11:00-12:00
Thomas Breivik	8-Jan	10:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	8-Jan	10:00-14:00
Leander Valvik	8-Jan	10:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	8-Jan	10:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	10-Jan	15:00-18:00
Tommy Steindal Tobiassen	9-Jan	11:00-15:00
Islam Youusif Abdulbaqi	9-Jan	11:00-15:00
Thomas Breivik	9-Jan	11:00-15:00
Leander Valvik	9-Jan	11:00-15:00
Tommy Steindal Tobiassen	15-Jan	09:00-11:00
Islam Youusif Abdulbaqi	15-Jan	08:00-14:00
Thomas Breivik	15-Jan	08:00-14:00
Leander Valvik	15-Jan	08:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	18-Jan	08:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	29-Jan	09:00-14:00
Thomas Breivik	29-Jan	09:00-14:00
Leander Valvik	29-Jan	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	29-Jan	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	5-Feb	09:00-14:00
Thomas Breivik	5-Feb	09:00-14:00
Leander Valvik	5-Feb	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	5-Feb	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	29-Jan	09:00-14:00
Thomas Breivik	29-Jan	09:00-14:00
Leander Valvik	29-Jan	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	29-Jan	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	12-Feb	08:00-20:00
Thomas Breivik	12-Feb	08:00-20:00
Leander Valvik	12-Feb	08:00-20:00
Tommy Steindal Tobiassen	12-Feb	08:00-20:00
Islam Youusif Abdulbaqi	19-Feb	09:00-12:00
Thomas Breivik	19-Feb	09:00-12:00
Leander Valvik	19-Feb	09:00-12:00
Tommy Steindal Tobiassen	19-Feb	09:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	26-Feb	09:00-12:00
Thomas Breivik	26-Feb	09:00-12:00
Leander Valvik	26-Feb	09:00-12:00
Tommy Steindal Tobiassen	26-Feb	09:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	5-Mar	09:00-12:00
Thomas Breivik	5-Mar	09:00-12:00
Leander Valvik	5-Mar	09:00-12:00
Tommy Steindal Tobiassen	5-Mar	09:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	12-Mar	09:00-14:00
Thomas Breivik	12-Mar	09:00-14:00
Leander Valvik	12-Mar	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	12-Mar	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	19-Mar	09:00-14:00
Thomas Breivik	19-Mar	09:00-14:00
Leander Valvik	19-Mar	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	19-Mar	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	23-Mar	09:00-14:00
Thomas Breivik	23-Mar	09:00-14:00
Leander Valvik	23-Mar	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	23-Mar	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	26-Mar	09:00-12:00
Thomas Breivik	26-Mar	09:00-12:00
Leander Valvik	26-Mar	09:00-12:00
Tommy Steindal Tobiassen	26-Mar	09:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	2-Apr	09:00-12:00
Thomas Breivik	2-Apr	09:00-12:00
Leander Valvik	2-Apr	09:00-12:00
Tommy Steindal Tobiassen	2-Apr	09:00-12:00
Islam Youusif Abdulbaqi	30-Apr	09:00-14:00
Thomas Breivik	30-Apr	09:00-14:00
Leander Valvik	30-Apr	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	30-Apr	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	7-May	09:00-14:00
Thomas Breivik	7-May	09:00-14:00
Leander Valvik	7-May	09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen	7-May	09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	14-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	21-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	28-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	29-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	30-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00
Islam Youusif Abdulbaqi	31-May	09:00-14:00
Thomas Breivik		09:00-14:00
Leander Valvik		09:00-14:00
Tommy Steindal Tobiassen		09:00-14:00

## Referanser

- [1] Waveco. *Om oss* [Online]. Available: <https://www.waveco.no/about.html>.
- [2] Climatelaunchpad. *Waveco finalister* [Online]. Available: <https://climatelaunchpad.org/finalists/waveco/>.
- [3] GCE Ocean Technology. *Om oss* [Online]. Available: <https://www.gceocean.no/about-us>.
- [4] Stadt Towing Tank. *Om oss* [Online]. Available: <http://www.stadttowingtank.no/about/>.
- [5] O. Bajwa, V. Stokka, G. Abildgaard, and J. Fænn, "Kraftuttak fra bølgekraft turbin," Bachelor, Institutt for Elektrofag, Høgskolen på Vestlandet, Bergen, 2019.
- [6] Multiconsult, "Offshore wind market outlook in Northern Europe," 12.11.10, 2010, [Online]. Available: [http://www.nordvind.org/files/otherfiles/0000/0062/NordVind\\_FinalReport\\_16\\_11\\_2010.pdf?fbclid=IwAR3lj9Rr3VhPD2FXAVa7QrdkbMrcTFfomt\\_ZLTLtn8Qqk6oyvZ3hx0qbC\\_M](http://www.nordvind.org/files/otherfiles/0000/0062/NordVind_FinalReport_16_11_2010.pdf?fbclid=IwAR3lj9Rr3VhPD2FXAVa7QrdkbMrcTFfomt_ZLTLtn8Qqk6oyvZ3hx0qbC_M).
- [7] J. Rebled Lluch, "Power transmission systems for offshore wind farms - Technical-economic analysis," Bachelor, ETSEIB, Barcelona, 2015.
- [8] K. Hofstad. (2019, 14.03.19). *Sjøkabel* [Online]. Available: <https://snl.no/sj%C3%B8kabel>.
- [9] ABB. (2019, 04.03.19). *Why HVDC - Economic and environmental advantages* [Online]. Available: <https://new.abb.com/systems/hvdc/why-hvdc/economic-and-environmental-advantages>.
- [10] K. Hofstad and K. Rosvold. (2019, 28.02.19). *Vindkraftverk* [Online]. Available: <https://snl.no/vindkraftverk>.
- [11] UngEnergi. (2018, 29.03.19). *Bølgeenergi* [Online]. Available: <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>.
- [12] H. D. Young, *Sears and Zemansky's university physics : with modern physics*, 14th edition, Global edition. ed. (University physics). Essex: Pearson, 2016.
- [13] J. Dugstad, "Norwegian supply chain opportunities in offshore wind," Norwegian Energy Partners, 28.02.19, 2017, [Online]. Available: <https://rederi.no/DownloadFile/?file=176273>.
- [14] S. Robak and R. Raczkowski, "Substations for offshore wind farms," Bachelor, Warsaw University of Technology, Polen, 2018.
- [15] E. Maslin. (2014, 22.03.19). *Cranking up the power on connectors* [Online]. Available: <https://www.oedigital.com/news/454999-cranking-up-the-power-on-connectors>.
- [16] E. Nordlund, F. Magnussen, G. Bassilious, and P. Thelin. (2004, 04.03.19). *Testing of Brush Materials for Slip Ring Units* [Online]. Available: [http://www.elkraft.ntnu.no/norpie/10956873/Final%20Papers/050%20-%20NORPIE\\_2004\\_paper\\_050.pdf](http://www.elkraft.ntnu.no/norpie/10956873/Final%20Papers/050%20-%20NORPIE_2004_paper_050.pdf).
- [17] Merotac. (24.04.19). *Wind Turbine Electrical Swivels* [Online]. Available: [http://www.merocotac.com/html/wind\\_energy.html](http://www.merocotac.com/html/wind_energy.html).
- [18] M. Bedini, "High voltage electro inductive swivel," Patent Appl. US20120133468A1, 31.05.2012, [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US20120133468>.
- [19] Tesla. (28.04.19). *Powerpack* [Online]. Available: [https://www.tesla.com/no\\_NO/powerpack](https://www.tesla.com/no_NO/powerpack).
- [20] P. Holmberg, M. Andersson, B. Bolund, and K. Strandanger, "Wave Power - Surveillance study of the development," Elforsk, 21.02.19, 2011, [Online]. Available: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19924/wave-power-surveillance-study-of-the-development-elforskrappporter-2011-02.pdf>.