



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

TN303212 - Hovedprosjekt

Havkraft – Historisk tilbakeblikk, nåtid og fremtid

Kandidatnummer eller kandidatnumre (hvis flere):

10024, 10025, 10029

Totalt antall sider inkludert forsiden: 63

Innlevert Ålesund

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

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

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

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Tron R. Resnes

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

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

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

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

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 05.06.17

Forord

Oppgaven er skrevet av tre studenter ved NTNU i Ålesund som en avsluttende oppgave på en treårig bachelor studie i nautikk. Arbeidet med bacheloroppgaven har blitt gjennomført over en periode på to semester, der hovedarbeidet har blitt gjort i siste semester av studiet.

Gjennom en av studentene i bachelorgruppa fikk vi kjennskap til Havkraft AS, deres utvikling av bølgekraft, og CEO Geir Arne Solheim. Bølgekraft er et aktuelt tema, og bachelorgruppa ble enige om å utforske de nautiske aspektene knyttet til bølgekraft. Utbygging av bølgekraft vil føre til nye arbeidsplasser til sjøs der det kreves ny kompetanse noe som er relevant opp mot studiet.

Bachelorgruppa ønsker å takke CEO Geir Arne Solheim for sin åpenhet og samarbeidsvilje. Uten han ville denne oppgaven ikke vært mulig å gjennomføre. Bachelorgruppa ønsker også å takke veileder Tron R. Resnes for gode innspill og veiledning.

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven omhandler bølgekraft – historisk tilbakeblikk, nåtid og fremtid med utgangspunkt i Havkraft AS sitt produkt H-WEC. Oppgaven inneholder i tillegg flere ulike utfordringer Havkraft AS kan møte. Problemstillingen i rapporten er om bølgekraft kan bli en reel konkurrent til dagens ikkefornybare energikilder.

Ved å ta utgangspunkt i de generelle utfordringene, og teknologi som allerede er i bruk ble det lagt et grunnlag for hva rapporten skulle inneholde. Dagens teknologi har flere prinsipper for utnyttelse av bølgeenergi. Oppgaven har tatt utgangspunkt i de fire mest brukte prinsippene som har sine fordeler og ulemper. Vi har kommet fram til at ingen av dem er den optimale løsningen.

Havkraft har utviklet sin egen konverter som kombinerer to av de fire mest kjente prinsippene. Denne kombinasjonen gir konverteren en god fleksibilitet som gjør at den kan benyttes i flere havområder enn de generelle prinsippene. Rapporten konkluderer med at bølgekraft er en nødvendig ressurs i fremtiden, at bølgekraften enda ikke er klar til å erstatte de ikkefornybare energikildene, og at bølgekraften trenger mer økonomisk støtte for å bli bærekraftig.

Terminologi

AIS	Automatic Identification System
Brannskott	En vegg om bord på en flytende konstruksjon som er brannsikkert
CALM	Catenary Anchor Leg Mooring
CEO	Chief Executive Officer
DP	Dynamisk posisjonering
GNSS	Global Navigation Satellite System
H-WEC	Havkraft Wave Energy Converter
Katenær kurve	Kjedelinje, kjede som henger mellom to faste punkt
Kubikk	Enhet for volum. $1\text{m}^3 = 1000$ liter.
OWC	Oscillating Water Column, svingende vannsøyle
POSMOOR	Positioning and Mooring
PWP	Pelamis Wave Power
RACON	Radar beacon
SAL	Single Anchor Loading
SALM	Single Anchor Leg Mooring
SI-enhet	Vedtatt system for standardisering av enheter
SPM	Single Point Mooring
SSB	Statistisk Sentralbyrå
Strøklengde	Lengden med sjø vinden har innvirkning på
Svitsj/Svivel	Koblingspunkt som kan rotere rundt sin egen akse
TSS	Trafikkseperasjonssystem
VLCC	Very Large Crude Carrier
Weak link	Punkt/kobling som skal gi etter dersom påkjenningene blir for store

Innhold

1	Bakgrunn	1
2	Innledning	4
3	Metode	6
4	Bølgekraft, et historisk tilbakeblikk	7
4.1	De tidlige årene	7
4.2	Verdenskrig og etterkrigstid	8
4.3	Oljekrise og nytt håp	8
4.4	1980	9
4.5	1990 til nå	10
5	Bølgekraft i dag	11
5.1	Kort om bølger	11
5.2	Dagens teknologi	12
5.2.1	Punktabsorbator	12
5.2.2	Linjeabsorbator	13
5.2.3	Kilerennekraftverk	14
5.2.4	Svingende vannsøyle.....	15
5.3	Status	15
6	Havkraft	17
6.1	H-WEC	17
6.2	Wells Turbin.....	18
6.3	Bruksområder H-WEC	18
6.3.1	Powerpier	18
6.3.2	Powerbarge.....	19
6.3.3	Flotell	19
6.4	Fleksibiliteten til H-WEC.....	20
6.5	Prototypen	20
7	Beskrivelse av oppankring, fortøyning og posisjonering	22
7.1	Oppankring/Fortøyning	22
7.2	CALM – Catenary Anchor Leg Mooring	22
7.3	SALM – Single Anchor Leg Mooring	23
7.4	SAL – Single Anchor Loading	24
7.5	Ankertyper	24
7.5.1	Offshore anker og konvensjonelle anker.....	25
7.5.2	Sugeanker.....	25
7.5.3	Torpedoanker	26
7.6	Posisjonering	26
7.6.1	Dynamisk posisjonering.....	26
7.6.2	POSMOOR	26
7.7	Identifisering	26
7.7.1	AIS – Automatic Identification System	27
7.7.2	RACON.....	27
8	Beskrivelse av vedlikehold	28
8.1	Stålkonstruksjoner	28
8.2	Katodisk beskyttelse	29
8.3	Konstruksjoner i komposittmateriale	29
8.4	Marin begroing på skrog	30
8.5	Vedlikehold av oppankringen.....	30
8.6	Vedlikehold av Wells turbin.....	30

9	Risiko	31
9.1	Risikomatrise	31
9.2	Risikovurdering	31
9.2.1	Risikoidentifisering	32
9.2.2	Risikoanalyse	32
9.2.3	Risikoevaluering	32
9.2.4	Risikovurdering Powerbarge.....	32
10	Økonomiske utfordringer.....	35
10.1	Teoretisk inntjening og kostnad av anlegg	35
10.1.1	Inntjening ved Powerbarge og Powerpier	35
10.1.2	Inntjening ved flotell	36
10.1.3	Kostnad av anlegg	36
10.2	Vedlikehold	37
10.3	Økonomisk fleksibilitet	37
10.4	Utstyr	37
10.5	Effektivisering av produksjon	38
11	Geografiske begrensninger.....	39
11.1	Vær og vind	39
11.2	Estetikk.....	39
11.3	Økonomi	40
11.4	Trafikk	40
11.5	Dyreliv	40
11.6	Havkraft AS.....	41
12	Bølgekraft i fremtiden.....	42
13	Drøfting	43
13.1	Bølgekraft i dag	43
13.2	Geografiske begrensninger	44
13.3	Økonomi	44
14	Konklusjon.....	46
15	Referanser	47

1 Bakgrunn

Energi er en forutsetning for alt liv. Ordet stammer fra gresk «energeia», og ble sannsynligvis først nevnt i Aristoteles verk Den nikomakiske etikk allerede i år 400-300 f.Kr (Harper, 2007). Den ble i motsetning til moderne definisjon kun sett på som et filosofisk konsept, sitert Aristoteles: «The energy of the mind is the essence of life» (Aristotle, 384-322 BC).

Det var ikke før om lag 2 100 år senere at det engelske universalgeniet og fysikeren Thomas Young for første gang i historien brukte begrepet «energi» innenfor fysikkens rammer, og dermed i dets moderne form. I en forelesning for «the Royal Society» i 1802 sa han: «*The product of the mass of a body into the square of its velocity may properly be termed its energy*» (Young, 1807).

25 år senere i år 1827 publiserte Gaspard-Gustave de Coriolis læreboken "Calculation of the Effect of Machines" der han for første gang beskrev kinetisk energi (Bevegelsesenergi) på en måte som kunne brukes i industrien. I denne læreboken ble det korrekte uttrykket for kinetisk energi ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$) og forholdet til mekanisk arbeid fastslått (Robertson, u.d.). I år 1853 innførte William Rankine begrepet potensiell energi (Stillingsenergi), og i senere tid har matematiske beskrivelser av de ulike formene for energi blitt fastslått. Disse beskrivelsene er viktige for å kunne forstå og konstruere motorer, kraftverk mm. I tabell 1 er det listet opp noen av de viktigste formene for energi vi har.

Tabell 1: Energiformer (Kilde: Berge)

Form for energi	Beskrivelse
Kinetisk energi	Energi relatert til bevegelse
Potensiell energi	Energi relatert til systemets plassering
Mekanisk energi	Summen av potensiell og kinetisk energi
Termisk energi	Varme
Elektrokjemisk energi	Energi i et batteri (redoksreaksjon)
Elektrisk energi	Energi knyttet til elektrisk felt
Kjemisk energi	Energi frigitt fra et stoff, eks. mat, olje, bensin

Energi er definert som evnen til å utføre et arbeid, der arbeid er kraft anvendt gjennom en strekning. Den offisielle SI-enheten for energi er Joule (J) som er den energimengden man må påføre et objekt for at det skal forflytte seg en 1 meter mot en kraft på 1 newton. I sammenheng med elektrisk energi brukes i hovedsak enheten kilowattimer (kWh). Dette er energimengden som tilsvarer et effektforbruk på 1 kW over en periode på 1 time. Effekt er definert som arbeid utført per tidsenhet. I tabell 2 er det skissert sammenhengen mellom effekt og energi, samt tilhørende enheter (Berge, 2015).

Tabell 2: Enheter (Kilde: Berge)

Fysisk størrelse	Enhet	Konvertering	Beskrivelse	Grunnenhet
Energi	Joule (J) kilowattimer (kWh) kalorier (cal)	1 kWh = 3 600 kJ 1 kWh = 857 000 cal 1 J = 0,239 cal 1 J = 1 Nm	Evnen til å utføre et arbeid	$J = Nm$ $= Kg \times m^2 \times s^{-2}$
Effekt	Watt (W) Kilowatt (kW) Hestekraft (hk)	1 hk = 735,5 W 1 kW = 1 kJ / s 1 kW = 1 kWh / 1 h	Arbeid utført per tidsenhet	$W = J / s =$ Nm/s $= Kg \times m^2 \times s^{-3}$

Energi er evnen til å få ting til å skje, eller som en kan si: ha en forandrende effekt på omgivelsene. Energi kan verken skapes eller forsvinne, men den vil gå fra en form over til en annen. Denne fundamentale naturloven kalles energiprinsippet. Eksempel på en slik transformasjon kan vi se i en demning. Vannet i toppen av demning har høy potensiell energi, når det renner over kanten vil det få økt hastighet og går over til å bli kinetisk energi. Til slutt treffer vannet bladene til en turbin som driver en generator, energien går over fra å være kinetisk til elektrisk. Hvis vi ser på dette eksempelet kan det virke som om all den potensielle energien til vannet i toppen av demningen vil gå over til elektrisk energi i bunnen. Dette stemmer ikke, mye av energien vil gå over til andre energiformer som for eksempel varme. Et kraftverk fungerer akkurat på denne måten, den skaper ikke energi men omdanner den fra én form til en annen. Hvordan mennesket har utnyttet energien har variert mye gjennom tidene (Kraftskolen, 2011).

I begynnelsen av menneskets historie måtte mennesket klare seg med den energien de fikk fra mat og sollys. Da de endelig oppdaget ilden kunne de utnytte energien i biomassen. De kunne brenne ved og på den måten skaffe seg varme og lys. Etter den neolittiske revolusjonen for om lag 11 500-5 000 år siden, gikk samfunnet over fra jeger/samlerkulturen til et samfunn hvor mennesket forsørget seg gjennom landbruk. De oppdaget at de kunne bruke dyrene som trekkraft (German, u.d.).

I år 100 f.kr oppfant mennesket både vannmøllen og vindmøllen. De kunne med det utnytte energi fra vinden og sjøen. Særlig utbredt var vannmøllen som gjennom hele middelalderen var den viktigste kilden til energi. Vi kan i dag se at de store byene er dannet nettopp rundt elvemunninger, sjøer eller elver.

Menneskets behov for energi vokste voldsomt som følge av industrialiseringen av samfunnet. Oppfinnelsen som gjorde industrialiseringen mulig var dampmaskinen. Perioden som blir omtalt som den industrielle revolusjon år 1760-1870 la grunnlag for en annen periode der fossilt brennstoff ble den primære energikilden. Dette skyldtes at dampmaskinen gikk over fra å bruke kull som brennstoff til å bruke olje, og senere også elektrisitet.

På slutten av 1800 tallet stod oppfinnere som Thomas Edison og Nicola Tesla bak oppfinnelser som førte til utbredelse av elektrisiteten. Spesielt lyspæren ble en viktig energi og lyskilde.

Under den 2. industrielle revolusjon ble fossile brensel svært utbredt. Det var et mer effektivt brennstoff enn tre, og biler ble straks et allemannseie. Fossilt brensel er i dag fortsatt vår største kilde til energi. En ulempe mange oppdaget var forurensningsproblematikken knyttet til fossilt brensel.

Som et motsvar på forurensningsproblematikken og satt i sammenheng med oljekrisen som kom på 1970 tallet mente mange at atomkraft var svaret på verdens energibehov. Man så likevel sikkerhetsproblemene rundt kjernekraft etter store ulykker som katastrofen på Three Mile Island i USA og i Tsjernobyl, Sovjet. I tillegg til sikkerhetsproblematikken og den lange lagringstiden av atomavfall er uran en begrenset resurs. Man regner med at alle oppdagede uranlagre vil kunne gi energi for 100 år inn i fremtiden (Stenkjær, 2009).

2 Innledning

Verdens energibehov øker bestandig, de siste 40 årene har energibehovet økt med 1,7% vært eneste år (Hofstad, 2016). Ikke øker det bare på grunn av den sterkt voksende befolkningmengden, men også fordi samfunnet stadig krever mer energi. Med ny teknologi, nye produkter og oppfinnelser har vi kjøpt oss mer tid og en ny livsstil.

Mens forfedrene våre brukte det meste av tid og krefter på å sanke mat og ved, og på å lage maten, kjøper vi oss nå bekvemmeligheter ved hjelp av teknologien. Vi stopper innom en butikk på vei fra jobb eller skole for å kjøpe frossenpizza en fabrikk har produsert.

Det går med mer og mer energi til å produsere maten vi spiser, emballasjen den er pakket inn i og klærne vi har på oss. Alt vi forbruker trenger energi for å bli til. Vi er i en epoke hvor energi og teknologi spiller hovedrollen; nesten alle systemene vi avhenger av krever tilføring av energi.

Det er i dag fortsatt ingen som har løsningen på hvordan en skal dekke verdens stadig voksende energibehov. Våre største energikilder som kull, olje og gass er begrensede ressurser og det er stor usikkerhet over hvor lenge disse ressursene vil vare. Ifølge BPs årlige statistikk vil oljelagrene kunne levere energi for omlag 50 år inn i fremtiden basert på dagens forbruk (Beyond Petroleum, 2016; Kraftskolen, 2011).

I tillegg til dette har man i årene etter den andre industrielle revolusjon observert en gradvis økning av gjennomsnittstemperaturen i jordens klimasystem. En regner med at denne temperaturøkningen, ofte omtalt som global oppvarming, delvis skyldes forurensning fra ikkefornybare energikilder. Konsekvensene av global oppvarming er blant annet hevelse av havnivået som igjen kan føre til at flere hundre millioner mennesker må finne et nytt sted å bo i løpet av de neste 80 årene (Naturvernforbundet, u.d.).

Løsningen må være energi som verken er begrenset eller forurensende. Løsningen må være fornybar energi, og dermed er energihistorien tilbake ved begynnelsen. De mest utbredte fornybare energikildene vi har i dag er vannkraft, vindkraft, solenergi, bioenergi, geotermisk energi, havvarmeenergi, saltkraft, tidevannskraft og bølgekraft (International Energy Agency, u.d.).

I Norge har vi vært privilegert med god strømforsyning via vannkraft, og på 1960 tallet fant vi i tillegg sort gull i form av olje. Denne energitilgangen har gjort oss til et av verdens rikeste land. Med oljen kunne vi blant annet produsere drivstoff, varme, plast og asfalt, eller vi kunne selge oljen til andre land og få milliardinntekter.

Energi har blitt en handelsvare på lik linje med andre råstoffer og teknologier. Etter en eventuell nedgang i oljeindustrien, er det viktig å utvikle nye måter å bruke havområdene på slik at Norge kan følge utviklingen, og fortsatt kunne være med på å levere handelsvaren energi (Kraftskolen, 2011). Landet har ifølge SSB verdens nest lengste kystlinje med sine 111 352 km (Statistisk sentralbyrå, 2017) og havområdene dekker et over 6 ganger så stort areal som fastlandet. Dette er forutsetninger som gjør landet godt egnet for produksjon av både vindkraft, tidevannskraft og bølgekraft. Av disse fornybare energikildene er det bølgekraft som har størst potensiale (UngEnergi, 2016). Det finnes til enhver tid nok energi lagret i bølger til å dekke store deler av verdens energiforbruk, en realistisk mengde vil være i størrelsesorden 30 000 TWh i løpet av et år (Fornybar, 2016). Til sammenligning er verdens totale energiforbruk på om lag 150 000 TWh i året (Store Norske Leksikon, 2016). Basert på disse tallene kan det virke som bølgekraft er et av svarene på verdens energiproblem.

Man har imidlertid funnet ut at det er svært vanskelig å konvertere mekanisk bølgeenergi til anvendelig elektrisk energi på en effektiv og hensiktsmessig måte. Havkraft AS er en bedrift som mener de har en løsning på dette problemet.

Denne rapporten skal belyse og drøfte de generelle utfordringene med bølgekraft, den skal gi et innblikk i bølgekraftens historie fra de tidlige årene og helt frem til fremtidens systemer. Rapporten vil ta utgangspunkt i Havkraft AS sine produkter og visjoner, og vil gi svar på om dagens bølgekraftteknologi kan bli en reell konkurrent til de ikkefornybare ressursene.

3 Metode

Alle institusjoner som arbeider med forskning og utvikling av bølgekraft benytter seg av «open source» kildedeling (Solheim, 2017). Dette betyr at rapporter, dokumenter, status på forskningsprosjekter, testing og resultater blir offentliggjort og tilgjengelig for alle. Åpenheten gjør at alle involverte sammen bidrar til utvikling av teknologien på tvers av institusjonene. Dette har sikret en meget rask utvikling av bølgekraftverk. Åpen kildedeling gjør det også mulig for utenforstående å sikre seg kompetanse og forståelse i fagfeltet.

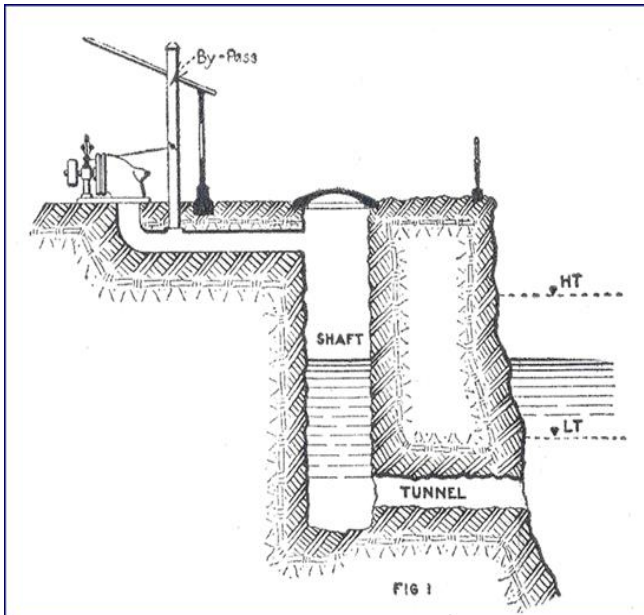
Denne rapporten bygger på kvalitativ og kvantitativ informasjon hentet fra forskningsrapporter og dokumenter utarbeidet av de involverte institusjonene. Spesielt var dokumentene tilsendt fra Havkraft AS en nyttig kilde til kunnskap og forståelse av produktene. Funnene gav innsikt og kompetanse i fagfeltet og la grunnlaget for et intervju og besøk av Havkraft AS. Under besøket holdt Havkraft AS et foredrag om bølgekraft generelt og om sine egne produkter og fremtidsplaner. Foredraget gav svar på mange av spørsmålene knyttet til bølgekraft og det ble fremmet nye ideer og løsninger på mange av problemene knyttet til de økonomiske utfordringene. Intervjuet ble utført med åpen intervjuteknikk som tillot Havkraft å snakke fritt rundt spørsmålene som ble stilt. I forkant av intervjuet ble det sendt ut en detaljert spørsmålsliste slik at Havkraft AS kunne forberede seg til intervjuet på en hensiktsmessig måte. I etterkant ble intervjuet transkribert. Spørsmål som ikke er besvart, eller utfordringer og mulige løsninger det ikke er tatt hensyn til av Havkraft AS eller de andre institusjonene vil rapporten svare på under konklusjonen.

4 Bølgekraft, et historisk tilbakeblikk

Bølgekraft er en relativt ny teknologi i forhold til vindkraften som har eksistert i flere årtusener. Bransjens alder er en viktig faktor for å beregne hvilket resultat og utvikling som kan forventes i fremtiden. I dette kapitlet skal bølgekraftens fortid belyses.

4.1 De tidlige årene

Selv om bølgekraft ansees for å være relativt ny teknologi kan den første patenten spores helt tilbake til Pierre-Simon Girard og hans sønns patent i 1799 (Johannes Falnes, 2005). På 1800 tallet ble det stadig utviklet nye idéer og patenter på bølgekraft. Idéen om å konvertere



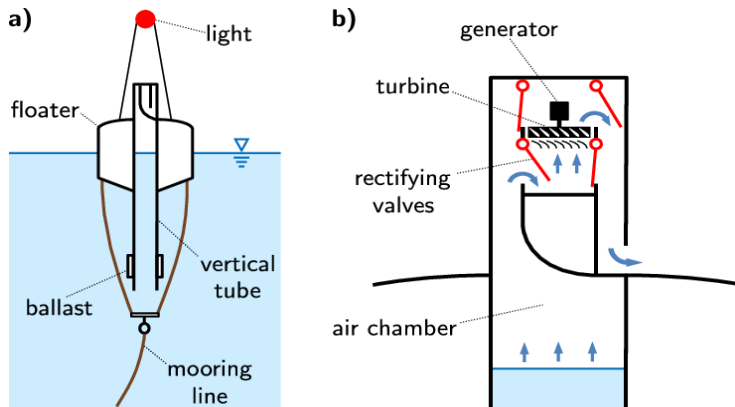
Figur 1: Mr. Bochaux Praceiques versjon av en svingende vannsøyle (Kilde: folk.ntnu.no)

bølgeenergi til anvendelig energi skulle komme til å inspirere mange oppfinnere de neste årene. Et av de tidligste formene for bølgekraftverk ble konstruert i 1910 av Mr. Bochaux Praceique i nærheten av Bordeaux, Frankrike og er skissert på figur 1. Dette regnes for å være det første kraftverket basert på det svingende vannsøyle prinsippet. Energien ble levert av en turbin som ble drevet av luft presset opp av det svingende vannsøylenivået i den vertikale

sylinderen. Enheten leverte en effekt på 1 kW, dette gikk til å varme og lyse opp huset til Mr. Bochaux (Johannes Falnes, 2005). I årene som fulgte var det mange oppfinnere som prøvde å utnytte energien lagret i bølgene men interessen for faget forble liten, og det ble ikke brukt nok ressurser for å utvikle teknologien (Benbouzid & Benbouzid, 2015).

4.2 Verdenskrig og etterkrigstid

I årene rundt begynnelsen av 1. verdenskrig var petroleum den største kilden for energi, og interessen for andre energikilder var svært lav. Interessen for bølgeenergi var også betydningsløs i mellomkrigstiden. Den moderne pioneren har vært den japanske oppfinneren Yoshio Masuda, som startet utviklingsarbeidet rett etter 2.verdenskrig og var aktiv helt frem til 1995 (Falnes, 1996). Resultatet ble blant annet en flytende navigasjonsbøye basert på det svingende vannsøyle prinsippet (Benbouzid & Benbouzid, 2015).



Figur 2: Yoshio Masudas navigasjonsbøye (Kilde: researchgate.net)

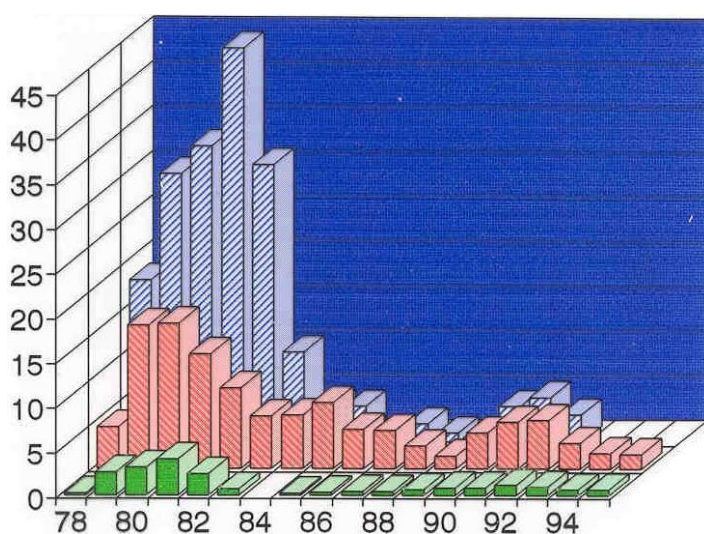
Figur 2 viser et tverrsnitt av Masudas navigasjonsbøye. Luft blir presset opp i luftrøret i takt med bølgenes svingninger. Dette driver luftturbinen som er koblet til en generator, generatoren genererer så strøm som blir levert til navigasjonslyset i toppen av

bøyen (Benbouzid & Benbouzid, 2015). Dette prinsippet er nesten identisk til hva Mr. Bochaux hadde konstruert i 1910, på tross av det ble ikke disse navigasjonsbøyene en realitet før 1965. Om lag 1200 bøyer ble produsert og levert til blant annet USA og Japan (Johannes Falnes, 2005). Slik forskning ble ikke satt i gang ved noe universitet før oljekrisen på 1970 tallet. Først ut var universitetet i Edinburgh og så noen måneder senere NTH i Trondheim (Falnes, 1996).

4.3 Oljekrise og nytt håp

Under oljekrisen i 1973 fikk politikere igjen øynene opp for alternativ energi, interessen økte sterkt for forskning på storskala bølgekraftverk. Den britiske regjeringen satt i gang et større forskningsprogram på bølgeenergi, og et par år senere bestemte også regjeringene i enkelte andre land som Norge og Sverige å gi finansiell støtte til bølgekraftforskningen (Falnes, 1996). Spesielt var Storbritannia, Norge, Sverige og USA var ivrige i forskningen, bølgekraftens fremtid så lys ut. I 1974 publiserte Stephen Salter, professor ved Universitetet i Edinburgh et dokument om en innretning kalt «Salters duck» (Johannes Falnes, 2005). Innretningen skulle konverterte bølgeenergi til elektrisk energi ved at bølgene induserte en rotasjon på gyroskoper inne i den pæreformede innretningen. En generator skulle deretter

konvertere denne rotasjonen til elektrisk energi. Innretningen var beregnet å ha en virkningsgrad på 90%, mens prototypen som ble testet to år senere kun hadde en virkningsgrad i overkant av 50%. I Norge tok førsteamanuensis Kjell Budal initiativet til bølgekraftforskningen ved institutt for eksperimentalfysikk, NTH. Professor Johannes Falnes var også med i arbeidet fra begynnelsen av, og senere skulle 7 personer fullføre graden doktor ingeniør i bølgekraftforskningen ved NTH. Forskningsgruppa gjorde i tiåret etter 1973 banebrytende arbeid som er kjent internasjonalt. Spesielt gjaldt det grunnleggende teoretisk arbeid, og prinsipp for optimal styring og fasestyring av bølgekraftverk. I årene 1978-1982 fikk forskning og utviklingsarbeidet med bølgekraft god finansiell støtte fra olje og energidepartementet.



Som figur 3 viser ble det utstedt i underkant av 13 millioner kroner til forskningsprosjektet ved NTH i perioden 78-82, og forskningsgruppa arbeidet i denne perioden i hovedsak med kraftbøyer med optimalstyrt svingebevegelse (NTNU, u.d.).

Figur 3: Statlig tilskudd i millioner NOK til bølgekraftforskning i perioden 78-95. Storbritannia i blått, Norge i rødt og NTH i Trondheim i grønt. (Kilde: folk.ntnu.no)

4.4 1980

Den finansielle støtten ble dramatisk redusert på 1980 tallet som følge av at oljeprisen ble kraftig redusert, og at det i offentligheten var en avtagende bekymring for energi og miljøproblemer. I 1982 ble det vedtatt å avslutte det britiske utviklingsprogrammet. Forfatteren David Ross hevder i sin bok «Power from the Waves» at vedtaket var et rent politisk spill, og ikke kunne bygges på faglige tekniske årsaker. Det er også enkelte som mener at en forskningsrapport ble forfalsket for å sette bølgekraften i et dårlig lys. En av årsakene kunne være at bølgeenergien hadde potensiale til å bli en reell konkurrent til kjernekraften som den britiske regjeringen ønsket å bygge ut. I Norge merket man også til nedskjæringene. Gruppa ved NTH greide allikevel å holde i gang en viss forskningsaktivitet.

De samarbeidet blant annet med industribedriftene «Kværner Brug AS», «Lysøysund Industrier AS» og med «Brødrene Langset AS». I den påfølgende femårsperioden ble det bygget to bølgekraftanlegg av henholdsvis «Norwave» og «Kværner Brug» på Tofteskallen i Hordaland. Prototypen fra sistnevnte ble imidlertid sterkt skadet i ekstremvær den siste uken i 1988 og har siden vært ute av drift. I Europa forble det meste av forskningen på det akademiske plan frem til 1990. De prosjektene som ble satt i gang var heller av liten skala og bølgekraftverkene var av den teknisk enkle typen (Falnes, 1996; Budal & Falnes, 2003).

4.5 1990 til nå

I 1991 bestemte EU-kommisjonen å inkludere bølgekraft i deres forsknings og utviklingsprogram på fornybare energikilder. Det første prosjektet startet året etter og siden da har over 30 prosjekter blitt finansiert av den Europeiske komité. Noen av høydepunktene i perioden 1990 til 2017 har vært:

1991: Scotland installerte «the Islay Limpet» med en effekt på 500 kW

2004: Palamis Wave Power leverte energi til strømmettet for første gang i historien

2009: Scotland annonserer at de vil bygge ut verdens største bølgekraftprosjekt.

2015: Verdens første bølgekraftnettverk uten utslipp av klimagasser ble installert i Australia.

I perioden blir en rekke energikonferanser og koordineringsaktiviteter finansiert av den europeiske komité. Konferansene har blitt avholdt i flere land med fokus på økonomiske, kommersielle og miljømessige problemstillinger. Det viktigste koordineringsprogrammet ble etablert i 2001 av «the International Energy Agency» (IEA). Programmet har som formål å tilrettelegge for koordinering av havforskning og utvikling gjennom et internasjonalt samarbeid og informasjonsutveksling. Undersøkelser av løpende aktiviteter innen bølgeenergi globalt kan en finne i IEAs årsrapporter og utviklingen kan en følge på IEA(iea.org) og OES (ocean-energy-systems.org) hjemmesider (The Earth Project, u.d.; Alternative Energy Sources, u.d.; International Energy Agency, u.d.)

5 Bølgekraft i dag

Bølgekraft har vært i utvikling i over 200 år og det har med tiden blitt utviklet mange måter å omdanne bølgeenergi til anvendelig energi. Dette kapitlet skal illustrere hvordan energien kan bli konvertert til anvendelig energi, og det skal gi en status på eksisterende kraftverk.

5.1 Kort om bølger

Bølger blir hovedsakelig skapt ved at vind blåser over havet over en tidsperiode. Bølger vil også kunne spre seg utenfor det området som er eksponert for vind og vedvare etter at vinden har lagt seg. Slike bølger kalles dønninger. I noen tilfeller vil også bølger dannes av seismiske forstyrrelser som jordskjelv eller steinras, men da er det ofte snakk om ekstrembølger. Bølger skapt av gravitasjon fra sol og måne kalles for tidevann, og vil ha en bølgelengde på halve jordens omkrets (Kjerstad, 2010).

For å forstå hvordan bølger skapes er det viktig å vite hvilke faktorer bølger er avhengig av for å skapes. Disse faktorene er:

- Vindens styrke
- Vindens varighet
- Strøklengde

I en bølgebevegelse er vannmassene tilnærmet i ro i forhold til bølgetoppen som kan gå med relativ høy hastighet. Bølgen vil derfor ha store løftekrefter og skyvekrefte, også kalt mekanisk energi. I tillegg til dette er heller ikke bølgemønsteret på havet fast, og derfor vil ingen bølger være helt like. Vindkast, vindstyrke, strøm og endringer i bunntopografi er faktorer som vil påvirke bølgen (Kjerstad, 2010). Den norske los definerer signifikant bølgehøyde som: «*middelverdien av den største tredjedelen av alle bølgehøyder i en 20 minutters periode*» (Kartverket, 2008). Signifikant bølgehøyde er en viktig størrelse fordi det blir brukt for å beregne hvor energieffektivt bølgeenergi vil være innenfor et gitt geografisk område (Meteorologisk Leksikon, 2010).

Bølgekraft uttrykkes i kW per meter, og teoretisk effekt per breddeenhet av bølgefronten er

gitt ved $P = \frac{\alpha \rho g^2 H^2 T}{4\pi}$ kW/m.

α =bølgefrontparameter (1/16 for havbølger)

ρ =sjøvannets tetthet

g =tyngdeakselerasjon (ca. 9,81m/s²)

H =signifikant bølgehøyde

T =Bølgeperiode i sekunder

Denne formelen viser det enorme potensialet til bølgekraft, og bølgeutbredelseskart baserer seg på denne verdien (Kjerstad, 2013).

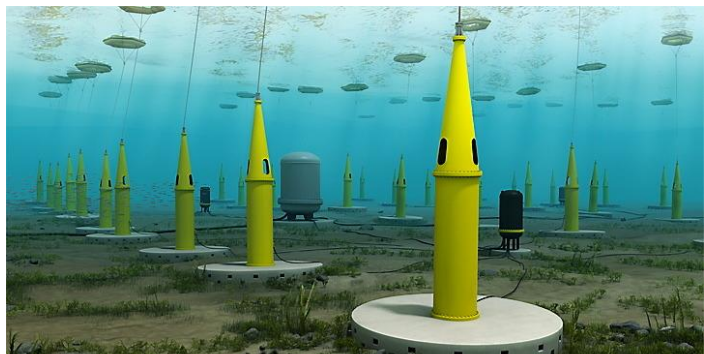
5.2 Dagens teknologi

Gjennom historien har det blitt utarbeidet mange forskjellige prinsipp for å utnytte bølgekraft. På tross av dette har ingen blitt enige om hvordan et bølgekraftverk skal se ut. Det finnes så mange som tusen patenter innen bølgekraft (Waveenergy, u.d.), og det blir derfor vanskelig å utdype seg i hver enkelt av dem. Felles for alle er at de følger lignende grunnprinsipper. De mest kjente prinsippene er punktabsorbator, linjeabsorbator, kilerennekraftverk og svingende vannsøyle (UngEnergi, 2016).

5.2.1 Punktabsorbator

Punktabsorbator prinsippet består av en flytende bøye i havoverflaten som vist på figur 4. Den er festet med en wire til generatoren oppankret i havbunnen. Prinsippet i seg selv er enkelt og består av en bøye, et stempel, en generator og en ventil. Bøyene følger bølgens bevegelse opp og ned, og stempelet vil da heves og senkes. Når stempelet heves vil det suge vann inn i generatoren, vannet driver deretter turbinene og til slutt går vannet ut ventilen når bølgen trekker seg tilbake (UngEnergi, 2016).

Utseende og prinsipp for punktabsorbatorer er ofte like, men måten de danner elektrisitet kan variere fra produsentene. Et godt eksempel på dette er patenten til det



Figur 4: Punktabsorbator produsert av Seabased AB (Kilde: Teknisk ukeblad)

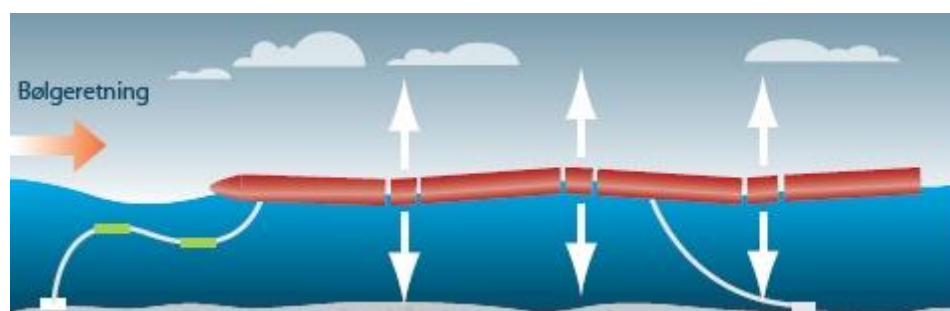
svenske selskapet Seabased AB kontra selskapet Waves4power. Patenten til Seabased benytter en lineær generator som fungerer på tilsvarende måte som elektromagnetisk induksjon for å generere strøm. Generatoren fungerer ved at et magnetisk stempel går opp og ned i en sylinder som er kledd med en elektrisk spole. Spolen generer strøm som kan leveres inn på strømmettet (Nilsen, 2016) (Freikolben, u.d.).

Waves4power benytter en annen teknisk løsning og baserer seg på et prinsipp som best kan bli beskrevet som ein stor hydraulisk pumpe. Under bøyen er der et stort vannstempel i et akselerasjonsrør som beveger seg opp og ned som følge av bølgene. Stempelet pumper hydraulikkolje gjennom en motor som er koblet opp til en generator. Strømmen som blir genereres sendes via kabel til land der den kan bli anvendt (Climatesolver, u.d.).

5.2.2 Linjeabsorbator

Linjeabsorbator er et flytende anlegg bestående av flere sylindriske konstruksjoner som er hengslet sammen og ligger i havoverflaten. I det sylindrene blir utsatt for bevegelsen vil de følge bølgen opp og ned bølgedalen. Det er nettopp denne bevegelsen i hengslene som generer strøm. I hengslene er det hydrauliske stempel som pumper væske med høyt trykk via en akkumulator gjennom en hydraulisk motor som driver en generator (Fornybar.no, u.d.).

Linjeabsorbatoren er ankret opp i havbunnen slik at den klarer å tilpasse seg alle typer bølger. Geografisk blir den plassert der havdybden er ca. 50-60m og 5-10km fra land. Dette er fordi anleggene ikke skal påvirkes av bunntopografi, og at det skal klare å utnytte dønningene på en effektiv måte. Strømmen som genereres blir overført via kabler langs havbunnen til land. Slike anlegg må være store for at de skal få størst økonomisk utbytte (Fornybar.no, u.d.).



Figur 5: Pelamis Wave Energy Converter (Kilde: fornybar.no)

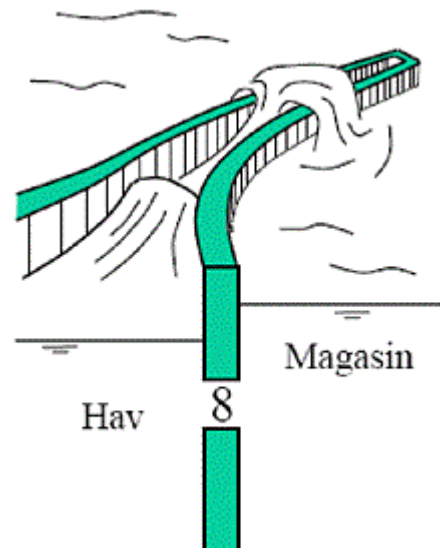
Dette prinsippet for å utnytte bølgekraft ble prøvd ut av Pelamis Wave Power (PWP), og utformingen linjeabsorbatoren er illustrert på figur 5. Det ble satt opp storskala testanlegg på kysten av Portugal og ved Orknøyene. Anleggene fungerte nøyaktig som de skulle. PWP

utviklet to generasjoner med bølgekraftkonvertere som var i størrelsesorden 120m og 180m. Testanleggene ble utsatt for et testprogram hvor de gradvis ble utsatt for større og større bølger for å avdekke forskjellige risikoer og hvordan de skulle håndtere tekniske feil. Første generasjons Pelamis Wave converter ble etter hvert demontert og tatt ut av drift mens andre generasjons ligger fortsatt i sin posisjon, men er ikke i drift som følge av konkurs (The European Marine Energy Centre LTD, u.d.).

5.2.3 Kilerennekraftverk

Kilerennekraftverk ligger langs kysten, og utnytter bølgene som kommer inn mot kysten. Kraftverket består av en trakt, og som følge av utformingen vil vannet vokse seg høyere til det kommer over kanten og havner i et vannmagasin, utformingen er skissert på figur 6. Dette vannmagasinet ligger over havnivået slik at vannet har mulighet til å renne gjennom en turbin i en kraftstasjon før det renner ut i havet igjen. Det blir da generert strøm på samme måte som i vassdrag (UngEnergi, 2016).

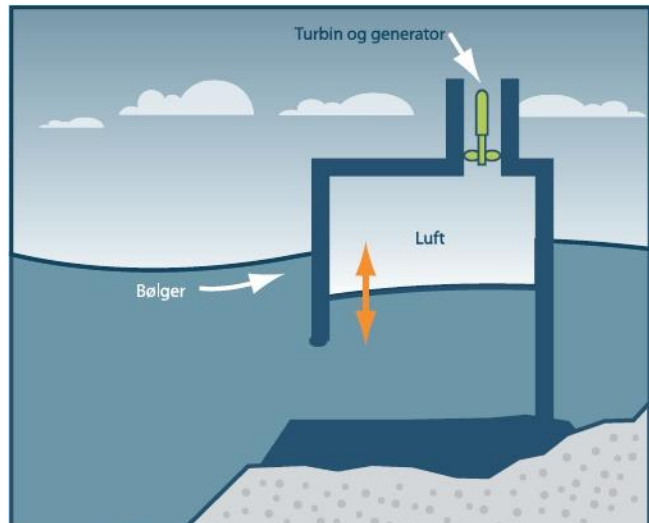
På 1980-tallet ble det bygget et prøveanlegg på Toftskallen vest av Toftøy i Øygarden kommune. Anlegget ble åpnet i 1985 og fungerte som det skulle i fire år før det ble ødelagt av en eksplosjon i forbindelse med vedlikehold på anlegget. En rekke stormer i samme tidsperioden bidro til å gjøre skadene på anlegget enda større. Skadene ble så store at eierne ikke klarte å skaffe kapital til å gjenopprette det, og derfor ligger anlegget i ruiner i dag (Olsen, 2014).



Figur 6: Kilerennekraftverk (Kilde: ungenergi.no)

5.2.4 Svingende vannsøyle

Det svingende vannsøyle prinsippet baserer seg på at bølger blir presset opp og ned i et kammer som inneholder luft som vist på figur 7. Det kan også bli forklart som om at vannet fungerer som et stempel i en sylinder, på samme måte som i en bilmotor. Vannet som beveger seg inn i kammeret vil presse luft oppover i sjakten, og drive en vindturbin som generer strøm. Når vannet er på vei ut av kammeret vil det lage et vakuum som driver turbinen i motsatt retning. Det som gjør energiutvinning mulig er den

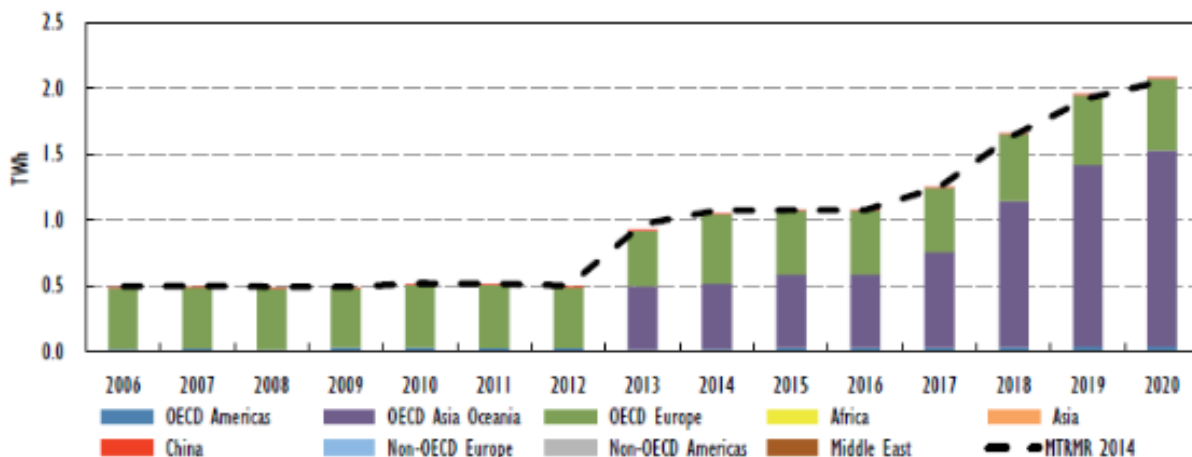


Figur 7: Svingende vannsøyle (Kilde: fornybar.no)

symmetriske bladprofilen i Wells turbinen. Denne turbinen klarer å ta opp luftstrøm i begge vertikale retninger for å generere strøm (Hals & Lundby, 2011).

5.3 Status

Det er i dag enda ikke utbygget bølgekraftanlegg i storskala. Den eneste typen havkraftverk som blir benyttet i verden i dag er tidevannskraftverk, og det er store anlegg i både Frankrike og Sør Korea. Disse anleggene er i full drift og har en effekt på rundt 250MW hver. Det er planlagt flere mindre anlegg i Kina, Canada og Russland. I sammenheng med forurensningsproblematikken og den begrensede tilgangen til de store energikildene er det forventet en økning av de fornybare energiresursene. Figur 8 viser framtidsutsiktene for bølgegenerert kraft i nærmeste fremtid (International Energy Agency, u.d.).



Figur 8: Produksjon og framtidsutsikter for bølgegenerert kraft (Kilde IEA.org)

Figur 9 viser dagens bølgekraftverk av nevneverdig størrelse, hvilket selskap de tilhører, deres kapasitet og hvilket land de er lokalisert.

Company	Name	Type	Stage	Capacity (full-scale)	Country
Seabased	Seabased WEC	Point absorber	Full-scale Demonstration	~ 30-50 kW	
Ocean Harvesting Technologies	Ocean Harvester	Point absorber	1:20 scale tank testing	100+ kW	
Bohegg Engineering	Bowec	Point absorber	Unknown	Unknown	
AW Energy	WaveRoller	Oscillating wave surge converter	Demonstration	Unknown, 300 kW prototype planned	
Langlee Wave Power	Langlee E2	Oscillating wave surge converter	1:20 scale tank testing	400 kW	
Fred Olsen	Bolt	Point absorber	Real sea test	45 kW	
Wave Energy	Sea-wave Slot-cone Generator - SSG	Overtopping	1:4 scale turbine tests	Unknown	
Pelagic Power	W2-POWER	Hybrid wave & wind power plant	1:3 scale tests of wave PTO	Unknown	
DEXAWAVE	DEXAWAVE converter	Attenuator	1:10 scale in real sea	250 kW	
Wave Dragon	Wave Dragon	Overtopping	1:4.5 scale in real sea	~ 10 MW	
WavePlane	WavePlane	Overtopping	Interrupted full-scale test	Unknown	
Wave Star Energy	Wave Star	Multi point absorber	Section of WEC tested in real sea	Up to 6 MW	
Floating Power Plant	Floating Power Plant	Hybrid wave & wind power plant	Wave part tested in scale in real sea	Multi MW	
Pelamis Wave Power	P2	Attenuator	Commercial sales	750 kW	
Aquamarine power	Oyster	Oscillating wave surge converter	Full-scale demonstrator	2,5 MW for three devices and one PTO	
Wavebob	Wavebob	Point absorber	1:4 scale in real sea	1-1,5 MW	
Ocean Power Technologies Ltd	Power Buoy	Point absorber	A 40 kW version has been tested in real sea	150 kW under construction, 500 kW being designed	
Wavegen	Wavegen near-shore OWC	Oscillating water column	500 kW land based machine on Islay	Individual turbines up to 100 kW	
Oceanlinx	Oceanlinx Mk3	Oscillating water column	Pre-commercial Mk3 deployed in Feb 2010	>2.5 MW	
Carnegie Wave Energy	CETO	Other	200 kW demonstration under construction	Unknown, several units connect to one PTO	

Figur 9: Forskjellige bølgekraftverk i verden (Kilde: Elforsk.se)

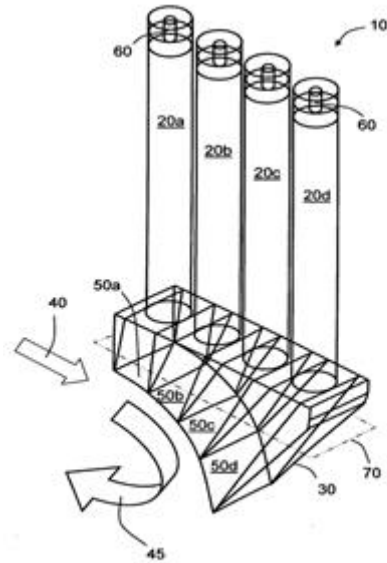
6 Havkraft

Havkraft AS er et selskap fra Måløy i Sogn og Fjordane som jobber med å utnytte energi fra bølger. Havkraft AS har for øyeblikket utviklet en bølgekraftkonverter som har fått navnet Havkraft Wave Energy Converter (H-WEC). Selskapet mener selv at denne konverteren er verdensledende, og kan være løsningen på problemene knyttet til bølgeenergi (Havkraft, u.d.).

6.1 H-WEC

H-WEC er en kombinasjon av det svingende vannsøyle, og punktabsorbator prinsippet. Det som skiller H-WEC fra en ren svingende vannsøyle er utformingen. Svingende vannsøyle prinsippet består av ett kammer, mens H-WEC er bygget opp av fire kammer som sammen danner en modul. Det er utformingen på modulen som gjør H-WEC unik. På figur 10 er det illustrert hvordan en H-WEC modul er utformet. Fire sylindere er plassert på en bølgefanger, og bølgefangeren er avbøyd slik at den mer effektivt kan fange opp bølger av forskjellig størrelse. De minste bølgene blir fanget opp hvor høyden til bølgefangeren er minst, mens de største bølgene blir fanget opp hvor bølgefangeren er høyest. En ren svingende vannsøyle har ikke en slik bølgefanger, og fungerer derfor bare optimalt ved en bestemt bølgehøyde.

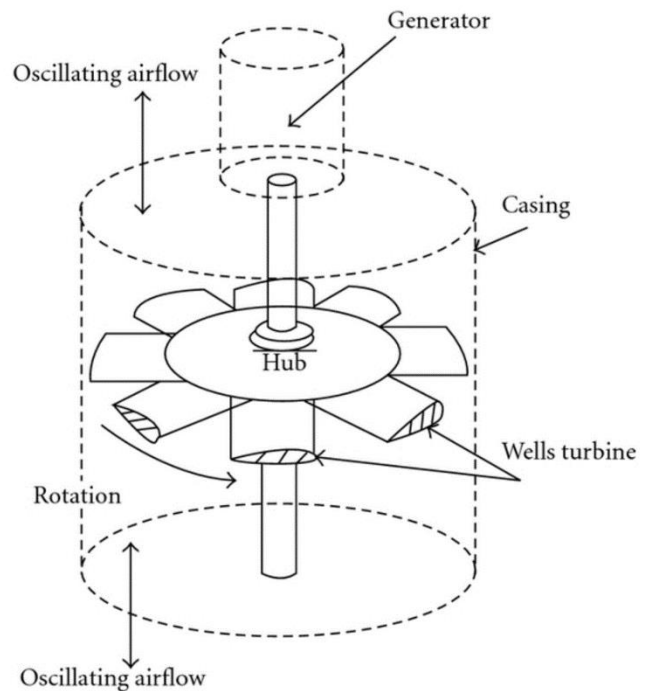
Teknologien skiller seg også ut ved at det ikke er noen bevegelige deler i kontakt med vann. Deler som er i kontakt med saltvann krever ofte spesiallegeringer og godt vedlikehold (Solheim, 2017).



Figur 10: H-WEC (Kilde: freepatentsonline.com)

6.2 Wells Turbin

En Wells turbin som vist på figur 11 er en turbin hvor bladene roterer i samme retning uavhengig av hvilken retning luften kommer fra. Dette gjør turbinen godt egnet til å bruke sammen med en svingende vannsøyle fordi luften beveger seg i begge retninger. En wells turbin har lavere effekt enn en turbin som bare fungerer når luften kommer fra en retning. En av årsakene til dette er fordi det kreves mer energi for å få bladene i turbinen til å rotere grunnet deres utforming (Solheim, 2017).



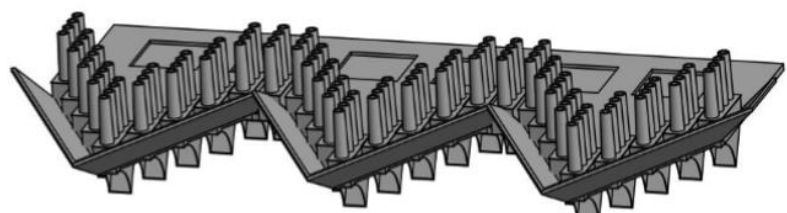
Figur 11: Wells turbin (Researchgate.net) (Takao, 2012)

6.3 Bruksområder H-WEC

En H-WEC modul kan anvendes på flere forskjellige måter. Modulen er avhengig av å bli påmontert en konstruksjon, men hvordan konstruksjonen er utformet kan variere. Havkraft AS trekker frem tre mulige utforminger konstruksjonen kan ha.

6.3.1 Powerpier

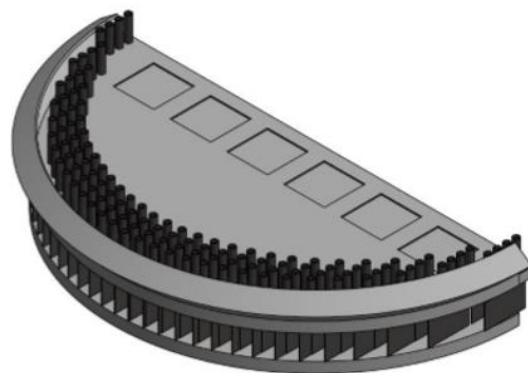
En powerpier skal først og fremst fungere som en molo ved å dempe bølger. Powerpieren er en konstruksjon i stål eller betong som man påmonterer flere H-



Figur 12 Foto: Havkraft PP presentasjon

WEC moduler. Konstruksjonen blir installert mot et åpent havområde hvor det er forventet energirike bølger, og konstruksjonen kan være opptil 100m lang.

Fordi powerpieren skal fungere som en bølgedemper kan en installere denne enheten som et alternativ til en konvensjonell molo. Powerpieren vil derfor ha to funksjoner, den vil både skjerme land og fungere som et kraftverk. På figur 12 og 13 er det illustrert hvordan Havkraft AS ønsker at en powerpier skal utformes (Solheim, 2017).



Figur 13 Foto: Havkraft PP presentasjon

6.3.2 Powerbarge

En powerbarge er en flytende konstruksjon hvor det blir påmontert flere H-WEC moduler som vist på figur 14. En powerbarge er lite effektiv alene, men det kan bygges parker som kan bestå av rundt 100 powerbarger. De blir ankret opp i et område hvor man kan forvente mye sjø og er ikke begrenset av hvilken retning bølgene kommer fra (Solheim, 2017).



Figur 14: Powerbarge (Kilde: Havkraft, Twitter)

6.3.3 Flotell

Et flotell er en plattform, eller et skip som blir brukt som et hotell på havet. Et flotell ligger stort sett helt stille, og det vil være økonomisk hensiktsmessig å montere en eller flere bølgekonverterere på en konstruksjon som allerede eksisterer (Solheim, 2017).

6.4 Flexibiliteten til H-WEC

Det som skiller H-WEC fra andre bølgekonverterere er fleksibiliteten. H-WEC kan produsere energi fra flere forskjellige bølgehøyder og frekvenser, i motsetning til andre svingende vannsøyle kraftverk som bare kan produsere energi ved en fast frekvens. Dette gjør at systemet ikke er bundet til et bestemt geografisk område hvor bølgehøyden er den samme, men kan plasseres over nesten hele verden. Systemet er ikke avhengig av høy bølgehøyde for å produsere strøm, men kan gå for fullt selv ved lave bølgehøyder.

H-WEC klarer dessuten mer enn å bare produsere strøm til en tavle. Havkraft AS sier at systemet kan benyttes til å produsere hydrogen, lade batterier eller erstatte drivstoff.

Det siste som skiller H-WEC er systemets enkle oppbygging som gjør det mulig å montere modulen på forskjellige konstruksjoner etter ønske og nødvendighet. Konvertereren kan derfor bli montert på en konstruksjon som ligger til havs, og erstatte deler av drivstofforbruket selv ved lave bølgehøyder (Solheim, 2017).

6.5 Prototypen

Havkraft AS kjøpte i 2014 en gammel fiskebåt som skulle vrakes. Denne gamle båten ble bygget om til et bølgekraftverk bestående av en H-WEC modul. Dette skulle brukes til å teste om det var muligheter for å produsere strøm fra bølger i større skala. Prototypen ble ansett som en suksess og hadde opp mot 4500 driftstimer før den ble slept tilbake til land. I en 24 timers periode var vindstyrken konstant over 32 m/s og bølgehøyden var på opptil 12 meter. Det oppstod ingen problemer, og prototypen fikk ingen skader forårsaket av de krevende forholdene (Solheim, 2017).

Oppankringsmetode som ble brukt var single point mooring med en «svitsj» slik at ankeret kunne rotere om seg selv. Ankringen ble gjort av Havkraft selv sammen med Kvernevik Engineering. Denne typen ankring ble bestemt sammen med Selstad som jobber med blant annet forankringssystemer (Solheim, 2017). Det tok ikke lang tid å produsere selve konverteren da det hovedsakelig bare var noen plater som skulle sveises sammen. Ombyggingen av skipet var tidkrevende da det stadig oppstod uventede problemer med utskjæringen av skroget. I utgangspunktet skulle baugen på skipet skjæres av, og så settes på igjen når konverteren var på plass. Dette ble ikke gjennomført da det viste seg å være for kostbart. Det ferdige produktet ble slik som man kan se på figur 15 (Solheim, 2017).



Figur 15: Prototypen (Kilde: fjordinvest.no)

Området som ble valgt ut for testing av prototypen var allerede tilrettelagt av Stadtvind. Det var flere testområder som var oppe til vurdering, men det området med minst eksponering ble valgt. Det var tilstrekkelig med et døgn for å verifisere om prototypen fungerte, men det ble valgt å drifte den lenger for å demonstrere at konstruksjonen tålte påkjenningene som fantes på det værharde Stadt (Solheim, 2017).

7 Beskrivelse av oppankring, fortøyning og posisjonering

Det eksisterer flere forskjellige oppankringsmetoder og anker. De systemene som mest relevant når det kommer til bølgekraft er CALM, SALM og SAL. I samhandling med oppankringssystemene er det viktig å bruke riktig type anker. Når man først klarer å opprettholde posisjonen er det utstyr en kan bruke for å overvåke den samt gjøre andre skip oppmerksomme på flytende konstruksjoner i vannet.

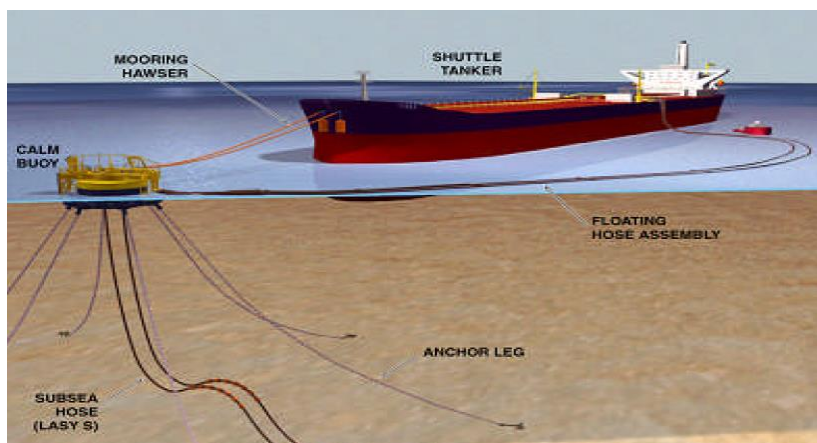
7.1 Oppankring/Fortøyning

Single Point Mooring (SPM) er en fortøyingsmetode som blir brukt på plasser der laste/losse fasiliteter ikke er tilgjengelig, for eksempel ved bøyelasting. Fortøyningsmetoden blir brukt når det er et behov for at et fartøy skal ligge i en bestemt posisjon og samtidig skal rotere rundt et punkt for å ligge opp mot vær og strøm. Metoder som dette har vist seg å være svært effektive til sine formål og fartøyene som benytter det kan være så store som VLCC tankere (Kantharia, 2016).

Metoden kan enkelt bli forklart som at et fartøy er fortøyd i en bøye eller en flytende kai som er festet til havbunnen. Det blir enten brukt kjetting eller fiberliner fra bøyen og ned til havbunnen ut i fra hvor dypt det er i området (Kjerstad, 2010). I slike SPM system kan det ofte være et ledd som er svakere enn resten av systemet. Dette er for at man ønsker at det leddet skal gå i stykker ved for store påkjenninger for å forhindre skader på fartøy og resten av systemet. Et slik ledd kalles weak link (Solheim, 2017). Det finnes flere typer SPM men rapporten skal bare ta for seg de som mest relevant for Havkraft sitt produkt (Kantharia, 2016).

7.2 CALM – Catenary Anchor Leg Mooring

CALM prinsippet baserer seg på at en flytende bøye er oppankret i havbunnen ved hjelp av kjetting som går i en katenær kurve. For at dette systemet skal kunne rotere som en værhanne blir ofte svivelen plassert rett under bøyen eller at bøyen i seg selv er designet slik at toppdelen av bøyen roterer. Anker type og antall ankerliner som går ut i fra



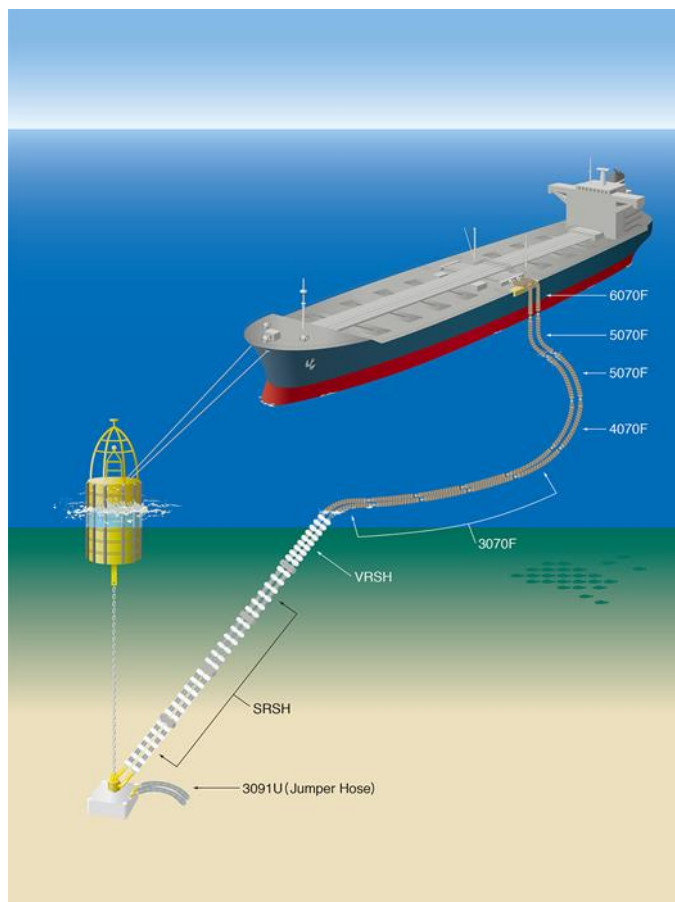
Figur 16: CALM (Kilde: epcmconsultants.co.za)

bøyen varierer etter hvor det ankres opp og hvilke krefter det er beregnet å bli utsatt for. Som figur 16 viser, er skipet fortøyd til selve bøyen ved hjelp av en eller flere trosser som de fester i et fast bestemt punkt på bøyen.

Innenfor bøyelasting er selve bøyen utstyrt med en lastemanifold som skipet kobler seg på for å laste/losse produkt. CALM system blir ofte plassert på dybder mellom 20m og 100m, og er oppkoblet til landbaser eller til offshore produksjons plattformer ved hjelp av undervannsrør. Endringer i design og bruk av CALM prinsippet har i senere tid gjort det mulig å ankre opp slike bøyer på over 1000m (SBM Offshore, 2012).

7.3 SALM – Single Anchor Leg Mooring

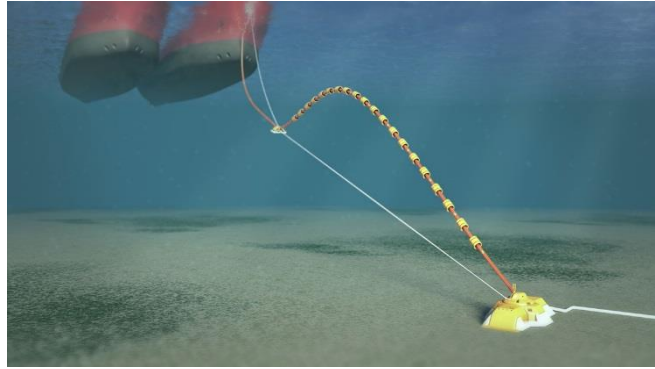
SALM er relativt lik CALM men skiller seg ut ved at bøyen bare blir oppankret et punkt på havbunnen. På havbunnen er det montert en baseplate med et festepunkt. Forbindelsen mellom bøye og bunn består av enten kjetting, wire eller fibertau. Svivelen i systemet kan ofte bli plassert på havbunnen når systemet er oppankret en plass der det er grunt, men ved større dybder blir svivelen plassert en plass midt i forankringen, eller helt opp med bøyen for å redusere vedlikeholdskostnader. Normalt er det ønskelig å ha svivelen så nær havoverflaten som mulig fordi bevegelige deler av metall går dårlig sammen med vann. Svakheten i systemet er at det ikke kan benyttes på store dybder. I situasjoner der et fartøy blir kraftig påvirket av vind og strøm er det oppdriften til bøyen som genererer motkreftene, i kontrast med et CALM der det er ankrene som genererer motkreftene (Paik & Thayamballi, 2007; Wichers, 2013)



Figur 17: SALM (Kilde: Y-yokohama.com)

7.4 SAL – Single Anchor Loading

SAL systemet ble utviklet for å skaffe et billigere alternativ til de eksisterende systemene, og ble brukt der operasjonskravene var lavere. I et SAL system er hele konstruksjonen montert på havbunnen.



Figur 18: SAL (Kilde: National Oilwell Varco (NOV))

Fortøyningsline med forhaler og produktslange er forbindelsen mellom

festepunkt på havbunnen og opp til skipet. Det er festepunktet på havbunnen som er hovedkomponenten i systemet. Den sørger for lasting/lossing av produkt, og gjør det mulig for skipet å ligge som en værhanne (National Oilwell Varco, N/A). Systemet kan ikke bli brukt på store dybder og fartøyene må være av begrenset størrelse. I tillegg til dette er den største svakheten til systemet at alle de bevegelige delene er under vann som gjør det kostbart og komplisert å inspisere (Paik & Thayamballi, 2007).

7.5 Ankertyper

Oppankringstype er viktig for å holde en flytende konstruksjon i posisjon. Bunnforholdene kan variere, og det er viktig å ha innsikt i hvilke ankertyper tilpasset de ulike bunnforholdene.

Holdekraften til et anker avhenger av:

- Ankerline (lengde og vekt)
- Vekt
- Kloareal og klovinkel
- Utforming
- Bunnforhold

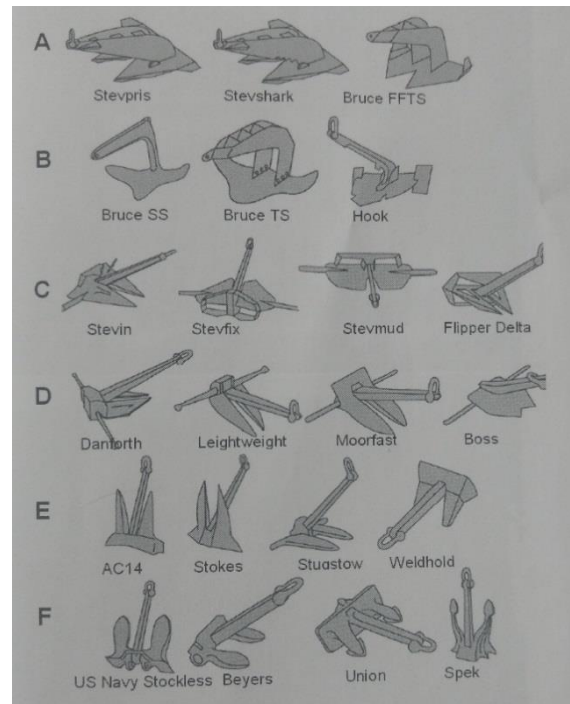
Holdevekten til et skipsanker vil normalt være 7-8 ganger ankerets vekt, og vil være bestemt i henhold til utrustningsnummeret i fartøyets utrustningstabell. Kravene kan reduseres i tilfeller der en gitt effektivitet kan dokumenteres (Kjerstad, 2010).

7.5.1 Offshore anker og konvensjonelle anker

Man bruker å karakterisere et anker etter holdekraft, effektivitet og vekt. I offshore er det normalt å dele inn ankeret inn i forskjellige klasser etter effektivitet og design. Hva de forskjellige ankrene brukes til er avhengig av hvor permanent den skal være og bunntype. I tilfeller der ankeret sliter med å få feste som følge av dårlig havbunn kan det ofte bli benyttet et lite anker som festes foran hovedankeret. Slike anker blir kalt «piggy-back» anker (Kjerstad, 2010).

Ankerklassene er:

Type:	Ankertype:	Effektivitet:
Class-A	Stevpris	33-55
Class-B	Bruce SS	17-25
Class-C	Stevin	14-26
Class-D	Danforth	8-15
Class-E	Stokes	8-11
Class-F	Union	4-6



Figur 19: Ankertyper (Kilde: Kjerstad)

7.5.2 Sugeanker

Sugeanker blir benyttet for relativt permanente oppankringer på dypt vann, og designet har lite til felles med konvensjonelle anker. Ankeret er en stålsylinder som er lukket i en ende der det er et festeøyne, og en ventil der man skal koble til en pumpe. Diameteren på et sugeanker er i størrelsesorden 4-5m og høyden kan være noe som 10-15m. Ankeret blir satt ut ved at man slipper ankeret så vertikalt som mulig ned i de myke bunnsedimentene med ventilen i åpen stilling. Vekten av ankeret vil gjøre at det synker langt ned i sedimentene. Når nedsynkingen stopper stenges ventilen, og man suger ut vannet av sylinderen. Dette fører til at det blir et undertrykk som suger sylinderen ned i bunnen (Kjerstad, 2010).

7.5.3 Torpedoanker

Torpedoanker er en ankertype som blir brukt når det kommer til å ankre opp installasjoner på store dyp der det er mye bunnsediment. Navnet har sitt opphav i måten ankeret er utformet på i tillegg til utsettingsmetoden. Ankeret slippes som en torpedo mot havbunnen og vil på grunn av sin tyngde, utforming og hastighet penetrere dypt ned i bunnsedimentet. Utsetting av slike anker kan være en omfattende operasjon som kan kreve opptil tre skip som samarbeider (Kjerstad, 2010).

7.6 Posisjonering

Det er ikke alle offshore installasjoner som har behov for oppankring for at de skal holde seg i posisjon for å utføre det arbeidet de er satt til. Enkelte moderne installasjoner er utstyrt med dynamisk posisjonering eller POSMOOR (Kjerstad, 2010).

7.6.1 Dynamisk posisjonering

Dynamisk posisjonering er et fartøy som er utstyrt med meget presist GNSS utstyr og posisjons referansesystem som er koblet opp mot skipets fremdriftsmaskineri. Når alle disse systemene samarbeider kan fartøyet holde sin posisjon svært nøyaktig.

7.6.2 POSMOOR

En annen måte et skip kan holde sin posisjon nøyaktig på er å benytte et POSMOOR system. POSMOOR står for POSition and MOORing og fungerer ved at et skip er fortøyd eller oppankret i flere punkt. Systemet benytter et automatisk styresystem for ankerliner og vinsjer som gjør det mulig for skipet å holde seg i posisjon. Slike system har mye til felles med DP men vil kreve mindre av eget fremdriftsmaskineri.

7.7 Identifisering

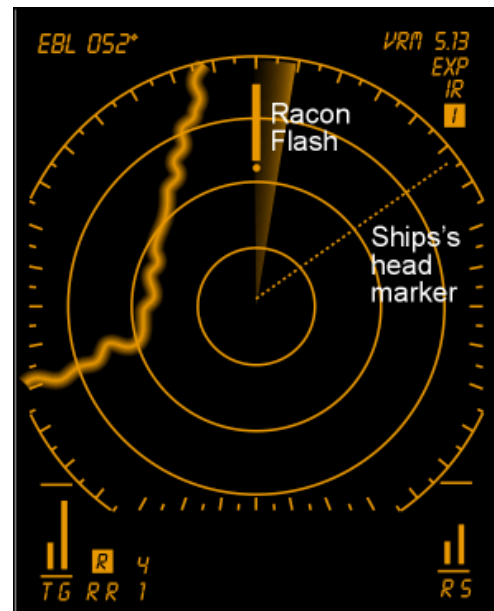
Prototypen til Havkraft benyttet seg av AIS for å gjøre seg synlig for andre fartøy. Dette er noe Havkraft AS ønsker å benytte på de andre installasjonene sine. Et alternativ til dette kan være å bruke RACON.

7.7.1 AIS – Automatic Identification System

AIS er et system som i utgangspunktet skulle bli brukt som et antikollisjonssystem, men har i senere tid blitt brukt mye for overvåking av skipsfarten. Systemet består av en radiosender som sender ut informasjon om skipets identitet, kurs, last, destinasjon og posisjon. AIS bruker en VHF-sender som får signal fra GNSS for å formidle informasjon på VHF kanal 87 og 88. Dette gjør det mulig for fartøy å identifisere hverandre på lang avstand. Den typiske rekkevidden til VHF er 30-40nm til havs, og som regel litt kortere ved land.

7.7.2 RACON

RACON står for radar beacon, eller radarfyr på norsk. Måten systemet fungerer på er at skipets radar sender ut en radarpuls som aktiverer en radar transponder/racon sender som er plassert på en bøye eller et fyr. Når radar transponderen blir aktivert vil den sende ut et signal som skipet får opp på radarskjermen sin om bord, som illustrert på figur 20 Signalet man får opp i radarbildet er kodet med morsesignal, og det er alltid slik at den nærmeste enden av ekkoet vil være i posisjonen til radar transponderen (Kjerstad, 2010).



Figur 20: RACON i radarbilde (Kilde: sailingalmanac.com)

8 Beskrivelse av vedlikehold

For å kunne unngå unødvendige kostnader og skader er det viktig å ha kjennskap til hvilke materialer bølgekraftverkene kan bli bygd i, og hvilket vedlikehold disse materialene krever.

8.1 Stålkonstruksjoner

Det er kjent at konstruksjoner i metall, som for eksempel stål korroderer. Korrosjon er tæring på materialer ved kjemiske eller elektrokjemiske reaksjoner med omgivelsene. Korrosjon innebærer at positive ioner i metaller flytter seg fra metallgitteret til andre plasser i omgivelsene. Korrosjonsprosessen sin hastighet øker der det er høyere luftfuktighet, for eksempel i områder langs kysten eller ute på havet (Almar-Næss, 2009).

Stål er en legering av jern og karbon som har et veldig bredt spekter av egenskaper, og bruksområder. Egenskapene til metallet avhenger av hvilken varmebehandling, sammensetning og produksjonsprosess det har vært i gjennom. I offshore blir det ofte benyttet lavlegert støpestål fordi materialet har større seighet og større motstandsevne mot atmosfærisk korrosjon (Nasjonal digital læringsarena, 2010).

Vedlikehold av stål består hovedsakelig av korrosjonsbekjempelse. Den eneste måten å bekjempe dette på er god og regelmessig overflatebehandling. Overflatebehandlingen består av maling som er tilpasset materialet (Fartøyvernssentrenes Fellelsråd, 2010).

Maling vil etter hvert slites ned, og det er da korrosjon vil oppstå. Når materialet først er begynt å korrodere er det viktig å sette i gang korrigerende tiltak. Disse tiltakene kan utføres med mange forskjellige hjelpemiddel som avhenger av omfanget til korrosjon, tilgjengelig utstyr og økonomi. Ofte snakker vi om rustfjerning med stålbørste, rustpikke, pneumatisk verktøy, elektrisk verktøy og sandblåsing. Alle disse kategoriene har fordeler og ulemper som gjør at de kan ha forskjellige bruksområder, men grunnprinsippet for alle er det samme. Det disse kategoriene har til felles er at alle er metoder for å fjerne løstsittende maling og rustdannelser. Etter rustfjerning er det viktig å vaske overflaten godt med et stoff som er tilpasset malingen som skal påføres i etterkant. I tillegg til dette er vasking med ferskvann en god måte å forhindre at malingen blir nedslitt (Fartøyvernssentrenes Fellelsråd, 2010).

8.2 Katodisk beskyttelse

Selv om metallet til en konstruksjon er malt for å forhindre korrosjon, vil det og være vanlig å benytte offeranoder (Fartøyvernssentrenes Fellestråd, 2010). En offeranode er et korrosjonshindrende metallstykke av sink eller aluminiumslegering som festes til stålkonstruksjoner, for eksempel et skip sitt skrog. Anoden består av et mindre edelt metall enn stål, noe som gjør at anoden ofres til fordel av stålet (Fallet, 2009).

8.3 Konstruksjoner i komposittmateriale

I motsetning til metaller er komposittmaterialer nesten vedlikeholdsfrie. Komposittmaterialer er en fellesbetegnelse på materialer som er laget ut i fra en blanding av flere materialer, der man utnytter de beste egenskapene til hvert enkelt materiale. Slike materialer kan være karbonfiber, glassfiber, aramid, naturfiber og forskjellige plasttyper. Produkt som er bygd i kompositt material vil for eksempel ikke være utsatt for korrosjon, og i tillegg være lettere enn stål.

I likhet stål vil kompositt være utsatt for generell slitasje som at maling blir slitt over tid. Det vedlikeholdet som må til da er å påføre ny maling og bunnsføring. Utenom dette er renhold en god måte å vedlikeholde og forhindre at materialet blir fort nedslitt.

Når komposittmaterialer sammenføres er liming et sentralt tema for å forsikre seg en installasjon sin strukturelle styrke. Dårlig sammenføring og liming kan føre til at et produkt som skal brukes på havet kan ta inn i vann. Når lagene i et komposittmateriale begynner å skille seg eller sprekke blir det kalt delaminering og det vil se ut som luftbobler i materialet. For å fikse dette er det nødvendig å slipe rent eller kutte vekk området som er skadet for å så plaste opp igjen. På årlig basis er det vanlig å foreta inspeksjoner på fortøyningspunkt og andre festepunkt (Blålid, 2017).

8.4 Marin begroing på skrog

Marin begroing er en felles betegnelse på alt organisk som vokser under vannlinjen. Marin begroing påvirker installasjoner i stål og kompositt, og kan forhindres ved hjelp av bunnsmøring (Gloppen, et al., 2009).

Ved fjerning av marin begroing har det vært normalt å ilandsette installasjonen for å fjerne begroingen ved hjelp av høytrykkspyler og andre hjelpemiddel (Gloppen, et al., 2009). I senere tid er det utviklet flere metoder for å fjerne marin begroing når det først er oppstått. Disse metodene baserer seg ofte på undervannsoperasjoner (Deepwater, u.d.). Det er viktig at begroing rundt bølgefangerene blir tatt hånd om så fort man ser at det kan være til hinder for produksjon (Solheim, 2017).

8.5 Vedlikehold av oppankringen

Oppankringen vil være utsatt for samme korrosjonsproblematikk som andre installasjoner i stål som ligger til havs (Fartøyvernssentrenes Fellestråd, 2010). I tillegg vil kjetting og anker være rammet av marin begroing som rur, alger og skjell som igjen fremmer korrosjon og nedbryting av material. For å forhindre marin begroing på kjetting og anker er det viktig at det er behandlet med bunnstoff (Füting, 2012). Oppankringen vil være relativt permanent slik at det vedlikeholdet som trengs er rutinemessige inspeksjoner av oppankringssystem for å se etter korrosjon og andre strukturelle skader. Videre kan man også inspisere og eventuelt bytte deler som er en del av oppankringssystemet. Oppankringssystemet skal ha en weak link som skal gjøre at bølgekraft installasjonen skal slite seg i ved for hard belastning (Solheim, 2017).

8.6 Vedlikehold av Wells turbin

I følge Havkraft AS vil det viktigste vedlikeholdet være i turbinen, og vil kunne utføres av en tekniker med innsikt i fagfeltet. Videre forklarer Havkraft at selv om en av turbinene svikter så er det ikke nødvendig at eventuelle vedlikeholds prosedyrer trer i kraft så lenge bølgekraftverket klarer å produsere strøm. Innenfor vedlikehold av turbiner er det som oftest de bevegelige delene som må vedlikeholdes, som for eksempel bladene i viften til en Wells turbin. (Wind Turbines Wind Monitoring Equipment Advice And Installation, u.d.). Havkraft forklarer at mekaniske ledd som gir og lager er noe som må holdes et godt tilsyn til og vedlikeholdes (Solheim, 2017).

9 Risiko

For å kunne unngå havari, eller uønskede hendelser er det viktig å kunne identifisere risikoer på forhånd av arbeidsoperasjoner. Etter at man har identifisert risikoene må man sette i gang forebyggende tiltak for å unngå havari og uønskede hendelser. Dette gjøres ved å bruke verktøyene risikomatrise og risikovurdering.

Med risiko menes hendelser som kan inntreffe som har konsekvenser for noe av verdi for mennesker. Konsekvensene kan være noe som omhandler liv, helse, miljø eller økonomiske verdier. I det daglige er det normalt å bruke risiko som et begrep som omhandler fare, uønskede hendelser eller tap. Risiko er definert som produktet av sannsynlighet og konsekvens som vist på figur 21 (Aven, 2016).

9.1 Risikomatrise

Risikomatrise er et verktøy man kan bruke for å måle risiko. Risikomatrise fungerer ved å identifisere konsekvensen av en uønsket hendelse, og multiplisere det med sannsynligheten. Resultatet vil være en faregrad. Dersom konsekvensen av en uønsket hendelse er høy, og sannsynligheten er svært høy vil dette resultere i faregrad rød. Operasjonen vil være for farlig å starte før vi har satt i gang korrigerende og forebyggende tiltak.

Konsekvens	4 Svært høy	Moderat	Høy	Høy	Høy
	3 Høy	Moderat	Moderat	Høy	Høy
	2 Moderat	Lav	Moderat	Moderat	Høy
	1 Liten	Lav	Lav	Moderat	Moderat
		1 Lav	2 Moderat	3 Høy	4 Svært høy
		Sannsynlighet			

Figur 21: Risikomatrise (Kilde: Uninet.no)

9.2 Risikovurdering

Et annet verktøy kan brukes sammen med en risikomatrise er risikovurdering. Risikovurdering er et begrep som dekker tre steg innen risikostyring; risikoidentifisering, risikoanalyse og risikoevaluering. Denne bruken av begreper har hjemmel i den internasjonale standarden ISO 31000 (Direktoratet for forvaltning og IKT, u.d.).

9.2.1 Risikoidentifisering

Risikoidentifisering er det første steget i vurdering av risiko. Oppgaven til dette steget er å lage en omfattende liste over potensielle hendelser som kan utløse en konsekvens som ikke er ønskelig. I dette steget skal risikoene kun identifiseres, årsaker og konsekvenser av risikoene gjøres i neste steg (Direktoratet for forvaltning og IKT, u.d.).

9.2.2 Risikoanalyse

Det andre steget innen risikovurdering er risikoanalyse. Dette steget handler om å skaffe seg en forståelse for risikoene. Formålet er å kunne fastslå konsekvensen samt sannsynligheten til risikoene som ble identifisert i første steg. Risikoanalysen skal inneholde en omfattende analyse av både årsakene og kildene til hendelsene, hvilke konsekvenser disse hendelsene har, og hva sannsynligheten for at disse konsekvensene inntreffer er. Hvor detaljert analysen skal gjøres vil avhenge av risikoen, hensikten med analysen og hvilken informasjon som er tilgjengelig (Direktoratet for forvaltning og IKT, u.d.).

9.2.3 Risikoevaluering

Det siste steget i prosessen er risikoevaluering. Hensikten med dette steget er å gi støtte til beslutninger som må tas når det kommer til hvilke risikoer som må håndteres, og hvilken prioritering risikoen bør gis. Her skal man sammenligne det risikonivået man fant ut av i risikoanalysen med kriterier som ble satt før vurderingen startet. Eksempel på et slikt kriterium kan for eksempel være at det ikke skal oppstå tap av liv, eller uønskede hendelser under operasjonen (Direktoratet for forvaltning og IKT, u.d.).

9.2.4 Risikovurdering Powerbarge

Nedenfor er det utført en risikovurdering av operasjoner knyttet til en powerbarge ved hjelp av en risikomatrix. Ved hjelp av kompetanse bedømmer man hva som kan forårsake risikoene, og hva konsekvensen kan bli. Deretter bedømmer man hvor farlig risikoen er, og kommer med tiltak for å redusere konsekvensen og sannsynligheten for at noe inntreffer.

Mulig uønsket hendelse	Mulig årsak	Konsekvens	S	K	R	Forslag til tiltak	S	K	R
Anker sliter seg og anlegg drifter i sjøen	- Dårlig vær - Korrosjon	- Kollisjon med andre fartøy -Grunnstøting -Skade på egen konstruksjon	3	3	9	- Benytte dimensjonert og egnet ankerutstyr - Regelmessig vedlikehold -Lanterner -AIS -Radarreflektor -Synlige farger på konstruksjon - Stand by fartøy	1	3	3
Hydrogen-eksplosjon	- Gasslekkasje - Antenneskilde	- Totalhavari av anlegg -Skade på omkringliggende enheter	1	4	4	- Vedlikehold - Brann skott -Isolering - Automatisk brannsløkkingssystem	1	2	2
Kollisjon med fiskerfartøy	-Fiskerfartøy fisker i nærheten av anlegg	- Totalhavari - Skade på anlegg -Skade på fiskerfartøy -Personskade eller død	4	4	16	- Opprette sikkerhetssone - Forsterking av anlegg	1	2	2
Kollisjon med kommersielle fartøy	- Dårlig merking - Trafikkert farvann	- Totalhavari - Skade på anlegg	4	4	16	-Lanterner -AIS -Radarreflektor	1	2	2

		-Skade på kommersielle fartøy - Personskade eller død				-Godt synlige farger på konstruksjon - Ikke oppankre i trafikkert farvann - Oppdatere lokale los forskrifter -Merking i kart/ECDIS -sikkerhetssone - Forsterking av anlegg			
Brudd av kabel mellom anlegg og land	- Andre fartøy som ankrer opp - Fiskefartøy som tråler	- Stopp i produksjon - Stopp i levering	3	4	12	-Merking av kabel i kart/ECDIS -Kabel gravd ned - Oppdatere lokale los forskrifter - Overvåking av lokal VTS - Forbudssone for fiske/ankring	1	4	4
Fallskade i sammenheng med ombordstigning	- Mangel av kompetanse - Dårlig fotfeste pga vann/is	-Personskade -Død	4	4	16	- Opplæring - Verneutstyr - God utforming av konstruksjon	2	2	4

10 Økonomiske utfordringer

En stor utfordring med bølgekraft ligger i det økonomiske. Selve produksjonen av bølgeenergi er lite kostbar, men tilrettelegging av infrastruktur, konstruksjon og vedlikehold kan føre til liten eller ingen profitt (Solheim, 2017).

10.1 Teoretisk inntjening og kostnad av anlegg

Havkraft AS har enda ikke konstruert ett fullskala bølgekraftanlegg eller montert bølgekonvertere på konstruksjoner annet enn prototyper. Dette gjør at alle beregninger er teoretiske og avvik vil forekomme. En teoretisk beregning vil allikevel gi en indikasjon på de totale inntektene (Solheim, 2017).

10.1.1 Inntjening ved Powerbarge og Powerpier

En teoretisk beregning utført av Marintek Sintef viser potensiell inntjening ved Lutelandet, Sogn og Fjordane av én powerbarge og én powerpier. Med markedsverdi på «pumpa» menes inntekt man vil ha dersom man sto for distribuering og salg av hydrogenet selv. Med markedsverdi til distributør menes inntekten man har dersom man selger hydrogenet til en distributør. Markedsverdien på salg av strøm baserer seg på gjennomsnittlig strømpris for Norge i første kvartal 2017 (Statistisk Sentralbyrå, 2017).

Powerpier

- $43 \text{ kW/m} \cdot 100 \text{ m} \cdot 0,29(\text{virkningsgrad}) \cdot 8760 \text{ timer i året} = 11 \text{ GWh (10,923,720 kWh)}$
- Dette tilsvarer 220,000kg hydrogen (50 kWh per 1 kg hydrogen)
- Markedsverdi hydrogen på «pumpa»: $220,000 \text{ kg} \cdot 90 \text{ kr} = \underline{19,8 \text{ MNOK per år}}$
- Markedsverdi hydrogen til distributør: $220,000 \text{ kg} \cdot 25 \text{ kr} = \underline{5,5 \text{ MNOK per år}}$
- Markedsverdi salg av strøm $10,923,720 \text{ kWh} \cdot 0,343 \text{ kr/kWh} = \underline{3,7 \text{ MNOK per år}}$

Powerbarge

- $43 \text{ kW/m} \cdot 15 \text{ m} \cdot 0,29(\text{virkningsgrad}) \cdot 8760 \text{ timer i året} = 1,6 \text{ GWh (1,638,558 kWh)}$
- Tilsvarer 32,000kg hydrogen (50 kWh per 1 kg hydrogen)
- Markedsverdi hydrogen på «pumpa»: $32,000 \text{ kg} \cdot 90 \text{ kr} = \underline{2,9 \text{ MNOK per år}}$
- Markedsverdi hydrogen til distributør: $32,000 \text{ kg} \cdot 25 \text{ kr} = \underline{0,8 \text{ MNOK per år}}$
- Markedsverdi salg av strøm $1,638,558 \text{ kWh} \cdot 0,343 \text{ kr/kWh} = \underline{0,6 \text{ MNOK per år}}$

Beregningene baserer seg på teoretisk inntekt ved hydrogenproduksjon og salg av strøm til strømleverandør. Resultatet viser at det er høyere profitt fra en powerpier enn én powerbarge. Powerbarger vil normalt plasseres i parker med opptil 100 enheter og den teoretiske inntekten må multipliseres med antall enheter. I beregningen blir det bevist at en tjener betraktelig mindre ved salg av strøm enn hydrogen i Norge (Solheim, 2017).

10.1.2 Inntjening ved flotell

Ved Bunker Oil Ålesund var prisen 3658 kr per kubikk diesel dersom man hentet dieselen selv på anlegget (per 07.04.17). I de videre beregningen er denne prisen brukt som utgangspunkt (Ålesund, 2017).

Som utgangspunkt beregner vi at et flotell forbruker 15 kubikk med diesel i døgnet.

- $15 \text{ kubikk} * 3658 \text{ kr} * 365 \text{ dager} = 20\,027\,550 \text{ kroner i året}$

Som beregnet ovenfor forbruker et flotell over 20 millioner norske kroner i året på diesel. H-WEC kan bidra til å erstatte deler av dette forbruket, og vi beregner at bølgekonverterere klarer å erstatte 3,5 kubikk diesel i døgnet (Solheim, 2017).

- $3,5 \text{ kubikk} * 3658 \text{ kr} * 365 = 4\,673\,095 \text{ kroner i året}$

I løpet av et år tilsvarer dette litt i overkant av 4,6 millioner norske kroner. Dette er en betydelig sum noe som gjør at konverteren vil dekke oppstartskostnadene i løpet av få år.

10.1.3 Kostnad av anlegg

Kostnader knyttet til bølgekraft kan deles inn i fire kategorier: produksjon, installering, vedlikehold, og oppkobling til strømmettet. Disse kategoriene varierer mye ut ifra hvor i verden man planlegger å legge anleggene. Det er eksempelvis dyrere å utføre installering, vedlikehold og oppkobling på anlegg som skal plasseres offshore enn anlegg som plasseres langs kysten. Dette på grunn av at anleggene som er nært kysten er lettere tilgjengelig, mindre kabel som skal vedlikeholdes, og krever mindre kabellegging (Thomas, 2012).

Utfordringene nevnt ovenfor gjør det vanskelig å estimere en total kostnad for vært enkelt anlegg, men Havkraft AS opererer med 10 millioner norske kroner for hver MW installert for en powerbarge og en powerpier, mens en konverter på et flotell er beregnet å koste 5-7 millioner norske kroner per MW. Skal man eksempelvis ha en powerpier med en effekt på 6 MW vil dette koste 60 MNOK (Solheim, 2017).

10.2 Vedlikehold

Mengden av vedlikehold som trengs vil variere ut ifra hvilket produkt kunden ønsker seg. Om kunden vil ha en park med powerbarger krever dette mer vedlikehold enn et flotell. Mengden vedlikehold vil selvfølgelig ha innvirkning på kostnadene. Det er sannsynlig at en powerpier vil bli bygd i betong, og betong er så å si vedlikeholdsfritt. Det som blir av kostnader da er vedlikehold av selve konverteren.

Selv om vedlikehold er en utgift er det helt nødvendig at det utføres for å sikre produksjonen, og forhindre uønskede hendelser som kan skape store unødvendige kostnader. Mangelfullt vedlikehold kan skape store unødvendige kostnader, og disse kostnadene kan bestå av alt fra en ødelagt turbin til totalhavari av anlegget.

10.3 Økonomisk fleksibilitet

H-WEC er som tidligere nevnt en fleksibel konverter som enten kan produsere strøm til et strømmnett, erstatte drivstoff eller produsere hydrogen. Den høye fleksibiliteten gir også økonomisk fleksibilitet. Om prisen på strøm i et område er for lav til å oppnå økonomisk gevinst kan konverteren i stedet produsere og levere hydrogen. Norge er et eksempel på et land som har relativt lav strømpris, ifølge SSB 34,3 ører per kW/h, og det vil i slike land være mer nyttig å levere hydrogen enn strøm (Statistisk Sentralbyrå, 2017). I land der strømprisen er høy vil det være økonomisk å levere strøm til strømmettet. Geir Arne Solheim trekker India og Bangladesh frem som eksempler der det er lite tilgang på strøm og generelt høy strømpris (Solheim, 2017).

10.4 Utstyr

Om Havkraft AS skal bygge store parker med bølgekraftverk er det mye som må på plass før det kan bli en realitet. Kraftverkene skal konstrueres, og det kan også være nødvendig med ekstra utstyr som gjør det mulig å sikre driften. Eksempler på ektrautstyr kan være lanterner, RACON, AIS.

Dette utstyret er dynamisk fordi det enda ikke er fastsatt standard. Etter hvert som regelverket for offshore bølgekraft utvikler seg kan det komme krav til nytt utstyr som ikke eksisterer i dag. Det kan for eksempel bli krav om automatisk utløsning av drivanker dersom oppankringen til en powerbarge sliter seg.

10.5 Effektivisering av produksjon

Bølgekraft er fremdeles i en startfase, og nye produkter er kostbare å produsere. Når markedet vokser vil produksjonen øke i takt med etterspørselen. Med økt produksjon vil kostnadene per enhet reduseres som følge av ny og bedre kompetanse. Det vil bli produsert standard støpeformer og spesiallaget verktøy for å effektivisere produksjonen. Eksempelvis hadde Havkraft AS problemer med å ferdigstille prototypen da det oppstod uforutsette problemer. En masseproduksjon av Havkrafts H-WEC modul vil redusere enhetsprisen til det minimale (Solheim, 2017).

Etter hvert som teknologien utvikler seg vil man i tillegg til å senke produksjonskostnadene, klare å effektivisere konverteren. For øyeblikket har konverteren en teoretisk utvinningsgrad på 29%, og denne ville kunne øke etter hvert som det forskes mer på dette feltet (Thomas, 2012; Solheim, 2017).

11 Geografiske begrensninger

Havet er et svært utfordrende sted å prøve å høste energi, ikke bare på grunn av saltvannet, straffende vær og enorme svell. Havet blåser ikke som vinden eller stråler som solen, det ugjestmilde miljøet setter begrensninger for hvordan kraftverkene skal konstrueres. I tillegg vil trafikk, dyreliv og estetikk utgjøre en viktig rolle for hvor anleggene kan plasseres.

11.1 Vær og vind

Skal man utvinne energi fra noe så mektig som havet må man konstruere noe som takler havets krefter. Det er nettopp de største bølgene som har potensielt størst energi, og det vil være lite effektivt å uthente energi fra de laveste bølgene.

Bølgekraftverkene må være robuste for å tåle de kraftige påkjenningene vær, vind og sjø har på konstruksjonen, men bør allikevel holdes vekk fra de mest værharde havområdene. Noen konstruksjoner er konstruert på den måten at de sliter seg dersom påkjenningen blir for stor, dette for å unngå skade på selve konstruksjonen. Et kraftverk som sliter seg kan være ekstremt farlig for navigasjonssikkerheten og for andre fartøyer i området.

En får nødvendigvis heller ikke utvunnet mest energi fra de mest energirike bølgene.

Begrensningen ligger ofte i turbinen. Ekstreme bølger vil utløse bremsene på turbinen slik at det ikke oppstår overskudd av energi. Geir Arne Solheim fra Havkraft forteller at deres prototype har ligget ved Stadt i 4500 timer uten problemer. Han forteller også at de kun henter energi fra de 6 øverste meterne og at de ikke vil utfordre skjebnen ved å produsere energi den ene dagen i årene det er 20 meter høye bølger (Solheim, 2017).

11.2 Estetikk

En annen fornybar ressurs som har høstet en del kritikk er vindmøllene. Noe av kritikken går på at vindmøllene er til fare for fuglearter, og at det lager en del støy. Mens andre mener at vindmøllene rett og slett ødelegger utsikten (Hågvar, 2016). Mye av kritikken som er rettet mot vindkraft kan også overføres til bølgekraft. Norge kan sies å være et vakkert land, der blant annet de vestnorske fjordene er oppført på UNESCOs verdensarvliste (UNESCO, u.d.). I følge Geir Arne Solheim fra Havkraft kan dette bety liten drivkraft for å ha bølgekraftverk langs den norske kyst. Dette problemet er derimot ikke like stort i en rekke andre land. Geir Arne Solheim trekker India frem som et eksempel og da spesielt Bengalbukta. Folk i utviklingsland ser ut til å velge energi fremfor utsikt, og skal en legge produksjonen kystnært er det i disse områdene markedet vil være størst. En kan også tenke

seg å legge produksjonen et stykke fra kysten, et bølgekraftverk vil ikke være like fremtredende som et vindkraftverk og et par nautiske mil fra kysten vil ikke være til hinder for utsikten. Det er også slik at en må forvente seg en del støy fra kraftverkets turbiner. I følge Geir Arne Solheim fra Havkraft vil dette være et lite problem da støy fra hav, vind og omgivelsene vil være høyere enn støyen generert av kraftverket (Solheim, 2017).

11.3 Økonomi

Hvis en ser for seg å levere energien direkte på kraftnettet må dette skje via strømkabler fra enheten og inn til land. Dette kan bli meget kostbart dersom enheten er forankret langt i fra kysten. Prisen for å legge kabel langs havbunnen stiger med økende dybde, distanse til land og bunntopografiens beskaffenhet. Geir Arne Solheim forklarer at det er ønskelig å forankre enheten på et relativt grunt havområde, det er her bølgene er mest konsentrerte. Det er også ønskelig med en flat bunntopografi for å senke kostnadene ved å legge kabel inn til land. Dette kun dersom en ønsker å levere strømmen rett til land via kabling. Han trekker frem at det er andre måter å konservere energien på. Energien kan blant annet bli lagret på batterier, det kan brukes til produksjon av hydrogen eller den kan brukes til å drive skipet direkte ved å erstatte deler av diesel forbruket med bølgeenergi. I så fall vil ikke kraftverket være avhengig av å være plassert kystnært. Det finnes også en del typer bølgekraftverk som er montert på land og som stikker ut i sjøen. Disse kraftverkene trenger åpenbart ikke kabling langs havbunnen, men må på sin side være montert mot et åpent havområde der bølgene kan få tid til å vokse og må selvfølgelig ikke være til sjenanse for nært beboende. Powerpier er et eksempel på et slikt anlegg (Solheim, 2017).

11.4 Trafikk

Bølgekraftverket kan åpenbart ikke være til hinder for trafikk i området. Dette gjelder både for generell trafikk og for fiskeri. Kraftverket bør derfor ikke settes ut i trange leder, i TSSer, i områder med kjent trafikk eller på kjente fiskefelt. Som nevnt i kapitlet om risiko er det viktig at enheten er tilstrekkelig merket slik at den er synlig for forbipasserende fartøyer.

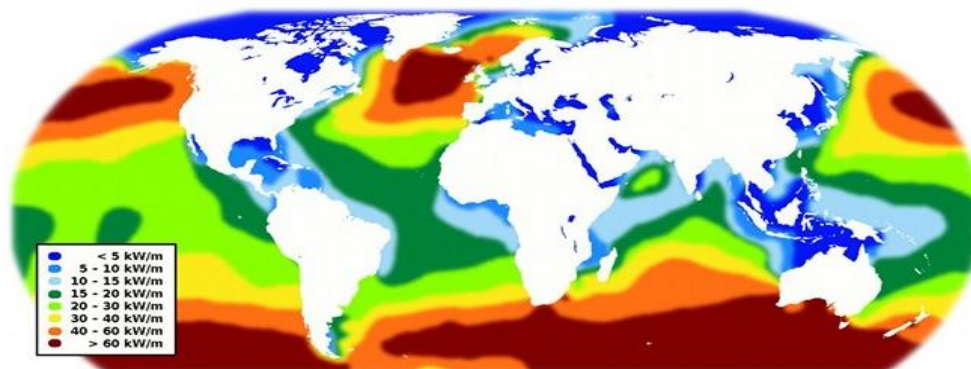
11.5 Dyreliv

I følge Geir Arne Solheim fra Havkraft har ikke prototypen fra Havkraft vært til sjenanse for fiske og dyrelivet. Tvert imot mener han at fisken er svært interessert i ankerkjettingen. Om bølgekraft får noen negative ringvirkninger på livet i havet er enda usikkert. Utviklingen må derfor holdes under nøye oppsyn.

Mulige ringvirkninger som følge av bølgekraft kan være endret bevegelsesmønster av fisk og marint liv. Det finnes også en mulighet for at fisk kan ta direkte skade av enkelte typer kraftverk, spesielt vil dette gjelde tidevannskraft da blant annet fisk kan komme til skade i turbinen. Bølgekraft i grunne områder kan føre til endret strømningsmønster av sand og sedimenter, det er usikkert hva denne endringen vil føre til. En tilstrømming av fisk kan føre til en opphopning av fiskefartøyer i området rundt et eventuelt kraftverk, og dette kan igjen føre til fare for trygg navigasjon (Solheim, 2017).

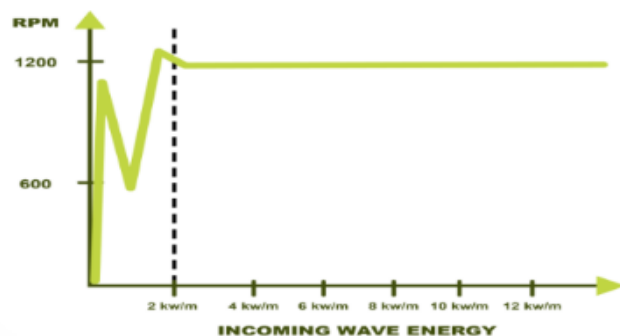
11.6 Havkraft AS

Havkraft AS sier at de ønsker å satse på bølgekraft i India, Bangladesh og Myanmar. Her bor det om lag 1,5 milliarder mennesker og mange av dem er uten strøm. I området er det generelt lite vind og ikke nok til å drive vindmøller. Der vi i Norge har overskudd av strøm, har vi i disse landene underskudd (Solheim, 2017). Som vi ser ut i fra figur 22 har havområdene rundt disse landene en potensiell effekt på 5-15 kW per meter bølgefront. Dette kan virke lite i forhold til hva vi ser i andre områder.



Figur 22: Viser potensiell effekt per meter bølgefront (Kilde: theswitchreport.com)

Havkraft sin prototype hadde på sin side ingen problemer med å jobbe rundt disse størrelsene. Som vi ser på figur 23 jobbet turbinen med tilnærmet like stort omdreiningstall for 2 kW/m som for 12 kW/m. At prototypen både fungerer ved Stadt så vell som ved roligere havområder gjør den til et veldig allsidig anlegg. De geografiske begrensningene kan regnes for å være minimale i forhold til de økonomiske begrensningene (Solheim, 2017).



Figur 23: Viser en forenklet kurve av målt turbinhastighet som funksjon av innkommende bølgeenergi (Kilde PP presentasjon Havkraft)

12 Bølgekraft i fremtiden

Det har i årene etter den andre industrielle revolusjon i 1880 blitt observert en gradvis økning av gjennomsnittstemperaturen i jordens klimasystem. Etter å ha evaluert de negative effektene knyttet til den globale oppvarmingen har man i mange land økt fokuset på fornybar energi. I Norge ønsker man blant annet å kutte utslippet av klimagasser med 40% innen 2030. For å oppnå dette må en bytte store deler av den primære energikilden som i dag er fra fossile brensler med energi fra fornybare energikilder. Denne overgangsperioden har i dagligtalen fått tilnavnet «det grønne skiftet».

En relativt ny energikilde som har vært gjenstand for oppmerksomhet er bølgekraften. Professor Johannes Falnes nevner i et foredrag at det er velkjent at ny teknologi møter psykologiske barrierer og institusjonelle motbakker (Falnes, 1996). Bølgekraft har i dag gått forbi de barrierene Falnes sikter til i sitt foredrag fra 1996, og det er stadig flere land som anerkjenner bølgekraftens potensiale og som ønsker å utbygge bølgekraft.

Det største problemet med bølgekraft er at ingen har funnet den mest hensiktsmessige måten å konvertere den enorme energimengden lagret til bølger til anvendelig elektrisk energi. I motsetning til Vindkraftindustrien som er enige om utformingen av vindmøller og solkraftindustrien som er enige om hvordan et solpanel skal se ut. Dette er ikke overraskende når en vurderer bransjens alder. De fleste bølgebedrifter er mindre enn 10 år gamle, mens vind og solkraft har vært i moderne utvikling i mange tiår. På konferanser verden over står gründere frem og forklarer hvordan deres enheter vil produsere mest energi, til lavest pris og med høyest pålitelighet. Dersom bølgekraften følger vind og solkraftens fotspor vil de fleste av disse oppfinnelsene bli historiske antikviteter, mens noen få vil bli store (Ferris, 2012). Geir Arne Solheim fra havkraft forteller at det største målet vil være å få klarhet i hvordan et bølgekraftverk skal utformes og at et en stor seier for Havkraft AS ville vært at fasiten ligner deres eget produkt H-WEC. Til den tid hvor en har funnet en fasit kommer utviklingen til å gå langsomt (Solheim, 2017). «Ocean Energy Europe» estimerer at 10% av EUs energibehov vil være dekket av havkraft innen 2050, og at 70 MW bølgekraft kan være installert innen 2020 (Ocean Energy Forum, 2016). Hva slags systemer vi kommer til å se i fremtiden vil bare være spekulasjoner men bølgekraften har potensiale til å blant annet erstatte et skips hovedmaskineri og levere energi til utviklingsland.

13 Drøftelse

13.1 Bølgekraft i dag

Teknologien i dag baserer seg alle på de samme fire hovedprinsippene, mens utformingen av enhetene kan variere fra produsent til produsent. I dag finnes det over 1000 patenter på bølgekraftverk. Dette er en indikasjon på at dagens teknologi ikke er tilfredsstillende; man har enda ikke funnet en løsning på hvordan en kan utnytte den mekaniske energien i bølger på den mest hensiktsmessige måten. På en annen side er det mulig at den endelige løsningen ikke trenger å være én bestemt utforming eller basere seg på ett bestemt prinsipp. Den endelige løsningen kan være flere løsninger, der det geografiske området og kundens behov legger grunnlag for hvilken type utforming, utrustning og bruksområde kraftverket skal være tilpasset. På bakgrunn av dette er det vanskelig å bedømme nøyaktig hvilket av hovedprinsippene som er det best tilpasningsdyktige eller kommer til å bli standarden i fremtiden.

Når det gjelder oppankringsmetode er også dette regulert av det geografiske området, samt størrelsen på konstruksjonen. Havkraft AS benytter seg av et SPM system som lar konstruksjonen rotere fritt rundt forankringspunktet. CALM systemet er i teoretisk sett den sikreste SPM metoden. Det fungerer på dype farvann så vel som på grunne og har spesielt god holdekraft. På en annen side er dette systemet komplisert, det krever mye vedlikehold og er en relativt dyr løsning. En rimeligere løsning kan være SALM eller SAL systemet. Disse systemene er av enkel oppbygning og de krever lite vedlikehold. Disse systemene fungerer derimot ikke på store dyp. Skal en plassere kraftverket langt til havs må en derfor regne med å benytte seg av et CALM system.

En annen viktig faktor som har innvirkning på kraftverket er valg av materiale. Ideelt sett er kompositt det ønskelige materialet. Det er ekstremt sterk i forhold til egenvekt som gjør det godt egnet til å takle påkjenningene fra sjø og vind. Dessuten er materialet nærmest vedlikeholdsfritt og vil derfor være billig i drift. Komposittmateriale er allikevel et dyrt materiale sammenlignet med stål. Stål er et sterkt materiale som er mye brukt og lett tilgjengelig. Gjenbruk av gamle stålkonstruksjoner kan i innledningsfasen være en økonomisk løsning. Selv om stål er et billig materiale kan det påløpe vedlikeholdskostnader. En løsning kan være å la anlegget få kjøre til det er utslitt, en slik løsning trenger ikke å være den mest økonomiske og periodisk vedlikehold bør vurderes. Andre faktorer som er med på å øke vedlikeholdskostnadene er antall bevegelige deler i kontakt med saltvann. Prinsippene uten slike deler har derfor en teoretisk fordel når det gjelder vedlikeholdskostnader.

13.2 Geografiske begrensninger

Basert på de faktisk forhold må bølgekraft ansees for å ha liten geografisk begrensning. Dette gjelder kun dersom kraftverkene er dimensjonert for å tåle påkjenningene fra vær og vind i det geografiske området de opererer i. Noen begrensninger knyttet til trafikk må en regne med, men havet huser et enormt areal og problemet kan løses ved å legge utvinningen vekk fra de mest trafikkerte områdene. Bølgekraftens påvirkning av marint liv er fortsatt ukjent, utviklingen må derfor holdes under nøye observasjon, konsekvensene av et anlegg kan være positive så vel som negative. De største utfordringen med bølgekraft forblir ved det økonomiske.

13.3 Økonomi

Bølgekraftens historie er relativt kort i forhold til andre typer kraftverk. På bakgrunn av dette er det rimelig å si at bølgekraften er i en utviklingsfase. Selv om bølgekraft er en ny teknologi har den allerede blitt anerkjent som en reell energikilde, og har blitt inkludert i EU-kommisjonens forskning og utviklingsprogram på fornybare energikilder. Allikevel møter teknologien en rekke økonomiske utfordringer som må løses slik at systemene også kan bli attraktive for private aktører og investorer.

Det er for det første kostbart å tilrettelegge for bølgekraftanlegg langt til havs da det ikke finnes noen eksisterende infrastruktur. Dette er ikke bare en økonomisk men også en geografisk begrensning da befolkningen i enkelte land kan hevde at anleggende sjenerer utsikten og derfor må oppankres utenfor synsrekkevidde. I Norge er sannsynligheten høy for at store bølgekraftparker må oppankres et stykke fra kysten, og med økende dybde må en regne med kostbare forankringssystem. Variasjon i bunnforhold og bunntopografi kan også føre til at prisen for tilrettelegging av infrastruktur øker. På en annen side vil prisen per enhet minke betraktelig i takt med bølgekraftparkens størrelse, og dersom en installerer rikelig med enheter i vært geografisk område vil prisen for tilrettelegging reduseres til en brøkdel. Andre utgifter i forbindelse med bølgekraftverk er utgifter for nødvendig utstyr som lanterner og AIS men disse utgiftene kan ansees for å være neglisjerbare. I Norge får vi rikelig tilføring av energi via vannkraft og strømprisen er generelt lav sammenlignet med andre land. Det kan derfor med dagens teknologi være uaktuelt å levere energien rett inn på Norges strømmnett. Det er viktig at bølgekraftverket har mulighet for å utnytte energien på flere forskjellige måter og dermed bli en attraktiv løsning for de private aktørene. H-WEC modulen til Havkraft AS kan blant annet erstatte deler av dieselforbruket til flytende konstruksjoner med bærekraftig bølgeenergi, som i lengden vil føre til økonomisk gevinst

for alle involverte parter. H-WEC er en fleksibel konverter som fungerer godt ved lave bølgehøyder så vel som ved de mest energirike. Denne egenskapen gjør at H-WEC modulen kan produsere energi i områder med lav bølgehøyde og ellers liten tilgang til energi. I tillegg til å produsere strøm kan også konverteren bidra til produksjon av hydrogen. Disse egenskapene fører til et utvidet markedet og konverteren vil på den måten være konkurransedyktig.

14 Konklusjon

På bakgrunn av den sterkt voksende befolkningsmengden, det stadig voksende energibehovet, den store forurensningsproblematikken samt den begrensede forekomsten av dagens primære energikilder er den fornybare energiressursen bølgekraft en nødvendighet for å sikre menneskehetens fremtid.

Bølgekraftverkene som eksisterer i dag klarer ikke å utnytte det store energipotensialet som finnes i bølger, og de fleste kraftverk er ikke økonomisk bærekraftige. For å oppnå målet om at 10% av Europas energibehov skal være dekket av havkraft innen 2050 er man avhengig av økonomisk støtte fra statlige organer. En slik støtteordning eksisterer allerede, men det statlige bidraget bør økes betraktelig for å sikre en hurtigere utvikling. Med god finansiell støtte kan bølgekraften bli en reel konkurrent til de ikkefornybare energikildene.

Konverteren til Havkraft AS er med dagens teknologi ikke tilstrekkelig utviklet til å levere energi rett på strømmettet til Norge på en hensiktsmessig og lønnsom måte, og den kan heller ikke erstatte fossilt brensel. H-WEC modulen er med dagens teknologi allikevel i stand til å kutte dieselforbruket til flytende installasjoner, og på grunn av sin utforming kan den utvinne energi fra områder der det ellers er mangel på andre energikilder. Med videre utvikling har Havkraft AS sitt produkt potensiale til å skape nye arbeidsplasser og økonomisk vekst i utviklingsland med begrenset energikilder.

15 Referanser

Almar-Næss, A., 2009. *www.snl.no*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/korrosjon>

[Funnet 24 04 2017].

Alternative Energy Sources, u.d. *www.alternativeenergysourcesinfo.com*. [Internett]

Available at: <http://www.alternativeenergysourcesinfo.com/history-of-wave-energy.html>

[Funnet 05 06 2017].

Anon., 2005. *www.folk.ntnu.no*. [Internett]

Available at: <http://folk.ntnu.no/falnes/teach/TEP4175bylgje/waveenergy2005-02www.pdf>

[Funnet 28 04 2017].

Application, U. S. P., 2015. *www.freepatentsonline.com*. [Internett]

Available at: <http://www.freepatentsonline.com/20150219066.pdf>

[Funnet 28 02 2017].

Aristotle, 384-322 BC. *Nicomachean Ethics*. I: *Nicomachean Ethics*. s.l.:s.n.

Aven, T., 2016. *Store norske leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/risiko>

[Funnet 29 Mars 2017].

Benbouzid, H.-T. & Benbouzid, M., 2015. <http://hal.univ-brest.fr>. [Internett]

Available at: <http://hal.univ-brest.fr/hal-01120777/document>

[Funnet 03 06 2017].

Berge, J., 2015. *Mekanikk og Fasthetslære*. Ålesund: NTNU Ålesund.

Beyond Petroleum, 2016. *www.bp.com*. [Internett]

Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

[Funnet 05 06 2017].

Blålid, N., 2017. *Intervju med daglig leder Måløy Verft* [Intervju] (25 04 2017).

Budal, K. & Falnes, J., 2003. *www.folk.ntnu*. [Internett]

Available at: <http://folk.ntnu.no/falnes/historikk/85hist03fargebyte.htm>

[Funnet 03 06 2017].

Climatesolver, u.d. *www.climatesolver.org*. [Internett]

Available at: <http://www.climatesolver.org/innovations/supplying-energy/wave-buoy-ocean-power>

[Funnet 25 05 2017].

- Deepwater, u.d. <https://stoprust.com>. [Internett]
Available at: <https://stoprust.com/products-and-services/flexiclean/>
[Funnet 27 04 2017].
- Direktoratet for forvaltning og IKT, u.d. *Internkontroll - informasjonssikkerhet*. [Internett]
Available at: <http://internkontroll.infosikkerhet.difi.no/risikostyring/risikovurdering>
[Funnet 1 April 2017].
- Falcao, A. F. d. O., 2009. *www.scribd.com*. [Internett]
Available at: <https://www.scribd.com/document/342929791/Wave-energy-utilization-A-review-of-the-technologies-pdf>
[Funnet 03 06 2017].
- Fallet, T., 2009. *www.snl.no*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/offeranode>
[Funnet 27 04 2017].
- Falnes, J., 1996. *www.folk.ntnu.no*. [Internett]
Available at: http://folk.ntnu.no/falnes/web_arkiv/InstFysikk/tjoeme96.pdf
[Funnet 03 06 2017].
- Fartøyvernssentrene Fellesråd, 2010. *www.nnfa.no/www.delebanken.no*. [Internett]
Available at: <http://www.delebanken.no/ffr/info-overflatebehandling-staalskipsskrog.pdf>
[Funnet 26 04 2017].
- Ferris, D., 2012. <https://www.forbes.com/sites/davidferris/2012/09/27/no-one-agrees-what-a-wave-energy-harvester-looks-like/#7ac3d9384c44>. [Internett]
Available at: <https://www.forbes.com/sites/davidferris/2012/09/27/no-one-agrees-what-a-wave-energy-harvester-looks-like/#7ac3d9384c44>
[Funnet 23 April 2017].
- Ferris, D., 2012. <https://www.forbes.com/sites/davidferris/2012/09/27/no-one-agrees-what-a-wave-energy-harvester-looks-like/#7ac3d9384c44>. [Internett]
Available at: <https://www.forbes.com/sites/davidferris/2012/09/27/no-one-agrees-what-a-wave-energy-harvester-looks-like/#7ac3d9384c44>
[Funnet 24 April 2017].
- Fornybar.no, u.d. *www.fornybar.no*. [Internett]
Available at: <http://www.fornybar.no/prosjekteksampler/energi-fra-havet/europas-forste-kommersielle-bolgekraftverk>
[Funnet 28 02 2017].

- Fornybar, 2016. *www.fornybar.no*. [Internett]
Available at: <http://www.fornybar.no/nye-teknologier/bolgekraft>
[Funnet 05 06 2017].
- Freikolben, u.d. *http://freikolben.ch/en.shtml*. [Internett]
Available at: <http://www.freikolben.ch/en/linear-alternator.shtml>
[Funnet 27 02 2017].
- Füting, P. D. M., 2012. *www.fraunhofer.de*. [Internett]
Available at: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/december/keeping-ship-hulls-free-of-marine-organisms.html>
[Funnet 26 04 2017].
- German, S., u.d. *https://nb.khanacademy.org*. [Internett]
Available at: <https://nb.khanacademy.org/humanities/ap-art-history/global-prehistory-ap/paleolithic-mesolithic-neolithic/a/the-neolithic-revolution>
[Funnet 28 April 2017].
- Gloppen, Ø., Gjertsen, K. Ø. & Haugan, R., 2009. *https://brage.bibsys.no*. [Internett]
Available at:
<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/151787/Fjerning%20av%20marin%20begroing%20-%20Gloppen,%20Gjertsen,%20Haugan.pdf?sequence=1>
[Funnet 27 04 2017].
- Hals, J. & Lundby, L., 2011. *www.ntnu.no*. [Internett]
Available at: <http://www.ntnu.no/documents/14574940/269dcca5-72d3-4a51-bd0c-2046f7192d44>
[Funnet 07 03 2017].
- Harper, D., 2007. *http://www.etymonline.com/*. [Internett]
Available at: <http://www.etymonline.com/index.php?term=energy>
[Funnet 1 Mai 2017].
- Havkraft, u.d. *www.havkraft.no*. [Internett]
Available at: <http://www.havkraft.no/#havkraft>
[Funnet 03 06 2017].
- Helgesen, V., 2016. *www.regjeringen.no*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/et-tidsskille-i-norsk-klimapolitikk/id2508092/>
[Funnet 23 04 2017].

- Henriques, J. C., 2016. *www.researchgate.net*. [Internett]
Available at: https://www.researchgate.net/figure/306313216_fig1_Fig-1-a-Yoshio-Masuda%27s-navigation-buoy-based-on-the-OWC-principle-b-Detail-of-the
[Funnet 26 04 2017].
- Hofstad, K., 2016. *https://snl.no*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/energiressurs>
[Funnet 9 mai 2017].
- Holmberg, P., Andersson, M., Bolund, B. & Strandanger, K., 2011. *www.elforsk.se*. [Internett]
Available at:
http://www.elforsk.se/Global/EI%20och%20varme/V%C3%A5gkraft/11_02_rapport_scren.pdf
[Funnet 29 05 2017].
- Hågvar, S., 2016. <http://www.aftenposten.no/meninger/debatt/Atte-argumenter-mot-naturodeleggende-vindkraft--Sigmund-Hagvar-56376b.html>. [Internett]
Available at: <http://www.aftenposten.no/meninger/debatt/Atte-argumenter-mot-naturodeleggende-vindkraft--Sigmund-Hagvar-56376b.html>
[Funnet 24 April 2017].
- International Energy Agency, u.d. *www.iea.org*. [Internett]
Available at: <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/ocean/>
[Funnet 27 05 2017].
- International Energy Agency, u.d. *www.iea.org*. [Internett]
Available at: <https://www.iea.org/>
[Funnet 05 06 2017].
- Johannes Falnes, N., 2005. *www.folk.ntnu.no*. [Internett]
Available at: <http://folk.ntnu.no/falnes/teach/TEP4175bylgje/waveenergy2005-02www.pdf>
[Funnet 06 03 2017].
- Kantharia, R., 2016. *www.marineinsight.com*. [Internett]
Available at: <http://www.marineinsight.com/offshore/how-single-point-mooring-spm-offshore-operation-works/>
[Funnet 24 03 2017].
- Kartverket, 2008. *www.kartverket.no*. [Internett]
Available at: <http://www.kartverket.no/dnl/den-norske-los-4.pdf>
[Funnet 03 06 2017].

- Kjerstad, N., 2010. Elektroniske og akustiske navigasjonsinstrument. I: L. Postmyr, red. *Elektroniske og akustiske navigasjonsinstrument*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag, pp. 2-137.
- Kjerstad, N., 2010. Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer. I: L. Postmyr, red. *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer*. Trondheim: 4. , pp. 2-147.
- Kjerstad, N., 2010. Fremføring av skip med navigasjonskontroll. I: L. Postmyr, red. *Fremføring av skip med navigasjonskontroll*. Ålesund: Tapir Akademisk Forlag, pp. 3-48 - 3-49.
- Kjerstad, N., 2010. Fremføring av skip med navigasjonskontroll. I: L. Postmyr, red. *Fremføring av skip med navigasjonskontroll*. Ålesund: Tapir Akademisk Forlag, pp. 1-70 - 1-83.
- Kjerstad, N., 2010. Fremføring av skip med navigasjonskontroll. I: L. Postmyr, red. *Fremføring av skip med navigasjonskontroll*. 2. red. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag, pp. 1-88.
- Kjerstad, N., 2013. *Fremføring av skip med navigasjonskontroll*. 3. red. Trondheim: Akademika Forlag.
- Kofoed, J. P., u.d. <http://www.danwec.com/dk>. [Internett]
Available at: http://www.danwec.com/dk/om_danwec/hvorfor_boelgeenergi-/hvorfor_boelgeenergi-.htm
[Funnet 31 mai 2017].
- Kraftskolen, 2011. www.kunnskapsfilm.no. [Internett]
Available at: <http://kunnskapsfilm.no/video/energibruk-for-og-na/>
[Funnet 25 03 2017].
- Meteorologisk Leksikon, 2010. <https://metlex.met.no/wiki/Hovedside>. [Internett]
Available at: https://metlex.met.no/wiki/Signifikant_b%C3%B8lgeh%C3%B8yde
[Funnet 21 02 2017].
- Nasjonal digital læringsarena, 2010. www.ndla.no. [Internett]
Available at: <http://ndla.no/nb/node/60015?fag=35>
[Funnet 25 04 2017].
- National Oilwell Varco, N/A. www.nov.com. [Internett]
Available at:
https://www.nov.com/Segments/Completion_and_Production_Solutions/Floating_Producti_on_Systems/APL_Mooring_and>Loading_Systems/Single_Anchor>Loading.aspx
[Funnet 01 04 2017].
- Naturvernforbundet, u.d. www.naturvernforbundet.no. [Internett]
Available at: <https://naturvernforbundet.no/klima/konsekvenser-av-global-oppvarming/fns->

[klimapanel-rapport-om-konsekvenser-article30930-974.html](https://www.tu.no/artikler/denne-gamle-fisketraleren-huser-et-bolgekraftverk/230090)

[Funnet 05 06 2017].

Nilsen, J., 2014. *www.tu.no*. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/denne-gamle-fisketraleren-huser-et-bolgekraftverk/230090>

[Funnet 07 03 2017].

Nilsen, J., 2016. *www.tu.no*. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/svensk-gjennombrudd-for-forste-gang-leveres-bolgekraft-til-stromnettet/276353>

[Funnet 27 02 2017].

Nilsen, J., 2016. *www.tu.no*. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/svensk-gjennombrudd-for-forste-gang-leveres-bolgekraft-til-stromnettet/276353>

[Funnet 21 03 2017].

NTNU, u.d. *http://folk.ntnu.no*. [Internett]

Available at: http://folk.ntnu.no/falnes/w_e/index.html

[Funnet 28 April 2017].

Ocean Energy Forum, 2016. *https://webgate.ec.europa.eu/*. [Internett]

Available at:

https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/OceanEnergyForum_Roadmap_Online_Version_08Nov2016.pdf

[Funnet 1 Mai 2017].

Olsen, K. M., 2014. *https://friskluft.ketilmo.no/*. [Internett]

Available at: <https://friskluft.ketilmo.no/bolgekraftverkene-i-oygarden/>

[Funnet 03 06 2017].

Paik, J. K. & Thayamballi, A. K., 2007.

http://dl.kashti.ir/ENBOOKS/Ship%20Shaped%20Offshore%20Installations%20Design%20%20Building%20and%20Operation%202007.pdf. [Internett]

Available at:

<http://dl.kashti.ir/ENBOOKS/Ship%20Shaped%20Offshore%20Installations%20Design%20%20Building%20and%20Operation%202007.pdf>

[Funnet 01 04 2017].

- Robertson, J. J. O. & E. F., u.d. <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk>. [Internett]
Available at: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Coriolis.html>
[Funnet 1 Mai 2017].
- SBM Offshore, 2012. <http://www.sbmoffshore.com/>. [Internett]
Available at: http://www.sbmoffshore.com/wp-content/uploads/2013/09/SBMO-CALM_Original_2048.pdf
[Funnet 28 03 2017].
- Scientific American, 2009. www.Scientificamerican.com. [Internett]
Available at: <https://www.scientificamerican.com/article/how-long-will-global-uranium-deposits-last/>
[Funnet 23 04 2017].
- Solheim, G. A., 2017. *Havkraft* [Intervju] (13 03 2017).
- Solheim, G. A., 2017. *Havkraft* [Intervju] (13 Mars 2017).
- Statistisk sentralbyrå, 2017. <http://www.ssb.no>. [Internett]
Available at: <http://www.ssb.no/303333/samlet-areal-arealfordelinger-og-kystlinjens-lengde-etter-fylke.2017-sa-19>
[Funnet 25 mai 2017].
- Statistisk Sentralbyrå, 2017. www.ssb.no. [Internett]
Available at: <https://www.ssb.no/elkraftpris/>
[Funnet 05 06 2017].
- Stenkjær, N., 2009. <http://www.folkecenter.dk>. [Internett]
Available at: http://www.folkecenter.dk/dk/dokumentation/energiens_historie/
[Funnet 28 April 2017].
- Store Norske Leksikon, 2016. <https://snl.no>. [Internett]
Available at: <https://snl.no/energiressurs>
[Funnet 31 mai 2017].
- Takao, M., 2012. www.researchgate.net. [Internett]
Available at: https://www.researchgate.net/figure/258386757_fig4_Outline-of-Wells-turbine
[Funnet 28 02 2017].
- The Earth Project, u.d. www.theearthproject.com. [Internett]
Available at: <http://theearthproject.com/wave-power/>
[Funnet 05 06 2017].

- The European Marine Energy Centre LTD, u.d. www.emec.org.uk. [Internett]
 Available at: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
 [Funnet 07 03 2016].
- The Guardian, u.d. <https://www.theguardian.com/>. [Internett]
 Available at: <https://www.theguardian.com/notesandqueries/query/0,-64028,00.html>
 [Funnet 23 April 2017].
- Thomas, W., 2012. *Economic Analysis of Wave Energy Extraction*. [Internett]
 Available at: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/thomas2/>
 [Funnet 26 April 2017].
- UNESCO, u.d. <http://whc.unesco.org/en/list/&order=country#alphaN>. [Internett]
 Available at: <http://whc.unesco.org/en/list/&order=country#alphaN>
 [Funnet 24 April 2017].
- UngEnergi, 2016. www.ungenergi.no. [Internett]
 Available at: <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>
 [Funnet 25 02 2017].
- Waveenergy, u.d. www.waveenergy.dk. [Internett]
 Available at: <https://testafwaveenergy.wordpress.com/bolgekraft/>
 [Funnet 27 02 2017].
- Wichers, D. I. J., 2013. *Guide to Single Point Moorings*. 1 red. Houston TX: WMooring.
 [Funnet 14 09 2015].
- Wind Turbines Wind Monitoring Equipment Advice And Installation, u.d.
www.windmeasurementinternational.com. [Internett]
 Available at: <http://www.windmeasurementinternational.com/wind-turbines/om-turbines.php>
 [Funnet 27 04 2017].
- Young, T., 1807. *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. I: *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. s.l.:s.n., p. 52.
- Ålesund, B. o., 2017. *Pris på diesel* [Intervju] (7 April 2017).

Referanse figurer

Figur 1: <http://folk.ntnu.no/falnes/teach/TEP4175bylgje/waveenergy2005-02www.pdf>

Figur 2: https://www.researchgate.net/figure/306313216_fig1_Fig-1-a-Yoshio-Masuda%27s-navigation-buoy-based-on-the-OWC-principle-b-Detail-of-the

Figur 3: http://folk.ntnu.no/falnes/w_e/index.html#HISTORIKK

Figur 4: <https://www.tu.no/artikler/svensk-gjennombrudd-for-forste-gang-leveres-bolgekraft-til-stromnettet/276353>

Figur 5: <http://www.fornybar.no/prosjekteksempler/energi-fra-havet/europas-forste-kommersielle-bolgekraftverk>

Figur 6: <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>

Figur 7: <http://www.fornybar.no/nye-teknologier/bolgekraft>

Figur 8:

http://www.elforsk.se/Global/EI%20och%20varme/V%C3%A5kraft/11_02_rapport_scren.pdf

Figur 9: <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/ocean/>

Figur 10: <http://www.freepatentsonline.com/20150219066.pdf>

Figur 11: https://www.researchgate.net/figure/258386757_fig4_Outline-of-Wells-turbine

Figur 12: Havkraft PP presentasjon

Figur 13: Havkraft PP presentasjon

Figur 14: <https://twitter.com/HAVKRAFT>

Figur 15: <http://www.fjordinvest.no/porteflje-/havkraft>

Figur 16: <http://epcmconsultants.co.za/spm-vs-cbm/>

Figur 17: <http://www.y-yokohama.com/global/product/mb/marine-hoses/standard-hose/#prettyPhoto>

Figur 18:

https://www.nov.com/Segments/Completion_and_Production_Solutions/Floating_Producti_on_Systems/APL_Mooring_and>Loading_Systems/Single_Anchor>Loading.aspx

Figur 19: (Kjerstad, 2010)

Figur 20: <http://sailingalmanac.com/Almanac/Navigation/racon.html>

Figur 21: <https://www.uninett.no/infosikkerhet/risiko-og-s%C3%A5rbarhetsvurderinger-ros>

Figur 22: <http://www.theswitchreport.com.au/tech/want-love-wave-power-really-stack/>

Figur 23: PP presentasjon Havkraft