



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Fornybare energikilder til oppdrettsanlegg



Bachelorprosjekt utført ved:

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, marin konstruksjonsteknikk

Av:	Ane Waage Haakull	<i>Kandidatnummer:</i>	28
	Jan Vidar Askeland	<i>Kandidatnummer:</i>	45
	Linn Therese Frugaard	<i>Kandidatnummer:</i>	22

Haugesund

Våren 2016

Bachelorprosjekt

Studenten(e)s navn: Ane Waage Haakull
Jan Vidar Askeland
Linn Therese Frugaard

Linje og studieretning: Maskin, marin konstruksjonsteknikk

Oppgavens tittel: Fornybare energikilder til oppdrettsanlegg

Oppgavetekst: I denne oppgaven skal det ses på muligheten for å nytte fornybare energikilder til å forsyne et oppdrettsanlegg med strøm. Anleggene skal ligge i en eksponert sone. Mulighetsstudiet skal inneholde en presentasjon av ulike kilder til fornybar energi. Det vil bli diskutert fordeler og ulemper ved disse. Til slutt blir det presentert forskjellige løsninger som kan være spennende og fremtidsrettet.

Endelig oppgave gitt: Onsdag 2. mars 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 4.mai 2016 kl. 12:00

Intern veileder: Eyvind Rossebø – HSH, tlf: 52 70 26 69
mob: 99226953

Ekstern veileder: Gunnar W. Birkeland – Uni Research Polytec,
Adresse ekstern veileder: Sørhauggata 128,
5527 Haugesund

Godkjent av:
Studieansvarlig:
Dato:

J. C. Lindaa
25/4 - 16

Forord

Denne rapporten er et avsluttende hovedprosjekt for ingeniørfaget Maskin, Marin konstruksjonsteknikk ved Høgskolen Stord/Haugesund. Rapporten er en del av det obligatoriske emnet ”ING 3039- Bacheloroppgave”. Gruppen har bestått av de 3 undertegnede.

Oppgaven er gitt av Uni Research Polytec. Deres ønske var at vi skulle se på muligheten til å forsyne ett oppdrettsanlegg, som ligger i en eksponert sone, med fornybare energikilder. Vi fant denne oppgaven veldig utfordrende og interessant.

Mye av arbeidet har gått ut på research av mulige løsninger, samt beregninger på muligheter for å hente ut energi fra vind og bølger.

Vi har i denne oppgaven fått nyttet fagene som Maskinkonstruksjon, Prosessteknikk, Fysikk, Kjemi, Materiallære samt fått masse ny erfaring og inspirasjon.

Gruppen vil gjerne rette en stor takk til:

Eyvind Rossebø	-	Intern veileder ved HSH
Gunnar W. Birkeland	-	Ekstern veileder hos Uni Research Polytec
Geir Magne Kutsen	-	Bremnes Seashore
Ronny Askeland	-	Steinsvik Maskin
Konstantinos Christakos	-	Metocean
Birgit Skjoldli Larsen	-	Weptos
Vermund Hjelland	-	Eidesvik Offshore
Yngve Askeland	-	Aqua Knowlege
Andres Lara	-	Aqua Group

Haugesund 4. mai 2016

Ane Waage Haakull

Jan Vidar Askeland

Linn Therese Frugaard



Sammendrag

I denne rapporten ble muligheten for å nytte fornybare energikilder til å forsyne et oppdrettsanlegg med energi undersøkt. Gruppen har i den sammenheng innhentet informasjon og gjort beregninger for hvor mye energi oppdrettsanlegget krever, og dermed hvor mye energi som må produseres. Det er foretatt litteraturstudie på tre ulike energikilder: vindkraft, bølgekraft og brenselceller. For de ulike konseptene har gruppen utført beregninger og behandlet datamateriale i EXCEL for å undersøke om det er mulig å dekke inn energibehovet. Det er også undersøkt hvordan den produserte energien kan lagres og forvaltes på en best mulig måte. Det er benyttet tegneprogrammet DRAW.IO for å gi gode illustrasjoner på de løsningene som er presentert.

Underveis i rapporten har vi lagt til grunn ulike faktorer som pålitelighet, levetid og redundans for de valgene vi har tatt. Økonomi er ikke vektlagt i denne oppgaven. Gruppen anser brenselceller som den beste løsningen til dette formålet først og fremst på bakgrunn av påliteligheten i tilgjengelighet og distribusjon. Bølge og vindkraft vil kunne produsere tilstrekkelig med energi over tid, men vil kreve gode løsninger for lagring av produsert energi. I kapittel 7 foreslås det to systemer for energileveranse. Her finnes en løsning der en nytter brenselcelle sammen med bølge og/eller vindkraft, og en annen hvor brenselcelle og batteri danner systemet.

Gruppen mener de utvalgte systemer er gjennomførbare, men at det kan være noe fremtidsrettet. Her er det først og fremst produksjon og håndtering av hydrogen som vil kreve gode løsninger.

Denne rapporten er rent teoretisk, og tilgjengelig tid har vært begrenset.



Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
INNHOLDSFORTEGNELSE	III
FIGUR LISTE	V
TABELL LISTE	VI
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN.....	1
1.2 MÅLSETTING FOR OPPGAVEN.....	1
1.3 UTFØRING AV OPPGAVEN OG ANVENDELSE AV VERKTØY	1
1.4 AVGRENSINGER OG ANTAGELSER	2
1.5 FORKORTELSER OG BEGREPSAVKLARINGER	2
2. OPPDRETTSNÆRINGEN	4
2.1 KORT HISTORIKK	4
2.2 UTFORDRINGER(STATUS I NÆRINGEN)	4
2.3 TILPASNINGER.....	4
2.4 LOKALITET	6
3. VINDKRAFT	7
3.1 GENERELT OM VINDKRAFT.....	7
3.1.1 <i>Hvorfor vindkraft</i>	7
3.1.2 <i>Tilgjengelig kraft i vinden</i>	8
3.1.3 <i>Offshore vindressurser:</i>	9
3.2 VINDTURBINER.....	10
3.2.1 <i>Teoretisk effekt som vindturbinen kan utvinne</i>	10
3.2.2 <i>Ulike typer vindturbiner</i>	11
3.3 VALG AV VINDTURBIN.....	14
3.4 VINDTURBINENS ENERGIPRODUKSJON	15
3.5 DISKUSJON RUNDT VINDTURBINER I OPPDRETTSNÆRINGEN	16
4. BØLGEKRAFT	17
4.1 GENERELT OM BØLGEKRAFT	17
4.1.1 <i>Energien i bølger</i>	17
4.2 ULIKE PRINSIPPER BØLGEKRAFT	21
4.2.1 <i>Terminator</i>	22
4.2.2 <i>Attenuator</i>	22
4.2.3 <i>Point Absorber</i>	22
4.3 SALTER`S DUCK – WEPTOS	22
4.4 WEPTOS WEC.....	23
4.5 DISKUSJON RUNDT BØLGEKRAFT I OPPDRETTSNÆRINGEN.....	24
5. BRENSELCELLER	26
5.1 GENERELT OM BRENSELCELLER.....	26
5.1.1 <i>Litt historie om brenselcellen</i>	26
5.1.2 <i>Hvordan fungerer en brenselcelle</i>	26
5.1.3 <i>Cellespenning</i>	27



5.2	ULIKE PRINSIPPER BRENSSELCELLER	29
5.2.1	<i>Polymer electrolyte membrane fuel cells / Polymer elektrolytt membran brenselcelle (PEMFC)</i>	30
5.2.2	<i>Phosphoric acid fuel cells / Fosforsyre brenselceller (PAFC)</i>	30
5.2.3	<i>Molten Carbonate Fuel Cell, smeltekarbonat brenselcelle (MCFC)</i>	31
5.2.4	<i>Solid oxide fuel cell / Fast oksid brenselcelle (SOFC)</i>	32
5.2.5	<i>Regenerativ brenselcelle</i>	33
5.2.6	<i>Balance of Plant (BoP)</i>	34
5.3	DISKUSJON RUNDT BRUK AV BRENSSELCELLER I OPPDRETTSNÆRINGEN	35
6.	BATTERI	41
6.1	GENERELT OM BATTERIET	41
6.2	BATTERIETS VIRKEMÅTE OG OPPBYGNING	41
6.3	ULIKE TYPER BATTERIER	42
6.3.1	<i>Tilgjengelige typer i skrivende stund</i>	42
6.3.2	<i>Fremtidsrettede batterier</i>	44
6.4	VALG AV BATTERIPAKKE:	45
6.5	DISKUSJON RUNDT BATTERIER I OPPDRETTSNÆRINGEN	46
7.	DISKUSJON RUNDT ALTERNATIVE LØSNINGER	47
8.	KONKLUSJON	49
	REFERANSELISTE	50
	VEDLEGGSLISTE	54



Figur liste

Figur 1:Kart med beliggenheten til de to lokalitetene.....	6
Figur 2: hvordan oppstår vind [6]	7
Figur 3: Viser prosentfordeling av vind med en gitt effekt og retning ved Lokalitet 1	8
Figur 4: Viser prosentfordeling av vind med en gitt effekt og retning ved Lokalitet 2	9
Figur 5: Vindkart for Norge [10].....	9
Figur 6: Blokkdiagram som viser energistrømmen.....	11
Figur 7: kurve; kapasitetsfaktor, effekt, cut-in/out [14]	12
Figur 8: Horisontal vindturbin [15].....	12
Figur 9: Vertikal vindturbin [15].....	13
Figur 10: Vindrosen viser prosentfordeling av hastigheten til vinden.	15
Figur 11: Vindrosen viser prosentfordeling av hastigheten til vinden	15
Figur 12: Bilde illustrerer hvordan de ulike bølgeparametrene måles	17
Figur 13: Dette kartet viser potensiell effekt per meter bølgefront.....	18
Figur 14: Blokkdiagram som viser energistrømmen.....	19
Figur 15: Viser prosentfordeling av bølger med en gitt effekt ved Lokalitet 1	19
Figur 16 :Bølgerose over vindens retning og effekt per meter	20
Figur 17: Viser prosentfordeling av bølger med en gitt effekt ved Lokalitet 2	20
Figur 18: Bølgerose over vindens retning og effekt per meter	21
Figur 19: Illustrasjon over de tre hovedprinsipper innen bølgekraft.....	21
Figur 20: Bilde viser en av de førstetegningene av Salters duck [60].....	22
Figur 21: Illustrerer hvordan bølgekraftverk også kan fungere som bølgedemper	23
Figur 22: Rotoren der rassel-prinsippet som driver akselen vises	24
Figur 23: Enkel prinsippskisse av brenselcelle funksjon.	26
Figur 24 Brenselcelle prinsipp av PEM og PAFC [32].....	27
Figur 25: Skisse av en PEMFC ved bruk av Hydrogen.	30
Figur 26: Skisse av en PAFC ved bruk av Hydrogen.	31
Figur 27: Skisse av en MCFC ved bruk av Hydrogen.	32
Figur 28: Skisse av en SOFC ved bruk av Hydrogen	33
Figur 29: Skisse av en regenerativ brenselcelle. Prosessene som skjer i elektrolysemodus er akkurat det motsatt av det som skjer i en brenselcellen. [45]	34
Figur 30: Forenklet brenselcellesystem.....	34
Figur 31: Illustrasjon fra NTNU oppgaven om hvordan brenselcellen var tenkt brukt. Dette er en ZESOFZ(Zero Emission Solid Oxide Fuel Cell), med etterbrenner	35
Figur 32: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av et enkelt brenselcellesystem.....	36
Figur 33: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av flere brenselcellesystemer	37
Figur 34: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av ett brenselcellesystem med batteri. .	37
Figur 35: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av flere brenselcellesystem og batteri. ...	38
Figur 36: Enkelt blokkdiagram ved bruk av regenerativ brenselcelle sammen med bølge- og vindkraft	39
Figur 37: Lade/ utladningsprosess batteri [51].....	42
Figur 38: Enkelt blokkdiagram som illustrerer en løsning med både brenselcelle og vind/bølgekraft	47



Tabell liste

Tabell 1: Forkortelser og betydning	2
Tabell 2: Begrep og betydning	2
Tabell 3: Termokjemisk tabell [37].....	28
Tabell 4: Li-ion batteri egenskaper	43
Tabell 5: Egenskaper til ulike typer batterier.	45

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Sjømat er i vinden og særlig oppdrettslaks og ørret. Eksporten er større enn noen gang, samtidig som prisene er gode. 2015 ble nok et rekordår der det ble eksportert norsk sjømat for 74,5 milliarder kroner, en økning på 8 % fra fjoråret. Lakseeksporten alene stod for 47,7 milliarder kroner. [1]

Havbruksnæringen har etablert seg som en viktig verdiskaper i norsk næringsliv og vil fremover ha stor betydning for sysselsetting, distriktspolitikk, eksport og teknologisk utvikling. En av de store utfordringene næringen nå går i møte er lokaliteter. Økt fokus på bærekraft og forvaltning av fjordene har bidratt til at staten nå har satt en stopper for utdeling av nye konsesjoner i de områder som til nå er nyttet til oppdrettsnæring. Dette gjør at næringen må ta i bruk nye områder langs kysten, tanker på land, tette merder nær land og åpne merder i eksponert sone..

Mange av de anlegg som i dag er i drift forsynes med strøm via kabel fra land, mens tidligere var bruken av dieselaggregat utbredt. Ved å flytte anleggene lenger ut fra kysten vil avstanden til land bli større og muligheten for å nytte land strøm faller bort fordi dette blir for kostbart. Ved å satse på fornybare kilder vil en ta hensyn til miljø og klima og bidra til å ivareta forsyningsikkerhet. Man går også foran som et godt eksempel for industri- og næringsutvikling. Fornybare kilder tar aldri slutt og går i et varig kretsløp.

1.2 Målsetting for oppgaven

Formålet med denne oppgaven er å se på ulike typer fornybar energi og muligheten for å nytte en eller flere av disse konseptene til å forsyne oppdrettsanlegg med energi. Rapporten skal søke en løsning som gir tilstrekkelig og stabil energiforsyning, samtidig som de bærekraftige prinsippene ivaretas. Det vil derfor legges vekt på at teknologien er fremtidsrettet og miljøvennlig.

Resultatet av gruppens arbeid vil bli presentert med konsepttegninger og forslag til løsninger som tilfredsstiller målsettingen for oppgaven. Helt til slutt i rapporten vil også videre arbeid bli foreslått.

1.3 Utføring av oppgaven og anvendelse av verktøy

Gruppens medlemmer innhentet informasjon om forbruk, produksjon sykluser og arbeidsrutiner for å kartlegge energibehov ved et anlegg. Gjennom artikler, rapporter, fagpersoner og faglitteratur tilegnet gruppen seg kunnskap om ulike konsepter for fornybar energi. Det ble valgt alternative konsepter som blir presentert i rapporten. Det blir fremstilt teoretiske beregninger som angir hvor mye energi det er mulig å hente ut fra ulike konsepter. Konsepter som nytter naturlige forekomster som vind og bølger trenger omfattende datamateriale for å kunne gi estimerte verdier av effektivitet. Denne type data er behandlet og nyttet til beregninger.

Det er ikke foretatt valg av konkrete løsninger som er videre behandlet. Rapporten kommer med forslag av ulike alternativer og sammenstillinger som vi mener kan være hensiktsmessig. I diskusjonen blir det argumentert for hva gruppen ser som den optimale løsningen ut i fra de konsepter som er blitt presentert i oppgaven. Beregninger ble utført ved hjelp av kalkulator, og det er nyttet MATH TYPE for å føre inn alle beregninger. Til behandling av store datamengder har gruppen nyttet EXCEL. Blokkdiagram og andre illustrasjoner er tegnet i



DRAW.IO. Gruppen har vært i kontakt med en rekke firmaer og fagpersoner, disse blir nevnt underveis i rapporten.

1.4 Avgrensinger og antagelser

For gjennomføring av oppgaven innenfor den begrensede tidsperioden som er gitt, har det vært nødvendig å foreta noen begrensninger og antagelser. De er som følger:

- Siden totalt energibehov er svært ulikt fra anlegg til anlegg er det benyttet estimerte størrelser fra et planlagt anlegg med en størrelse som er representativt for nye anlegg.
- Beregningene har ikke tatt høyde for utviding av anlegg eventuelt nytt utstyr. Heller ikke differansen mellom totalt effektbehov og anbefalt land strøm. Det er kun sett på at løsningene kan dekke det helt nødvendige. Hvis dette ikke kan innfris vil det uansett ikke være løselig.
- Oppgaven er begrenset til tre ulike konsepter for å kunne presentere de grundig og tilfredsstillende.
- Det antas at alle kilder og referanser som er oppgitt i oppgaven er pålitelige og korrekte.
- Alle forkortelser, enheter og begreper som ikke er oppgitt i kapittel 1.5 antas å være almen kjent og vil ikke forklares nærmere.
- Det er ikke tatt hensyn til kostnader, plassering av løsninger, vedlikehold eller kompetansekrav til driftspersonell.

1.5 Forkortelser og begrepsavklaringer

Tabell 1: Forkortelser og betydning

Forkortelse	Betydning
HSH	Høgskolen Stord/Haugesund
HAWT	Horisontal axis wind turbin
VAWT	Vertical axis wind turbin
WEC	Wave Energy Converter
PTO	Power take off system
PEMFC	Polymer electrolyte membrane fuel cells / Polymer elektrolytt membran brenselcelle
PAFC	Phosphoric acid fuel cells / Fosforsyre brenselceller
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell, smeltekarbonat brenselcelle
SOFC	Solid oxide fuel cell / Fast oksid brenselcelle
BoP	Balance of plant
DOD	Depth of discharge

Tabell 2: Begrep og betydning

Begrep	Betydning
Eksponert sone	Havområdet der signifikant bølgehøyde ligger mellom 5-8 meter
Signifikant bølgehøyde	Gjennomsnittsverdien av den høyeste tredjedelen av individuelle bølgehøyder i en 20 minutters periode.
Smolt	Lakseyngel
Yaw-mechanism	Mekanisme som gjør at maskinhuset med rotor kan roteres etter



	retningen på vinden.
Dampreforming	Oppvarming av en gassblanding bestående av vanndamp og biogass for å fremstille hydrogen
Kraftelektronikk	Omhandler styring og omforming av elektrisk energi.
Off grid	Frittstående kraftsystem som ikke er koblet til kraftnettet.



2. Oppdrettsnæringen

2.1 Kort historikk

Norsk havbruksnæring har vært en suksesshistorie uten sidestykke, dette gjelder både vekst og økonomi. Oppdrett oppstod nærmest som en hobby for spesielt interesserte og har utviklet seg til storindustri med enorm utvikling på teknologi og røkting.

Pionertiden på 50-60-tallet la grunnlaget for at miljøet rundt, kunnskapen og innsatsen fra forskningsmiljøer vokste. På begynnelsen av 70-tallet etablerte det seg en levedyktig oppdrettsnæring med særnorske trekk og stort utviklingspotensialet. Det ble et økende behov for en viss regulering av næringen og fra 1973 trengtes det konsesjon for å etablere nye anlegg [2].

Tildelinger utover 80-tallet gjorde at Norge erobret en solid markedsposisjon i Europa og i USA. Den enorme veksten i næringen skapte prisfall og sammen med den økonomiske situasjonen i verden fikk næringen en knekk. Fra 1992 fikk vi en ny vekst, og frem til i dag har produksjonen økt fra 131 000 til 1 million tonn. Dessuten har produktiviteten økt fra 100 til 450 tonn per årsverk. En betydelig effektivisering som er av stor betydning i et høykostland som Norge. Kommersiell oppdrett av andre arter enn laks har vært prøvd i stort omfang, men det er stadig laksen som dominerer.

For sysselsettingen og infrastruktur langs norskekysten har næringen stor betydning, hvis man ser på ringvirkningsbedrifter, kan 23 700 arbeidsplasser knyttes til næringen. Den totale verdiskapningen estimeres til 27 milliarder kroner [3].

2.2 utfordringer(Status i næringen)

Utviklingen fra pionerene med sin entusiasme og sitt hjemmesnekra produksjonsutstyr, til dagens teknologisk avanserte næring har vært eventyrlig. Den har derimot vært langt fra problemfri. Bakterier, virus og parasitter har til tider forårsaket store tap. Oppdrettslaksen som brukes i dag er utvalgt etter kommersielt attraktive kriterier, dette er blant annet rask vekst og godt immunforsvar. Vaksiner og brakklegging har redusert tap på grunn av sykdom. Smolten er blitt større og mer hardfør, og med bedre fôr er produksjonstiden sterkt redusert. Avansert overvåking av miljøet i merdene har bidratt til redusert svinn og mer optimale vekstforhold. De siste årene har fokus i næringen vært rettet mot reduksjon av lus og rømming. Det har derfor vært stor utvikling på dette området. utfordringen fremover er at samtidig som det ønskes en tredobling av mengden laks produsert, er det foreløpig satt en stans i utdeling av nye konsesjoner. Dette skyldes at belastningen på fjordsystemene nå er så store at det må skje endringer. Det vil derfor om kort tid være mer produksjon på land, i lukkede systemer nær land og på mer eksponerte lokaliteter

2.3 Tilpasninger

I tilknytning til denne oppgaven vil det være eksponerte lokaliteter som behandles. Mange aktører i bransjen arbeider med å utvikle teknologi som kan gjøre det mulig å nytte havområder der værforholdene er røffere.

Det vil være nødvendig med vind- og bølgedata fra hver spesifikke lokalitet for å tilpasse anlegget til de gjeldende værforhold. De fleste anlegg driftes i dag med landstrøm via kabel. De få anlegg som driftes med dieselaggregat ønskes over på landstrøm. I forbindelse med oppgaven tar vi utgangspunkt i at avstanden til land vil være for lang til at det vil være aktuelt



å legge havkabel. Kostnadene med å legge havkabel vil ligge på 5000 -10 000 NOK. per meter og denne kostnaden bidrar til at dette er lite realistisk [4]. Vi skal derfor se på mulighetene til å nytte fornybare energikilder til å drifte anleggene. De prinsippene vi har sett nærmere på er brenselceller, vind- og bølgeenergi.

Da vi startet på oppgaven fikk vi oppgitt at et anlegg med diesel aggregat hadde et årlig forbruk på ca. 60 000 l (Polytec). Gjennom kontakt med flere aktører innen næringen, har det imidlertid vist seg at dette vil variere stort fra ulike anlegg. Dette har vi også fått konkrete eksempler på, da vi har fått tilgang til netto strømforbruk for flere anlegg. Det ble derfor videre i prosessen naturlig å ta utgangspunkt i planlagte anlegg. Det ble derfor opprettet kontakt med en leverandør i næringen for å finne ut hvor mye effekt og energi som trengs for å drifte et anlegg. De fleste nye anlegg planlegges med 8 merder, og en foringslinje per merd. Steinsvik Maskin, som er en stor aktør på leverandørsiden, satt opp et effektbudsjett [Vedlegg A] som gir et realistisk estimat for et nytt anlegg med dagens teknologi. Vi har benyttet dette som et utgangspunkt for den videre prosessen.

En av utfordringene her vil være at energibehovet varierer ut i fra hvor i syklusen man er. Fra Marine Harvest har vi fått oppgitt at en produksjonsyklus normalt er 2 år. Hvor man har fisk i sjøen i ca. 18 måneder og anlegget legges brakk i opp til 6 måneder. Dette fordi et anlegg setter ut smolt til samme tid i hvert utsett. I følge Yngve Askeland ved Aqua Knowledge, vil det på ett anlegg med en eksponert lokasjon være drift i 10-12 måneder, og en brakkleggingstid på 3 måneder. Dette vil da gi en forskyvning av syklusen i forhold til året. Dette vil gjøre at svingningene i effektbehov ikke vil være likt fra år til år. I tillegg vil smolten som settes ut på en slik lokasjon være ca. 1 kg ved utsetting. I kontakt med Bremnes Seashore har vi fått opplyst at normal størrelse for utsatt smolt vil være 75-90 gram. Energibehovet vil være høyest når mengden biomasse er på sitt høyeste. Dessuten spiser fisken mindre i vinterhalvåret uavhengig av størrelse. Foringsflåten står for ca. 90 % av energibehovet, det vil derfor gi store utslag når fôringsmengden varierer. Effektbehovet vil derfor også være betydelig større ved fôring enn for resten av døgnet. Arbeidsoperasjoner utføres normalt på dagtid innenfor normal arbeidstid. Ut i fra effektbudsjettet vil det være et effektbehov på ca. 286 kW ved fôring. Selve fôringen vil alene bruke 278kW. Det vil dermed være en resterende effektmengde på ca. 8 kW. Disse 8 kW vil det være bruk for gjennom hele døgnet. Steinsvik anbefaler tilgjengelig landstrøm/aggregat på 378 kW til et slikt anlegg. Det vil da være en tilleggseffekt tilgjengelig på rundt ca. 92 kW. Denne bufferen tar vi ikke hensyn til i det videre arbeidet. Vi setter opp et enkelt energibudsjett.

Foring:

$$8h \cdot 286kW = 2288 kWh$$

Utenom foring:

$$\underline{16h \cdot 8kW = 128kWh}$$

Totalt forbruk pr. døgn:

$$\underline{\underline{= 2416kWh}}$$

Disse 2416kWh er det en må ha over et døgn når det er full aktivitet. Det vil sannsynligvis ikke være behov for dette hver dag og hele tiden, men det må være tilgjengelig.

For å kunne si noe om potensialet som ligger i bølger og vind må man benytte bestemte lokaliteter der det er hentet ut betydelig mengde målinger over en lengre periode. Som utgangspunkt for denne oppgaven har vi sett på to lokaliteter.

Den ene er Brennevinnsgrunnen. Her planlegger Bremnes Seashore et nytt anlegg, og den vil heretter omtales som Lokaltet 1. Den andre lokaliteten ligger sørvest for Karmøy ved N 59,0° og Ø 5,11°. Denne lokaliteten vil heretter omtales som Lokaltet 2. Beliggenheten på disse lokalitetene vises i figur 1. Vind og bølgedata er levert av Metocean. Alt tallmaterialet vi har fått tilgang til i denne oppgaven ligger som vedlagt fil i den elektroniske versjonen (vedlegg B).



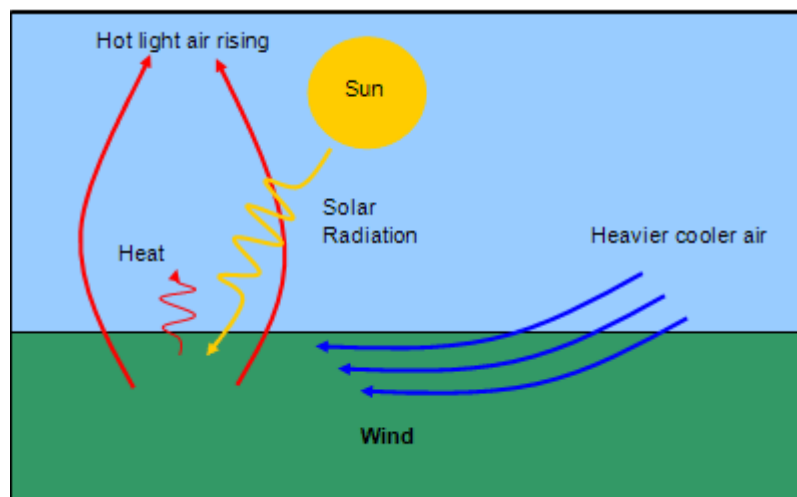
Figur 1: Kart med beliggenheten til de to lokalitetene

3. Vindkraft

I denne delen av oppgaven ønsker vi å se på muligheten til å bruke vindkraft for å forsyne oppdrettsanlegget med energi. Det finnes flere måter å nytte vindkraft, men i denne oppgaven har vi begrenset det til kun å gjelde vindturbiner. Tidligere nevnte værdata for lokasjon 1 og 2 vil bli behandlet nærmere i dette kapitlet.

3.1 Generelt om vindkraft

Vind er i hovedsak drevet av solstråling. Vinden oppstår ved at solstråling treffer ulike områder på jorden i varierende grad. Dette fører dermed til ulik oppvarming av jordoverflaten, og luften blir som et resultat av dette varmet opp. Varm luft er som kjent lettere enn kald luft, denne vil dermed stige opp. Samtidig vil det være en tilstrømming av kaldere luft fra omgivelsene rundt, dermed dannes det sirkulasjonsstrømmer [5].



Figur 2: hvordan oppstår vind [6]

3.1.1 Hvorfor vindkraft

Det finnes mange grunner til at vindkraft er en utbredt form for energiutvinning, og at det fortsatt satses stort på området. Noe av denne satsingen innebærer nye konsepter av vindturbiner, samt utbygging av fremtidige vindparker både til land og til sjøs. Vi mener noen av disse grunnene kan være:

- Først og fremst er det en fornybar og en av de reneste energikildene om en ser på livsløpet, og utslippet av CO₂-ekvivalenter/kWh [7]
- Deretter er det enorme mengder tilgjengelig vindkraft i verden [5]
- Prinsippet bak energiproduksjon fra vind fremstår også med en høyteknologisk modenhet, samtidig som den også gir kostnadseffektivitet [8]

Som vi ser av punktene ovenfor er det mange fordelaktige argumenter for å benytte vindkraft som energikilde. Det skal likevel nevnes at det også finnes argumenter som taler imot bruk av vindkraft og vindturbiner. De mest fremtredende argumentene her bygger i hovedsak på den estetiske forurensningen en vindturbin kan presentere, samtidig som det vil være noe støy knyttet til turbinen. Dette vil ikke bli gått nærmere inn på i denne oppgaven, da vi mener disse argumentene ikke vil gjøre seg så gjeldende for en vindturbin som ligger langt til havs.



3.1.2 Tilgjengelig kraft i vinden

Som vi har sett i avsnittet ovenfor, er det mange fordeler ved bruk av vindkraft. I dette avsnittet vil vi se på hvor mye effekt som er tilgjengelig i vinden.

Først og fremst kan det være verdt å merke seg at hovedprinsippet for vindkraft omhandler å benytte seg av den kinetiske energien som er tilgjengelig i vinden. Ved hjelp av en vindturbin kan denne kinetiske energien først omdannes til mekanisk energi, for deretter å omdannes til nyttig elektrisk energi.

For å finne tilgjengelig mengde effekt som er tilgjengelig i vinden benyttes formelen:

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \quad (2.1)$$

Hvor:

ρ = tettheten til luft

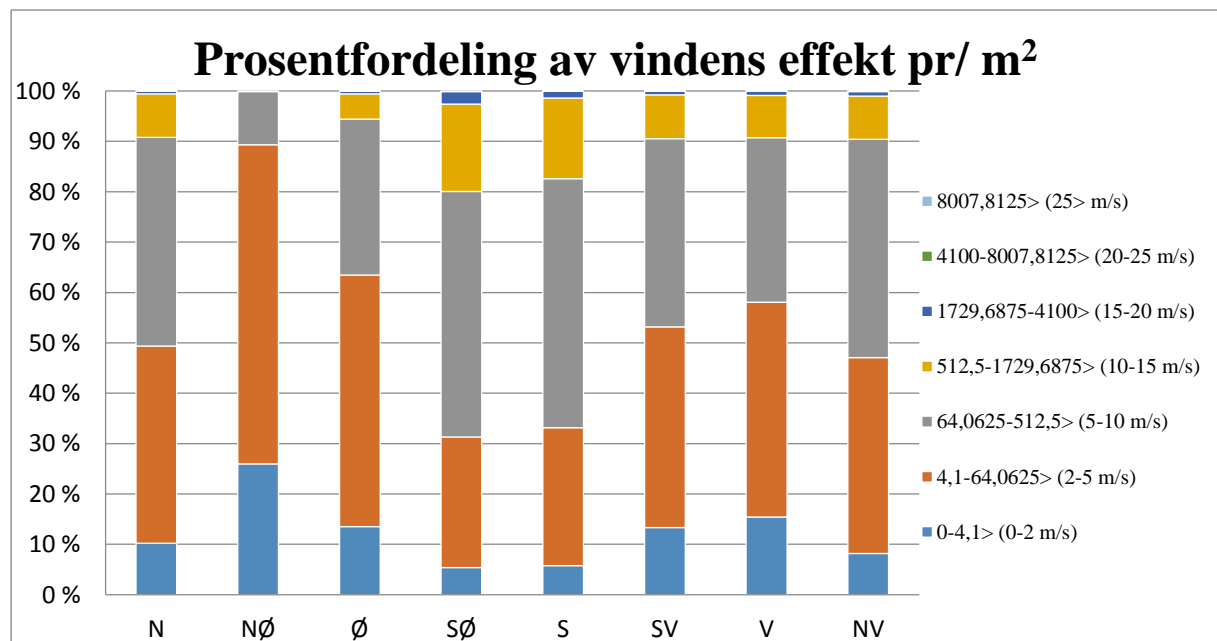
v = hastigheten til vinden

A = swept area

Hvis vi snur på formel 2.1, kan vi regne ut effekttettheten ($\frac{P}{m^2}$). Dette gir oss mulighet til å se på den teoretiske tilgjengelige effekt, uten å måtte ta stilling til å velge en vindturbin på dette stadiet.

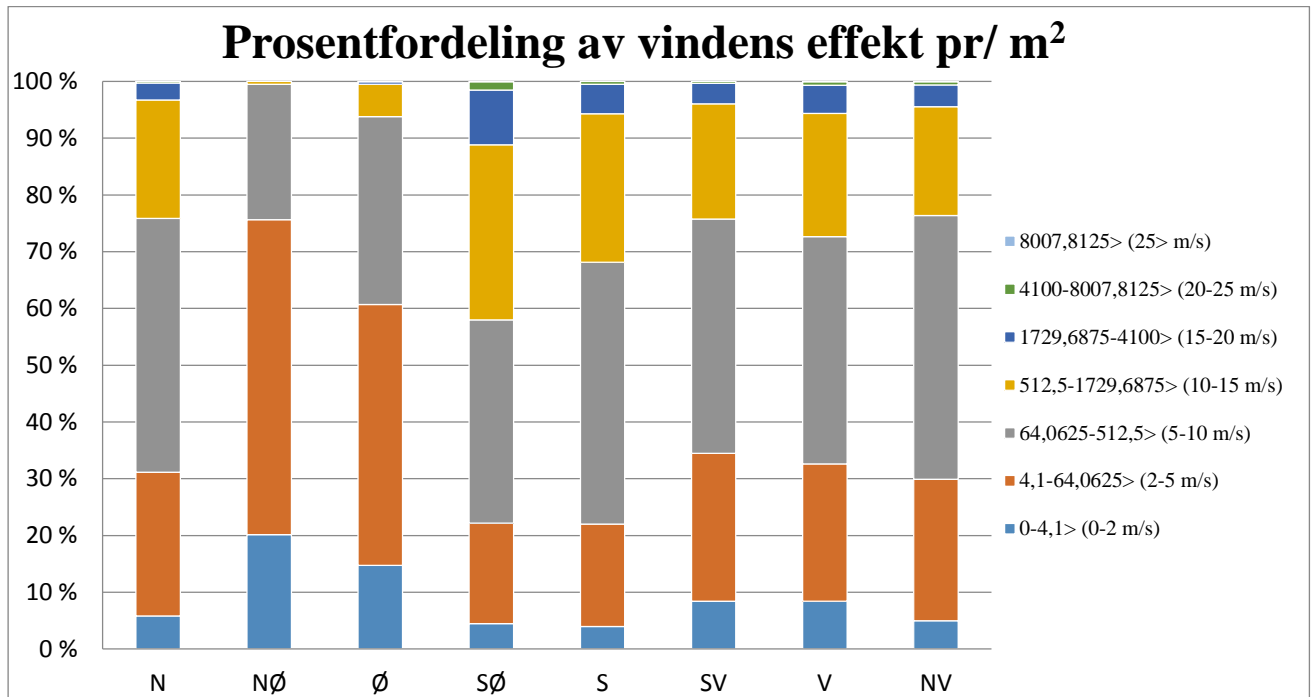
Ut i fra de værdataene som vi har fått tilgang til har vi regnet ut effekttettheten for våre lokasjoner:

Lokalitet 1:



Figur 3: Viser prosentfordeling av vind med en gitt effekt og retning ved Lokalitet 1

Lokalitet 2:



Figur 4: Viser prosentfordeling av vind med en gitt effekt og retning ved Lokalitet 2

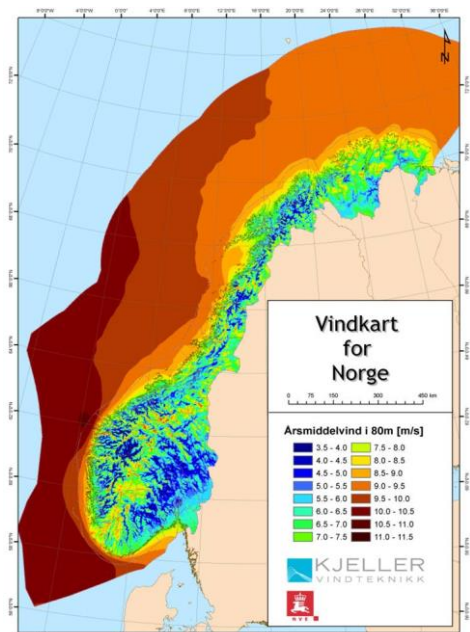
Figur 3 og 4 viser ett blått felt nederst, dette vil falle bort ved bruk av vindturbin. Dette skyldes "cut-in" hastighet, vi vil gå nærmere inn på dette senere i oppgaven.

Det kan også være verdt å merke seg at for formelen 2.1, spiller vindhastigheten en stor rolle. En dobling av vindhastigheten gir en åttedobling i effekt. Som vi skal se senere i denne oppgaven, er denne sammenhenger en av de faktorene som gjør offshore vindkraft til et interessant område.

3.1.3 Offshore vindressurser:

Norge har gode vindressurser både på land og til havs. Vi har mye vind, spredt over store arealer, samtidig som det er mange områder som faller inn under kategorien egnede utbyggings områder for vindkraft. Dette gjelder også havområdene. Teoretiske beregninger anslår at det norske potensialet for vindkraft til havs er over fire ganger større enn den årlige produksjonen av olje og gass [9]. På tross at dette, er Norge likevel en relativt liten nasjon når det kommer til vindkraft. I 2015 var samlet produksjon 2,5TWh, noe som utgjorde 1,7 % av den samlede kraftproduksjonen [10]

Vi mener dette kan ha en sammenheng med at landet har store tilgjengelige ressurser innen vannkraft og fossile energikilder som olje og gass.



Figur 5: Vindkart for Norge [10]



Det kan likevel være verdt å nevne at landet har gode kunnskaper og mange års erfaring når det kommer til offshore operasjoner. Dette kan bidra til et godt utgangspunkt når fokuset på vindkraft mer og mer rettes mot havbaserte installasjoner.

Selv om det er enorme ressurser tilgjengelig her, vil det både være fordeler og utfordringer knyttet til havbaserte installasjoner. Kort oppsummert vil noen av disse kunne være:

Fordeler:

- Offshore vil en kunne oppleve mye mer stabile vindforhold, mindre turbulente forhold. Dette vil bidra til at en kan unngå utmattelse av materialet, og øker levetiden av turbinen kontra landbasert [11].
- Vindhastighetene til havs har også et høyere gjennomsnitt. Høyden vil ikke ha så mye å si for tilgang til gode hastigheter. Dette vil kunne resultere i at det kan bygges lavere turbinene til havs, enn de landbaserte [11].

Slik vi ser det vil det også være en del utfordringer knyttet til vindturbiner offshore:

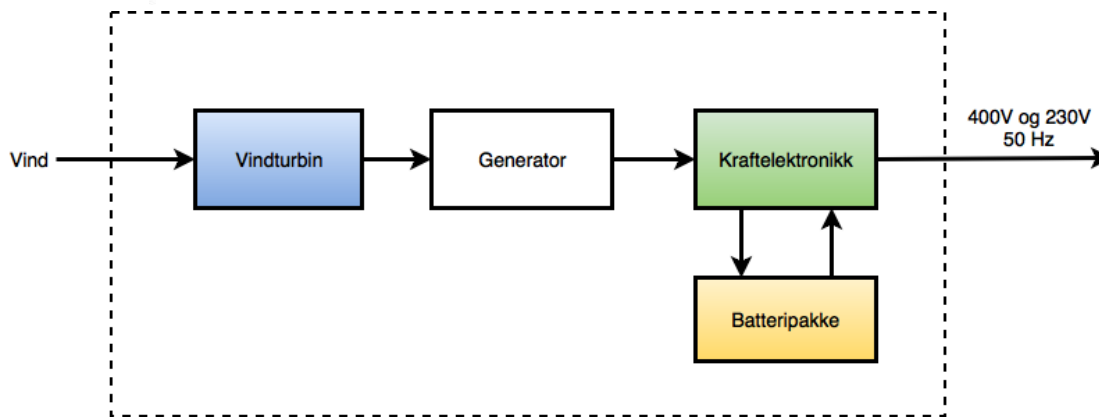
- Vindturbinen befinner seg i et vått og korrosivt miljø, noe som betyr at det må tas hensyn til materialvalg og at maskinhuset og andre vitale deler er forseglet [12].
- Tøffe vær og bølgeforhold, som ofte kombineres med lange avstander fra land. Med tanke på installasjon og vedlikehold, vil dette kreve værvinduer for hvor vedlikehold og reparasjoner kan utføres. Dette kan også resultere i en risiko for begrenset tilgang til lokasjonen i perioder hvor tøffe værhold hindrer tilkomst [4].
- De nevnte operasjonene her vil også kreve spesialbygde fartøy, kraftige kraner, spesielle teknikker og arbeid i store høyder på havet [13].

3.2 Vindturbiner

I denne delen av oppgaven vil vi se på muligheten for å nyttiggjøre den energien som finnes i vinden. Her vil vi se på prinsippet bak energiomforming, ulike typer turbiner, samt se på hvor mye energi som vil kunne produseres på de aktuelle lokasjonene.

3.2.1 Teoretisk effekt som vindturbinen kan utvinne

Som nevnt tidligere vil energiomforming være en sentral del av vindenergi. Kort forklart vil dette foregå slik; vindens kinetiske energi fanges opp ved hjelp av vingene på vindturbinen, denne videreføres da som mekanisk energi via en aksling som i noen tilfeller er koblet til girsystem. Dette for å øke antall omdreininger. Tilslutt vil denne energien ende opp i en generator, hvor den mekaniske energien omformes til elektrisk energi. Denne elektriske energien vil så bli sendt videre til ønsket komponent for videre distribusjon [5].



Figur 6: Blokkdiagram som viser energistrømmen

Det vil likevel ikke være mulig for en vindturbin å nytte seg av all den tilgjengelige kinetiske energien i vinden. Dette kan helt kort forklares med at vinden ikke kan gi fra seg all sin kinetiske energi til vindturbinen. Den ville da ha stoppet opp bak turbinen og dermed dannet en slags vegg som hindret videre gjennomstrømming.

Vi skal ikke bruke tid til å utlede den teoretiske maksimale grensen, kjent som $C_{p_{max}}$, for hvor stor mengde kinetisk energi en vindturbin kan fange fra vinden. Vi slår bare fast at denne er ca. 59.3 %, og kjent som Betz-limit. Det er verdt å merke seg at dette er en teoretisk grense [12].

Settes denne i sammenheng med formel 2.1, får vi:

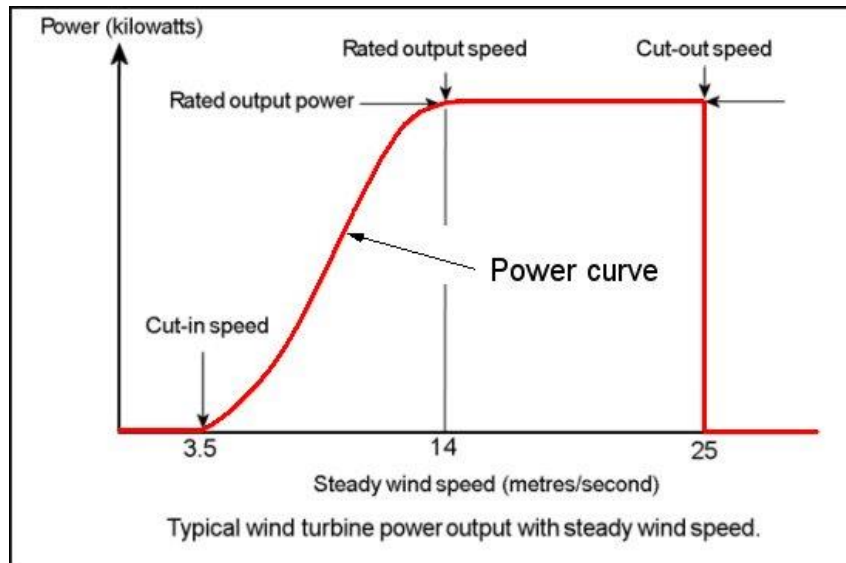
$$P_{el} = cp \cdot 0,5 \cdot \rho_{luft} \cdot v^3 \cdot A \quad (2.2)$$

3.2.2 Ulike typer vindturbiner

Det er i dag vanlig å klassifisere vindturbinene i to hovedgrupper, alt etter hvilke akse de roterer rundt. Denne klassifiseringen gir oss HAWT og VAWT. Disse to ulike klassene vil bli behandlet senere i hvert sitt kapittel.

Før vi begynner presentasjonen kan det være verdt å merke seg at en moderne vindturbin som oftest produserer energi fra en vindhastighet på ca. 2-5 m/s og opp til ca. 25 m/s. Dette tilsvarer fra lett bris til full storm. Dette betyr at turbinen har en "cut-in" vindhastighet på 2-5 m/s, og en "cut-out" hastighet på 25 m/s. Vindturbinen vil altså slutte å produsere om hastigheten blir for høy. Dette er for å minske belastningen rotoren utsettes for. For vindturbiner finnes det også et annet hastighetsintervall som spiller en avgjørende rolle, "rated" vindhastighet. Dette er det intervallet hvor vindturbinen vil kunne produsere den installerte effekten, også kjent som merkeeffekt. Dette intervallet vil variere ganske mye fra de ulike turbinene, men ligger i grove trekk vanligvis mellom 11-25 m/s. Dette intervallet er en av faktorene som legges til grunn for å velge en aktuell vindturbin, dette kommer vi nærmere inn på senere i oppgaven.

Det antas videre at en moderne vindturbin vil ha en levetid på 20-30 år [12].

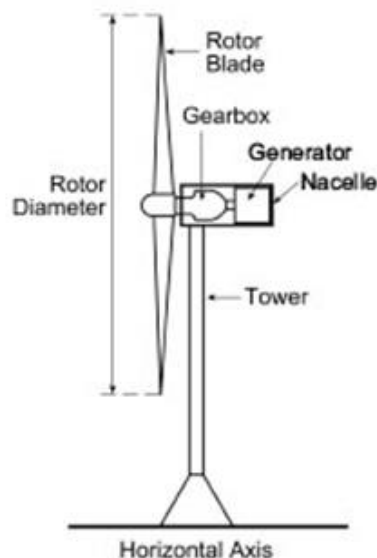


Figur 7: kurve; kapasitetsfaktor, effekt, cut-in/out [14]

3.2.2.1 HAWT:

Dette fremstår som den klassiske utformingen, og er helt klart den det er satset mest på de seneste tiårene. På bakgrunn av dette fremstår den derfor som den klart mest modne og utbredte teknologien av de to ulike gruppene, og store internasjonale selskaper som blant annet Siemens, Enercon og Gamesa leverer disse turbintypene.

Felles for HAWT er at de er avhengig av vindretning for å kunne produsere elektrisitet. Ved skiftende vindretning er den derfor avhengig av YAW mekanisme [12].



Figur 8: Horisontal vindturbin [15].

Fordele:

- Den er selvstartende, dette vil si at den ikke er avhengig av noen form for elektrisk hjelp for å starte [16]
- Har generelt høy kapasitetsfaktor, vil da kunne nyttiggjøre mye av den kinetiske vindenergien [17]
- Som nevnt ovenfor er dette en moden og utbredt utforming av vindturbinen. Dette gjør seg gjeldende både for landbaserte og havbaserte turbiner.

Ulemper:

- Viktige komponenter står i høyden, dette vil gjøre det mer utfordrende å utføre vedlikehold/ repressjoner til havs.
- Høyt tyngdepunkt, noe som vil gi høye momenter og belastninger.
- Sammenlignet med VAWT har denne utformingen mange bevegelige deler og dette vil være med på å øke sjansen for at noe kan gå i stykker.

[17]

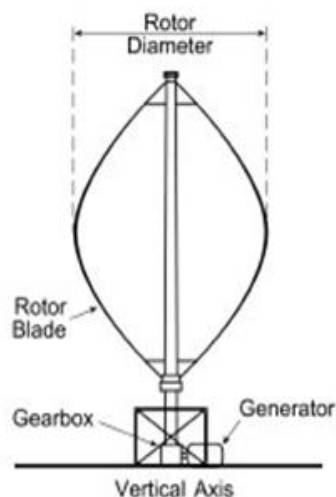
Oppsummering:

Som vi ser er dette en godt utviklet og velprøvd utforming. Ved å velge denne utformingen kan det være mulig å finne en vindturbin som er godt egnet for den lokasjonen vi har fått tildelt. Den høye kapasitetsfaktoren er også svært fordelaktig.

3.2.2.2 VAWT:

For VAWT finnes det veldig mange ulike design og måter å utnytte vindenergien på. Den mest kjente utformingen er Darrieus turbinen. Dette sees på som den tradisjonelle VAWT. For å nevne ett par av de utallige andre utforminger innenfor VAWT, kan det være verdt å merke seg H-rotoren og V-VAWT. Begge disse utnevnes som noen av de mest lovende og spennende utformingene når det gjelder fremtidige flytende VAWT [17]

I skrivende stund befinner de lengst kommende flytende VAWT fortsatt på prototype stadiet, og har fortsatt en vei å gå før den befinner seg i ferdig format på markedet. Denne utformingen vil kunne ha noen svært gunstige fordeler når den engang i fremtiden gjøres kommersielt tilgjengelig.



Figur 9: Vertikal vindturbin [15]

Fordeler:

- Felles for alle VAWT er at de er uavhengig av vindretning for å kunne produsere strøm. Dette betyr at den vertikalt rettede vindturbin dermed ikke trenger et aktivt YAW kontroll system.

- Generator, girkasse og andre hovedkomponenter til turbinen vil kunne plasseres på bakkenivå, dette vil føre til lettere tilgjengelighet, og dermed lette tilgang ved inspeksjon, vedlikehold og reparasjon. Dette vil være desto viktigere når det er snakk om operasjoner til havs.
- For de modellene som behøver tårn vil dette på bakgrunn av punktet ovenfor kunne kreve ett mindre komplisert design og konstruksjon av tårnet, noe som igjen vil kunne være med på å senke prisen. Det må også nevnes at flere modeller ikke har tårn.
- Den vertikale vindturbinen har også visst seg lettere og skalere opp.
- VAWT vil ha et lavere tyngdepunkt enn HAWT. Dette vil være av stor betydning for plattformen den flytende turbinen hviler på. Denne vil kunne gjøres betydelig mindre, og dermed bidra til å senke kostnadene.

[17]

Ulemper:

- Noen VAWT modeller vil kreve en ekstern energikilde for oppstart. Kan være en utfordring hvis vindturbinen ikke er koblet til strømmettet [18].
- Selve turbinen vil ligge lavt nede, vindhastigheten vil dermed være noe lavere enn for installasjon med høyere tårn. Vi mener likevel at dette ikke vil være et stort problem offshore på bakgrunn av den gjennomsnittlige sterkere vinden til havs.
- Lavere kapasitetsfaktor enn HAWT. På nåværende tidspunkt regnes kapasitetsfaktoren for VAWT til å ha et absolutt maksimum på 0,4 [17].

Oppsummering:

For fremtidige offshore vindturbiner, spesielt flytende, er dette en spennende kategori. Utformingen vil kunne være med på å gi mange fordeler, kontra den mer tradisjonelle HAWT. Vi har likevel lagt til grunn at det i skrivende stund kan det virke som om det fortsatt er noen år til at ferdig testede modeller er et faktum.

Konklusjon:

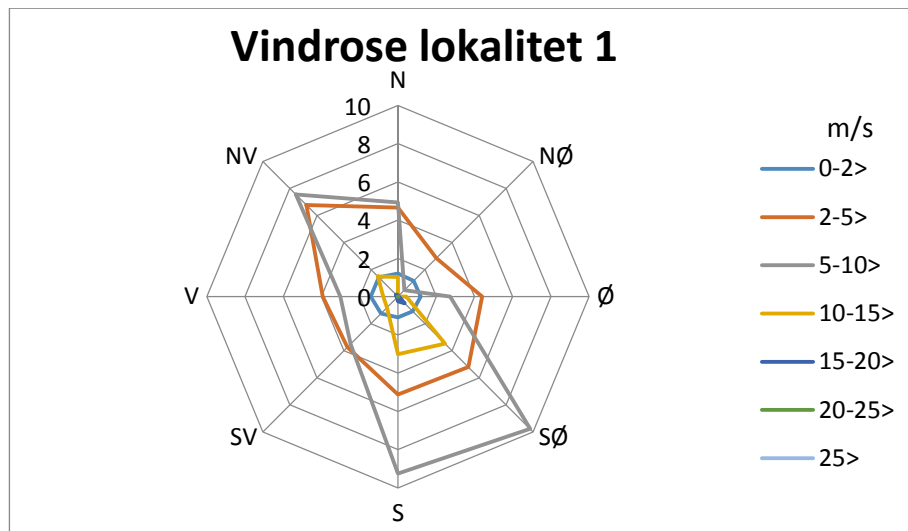
Vi mener at teknologien for landbaserte vindturbiner herunder VAWT og spesielt HAWT er kommet langt gjennom mange års utvikling. Når det gjelder offshore turbiner har vi ikke funnet konkrete eksempler hvor VAWT er plassert til havs. Det kan se ut som om det fortsatt gjenstår noen utfordringer i forhold til utforming av disse offshore turbinene. Gruppen mener VAWT kan være et spennende alternativ i årene som kommer. Denne utformingen av turbinen vil absolutt kunne ha noen fordelaktige fortrinn når det kommer til offshore bruk. I skrivende stund konkluderer vi likevel med at VAWT ikke er et reelt alternativ, vi har derfor valgt å gå videre med en tradisjonell HAWT. Disse kommer i et bredt utvalg når det gjelder installert effekt, og de er tilgjengelige i skrivende stund. Påliteligheten denne modellen innehar er også noe som veier tungt for valget gruppen har tatt.

3.3 Valg av vindturbin

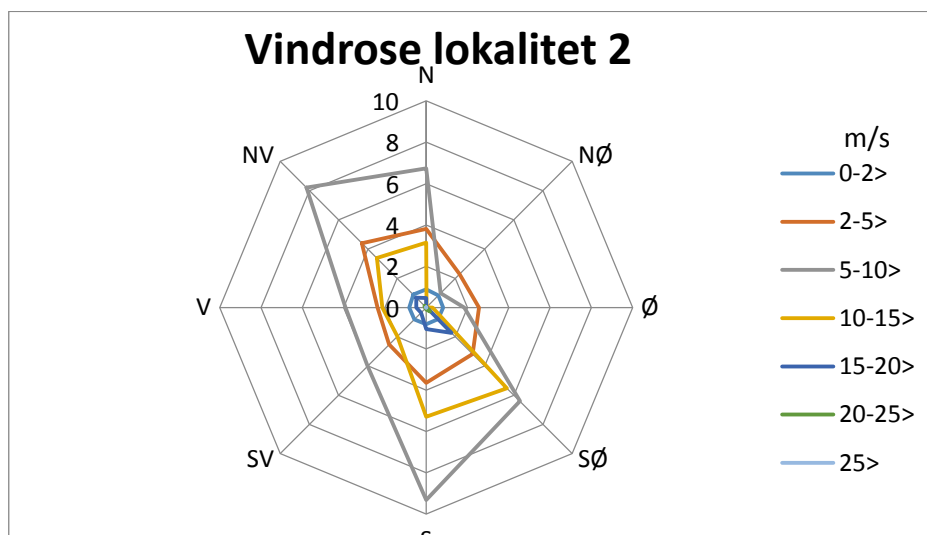
I denne oppgaven har vi altså valgt å gå videre med en HAWT som løsning. Spørsmålet er da hvor mye elektrisitet vi kan forvente å produsere.

For å kunne velge en turbin som kan være aktuell i denne oppgaven, har lagt til grunn den midlere vindhastigheten ved lokasjon 1. Denne er regnet ut fra det datagrunnlaget vi har fått tilgang til, og gir oss 5,86 m/s. Som en tommelfinger regel vil det da kunne velges en egnet turbin ved at det legges til 6 m/s på midlere hastighet. Dette gir oss da en "rated" vindhastighet på 11,86 m/s, altså den hastigheten hvor turbinen skal kunne gi installert effekt [19].

Valget vårt i denne oppgaven har falt på en vindturbin fra Enercon, E-53 [Vedlegg B]. Denne turbinen har en installert effekt på 800 kW. Det vi mener er gunstig med denne vindturbinen er at den har en lav cut-in speed (2 m/s), og at den har relativt gode effektverdier for lavere vindhastigheter. Vi merker oss likevel at denne turbinen kan være litt vel stor, men at den likevel kan brukes som et utgangspunkt for denne oppgaven. Hvis vi da ser på vindfordelingen som skal danne grunnlaget for hvor mye elektrisitet som kan produseres, er de som følger:



Figur 10: Vindrosen viser prosentfordeling av hastigheten til vinden.



Figur 11: Vindrosen viser prosentfordeling av hastigheten til vinden

3.4 Vindturbinens energiproduksjon

Vi vil se nærmere på forholdene ved utdelte lokasjoner, for å se om det kan produseres nok energi til å drifte anlegget med valgt turbin.

På bakgrunn av de enorme mengdene værdata fra denne lokasjonen, har vi valgt ut et toårs-intervall, dette strekker seg fra 1.1.2008 til 31.12-2009, utdrag av dette finnes i [Vedlegg C]. Legger vi da effektbudsjettet fra Steinsvik til grunn, kan vi sammenligne energibehovet til anlegget, med den produserte energien.



Som vist tidligere i oppgaven vil energibehovet vil være 2416 kWh per døgn.

Selv om vi begrenser oss til et intervall på to år ville det ha vært et veldig omfattende arbeid å sette opp hvor mye som produseres hver dag. Vi har derfor valgt å se på perioder hvor det produseres under 2416Wh i løpet av et døgn.

Det kan her være å merke seg at det ikke er tatt hensyn til om vinden brått skifter retning. Som nevnt tidligere vil vindturbinen ha YAW for alltid å stå normalt på vinden, men denne vil gjerne bruke litt tid på omstilling. Vindturbinens energiproduksjon vil nok derfor være litt mindre i virkeligheten [12]. Som vi ser fra [Vedlegg D] vil alle vindretninger være hyppig representert når det gjelder lokasjon 1.

Ifølge våre beregninger vil det i løpet av det valgte tidsintervallet være 384 dager hvor det produseres mindre enn 2416 kWh i døgnet. Selv om dette antallet ikke sier noe om hvor stor differanse det er mellom produsert energi og det energibehovet som ligger til grunn her, mener vi at dette kan være med på å synliggjøre at det er knyttet store utfordringer til det å bruke en vindturbin som eneste eller hoved energikilde.

Videre har vi plukket ut perioder hvor det over flere dager foregår en produksjon av energi som er lavere enn det tallet vi i denne delen har lagt til grunn som et minimum. Dette resulterte i 41 perioder på mer enn to dager. Det skal likevel sies at ikke alle disse periodene vil være like kritiske om vi har en batteripakke tilgjengelig i tillegg. Vi ser likevel at det vil kunne være store utfordringer knyttet til bruk av vindturbin. Dette gjelder også om en har batteripakke. Det finnes også perioder som strekker seg opp mot 20 dager sammenhengende hvor vindturbinen produserer under 2416kW i døgnet [Vedlegg E].

Vi har også funnet mange perioder hvor vindturbinen produserer mye mer energi enn det som kreves for å drifte anlegget. Disse periodene vil også kunne by på utfordringer i form av hvordan alt dette overskuddet av energi skal lagres [Vedlegg F].

Når det gjelder lokasjon 2, mottok vi data på denne på ett litt sent tidspunkt i prosessen. Av den grunn har ikke hatt tid til å gå like grundig ned i tallmaterialet her. Vi har likevel funnet perioder som vil kunne by på store utfordringer grunnet ingen/ liten energiproduksjon [Vedlegg G]

3.5 Diskusjon rundt vindturbiner i oppdrettsnæringen

Som vi har sett i dette kapitlet vil en vindturbinen på lokalitet 1 og 2, gi en veldig ujevn energi leveranse. I perioder med mye vind vil turbinen produsere mange ganger den effekten som er nødvendig til å drifte anlegget, mens det i perioder som kan strekke seg til over en uke vil være produksjon som ligger langt under det nødvendige for å drifte anlegget. Slik vi ser det er det nettopp denne ujevne leveranse i form av perioder hvor det produseres lite effekt som er hovedproblemet. Vi mener det ikke er et problem at det er relativt lave vindhastigheter, den største utfordringen ligger i fraværet av vind i perioder. Vi ser det slik at for disse lokasjonene vil det kunne være gunstig å se på andre ulike alternative måter å forsyne anlegget med, men at det også vil kunne være et alternativ å sette vindturbinen inn sammen med noen av disse. Ulike alternativer vil bli behandlet i kapittel 7. Vi mener det kan være en løsning å bruke vindturbin som energikilde for lokasjoner med en veldig stabil vindprofil. Dette vil imidlertid kreve fravær av perioder uten vind som strekker seg over flere dager. Samtidig vil det være nødvendig med en batteripakke av en viss størrelse for å sikre redundans.

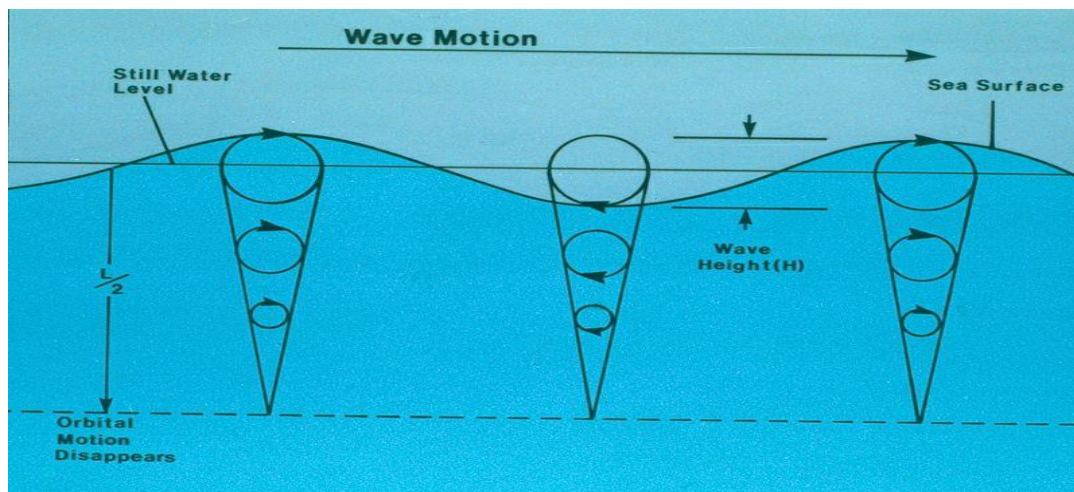
Det er også verdt å ta med i diskusjonen at det vil være knyttet kostbare investeringer til undersøkelser, installasjon og reparasjon/vedlikehold av en vindturbin på sjøen.

4. Bølgekraft

4.1 Generelt om bølgekraft

Som en start på kapittelet om bølgekraft blir det naturlig å se på de fysiske forutsetningene som ligger til grunn for at bølger oppstår. Det er i hovedsak solen og atmosfæren som styrer de dynamiske prosessene i havet. Som beskrevet i kapittel 3.1 er det ulik oppvarming av jordoverflaten som gir grunnlag for dannelse av vind. Friksjonen mellom vinden og havoverflaten danner bølger og energien i vinden blir omformet til bølgeenergi. Disse omformingene skaper en forsterket energitetthet. Energitettheten rett under havoverflaten, er 5 ganger større en energitetthet i vinden som befinner seg 20 meter over havoverflaten [20]. Størsteparten av bølgene vi kan se på havoverflaten kan deles inn i to kategorier, dønninger og vindbølger. Vindbølger dannes av lokal vind, mens dønninger opptrer etter vinden har sluttet å blåse. De fleste bølger er en kombinasjon av disse [20]

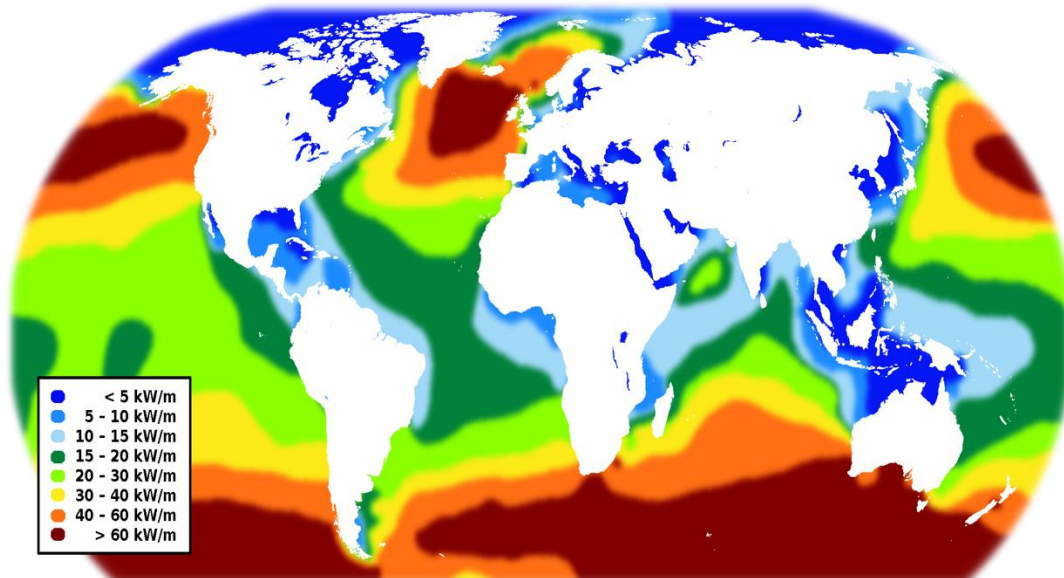
Bølger måles ved høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal (H), og avstanden mellom en bølgetopp og den neste (λ). For bølger som beveger seg i regelmessig gjentakelse vil den enkelte vannpartikkel bevege seg i elliptiske sirkler. Tiden en partikkel bruker på å bevege seg gjennom sin sirkulære bane en gang blir definert som en periode (T). Ettersom bølgene nærmer seg grunnere vann vil perioden være konstant, mens bølgelengden reduseres. Dette fører til at bølgetoppene blir smalere og «knekker», dette vises som hvitt skum. Når havdybden avtar, økes havbunnens innvirkning på bølgene. Som en tommelfinger-regel kan man si at om havdypet er større enn halve bølgelengden, defineres det som dypt. Definisjonen av hva som er dypt vann avhenger altså av bølgelengden [5].



Figur 12: Bilde illustrerer hvordan de ulike bølgeparametrene måles

4.1.1 Energien i bølger

Energitettheten i bølgene langs norskekysten ligger rundt 30-40 kW per meter mellom Stadt og Lofoten. Områder lenger sør og nord har en energitetthet på 20-30 kW per meter bølgefront. Det er naturlig nok omkring dobbelt så stort potensialet i bølgekraften i vinterhalvåret som resten av året [20].



Figur 13: Dette kartet viser potensiell effekt per meter bølgefront

Effekten av en ”ideell” bølge kan regnes ut, noe omtrentlig med denne formelen:

$$P = \frac{\rho \cdot g^2}{32\pi} TH^2 [W/m] \quad (3.1)$$

ρ = tetthet for sjøvann [kg/m^3]

g = tyngdekraften [m/s^2]

T = perioden [s]

H = bølgehøyden [m]

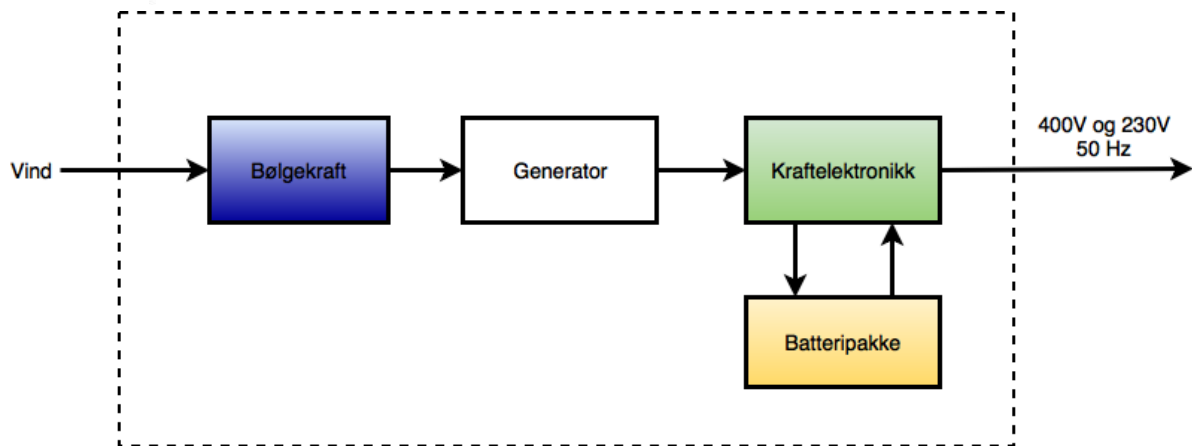
[5]

Denne formelen gjelder kun for regelmessige bølger, og kan ikke nyttes for å si noe om bølgekraften i uregelmessige bølger. For uregelmessige bølger der en nytter signifikant bølgehøyde (H_s) vil effekt per meter bølgefront bli halvparten så stor vist ved formelen:

$$P = \frac{\rho \cdot g^2}{64\pi} TH_s^2 [W/m] \quad (3.2)$$

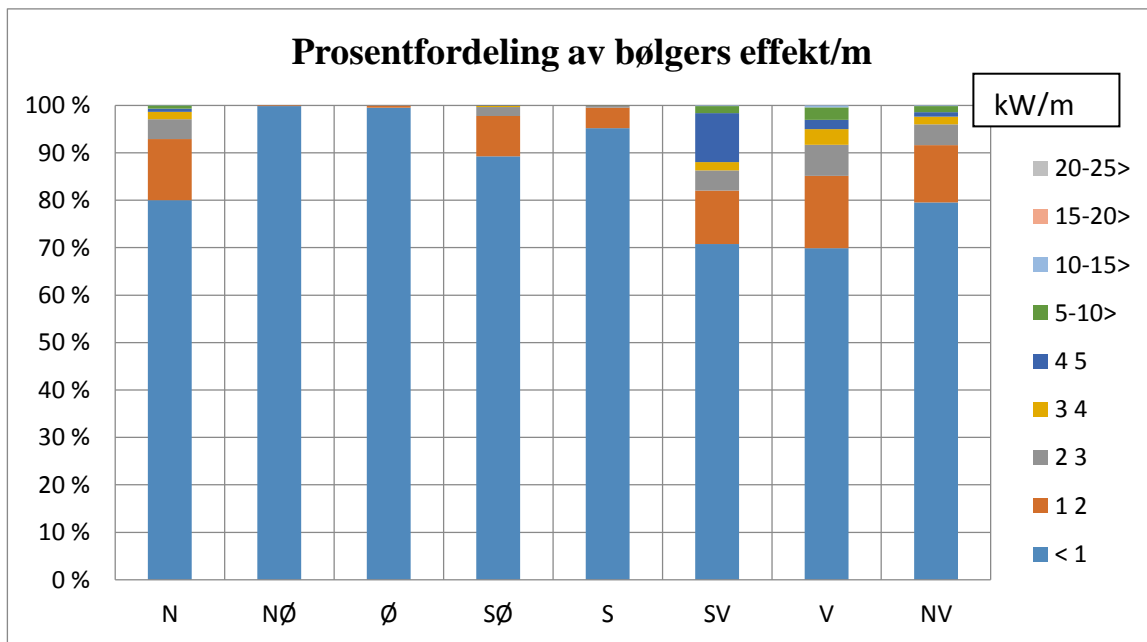
I de fleste tilfeller har man en kombinasjon av regelmessige og uregelmessige bølgetyper. Gjerne på tvers av hverandre. Det vil derfor være nødvendig å se på en bestemt lokasjon for å finne hvilke vindforhold og bølgetyper vi har i det aktuelle området.

For å kunne nytte energien i bølgene må man ha et PTO system som omgjør bølgenes bevegelse til mekanisk energi. Den mekaniske energien blir i sin tur omdannet til elektrisk energi ved en generator. Noen enheter nytter lineær generator som direkte omdanner bevegelsen til elektrisitet. For best å dra nytte av alle typer bølger nyttes ofte et kontrollsystem som kan låse bevegelsene slik at de holder seg innenfor gitte faser [21].



Figur 14: Blokkdiagram som viser energistrømmen

Som nevnt i delkapittel 1.4 har vi fått tilgang på store mengder måledata. For Lokaltet 1 er det gjort målinger over en periode på 30 år, for Lokaltet 2 over en periode på 54 år. Ved å benytte Excel har vi behandlet bølgedata fra lokalitetene. Vi har regnet ut den teoretiske effekten bølgene kan levere, og har ikke tatt høyde for virkningsgrad. Diagrammet i Figur 15 illustrerer hvor stor prosentandel av bølgene som gir en angitt effekt innenfor intervaller. Og hvilken retning de kommer fra.

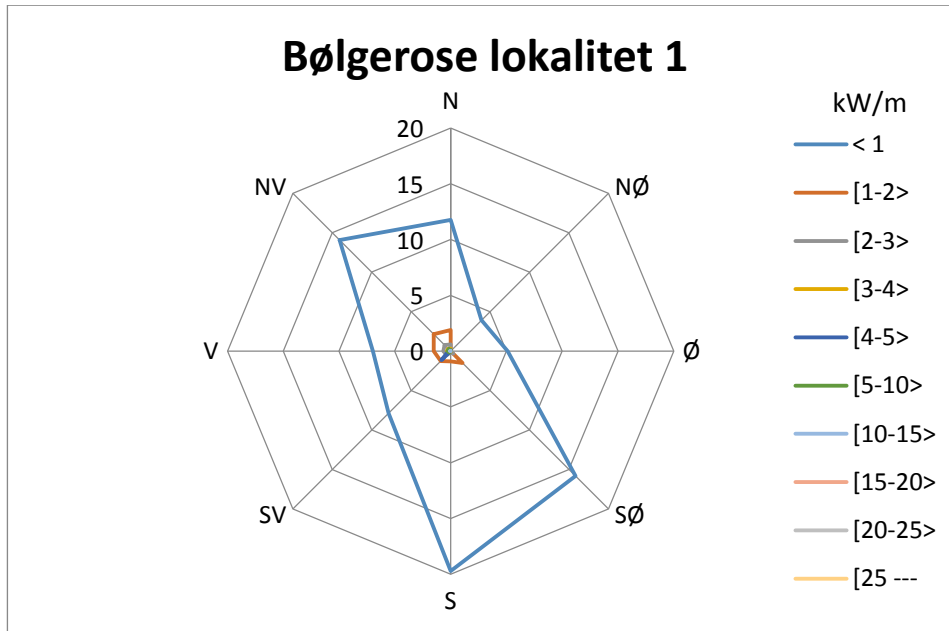


Figur 15: Viser prosentfordeling av bølger med en gitt effekt ved Lokaltet 1

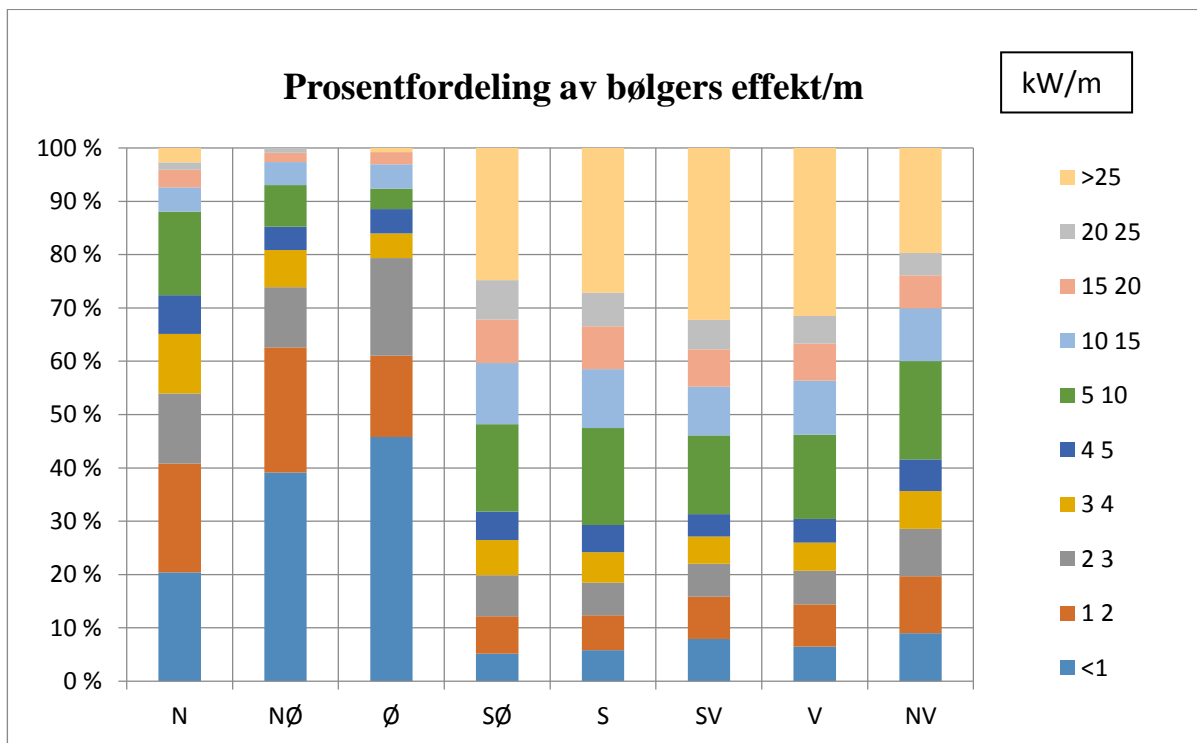
Oversikten forteller oss at bølgene fra sør-vest og vest er de bølgene som gir høyest effekt per meter bølgefront. Dette er som forventet da det er denne retningen som har åpent leide ut mot havet. Vi ser derimot at over 70 % av bølgene fra denne kanten vil produsere under 1kW/m. For alle de andre himmelretningene vil prosentandelen av bølger som produserer mindre en 1 kW/m være enda høyere. Ser vi på alle retninger vil 85 % av alle bølger produsere under 1kW/m.

Om vi ser på bølgerosen for lokalitet 1 på figur 16 ser vi tydelig hvor stor andel av bølgene som produserer mindre en 1 kW/m.

Det som også kommer tydelig frem er at vi her får flest bølger fra sør-sørøst. Registreringer utført av Karmsund Havnevesen viser at det er denne vindretningen som opptrer hyppigst i vårt område. Det betyr at dette er bølger som dannes av lokal vind og ikke havbølger.



Figur 16 :Bølgerose over vindens retning og effekt per meter

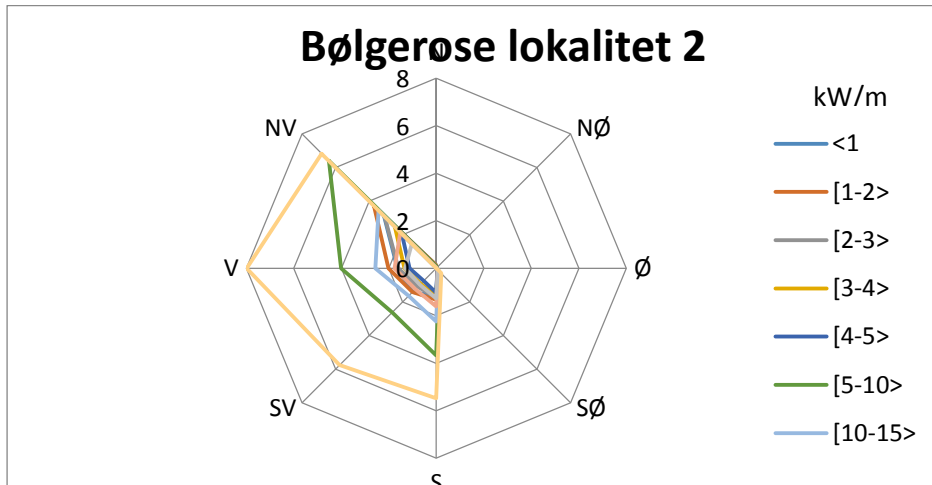


Figur 17:Viser prosentfordeling av bølger med en gitt effekt ved Lokalitet 2

Ser vi på prosentfordelingen av bølgenes teoretiske effekt ved Lokalitet 2 viser denne et mye høyere potensialet, hele 44 % av bølgene som kommer inn mellom sørlig og vestlig retning har potensialet til å produsere mer en 5 kW/m.

Ser vi på alle retninger, vil over 65 % av alle bølger, ha potensialet til å produsere mer en 5kW/m, mens 48 % vil kunne produsere mer enn 10 kW/m. Videre ser vi at for bølger som kommer inn mellom sørøst og nordvest, vil under 10 %, ha et potensial som er lavere enn 1 kW/m.

Tabellene som her er nyttet for å fremstille diagram og hente ut de samlede prosentatsene ligger som [Vedlegg H].



Figur 18: Bølgerose over vindens retning og effekt per meter

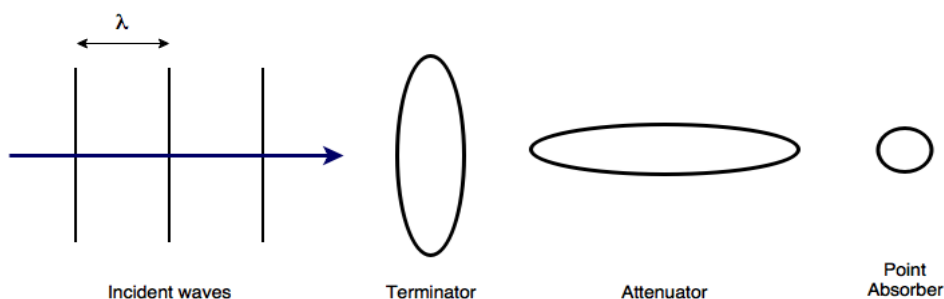
4.2 Ulike prinsipper bølgekraft

Den første patentsøknad som omhandlet bølgekraft ble sendt inn så tidlig som i 1799 av en franskmann ved navnet Pierre-Simon Girard [22]. Etter den tid er det utviklet mange hundre konsepter for utvinning av kraft fra bølger. Mange av disse har aldri kommet lenger enn på tegnebordet, men gode prosjekter er testet ut i småskala og videre i fullskala. Noen prinsipper er kun egnet for landfaste anlegg, mens de flytende installasjonene er tilpasset ulike bølgetyper og havdyp.

De enorme kreftene i havet representerer et stort energipotensiale, det finnes allikevel en del utfordringer ved hvordan de kan utnyttes. Kreftene som er i sving stiller store krav til utstyr og fortøyning. I tillegg har vi faktorer som saltvann, temperatur og eventuelle lekkasjer av hydrauliske væsker.

For ikke landfaste WEC-enheter kan vi gjøre en grov inndeling, basert på hvordan enheten tar opp kraften i bølgene

<i>Terminator-</i>	Hovedakse som står normalt på bølgefronten
<i>Attenuator-</i>	Hovedakse som ligger parallelt med bølgefronten
<i>Point Absorber-</i>	Symmetrisk om alle akser, liten i forhold til bølgelengden



Figur 19: Illustrasjon over de tre hovedprinsipper innen bølgekraft

4.2.1 Terminator

Stor innretning som har hovedakse normalt på bølgefronten. Denne type anlegg er ofte installert på grunt vann, og tar energi fra dønninger som har lange perioder. Det nyttes hydrauliske systemer som direkte eller indirekte er koblet til generator. Anlegg av typen «svingende vannsøyle» og «overskyllingsanlegg» regnes også som terminatorer [21]. Eksempler på anlegg av denne typen finnes i [Vedlegg I].

4.2.2 Attenuator

Dette er et prinsipp der en benytter en stor flytende innretning, hvor hovedakse ligger i linje med/ parallelt med bølgefronten. Den vil alltid kunne rette seg inn etter bølgeretning, dette skyldes at den kun er forflydd i fronten. Innretningen består av flere ledd som er hengslet sammen. De hengslede leddene beveger seg i forhold til hverandre, og i takt med bølgens bevegelse. Ved hjelp av hydrauliske pumper skapes en bevegelse som kan omformes til elektrisk energi via en generator. Lengden på et segment av attenuatoren bør ikke overstige $1/4$ av bølgens lengde, den vil da motvirke seg selv. Det er derfor nødvendig å designe disse tilpasset spesifikke bølgeforhold [21]. Eksempel på anlegg av denne typen finnes i [Vedlegg J].

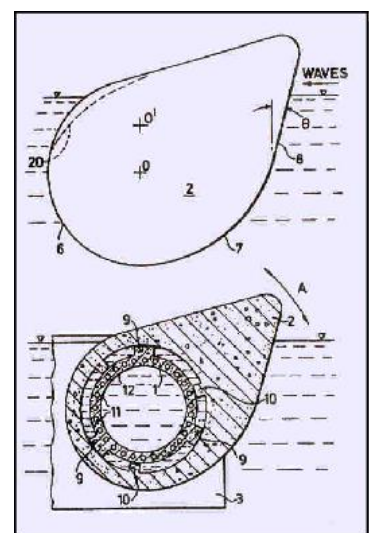
4.2.3 Point Absorber

Her vil flytestrukturen være relativ liten i forhold til mange andre innretninger. Disse er ikke orientert i noen spesiell retning i forhold til bølgen, men skal kunne ta opp energi fra bølger fra flere retninger. Enheten har en flytende del som er forbundet med en statisk del forankret til havbunnen. Det er ofte hydrauliske systemer som bidrar i omdanningen til elektrisk strøm. Det nyttes også lineære generatorer på slike enheter. Point Absorbers kan designes til bruk nær land og offshore lokaliteter, og kan nyttes i de fleste bølgeforhold. Diameteren bør være mindre enn $1/6$ av bølgelengden for ikke å motvirke seg selv [21]. Eksempel på anlegg av denne typen finnes i [Vedlegg K].

4.3 Salter`s duck – Weptos

Fokus på å nytte bølgekraft og andre fornybare kilder har gått i bølger, og fikk en oppsving på 70-tallet når oljekrisen rammet. Det var i denne perioden Steven Salters ved Edinburgh Universitet utviklet en WEC som fikk navnet "The Nodding Duck" og senere "Salter`s duck". «Salter`s duck» anses å være en av de mest effektive konseptene for bølgekraft og faller inn under kategorien attenuator. Rapporter viser at teoretisk kan det primære grensesnittet oppta 100 % av energien i bølgene [23]. Duck`en demper bølgen nesten fullstendig [24].

Etter som olje krisen gikk over avtok viljen til å gi statlige bevilgninger for å fortsette utviklingen av fornybare prosjekter og "Salter`s duck" ble ikke prioritert. I den senere tid har det vært fornyet økt fokus på fornybare energikilder og stadig nye konsepter vokser frem. I søk etter

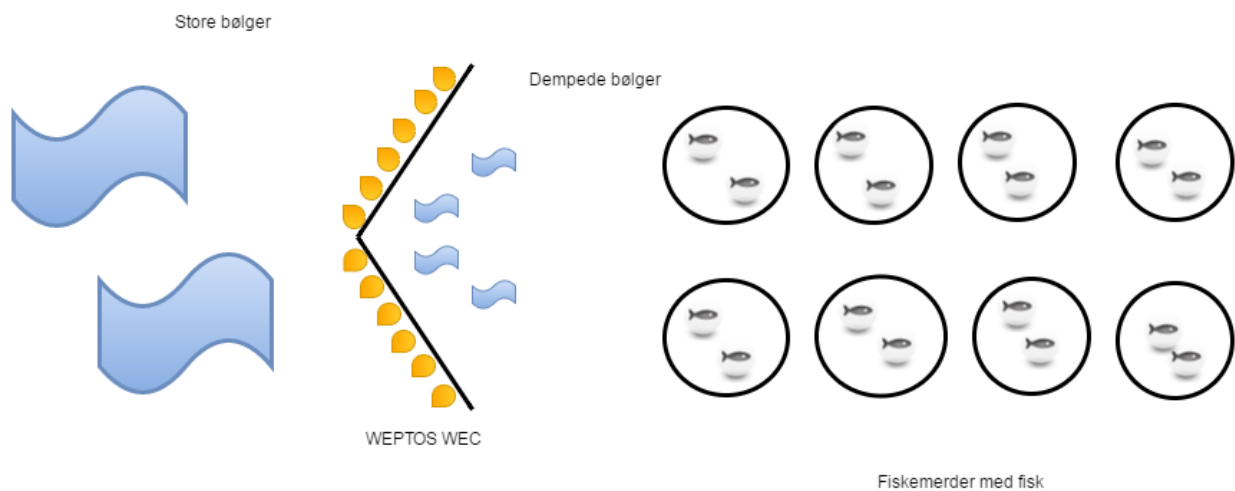


Figur 20: Bilde viser en av de førstetegningene av Salters duck [60]

gode konsepter som kan være gunstig å nytte i forbindelse med oppdrettsanlegg var det særlig ett konsept som vi fattet interesse for. Særlig på grunn av at det er en videreutvikling av "Salter`s duck". Dette konseptet heter Weptos og er et dansk prosjekt. Den opprinnelige "duck`en" nyttet et hydraulisk energisystem, mens det i dette prosjektet nyttes en mekanisk energioverføring.

4.4 Weptos WEC

I prosessen har vi søkt å finne bølgekraftverk som kan gi andre fordeler enn ren energiforsyning. For et anlegg som ligger eksponert til, vil bølgedemping kunne være en ønsket effekt. Dette er en av hovedgrunnene til at vi fattet interesse for Weptos. På bakgrunn av den høye virkningsgraden til Weptos, vil den ta ut størsteparten av bølgebevegelsen. Dette medfører at bak WEC`en vil vannet være rolig. Den vil dermed kunne være en utmerket bølgedemper.

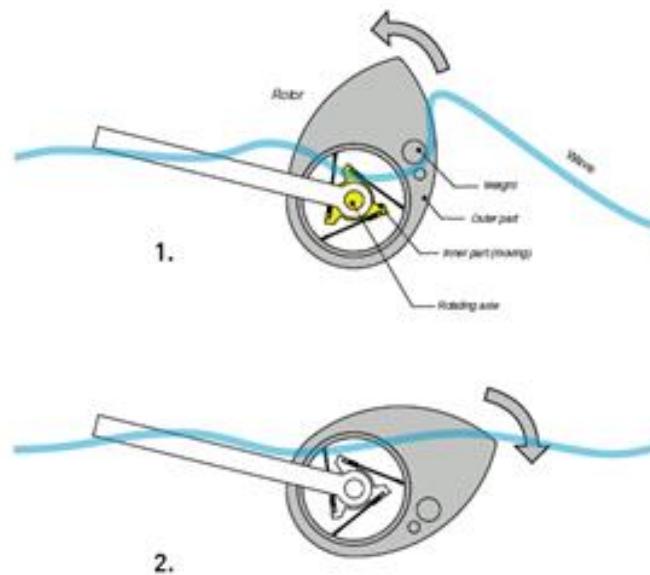


Figur 21: Illustrerer hvordan bølgekraftverk også kan fungere som bølgedemper

Det er gjort utstrakt testing av WEPTOS teknologien i løpet av de siste årene. I januar dette året begynte byggingen av det første fullskala anlegget som skal være klar til drift i september.

Weptosen består av to ben som er sammenkoblet i en ende, og det dannes en vinkel mellom bena. Denne vinkelen kan justeres etter bølgeforholdene for å optimalisere utnyttelsen av bølgene. Vinkelen kan variere fra 13-120 grader. På hvert ben er det 10 rotorer, der 5 og 5 driver en felles aksel. Hele systemet er mekanisk og har derfor en høy effektivitet. Når rotorene skyves opp av bølgene vil den ved hjelp av skralle-prinsippet skyve akselen. Et vektlegeme inne i rotoren vil gjøre at den faller tilbake. Rotorene beveger seg uavhengig av hverandre og gir akselen en konstant og rolig bevegelse. Dette gjør at det kan nyttes standardiserte synkrongeneratorer. Rotorene driver akselen i samme retning både på vei opp og ned noe som gir den enda høyere effekt.

Weptosen er forankret ved ett forankringspunkt noen som gjør at den justerer seg optimalt etter bølgeretningen [25] [26].



Figur 22: Rotoren der rassel-prinsippet som driver akselen vises

4.5 Diskusjon rundt bølgekraft i oppdrettsnæringen

I kapittel 2, om oppdrettsnæringen, ble det satt opp et regnestykke for hvor mye energi anlegget vil ha behov for gjennom et døgn. For å sikre en stabil levering av effekt og tilstrekkelige mengder energi gjennom døgnet bør WEC`en være tilknyttet et batteri. De 2416 kWh som er satt opp som energibehovet representerer et absolutt minimum, om dette ikke kan dekkes inn vil det være vanskelig å kun nytte bølgekraft sammen med batteri som eneste energiforsyning. Dette vil i tilfelle kreve en enorm batteripakke.

Når en skal se på bølgekraft regnes potensiell effekt per meter. Dette betyr at vi må nytte en antatt lengde for å se på hvor mye vi kan ta ut. Her har vi valgt å nytte 100 meter. Virkningsgraden for et bølgekraftverk varierer, men her brukes ofte en erfaringsverdi på 0,25 [5].

Om vi tar for oss de rent teoretiske verdiene og ser på potensialet ved lokalitet 1, kan vi litt forenklet si at 85 % bølgene har et potensialet på 1 kW/m

$$1 \text{ kW/m} \cdot 100\text{m} \cdot 0,25 = 25\text{kW}$$

$$25\text{kW} \cdot 24\text{h} = 600\text{kWh}$$

Dette dekker bare 24,8 % av behovet per døgn. De fleste verdiene her ligger dessuten under 1 kW/m. Ser vi nærmere på dataene vi har mottatt, vil bølgene i noen enkelt tilfeller, kunne levere tilstrekkelig effekt [Vedlegg L]. Derimot vil det være mange flere perioder som produserer langt mindre en de 600 kWh.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Ser vi så på potensialet ved lokalitet 2, og tar utgangspunkt i at 65 % av alle bølger produserer mer enn 5 kW/m, får vi:

$$5kW/m \cdot 100m \cdot 0,25 = 125kW$$

$$125kW \cdot 24h = 3000kWh$$

Dette gir mye bedre grunnlag for å kunne nytte bølgekraft som energikilde. Støttet av batteri som leverer effekt og lagrer energi. Vi har likevel en tilsvarende problematikk med ujevn leveranse av energi, også på denne lokaliteten. Ser vi nærmere på dataene merker vi oss at det også her vil være perioder med for lav produksjon, utdrag fra data i [Vedlegg M]. For å dekke inn den manglende energien med opplagret energi i en batteripakke, vil dette resultere i uhensiktsmessige store batterier

Våre undersøkelser viser at å nytte bølgekraft alene vil være noe ustabil. Å nytte bølgekraft sammen med brenselceller vil gi et mye mer pålitelig energiforsyningssystem.

I samtaler med aktører i bransjen har vi fått kunnskap til andre faktorer som også må belyses i denne sammenhengen.

- Bølgeforshold som er gunstige både for energiproduksjon ved hjelp av bølger og som lokalitet for oppdrettsanlegg.
- Fortøyning, konkurranse om plass på havbunn.
- Sikkerhet i forhold til om WEC sliter seg og kan skade anlegg

Vi har prøvd å undersøke om det allerede er blitt nyttet bølgekraft ved et offshore oppdrettsanlegg.

Marine Harvest planla testing av bølgekraftverk i samband med oppdrettsanlegg, men i frykt for at bølgekraftverk og oppdrettsanlegg skulle komme i konflikt med hverandre, ble ikke testingen gjennomført som planlagt. [27]

5. Brenselceller

5.1 Generelt om brenselceller

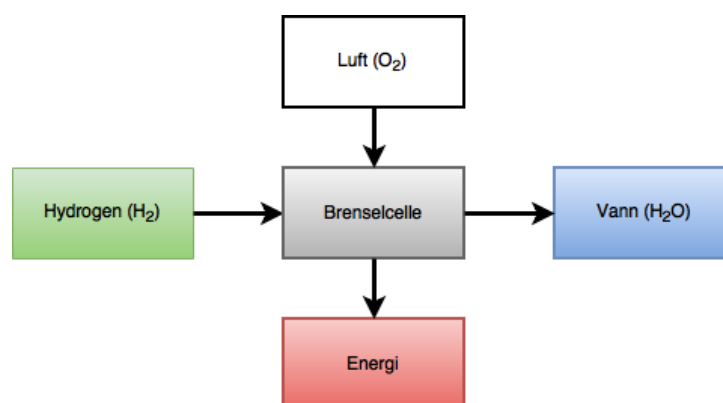
Brenselceller blir sett på som fremtidens energi konverterings enhet, fordi den gir en ren og effektiv mekanisme for energiomforming. Det som gjør det spennende i vårt tilfelle er at den er kompatibel med fornybare energikilder og moderne energibærere som hydrogen (H_2) [28]. Som tidligere nevnt, når oppdrettsanlegget skal ligge på en slik lokasjon er det kostbart eller utelukkende å koble seg til et sentralt strømnnett. Et "Off-grid" anlegg som brenselceller kan være aktuelt.

5.1.1 Litt historie om brenselcellen

Det var den sveitsiske forskeren Christian Friedrich Schönbein som først oppdaget funksjonsprinsippet til brenselcellene i 1838, mens det var den engelske William Robert Grove som var den første til å lage en brenselcelle i 1939. Det viste seg å være vanskelig å få den til å fungere i praksis. Det var ikke før på 1960-tallet at de første brenselcellene kom i bruk. Det var NASA som brukte disse i sitt romprogram Apollo [29].

5.1.2 Hvordan fungerer en brenselcelle

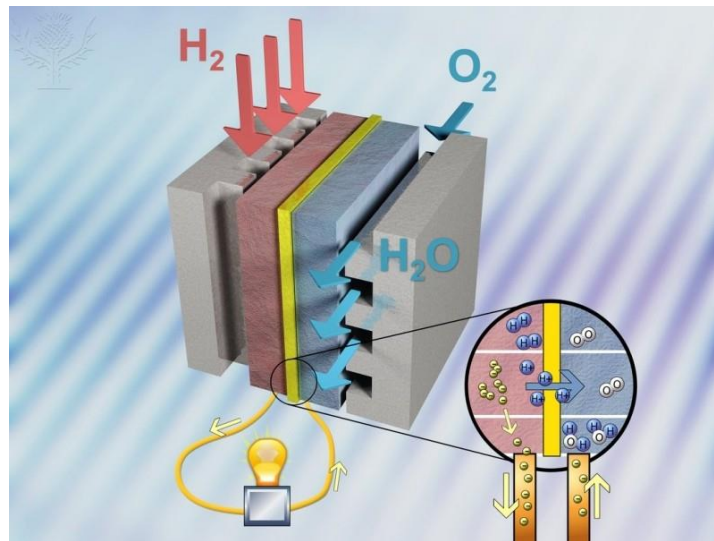
Ved hjelp av kjemisk energi i en elektrokjemisk prosess kan en brenselcelle produsere energi. Den effektive omdanningen av kjemisk energi til elektrisk energi, har gjort at det de siste 20-30 årene er blitt lagt ned store ressurser til forskning og utvikling av brenselceller. Fordelene med en brenselcelle er høy virkningsgrad, som kommer av god utnyttelse av brenselet, og lavt utslipp. Ved å kun nytte hydrogen som brensel vil det eneste utslippet være vann. Brenselcellene blir derfor ofte betegnet som en miljøvennlig og utslippsfri teknologi, men dette forutsetter også at hydrogenet blir produsert og transportert uten utslipp [29] [30]. En annen fordel med brenselcellen er at de er så og si lydløse, om en ser bort i fra pumper ol.



Figur 23: Enkel prinsippkisse av brenselcelle funksjon.

Brenselceller og batterier har omtrent samme funksjonsprinsipp, brenselcellene tilføres kjemisk energi fra en ekstern kilde og batteriene har et lager av den kjemiske energien internt [30]. Begge to har en elektrolytt mellom to elektroder, og begge to bruker en redoksreaksjon for å konvertere kjemisk energi fra brenselet til likestrøm [31].

Det finnes flere forskjellige typer brenselceller, alle er derimot basert på samme prinsipp. Hver celle har to elektroder, en positiv og en negativ, kalt katoden og anoden. Reaksjonene som produserer elektrisitet finner sted ved elektrodene. Elektroner går igjennom en ekstern krets fra anoden til katoden. Hver brenselcelle har også enten en fast eller en flytende elektrolytt som bærer ioner fra en elektrode til den andre, og en katalysator som akselererer reaksjonene på elektrodene. Elektrolytten spiller en nøkkelrolle - den må kun tillate de aktuelle ionene å passere mellom elektrodene. Hvis frie elektroner eller andre stoffer får komme gjennom elektrolytten, vil de forstyrre den kjemiske reaksjonen og redusere effektiviteten til cellen [31].



Figur 24 Brenselcelle prinsipp av PEM og PAFC [32]

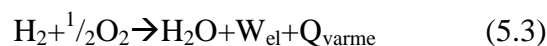
Ved anoden skjer det en oksidasjon:



Og ved katoden skjer det en reduksjon:



Den totale reaksjonen blir da:



[28] [33]

Vi ser ut av den totale reaksjonen at produktet vil bli vann, elektrisk energi og varme. Biprodukter som vann og varme må fjernes kontinuerlig for å opprettholde en best mulig energiproduksjon. Det er derfor veldig viktig med vann- og varmestyring når en skal designe og drifte brenselceller [28].

5.1.3 Cellespenning

Brenselcellene leverer likestrøm, og ut av en enkel celle kan en produsere en spenning på ca. 0,5-0,7 V (E) [34].

Det maksimale elektriske arbeid (W_{el}) som kan oppnås i en brenselcelle, som opererer ved konstant temperatur og trykk, er gitt ved endringen i Gibbs fri energi (ΔG) av den elektrokjemiske reaksjon [35].

$$W_{el} = \Delta G = -nFE \quad (5.4)$$

Vi kan beregne den potensielle celledspenningen (E_0) ved bruk av Gibbs energi. [36]

Vi bruker den såkalte "normal temperatur" (25°C) og trykk (1 bar) for å gjøre beregningene, og finner tallene vi trenger ut av tabell [37].

Vi snur formel 5.4 og får:

$$E_0 = -\frac{\Delta G}{nF} \quad (5.5)$$

Hvor

- E_0 = potensiell celledspenning
- F = 96485 Cmol⁻¹ [38]
- n = 2, siden det er 2 elektroner som blir utløst ved dannelsen av 1 mol vann.
- ΔG = Er forskjellen på Gibbs energien før og etter prosessen.

Så ut av den totale reaksjonen (5.3) kan vi regne ut ΔG

	Ved: p = 1 bar og T = 298.15 K	
	ΔH_f^0 [kJmol ⁻¹]	ΔG_f^0 [kJmol ⁻¹]
H ₂ (g)	0	0
O ₂ (g)	0	0
H ₂ O(l)	-285.82	-237.15

Tabell 3: Termokjemisk tabell [37]

$$\Delta G = \Delta G_f^0(\text{H}_2\text{O}) - \Delta G_f^0(\text{H}_2) - \frac{1}{2} \Delta G_f^0(\text{O}_2)$$

$$\Delta G = -237.15 \text{ kJmol}^{-1} - 0 \text{ kJmol}^{-1} - \frac{1}{2} \cdot 0 \text{ kJmol}^{-1} = -237.15 \text{ kJmol}^{-1}$$

Nå kan vi regne ut den potensielle celledspenningen med ligning (5.5)

$$E_0 = -\left(\frac{-237150 \text{ Jmol}^{-1}}{2 \cdot 96485 \text{ Cmol}^{-1}}\right) = 1.23 \text{ V}$$

Den høyeste elektriske virkningsgraden en hydrogenbrenselcelle kan oppnå ved normalbetingelser er:

$$\eta_{el}^{max} = \frac{W}{Q} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

$$\Delta H = \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}, l) = -285.82 \text{ kJmol}^{-1} = Q$$



$$\eta_{el}^{max} = \frac{-237.15 \text{ kJmol}^{-1}}{-285.82 \text{ kJmol}^{-1}} = 0.83 \rightarrow 83\%$$

Virkelig virkningsgrad:

$$\eta_{el} = \frac{E}{E_0} \cdot \frac{\Delta G}{\Delta H} = E \cdot \frac{nF}{\Delta H} = \frac{2 \cdot 96485 \text{ Cmol}^{-1}}{285.82 \cdot 10^3 \text{ Jmol}^{-1}} \cdot E = 0.68 \text{ V}^{-1} \cdot E$$

Om en celle da har en virkelig spenning på 0.7 V (E) vil den virkelige virkningsgraden være

$$\eta_{el} = 0.68 \text{ V}^{-1} \cdot 0.7 \text{ V} = 0.47 \rightarrow 47\%$$

[33]

Som sagt forutsetter dette normalbetingelsene, men det er sjeldent at dette inntreffer i virkeligheten, vi mener likevel at dette gir en illustrasjon på hvordan det fungerer.

Ønsker en høyere spenning kan en koble flere brenselceller sammen i en serie, dette kalles en brenselcellestack. Overflaten til membranen og tilført brensel, er proporsjonal med produsert strømmengde. Dette gjør det lett å skalere brenselcellene. En får høyere spenning ved å ha flere seriekoblede brenselceller og mer strøm ved større areal [34].

5.2 Ulike prinsipper brenselceller

Det finnes ulike typer brenselceller med forskjellige typer egenskaper. De har forskjellig elektrolyttmateriale, varierer i effekt, har ulik driftstemperatur og drivstoff. Dette gjør at de passer til forskjellige bruksområder [28].

Navnet på cellene kommer av elektrolyttmaterialet som blir brukt i dem. Den som skiller seg ut her er Direct Methanol Fuel Cell (direkte metanol brenselcelle), som har fått navnet sitt fra brenselet. Denne har vi valgt å ikke ta med i denne omgang.

Det er mulig å bruke en rekke typer brensel i cellene. Siden vi i denne oppgaven skal se på fornybare kilder, har vi valgt å se på brensel som hydrogen og biogass. Vi vil likevel nevne at det er mulig å bruke andre typer som for eksempel naturgass, kullgass, CO og andre hydrogenholdige brensel.

Som tidligere nevnt, om vi skal bruke hydrogen som brensel og den skal være fornybar, må den vinnes ut fra fornybare kilder. Hydrogen er en energibærer, ikke en energikilde slik som vind- og bølgeenergi. Hydrogenet må produseres fra en hydrogenholdig forbindelse og finnes ikke fritt i naturen. I vårt tilfelle blir dette biogass og vann. Den reneste måten å vinne ut hydrogen på er ved elektrolyse av vann, dette gir nullutslipp av uheldige gasser som CO og CO₂. Vi vil gå nærmere inn på elektrolyse av vann i delkapittelet 5.2.5.

Biogass blir ansett som en fornybar kilde, den dannes når nytt organiske materialer brytes ned uten tilførsel av oksygen (anaerob utråtning). Dette kan vi finne i for eksempel avfallsdeponier, i gjødselgruver, i slam fra vannrenseanlegg og i magen på drøvtyggere.

Denne prosessen skjer naturlig i naturen, og utslippene som f.eks. CO₂ er allerede en del av fotosyntesen. Gassen blir dermed ikke ansett som et fossilt brensel i motsetning til naturgass. En må dampreformere biogassen for å utvinne hydrogenet. [39].

I noen av brenselcellene er det nok at brenselet inneholder hydrokarboner, de vil da reformerer gassen internt i cellen. Andre brenselceller krever at det kun er hydrogen. Det er også mulig å sette på en reformer før inntaket til brenselet på cellen.

Brenselcelleteknologien er et omfattende tema, vi har av den grunn sett oss nødt til å begrense omfanget og har valgt ut noen brenselceller som vi mener kan være aktuelle for dette formålet. Under her vil vi gi et lite innblikk i de utvalgte brenselcellene.

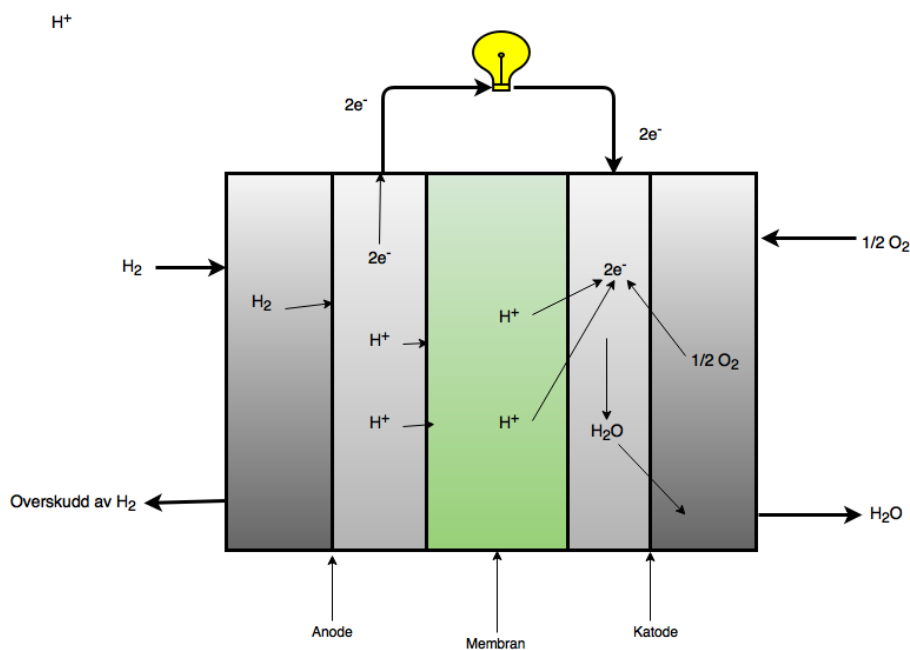
5.2.1 Polymer electrolyte membrane fuel cells / Polymer elektrolytt membran brenselcelle (PEMFC)

Denne brenselcellen har det største bruksområdet og er veldig fleksible. Dette kan virke som den mest lovende brenselcellen, selv om den ennå er på et tidlig utviklingsstadiet. [28]

Vi kan dele denne typen inn to typer, Høy- og lav temperatur PMFC. (HTPEMFC, LTPMFC) [40].

LTPMFC opererer på en lav temperatur under 100°C . Elektrolytten i denne cellen er en sur vannbasert polymer membran og elektrodene er porøst karbon med platinumkatalysator. Er sårbar for forurensinger som CO og andre urenheter, cellen må helst ha rent hydrogen fra elektrolyse. [40] Den har en virkningsgrad på 40-60% [28].

HTPMFC opererer på en mellom temperatur opp til 200°C . Den eneste forskjellen i oppbygningen av denne cellen og LTPMFC, er at den vannbaserte elektrolytten er byttet ut med en mineralsyrebasert. Tåler mer urenheter enn LTPMFC og kan bruke reformert brensel [40]. Denne har en virkningsgrad på 50-60 %, og enda mer om en bruker prosessvarmen [28]. Disse cellene blir mest brukt til mobile enheter som f.eks. biler, og mindre brukt til stasjonære anvendelser. De har rask oppstartstid, høy effektivitet, lav driftstemperatur og enkel og sikker håndtering [28]. De fungerer bra om det er et ujevnt kraftbehov. Har en levetid på ca. 20 år [41].



Figur 25: Skisse av en PEMFC ved bruk av Hydrogen.

Vi ser på Figur 25 at det blir laget positive hydrogenioner ved anoden som blir ført igjennom elektrolytten over til katodesiden.

5.2.2 Phosphoric acid fuel cells / Fosforsyre brenselceller (PAFC)

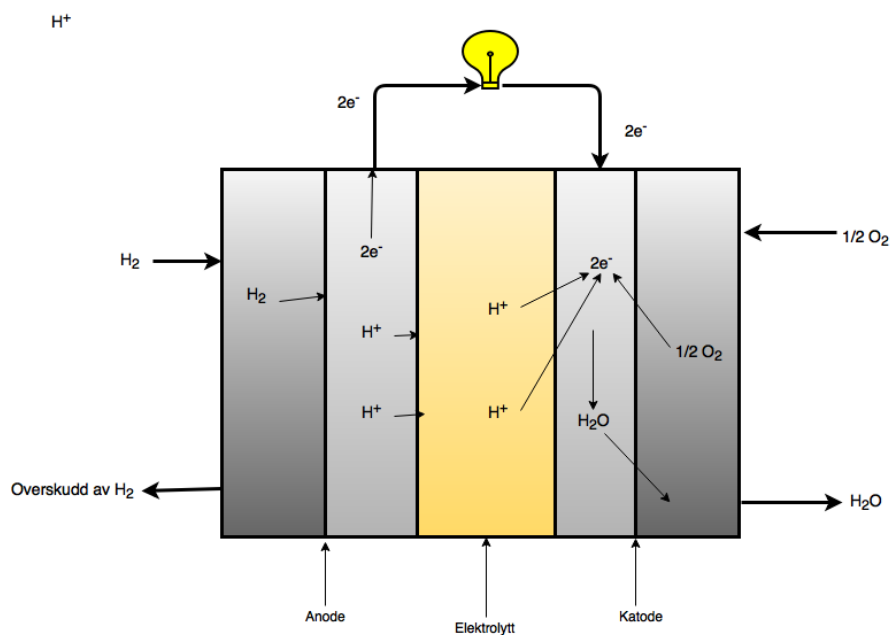
Dette er den første typen brenselcelle som ble kommersialisert, og den mest utprøvde på markedet. Den opererer ved en mellomtemperatur på ca. $150\text{-}220^{\circ}\text{C}$ [35]. Den har en

elektrolytt av flytende fosforsyre som blir holdt på plass av silisiumkarbid. I likhet med PEMFC har også denne en platinum katalysator som er fint spredt på elektrodene (anode og katode) av karbon [42].

Brukes til stasjonære formål og kan leveres med effekt opp i til ca 10 MW [28], men brukes helst i området rundt 100-400 kW [42].

De er veldig motstandsdyktige mot CO forgiftning i motsetning til PEMFC, men har en tendens til å ha lavere effektivitet enn andre brenselceller [35]. De er store og tunge, og krever større mengder edelmetall som katalysator enn andre celler. Kan bruke hydrogen som er reformert fra biogass el. som brensel.

Virkningsgraden er ca. 30-45 % [28] men kan være over 80% om en også nytter prosessvarmen til kraftvarme [42]. Har en levetid på 5-20 år [28].



Figur 26: Skisse av en PAFC ved bruk av Hydrogen.

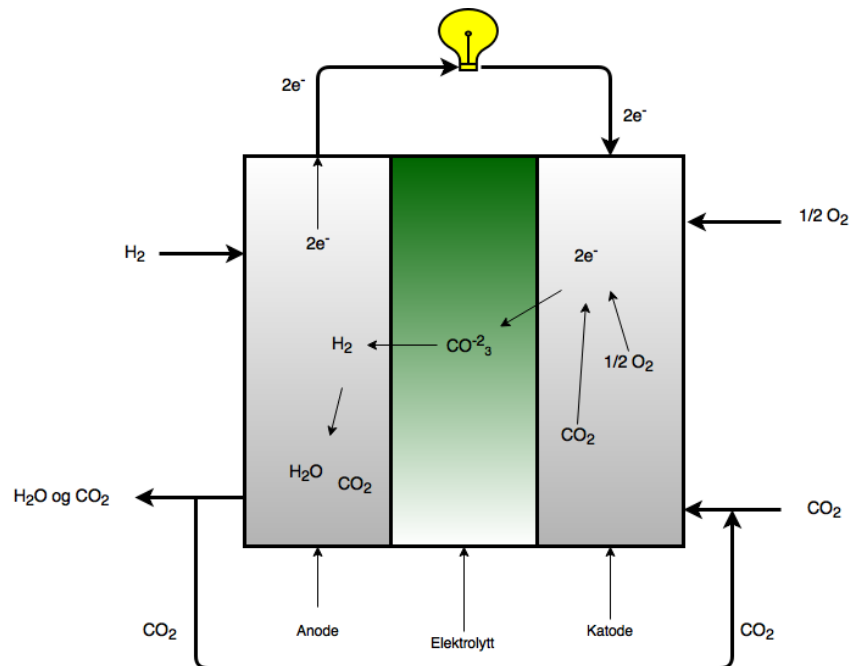
Vi ser på Figur 26 at det blir laget positive hydrogenioner ved anoden som blir ført igjennom elektrolytten over til katodesiden akkurat som på en PEMFC.

5.2.3 Molten Carbonate Fuel Cell, smeltekarbonat brenselcelle (MCFC)

Bruker et smeltet karbonatsalt suspendert i en porøs keramisk grunnmasse som elektrolytt. De saltene som er mest brukt er litium-karbonat, kaliumkarbonat og natriumkarbonat. På grunn av den høye driftstemperaturen øker reaksjonskinetikken dramatisk, det er derfor ikke nødvendig med edelmetallkatalysator. Høy temperatur gjør den også mindre utsatt for karbonmonoksid forgiftning enn lavere temperatur systemer. Denne cellen kan operere på en rekke typer brensel som kull-avlede brenngass, metan eller naturgass. Denne trenger ikke ekstern reformering, men kan reformere gassen inne i cella. Ulempen her er at den er avhengig av CO₂ for å fungere og må mates med CO₂ ved katoden. Det har også vært noen problemer med høy temperatur korrosjon og den korrosive naturen til elektrolytten, men disse kan styres til å oppnå en praktisk levetid. MCFC brukes helst i store stasjonære kraftproduksjoner som trenger mega watt kapasitet.

De har en virkningsgrad på 60 % fra brensel til elektrisitet, men kan oppnå samlet effekt på 80% om en også bruker prosessvarmen [43].

Kan bruke CO som brensel, men har høyest oppnåelig energieffektivitet fra metan til elektrisk effekt i området 250 kW til 20 MW [28].



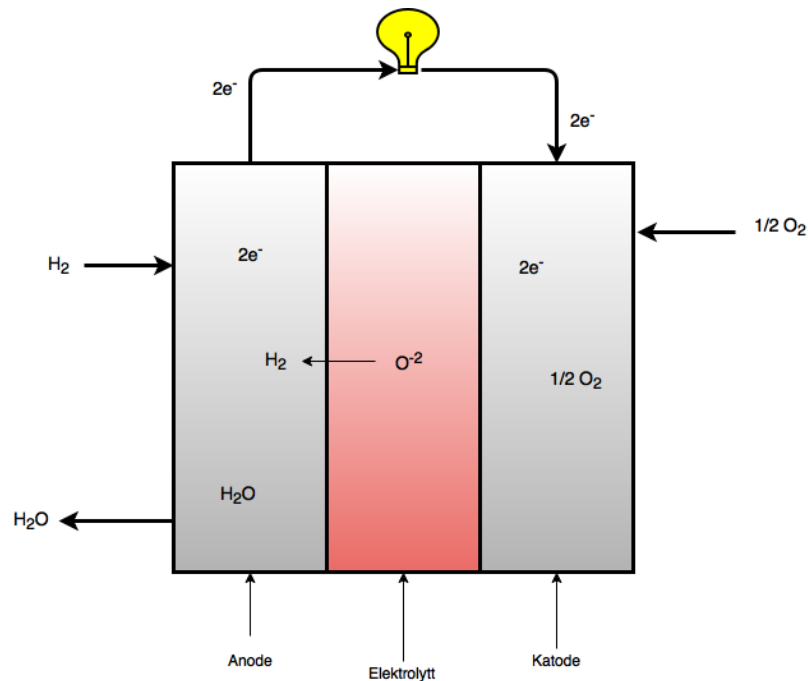
Figur 27: Skisse av en MCFC ved bruk av Hydrogen.

Vi ser på Figur 27 at det i denne cellen blir laget negative karbonationer ved katoden som blir ført igjennom elektrolytten over til anodesiden akkurat som på en.

5.2.4 Solid oxide fuel cell / Fast oksid brenselcelle (SOFC)

Denne brenselcellen er en høytemperaturcelle med en driftstemperatur på 800-1000°C. Brenselcellen kan bruke flere ulike typer brensel som inneholder hydrokarboner dette kan for eksempel være biogass og naturgass. I tillegg kan den bruke hydrogen (H_2) og karbonmonoksid (CO) [44] [30]. Den høye driftstemperaturen i cellen fører til en intern reformering som tar ut hydrokarbonene av biogassen, for så å bruke dette videre som brensel. Ved internreforming kreves det at anoden har en katalytisk effekt på både reformering og elektrokjemisk reaksjon. Det er også mulig å bruke en ekstern reformer. SOFC kan i likhet med MCFC oppnå en effekt på 60 % ved å konvertere drivstoff til elektrisitet, og opp til 80% om en også bruker prosessvarmen [44]. Elektrolytten i en SOFC er fast keramisk oksid, den har ikke en membran (PMFC) eller væske (PAFC). De er motstandsdyktige mot små mengder svovel i brennstoffet, sammenlignet med andre typer brenselceller. En annen fordel med den høye temperaturen er at reaksjonshastigheten øker og fjerner behovet for metallkatalysator. Ulempen med den høye temperaturen er at oppstarttiden er lang og den må lages av robuste, varmebestandige materialer og de må isoleres for å hindre varmetap. Den høye temperaturen gjør også at den ikke er egnet til små mobile enheter [44]. Det er tre forskjellige utforminger av en SOFC, vi vil ikke gå nærmere inn på dette, men bare nevne at det finnes. SOFC brukes mye i store og små stasjonære anlegg, mindre versjoner for lavere effekter er under utvikling [44].

Er best egnet til kraftproduksjon hvor det er viktig å generere pålitelig og jevn effekt [28]. Har en levetid på 5-20 år, og kan levere en effekt mellom 100kW og 100MW (hybrid løsning) [28].

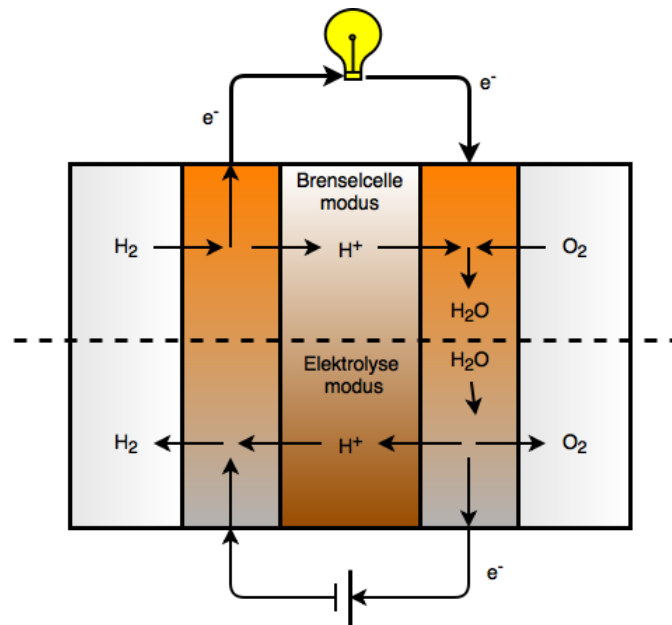


Figur 28: Skisse av en SOFC ved bruk av Hydrogen

Figur 28 viser at i denne cellen vil det bli laget negative oksygenioner på katodesiden som blir ført gjennom elektrolytten over til anodesiden.

5.2.5 Regenerativ brenselcelle

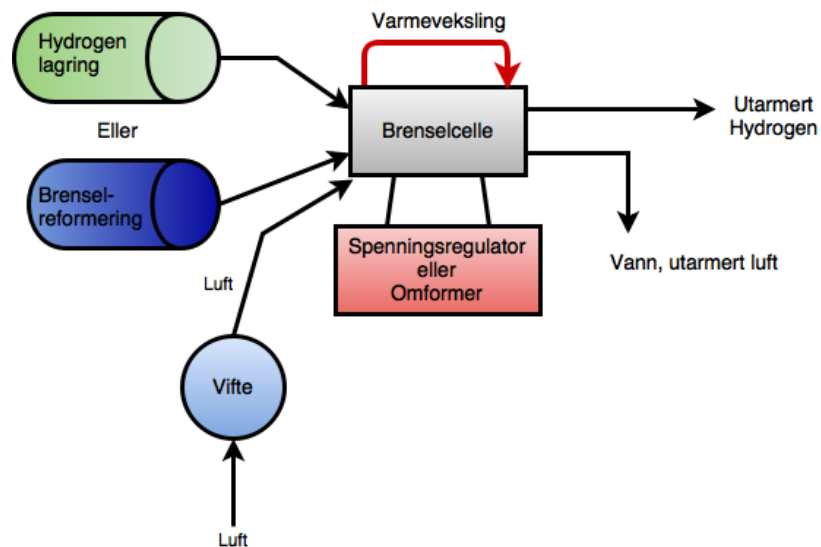
Denne cellen kan kjøres begge veier, dette kalles en regenerativ brenselcelle. Den kan kjøres i "brenselcellemodus" for å produsere strøm, eller den kan kjøres i "elektrolysemodus" for å produsere hydrogen. Hydrogenet kan lagres til senere bruk. Når en skal bruke den i "elektrolysemodus" går prosessen motsatt vei av en vanlig brenselcelle. Ved vannelektrolyse tilfører en elektrisk energi til vannet, vannet vil da spalte seg til hydrogen og oksygen. For at denne metoden skal være miljøvennlig må en bruke f.eks. vind- eller bølgeenergi til å produsere hydrogenet. Hydrogenet kan lagres til senere bruk. Disse cellene er fortsatt på utviklingsstadiet. Denne cellen har en lavere effektivitet enn en ren brenselcelle og elektrolyseenheter. For å ha høyest mulig effektivitet er det å anbefale elektrolyse- og brenselcelle i to separate enheter [45].



Figur 29: Skisse av en regenerativ brenselcelle. Prosessene som skjer i elektrolysemodus er akkurat det motsatt av det som skjer i en brenselcellen. [45]

5.2.6 Balance of Plant (BoP)

Brenselcellen er kjernen i hvert brenselcellesystem, men den trenger ytterligere en rekke komponenter for at den skal virke. Disse komponentene samlet blir kalla BoP. Dette kan være utstyr som pumper, sikkerhetssystemer, brenselbehandling, styringssystemer, omformere, oppstartsbatteri ol. [35]



Figur 30: Forenklet brenselcellesystem

5.3 Diskusjon rundt bruk av brenselceller i oppdrettsnæringen

Oppdrettsanlegg blir utsatt for bølger og det ligger i et korrosivt miljø, dette kan være en utfordring for brenselcellene.

Vi har prøvd å undersøke om det allerede er blitt testet bruk av brenselcelle ved et offshore oppdrettsanlegg.

Det vi har funnet er et pilotprosjekt som skal ha blitt testet på Kollsnes Næringspark noen år tilbake som virker spennende..

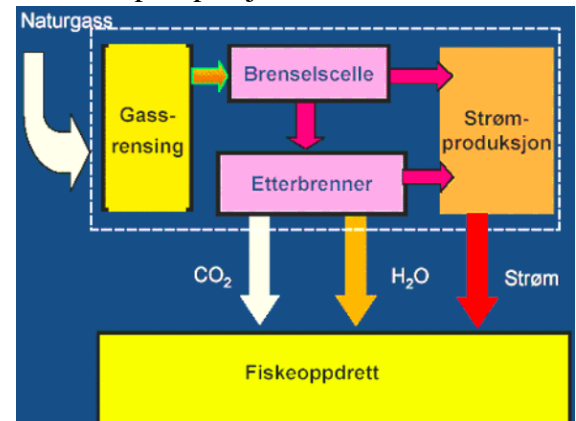
Det skrives i en semesteroppgave fra NTNU fra 2003 om dette pilotprosjektet.

Pilotprosjektet er et samarbeid mellom Siemens Westinghouse, Shell E&P Technology og Shell Hydrogen.

Prosjektet er bygget på prinsippene om bærekraftig utvikling. De vil bruke en brenselcelle som vil produsere elektrisitet på rundt 250 kW, varmt vann og ren CO₂ som skal brukes i fiskeoppdrett. CO₂ og lys skal produsere alger som igjen skal bli brukt til fiskefor. Det oppvarmede vannet vil bli brukt til å gi optimale vekstvilkår for oppdrettsfisken. Dette vil bli nullutslipp, og brenselcellen blir omtalt som

ZESOFCC(Zero Emission Solid Oxide Fuel Cell) [46].

Videre ser det ut for at dette pilotprosjektet ble skrinlagt av tekniske og økonomiske årsaker [47].



Figur 31: Illustrasjon fra NTNU oppgaven om hvordan brenselcellen var tenkt brukt. Dette er en ZESOFCC (Zero Emission Solid Oxide Fuel Cell), med etterbrenner

Vi har så undersøkt litt om det er noen som har testet brenselceller i et maritimt miljø. Det viser seg at det er flere firmaer som har testet dette på båter/skip.

Det ene firmaet er Eidesvik AS, dette er et lokalt rederi på Haugalandet. De var de første som testet ut brenselceller på en av sine handelsskip, Viking Lady. Vi tok kontakt med dem for å høre hvordan de syntes bruken av brenselcellene på skip har fungert. Dette er jo ikke det samme som et oppdrettsanlegg, men det er i et maritimt miljø hvor det er både bølger og korrosive omgivelser.

Vi tok kontakt med Vermund Hjelland som er ”Vice President Technology & Development” hos Eidesvik AS. Han forteller at de nå har tatt ut brenselcellene for planlagt ettertesting i Tyskland. Brenselcellene har virket helt i henhold til forventningene teknisk, og de har synliggjort at en slik teknologi gir en betydelig reduksjon i spesifikt forbruk og utslipp. Dette er jo dokumentert på land, men Eidesvik har nå fått dokumentert at brenselceller også kan anvendes i et maritimt miljø. Hjelland forteller videre at så langt er kombinasjonen pris, vekt og effekt årsaken til at brenselceller ikke kan få et så stort anvendelsesomfang på skip, men han mener at utviklingen går fort på dette området. Han legger også til at det er veldig positivt at brenselceller er gunstige når en kan bruke så mange typer brennstoff. Hjelland mener også at batterier er en selvskreven samarbeidspartner til brenselcellene, dette fordi brenselcellene er kjent for å regulere last veldig sakte (øke og redusere produksjonen).

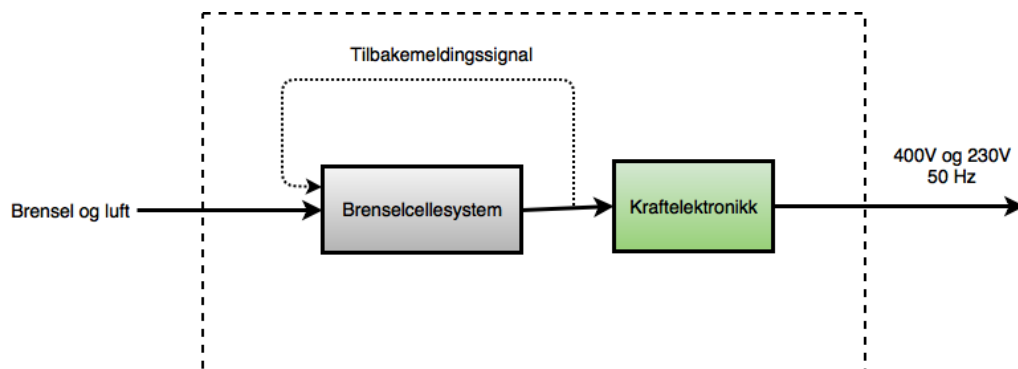
Det er flere måter å bruke brenselcellene på, og det finnes utallige ulike brenselcellesystemer å få kjøpt. Brenselcellesystemene er pakker som leverer en viss mengde effekt, dette tar vi ikke hensyn til i alternativene under, dette er noen en må ta hensyn til ved et senere tidspunkt når en velger å gå til innkjøp av et slikt system.

Vi vil videre se på noen muligheter å sette sammen et brenselcellesystem.

Alternativ 1: Kun bruk av ett brenselcellesystem.

Kun bruk av en brenselcelle som dekker minimumsbehovet på 286 kW.

Doosan Fuel Cell America leverer et brenselcellesystem, *PureCell® Model 400 Fuel Cell System*. er utstyrt med et driftsprogram som automatisk justerer den elektriske utgangen fra brenselcellen for å samsvare med den elektriske etterspørselen av et anlegg. Den vil endre ytelsen 10 kW per sekund når cellen kjøres opp på ønsket etterspørsel, og 20 kW per sekund for å kjøre cellen ned. [Vedlegg N]. Her kommer det jo an på hvilken type brenselcelle en velger å bruke, og om den har mulighet å regulere seg raskt nok til å kunne levere den ønskede effekten til rett tid.



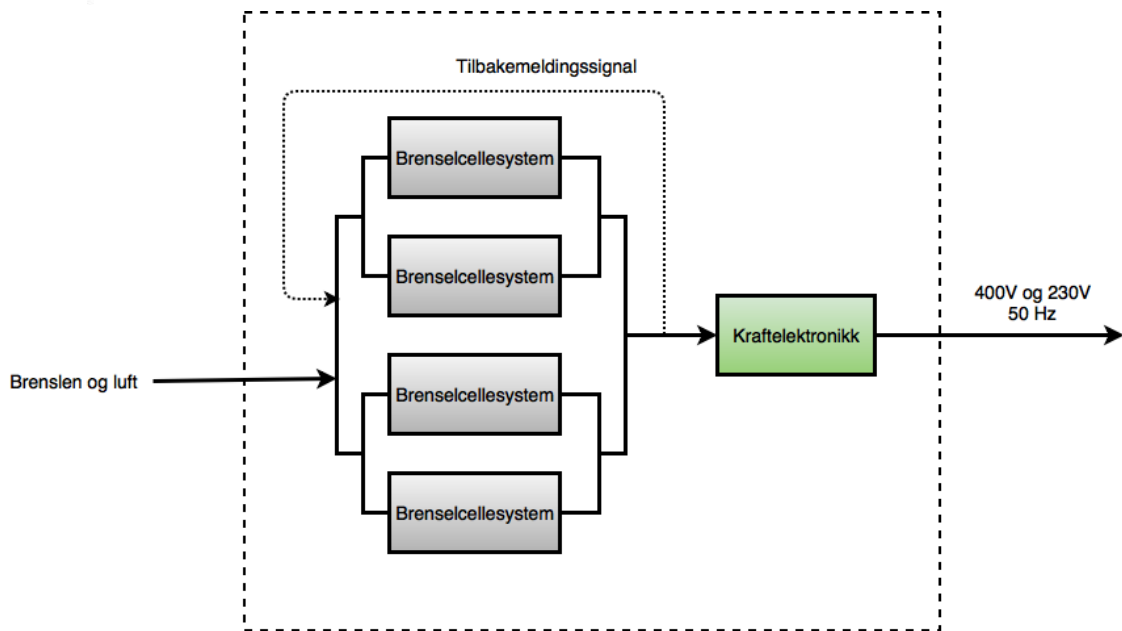
Figur 32: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av et enkelt brenselcellesystem

I dette alternativet vil en ikke ha noe redundans. Redundans er en fordel for å kunne opprettholde drift på viktige komponenter ved vedlikehold eller om noe uforutsett skulle oppstå. Vi vil videre se på muligheter med redundans.

Alternativ 2: Flere brenselcellesystemer koblet sammen.

Det er mulig å sette sammen flere brenselcelle enheter. Vi deler minimumsbehovet på ønsket antall enheter. Dette kan gjøres på flere måter, vi har valgt noen, en kan for eksempel ha 2 stk. på minimum 143 kW stk., en kan ha 3 stk. på minimum 96 kW eller 4 stk. på minimum 72 kW. Her kan en velge mange muligheter, men en må se på hvor mye redundans en ønsker. Her kan en også eventuelt fordele på de ulike operasjonene som blir gjort på anlegget. En for lys, en for mating eller lignende. I dette alternativet kommer det også an på hvilken type en velger og om effektbehovet kan imøtekommes til rett tid.

Dette alternativet er også mulig å kombinere i alternativene under, men vi vil ikke beskrive dette noe mer der.

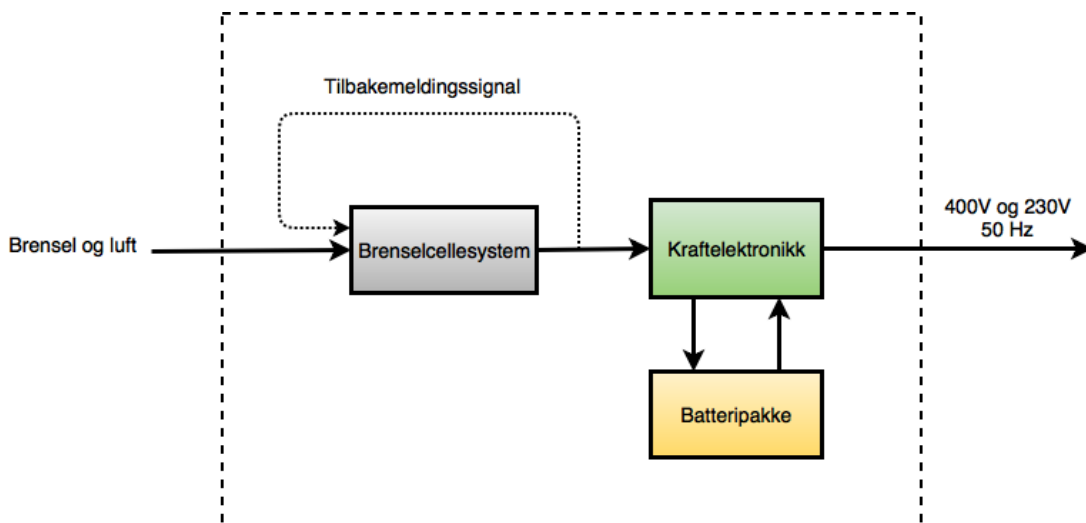


Figur 33: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av flere brenselcellesystemer

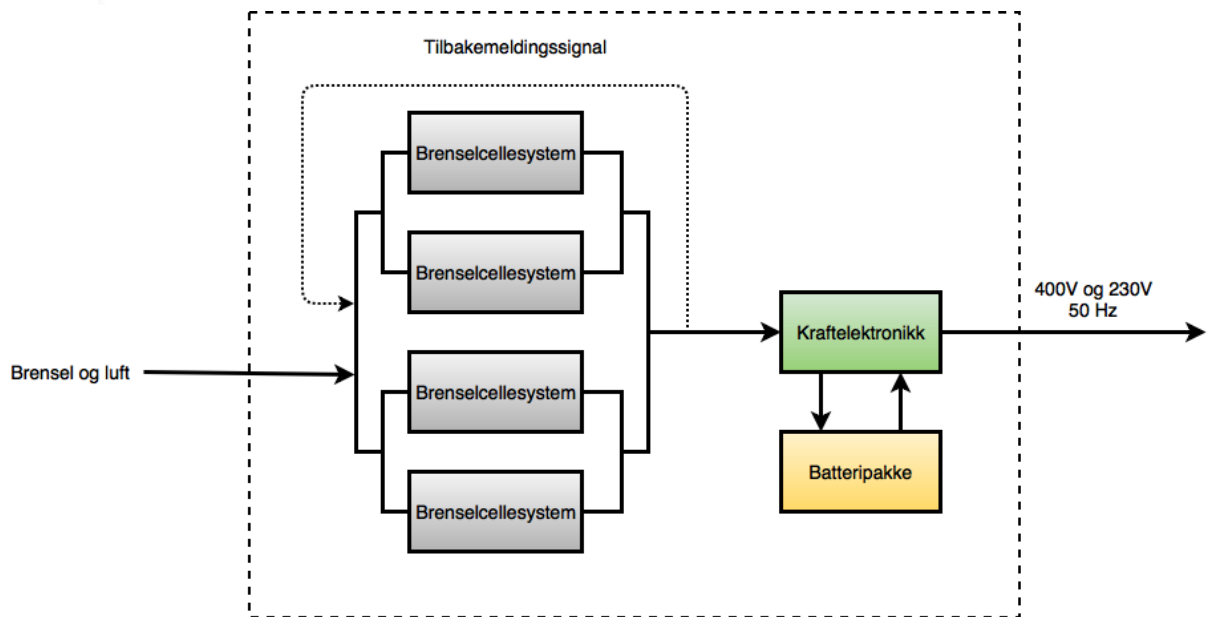
En kombinasjon av brenselceller med batteri kan være en nyttig kombinasjon, vi vil se mer på noen løsninger som viser hvordan en kan kombinere batterier og brenselceller.

Alternativ 3: Ett eller flere brenselcellesystemer koblet sammen med batteripakke.

Om vi lar brenselcellen gå 24 timer i døgnet kan det løses på denne måten. Vi tar det totale energibehovet på 2416 kWh og deler på 24 timer, da vil vi få omtrent 101 kW, dette er effekten brenselcellen minst må levere. Dette dekker derimot ikke behovet på 286 kW som blir brukt de 8 timene under foring, så her må vi ha lagret noe energi i et batteri. Vi tar $(286-101)kW$ og så ganger vi det med 8 timer, da får vi at batteriet må minst kunne lagre en energi på 1480 kWh.



Figur 34: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av ett brenselcellesystem med batteri.



Figur 35: Enkelt blokkdiagram av system ved bruk av flere brenselcellesystem og batteri.

Alternativ 4: Bruke brenselcellesystem kun under foring.

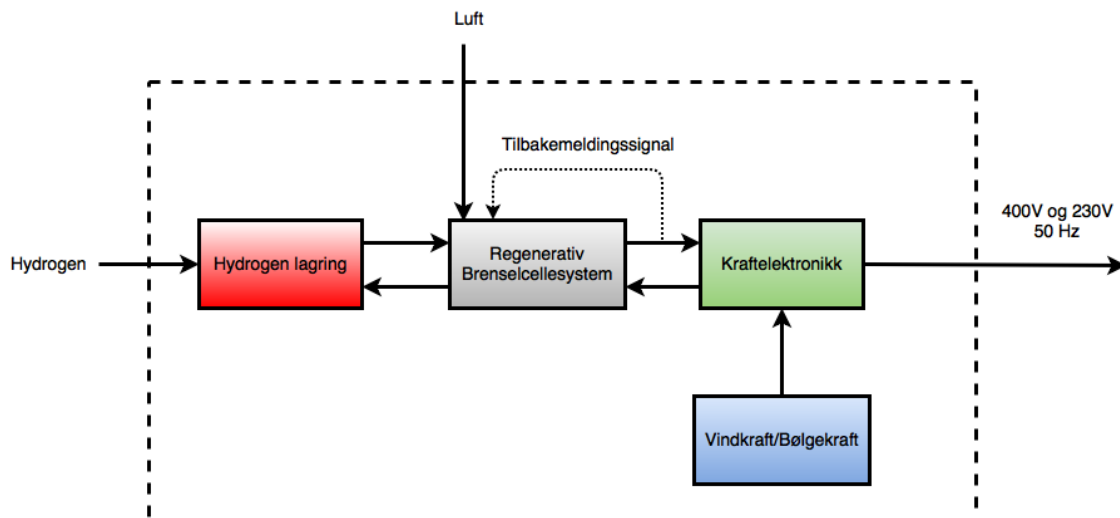
Det er også en mulighet å kun kjøre brenselcellen under foringen. Da kan en lade batteripakken slik at en har energi til de 16 timene når foringen ikke foregår. Da må vi ha en brenselcelle som kan levere $(286+16)\text{kW} = 302 \text{ kW}$. Her må en ha en batteripakke som kan lagre en energi på minst 128 kWh.

Alternativ 5: Bruke brenselcellesystem utenom foring.

Et annet alternativ kan være å kjøre brenselcellen de 16 timene utenom foringen. Vi må her ta det totale energibehovet på 2416 kWh å dele på 16 timer. Vi vil da få et behov for en brenselcelle som kan levere minst 151 kW. For å ha energi til foringen må en ha en batterikapasitet på 286kW ganget med 8 timer som vil gi 2288 kWh.

Alternativ 6: Bruk av regenerativ celle

En kan bruke en regenerativ brenselcelle som kan bruke overskuddsenergien fra bølgekraft eller vindkraft til å lage hydrogen, for så å bruke hydrogenet til å produsere energi til anlegget når ikke vindkraft eller bølgekraften kan levere energi til anlegget.



Figur 36: Enkelt blokkdiagram ved bruk av regenerativ brenselcelle sammen med bølge- og vindkraft

Vi vil belyse fordeler og ulemper ved de forskjellige brenselcellene som har innvirkning på bruken ved oppdrettsanlegget.

SOFC og MCFC har på grunn av den høye temperaturen en kostbar konstruksjon. Dette skyldes at konstruksjonen må tåle varmen og den må isoleres slik at varme ikke går tapt til omgivelsene, eller at noen skader seg på dem. De er også store og tunge. Oppstartstiden på høytemperaturceller er lang. Dersom cellen kun skal gå i perioder kreves det at oppstartsprosessen startet i god tid før effektbehovet trengs, dette ser vi på som ugunstig. Skal en se på muligheten til å bruke disse som en del av en redundant løsning, vil den lange oppstartstiden heller ikke være særlig gunstig. Høytemperaturcellene liker å driftes på en jevn effekt, i dette tilfelle ser vi at det er et veldig ustabil kraftbehov, noe som kan gjøre at disse ikke egner seg. En mulighet her kan være å finne det jevne forbruket, og se om det er mulig å ta av variasjonene med en damp turbin som bruker den varme dampen fra cellene. Fordelen med høytemperaturcellene er at de kan reformere brenselet internt. De er motstandsdyktige mot urenheter, noe som er en stor fordel om en ønsker å bruke biogass som brensel. Ulempen med MCFC er at den må ha karbondioksid for å fungere, dette gjør at den blir utelukket i dette tilfellet.

PAFC og HTPEMFC er brenselceller som driftes på en mellomtemperatur. Disse har noe mindre oppstartstid i forhold til høytemperaturceller, de kan lettere og kjappere regulerer effekten ved varierende forbruk.

De trenger ikke så kostbar konstruksjon og isolering som SOFC og MCFC. Det er ikke mulig å reformere brenselet internt i cellen, men det er mulig å koble til en ekstern reformer. De er heller ikke like motstandsdyktige mot forurensinger som SOFC og MCFC, men tåler noe forurensing. Her er det mulig å bruke prosessvarmen til å varme opp vann og rom i boligdelen/forflåten, dette kan bidra til at effektbehovet kan bli noe lavere. PAFC har noe dårligere virkningsgrad enn PEMFC.

Om en ser på en lavtemperaturcelle som LTPMFC er oppstartstiden kort, den kan lett og raskt regulere effekten ved varierende forbruk, noe vi ser på som en fordel i vårt tilfelle. Denne brukes helst til mobile anvendelser, men vi har forstått det slik at den mer og mer blir brukt til stasjonære anvendelser. Denne er sårbar for forurensninger, og krever høy renhet på hydrogenet.



Når det gjelder valg av brensel har vi oppgitt to typer som kan brukes for at det skal bli en fornybar løsning. Reduksjon av CO₂ utslipp er et viktig argument her. Vi vil slå fast at bruk av rent hydrogen fra elektrolyse av vann er en løsning som er veldig aktuell og fremtidsrettet. Per i dag er bakdelen med dette tilgjengeligheten, kostnad og muligheten for å lagre det på en god og sikker måte. Det er for tiden høy fokus på å forbedre dette.

Ut i fra dette har vi kommet frem til at en løsning med HTPEMFC/LTPMFC i kombinasjon med batteripakke og hydrogen som brensel kan se ut som den beste løsningen. Dette fordi cellen har kort oppstarts og reguleringstid. En kan bruke prosessvarmen til oppvarming ved bruk av HTPEMFC. De er også mer kompakte enn en høytemperaturcellene og har en bedre virkningsgrad enn PAFC.

Vi har tatt med batteripakke fordi vi mener at alternativene med redundante løsninger er de som er best egnet. Dette for at drift av viktige komponenter på anlegget ikke skal stoppe. Vi har i våre beregninger ikke tatt med 100% redundant løsning, dette er noe en må ta stilling til hvor mye en ønsker ved videre vurdering.

Våre beregninger er regnet ut i fra det totale minimumsbehovet og har ikke tatt høyde for eventuelle sikkerhetsfaktorer eller tap. Å installere et slikt anlegg er kostbart, en eventuell fremtidig utvidelse bør muligens tas med i beregningen for kraftbehovet.

Andre faktorer som spiller inn ved valg av løsninger er vedlikehold, størrelse, pris, levetid og behov for opplæring.

CMR Prototech har ett prosjekt gående som kan være aktuelt og spennende i forbindelse med oppdrettsanlegg. Dette er brenselceller som skal kunne installeres på havbunnen, dette er riktignok en SOFC, men om denne løsningen blir aktuell, kan en nok kunne bruke andre typer brenselceller også [48].



6. Batteri

6.1 Generelt om batteriet

I dette kapitlet vil vi se hvordan den energien som produseres kan lagres på en enkel og god måte. Det finnes utallige måter å konservere energi på. En av de mest utbredte og godt utprøvde metodene for energilagring er å bruke batteri, dette gjelder både i industri og i det daglige livet til vanlige mennesker. Dette er også den formen for konservering av energi vi mener er den mest realistiske for vår oppgave. Som vi vil se senere i dette kapitlet finnes det likevel både fordeler og ulemper når en velger å benytte denne formen.

Slik vi ser det er energilagring en av de største utfordringene ved å nytte fornybar kraft produksjon [49].

Det vil i denne oppgaven være vanskelig å se for seg en løsning uten å ta i bruk en lagringsenhet av energien, dette tilfellet batteri. For denne oppgaven mener vi batteriet vil kunne bidra til:

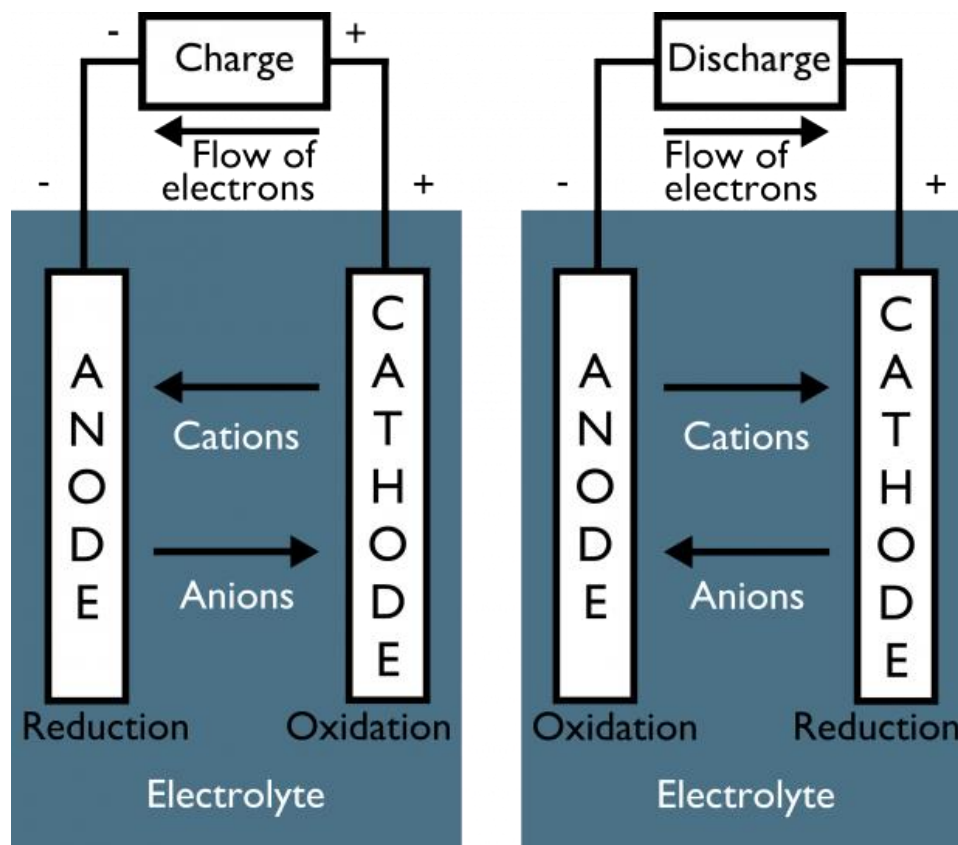
- Jevn energi leveranse.
- Skape stabilitet i systemet ved å motvirke spenningsfall ved oppstart av maskiner.
- Gi rask respons ved skiftende belastninger.
- Bidra med redundans (kan kreve at batteriet har en viss størrelse).

Vi mener videre at batteriet i denne oppgaven vil kunne benyttes i hovedsak til to funksjoner. Dette vil da enten være en "back-up" løsning, for situasjoner hvor de fornybare kildene av ulike grunner vil være hindret i å levere den nødvendige energien som kreves. Eller som en direkte distributør av energien. I det siste tilfellet vil den energien som produseres fra de fornybare kildene ledes direkte til batteriet, hvor batteriet deretter vil forsyne de aktuelle komponentene direkte fra den lagrede energien. Den siste måten beskrevet for bruk av batteriet i dette systemet vil da kunne sikre en jevnere leveranse av effekt til komponentene som skal drives. Det kan se ut som om det er vanskelig å komme bort i fra denne løsningen, nettopp fordi batteriet bidrar med de fordelene som er nevnt innledningsvis i avsnittet.

6.2 Batteriets virkemåte og oppbygning

Som hovedprinsipp vil batteriet lagre den elektriske energien som kjemisk energi i en elektrokjemisk celle (galvanisk celle).

Denne elektrokjemiske cellen består videre av to elektroder med ulike ladninger, anode og katode. I en utladningssituasjon er den ene positivt ladet (katoden), og den andre negativt ladet (anoden), mens i en ladesituasjon vil disse skifte ladning. Det benyttes også en separator mellom disse elektrodene, dette er en elektrolytt som har til oppgave å frakte ioner fra den ene elektroden til den andre. På oppladbare batterier vil denne transporten kunne gå begge veier avhengig av om det foregår en ladning eller en utladning. Ved utladning vil elektronene som løsner ved anode sendes gjennom en ekstern krets, hvor den elektriske energien hentes ut. I en ladesituasjon vil energi tilføres, og elektronene sendes tilbake samme vei [50].



Figur 37: Lade/ utladningsprosess batteri [51]

6.3 Ulike typer batterier

Det finnes veldig mange forskjellige typer batterier. Disse skiller seg fra hverandre med at de innehar ulike egenskaper. Valg av batteri vil derfor tas på bakgrunn av de egenskapene som vektlegges i den aktuelle situasjonen, dette kan være seg vekt, pris, levetid og pålitelighet.

6.3.1 Tilgjengelige typer i skrivende stund

Vi har i denne delen av oppgaven gjort et arbeid med å kartlegge forskjellige typer batterier. På bakgrunn av den store informasjonsmengden tilgjengelig her, har vi valgt å ikke presentere alle disse typene batterier i denne delen av oppgaven. Gjennom den kartleggingen som ble utført, kom vi ganske raskt frem til at de fleste tilgjengelige batteriene på markedet ikke var veldig aktuelle for oppgavens bruksområde. Slik vi ser det vil det eneste reelle batteriet for vårt bruk her være Li-ion batteriet. Dette skyldes den relativt store energimengden vi mener det vil være nødvendig å ha tilgjengelig i batteriet, og at Li-ion muligens vil kunne dekke dette behovet på en tilfredsstillende måte. Av den grunn vil dette være det eneste batteriet som vil bli nærmere beskrevet her i hoveddelen, mens andre typer batterier som vi har kartlagt befinner seg lenger bak i oppgaven som [Vedlegg O]



Litium er det letteste av alle metallene. Det har også visst meget gode elektrokjemiske egenskaper, samt høy energitetthet i forhold til vekten. Videre er Li-ion batteriet et av de absolutt mest utbredte batteriene, og ledende i bruk innen bærbar kommunikasjonsystemer og dataverktøy [52]

Det finnes et bredt utvalg for ulike typer av Li-ion batterier. Felles for de fleste av disse er imidlertid at de har en anode bestående av grafitt, og en elektrolytt som består av en løsning av litiumsalt. Katoden derimot vil kunne bestå av forskjellige typer materialer, alt etter som hvilket av Li-ion batteriene det er snakk om. Katoden kan blant annet bestå av litium metalloksid (eksempelvis LiCOO_2 , LiNiO_2 eller LiMn_2O_2). Det finnes også varianter hvor katoden består av Litium jern fosfat (LiFePO_4), polymer baserte katoder (LiPo) eller ulike typer metaller [52].

Sistnevnte type har også noen spennende typer batterier som er under utvikling, og som viser veldig lovende resultater i forhold til energitetthet og spesifikk energi. Noen av de batteriene vi mener kan være aktuelle i et mer fremtidsrettet perspektiv vil bli behandlet i neste delkapittel.

I denne oppgaven har vi sett oss nødt til å gjøre enda en begrensning i forhold til Li-ion batteriet. Vi kommer ikke til å gå i dybden på de ulike Li-ion typene, men ønsker å behandle Li-ion batteriet på et mer generelt grunnlag. Felles fordeler for de typene batterier som faller inn under samlebetegnelsen Li-ion batterier er:

- Høy spesifikk energi og energitetthet
- Rask respons tid
- Høy virkningsgrad
- Lav vekt

[53]

Li-ion batteriet sliter også med noen utfordringer:

- Krever egen sikkerhetskrets for å opprettholde sikker drift. Denne kretsen bidrar også til å opprettholde konstant spenning i utladningssituasjoner [52].
- Kan være utsatt for aldring, noe som fører til tapte egenskaper. Dette kan oppstå også om batteriet ikke er i bruk [52].
- Relativt høye produksjonskostnader sammenlignet med andre batterier [54].

Tabell 4: Li-ion batteri egenskaper

Type	Spesifikk energi (Wh/kg)	Energitetthet (Wh/L)	Syklisk levetid*
Li-ion	118-250	200-400	2000

[54]

*Med syklisk levetid mener vi her; det antallet lade/-utlade sykluser batteriet tåler før det begynner å miste sine egenskaper. (si noe om egenskapene?). Den sykliske levetiden vil avhenge av flere faktorer, herunder grad av utladning, ofte referert til som DOD, lasten batteriet blir utsatt for (kontinuerlig eller skiftende belastning) og omgivelsestemperatur [55]



6.3.2 Fremtidsrettede batterier

I denne delen av oppgaven vil vi se på noen av de typene batterier som vi finner interessante, men som fortsatt befinner seg på utviklingsstadiet. For to av batteriene i dette avsnittet tar vi utgangspunkt i bacheloroppgaven som ble skrevet for Polytec i 2015. Dette er for å følge opp på utvikling og tilgjengelighet av disse har endret seg. Batteriene det her er snakk om er Li-O₂ og Li-H₂O. Foruten disse vil vi også presentere Li-Sulfur batteriet, dette mener vi også er et spennende fremtidsrettet batteri med mange gode egenskaper.

Som nevnt innledningsvis i dette kapitlet vil det være et stort behov for stadig bedre måter å konservere energi på. Av den grunn er dette et felt som er i kontinuerlig utvikling, som det legges store resurser i forskningen på.

En av de tingene som skiller de batteriene vi her vil presentere, fra Li-ion batteriet, er anode og katode materialene. Som nevnt tidligere har Li-ion batteriet en anode som stort sett består av grafitt, mens felles for alle batteriene i dette kapitlet er at anoden her består av et metallisk material. Katodematerialet vil også variere for de ulike typene batterier.

6.3.2.1 Li-O₂

Dette batteriet kalles populært for Li-air batteriet. Anode av lithium, mens katoden består av oksygen. Ideen bak batteriet er hentet fra Zink-air batteriet og brenselcellen, og deres utnyttning av oksygen [56]

Dette er en batteritype med gode utsikter til høye verdier av spesifikk energi og energitetthet.

Dette batteriet ble omhandlet i nevnte bacheloroppgave. Vi har ikke funnet noe som tilsier at det er kommet lenger enn at det fortsatt er under utvikling. I følge [57] er det enda flere år til at batteriet er tilgjengelig for kommersielt bruk.

6.3.2.2 Li-H₂O

Batteriets anode består av en tynn lithium metallisk film, mens katoden består av vann som det elektrisk aktive materialet. Dette er også et batteri som gir gode lovnader når det gjelder spesifikk energi og energitetthet [58]

Vi har ikke funnet ting som tilsier at dette batteriet har kommet noe lenger i sitt utviklingsløp enn det som ble funnet i den nevnte rapporten. Det kan fortsatt se ut som Polypluss sine batterier fortsatt er de som ligger best an i utviklingen. På nåværende tidspunkt virker det som om dette selskapet holder på med prosessen for å kommersialisere noen av batteriene sine. Vi finner derimot ikke noe tidspunkt for når dette skal være ferdig.

6.3.2.3 Li-S

Som de to batteriene over viser også dette batteriet et stort potensial når det kommer til spesifikk energi og energitetthet. Når det kommer til dette batteriet vil katodematerialet være sulfur, som er et svært rimelig material.



I følge ”Energy and Environmental Science” er også dette batteriet på et tidlig stadium i forskning/ utvikling, og det vil av den grunn være flere år til det er tilgjengelig for kommersielt bruk. [57]

Tabell 5: Egenskaper til ulike typer batterier.

Type	Spesifikk energi (Wh/kg)	Energitetthet (Wh/L)	Ladesykluser
Li-O ₂	2000	-	-
Li-H ₂ O	2660	-	-
Li-S	2567	2800	-

[54], [57]

(Her er det verdt å merke seg at verdiene som er oppgitt i tabellen enten er oppnådd på laboratorium eller så er det teoretiske verdier. Disse verdiene vil da ikke nødvendigvis være representative for de reelle verdiene en vil kunne få ut av batteriene når de engang i fremtiden vil være tilgjengelige.)

Oppsummering:

Selv om dette er batterier som er svært spennende, vil det på nåværende tidspunkt være noen fellesnevnerer knyttet til utfordringene som finnes for batteriene. Felles for alle batteriene som er nevnt i dette avsnittet er at de befinner seg på et svært tidlig stadiet i utviklingen. For flere av dem opplever utfordringer med (dårlig utnyttelse av Li-metallet), høy kostnad, sikkerhets bekymringer, tap av kapasitet. Det arbeides også med å utvikle saltløsninger for elektrolytten som er spesielt tilpasset de ulike batteriene for best mulig utbytte av energien som er lagret i batteriet.

6.4 Valg av batteripakke:

Som nevnt tidligere i oppgaven mener vi at på nåværende tidspunkt vil Li-ion være den eneste aktuelle batteritypen. Etter kontakt med Frode Skaar ved Westcon Power & Automation ble vi også tipset om ulike produsenter av aktuelle produsenter av Li-ion batteripakker.

Ut i fra en kartlegging av disse, og en diskusjon med den andre gruppen som skriver for Unisearch Research Polytec, har vi kommet frem til at Li-ion batteripakkene fra Saft Groupe S.A vil kunne være et godt alternativ for denne oppgaven. Vi har kommet frem til at det kan være en fordel at vi bruker samme produsent av batterier, dette er ment for å gjøre det lettere i forhold til innkjøp, reparasjoner og vedlikehold.

For oppgaven videre har vi valgt å benytte oss av de komplette batteriløsningene som Saft Group S.A tilbyr gjennom sine kontainer løsninger. I disse løsningene inngår de nødvendige systemene som omhandler; sikkerhet, kjøling og styring.

Disse batteripakkene kommer i fire ulike modeller [Vedlegg P] Vi vil senere i oppgaven diskutere hvilke av disse modellene vi mener det kan være gunstig å bruke for de ulike sammensetningene av energisystemer for å på en best mulig måte kunne skape en best mulig løsning for forsyning av energi til oppdrettsanlegget. Herunder er det verdt å nevne at det ikke kun vil være størrelsen på tilgjengelig energi i batteripakkene som vil være nødvendig å ta stilling til, men også hvilke kontinuerlig effekt batteriet kan levere, samt hvilken effekt batteriet kan lades med.



For denne oppgaven har vi valgt en velutviklet løsning, som allerede finnes på markedet. Selv om denne oppgaven er fremtidsrettet, har vi ikke valgt å benytte Li-H₂O batteriet. Dette valget er tatt, selv om dette batteriet muligens kan være tilgjengelig for kommersielt bruk i løpet av nærmeste fremtid, på bakgrunn av at vi ønsker en velprøvd og pålitelig løsning. Vi mener det ofte kan være utfordringer knyttet til nye konsepter, i konseptets første tid på markedet. Vi mener også det vil være gunstig med en kontainer løsning hvor alt er satt sammen til en modul, og at komponentene dermed er tilpasset hverandre.

6.5 Diskusjon rundt batterier i oppdrettsnæringen

Som vi tidligere har vært innpå, vil det være vanskelig å komme utenom å bruke batteri i løsningen for å forsyne oppdrettsanlegget med energi i denne oppgaven.

Vi ser likevel at det vil kunne by på noen utfordringer med dagens tilgjengelige batterier. Slik vi ser det vil de største utfordringene kunne knyttes til de væravhengige energikildene, herunder vind og bølge. Som vi har sett tidligere i oppgaven vil disse kildene kunne utgjøre en svært ujevn energileveranse. Her vil det være to områder som vi mener vil kunne være problematiske:

- 1) Perioder hvor produksjonen er fraværende-/lav. Slike perioder vil kunne kreve svært store batteripakker, målt både i energi (kWh) og i størrelse (vekt/volum).
- 2) Perioder med høy produksjon. Disse periodene vil også kreve store batteripakker for å kunne lagre energien, men de vil også kreve at batteriet har mulighet til å ta imot den tilgjengelige effekten som kildene produserer.

Dette er imidlertid noe vi vil behandle nærmere i kapitel 7.

Vi har tidligere i oppgaven sett at hydrogenet i brenselcellen omtales som energibærer, ikke energiskaper. Vi mener da at kombinasjonen brenselcelle og batteri vil kunne gi en stor fordel i å sikre en jevnere og stabil energileveranse. Det vil også kunne være mindre utfordrende å finne en batteripakke som tilfredsstillende tilgjengelig energi, samtidig som den har muligheten til å ta imot den energien brenselceller leverer.

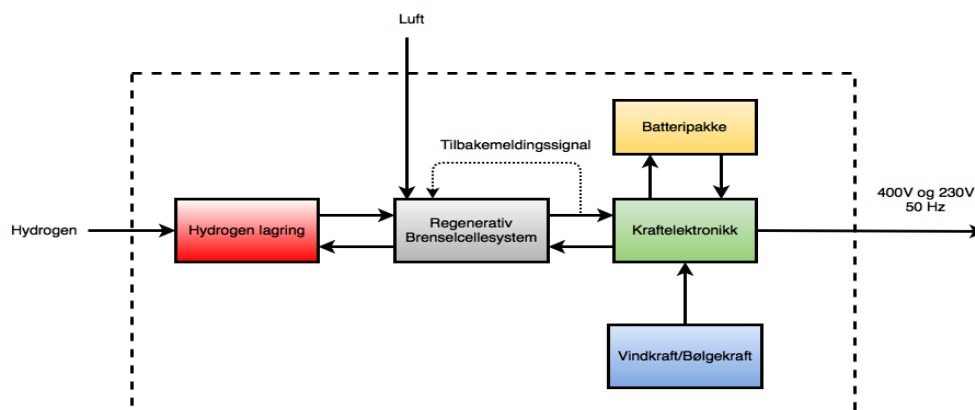
7. Diskusjon rundt alternative løsninger

Gjennom rapporten har ulike konsepter for fornybare energiforsyning blitt presentert, og det er gjort analyser og beregninger for å finne kapasiteten til disse. Når det gjelder vindturbin og bølgekraft ser vi at begge konseptene har potensialet til å kunne dekke energibehovet på lokaliteter der forholdene er gode. Det vil uansett være behov for batterikapasitet for å oppnå dette, samt til å lagre et eventuelt overskudd av energi som produseres. Det som allikevel kommer klart frem ved analyse av tallmaterialet er at energiproduksjonen vil være ujevn, og at periodene med for lav eller ingen produksjon vil være lange. Utfordringen her er at med dagens batterikapasitet, vil dette resultere i veldig store batteripakker, som gjør at denne løsningen er utelukket. Den store utviklingen rundt batterier vil allikevel gjøre at dette kan være mulig som en fremtidig løsning, men da må batteripakkene bli mindre.

Slik gruppen har vurdert det vil brenselceller være den beste løsningen om det skal velges en av de konseptene vi har sett på. Ved å nytte brenselceller er det flere løsninger å velge mellom. Felles for alle disse er imidlertid at de vil kunne garantere en jevn og stabil leveranse for å dekke det nødvendige energibehovet gjennom døgnet. I delkapittel 5.3 blir det gitt eksempler på ulike alternativer ved bruk av brenselceller, både med og uten batterikapasitet. Vi mener at alternativ 3 er den beste løsningen her. I rapporten er det foretatt beregninger på en løsning for størrelse på brenselcellen og batteripakken, men her kan en øke størrelsen på brenselcellen og reduser batteripakken for å tilpasse løsningen. Det foreslås at en løsning med en HTPEMFC eller LTPMFC er det beste valget for type brenselcelle. Dette fordi de er mer kompakte enn SOFC og MCFC, og har bedre virkningsgrad enn PAFC. Om en velger HTPMFC kan enn også få nytte prosessvarmen. Disse har også en rask responstid som kan være en fordel.

Ved å nytte brenselceller som et alternativ, må brensel som brukes defineres som fornybart. Gruppen anbefaler at hydrogen fra elektrolyse er det brenselet det bør satses på. Det skjer mye omkring produksjon av hydrogen om dagen og det er i stor grad fornybar produksjon som står på agendaen.

Gruppen mener også at det her vil være en mulighet for å nytte overskuddsenergien fra bølge- og vindkraft til produksjon av hydrogen til bruk i dødperioder. Alternativ 6 i kapittel 5.3 vil være et mulig alternativ. Her brukes det en regenerativ celle som både kan produsere hydrogen og energi ved å ”svitsje” om. En annen mulighet kan være å bruke en todelt løsning med elektrolyse og brenselcelle. Denne produksjonen kan da enten foregå på selve anlegget, eller på en annen lokalitet.



Figur 38: Enkelt blokkdiagram som illustrerer en løsning med både brenselcelle og vind/bølgekraft



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Løsningene vi har sett på er noe fremtidsrettet, men det gjøres stadig store fremskritt på brenselcelle og batteriteknologi. Gruppen ser også at prosjekter innen bølge og vindkraft stadig er under utvikling. Det er kostbart å installere og ikke minst prøve ut ny teknologi. Det finnes enn rekke ulike støtteordninger for slike prosjekter. Vi undersøkt litt og har funnet at Enova, Innovasjon Norge, Skattefunn og Forskningsrådet er noen instanser som har støtteordninger til utvikling og pilotprosjekter. Gruppen har ikke gått inn på hver enkel ordning, men for eventuelt videre arbeid kan det være lurt å sjekke ut disse.



8. Konklusjon

Gjennom rapporten har gruppen presentert ulike konsepter for fornybar energiproduksjon og undersøkt om det er mulig å nytte disse til å forsyne oppdrettsanlegg med energi. Det gruppen har kommet frem til er at konsepter som nytter bølger eller vind til å omdanne energi vil være ustabile og det knyttes noen utfordringer til at de alene kan oppfylle krav og behov som må innfris. Slik gruppen ser det vil brenselceller være det konseptet som på en best mulig måte vil kunne gi en jevn og stabil overføring av effekt. Batterier som effektleverandør og redundans vil etter gruppens vurderinger gi den mest optimale løsningen. En kombinasjon med brenselcelle, vind- og/eller bølgekraft er også en mulighet.

Rapporten viser at det er godt mulig å nytte fornybare energikilder til å forsyne oppdrettsanlegg med energi. Gruppen mener at det er viktig å satse på fornybare løsninger og bidra til å drive utviklingen fremover. Dette vil gi oppdrettsnæringen en fremtidsrettet og miljøvennlig profil.

Det som er viktig å presisere er at det ikke er tatt hensyn til problematikk som plassering av relativt store komponenter på forflåte, fortøyning av bølgekraftverk og /eller plassering av vindturbin. Det er heller ikke gjort vurderinger av de økonomiske rammene rundt et slikt prosjekt. Dette er elementer som kan gi grunnlag for videre arbeid.



Referanseliste

- [1] Aftenposten. [Internett]. Available: <http://www.aftenposten.no/okonomi/Norsk-oppdrettslaks-setter-nye-rekorder-i-utlandet-8305097.html>. [Funnet April 2016].
- [2] A. H. B. H. N. K. o. D. M. Edgar Hovland (redaktør), Norges fiskeri og kysthistorie, bind 5: Havbruk, Bergen: Fagbokforlaget, 2014.
- [3] Norsk sjømatråd, «Laksefakta,» Norsk sjømatråd, Januar 2016. [Internett]. Available: <http://www.laksefakta.no/Norsk-havbruk/Laks-i-havbruk/Les-mer-om/Laks-dominerer-i-havbruk>. [Funnet Mars 2016].
- [4] J. Kaldellis og M. Kapsali, «Shifting towards offshore wind energy—Recent activity and future development,» *Energy Policy*, pp. 136-148, Februar 2013.
- [5] G. (. Boyle, *Renewable energy : power for a sustainable future (3rd ed).*, Oxford: Oxford University Press., 2012.
- [6] <https://whotaughtyouscience.wordpress.com/2013/01/17/why-is-it-always-windy-at-the-seaside/>.
- [7] NVE, Enova, Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Multiconsult, «Miljøkonsekvenser,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/vindkraft/miljokonsekvenser>. [Funnet Januar 2016].
- [8] Y. Yang og D. Leung, «Renewable & Sustainable Energy Reviews,» *Wind energy development and its environmental impact: a review*, pp. 1031-1039 , Oktober 2012.
- [9] Enova, «<http://www.enova.no/innsikt/rapporter/etablering-av-vindkraft-i-norge/uten-enova---ingen-vindkraft-i-europas-beste-vindland/uten-enova---ingen-vindkraft-i-europas-beste-vindland/869/1872/>,» [Internett]. [Funnet Mars 2016].
- [10] NVE, Enova, Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Multiconsult, «Vindkraft,» [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/vindkraft/>. [Funnet Februar 2016].
- [11] M. D. Esteban, J. J. Diez, J. S. López og V. Negro, «Why offshore wind energy?,» *Renewable Energy*, p. 444–450, Februar 2011.
- [12] E. Hau, *Wind Turbines; Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, München: Springer, 2012.
- [13] P. Korovkin, *Mobile offshore wind turbine, Masteroppgave*, Stavanger: Universitetet i Stavanger, 2012.
- [14] «Wind power program,» [Internett]. Available: <http://www.wind-power-program.com/popups/powercurve.htm>.
- [15] «What is Wind energy?,» [Internett]. Available: <http://www.pluginindia.com/whatiswindenergy.html>.
- [16] N. N.-G. W. C. S. T. N. I. A. E. B. Shahizare, «Novel investigation of the different Omni-direction-guide-vane angles effects on the urban vertical axis wind turbine output power via three-dimensional numerical simulation,» *Energy Conversion and Management*, p. 206–217, Januar 2016.
- [17] A. Shires, «Design optimisation of an offshore vertical axis wind turbine,» *Proceedings of the ICE - Energy*, pp. 7 - 18, Februar 2013.
- [18] S. Eriksson, H. Bernhoff og M. Leijon, «Evaluation of different turbine concepts for wind power,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1419-1434, Juni 2008.



- [19] J. N. S. John Dalsgaard Sørensen, *Wind Energy Systems: Optimizing design and construction for safe and reliable operation*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [20] NVE, Enova, Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Multiconsult, «Bølgekraft,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/nye-teknologier/bolgekraft>. [Funnet Februar 2016].
- [21] R. Borenius, «Kombinert vind og bølgekraft,» NTNU, 2015.
- [22] M. L. Simon Lindroth, «Offshore wave power measurements- A review,» Elsevier, 9 Desember 2011. [Internett]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003704> . [Funnet 15 Februar 2016].
- [23] A. P. M. S. B. Drew, «A review of wave energy converter technology,» University of Bath, 2009.
- [24] G. Sidèn, *Fornybar energi*, 2 red., Studentlitteratur, 2015, p. 276.
- [25] J. P. K. T. L. Arthur Pecher, «Design Specifications for the Hanstholm WEPTOS WEC,» *Energies*, April 2012.
- [26] T. Larsen, «Weptos,» Weptos, 2016. [Internett]. Available: <http://www.weptos.com/technology/>. [Funnet Februar 2016].
- [27] C. AADLAND, «Tester ut bølgekraft ved oppdrettsanlegg,» 25 09 2015. [Internett]. Available: http://syslagronn.no/2015/09/25/syslagronn/tester-ut-bolgekraft-ved-oppdrettsanlegg_61750/. [Funnet april 2016].
- [28] M. F. O. Omar Z. Sharaf, «An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications,» pp. 810-853, April 2014.
- [29] NVE, Enova, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge/Multiconsult, «Brenselceller,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/brenselceller>. [Funnet Februar 2016].
- [30] NVE, Enova, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge, Multiconsult., «Brenselcelleteknologier,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/brenselceller/brenselcelleteknologier/brenselcelleteknologier>. [Funnet Januar 2016].
- [31] Fuelcelltoday, «Fuellcelltoday,» [Internett]. Available: <http://www.fuelcelltoday.com/about-fuel-cells/introduction>. [Funnet Februar 2016].
- [32] I. c. E. G. P. L. / U. I. Group.
- [33] R. C. Dorf, *THE Engineering HANDBOOK*, Second Edition red., CRC Press LLC, 2005, pp. 77-1 - 77-20.
- [34] NVE, Enova, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge, Multiconsult., «Hvordan fungerer en brenselcelle?,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/brenselceller/hvordan-fungerer-en-breselcelle>. [Funnet Februar 2016].
- [35] I. EG&G Technical Services, «Fuel Cell Handbook (Seventh Edition),» U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory, November 2001. [Internett]. Available: <https://www.netl.doe.gov/File%20Library/research/coal/energy%20systems/fuel%20cells/FCHandbook7.pdf>. [Funnet Mars 2016].
- [36] B. Pedersen, «Gibbsenergi,» [Internett]. Available: <https://snl.no/gibbsenergi>. [Funnet



Februar 2016].

- [37] G. R. a. Y. Mayhew, *Thermodynamic and Transport Properties of fluids, SI units, fifth editions red.*
- [38] Ø. Grøn, «Faradaykonstanten,» [Internett]. Available: <https://snl.no/faradaykonstanten>. [Funnet Februar 2016].
- [39] NVE, Enova, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge, Multiconsult., «Produksjon,» [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/hydrogen/produksjon>. [Funnet Mars 2016].
- [40] Fuelcelltoday, «PEMFC,» [Internett]. Available: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pemfc>. [Funnet Mars 2016].
- [41] H. Corporation, «Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform,» [Internett]. Available: <http://www.hydrogenics.com/docs/default-source/default-document-library/fuel-cell-megawatt-power-plant-platform.pdf?sfvrsn=0>. [Funnet April 2016].
- [42] Fuelcelltoday, «PAFC,» [Internett]. Available: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pafc>. [Funnet Mars 2016].
- [43] Fuelcelltoday, «MCFC,» [Internett]. Available: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/mcfc>. [Funnet Mars 2016].
- [44] Fuelcelltoday, «SOFC,» [Internett]. Available: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/sofc>. [Funnet Mars 2016].
- [45] S. Møller-Holst, «Brenselceller, framtidens energiomvandler,» 6 Februar 2010. [Internett]. Available: http://www.material.ntnu.no/elektrokjemi/energi/fuel_cells/#regenerative. [Funnet April 2014].
- [46] C. R. H. R. T. Jon Thomas Hogstad, «Brenselcelleteknologi Ulike teknologier, prosjekter og kostnader,» November 2003. [Internett]. Available: <http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/oppgaver/Oppgaver2003/03HogstadReiteThune.pdf>. [Funnet April 2016].
- [47] I. T. M. o. e. Helge Skjæveland, «Ny teknologistrategi for norsk sokkel?,» 27 August 2015. [Internett]. Available: <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?d=Touch&blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=+attachment%3B+filename%3D%22SESJON1HelgeSkjæveland.pdf%22&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1274506976455&ssbinary=true>. [Funnet April 2016].
- [48] C. C. M. Research, «Clean Highly Efficient Offshore Power Clean Highly Efficient Offshore Power (CHEOP),» [Internett]. Available: <http://cmr.no/projects/10454/clean-highly-efficient-offshore-power-cheop/>. [Funnet Mars 2016].
- [49] b. T. N. C. W. Y. C. T. Y. L. Y. D. Haisheng Chena, «Progress in electrical energy storage system: A critical review,» *Progress in Natural Science*, p. 291–312, Mars 2009.
- [50] S. I. S. J. L. Pollet Bruno G., «Current status of hybrid, battery and fuel,» *From electrochemistry to market prospects*, p. 235–249, Desember 2012.
- [51] <http://storage4.eu/2013/03/rechargeable-battery-diagram-convention/>.
- [52] C. C. S. L.-M. D. Miranda, «Lithium ion rechargeable batteries: State of the art and future needs of microscopic theoretical models and simulations,» *Journal of*



Electroanalytical Chemistry, pp. 97-110, Februar 2015.

- [53] J. W. M. D. J. C. Xing Luo, «Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation,» *Applied Energy*, p. 511–53, Januar 2015.
- [54] C. W. T. Siang Fui Tie, «A review of energy sources and energy management,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 82-102, 2013.
- [55] B. University, 2 April 2016. [Internett]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries. [Funnet Mars 2016].
- [56] B. University, 21 Februar 2016. [Internett]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries. [Funnet Mars 2016].
- [57] R. Younesi, G. Veith, P. Johansson, K. Edström og T. Vegge, «Lithium salts for advanced lithium batteries: Li–metal, Li–O₂, and Li–S,» *Energy and Environmental Science*, pp. 1905-1922, 2015.
- [58] M. W. C.C. Cook, «Ceramic/polymer solid electrolyte based lithium water primary battery,» *Electrochimica Acta*, p. 778–783, Februar 2013.
- [59] Fiskeridirektoratet, «Barentswatch,» 3 Mai 2012. [Internett]. Available: <https://www.barentswatch.no/Tema/Fiskeri-og-havbruk/Akvakultur/Norsk-oppdrettsnaring/>. [Funnet Mars 2016].
- [60] http://www.design-technology.info/inventors/_wp_generated/ppb6413bc4.png.
- [61] http://www.classroom-energy.org/energy_09/images/quicktour_3_16.gif.
- [62] NVE, Enova, Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Multiconsult, «Uten Enova - ingen vindkraft i Europas beste «vindland,» [Internett]. Available: <http://www.enova.no/innsikt/rapporter/etablering-av-vindkraft-i-norge/uten-enova---ingen-vindkraft-i-europas-beste-vindland/uten-enova---ingen-vindkraft-i-europas-beste-vindland/869/1872/>. [Funnet Mars 2016].
- [63] <http://www.enercon.de/home/>.



Vedleggsliste

- Vedlegg A: Effektbudsjett, Steinsvik Maskin
- Vedlegg B: Produkt ark vindturbin E-53
- Vedlegg C: Utdrag vinddata lokasjon 1
- Vedlegg D: Prosentvis vindretning, lokasjon 1
- Vedlegg E: Utdrag av tabell som viser perioder med tilstrekkelig energiproduksjon, lokasjon 1
- Vedlegg F: Utdrag av tabell som viser perioder med tilstrekkelig energiproduksjon, lokasjon 1.
- Vedlegg G: Utdrag av tabell som viser perioder med tilstrekkelig energiproduksjon, lokasjon 2
- Vedlegg H: Prosentfordeling bølge, lokasjon 1 og 2
- Vedlegg I: Eksempler på Terminator
- Vedlegg J: Eksempler på Attenuator
- Vedlegg K: Eksempler på Point Absorber
- Vedlegg L: Utdrag av tabell som viser tilstrekkelig energiproduksjon, lokasjon 1.
- Vedlegg M: Utdrag av tabell som viser tilstrekkelig energiproduksjon, lokasjon 2.
- Vedlegg N: Doosan Fuel Cell America, Inc. PureCell® Model 400 Fuel Cell System
- Vedlegg O: Ulike typer batteri
- Vedlegg P: Produkt ark batteri Intensium Max

Vedlegg A:



Effektbudsjett foringssystem/flåte

Prosjektnummer:	- 10025	Kunde:	HSH Student
Prosjektnavn:	INT Flåter - (stitt)	Kontaktpers.:	
Lokasjon:	FOR STUDENTOPPGAVE	Land:	Norge
Adresse:		Dato:	3. februar 2016
Sted:	FØRRESFJORDEN	Rev.:	

Strømforsyning:	Generator	Trafo:	
Nettsystem om bord:	TN-C-S 400V		
Spenning:	400 50 Hz	Beregnet av:	RA

Foringsanlegg GMT:

Lasttype	Antall	cosφ	Effekt (kW)	Samtidighet	Tot. Effekt (kW)	Spenning (V)	Dim. effekt (kVA)	Strøm (A)
Blåsere:	4	0,9	30	1	120	400		192,5
Blåsere:	4	0,9	22	1	88	400		141,1
PLS Skap generell belastning	4	0,9	1,5	1	6	400		9,6
Sluser	8	0,9	1,1	1	8,8	400		14,1
Skruer	16	0,9	1,1	0,5	8,8	400		7,1
Sum effektbehov foringsanlegg (korrigert for samtidighet):							252	364,4

Kontrollrom

Lasttype	Antall	cosφ	Effekt (kW)	Samtidighet	Tot. Effekt	Spenning (V)	Dim. Effekt (kVA)	Strøm (A)
PC	3	0,9	0,5	1	1,5	230		7,2
Flexibridge	1	0,9	0,3	1	0,3	230		1,4
	0	0,9	0,3	0,3	0	230		0,0
Annet	0	0,9	0	0,6	0	230		0,0
Sum effektbehov kameraanlegg (korrigert for samtidighet):							2	8,7

Lasttype	Antall	cosφ	Effekt (kW)	Samtidighet	Tot. Effekt	Spenning (V)	Dim. Effekt (kVA)	Strøm (A)
					0	230		
					0	230		
					0	230		
					0	230		
Sum effektbehov kameraanlegg (korrigert for samtidighet):							0	0,0

Øvrig anlegg flåte:

Lasttype	Antall	cosφ	Effekt (kW)	Samtidighet	Tot. Effekt	Spenning (V)	Dim. Effekt (kVA)	Strøm (A)
Ensilasjepumpe	1	0,9	13,8	1	13,8	400		22,1
Sirkulasjonspumper	1	0,9	5	1	5	400		8,0
Lys Merder	8	0,9	2	1	16	400		25,7
	0	0,9	10	0,6	0	400		0,0
Boligdel flåte	1	0,9	30	0,6	18	400		17,3
Teknisk	1	0,9	20	0,6	0	400		0,0
Annet	0	0,9	0	1	0	400		0,0
	0	0,9	0	1	0	400		0,0
Sum effektbehov øvrig anlegg (korrigert for samtidighet):							51	73,1

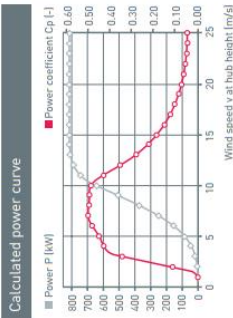
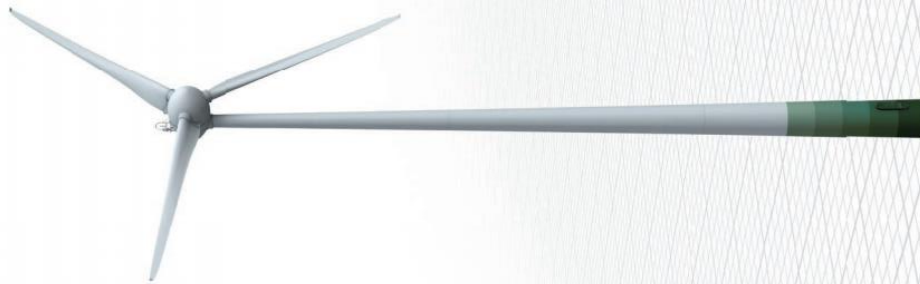
Sum:							305	446,2
------	--	--	--	--	--	--	-----	-------

Totalt effektbehov:	286,2 kW	Tilgjengelig generator/landstrømtrafo (kVA):	500
Antatt strømförbruk ved foring:	446,2 A	Tilgjengelig effekt (kW)	0
Anbefalt landstrøm/aggater (inkl. hensyn THD)	420 kVA	Tilgjengelig hovedsikring	#DIV/0!
Anbefalt hovedsikring	672 A	Kapasitetsfaktor ved tilgjengelig effekt:	1,19

Kommentar:

Beregning laget som eksempel til Bachelor oppgave om alternativ strømforsyning til Förlåte. Beregning hensynstar ett 8 linjers anlegg som er vanlig ved levering av nyerer flåter i dag. Steinsvik leverer i hovedsak nye anlegg med 4-6-8-10 eller 12 linjer, trenden viser at en förlinje pr. merd blir foretrukket. Anbefalt landström/aggatstörrelse hensynstar kapasitetsbuffer fra leverandör av frekvensomformere for dimensjonering av strömforsyning.

Vedlegg B:



Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	2.0	0.19
3	14.0	0.39
4	38.0	0.44
5	77.0	0.46
6	141.0	0.48
7	228.0	0.49
8	336.0	0.49
9	480.0	0.49
10	645.0	0.48
11	744.0	0.42
12	780.0	0.34
13	810.0	0.27
14	810.0	0.22
15	810.0	0.18
16	810.0	0.15
17	810.0	0.12
18	810.0	0.10
19	810.0	0.09
20	810.0	0.08
21	810.0	0.06
22	810.0	0.06
23	810.0	0.05
24	810.0	0.04
25	810.0	0.04

Technical specifications E-53

Rated power: 800 kW

Rotor diameter: 52.9 m

Hub height in meter: 50 / 60 / 73

Wind zone (DIBU): WZ II exp

Wind class (IEC): IEC/ANN Class S

$V_{ref} = 7.5 \text{ m/s}$, $V_{90\%} = 57 \text{ m/s}$

WEC concept: Gearless, variable speed, single blade adjustment

Rotor

Type: Upwind rotor with active pitch control

Rotational direction: Clockwise

No. of blades: 3

Swept area: 2,198 m²

Blade material: GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection

Rotational speed: Variable, 11 - 29.5 rpm

Pitch control: ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply

Drive train with generator

Main bearing: Twin tapered roller bearing

Generator: ENERCON direct-drive annular generator

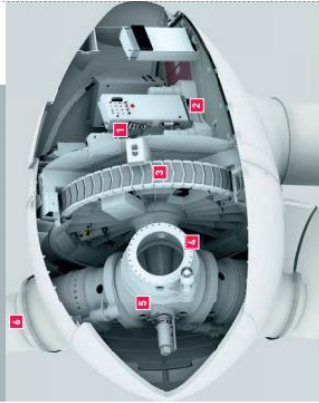
Grid feed: ENERCON inverter

Brake systems: - 3 independent pitch control systems with emergency power supply
- Rotor brake
- Rotor lock

Yaw system: Active via yaw gear load-dependent damping

Cut-out wind speed: 28 - 34 m/s [with ENERCON storm control]

Remote monitoring: ENERCON SCAADA



- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter
- 5 Rotor hub
- 6 Rotor blade

* For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.



Vedlegg C:

% Wind Data

% Latitude: 59,16	7
% Longitude: 5,62	4
% Channel 1: Wind	Speed (Wsp),[m/s]
% Channel 2: Wind	Directection (Dir),[Deg]

% Channel No :	1	2
% Eff length :	31,00	31,00
% Minimum :	0,01	0,05
% Maximum :	25,95	360,00
% Mean :	5,86	188,98
% Std, dev, :	3,35	96,33

yyyy m d h	Wsp	Dir
2008 01 01 00	3,74	127,18
2008 01 01 01	5,36	119,77
2008 01 01 02	5,85	118,27
2008 01 01 03	5,66	117,56
2008 01 01 04	5,71	115,62
2008 01 01 05	5,86	113,85
2008 01 01 06	3,6	97,03
2008 01 01 07	5,41	106,43
2008 01 01 08	5,61	108,18
2008 01 01 09	5,76	111,04
2008 01 01 10	5,88	113,03
2008 01 01 11	5,91	114,27
2008 01 01 12	2,59	87,57
2008 01 01 13	4,51	102,68
2008 01 01 14	5,2	105,61
2008 01 01 15	5,5	101,64
2008 01 01 16	5,7	101,33
2008 01 01 17	5,81	101,81
2008 01 01 18	3,5	72,91
2008 01 01 19	5,7	92,11
2008 01 01 20	6,27	100,02
2008 01 01 21	6,64	102,78
2008 01 01 22	6,9	106,68
2008 01 01 23	7,15	109,27
2008 01 02 00	6,46	109,05
2008 01 02 01	7,52	108,53
2008 01 02 02	8,01	109,16
2008 01 02 03	8,48	110,51
2008 01 02 04	8,58	112,83
2008 01 02 05	8,75	114,31



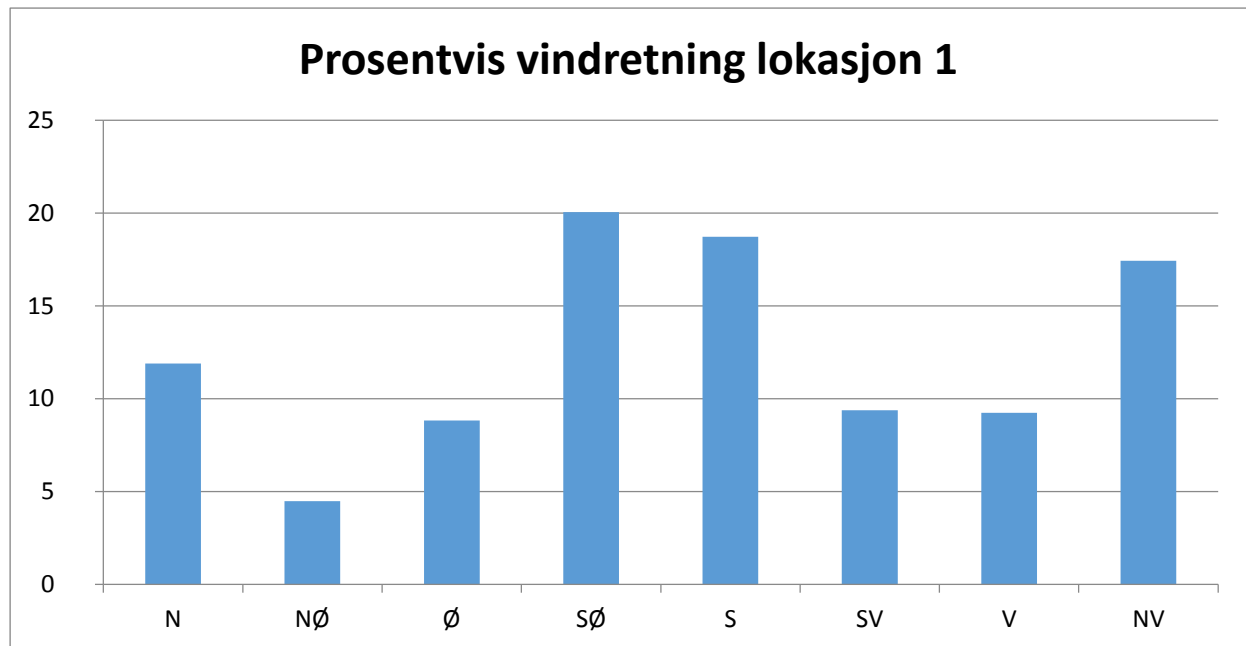
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

2008 01 02 06	5,38	112,99
2008 01 02 07	6,73	110,54
2008 01 02 08	7,07	114,03
2008 01 02 09	7,38	119,73
2008 01 02 10	7,7	125,11
2008 01 02 11	8,13	126,9
2008 01 02 12	5,38	116,61
2008 01 02 13	6,44	111,78
2008 01 02 14	7,39	110,27
2008 01 02 15	7,74	111,53
2008 01 02 16	7,53	112,75
2008 01 02 17	7,65	112,37
2008 01 02 18	5,31	103,38
2008 01 02 19	6,49	101,1
2008 01 02 20	7,97	101,8
2008 01 02 21	8,78	101,57
2008 01 02 22	8,53	100,74
2008 01 02 23	8,5	99,82





Vedlegg D:



**Vedlegg E:**

Periode (antall dager):	Effekt produsert i perioden (kW)	Underskudd effekt - snitt pr. dag
13.02-08 – 16.02-08 (4)	2004	1915
12.03-08 – 15.03-08 (4)	3193	1618
22.03-08 – 26.02-08 (5)	2630	1890
06.04-08 – 11.04-08 (6)	6362	1356
16.04-08 – 25.04-08 (10)	5588	1857
29.04-08 – 16.05-08 (18)	8871	1923
20.05-08 – 09.06-08 (21)	16030	1653
13.06-08 – 17.06-08 (4)	3641	1688
24.06-08 – 06.07-08 (13)	13081	1410
08.07-08 – 14.07-08 (7)	3948	1852
20.07-08 – 07.08-08 (19)	11573	1807
12.08-08 – 23.08-08 (12)	8312	1723
28.08-08 – 31.08-08 (4)	2558	1813
03.09-08 – 09.09-08 (7)	3520	1913
13.09-08 – 17.09-08 (5)	1857	2045
20.09-08 – 26.09-08 (7)	4938	1711
29.09-08 – 02.10-08 (4)	2649	1886
15.10-08 – 17.10-08 (3)	2404	1615
30.10-08 – 05.11-08 (7)	1060	2265
29.11-08 – 03.12-08 (5)	1991	2018
09.12-08 – 11.12-08 (3)	2210	1679
25.12-08 – 31.12-08 (7)	3244	1953
*01.02-09 – 14.02-09 (14)	9359	1748
*18.02-09 – 20.02-09 (3)	1240	2103
18.03-09 – 21.03-09 (4)	1248	2104
31.03-09 – 04.04-09 (5)	3740	1668
12.04-09 – 22.04-09 (11)	3490	2099
27.04.09 – 30.04.09 (4)	1429	2059
12.05.09 – 16.05.09 (5)	4732	1470
20.05.09 – 26.05.09 (7)	5401	1644
29.05.09 – 31.05.09 (3)	750	2166
05.06.09 – 10.06.09 (6)	1758	2123
18.06.09 – 07.07.09 (20)	11317	1850
11.07.09 – 14.07.09 (4)	3998	1417
16.07.09 – 21.07.09 (6)	4179	1720
26.07.09 – 28.07.09 (3)	3922	1109
06.08.09 – 12.08.09 (7)	5943	1567
14.09.09 – 18.09.09 (5)	4294	1557
13.10.09 – 15.10.09 (3)	3604	1215
17.10.09 – 19.10.09 (3)	2579	1556
08.11.09 – 11.11.09 (4)	1969	1924



Vedlegg F:

Dager med stor produksjon:

Dato	Vindhastighet	Retning	kW
2009 12 06 00	14,29	121,18	850
2009 12 06 01	16,26	124,33	905
2009 12 06 02	16,57	126,78	905
2009 12 06 03	15,61	127,71	880
2009 12 06 04	14,41	127,44	850
2009 12 06 05	13,81	128	790
2009 12 06 06	9,66	126,45	340
2009 12 06 07	12,02	124,56	710
2009 12 06 08	13,77	126,8	790
2009 12 06 09	15,11	131,86	880
2009 12 06 10	16,53	132,38	905
2009 12 06 11	17,44	131,37	910
2009 12 06 12	13,87	131,93	790
2009 12 06 13	17,15	126,37	910
2009 12 06 14	18,5	124,09	910
2009 12 06 15	19,32	123,17	910
2009 12 06 16	19,38	121,69	910
2009 12 06 17	19,23	120,5	910
2009 12 06 18	13,86	122,06	790
2009 12 06 19	18,35	126,71	910
2009 12 06 20	18,82	130,32	910
2009 12 06 21	16,54	134,63	905
2009 12 06 22	13,24	138,46	790
2009 12 06 23	10,14	142,73	466
Sum			19826

Dato	Vindhastighet	Retning	kW
2009 11 04 00	11,79	117,8	600
2009 11 04 01	14,49	120,85	850
2009 11 04 02	15,25	121,68	880
2009 11 04 03	15,98	119,92	880
2009 11 04 04	16,64	116,95	905
2009 11 04 05	17,26	114,47	910
2009 11 04 06	13,43	110,16	790
2009 11 04 07	15,54	114,16	880
2009 11 04 08	16,14	114,83	905
2009 11 04 09	16,18	114,11	905
2009 11 04 10	15,92	112,68	880
2009 11 04 11	15,77	111,46	880
2009 11 04 12	11,03	109,21	600
2009 11 04 13	12	110,49	710



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



2009 11 04 14	13,42	108,46	790
2009 11 04 15	13,3	108,09	790
2009 11 04 16	13,18	106,94	790
2009 11 04 17	13,13	106,05	790
2009 11 04 18	12,91	107,16	710
2009 11 04 19	12,4	106,01	710
2009 11 04 20	12,02	103,62	710
2009 11 04 21	11,96	101,33	600
2009 11 04 22	12,02	99,58	710
2009 11 04 23	12,07	98,24	710
Sum	=	18885	



Vedlegg G:

år mnd dag tidspkt.	Vindhastighet	kW produsert
2012 11 26 00	5,2	77
2012 11 26 03	4,5	38
2012 11 26 06	2,7	2
2012 11 26 09	2,8	2
2012 11 26 12	3,8	14
2012 11 26 15	1,6	0
2012 11 26 18	2,1	2
2012 11 26 21	2,4	2
2012 11 27 00	2,5	2
2012 11 27 03	5,2	77
2012 11 27 06	6,7	141
2012 11 27 09	6,2	141
2012 11 27 12	6,2	141
2012 11 27 15	5,6	77
2012 11 27 18	4,8	38
2012 11 27 21	3	14
2012 11 28 00	2,2	2
2012 11 28 03	2,6	2
2012 11 28 06	2,1	2
2012 11 28 09	1,2	0
2012 11 28 12	2,1	2
2012 11 28 15	2,5	2
2012 11 28 18	2,8	2
2012 11 28 21	1	0
Sum	=	780
Samlet for 3 døgn	=	2340

Ser at målingene er hver tredje time her, vi har derfor ganget summert sum med 3 for å få hva som produseres hvert døgn.



Vedlegg H:

Lokalitet 1

Retning	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
kW/m								
< 1	11,7640545	3,91433855	5,10801803	15,8378456	19,7233941	7,87518409	6,96608311	14,0794384
1 2	1,90014284	0,00553655	0,02214619	1,51036995	0,90688636	1,24904495	1,51369188	2,13932166
2 3	0,61344938	0	0,00442924	0,33883666	0,07861896	0,4739284	0,65441983	0,77622385
3 4	0,22367649	0	0	0,05315085	0,01660964	0,19488645	0,3321928	0,29786621
4 5	0,10519439	0	0	0,00996578	0,00221462	1,1523266	0,1893499	0,15613062
5-10>	0,09190668	0	0	0	0	0,16055986	0,26686155	0,22921304
10-15>	0,00553655	0	0	0	0	0,01771695	0,03654121	0,02436081
15-20>	0,00110731	0	0	0	0	0,00221462	0,00332193	0,00553655
20-25>	0	0	0	0	0	0	0,00110731	0,00110731
25>	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	14,7050682	3,9198751	5,13459345	17,7501689	20,7277237	11,1258619	9,96356952	17,7091984

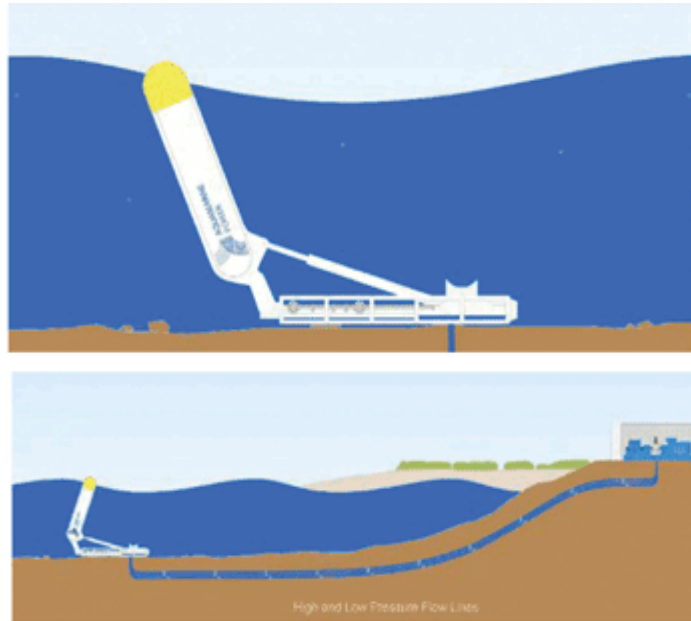
Lokalitet 2

Retning	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
kW/m								
<1	0,12755975	0,02800092	0,03733456	0,0597353	1,17417195	1,40875744	1,63774275	3,11681362
1 2	0,12755975	0,01680055	0,01244485	0,08213603	1,32102122	1,41809108	2,00735491	3,6967438
2 3	0,08213603	0,00808915	0,01493382	0,08960295	1,22955155	1,10261404	1,60165268	3,084457
3 4	0,06969118	0,00497794	0,00373346	0,07715809	1,1617271	0,91718572	1,33968851	2,4678145
4 5	0,04542372	0,00311121	0,00373346	0,06222427	1,02172249	0,75353589	1,12501478	2,04406723
5 10	0,0976921	0,00560018	0,00311121	0,19040626	3,66998737	2,62710862	4,00662066	6,3904324
10 15	0,02862316	0,00311121	0,00373346	0,13378218	2,23882919	1,63898724	2,57235127	3,4372686
15 20	0,02053401	0,00124449	0,00186673	0,09520313	1,61285304	1,24572986	1,76405802	2,14238157
20 25	0,0087114	0,00062224	0	0,08586949	1,27186405	0,98563242	1,31791001	1,45542565
>25	0,01680055	0	0,00062224	0,28872061	5,4794691	5,75947831	7,98710713	6,82413555
sum	0,62473166	0,07155791	0,08151379	1,16483831	20,1811971	17,8571206	25,3595007	34,6595399

Vedlegg I:

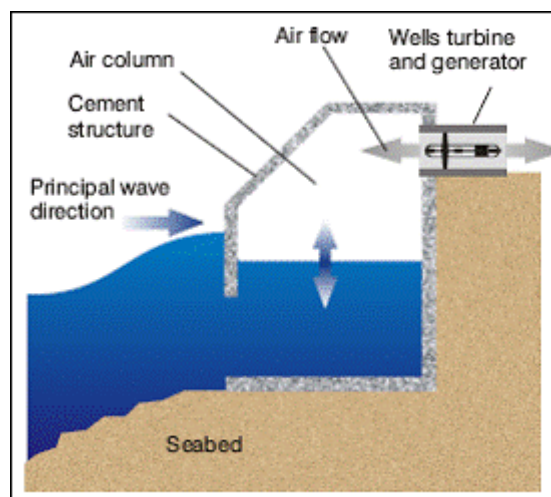
Oscillating Surge Converter

Dette er en stor innretning der en “flapp” som er hengslet til et fundament på havbunnen beveger seg med dønningene. «Flappen» er koblet til en hydraulisk sylinder, bevegelsen gjør at trykket i sylindere forandres og dette driver en turbin. Dette er et typisk anlegg for grunt vann der vi har mer dønninger en bølger. *Oyster* er et eksempel på en slik innretning.

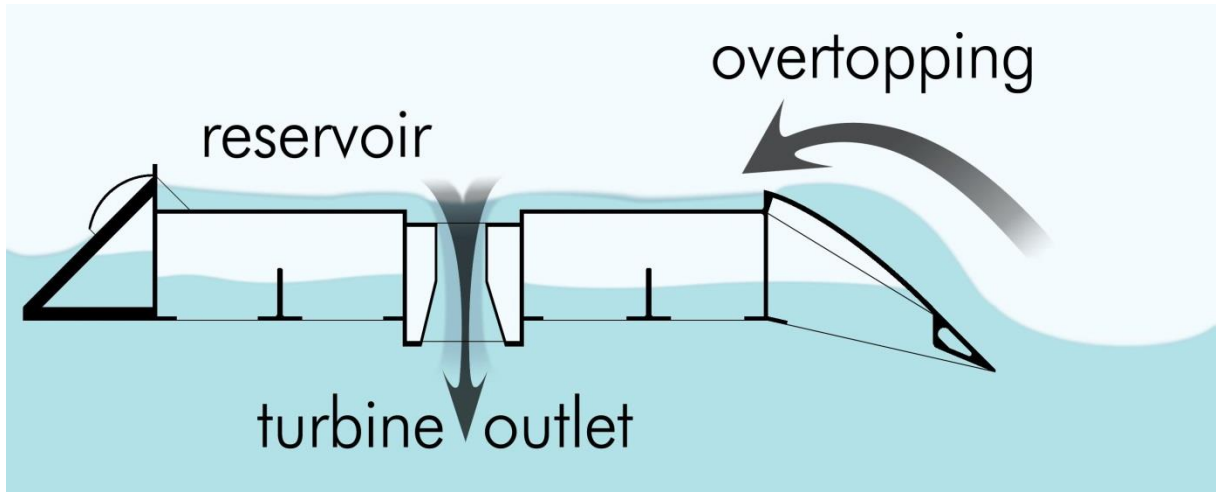


Svingende vannsøyle , OWC (Oscillating Water Column)

Dette er et prinsipp der en nytter et luft kammer som har inngang under vannoverflaten. Bevegelsen i bølgene gjør at vannet i kammeret beveger seg opp og ned. Denne bevegelsen gjør at luft i kammeret blir presset ut og sugd inn gjennom en turbin i toppen av kammeret. Denne turbinen er ofte av typen Wells-turbin, den roterer samme vei uavhengig av hvilken vei luften beveger seg. Turbinen overfører i sin tur den mekaniske energien til en generator som produserer strøm. WEC som benytter denne teknologien kan være både landfaste og flytende.



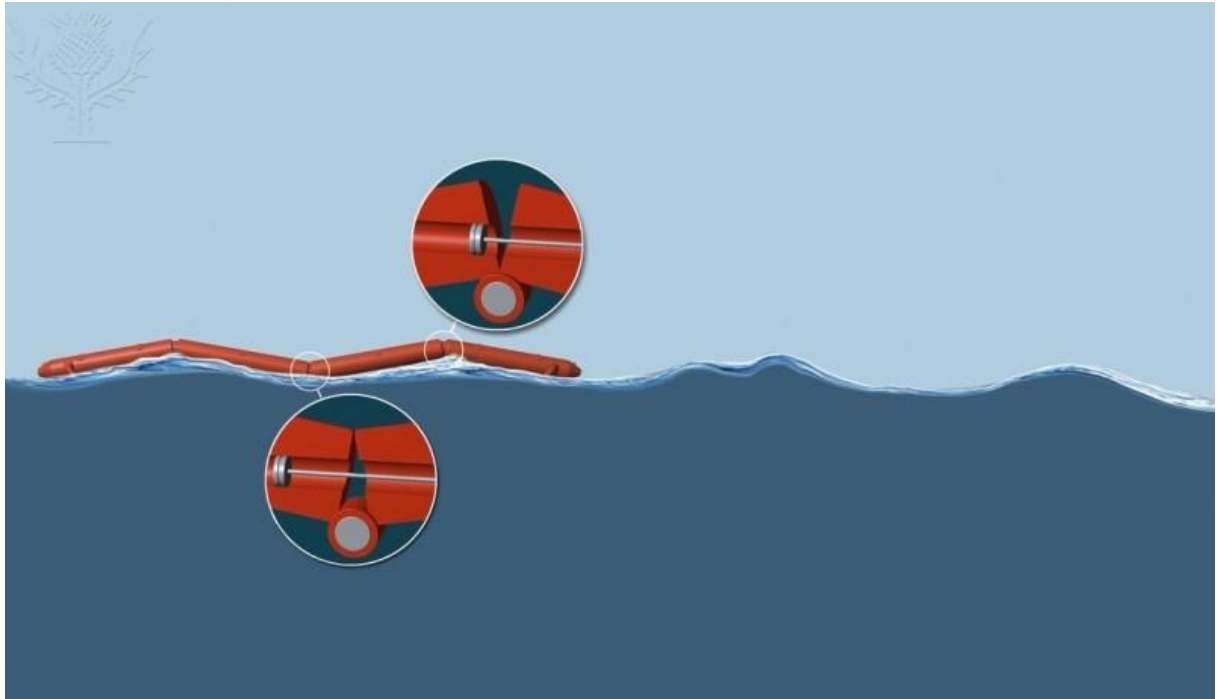
Her vil bølgene skylle vann opp i ett reservoar. Vannet kan deretter renne ut gjennom en sjakt. På vei gjennom sjakten passerer vannet en turbin som via en generator produserer elektrisk strøm. Man regner med en total effekt på 18-20 % (wavedragon)



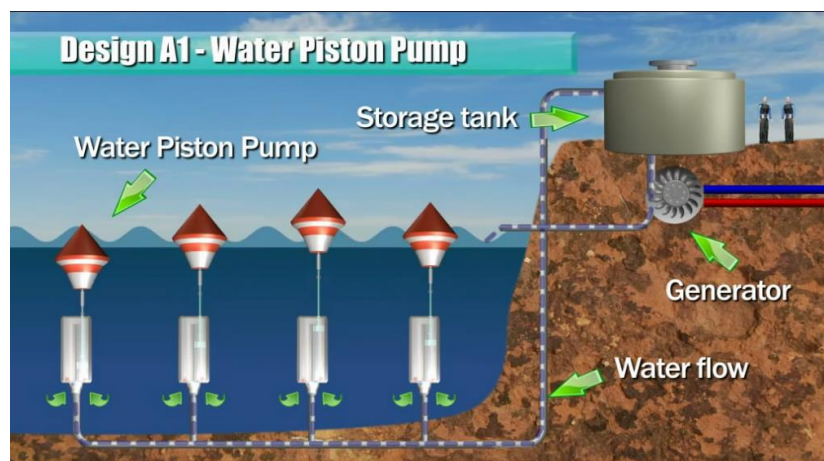
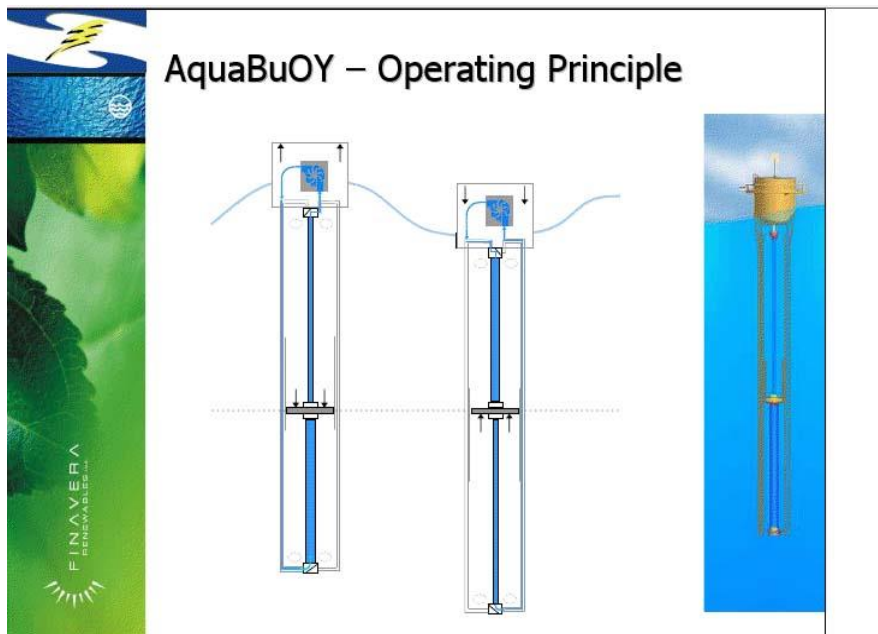


Vedlegg J:

Pelamis Wave Power (PWP) ble etablert i 1998. Etter mange vellykkede tester ble Pelamis i 2004 den første offshore-WEC som leverte strøm til et nasjonalt strømnett. Videre utvikling mellom 2004-2007 ved EMEC testsenter på Orknøyene førte til en ny generasjon Pelamis (9). Pelamis ble satt i drift også i Portugal, med meget vellykkede resultater. Til tross for denne positive utviklingen ble PWP slått konkurs i 2015.



Vedlegg K:



Her vises to ulike konsepter som nytter point absorber prinsippet. Hvordan den mekaniske bevegelsen omformes til energi er forskjellig.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vedlegg L:

Lokasjon 1:

År/dato	Hs	Tp	Retning	kW/m
1980 08 21 00	1,23	4,33	266	3,23
1980 08 21 03	1,1	4,04	283	2,41
1980 08 21 06	1,26	4,24	275	3,32
1980 08 21 09	0,77	3,47	301	1,01
1980 08 21 12	0,98	3,78	322	1,79
1980 08 21 15	1,44	4,33	324	4,43
1980 08 21 18	1,56	4,44	326	5,33
1980 08 21 21	1,39	4,28	323	4,08
1980 08 22 00	1,13	3,98	316	2,51
1980 08 22 03	0,91	3,69	320	1,51
1980 08 22 06	0,97	3,76	331	1,74
1980 08 22 09	1,03	3,82	337	2,00
1980 08 22 12	1,16	3,99	335	2,65
1980 08 22 15	1,43	4,29	336	4,32
1980 08 22 18	1,45	4,32	339	4,48
1980 08 22 21	1,43	4,29	339	4,32
1980 08 23 00	1,28	4,13	343	3,34
1980 08 23 03	1,11	3,93	339	2,39
1980 08 23 06	1,11	3,94	329	2,39
1980 08 23 09	1,13	3,96	336	2,49
1980 08 23 12	1,27	4,12	336	3,28
1980 08 23 15	1,28	4,15	332	3,35
1980 08 23 18	1,25	4,13	323	3,18
1980 08 23 21	1,18	4,02	337	2,76
1980 08 24 00	1,1	3,92	335	2,34
1980 08 24 03	0,94	3,71	337	1,62
1980 08 24 06	0,98	3,76	342	1,78
1980 08 24 09	0,73	3,39	335	0,89
1980 08 24 12	0,81	3,53	334	1,14
1980 08 24 15	0,98	3,76	337	1,78
1980 08 24 18	0,85	3,57	339	1,27
1980 08 24 21	0,8	3,52	334	1,11
1980 08 25 00	0,53	3,04	344	0,42
1980 08 25 03	0,62	3,22	333	0,61
1980 08 25 06	0,47	2,9	339	0,32
1980 08 25 09	0,47	2,92	339	0,32
1980 08 25 12	0,35	2,64	315	0,16
1980 08 25 15	0,51	3,02	319	0,39
1980 08 25 18	0,41	2,79	333	0,23
1980 08 25 21	0,52	3,02	336	0,40
1980 08 26 00	0,32	2,56	347	0,13
1980 08 26 03	0,23	2,26	338	0,06
1980 08 26 06	0,14	1,91	43	0,02
1980 08 26 09	0,17	2,05	15	0,03
1980 08 26 12	0,22	2,25	331	0,05



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



1980 08 26 15	0,28	2,43	339	0,09
1980 08 26 18	0,24	2,31	337	0,07
1980 08 26 21	0,2	2,18	0	0,04
1980 08 27 00	0,1	1,7	8	0,01
1980 08 27 03	0,06	1,49	262	0,00
1980 08 27 06	0,05	1,21	148	0,00
1980 08 27 09	0,16	1,77	178	0,02
1980 08 27 12	0,29	2,15	168	0,09
1980 08 27 15	0,3	2,26	189	0,10
1980 08 27 18	0,37	2,43	185	0,16
1980 08 27 21	0,35	2,55	203	0,15
Sum				88,11

Utdrag fra tabellen viser målinger fra en uke. Målingene blir gjort hver tredje time så summen ganges med 3. Videre så har vi tatt utgangspunkt i å bruke 100 meter som en realistisk bredde på en WEC.

$$88,11 \text{ kW/m} \cdot 3 \cdot 100\text{m} = 26433 \text{ kW}$$

Hvis vi deler dette på 7 døgn får vi 3776 kW per døgn. Dette dekker godt det behovet oppdrettsanlegget har. Dessverre opptrer dette ikke særlig ofte, og deler vi opp dag for dag i perioden er det også noen dager som langt i fra har god nok produksjon.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vedlegg M:

Lokasjon 2:

År/dato	Hs	Tp	Retning	kW/m
1958 03 15	0,9	4,44	329	1,7730252
1958	0,8	4,92	333	1,5523584
1958	0,8	4,69	335	1,4797888
1958	0,8	4,54	336	1,4324608
1958	0,8	4,68	336	1,4766336
1958	0,7	5,14	334	1,2416698
1958	0,6	5,01	333	0,8891748
1958	0,6	6,95	332	1,233486
1958 03 16	0,5	7,12	331	0,87754
1958	0,5	6,97	331	0,8590525
1958	0,5	7,62	331	0,939165
1958	0,5	7,27	330	0,8960275
1958	0,4	7,31	330	0,5766128
1958	0,5	7,53	324	0,9280725
1958	0,5	7,84	308	0,96628
1958	0,5	7,03	305	0,8664475
1958 03 17	0,5	6,81	301	0,8393325
1958	0,5	6,63	297	0,8171475
1958	0,4	6,77	294	0,5340176
1958	0,4	7,08	291	0,5584704
1958	0,4	7,08	284	0,5584704
1958	0,4	6,83	276	0,5387504
1958	0,5	6,09	304	0,7505925
1958	0,6	3,66	321	0,6495768
1958 03 18	0,6	4,38	326	0,7773624
1958	0,7	4,57	331	1,1039749
1958	0,7	5,02	334	1,2126814
1958	0,7	5,88	334	1,4204316
1958	0,7	6,12	333	1,4784084
1958	0,6	6,38	334	1,1323224
1958	0,6	6,17	335	1,0950516
1958	0,5	6,1	335	0,751825
1958 03 19	0,5	6,89	336	0,8491925
1958	0,5	6,74	336	0,830705
1958	0,4	6,73	337	0,5308624
1958	0,4	6,63	338	0,5229744
1958	0,6	2,55	18	0,452574
1958	0,6	3,08	54	0,5466384
1958	0,5	6,61	70	0,8146825
1958	0,5	2,99	70	0,3685175
1958 03 20	0,5	3,33	60	0,4104225
1958	0,5	3,13	50	0,3857725
1958	0,4	6,23	48	0,4914224
1958	0,3	6,57	42	0,2915109
1958	0,3	5,6	47	0,248472



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



1958	0,2	9,42	45	0,1857624
1958	0,2	8,89	217	0,1753108
1958	0,2	9,4	217	0,185368
1958 03 21	0,2	9,39	218	0,1851708
1958	0,1	8,16	229	0,0402288
1958	0,1	8,71	248	0,0429403
1958	0,1	4,13	307	0,0203609
1958	0,2	4,52	319	0,0891344
1958	0,4	5,64	284	0,4448832
1958	0,4	5,72	327	0,4511936
Sum				41.01

Utdrag fra tabellen viser målinger fra en uke. Målingene blir gjort hver tredje time så summen ganges med 3. Videre så har vi tatt utgangspunkt i å bruke 100 meter som en realistisk bredde på en WEC.

$$41.01 \text{ kW/m} \cdot 3 \cdot 100\text{m} = 12303 \text{ kW}$$

Hvis vi deler dette på 7 døgn får vi 1757,6 kW per døgn. Dette dekker ikke døgnbehovet for energi. Fremtidige batteriløsninger vil muligens kunne lagre mye større energimengder en vi ser i dag og da vil en muligens kunne nytte denne type energikilder alene sammen med batteri. Per i dag er dette ikke mulig, batteriene blir urealistisk store.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Vedlegg N:

Electric Load-Following Capability of the PureCell® Model 400 Fuel Cell System

Introduction

Electric load following can reduce energy expenses and increase the energy efficiency of a building by matching on site demand to available power. Doosan Fuel Cell America has been achieving groundbreaking success in energy efficiency for over 50 years. The latest stationary fuel cell system, the PureCell® System Model 400, has proven load-following capability to manage utility import from and export to the grid. In comparison to other fuel cells and intermittent renewable sources such as solar and wind, users of the PureCell system experience the advantages of higher efficiency and lower life-cycle costs while generating only the electricity that they require.

Electric Load Following Capability

The PureCell Model 400 system is capable of electric load following – an operating scheme that automatically adjusts the electrical output of the fuel cell to match the electrical demand of a facility. Key features that enable load following include:

- Fast transient response:
 - 10 kW/sec up transient
 - 20 kW/sec down transient
- Power output range between 10 kW and 400 kW when operating in parallel with the utility
- High part-load electrical efficiency

Embedded control logic to automatically adjust power output to match an electrical load In practice, load following is achieved by monitoring the power being drawn from the utility and adjusting the fuel cell output to minimize this utility import power, thereby matching the fuel cell output to the facility load demand. This is typically accomplished using a Watt transducer installed at the main utility feed that sends a 4-20 mA output signal wired directly into the PureCell system's on-board controller, as shown in Figure 1.

This document contains no technical information subject to U.S. Export Regulations. Doosan Fuel Cell America, Inc.



Vedlegg O:

BATTERI

Lead-Acid:

Dette er den eldste typen av batteriene som finnes, og ett av de mest utbredte. Dette er spesielt som en "back up" løsning for stasjonære innretninger innen data og telekommunikasjonssystemer. Batteriet har også blitt benyttet til energikilde for hybrid og elektriske biler, men dette er ikke så vanlig.

Dette batteriet foretrekkes altså der hvor vekt ikke spiller noen rolle, men hvor et billig batteri er ønskelig.

Fordeler:

- Rask responstid.
- Liten daglig selvutladning, anslås til å være <0,3 %.
- Høy syklisk virkningsgrad (63-90 %).
- Lav kostand.

Ulemper:

- Ikke av de mest miljøvennlige batteriene hvis hele livssyklusen tas med i regnestykket.
- Presterer ofte dårlig i lave temperaturer, må derfor ofte ha termiske styresystemer for å bedre dette.
- Høy vekt.

Det kan også være verdt å merke seg at det finnes nyere typer lead-acid, «advanced type», men også disse preges av høy vekt og lave verdier når det gjelder spesifikk energi og energitetthet.

For å forbedre Lead-acid batteriet arbeides det blant annet med:

- Forbedre antallet ladesykluser batteriet tåler.
- Utbedre batteriets evne til å tåle dype utladninger.

[53]

Ni-MH:

Dette batteriet brukes blant annet som energikilde i alt fra bærbare enheter til elektriske biler og hybridbiler.

Fordeler:

- Høy livssyklus.
- Et relativt miljøvennlig alternativ.

Ulemper:

- Høy grad av selvutladning (5-20 % i løpet av de første 24 timene etter at det er fulladet).
- Sensitivt for dype utladninger, mister egenskaper etter noen hundre fulle sykluser.
- Krever lang ladetid.

Det beskrives som et batteri med moderat spesifikk energi, men svær høy energitetthet.

Sodium-sulfur (NAS):

Fordeler:

- Høy energitetthet.
- Så godt som fravær av daglig selvutladning.
- Billig og miljøvennlig (non-toxic) material som er veldig gjenvinnbart? (ca.99 %).

Ulemper:

- Høye årlige operasjonskostnader.
- Krever ofte et termisk styresystem for å regulere de høye driftstemperaturene.

Det arbeides blant annet med:

- Eliminere/ senke de høye driftstemperaturene.
- Forbedre cellens prestasjon.

Dette batteriet sees på som en lovende kandidat i fremtiden for lagring av elektrisk energi.

[53]

Batteri egenskaper:

Type	Spesifikk energi (Wh/kg)	Energitetthet (Wh/L)	Syklisk levetid
Lead-acid	25-50	100	1000
Ni-MH	70-100	180-220	<3000
Sodium-sulfur	150-240	150-300	>800

[54] [53]

(Verdiene i tabellen er hentet fra ulike kilder. Disse kildene oppgir ulike verdier, vi har her valgt å benytte verdier fra de nyeste kildene vi har funnet).



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vedlegg P:

INTENSIUM® MAX

Rechargeable
Li-ion

Saft's Intensium® Max is a ready-to-install containerized solution designed for today's electricity grids and for the smart grids of tomorrow. It provides a complete, fully integrated energy storage system at the megawatt scale comprising Li-ion battery modules, power management and control interfaces, air conditioning and safety devices.



DOWNLOAD

FEATURES / BENEFITS

TECHNICAL SPECIFICATIONS

	IM 20E High Energy	IM+ 20E High Energy Plus	IM 20M Medium Power	IM 20P High Power
Energy (kWh)	620	1000	580	420
Continuous discharge power (kW)	900	500	1100	1600
Peak discharge power 1min (kW)	1100	500	1100	1800
Nominal charge power (kW)	300	500	600	800
Current max (A)	1600	600	1600	2500
Voltage range (V)	609 - 812	588 - 790	609 - 812	609 - 812
Dimensions L x W x H (m)	6,1 x 2,5 x 2,9			
Weight (t)	14,5	16,5	14,5	14,5