



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2018 20:20	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	09-05-2018 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Henriette Kjærvoll Skou
Kandidatnr.:	1
HVL-id:	136761@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Bruk av fornybar energi til energiproduksjon på fiskeoppdrettsanlegg		
Tro- og loverklæring *:	Ja	Inneholder besvarelsen	Nei
		konfidensiell materiale?:	
Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:	Ja		

Gruppe

Gruppenavn:	M09
Gruppenummer:	4
Andre medlemmer i gruppen:	Amalie Isaksen Andreassen

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Bruk av fornybar energi til energiproduksjon på fiskeoppdrettsanlegg



Bachelorprosjekt utført ved

Høgskulen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Maskin Prosess- og energiteknikk

Av: Amalie Isaksen Andreassen
Henriette Kjærvoll Skov

Kand.nr. 7
Kand.nr. 1

Side i

ING3039

Kandidat 1 og 7

Innleveringsfrist: 09.05.2018



BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn: Amalie Isaksen Andreassen

Henriette Kjærvoll Skov

Linje & studieretning: Maskin, Prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: Bruk av fornybar energi til energiproduksjon på fiskeoppdrettsanlegg

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler å nytte fornybare energikilder til energiproduksjon på et fiskeoppdrettsanlegg. Det tas hensyn til at anlegget ikke skal være forsynt med strøm via kabel fra land. Oppgaven inneholder en presentasjon av tre ulike kilder fornybar energi, samt fordeler og ulemper ved disse. Tilslutt vil en hybridløsning som innebærer dieselgenerator og fornybar energi bli presentert som løsningsforslag. Den fornybare delen baseres på forholdet mellom energiproduksjon og innkjøpskostnad, hvor høyest energiproduksjon til lavest kostnad er ønsket.

Endelig oppgave gitt: Fredag 12. januar 2018

Innleveringsfrist: Onsdag 9.mai 2018 kl. 12.00

Intern veileder: Edmundo Villacorta Soriano – HVL, tlf: 52 70 26 51

Ekstern veileder: David Huanca Fernandez

**Godkjent av
Studieansvarlig:**

Dato:

7/5 - 18

David Chr. Landa

Oppgavens tittel Bruk av fornybar energi til energiproduksjon på fiskeoppdrettsanlegg		Rapportnummer
Utført av Amalie Isaksen Andreassen og Henriette Kjærvoll Skov		
Linje Maskin, Prosess- og energiteknikk		Studieretning Ingeniør
Gradering Åpen	Innlevert dato 09.05.2018	Veiledere Edmundo Villacorta Soriano David Huanca Fernandez

Ekstrakt

Offshorebasert fiskeoppdrett i Norge benytter hovedsakelig dieselgeneratorer for å dekke strømbehovet, dette resulterer i store mengder CO₂ utslipp. Hensikten med studiet er å utarbeide en fornybar energiløsning til Dalsvåg fiskeoppdrett hvor dieselgeneratoren skal ønskelig opereres så lite som mulig. De fornybare energiløsningene omhandler muligheten for energiforsyning ved hjelp av sol-, vind-, eller bølgekraft. Avsluttende blir fornybare energiløsninger simulert ved hjelp av HOMER Pro og diskutert.

Forord

Denne oppgaven er skrevet ved Høgskulen på Vestlandet som er avsluttende arbeid for et treårig bachelorstudium i maskiningeniørfag, prosess- og energiteknikk. Prosjektgruppa består av to studenter som har vist stor interesse for både fornybar energi og oppdrettsnæringen. Oppgaven gir 20 studiepoeng, der det er en plakat, et produkt og en muntlig fremstilling som inngår. Bacheloren inkluderer et eget vedleggshefte.

Oppgaven er gitt av Høgskulen på Vestlandet ved hjelp av Arjen Kraaijeveld høsten 2017, med et ønske om en oppgave som omhandler fornybar energi. Oppgaven har gitt oss ny innsikt på fornybar energi og helt nye kunnskaper om oppdrettsnæring. I tillegg til forståelse ovenfor elektrofaget.

Det rettes en stor takk til vår interne veileder Edmundo Villacorta Soriano, for god veiledning og et godt samarbeid. Vil også takke oppdrettsanlegget Dalsvåg ved daglig leder Mikolaj Mroz for god informasjon.

Amalie Isaksen Andreassen

Amalie I. Andreassen

Henriette Kjærvoll Skov

Henriette K Skov

Sted: Haugesund
Dato: 08.05.2018

Sammendrag

I dagens oppdrettsnæring er omtrent halvparten av alle fiskeoppdrett i Norge drevet av dieselgeneratorer som resulterer i store mengder CO₂ utslipp. Denne oppgaven går ut på å finne en mer bærekraftig løsning hvor dieselgeneratorer kun benyttes som nødløsning. Det er valgt å fokusere på lakseoppdrettsnæringen, som er størst i Norge, med anlegg som ikke har muligheten til å forsynes med strøm fra land.

Oppgaven tar for seg næringens historikk, nåværende status, fremtidige løsninger og ulike miljøutfordringer. De aktuelle fornybare energikildene som kan forsyne oppdrettsanlegget med strøm og som videre diskuteres i oppgaven er sol-, vind- og bølgekraft. Utvinning av bølgekraft viser seg å være svært kostbart på grunn av den relativ nye teknologien og det velges derfor å ekskludere bølgekraftutvinning. Energikildene som vurderes videre i oppgaven er dermed sol- og vindkraft, da de er mest kommersielle i dagens marked.

Etter å ha drøftet de ulike energikildene og metoder for å utvinne dem, settes de sammen til en systemløsning. Det etableres tre ulike systemløsninger basert på data fra Norway Royal Salmon ved Dalsvåg fiskeoppdrett. Resultat 1 kombinerer bruken av vindturbiner, solcellepanel og dieselgenerator, resultat 2 består av vindturbiner og dieselgenerator og resultat 3 omhandler bruken av solcelleanlegg og en dieselgenerator. Det antas i hver av systemløsningene at dieselgeneratoren som allerede befinner seg på Dalsvåg fiskeoppdrett er relativ ny og behovet for anskaffelse ekskluderes. Disse systemløsningene blir dernest simulert ved hjelp av programmet HOMER Pro. Inngangsdataen simuleringsverktøyet behøver for å evaluere de forskjellige systemløsningene ble anskaffet fra Dalsvåg fiskeoppdrett. Informasjonen bestod av blant annet oppdrettsanleggets årlige energiforbruk og energidistribusjon.

Utgangsdataen fra simuleringene danner grunnlaget for hvilke systemløsninger som er best egnet å innføre ved Dalsvåg fiskeoppdrett. Videre ble utgangsdataen benyttet til å beregne innkjøpskostnad per fornybar energiproduksjon, systemytelse, utslippsreduksjon, fornybar fraksjon og dieselgeneratorbruk. Dette er viktig informasjon som baseres på HOMER Pro's utgangsdata og viser seg å være svært lovende for oppdrettsnæringens fremtid, om de fornybare energisystemene skulle innføres.

Oppgavens avsluttende resultat finnes ved å evaluere simuleringsresultatene i et poengsystem. Dette poengsystemet rangerer resultatene etter hovedsakelig økonomi, utslippsreduksjon og fornybar energiproduksjon. Systemløsningen som med hele 80 % reduksjon av dieselforbruket og en fornybarfraksjon på 74,4 %, består av vindturbiner, konverter, batteripakke og dieselgenerator, altså systemløsning 2. Systemløsningen er en hybridløsning med en innkjøpskostnad på 1,6 millioner kroner, noe som kan fremstå som kostbart. Men en vil tjene på systemet etter 1,5 år på grunn av den reduserte dieselkostnaden. Det vil si at selv om oppgaven er teoretisk, danner den et grunnlag for fremtidige fornybare muligheter for Norges fiskeoppdrettsnæring.

Abstract

At the present day, diesel generators power about half of all fish farms in Norway, resulting in high CO₂ emissions. The purpose of this thesis is to find a more sustainable power solution, where the use of diesel generators occurs as an emergency measure. The thesis emphasises aquaculture facilities without power supply from the mainland. It's chosen fish farms containing salmon as base for the thesis, because they are the most widespread.

The thesis sums up and describes the aquaculture history, present status, forward-looking solutions, and environmental challenges. The relevant energy sources that can supply the fish farm with power is solar-, wind- and wave power. Wave power is excluded from the thesis because it turns out to be costly due to the relatively new technology. The energy source that this thesis evaluates are solar- and wind power due to commerciality.

In the results, a solution is presented containing wind turbines and/or solar panels combined with a diesel generator. These solutions are then simulated using the program HOMER Pro. In order to evaluate the different system solutions correctly, the simulation tool was fed with specific input data from Norway Royal Salmon, located at Dalsvåg. This input provided the thesis with essential information regarding the yearly energy consumption on the aquaculture. The results were evaluated up against which of the system solutions that were best regarding purchase costs and system performance. System performance is a percentage of how much of the total energy delivered that is renewable. Other factors that is considered is pollution, renewable fraction, diesel costs and operation costs.

After carefully evaluating the energy sources and their means of extraction, the components are assembled into a system. Three different systems were established based on Norway Royal Salmon at Dalsvåg fish farm. Result 1 combines the use of wind turbines, solar panels and a diesel generator, result 2 consists of wind turbines and a diesel generator. Result 3 use a solar cell system and a diesel generator. It is assumed that the diesel generator in every result is already both present and relatively new leading to no need for procurement. These three systems are then simulated using the program HOMER Pro. The information consists of the aquacultures yearly power usage and power distribution.

The result of the assignment is obtained by evaluating the simulation results in a scoring matrix. The matrix ranks the results after economy, energy production and sustainability. The system, result 2, has a total of 80 % reduction in diesel usage and a renewable fraction of 74.4 %, and consists of wind turbines, a battery and a diesel generator. Result 2 is a hybrid system with purchasing costs of 1 640 000 NOK, which seems rather costly. If installed, the hybrid system will already after 1,5 years earn in and surpass the present existing diesel generator solution at Dalsvåg fish farm. This also apply to the other sustainable system solutions presented in the thesis. This means although the thesis is theoretical, it creates a foundation for future sustainable possibilities for the Norwegian aquaculture.

Innholdsfortegnelse

Forord	iv
Sammendrag	v
Abstract	vi
Innholdsfortegnelse	1
Figur liste.....	4
Tabell liste	7
1. Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Målsetting for oppgaven.....	10
1.3 Metodikk	10
1.4 Avgrensninger og antagelser	10
2. Oppdrettsnæringen	11
2.1 Historikk.....	11
2.2 Nåværende status.....	12
2.3 Oppdrettssyklusen	12
2.4 Miljøutfordringer.....	14
2.4.1 Rømning av laks.....	14
2.4.2 Lakselus.....	14
2.4.3 Utslipp av næringssalter og slam	16
2.5 Framtidige løsninger	17
2.5.1 Landbasert oppdrettsanlegg.....	17
2.5.2 Lukkede oppdrettsanlegg	17
2.5.3 Offshore oppdrettsanlegg	18
3. Energiressurser	19
3.1 Anlegg uten strømkabel fra land	19
3.2. Solenergi.....	19
3.2.1 Generelt om solenergi	19
3.2.2 Solceller.....	20
3.2.3 Elektrisk energi fra solen.....	21
3.2.4 Installert effekt og virkningsgrad	21
3.2.5 Ulike typer solceller	22

3.2.6 Solcellepanel i oppdrettsnæringen	23
3.2.7 Valg og kostnad for solcellepanel	26
3.3 Vindkraft	29
3.3.1 Generelt om vind	29
3.3.2 Vindturbinens teoretiske effekt	30
3.3.3 Ulike typer vindturbiner	33
3.3.4 Vindturbiner i oppdrettsnæringen	35
3.3.5 Valg og kostnad for vindturbiner	36
3.4 Bølgeenergi	38
3.4.1 Generelt om bølgeenergi	38
3.4.2 Tilgjengelig effekt	39
3.4.3 Utnyttingsmetoder	40
3.4.4 Bølgeenergi i oppdrettsnæringen	43
3.5 Dieselgenerator.....	44
3.5.1 Generelt om dieselgenerator.....	44
3.5.2 Installert effekt	44
3.5.3 Virkningsgrad.....	45
3.5.4 Typer generatorsett.....	46
3.5.5 Dieselgenerator i oppdrettsnæringen.....	47
3.6 Lagring av energi	48
3.6.1 Generelt om batteri.....	48
3.6.2 Oppbygning og virkemåte	49
3.6.3 Ulike typer batterier	49
3.6.4 Batteri i oppdrettsnæringen	50
3.6.5 Valg og kostnad for batteripakke	51
4. Datasimuleringsverktøy	52
4.1 HOMER Pro.....	52
4.2 Input	53
4.2.1 Last.....	53
4.2.2 Komponentdetaljer med kostnadsinformasjon.....	54
4.2.3 Værdata	56
5. Systemløsning	58

5.1 Basissystem	60
5.2 Systemløsning med sol- og vindenergi	60
5.3 Systemløsning med vindenergi	63
5.4 Systemløsning med solenergi	64
6. Diskusjon.....	66
6.1 Fornybar energisystemer	66
6.2 Implementeringsundersøkelse	69
6.3 Sammenligning av resultatene.....	72
6.4 Valgt løsning	76
7. Konklusjon	77
Referanser.....	79

Figur liste

Figur 1: Oppdrettssyklusens to første stadier; Rogn og Yngel [13].....	12
Figur 2: Oppdrettssyklusen i det tredje og fjerde stadiet; smolt og vekst i sjø og frakt til slakteri [13]	13
Figur 3: Oppdrettssyklusens femte og sjette stadiet; Fabrikk og distribusjon [13].....	13
Figur 4: Rømmingsstatistikk [15]	14
Figur 5: Utslipp fra år 2015 av kitinhemmere (azametifos, diflunenzuron, teflubenzuron) og hydrogenperoksid fra oppdrettsnæringen [20]	15
Figur 6: Årlig utslipp av næringssalter fra oppdrettsnæringen [20].....	16
Figur 7: Prinsippskisse av et landbasert oppdrettsanlegg med seks vanntanker	17
Figur 8: Prinsippskisse av et lukket oppdrettsanlegg	18
Figur 9: Prinsippskisse av et offshore oppdrettsanlegg.....	18
Figur 10: Prinsippskisse av solinnstråling som viser reflektert og absorbert stråling.....	19
Figur 11: Prinsippskisse av silisium solcelle som viser negativ og positiv side, samt hvordan elektronene beveger seg i kretsen.....	20
Figur 12: Prinsippskisse av båndgapsmodellen, hvor elektronene beveges fritt i ledningsbåndet og fastbundet ved kjemisk binding i valensbåndet	21
Figur 13: Prinsippskisse av fôringsflåten på Dalsvåg fiskeoppdrettsanlegg som viser de fire lukene for oppbevaring av fôr	23
Figur 14: Oversiktsbilde av nærliggende øyer ved Dalsvåg fiskeoppdrett som velges til plassering av solcellepaneler	24
Figur 15: Prinsippskisse over seriekoblede solcellepaneler. Figuren viser to paneler hvor negativ pol er koblet til positiv pol.....	25
Figur 16: Prinsippskisse over solcellepaneler som er parallellkoblet, der positiv er koblet til positiv pol.....	25
Figur 17: Vurdering av solcellepaneler basert på en faktor (NOK/kW). Hvor rød er dårligst, gul er nøytral, og grønn er best.....	27
Figur 18: Kostnadsoversikt over innkjøp og effekt ved de to paneltypene; Yingli Solar og IBC Monosol.....	28
Figur 19: Illustrasjonsbilde av hvordan vind oppstår der varm luft stiger og kald luft kommer inn fra siden	29
Figur 20: Tverrsnitt med tverrsnittareal, A og vindhastighet, v	30
Figur 21: Utvidelse av luftstrøm bak turbinen	32
Figur 22: Utnyttelse av vindkraft ved forskjellige vindhastigheter, hvor blå linje tilsvareteoretisk effekt i vinden og oransje tilsvareteoretisk effekt i vinden	32

Figur 23: Prinsippskisse av en horisontalakslet vindturbin, HAWT	33
Figur 24: Hovedkomponenter i nacellen som inkluderer hovedaksel, gir, bremses og generator	33
Figur 25: Effekt - vindhastighetskurve for vindturbin med cut-in speed, cut-out speed, rated wind speed, rated power	34
Figur 26: Prinsippskisse av vertikalakslet vindturbin, VAWT	34
Figur 27: Sammenligning av turbintypenes kapasitet, innkjøpspris og NOK/W-faktor. Der rød er dårlig, gul er nøytral og grønn er en god verdi	37
Figur 28: Prinsippskisse av bølgens sirkulære bevegelse og dens karakteristikk med bølgekam, bølgelengde og bølgedal. Hvor H tilsvarer bølgehøyde, A er amplitude på sted, x og tid, t og A_0 er full amplitude	38
Figur 29: Prinsippskisse av kilerennekraftverk der bølgene ledes inn via en kilerenne og ut gjennom generatorhuset	40
Figur 30: Prinsippskisse av svingende vannsøyle hvor bølgene ledes inn i bølgekommeret og dernest presses luft opp mot turbinen hvor energi produseres	40
Figur 31: Prinsippskisse av en vertikalsvingende bøye, hvor bøyen beveges i samsvar med bølgene	41
Figur 32: Horisontalsvingende lem hvor lemmen beveges horisontalt i samsvar med bølgene som driver maskineriet	42
Figur 33: Prinsippskisse av pelamis, hvor linjeabsorbatoren beveger seg i samsvar med bølgene som setter de sylindriske leddene i bevegelse	42
Figur 34: Prinsippskisse for gensett med alle tilhørende komponenter	46
Figur 35: Prinsippskisse av batteri i opplading- og utladingssituasjon, viser retning på positive og negative ion som beveger seg mellom anode og katode	49
Figur 36: Informasjon en tilfører og får ut av HOMER Pro	52
Figur 37: Systemdesign, komponenter som analyseres i HOMER Pro. Der Dalsvåg tilsvarer energiforbruk ved oppdrettsanlegget, her er gjennomsnittlig energiforbruk 834,37 kWh per dag, og en peak power på 107,23 kW. GEN160 er dieselgenerator, HAWT er vindturbin, Converter tilsvarer Konverter, Yingli er solcellepanel og 1MLI er batteripakken.	54
Figur 38: Verdier for solcelleanlegg Yingli Solar; Temperatur effekt, nominell temperatur ved celleytelse og virkningsgrad under standard testforhold	55
Figur 39: Vind- og kapasitetsverdier fra vindturbin 10KW type 240V, lagt inn i HOMER Pro	55
Figur 40: Lokasjon valgt i HOMER Pro. Pin er plassert ved fiskeoppdrettet Dalsvåg.....	57
Figur 41: Øverste figur viser gjennomsnittlig solinnstråling og nedre figur viser gjennomsnittlig vindstatistikk ved Dalsvåg fiskeoppdrett over en 22 års periode.....	57

Figur 42: Skisse over et oppdrettsanlegg med en vindturbin og et solcelleanlegg som er tilkoblet fôrflåten med sjøkabel. Til venstre i skissen er det plassert to merder	59
Figur 43: Søylediagram over gjennomsnittlig effektytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 1	61
Figur 44: Søylediagram over gjennomsnittlig effektytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 2	63
Figur 45: Søylediagram over gjennomsnittlig effektytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 3	65
Figur 46: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 1, ikke i skala	66
Figur 47: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 2, ikke i skala	67
Figur 48: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 3, ikke i skala	67
Figur 49: Prinsippskisse av parallell- og seriekobling av solcelleanlegg. Hvor maksimal panelspenning er 31,1 V som utgjør en totalspenning på 590,9 V.....	70
Figur 50: Prinsippskisse av konverter inkludert strøm- og spenningsverdier fra solcelleanlegg, samt likevektspenning tilført anlegget	71
Figur 51: Tilpasset systemdesign av Resultat 1. Figuren viser ytelsen til hver av komponentene og spenning ved likevekt- og vekselstrøm.....	71
Figur 52: Oversikt over energi inn og ut av batteripakken og overflødig energiproduksjon i MWh per år ved resultatene. Hvor Excess Electricity = overflødig energiproduksjon, Energy in = lagret energi og Energy out = utladet energi.....	73
Figur 53: Driftskostnader over 5 år fra resultatene, samt basissystemet.....	75

Tabell liste

Tabell 1: Fordeler og ulemper ved solcelle [29] [30].....	20
Tabell 2: Symbolbeskrivelse fra formel 1	21
Tabell 3: Oversikt over paneltyper og innkjøpspris [36], [37]. ytterligere informasjon i vedlegg A	26
Tabell 4: Sammenligning over kostnad, effekt og størrelse ved kjøp av flere paneler av typen Yingli Solar og IBC Monosol	27
Tabell 5: Fordeler og ulemper for vindkraft [40], [41]	30
Tabell 6: Symbol og beskrivelse for formel 3 og 4.....	31
Tabell 7: Oversikt over forskjellige vindturbiner samt Peak Power, vekt, total høyde, rotor diameter og innkjøpspris	36
Tabell 8: Karakteristikkssammenligning av de utvalgte turbinvariantene	37
Tabell 9: Fordeler og ulemper ved bølgeenergi [50], [51].....	39
Tabell 10: Symbolbeskrivelse for Formel 7	39
Tabell 11: Symbol og beskrivelse for formel 8.....	45
Tabell 12: Symbolbeskrivelse for formel 9.....	45
Tabell 13: Last, driftstid og overbelastning ved de forskjellige generatorsettene	46
Tabell 14: Oversikt over faktor C og hvordan den fordeler seg.....	48
Tabell 15: Tekniske egenskaper til bly- og li-ion batteri [63].....	50
Tabell 16: Informasjon om valgt batteripakke Intensium mini, Li-ion.....	51
Tabell 17: Oversikt over energibehovet estimert ved Dalsvåg oppdrettsanlegg.....	53
Tabell 18: Kostnadsverdier lagt inn i HOMER.....	54
Tabell 19: Kostnadsverdier og optimaliseringsverdi fra Yingli Solar tilført HOMER Pro [72]	55
Tabell 20: Kostnadsverdier og optimaliseringsverdi for vindturbin 10KW type 240V, lagt inn i HOMER Pro [73]	56
Tabell 21: Kostnadsverdiene samt optimaliseringsgrense til batteripakken lagt inn i HOMER Pro	56
Tabell 22: Oversikt over utslipp fra dieselgenerator ved basissystem	60
Tabell 23: Resultat 1 simuleringverdier av de elektriske komponentene med total energiproduksjon, energikostnad og komponentytelse	61
Tabell 24: Utslipp fra dieselgenerator ved resultat 1	61
Tabell 25: Oversikt over energi inn og ut av batteriet, inkludert tap som oppstår og overflødig strømproduksjon ved resultat 1	62

Tabell 26: Oversikt over innkjøpskostnad for alle komponenter i resultat 1	62
Tabell 27: Verdier fra de elektriske komponentene i resultat 2	63
Tabell 28: Oversikt over utslipp fra dieselgenerator i resultat 2	63
Tabell 29: Oversikt over energi inn og ut fra batteriet, inkludert samlet tap og overflødig energiproduksjon ved resultat 2	64
Tabell 30: Oversikt over innkjøpskostnader ved resultat 2	64
Tabell 31: Oversikt over verdier fra elektriske komponenter ved resultat 3	64
Tabell 32: Årlig utslipp fra dieselgenerator ved resultat 3	65
Tabell 33: Energi inn og ut av batteripakken og tap i resultat 3, inkludert systemets overflødig energiproduksjon	65
Tabell 34: Oversikt over innkjøpskostnader ved de forskjellige komponentene	65
Tabell 35: Estimert areal av de forskjellige resultatene, samt den fornybare ytelsen til vindturbinene og solcelleanleggene	68
Tabell 36: Sammenligning av CO ₂ , dieselforbruk, fornybar fraksjon og fornybar energiproduksjon ved de forskjellige simuleringsresultatene	72
Tabell 37: Kostnadsparametere av resultatene som viser innkjøpskostnad, Net Present Cost og dieselkostnad	74
Tabell 38: Oversikt over poengsystem. Lavest vurderingsverdi er 0 og høyest er 3. Resultatet med høyest poengsum tilsvarer best energisystem	76

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

De største utslippene av klimagasser er menneskeskapt, disse klimagassene forblir i lang tid i atmosfæren. Ifølge FNs klimapanel vil det skje en gjennomsnittlig global oppvarming på mellom 3,7 til 4,8 grader innen 2100 dersom utslippene ikke reduseres kraftig. Dette vil føre til store konsekvenser innen værendringer. Den største andelen av klimautslipp i Norge kommer fra CO₂. Siden 1990 har CO₂ utslippet økt med 83 % i Norge [1]. En stor del av denne økningen stammer fra bruken av fossilt brensel. Norge har et klimamål gjennom EU til en betinget forpliktelse om utslippsreduksjon på minst 40 prosent innen 2030 sammenlignet med 1990-nivået [2].

Havbruksnæringen fører til en liten del av utslippene på en global skala, men ved å redusere bruken av fossilt brensel til oppdrettsnæringen i Norge kan en legge grunnlag for en mer bærekraftig fremtid. En vil kunne redusere CO₂ utslipp ytterligere ved å endre folkets matkonsum fra strote til mer fisk og sjømat. Da strofeindustrien medfører høye CO₂ utslipp, 30 kilo CO₂ per kilo kjøtt, der oppdrettsnæringen har et utslipp på 2,5 kilo CO₂ per kilo laksefilet [3].

Regjeringen setter krav for en bærekraftig havbruksnæring som krever forbedringer innen drift, samt biologiske tiltak som kombineres med teknologisk utvikling. Havbruksnæringen vokser stadig og innen lakseoppdrett er Norge verdensledende. Det er derfor viktig å være fremtidsrettet med tanke på energibruk og klimagassutslipp. Eksisterende teknologier må forbedres og videreutvikles, og nye teknologier må undersøkes [4].

Noen av metodene som brukes i dagens oppdrettsanlegg har varierende påvirkning på omgivelsene, og på bakgrunn av dette er det nødvendig å utvikle bærekraftige driftsformer som fører til lavere miljøpåvirkninger. Oppdrettsanlegg er tilknyttet miljøutfordringer som rømning av laks, lakselus, utslipp av næringssalter og slam [5].

En løsning vil være å flytte oppdrettsanlegget offshore, slik at avfallet ikke kontaminerer fjordene. En av utfordringene med dette er å få strømforsyning fra land, da blir oppdrettsanleggene avhengig av enten generatorer eller fornybare energiløsninger. Mye energi trengs til foringssystemer og andre komponenter på anlegget. Dieselgeneratoren er basert på fossilt brensel og et høyt forbruk gir ikke bare høye kostnader men også høyt utslipp av klimagasser. Mer enn halvparten av oppdrettsanleggene i Norge drives av dieselgenerator, mens de resterende forsynes med strøm fra land [6]. Et typisk oppdrettsanlegg har et CO₂ utslipp på rundt 250 tonn hvert år, som stammer fra fossilt brensel [7]. Det er derfor ønskelig å finne en fornybar energiløsning for å redusere CO₂-utslippet.

1.2 Målsetting for oppgaven

Formålet med oppgaven er å finne en fornybar løsning til fiskeoppdrettsanleggene, med hovedvekt på å implementere fornybar energisystemer på et anlegg for å redusere klimautslippet. Tre systemer vil utforskes, hvor det vil bli lagt vekt på høyest mulig fornybar energiproduksjon til lavest mulig innkjøpskostnader. Systemene vurderes opp mot et anlegg som bruker dieselgenerator for å forsyne anlegget med strøm. De presenterte systemene består av forskjellige kombinasjoner av vindturbiner, solcelleanlegg, en batteripakke og konverter, samt en dieselgenerator. Hvert fornybart system vil bli simulert og analysert for å oppnå en mer kostnadseffektiv, energisparende og miljøvennlig metode for drift av fiskeoppdrettsanlegg.

1.3 Metodikk

Rapporten gir forslag til ulike fornybare alternativer for å gjøre et oppdrettsanlegg mer fornybart. De fornybare kildene studiet ser på er sol-, vind- og bølgekraft.

Det er innhentet informasjon om energiforbruk, produksjon og komponentdetaljer, for å kartlegge energibehovet til oppdrettsanlegget. Dette har blitt utført ved hjelp av fagpersonell, artikler, rapporter og faglitteratur. Videre blir teoretiske beregninger fremstilt som formidler hvor mye energi en kan få ut av de forskjellige fornybare energikildene.

Studiet benytter ulike prinsippsskisser, produsert ved hjelp av programmer som AutoCad Mechanical, AutoCad Inventor Professional og Paint. Ved systematisk utførelse av beregninger er Microsoft Excel anvendt, mens simuleringsprogrammet HOMER Pro er knyttet til prosessering av simuleringsdata.

To forskjellige oppdrettsanlegg er besøkt. Det ene oppdrettsanlegget ligger utenfor Bømlø, mens det andre anlegget ligger like utenfor Torvastad, på Karmøy. Besøkene ble brukt til å kartlegge hva slags energitilførsel de forskjellige oppdrettsanleggene bruker og hvor mye strøm de har behov for.

Forskjellige leverandører har blitt kontaktet for å kartlegge informasjon om innkjøpskostnader, effekt og modelltyper som kan benyttes videre i studiet.

1.4 Avgrensninger og antagelser

- Oppgaven er begrenset til tre ulike fornybare energikonsept; sol-, vind- og bølgekraft.
- Det er ikke tatt hensyn til lover rundt installasjon av fornybare systemer.
- Det antas at energiforbruket på et fiskeoppdrett er lik hver vår og høst.
- Størrelse og effekt til konverterne brukt i systemløsningene antas av simuleringsverktøyet HOMER Pro.
- Det antas at eksisterende dieselgenerator på Dalsvåg fiskeoppdrett ikke trenger å byttes ut.
- Vedlikeholds-, operasjons- og energikostnader for forskjellige komponenter er antatt i simuleringsverktøyet HOMER Pro, kan variere.
- Innkjøpskostnader for komponenter er hentet fra leverandører, kan variere.

2. Oppdrettsnæringen

Dette kapitlet gir en kortfattet gjennomgang av oppdrettsnæringen, hvor historikk, nåværende status og laksens oppdrettssyklus kartlegges. Tilslutt en beskrivelse av miljøutfordringer, samt fremtidige løsninger.

2.1 Historikk

Oppdrettsnæringen har opplevd en hurtig utvikling fra pionerfasen rundt 1950 til dags dato. I dette kapitlet vil denne utviklingen bli forklart i tre faser; pionerfasen, gjennombrudds- og vekstfasen, konsentrasjon- og restruktureringsfasen [8].



1. Pionerfasen

Pionerfasen iverksatte forskning og eksperimentering for oppdrettsanlegg i Norge. Ettersom erfaringen økte, utviklet det seg raskt kunnskap og oppdrett ble mer kjent. Det ble lagt mer vekt på forskning og vekstvilkårene ble bedre.

2. Gjennombrudds- og vekstfasen

Oppdrettsnæringen utvikler sine karakteristiske flytemerder på tidlig 70-tallet og ble plassert langs kysten. Hvor forholdene for drift av oppdrettsfisk, som laks og regnbueørret er svært gode. Innføringen av flytemerder ga både lavere kostnader, risiko samt en bedre vekst av oppdrettsfisken. Videre ble markedsføringen og kostnadene bedre, og laks viste seg å være mest etterspurt som oppdrettsfisk.

Fra 1973 var det nødvendig med bevilling for oppretting av nye oppdrettsanlegg. Regler for plassering og eierstruktur ble etablert. I 1980-årene var oppdrettsnæringen spredd utover fra Rogaland til Finnmark. Det kom kraftig prisnedslag da nye konsesjoner kom for å øke merdvolumet og frislepp av smoltproduksjon. I 1990 forsøkte fiskeoppdretternes salgslag på å innfrysne fisken, på grunn av overproduksjon av oppdrettsfisk i forhold til markedet. Dette endte i skifteretten, og fiskeoppdretternes salgslag gikk konkurs, som gikk hardest ut over Nord-Norge [9].

3. Konsentrasjon og restrukturering

Etter forskning rundt utvidelsen av oppdrettsarter fortsatte veksten av oppdrettsnæringen fra 1992 til 2009. Oppdrettsnæringen er i dag stadig voksende og utviklingen som ligger bak har ført til svært gode økonomiske utsikter.

2.2 Nåværende status

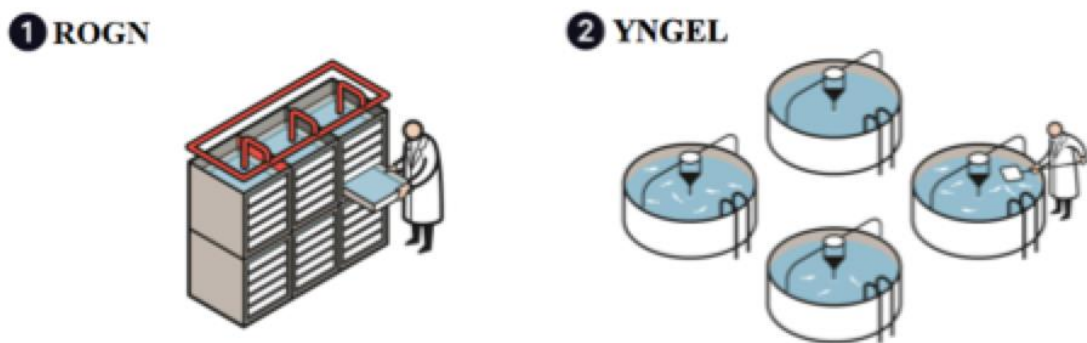
Fiskeoppdrettsanleggene har som nevnt utviklet seg mye, fra små egenproduserte merder i tre til store merder i mer solid materiale. Eksporten av oppdrettslaks har fra 2010 til dags dato økt fra 65% til 95% og var i 2011 Norges tredje største eksportnæring [10]. Bærekraftige oppdrettsanlegg er nå i fokus, ved at det forskes på å flytte anleggene offshore for å fjerne forurensning fra fjordene [11]. Det forskes også på å implementere fornybare løsninger for å drive anleggene [12]. Norge er ledende innen oppdrett av laks, og vil inngå som en av hovednæringene i lang tid framover. Selv med utfordringer i oppdrettsnæringen, er dette fortsatt en lønnsom næring.

2.3 Oppdrettssyklusen

En oppdrettssyklus inkluderer seks stadier der laksen utvikler seg fra rogn til spiseklar laks. I dette delkapittelet vil de seks stadiene bli kort forklart.

I de to første stadiene utvikles settefisk i ferskvann vist ved Figur 1. Settefisk kan defineres som rogn, yngel og parr. Den befruktede rognen utvikles i inkubasjonstanker. Utviklingen av rogn tar om lag 200 – 250 døgngrader, det vil si antall dager ganget med grader i vannet [13].

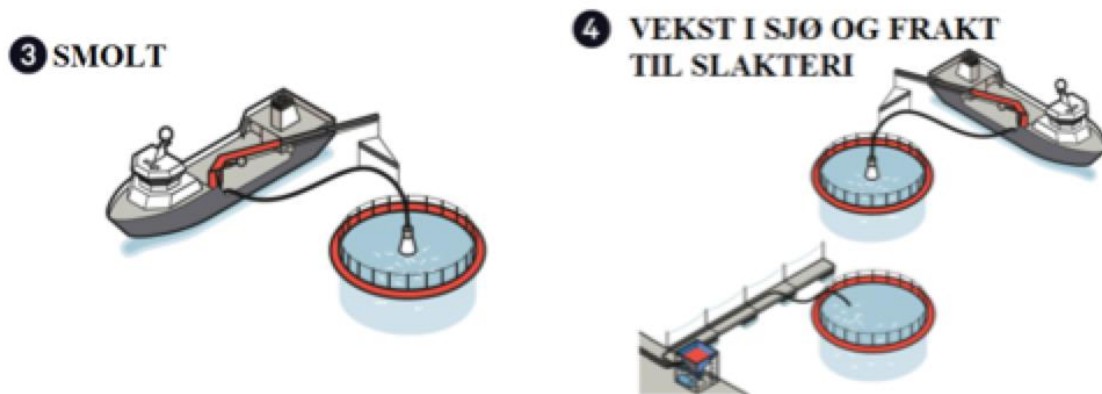
Rognen klekkes til små fisk etter om lag 500 døgngrader, da har de en plommesekk på magen som sørger for næring i det første stadiet. 300 døgngrader etter klekking begynner småfisken å spise vanlig fôr, den kalles da yngel. Yngelen blir vaksinert mot kjente laksesykdommer og vannkvaliteten blir kontrollert nøye. De oppholdes i ferskvann til de blir rundt 60 – 100 gram og tilpasses sjøvann to måneder før levering, dette kalles smoltifisering.



Figur 1: Oppdrettssyklusens to første stadier; Rogn og Yngel [13]

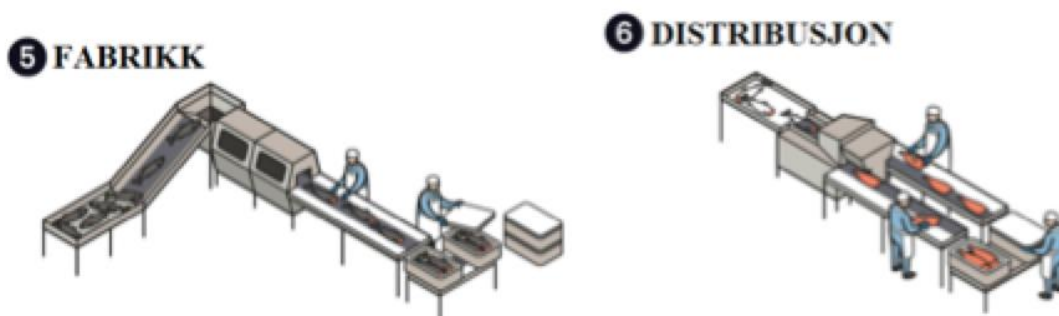
I det tredje stadiet gjennomgår fisken fysiologiske endringer, og kalles nå smolt. Endringene gjør at smolten er i stand til å gå fra ferskvann til saltvann. Saltinnholdet i vannet økes gradvis under transporten for å tilvenne smolten til sjøvannet, før de blir fraktet til et sjøanlegg. Figur 2 viser det tredje og fjerde stadiet i oppdrettssyklusen.

I stadiet fire vokser laksen til rundt 4,5 – 5,5 kg i sjøanlegg, vekststadiet tar om lag 18 – 24 måneder. Lengden på stadiet varierer fra anlegg og hvor i Norge anleggene er plassert, dette er grunnet varierende sjøtemperaturer, lys og kunstig lengde på dagene.



Figur 2: Oppdrettsyklusen i det tredje og fjerde stadiet; smolt og vekst i sjø og frakt til slakteri [13]

De siste to stadiene innebærer slakt i fabrikk og frakting når laksen har nådd ønskelig vekt. Deretter sløyes laksen og pakkes i is, før de distribueres over hele verden. Figur 3 viser de to siste stadiene fem og seks [13].



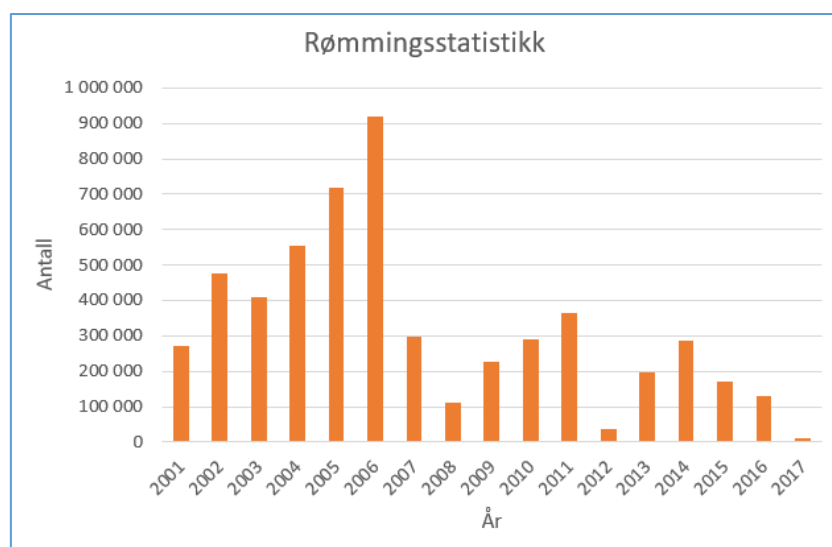
Figur 3: Oppdrettsyklusens femte og sjette stadiet; Fabrikk og distribusjon [13]

2.4 Miljøutfordringer

I dette kapittelet vil de mest omtalte utfordringene på oppdrettsanleggene bli presentert, samt de tilhørende løsningene. Miljøproblemene knyttet til anleggene fremkommer også.

2.4.1 Rømning av laks

Store mengder oppdrettsfisk rømmer hvert år fra merder, dette påvirker miljøet. For at oppdrettsanlegg skal være bærekraftig er det nødvendig å redusere antall rømt laks. Rømt laks kan svømme opp elver og havne i gyteområdene til villaksstammen. Det kan medføre stor risiko for genetisk påvirkning hvis rømt laks gyter med villaksen. Utfallet kan føre til spredning av sykdommer, samt påvirke overlevelsesnivået til villaksen negativt. Tiltak som kan redusere rømning av laks er utbedret driftsrutiner, bedre anlegg og optimal plassering av oppdrettsanleggene. Figur 4 viser antall rømte laks fra år 2001 til 2017 [14].



Figur 4: Rømmingsstatistikk [15]

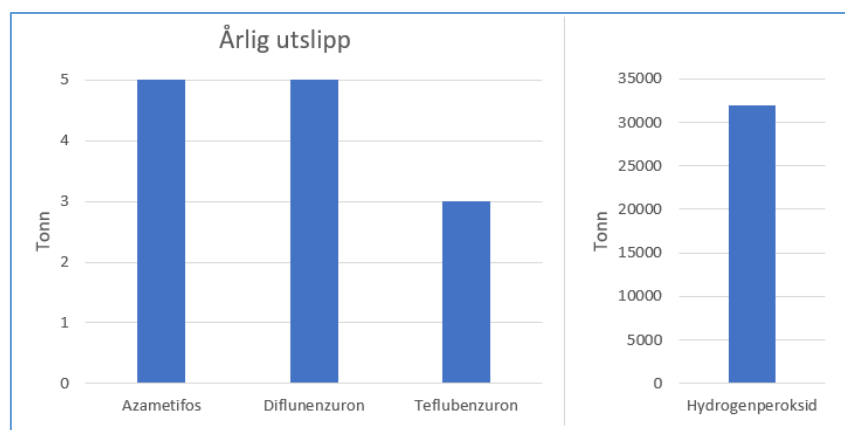
2.4.2 Lakselus

Lakselus er en parasitt som fester seg på laks og ørret i saltvann, og forekommer naturlig i alle havområder på den nordlige halvkule. Lakselus er en stor utfordring og et uttalt problem for oppdrettsnæringen. Parasitten lever av fiskens slim, skinn og blod. Dette kan påføre laksen sår som kan resultere i infeksjoner og problemer med saltbalansen.

Når et stort antall laks samles på et begrenset område, som på oppdrettsanlegg er det viktig å holde lusemengden nede. For å unngå spredning av lakselus er det fastsatt strenge grenser for tillatt lusenivå i oppdrettsanleggene. Gjennomsnittlig skal det være færre enn en halv voksen lakselus per laks i anlegget [16]. Bedriftene teller antall lus minimum hver andre uke, i tillegg til å overvåke fisken hele året [17].

For å holde seg etterrettelig til målet om lavt lusenivå, bruker oppdrettsanleggene diverse tiltak for å bekjempe lakselusen. Det blir brukt forskjellige kjemiske midler til avlusning av laks, slik som flubenzuroner og hydrogenperoksid. De kjemiske stoffene er mer giftige for lakselusen enn for laksen. Ulempen med avlusningskjemikalier er at stoffene kan være giftige for andre marine dyr [18]. Hvis oppdrettsanleggene ikke klarer å fjerne lusen med tiltak, må laksen slaktes.

Flubenzuroner er kitinhemmere som hindrer skalldannelse hos lakselus. Disse stoffene brytes langsomt ned ved havbunnen og kan føre til at andre krepsdyr ikke får bytte skall og dør. I motsetning til flubenzuroner brytes hydrogenperoksid raskt ned til vann og oksygen, men stoffet blir brukt i slikt omfang at det har en negativ effekt på miljøet. Etter behandling spyles stoffet ut i fjorden og har en skadende påvirkning på krepsdyr og småfisk. Figur 5 viser årlig utslipp av kjemiske stoffer brukt til avlusning [19].

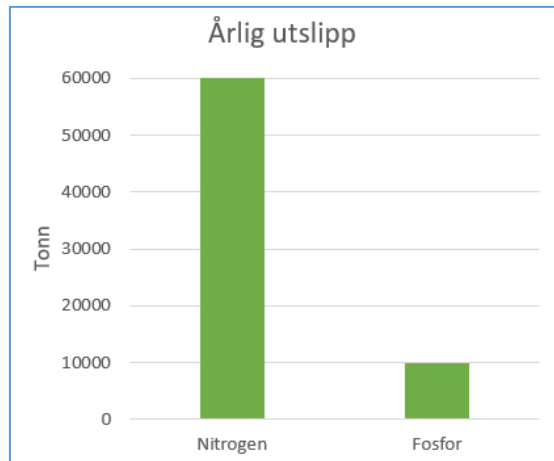


Figur 5: Utslipp fra år 2015 av kitinhemmere (azametifos, diflunenzuron, teflubenzuron) og hydrogenperoksid fra oppdrettsnæringen [20]

En biologisk metode for avlusning er å bruke spesielle arter fisk, kalt rensfisk, som spiser lusen av laksen. Rensfisken lever sammen med laksen i merdene og har vist seg effektivt for å kontrollere lusenivået. Lakselusen kan også fjernes mekanisk, ved å bruke varmtvann, ferskvann eller ved å spyle lusen av fisken. Denne metoden har vist seg å være mest effektiv [21].

2.4.3 Utslipp av næringssalter og slam

Åpne merdanlegg vil føre til utslipp av næringssalter direkte til miljøet. Næringssaltene består av fosfor og nitrogen. Utslippene forekommer fra det fôret som ikke blir spist og fra fiskens avfall. Mengde utslipp vil variere fra anlegg til anlegg også gjennom produksjonssyklusen. Figur 6 viser årlig utslipp av fosfor og nitrogen i oppdrettsnæringen.



Figur 6: Årlig utslipp av næringssalter fra oppdrettsnæringen [20]

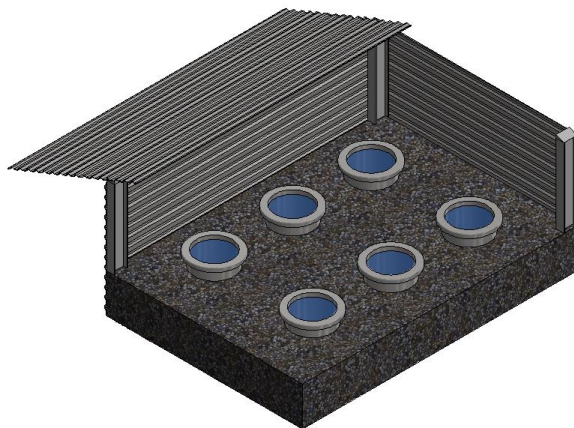
Utslipet samler seg opp under merdene og kan føre til at økt vekst av alger, dårligere vannkvalitet, nedslamming og overgjødning i fjordområder. Som et resultat av dette har oppdrettsanleggene blitt omplassert på mer åpne og dypere områder med bedre sirkulasjon [22], [23].

2.5 Framtidige løsninger

For at næringen skal vokse i framtiden er det viktig å redusere miljøproblemene til et minimum. Noen av løsningene innebærer å flytte oppdrettsanleggene vekk fra fjordene eller å bruke lukkede oppdrettsanlegg. Landbaserte oppdrettsanlegg, lukkede oppdrettsanlegg og offshore oppdrettsanlegg vil i de tre følgende underkapitlene bli kort beskrevet.

2.5.1 Landbasert oppdrettsanlegg

Et landbasert fiskeoppdrett vil si at laks og andre fiskearter avles på land i store vanntanker. Et slikt anlegg vil være mye mer miljøvennlig enn et sjøanlegg med åpne merder og vil ha mindre direkte belastning på miljøet. Det vil også være lettere å implementere en fornybar energiløsning på anlegget da det er landbasert. Prinsippskisse av et landbasert oppdrettsanlegg blir grovt illustrert i Figur 7, skissen viser seks vanntanker hvor oppdrettsfisken oppholdes under tak.

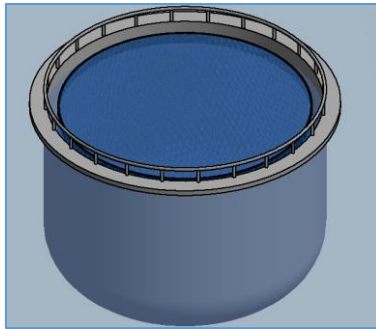


Figur 7: Prinsippskisse av et landbasert oppdrettsanlegg med seks vanntanker

Vannet i tankene må skiftes ut noe som vil være kostnadskrevenende, en får derimot mer kontroll over vannforholdene på grunn av filtrering, strømgulering og vannutskifting. Avløpsvann og slam kan lettere fjernes og samles slik at avfallsstoffene kan bli omformet og brukt som gjødsel og biogass. En stor fordel er at et landbasert anlegg vil fjerne risikoen ved spredning av lakselus fra oppdrettslaks til villaks. Spredning av sykdommer vil også bli redusert og sjansen for rømning av oppdrettsfisk vil bli eliminert [24].

2.5.2 Lukkede oppdrettsanlegg

Lukkede fiskeoppdrett vil ha en tilnærmet tett barriere mellom indre og ytre miljø. Slike anlegg kan etableres både på land og ute på sjøen. Figur 8 viser prinsippskisse av en lukket merd.

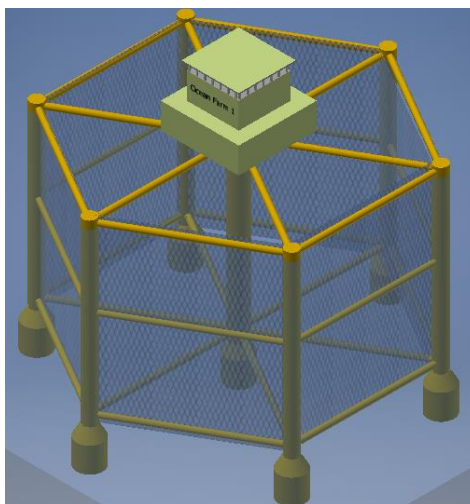


Figur 8: Prinsippkisse av et lukket oppdrettsanlegg

Istedenfor naturlig vanngjennomstrømning ved tradisjonelle anlegg, vil vannet sirkulere ved hjelp av pumper. Vannet i et lukket anlegg filtreres før fisken entrer tanken som vil gi bedre kontroll på fiskens miljø. Det er usikkerhet knyttet til energiregnskap, da pumpene som sirkulerer vannet vil være mer energikrevende og fører til økte kostnader. Slik som ved landbaserte anlegg vil utfordringer som lakselus, rømning og spredning av sykdommer reduseres betydelig. Det vil også være enklere å fjerne avfallsstoffene ved lukkede anlegg [25].

2.5.3 Offshore oppdrettsanlegg

Et offshore anlegg vil si å plassere anlegg enda lenger vekk fra kyst og fjorder. Slike anlegg kan bidra til å løse noen utfordringer i oppdrettsnæringen. Ved å plassere anlegget offshore bidrar det til å minske lokale forurensninger, samt gi stor plass for næringen å vokse. Anleggene må være større og mer robust på grunn av de utfordrende vind-, bølge- og strømforholdene som fins offshore. Prinsippet med et offshore anlegg er å minke miljøtrykket, bedre fiskevelferden og løse arealkonflikter. Det mest utviklede pilotkonseptet ble ferdigstilt i 2017 av SalMar, prinsippkisse vist i Figur 9.



Figur 9: Prinsippkisse av et offshore oppdrettsanlegg

Konstruksjonen kan sammenlignes med halvt nedsenkbar installasjon. Pilotprosjektet skal ta vare på oppdrettsfiskens biologiske krav, og skal finne ut av de biologiske forholdene og velferden til fisken. Dette gjøres ved hjelp av forskning, testing, utvikling og læring [11].

3. Energiressurser

Det vil i dette kapitlet fremkomme en vurdering av ulike energiressurser som egnes til bruk ved fiskeoppdrettsanlegg uten strømforsyning fra land. Energiressurser som vind-, sol-, bølgeenergi og dieselgenerators fordeler og ulemper blir beskrevet. En batteripakke for å lagre energi fra fornybare kilder vil også bli presentert.

3.1 Anlegg uten strømkabel fra land

Det er mange fiskeoppdrettsanlegg i dag som er uten strømkabel til land, men som blir drevet av dieselgenerator eller en annen type generator. Å drive et oppdrettsanlegg på dieselgenerator er både dyrt og forurensende. Dessuten lager generatorer mye støy som kan påvirke både fiskens velvære og de ansatte.

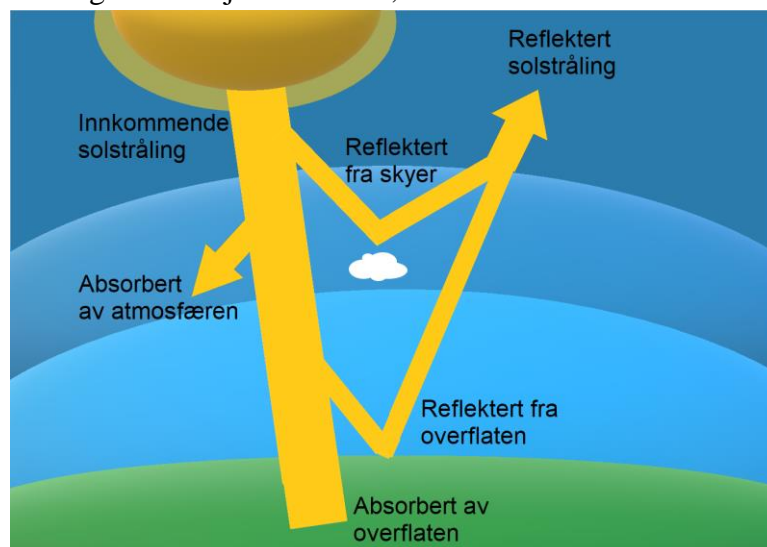
Mange oppdrettsanlegg har endret til landstrøm, det vil si strømforsyning direkte fra land via sjøkabel. Dette er mer miljøvennlig enn å drive anlegget med dieselgenerator. Mange steder er det problematisk å legge en kabel fra land. Kabelen kan være i veien for skipsleier samt annen aktivitet, og andre problemer kan være at strømmettet har begrenset kapasitet i nærheten der oppdrettsanlegget trenger strømforsyning fra [26].

3.2. Solenergi

Det vil i dette delkapitlet bli presentert generell teori om solenergi, samt ulike typer solcellepanel og dens virkemåte.

3.2.1 Generelt om solenergi

Solen er opphavet til det meste av fornybar energi, med unntak av tidevann og geometrisk energi. Energistrømmen fra solen mot jorden er mye større enn alle andre varmestrømmer. Strålingsenergien som treffer det ytre av atmosfæren er ca. 1368 W/m^2 . Differansen i denne energistrømmen er på under 5 % og skyldes variasjoner i solens aktivitet og avstanden mellom jorden og solen gjennom året. Figur 10 viser prinsippskisse av solinnstrålingens fordeling, som viser at all solinnstråling ikke når jordoverflata, men reflekteres eller absorberes bort.

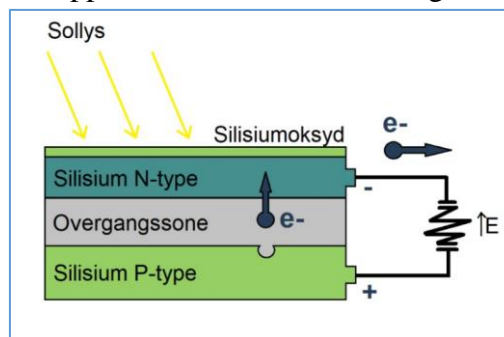


Figur 10: Prinsippskisse av solinnstråling som viser reflektert og absorbert stråling

Solenergien opptrer i form av direkte solstråling som nyttes til produksjon av varme eller produksjon av elektrisk energi. Solenergi kan konverteres til elektrisitet på to måter, enten ved solceller eller ved hjelp av konsentrert solkraft, også kalt solkraftverk [27].

3.2.2 Solceller

Det vanligste materialet brukt for å lage solceller er silisium. En solcelle består av to lag med halvledermetaller hvor begge sidene er dopet. Doping vil si å tilsette små mengder av andre stoff til silisiummaterialet. Silisium må dopes for å få elektrisk strøm, som tvinger elektronet til å bevege seg rundt kretsen. Vanligvis dopes silisium med bor og fosfor. Doping påvirker ikke strukturen til materialet. Den negative silisium siden (N-type) har vanligvis overskudd på frie elektroner, mens positiv silisiumside (P-type) har underskudd. I overgangssonen mellom de to silisiumsidene skapes det et elektrisk felt som driver frie elektroner mot den negative silisium siden. Den negative og positive silisiumsidene er forbundet med en elektrisk krets, slik at det genereres elektrisk strøm. Prinsippskisse av solcelle vist i Figur 11 [28].



Figur 11: Prinsippskisse av silisium solcelle som viser negativ og positiv side, samt hvordan elektronene beveger seg i kretsen.

Tabell 1 viser fordeler og ulemper ved solceller.

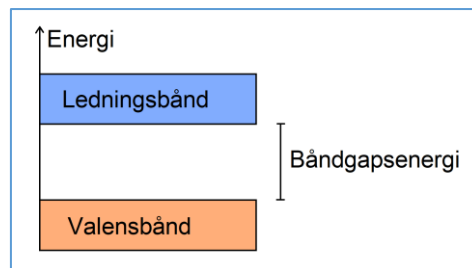
Tabell 1: Fordeler og ulemper ved solcelle [29] [30].

Fordeler	Ulemper
Solceller er mest effektive på dagen, når energietterspørselen på anlegget er størst	Solceller mottar minst energi om vinteren, da solinnstrålingen er lavere
Systemet er automatisk og krever lite tilsyn og vedlikehold	Fremstilling av rent silisium er kostbart og ikke miljøvennlig
Lang levetid på rundt 30 år som følge av ingen bevegelige deler	Lav virkningsgrad på 16-20 %, med et samlet energitap på omtrent 80 %
Ingen støy	Virkningsgraden synker med omtrent 10% etter 25 år

3.2.3 Elektrisk energi fra solen

Solceller konverterer solenergien direkte til elektrisk energi ved hjelp av den fotoelektriske effekten. Dette innebærer utsending av elektroner når et stoff blir belyst av sollys og absorberer energi fra et foton [31]. Inne i solcellen slår sollyset løst et elektron som var fastbundet i en kjemisk binding. Fotonet kolliderer med et elektron inne i solcellen, elektronet blir slått løst dersom fotonet har høy nok energi [27].

Energien til et foton varierer med bølgelengde, større bølgelengder medfører lavere energi. Når et foton kolliderer med elektronet må elektronet bli "løftet" fra valensbåndet til ledningsbåndet for å kunne bevege seg fritt. Figur 12 viser dette ved en prinsippskisse av båndgapsmodellen.



Figur 12: Prinsippskisse av båndgapsmodellen, hvor elektronene beveges fritt i ledningsbåndet og fastbundet ved kjemisk binding i valensbåndet

3.2.4 Installert effekt og virkningsgrad

Effekten til en solcelle forteller noe om hvor fort energien overføres. Effekten regnes ut ved hjelp av Formel 1. For å øke effekten til solceller kan det kobles flere solceller sammen. Dette utgjør et solcellepanel. Seriekobling vil si at solcellene er koblet etter hverandre, som vil øke spenningen og derfor effekten. Den negative polen på en solcelle kobles til den positive polen på en annen solcelle. For å ytterligere øke effekten kan solcellepanelene parallellkobles. Parallellkobling fører til økt strøm, som vil gi økt effekt [30].

$$P = U \cdot I \quad 1$$

Beskrivelse av symbolene fra formel 1 blir vist i Tabell 2

Tabell 2: Symbolbeskrivelse fra formel 1

Symbol	Beskrivelse
P	Effekt
U	Elektrisk spenning
I	Elektrisk strøm

Solcellens virkningsgrad tilsvarer forholdet mellom avgitt elektrisk effekt og mottatt solinnstråling. Formel 2 viser den generelle formelen for virkningsgrad til en solcelle.

$$\frac{\text{Elektrisk effekt}}{\text{Solstråling}} \cdot 100\% \quad 2$$

Virkningsgraden for en solcelle avhenger av forskjellige faktorer, mengde solinnstråling og overflatetemperatur som kan variere gjennom dagen og over året. For en silisiumcelle øker virkningsgraden med synkende overflatetemperatur, som vil si at en silisiumcelle har høyere virkningsgrad i avkjølt tilstand. Maksimal teoretisk virkningsgrad for silisium ligger på 28%, men i praksis vil virkningsgraden være noe lavere, ca. 16-20 % [28].

Virkningsgraden til en solcelle er ofte lav. En grunn for dette er foton med lav energi og som et resultat av dette har fotonet ingen effekt i solcellen. Det forekommer også tap ved konvertering og overføring av strøm [30].

3.2.5 Ulike typer solceller

Silisium- og tynnfilmceller er de to hovedgruppene som finnes på markedet i dag.

Krystallinske solceller kan klassifiseres i to hovedtyper, monokrystallinske og multikrystallinske. Begge typene lages av silisiumskiver. Forskjellen mellom de to hovedtypene er strukturen inne i krystallen. Monokrystallinske solceller består av bare en krystall med et homogent krystallgitter inne i silisiumskiven. I motsetning til monokrystallinske solceller, består multikrystallinske silisiumskiver av mange små krystaller. Monokrystallinske solceller kan omforme mer sollys til elektrisitet, i forhold til multikrystallinske solceller. Det kreves derimot mer energi til produksjon, som resulterer i en mer krevende produksjonsprosess samt økt produksjonskostnad. En typisk monokrystallinsk solcelle har en virkningsgrad på rundt 15 – 20 %. Multikrystallinske solceller har lavere produksjonskostnader, men også lavere virkningsgrad, omtrentlig 14 – 16 % [29].

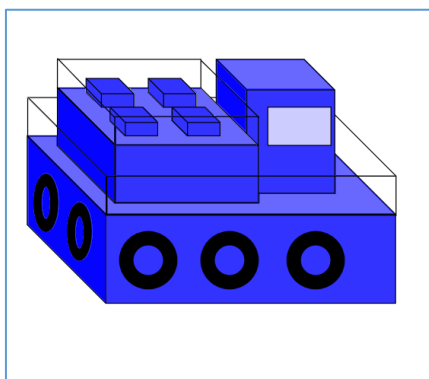
Det finnes en rekke ulike tynnfilmteknologier. De vanligste typene er CIGS, CdTe og a-SI, henholdsvis stoffene kobber, indium, gallium, selenid, kadmium, tellur og amorft silisium. Tynnfilmteknologi har tynne lag av solceller og benytter ofte materialer med direkte båndgap, slik at lyset kan absorberes i de tynne lagene. I noen tilfeller kan tynnfilmceller produsere mer elektrisitet under dårlige solforhold enn krystallinske solceller. Virkningsgraden til en tynnfilmcelle ligger som regel rundt 7 – 12 %. Cellene lages vanligvis på substrat av glass eller stål, men plast kan også brukes. Ved bruk av plast blir modulene mer fleksible og kan dermed bøyes etter underlaget [32].

3.2.6 Solcellepanel i oppdrettsnæringen

Dette underkapittelet vil se på solcellepanelenes plasseringsmuligheter ved Dalsvåg fiskeoppdrett. Det er utarbeidet tre alternativ for plassering av solcelleanlegg ved oppdrettsanlegg. Alternativene som vil bli beskrevet er plassering av solcellepaneler på fôrflåtens tak, på en nærliggende øy eller på en ekstern flytende modul. I Norge er solinnstrålingen lav, spesielt om vinteren. Da er det nødvendig med et relativt stort område for å få en høy strømproduksjon. Deretter ser en grovt på hvordan solcellepaneler kan kobles opp og installeres.

Solcellepaneler på tak

Det er begrenset areal på fôrflåtens tak, vist i Figur 13. Takarealet er omtrent 36 m². Solcellepaneler kan ikke monteres på hele dette området på grunn av fire luker hvor siloer er fylt med fôr. Det er også behov for arbeidsareal, der det er mulig å tilføre slanger til lukene for påfylling av fôr. På grunn av liten plass til solcellepaneler på taket vil en få begrenset strømproduksjon og derfor bør andre alternativer undersøkes.



Figur 13: Prinsippskisse av fôringsflåten på Dalsvåg fiskeoppdrettsanlegg som viser de fire lukene for oppbevaring av fôr

Flytende solcellepaneler

Flytende solcellepaneler vil kunne forsyne oppdrettsanlegget med strøm, og eliminere utfordringen med begrenset takareal. En slik løsning kan gi mer effektiv energiproduksjon, samt lavere kostnader over lengre tid i forhold til kontinuerlig drift av en dieselgenerator.

Teknologien er basert på silisium solceller fordelt på en flytende kald membran. Høy effektivitet oppnås ved lave temperaturer på solcellene gjennom direkte varmeoverføring til vann. Aluminium blir brukt for å lede varmen ned i sjøen, slik at solcellene kan holdes kalde. Solcellene blir dermed mer effektive og kan produsere mer strøm. Panelene er installert på en fleksibel flytende konstruksjon som demper bølger og hindrer vanninntrenging for å unngå negativ påvirkning av solcellene. Systemkomponentene i flytende solceller er produsert av miljøvennlige materialer [33].

Solcellepaneler på nærliggende øyer

Solcellepaneler plassert på øyer kan være utfordrende på noen anlegg, da ikke alle har øyer i nærheten. Videre kan det være problematisk å få lagt strømkabelen fra solcellepanelene til fôrflåten.

Oppdrettsanlegget ved Dalsvåg er plassert mellom flere øyer. Her er det mulighet å plassere solcellepaneler på de nærliggende øyene. I Figur 14 kan en se Dalsvåg fiskeoppdrettsanlegg. Bildet viser flere nærliggende øyer rundt anlegget. Den største øya har et areal på omtrent $12\,500\text{ m}^2$, noe som gir god plass til installasjon av solcellepaneler. Hele arealet kan ikke brukes, da overflaten er varierende. Det er valgt å se bort fra lovverk og andre utfordringer som kan oppstå ved å plassere solcellepaneler på øyen. For lokasjonen ved Dalsvåg er det enklest og mest økonomisk å plassere solcellepanel på den nærliggende øyen.



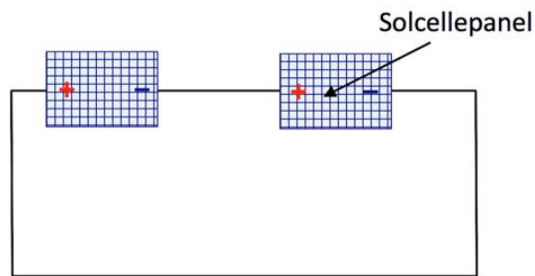
Figur 14: Oversiktsbilde av nærliggende øyer ved Dalsvåg fiskeoppdrett som velges til plassering av solcellepaneler

Installasjon av solcellepaneler

Solcellepaneler behøver korrekt installering for å kunne yte maksimalt. Dette inkluderer retningsmontering, beliggenhet og monteringsstedets solbelastning. Solcellepanelene i Norge yter optimalt på flater rettet mot sør, sørvest og sørøst.

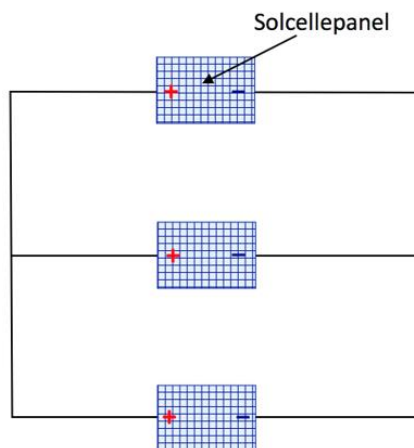
Komponenter som trengs for at solcellepanelet skal kunne fungere er konverter, batteri og diverse strømledninger. For å kunne praktisk benytte seg av energien som produseres av solcellene må likestrømmen omformes til vekselstrøm, dette oppnås ved en konverter. Faktorer som er avgjørende for et optimalt solcellesystem er antall solcellepanel en trenger, hvilket lagringsbehov som behøves, samt en tilpasset konverterstørrelse montert i nærheten av batteriene for å unngå tap i kabler og ledninger [34].

Solcelleanlegget skalert etter Dalsvåg oppdrettsanlegg må sammenkobles i form av serie- og parallellkobling slik at det kan jobbes med et likestrøms spenning nivå som kan overføres til vekselstrøm produsert i dieselgeneratoren. Solcellepanelene har en negativ og positiv pole, som kan seriekobles positiv mot negativ pol slik at spenningen øker. Figur 15 viser prinsippet til hvordan seriekobling av solcellepaneler kan se ut, hvor panelene er koblet etter hverandre.



Figur 15: Prinsippskisse over seriekoblede solcellepaneler. Figuren viser to paneler hvor negativ pol er koblet til positiv pol

Ved å koble systemet i parallell oppstår det en økning av strøm. I parallellkobling kobles polene positiv mot positiv. Figur 16 viser prinsippet hvor tre solcellepanel er koblet i parallell [35].



Figur 16: Prinsippskisse over solcellepaneler som er parallellkoblet, der positiv er koblet til positiv pol

For å videreføre solenergien som produseres på en nærliggende øy ved Dalsvåg fiskeoppdrett, er det behov for en tykk kabel. Kabelen må tåle å ligge under vann slik at den ikke er i veien for sjøfartøy, samt dimensjoneres riktig slik at energitapet er minimalt. Det eksisterer ulike tabeller og spenningskalkulatorer for beregning av kabelverrsnitt og energitap. Antallet solcellepaneler som benyttes utføres av et simuleringsverktøy i Kapittel 4.

3.2.7 Valg og kostnad for solcellepanel

Det er mange faktorer som bestemmer de endelige kostnadene for å installere solcellepaneler i oppdrettsnæringen. Innkjøpskostnadene vil variere i forhold til hvilke typer paneler som er valgt. Faktorene er kvalitet, hvilke sertifikater og garantier de forskjellige produsentene gir, samt materialkvalitet i rammene. Andre faktorer er installasjon og frakt. I dette kapittelet vil kun innkjøpskostnadene vurderes, og det er valgt å se bort fra kostnadene som forekommer fra installasjon, vedlikehold, o.l. I Tabell 3 vises en oversikt over forskjellige solcellepaneler, tilhørende peak power, spenning, mål, virkningsgrad og innkjøpsprisen per panel. Peak power defineres som maksimal effekt solcellepanelet kan oppnå ved standard testforhold. Informasjon som ikke eksisterer i solcellepanelenes datablad står blank i tabellen. Ytterligere informasjon om solcellepanelene finnes i Vedlegg A.

Tabell 3: Oversikt over paneltyper og innkjøpspris [36], [37]. ytterligere informasjon i vedlegg A

Type	Peak power [W]	Spenning [V]	Mål [mm]	Virkningsgrad [%]	Panelkostnad [NOK]
SunStyle	100	15,9	870 x 870	-	3000
MaxPower	185	-	1482 x 676	15,3	3990
SunEnergy	200	43	1580 x 810	-	2295
IBC MonoSol	200	45,6	1650 x 992	16,2	1695
Centoo Solar	255	37,69	1660 x 990	14,8	2972
Yingli Solar	270	36,1	1650 x 990	16,4	1977
SunPower	327	-	1558 x 1046	19	5000

Det er bare et solcellepanel som blir vurdert ved de forskjellige typene. For å få større effekt til oppdrettsanlegget er det nødvendig å installere et solcelleanlegg, som vil si flere solcellepaneler koblet sammen. Her vil også innkjøpskostnadene variere, noen leverandører tilbyr avslag ved kjøp av flere solcellepaneler.

Solcellepaneltypene ble videre sammenlignet med en faktor som går ut på innkjøpskostnad per installert kapasitet vist i Figur 17.

Paneltype	SunStyle	MaxPower	SunEnergy	IBC MonoSol	Centoo Solar	Yingli Solar	SunPower
Kapasitet (W)	100	185	200	200	255	270	327
Kostnad (NOK)	3000	3990	2295	1595	2972	1997	5000
Faktor	30,0	21,6	11,5	8,0	11,7	7,4	15,3

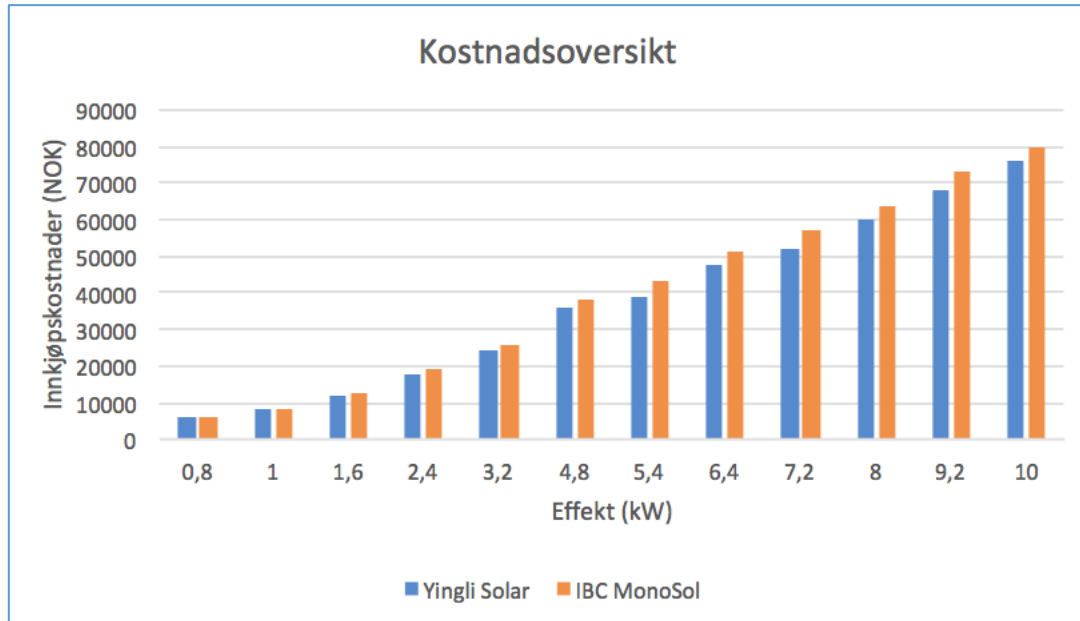
Figur 17: Vurdering av solcellepaneler basert på en faktor (NOK/kW). Hvor rød er dårligst, gul er nøytral, og grønn er best

Paneltypene som kom best ut var Yingli Solar med 7,4 kr/W og IBC MonoSol med 8 kr/W. Begge solcellepaneltypene er relativt lik hverandre. Celletypen til begge panelene er monokrystallinsk. De har tilnærmet like mål med to millimeters differanse og er laget av samme material; antireflekerende lav-jern glass med en tykkelse på 3,2 mm. Rammene er laget av aluminium. Den store forskjellen er nominell effekt og kostnader. Som vist i Tabell 3 har Yingli Solar større effekt, men også høyere kostnader. Valgt modell fra Yingli Solar er PANDA YL270c-30b, med en virkningsgrad på 16,4 %, vist i Vedlegg A.X [38]. IBC MonoSol har noe lavere virkningsgrad på 15,7 %, valgt modell er 200 CS. Tabell 4 viser kostnad, effekt og størrelse på de tilhørende paneltypene. Leverandøren for Yingli solar tilbyr avslag ved kjøp av flere paneler, det gjelder ikke for IBC MonoSol.

Tabell 4: Sammenligning over kostnad, effekt og størrelse ved kjøp av flere paneler av typen Yingli Solar og IBC MonoSol

Antall panel	Størrelse [m ²]	Yingli Solar		IBC MonoSol	
		Effekt [kW]	Kostnad [NOK]	Effekt [kW]	Kostnad [NOK]
5	8,2	1,35	9985	1	7975
20	32,7	5,4	39 040	4	31 900
40	65,34	10,8	75 800	8	63 800
54	88,2	14,58	100 822	10,8	86 130

Tabellen viser at IBC MonoSol er rimeligere ved innkjøp av 40 paneler, ulempen er lavere effektivitet. Figur 18 viser kostnadsoversikt ved forskjellig effekt. Ved høyere effekt lønner det seg med Yingli Solar. Derfor velges Yingli solar, og vil bli brukt ved simulering senere i Kapittel 4.



Figur 18: Kostnadsoversikt over innkjøp og effekt ved de to paneltypene; Yingli Solar og IBC Monosol

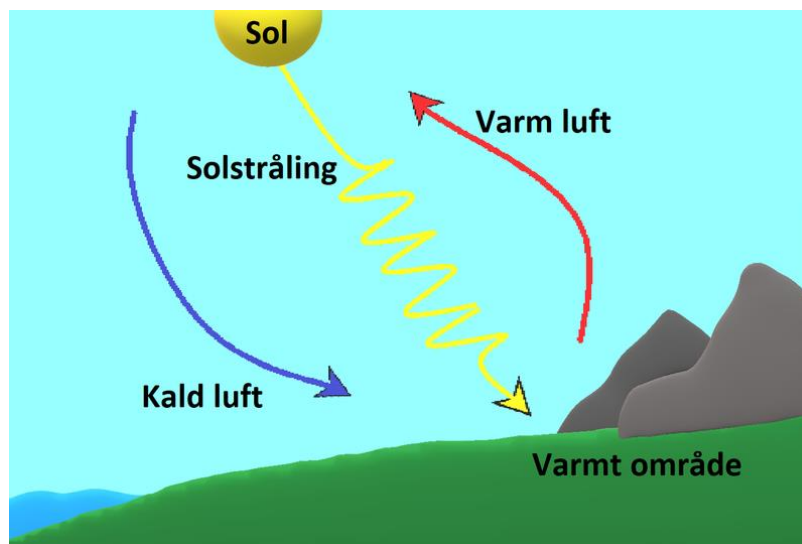
3.3 Vindkraft

Mulighetene til å nytte vindkraft for å forsyne et oppdrettsanlegg med energi vil her bli beskrevet. Først og fremst vil det bli forklart hvordan vind oppstår, etterfulgt av teoretiske beregninger av vindkraft. Deretter vil forskjellige vindturbin typer bli diskutert med hensyn på å forsyne et oppdrettsanlegg, samt fordeler og ulemper ved disse.

3.3.1 Generelt om vind

Vind er luft i bevegelse og blir drevet av solinnstrålingen. Vind oppstår når det er trykkforskjeller i atmosfæren som er et resultat av temperaturforskjeller på jordoverflaten, ulike deler av jordoverflaten får ulik oppvarming fra sola. Dette gir luftstrømmer som flytter varme nær ekvator mot polene.

Varm luft er lettere enn kald luft og stiger opp, dette skaper et lavtrykk langs bakkenivå. En tilstrømning av kald luft fra omgivelser med høyt trykk, erstatter den stigende varme luften for å utjevne trykkforskjellen. Den varme luften vil bli gradvis nedkjølt, synke ned og blande seg med den kalde luften. Figur 19 illustrerer hvordan vind oppstår [27].



Figur 19: Illustrasjonsbilde av hvordan vind oppstår der varm luft stiger og kald luft kommer inn fra siden

Etterfulgt av vannkraft er vindkraft både billigere og den mest utviklet formen for fornybar energi i Norge. Vindkraftutvinning er en teknologi som har gått gjennom stor utvikling, og er i dag basert på høyteknologi [39]. Fordeler og ulemper for vindkraft blir vist i Tabell 5.

Tabell 5: Fordeler og ulemper for vindkraft [40], [41]

Fordeler	Ulemper
Vind er globalt tilgjengelig og en god ressurs i Norge	Ikke miljøvennlig å fremstille materialene til en vindturbin
Vindressursene er bedre om vinteren, når forbruket av energi er høyt	Variierende virkningsgrad grunnet varme og friksjon
Lave kostnader for energiproduksjon av vindkraft omtrent 40 øre/kWh	Støy for bebyggelse nærmere enn 1 km og kan ha negative konsekvenser for fugl

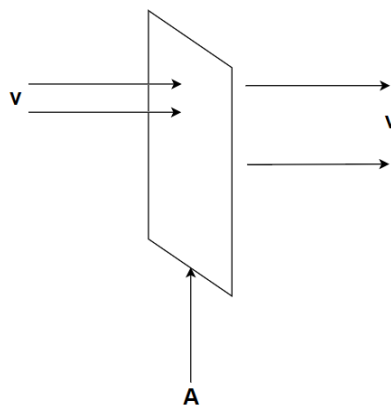
3.3.2 Vindturbinens teoretiske effekt

Energien til luft i bevegelse er kinetisk energi. En vindturbin kan omforme denne bevegelsesenergien til mekanisk energi, og deretter til elektrisk energi. Rotorene på en vindturbin overfører kraft fra vinden til en generator som omdanner den mekaniske energien fra rotorene og turbinen til elektrisk energi.

Den kinetiske energien i vinden er vist i Formel 3. Symbolbeskrivelse blir vist i Tabell 6.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad 3$$

Energien passerer et tverrsnitt, normalt på vinden. Vist i Figur 20



Figur 20: Tverrsnitt med tverrsnittareal, A og vindhastighet, v

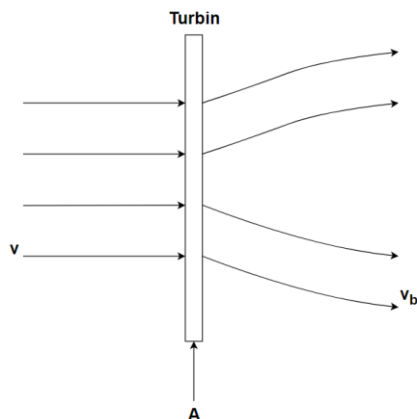
Effekten i vinden som er uforstyrret av turbinen er gitt i Formel 4. Symbolbeskrivelse blir vist i Tabell 6.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad 4$$

Tabell 6: Symbol og beskrivelse for formel 3 og 4

Symbol	Beskrivelse
E_k	Kinetisk energi
m	Masse
v	Vindhastighet
ρ	Luft tetthet
P	Effekt
A	Tverrsnittareal

Når vinden passerer rotoren forandres trykket og hastigheten til luftmassen. Luftstrømmen er bredere bak turbinen, fordi vindhastigheten bak, v_b , er lavere enn vindhastigheten framfor turbinen, v . Det er gunstig å ha en lavere vindhastighet bak turbinen i forhold til framfor turbinen, fordi da kan en hente ut mest mulig energi. Andelen energi som hentes ut av turbinen er differansen i vindhastigheten framfor og bak rotorbladene. Det kan ikke tas ut energi dersom vindhastigheten er den samme framfor og bak turbinen. Tilsvarende om vindhastigheten bak turbinen er lik null, som fører til at rotorbladene på turbinen stopper å rotere. Figur 21 viser luftstrømmene foran og bak turbinen.



Figur 21: Utvidelse av luftstrøm bak turbinen

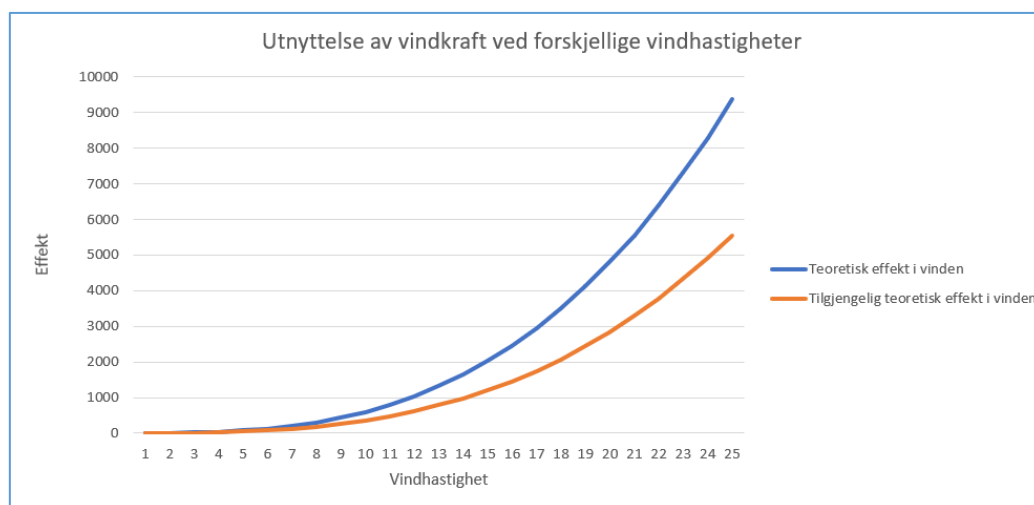
Energien som blir produsert i turbinen er forskjellen mellom kinetisk energi før og etter turbinen, vist i Formel 5.

$$E_{prod} = E_{k,før} - E_{k,etter} \quad 5$$

Den tilgjengelige teoretiske effekten i vinden finnes ved å benytte Formel 6.

$$P_{prod} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \frac{16}{27} \quad 6$$

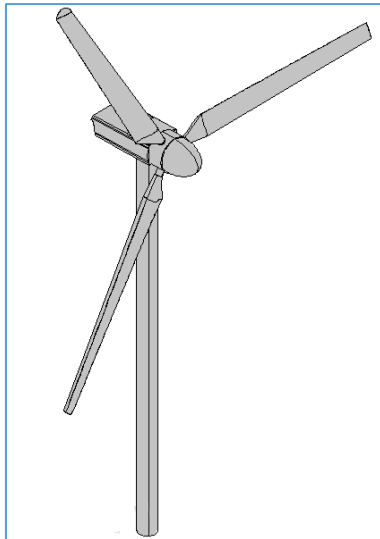
Vindturbinen kan maksimalt omdanne 16/27, som tilsvarer 59,3% av bevegelsesenergien i vinden til mekanisk energi, ifølge Betz's lov, som sier hvor stor del av vindens effekt en maksimalt kan utnytte i en vindturbin [42]. Dette er kun teoretisk, i praksis vil det oppstå tap av energi ved omforming av bevegelsesenergi til mekanisk energi og deretter til elektrisk energi. Utnyttelse av teoretisk effekt i vinden og tilgjengelig effekt i vinden vises i Figur 22 [43].



Figur 22: Utnyttelse av vindkraft ved forskjellige vindhastigheter, hvor blå linje tilsvarer teoretisk effekt i vinden og oransje tilsvarer tilgjengelig teoretisk effekt i vinden

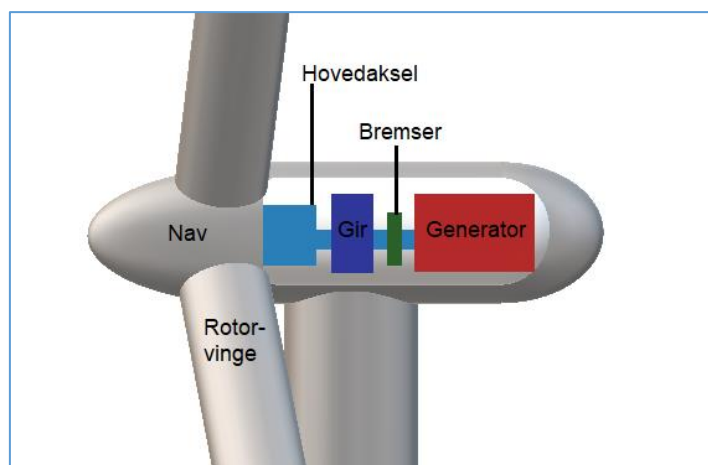
3.3.3 Ulike typer vindturbiner

Vindturbiner blir klassifisert i to hovedgrupper, VAWT og HAWT. Klassifiseringen informerer om hvilken akse rotorbladene roterer om. HAWT er en horisontalakslet vindturbin som har hovedrotorakselen og elektriskgenerator oppe i tårnet. Prinsippskisse av en horisontalakslet vindturbin vises i Figur 23.



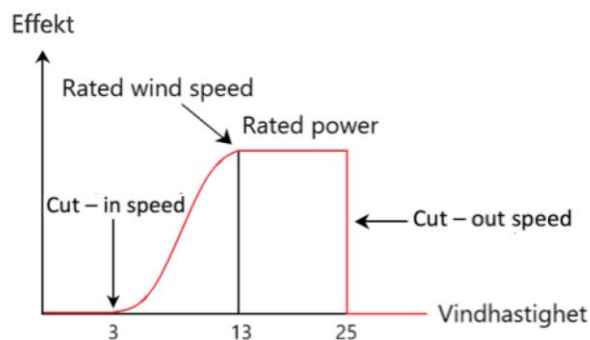
Figur 23: Prinsippskisse av en horisontalakslet vindturbin, HAWT

HAWT er den mest brukte vindturbinotypen og tilnærmet enerådende i kommersielle prosjekter [44]. I en moderne vindturbin består hovedkomponentene av en rotor med to eller tre blad som er tilkoblet et nav, som til sammen utgjør rotoren. Rotoren er festet til nacellen som er et maskinhus og inneholder alle de genererende komponentene. Hovedkomponentene i nacellen er illustrert i Figur 24. En moderne vindturbin produserer energi når vindhastigheten er mellom 3 m/s og 25 m/s, som betegnes som svak vind til full storm. En optimal virkningsgrad oppnås ved en vindhastighet på rundt 13 m/s [45]. Dette betyr at vindturbinen har en cut-in vindhastighet på 3 m/s og en cut-out vindhastighet på 25 m/s.



Figur 24: Hovedkomponenter i nacellen som inkluderer hovedaksel, gir, bremser og generator

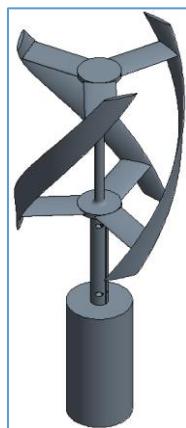
Rated wind speed er den høyeste vindhastigheten, der vindturbinen tar ut den maksimale effekten den er i stand til å ta ut. For å utnytte vinden optimal blir nacellen og rotorbladene regulert kontinuerlig. Dette forkommer når vindhastigheten er høyere enn rated wind speed. Rotorbladene blir regulert slik at turbinen kan ta ut den samme konstante effekten, rated power, for alle vindhastigheter større enn rated wind speed. Vindturbinen vil slutte å produsere energi dersom vindhastigheten blir for høy, slik at rotoren ikke blir utsatt for skadende belastninger. Dette blir illustrert i Figur 25.



Figur 25: Effekt - vindhastighetskurve for vindturbin med cut-in speed, cut-out speed, rated wind speed, rated power

VAWT vindturbiner med vertikal akse har en enklere konstruksjon. Turbinen trenger ikke å vendes opp mot vinden for å være effektiv, alle vindretninger er likestilte. Turbinene har derfor ikke en haleprofil slik som horisontalakslet vindturbiner har. De tunge komponentene til turbinen slik som girkasse og generator kan plasseres på bakkenivå, noe som gjør tilgjengelighet og vedlikehold enklere, samtidig som det drar ned kostnadene. Vertikalakslet vindturbiner er konstruert slik at de kan tåle tøffe vindforhold. Turbinen kan produsere effektiv kraft selv med lave vindhastigheter, de kan derfor plasseres nærmere bakkenivå. Dette medfører mindre støy.

Selv om vindturbinen er konstruert slik at den kan tåle tøffe vindforhold, har den en større sjanse til å stoppe rotasjonen og falle sammen. Turbinbladene stopper opp på grunn av de høye sentrifugalkreftene som utvikles i rotoren ved høye vindforhold [46]. Prinsipp skisse vises i Figur 26.



Figur 26: Prinsippskisse av vertikalakslet vindturbin, VAWT

3.3.4 Vindturbiner i oppdrettsnæringen

Å velge en lokasjon for vindkraft er avhengig av flere faktorer, slik som vindforhold, nettkapasitet og tillatelse for bygging. Dette studiet vil kun legge vekt på tilgjengelig areal og enklest mulig installasjon.

Vindkraftpotensialet er større ved havbasert vindkraft sammenlignet med landbasert vindkraft, da vindhastigheten som regel er større og mer stabil til havs. Selv med gode vindressurser vil havbasert vindkraft være mer kostbart, og variere avhengig av distansen fra land, bunnforhold, vind og bølgeforhold. Samtidig som det vil oppstå høyere kostnader ved drift og vedlikehold.

Vindturbiner kan plasseres ved forskjellige områder på et oppdrettsanlegg. Det billigste alternativet vil trolig være å installere vindturbiner direkte på fôrflåten. På grunn av fôrflåtens størrelse vil kun relativt små vindturbiner få plass. Andre alternativ kan da være bunnfaste vindturbiner på relativt grunt vann, flytende forankrede vindturbiner på dypere vann eller å plassere vindturbinene på nærliggende øyer [47].

Bunnfaste og flytende turbiner

Bunnfaste- og flytende vindturbiner kan være en god løsning på områder hvor landarealet er begrenset, men vil føre til vesentlig høyere kostnader. De store utfordringene til begge løsningene vil være installasjon, nettilknytning, fundamentering, drift og vedlikehold.

Det vil være kostbart og komplisert å installere bunnfaste vindturbiner på grunn av fundamenteringen. Det er flere metoder for fundamentering, hovedsakelig går teknologien ut på å plassere et vertikalt stålrør fast i et betongfundament nede på havbunnen [47].

Flytende vindturbiner kan installeres på dypere vann enn for bunnfaste turbiner, som kan installeres på opptil 70 meters dyp. Flytekomponenten på turbinen forankres til havbunnen. Flytende vindturbiner vil også føre til komplisert og kostbar installasjon, flere separate flytende turbiner har behov for ekstra fundament og forankring.

Turbiner på fôrflåten

Ved å plassere turbiner på fôrflåten elimineres behovet for sjøkabler. En vil også ha god tilgang til turbinen som forenkler vedlikehold. Ulempen som tidligere blir nevnt i kapittelet er det begrensede arealet. Turbinene må da plasseres nærmere hverandre enn det som er ideelt, det kan da føre til turbulent strømming.

Turbiner på nærliggende øyer

Det vil være mer økonomisk å plassere vindturbiner på en nærliggende øy sammenlignet med installasjon av bunnfaste- eller flytende turbiner. En vil få et større areal, og dermed større frihet ved installasjon av flere vindturbiner. Oppdrettsanlegget ved Dalsvåg har som nevnt tidligere flere nærliggende øyer. Utfordringen vil være å legge kabel fra øyen til fôrflåten.

Installasjon av vindturbiner

Frakten av vindturbiner kan være krevende og kostbart ettersom dimensjonene samt vekten øker. Hovedkomponentene fra vindturbinen kan deles opp, og transporteres hver for seg. Rotorbladene kan bli lange og må transporteres som en del. Det er mer optimalt med sjøtransport av vindturbindeler, da det både er enklere og mer kostnadseffektivt enn ved vanlig bilvei.

Å koble sammen flere vindturbiner er en enklere prosess enn ved solcelleanlegg. Vindturbiner har som regel en innebygd konverter, som gjør at vindturbinen yter vekselstrøm og kan dermed transportere energi direkte fra vindturbin til oppdrettsanlegget. Det er viktig å ta hensyn til avstanden mellom hver vindturbin ved installasjon av flere. Vindturbinene skal ha et mellomrom på 5 – 6 rotordiameter i vindretning og 3 – 4 rotordiameter på tvers av vindretningen. Likt som for solcelleanlegg trenger vindturbiner en konverter, et batteri for lagring av energien og diverse strømledninger for å koble sammen komponentene [47].

3.3.5 Valg og kostnad for vindturbiner

Vindturbinetype velges hovedsakelig ut ifra vindforholdene. Også andre faktorer må vurderes, slik som hvilke turbiner som er mulig å frakte og kostnader ved installasjon på valgt lokalitet. Tabell 7 viser estimert innkjøpskostnad ved forskjellige turbintyper, ytterligere informasjon om hver vindturbin finnes i Vedlegg B [48].

Tabell 7: Oversikt over forskjellige vindturbiner samt Peak Power, vekt, total høyde, rotor diameter og innkjøpspris

Type	Peak Power [kW]	Vekt [kg]	Total høyde [m]	Rotor diameter [m]	Innkjøpskostnad [NOK]
2KW	2	98	6	3,2	40 475
KW3	3	600	11	3,9	200 000
THYMøllen	10	3750	21	7,13	599 000
10KW	10	912	12	7,1	144 950
Inlight	10	1015	10	-	196 200
Newmeil	10	1150	10	-	248 150
Bofeng	10	1300	10	-	220 250

Turbinvariantene ble sammenlignet på samme måte som solcellepaneler med innkjøpskostnad per installert kapasitet. Turbintypen 10KW med 14 NOK/W og Inlight med 20 NOK/W kom best ut og er vist ved Figur 27.

Turbin	2KW	KW3	10KW	THYmøllen	Inlight	Newmeil	Bofeng
Kapasitet	2	3	10	10	10	10	10
Innkjøpskostnad	80950	200000	144950	599000	196200	248150	220250
Faktor	40475	66667	14495	59900	19620	24815	22025

Figur 27: Sammenligning av turbintypenes kapasitet, innkjøpspris og NOK/W-faktor. Der rød er dårlig, gul er nøytral og grønn er en god verdi

10KW turbinen er en horisontalakslet vindturbin, i motsetning til Inlight som er en vertikalakslet vindturbin. Tabell 8 viser en sammenligning av vindkarakteristikken ved de to turbintypene. Ved Dalsvåg oppdrettsanlegg oppleves det stadig høye vindhastigheter som medfører at turbintypen må kunne håndtere høy cut-out vindhastighet, slik at den ikke stopper å produsere energi.

Tabell 8: Karakteristikkssammenligning av de utvalgte turbinvariantene

10KW HAWT			Inlight VAWT		
Cut-in vindhastighet [m/s]	Rated vindhastighet [m/s]	Cut-out vindhastighet [m/s]	Cut-in vindhastighet [m/s]	Rated vindhastighet [m/s]	Cut-out vindhastighet [m/s]
3	10	45	2,5	13	35

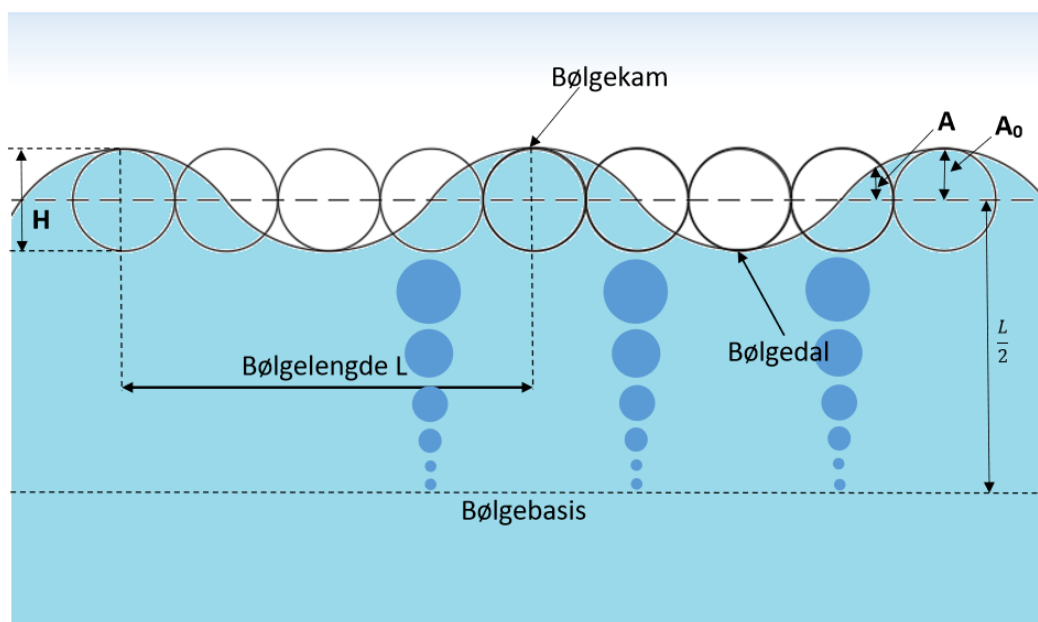
Vindturbinotypen det dermed velges å evaluere videre i studiet er 10KW turbinen, som har rimeligere innkjøpskostnad samt god vindkarakteristikk. Turbinen vil bli simulert i Kapittel 4.

3.4 Bølgeenergi

3.4.1 Generelt om bølgeenergi

Bølger transporterer energi og oppstår ettersom vinden blåser på havoverflaten. Bølgens energi varierer med hensyn til dens periode og høyde, og karakteriseres som dønninger når de inneholder tilstrekkelig energi for utvinning. Dønninger bevarer store deler av energien som følge av den langsomme og varige bevegelsen, samt de lave bølgetoppene [27].

Under bølgetoppen beveges vannpartiklene sirkulært som vist i Figur 28. Sirkelbevegelsen inni bølgen er størst ved bølgekammen og avtar desto dypere en beveger seg. Overgangsbølger oppstår ved halv bølgelengde. Da vil den lave høyden ned til havbunnen ødelegge sirkelformasjonen som bølgen danner og dermed reduseres hastigheten og bølgelengden [49].



Figur 28: Prinsippskisse av bølgens sirkulære bevegelse og dens karakteristikk med bølgekam, bølgelengde og bølgedal. Hvor H tilsvarer bølgehøyde, A er amplitude på sted, x og tid, t og A_0 er full amplitude

Tabell 9 viser fordeler og ulemper ved bølgeenergi.

Tabell 9: Fordeler og ulemper ved bølgeenergi [50], [51]

Fordeler	Ulemper
Bølgekraft har et stort utvinningspotensial	Teknologien og utstyret er kostbart, da det er lite forsket på
Bølgekraft er en miljøvennlig og fornybar metode å utvinne energi på	Bølgekraftverkene må tåle store belastninger
På vinteren er det bedre bølger for bølgekraftutvinning	Tidkrevende og kostbart å utvikle pilotprosjekt for bølgekraftverk
Rimelig drift og energiproduksjon som er estimert til 40 øre/kWh	Støy fra bølgekraftverk kan forstyrre marine dyr
Ved nye bølgekraftanlegg kommer det flere arbeidsplasser	Eksisterer ikke kommersielle bølgekraftverk, da de må tilpasses hver lokasjon

3.4.2 Tilgjengelig effekt

Ved beregning av bølgens effekt per bølgelengde benyttes Formel 7 med symbolbeskrivelse i Tabell 10.

$$\frac{P}{B} = \frac{\rho \cdot g^2}{32 \cdot \pi} \cdot T \cdot H^2 \quad 7$$

Tabell 10: Symbolbeskrivelse for Formel 7

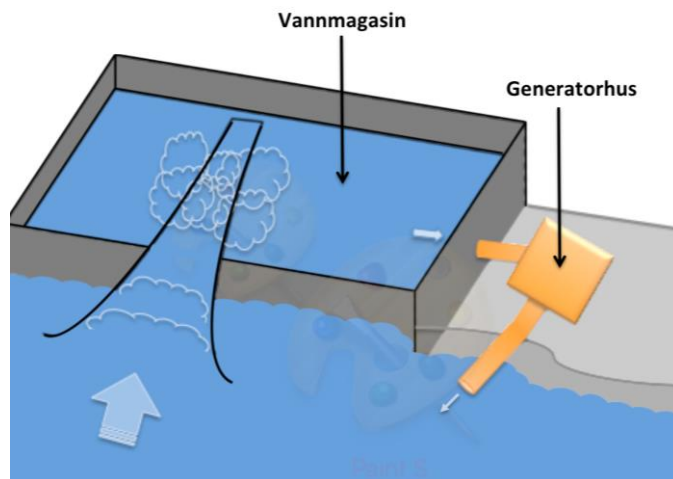
Symbol	Beskrivelse
P	Effekt
B	Bølgens bredde
ρ	Vannets tetthet
g	Tyngdeakselerasjon
H	Bølgehøyde, dobbelt av amplitude
T	Tidsperioden for en hel svingning

3.4.3 Utnyttingsmetoder

Bølgeenergiutvinning kategoriseres som bunnfaste- og flytende metoder. Det forklares videre med prinsippiskisser og virkemåter [49].

Kilerennekraftverk

Kilerennekraftverk er en bunnfast utvinningsmetode som baseres på bølger som slår inn mot land. Kraftverket består av kilerenne, vannmagasin og et generatorhus vist ved Figur 29.

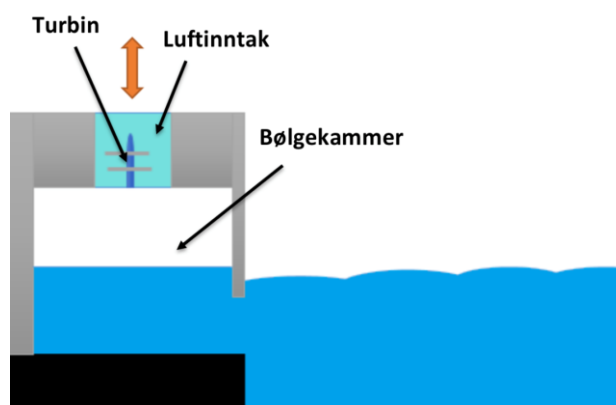


Figur 29: Prinsippiskisse av kilerennekraftverk der bølgene ledes inn via en kilerenne og ut gjennom generatorhuset

På figuren kan en se at bølgene ledes inn i en kilerenne som medfører en økning i bølgehøyden. Vannmagasinet ligger over vannflaten og mottar de forstørrede bølgene som videre leder vannet til kraftverkets turbin og generator hvor energi produseres, vist i oransje. Etter energiproduksjonen ledes vannet ut i havet igjen [50].

Svingende vannsøyle

Svingende vannsøyle er en konstruksjon plassert på havbunnen og opererer som en vannmotor. Utvinningsmetoden består av en vertikal sjakt som fungerer som et bølgekammer med en turbin, luftinntak og ventiler for regulering av vann og luft. Prinsippiskisse er vist ved Figur 30.

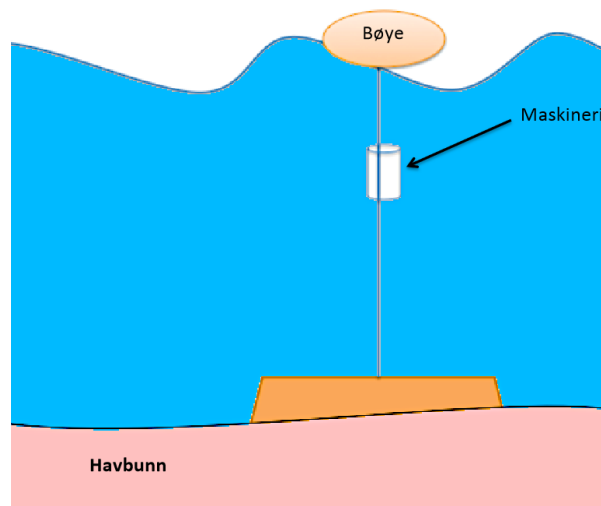


Figur 30: Prinsippiskisse av svingende vannsøyle hvor bølgene ledes inn i bølgekammeret og dernest presses luft opp mot turbinen hvor energi produseres

Anlegget baseres på at vann forflytter trykksatt luft vertikalt mot en turbin. Slik figuren viser fyller bølgene opp bølgekammeret og det vil skape trykk som stiger og synker i likhet med bølgenes bevegelse. Bølgedalen fører til at vannet ikke lengre fyller kammeret og ny luft vil kunne sige inn før en ny bølge nok en gang øker og fyller opp kammeret slik at luft blir presset opp i turbinen. Ventilene i luftinntaket sørger for at turbinen går samme vei uansett hvilken retning luften tilføres, slik at det er energiproduksjon ved begge tilfeller. Som ved alle energiutvinningsprosesser går en viss andel energi tapt. Anlegget kan også skape mye støy [49].

Vertikalsvingende bøye

Vertikalsvingende bøye eller point absorber er en flytende energiutvinningsmetode hvor bølgene setter en bøye i en vertikal bevegelse. Selve maskineriet er plassert mellom havbunnen og bøyen, slik Figur 31 viser. Systemet består hovedsakelig av en turbin, generator, ventiler og et stempel.

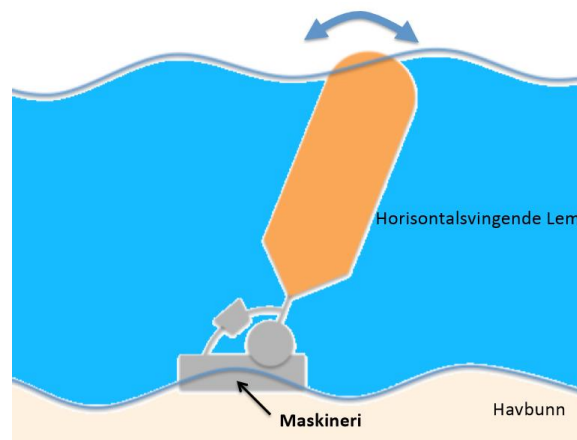


Figur 31: Prinsippkisse av en vertikalsvingende bøye, hvor bøyen beveges i samsvar med bølgene

Når bøyen beveger seg i lag med bølgen benyttes stempelet til å trekke inn vann gjennom turbinen som driver generatoren, dette er vist i figuren som maskineri. Vannet slippes dernest ut via ventilen og prosessen gjentas [50].

Horizontalsvingende lem

En horizontalsvingende lem er et annet eksempel på en flytende metode som ligner på prinsippet til den vertikalsvingende bøye. Figur 32 viser prinsippskisse for horizontalsvingende lem.

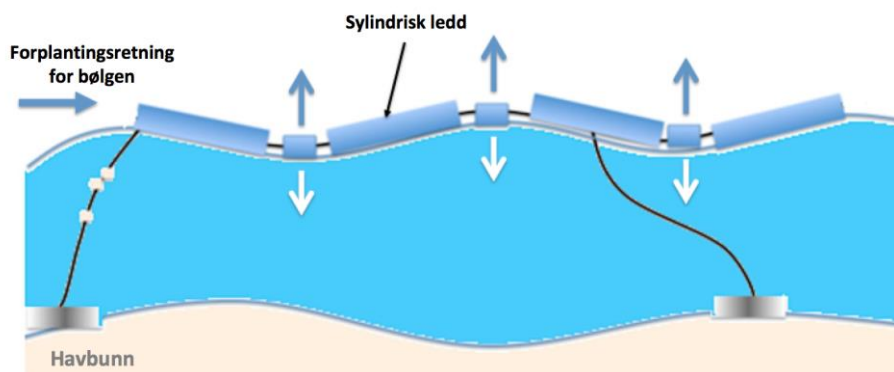


Figur 32: Horizontalsvingende lem hvor lemme beveges horisontalt i samsvar med bølgen som driver maskineriet

Vist i figuren er maskineriet og roterende aksling plassert ved havbunnen. I motsetning til prinsippet for vertikal bøye, beveges lemme horisontalt når bølgen passerer [49].

Pelamis, linjeabsorbator

Dette er en konstruksjon som består av flere sylindriske ledd som ligger halvveis nedsenket i havet. Hver sylinder inneholder en vannturbin og en generator. Konstruksjonen ligger 50 – 60 meter over havbunnen og 5 – 10 km unna land. Da den bruker dønninger til sin fordel uten at de blir påvirket av havbunnen. Prinsippskisse av en linjeabsorbator vises ved Figur 33.



Figur 33: Prinsippskisse av pelamis, hvor linjeabsorbatoren beveger seg i samsvar med bølgen som setter de sylindriske leddene i bevegelse

Figuren viser linjeabsorbatoren festet i hver sin ende på havbunnen hvor kabler fører den elektriske kraften tilbake til land. Linjeabsorbatoren fungerer ved at bølger setter hver av de sylindriske konstruksjonene i bevegelse slik at stemplene pumper væsken under høyt trykk, der figuren viser retningen konstruksjonene beveger seg i. Deretter benyttes den hydrauliske motoren til å lagre energi som driver generatoren. Denne typen bølgekraftverk er det mest utbredte flytende system, med en peak power på 750 kW [50].

3.4.4 Bølgeenergi i oppdrettsnæringen

Ved Stillehavet og Atlanterhavet er det jevne og lange bølger, slike man ønsker til et bølgekraftverk. I Europa er England og Skottland ledende innenfor bølgeenergi og har flere pågående pilotanlegg. Strømkostnadene i Storbritannia er høyere enn i Norge, derfor er det et bedre grunnlag for Storbritannia å iverksette bølgeenergi prosjekter [50]. Anleggene som oppnår størst energiutvinning er de som er plassert offshore. Ulempen med slik plassering er de påfølgende kostnadene og utfordringene ved å konstruere store nok pilotanlegg.

I nyere tider har Norge økt interessen for bølgekraft, hvor et pilotprosjekt ble testet ute ved Sunnmørkekysten med gode resultater. Bølgekraftverket består av en vertikalsvingende bøye, som leverer en effekt på 100 kW. Dimensjonene til konstruksjonen er relativt store, med en diameter på 8 meter og lengde på 35 meter [52], [53].

Ulempen ved bølgeutvinning er variasjoner i bølger, konstruksjonskostnadene og realiteten rundt at teknologien ikke er lønnsom enda. Usikkerheten til investorer som følge av mislykkede forsøk medfører at færre pilotprosjekt iverksettes. Bølgekraft krever derfor vesentlig mer forskning for å få et bedre resultat på jevn og god energiutvinning [27].

Bølgekraft er en god fornybar energikilde som kan benyttes ved offshore oppdrettsanlegg, men grunnet forskningsstadiet det fortsatt befinner seg i, vil det være svært kostbart og usikkert. En eventuell bølgekraftløsning vil ekskluderes fra studiet grunnet store kostnader og usikkerhet rundt teknologien.

3.5 Dieselgenerator

Det skal i dette kapitlet greies ut om dieselgenerator med tilhørende varianter og energiproduseringskapasiteter og hvordan de benyttes på dagens oppdrettsanlegg.

3.5.1 Generelt om dieselgenerator

Dieselgeneratorer baseres på energiomformingen av den kjemiske bunnede energien i dieselolje til mekanisk energi, dernest til elektrisk energi. Generatorens produserte elektriske effekt reguleres automatisk slik at effektforbruket i systemet tilsvarer effektproduksjonen innenfor dieselgeneratorens virkningsområde.

Dieselgeneratorers bruk og teknologi er svært utbredt, utviklet og pålitelig, de stiller derfor som et sterkt alternativ ovenfor sikkerhet rundt tilstrekkelig forsyning. Generatorene, med tilhørende utstyr, effektdiagram og informasjon kan leveres av ulike leverandører.

Dieselgeneratorer trenger tilstrekkelig og kontinuerlig drivstoff, noe som fører til store kostnader ved uavbrutt drift. Drift av for eksempel oppdrettsanlegg ved adskilte områder vil medføre ekstra kostnadsbelastninger som følge av frakt av drivstoff. Vedlikehold og service trengs etter varierende antall timer ut ifra generatortyper, og er nødvendig for å oppnå en tilfredsstillende sikker, lang og pålitelig levetid på dieselgeneratorene. Dette medfører ekstrakostnader som går til servicepersonell og komponentutskifting. Ved å se bort ifra økonomiske påvirkninger gjenstår miljøproblematikken ved bruk av fossilt brensel. Dieselgeneratorer er dermed dyre i drift og forurensende med hensyn til utslipp av klimagasser [54].

3.5.2 Installert effekt

Den installerte effekten til en dieselgenerator opplyser om hvilken evne den har til å operere ved ulike effektnivå. Installert effekt kan bestemmes ved en rekke ulike metoder, hvor Prime power (PRP), Emergency Standby Power (ESP), Limited Running Time Power (LTP) og Continuous Power (COP) oppgis. Mest benyttet er PRP som vil si dieselgeneratorens operasjonseffekt ved ubegrenset timer og ESP som betyr dieselgeneratorens operasjonseffekt ved nødstilfeller opp til 12 timer.

Effektfaktoren, vist ved Formel 8 med tilhørende symbolbeskrivelse i Tabell 11, forklarer forholdet mellom aktiv- og reaktiv effekt, og er den effekten en dieselgenerator faktisk kan levere.

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad 8$$

Tabell 11: Symbol og beskrivelse for formel 8

Symbol	Beskrivelse
$\cos \phi$	Effektfaktor
P	Aktiv effekt
Q	Relativ effekt

3.5.3 Virkningsgrad

Dieselgeneratorer opererer ved ulike turtall ettersom hvilke lastpåvirkninger den utsettes for, og kan variere stort med hensyn til produsenter med mer. Den tilhørende virkningsgraden er vist ved Formel 9, med tilhørende symbolbeskrivelse i Tabell 12.

$$\eta_{dg} = \frac{P_{el}}{h_d \rho_d \dot{V}_d} \quad 9$$

Tabell 12: Symbolbeskrivelse for formel 9

Symbol	Beskrivelse
η_{dg}	Total virkningsgrad
P_{el}	Elektrisk effekt
h_d	Nedre brennverdi
ρ_d	Dieseltetthet
\dot{V}_d	Diesel volumstrøm

En dieselgenerators virkningsgrad er en av de viktigste generatorkarakteristikkene, med hensyn til tilpassing av spesielle bruksforhold. Det er ikke gunstig å overdimensjonere dieselgeneratoren til annet bruk, grunnet liten påkjent last kan medføre en lavere opereringsvirkningsgrad. Lave virkningsgrader resulterer i høyere drivstofforbruk som medfører en forhøyet kostnad. Det er også assosiert redusert levetid med lav virkningsgrad, hvor dieselgeneratorer ikke bør være i drift over lengre perioder under 20 – 40 % av den installerte effekten. Dette for å sikre at motorene ikke blir utsatt for slitasje og nedsoing. Virkningsgrad for dieselgeneratorer leveres av produsenter og leverandører, og ligger typisk

rundt 30 – 40 % ved full belastning. Det kan antas at tomgang-forbruket av drivstoff kan ligge i området 20 – 30 % av peak power forbruket [55].

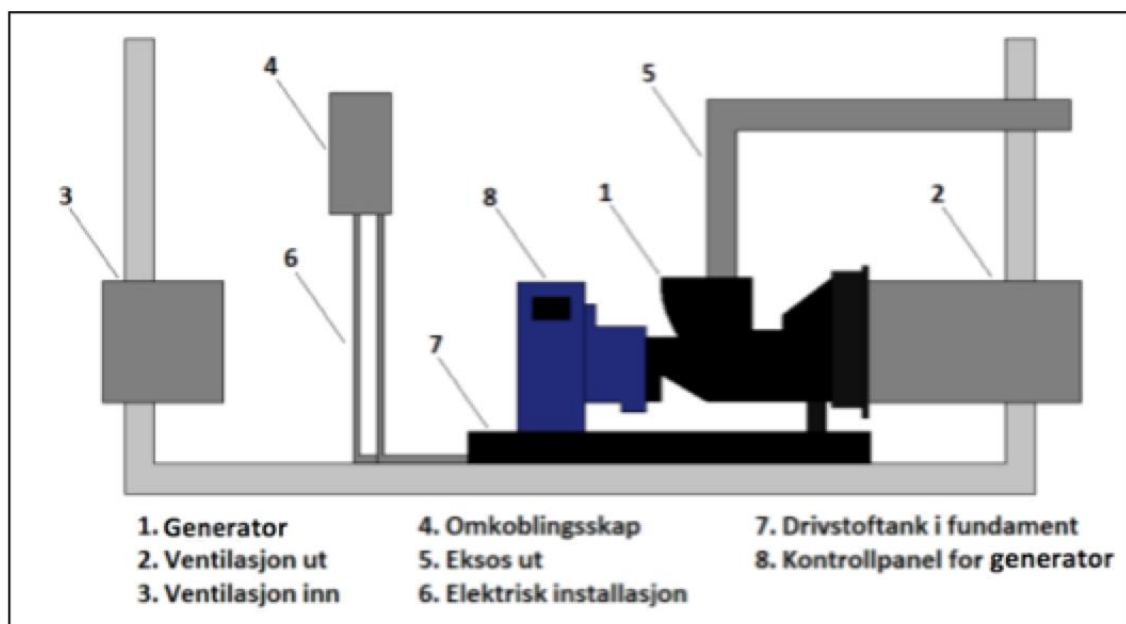
3.5.4 Typer generatorsett

Et generatorsett, eller gensett, består av dieselmotor, generator, styringssystem, strømbrytere, startsystem og ulike tilleggsutstyr som monteringsplattform, tak og lyd/vibrasjonsdemping. Det finnes flere typer gensett slik som ESP, PRP, LTP og COP. Der last og driftstid ved disse blir vist i Tabell 13.

Tabell 13: Last, driftstid og overbelastning ved de forskjellige generatorsettene

Generatorsett	Last	Anbefalt driftstid [timer/år]	Overbelastning
ESP - Emergency Standby Power	Variabel	200	0%
PRP - Prime power	Variabel	Ubegrenset	-
LTP - Limited Running Time Power	Konstant	500	0%
COP - Continuous Power	Konstant	Over 500	0%

Gensett bestemmes og dimensjoneres etter en rekke kriterier, og vises med en prinsippkisse ved Figur 34.



Figur 34: Prinsippkisse for gensett med alle tilhørende komponenter

Det er viktig å ha en forståelse av hvilken ytelse, størrelse og vekt en ønsker. Generatoren trenger god ventilasjonstilgang for å oppnå tilfredsstillende kjøling. Det stilles krav til at generatorens støynivå holdes innenfor et akseptabelt nivå. Volum må vurderes slik at vedlikehold kan utføres og det må være plass til å tilkoble eksternt utstyr og røropplegg for eksempel til ventilasjon, eksosopplegg og fylling av diesel [56], [57].

3.5.5 Dieselgenerator i oppdrettsnæringen

Dieselgeneratorer og gensett er svært utbredt i oppdrettsnæringen og gir en god sikkerhet rundt energiforsyning. Ved å se på oppdrettsanlegget ved Dalsvåg, benyttes et gensett fra FPT, type N67 GEN160MA. Gensettet har et drivstofforbruk ved 50% ytelse på 215 g/kWh. Dalsvåg har opplyst teknisk data rundt forbruk med mer, og tar utgangspunkt i teknisk data fra våren 2013 og høsten 2015. Det antas at produksjonen og strømforbruket er tilnærmet lik hver vår og høst [58].

I Formel 10 regner man ut dieselkostnad i NOK, ved å multiplisere brutto produksjon med dieselkostnad per produksjon.

$$\begin{aligned} \text{Brutto produksjon (kg)} \cdot \text{Dieselkostnad per produksjon} \left(\frac{\text{NOK}}{\text{kg}} \right) \\ = \text{Dieselkostnad (NOK)} \end{aligned} \quad 10$$

Den beregnede dieselkostnaden benyttes dernest til å finne antall liter diesel brukt. Det tar utgangspunkt i farget diesel på grunn av markedspris selv om det stilles strengere krav til filtrering. Med Formel 11 finner man mengden liter farget diesel.

$$\frac{\text{Dieselkostnad (NOK)}}{\text{Dieselkostnad per liter} \left(\frac{\text{NOK}}{\text{liter}} \right)} = \text{Mengde (liter)} \quad 11$$

Mengden liter farget diesel brukt omgjøres til gram vist i Formel 12.

$$\text{Mengde (liter)} \cdot \text{Tetthet} \left(\frac{\text{kg}}{\text{liter}} \right) = \text{Masse (g)} \quad 12$$

Formel 13 viser energiberegningen av farget diesel brukt og dieselgeneratorens drivstofforbruk.

$$\frac{\text{Masse (g)}}{\text{Drivstofforbruk} \left(\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right)} = \text{Energi (kWh)} \quad 13$$

Fullstendig beregning er vist i Vedlegg E.1. Beregningene anvendes for å kartlegge oppdrettsanleggets energiforbruk i løpet av våren 2013 og høsten 2015, samt en total estimering for et år. Dieselgeneratoren på Dalsvåg oppdrettsanlegg ga et totalt energiforbruk for et år på rundt 581 700 kWh.

3.6 Lagring av energi

Energibehovet på et oppdrettsanlegg varierer, det kan derfor være utfordrende å tilpasse forbruket med fornybar energi. I systemer hvor fornybar energi er en del av energiproduksjon, kan det være behov for lagring av energi. Det er ikke alltid en fornybar energikilde kan levere den energien det er behov for, hvis det for eksempel er lite vind eller sol [59]. Overflødig energi som produseres på oppdrett uten forsyning fra land, må lagres ved hjelp av batterier eller andre løsninger. Alternativet er å kaste energi som ikke blir brukt, dette øker energikostnadene.

Det vil i dette kapitlet bli presentert ulike batteri, dens virkemåte og oppbygning. Avslutningsvis vil det presenteres ulike typer, samt fordeler og ulemper de har.

3.6.1 Generelt om batteri

Når en produserer energi ved hjelp av vind, sol eller bølger kan den benyttes direkte eller lagres for fremtidig bruk. En av de mest anvendte og utprøvde metodene for energikonservering er å benytte batteri. Anvendelse av batterilagring kan bidra både positivt og negativt til et oppdrettsanlegg og gir muligheten til supplementering av et anlegg med lagret energi.

Generelt kan batteri bidra med redundans og en kontinuerlig energitilførelse så lenge spenningen er høy nok, samt opprettholde et stabilt energisystem ved eventuelle spenningsfall i nettet.

I informasjonsark vist i Vedlegg D for batteri er det en faktor C , som vil si utladningsstrømmen til batteriet. Der C -raten normaliserer batterikapasiteten. C er et mål på batteriets utladningshastighet i forhold til dens maksimale kapasitet. For eksempel $1C$ vil si at utladningsstrømmen tømmer batteriet på 1 time og $2C$ tilsvarer utladning på 30 minutt [60]. I delkapitlet 3.6.5 om valg og kostnad av batteripakke kan du se eksempel på hvordan C -raten benyttes. Tabell 14 viser en oversikt over hvordan C fordeler seg [61].

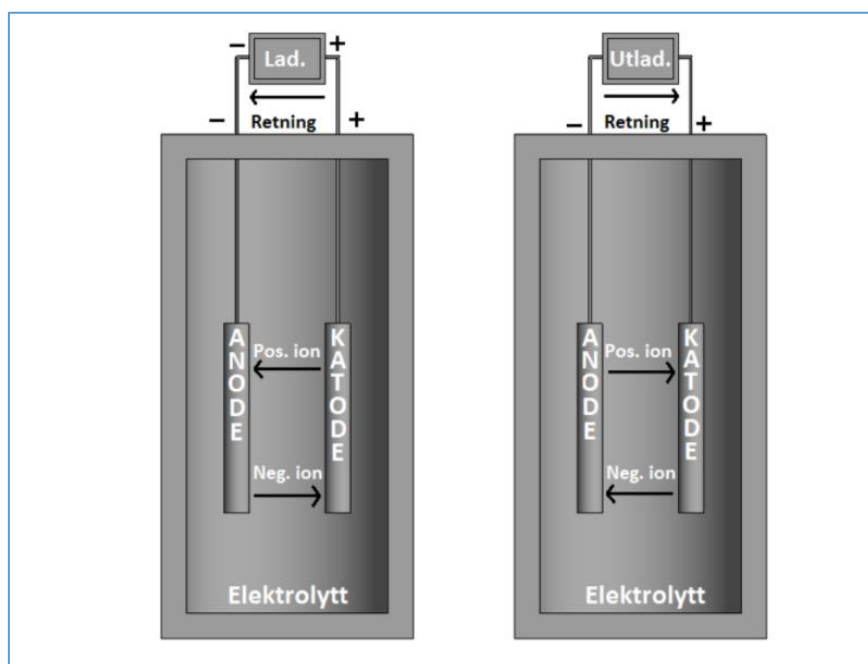
Tabell 14: Oversikt over faktor C og hvordan den fordeler seg

C-rate	Tid
2C	30 min
1C	1 time
0,5C eller C/2	2 timer
0,2C eller C/5	5 timer

3.6.2 Oppbygning og virkemåte

Et batteri er generelt en galvanisk celle som benytter lagring av kjemisk energi. Når batteriet avgir denne energien avhenger spenningen av mengden energi som avgis i redoksreaksjonen. Denne typen reaksjon beskriver et stoff som reduseres og et stoff som oksideres. I situasjoner hvor det ønskes størst mulig energikonservering er det hensiktsmessig å benytte metaller som oksideres og avgir elektroner lett mot et edelt metall nederst i spenningsrekken.

En galvanisk celle består av elektroder med forskjellig ladning. Katodens og anodens ladning er ulike i en lade- og utladningssituasjon hvor ved ladning der katoden er positiv og anoden negativ. Oppladbare batterier benytter en elektrolytt som frakter ioner og befinner seg mellom katoden og anoden. Lade- og utladningssituasjonen er presentert ved Figur 35, hvor opplading er på venstre side og utlading ved høyre side.



Figur 35: Prinsippkisse av batteri i opplading- og utladningssituasjon, viser retning på positive og negative ion som beveger seg mellom anode og katode

3.6.3 Ulike typer batterier

Batterier er lagringseenheter som karakteriseres etter dens innhold. Innholdet er også den avgjørende faktoren angående hvilke sterke og svake egenskaper den har. Egenskaper som ofte etterspørres er vekt, kapasitet, kostnad, levetid og generell pålitelighet. Det eksisterer svært mange typer batterier per dags dato. Fremtidsrettede litium-ion batterivariasjoner med blant annet silikonelektrolytt, litium-svovel og litium-oksigen gir svært god energitetthet, levetid, opplading og redusert vekt, men er fremdeles på et utviklings- og optimaliseringsnivå. Dagens batteriteknologi utvikles svært hurtig og kan stilles som en god kommersiell alternativ løsning innen få år. Det velges derfor å se nærmere på blybatteri sammenlignet med litium-ion batteri [62].

Blybatteri

Blybatterier har i mange år fungert som hovedtypen av energilagring. Blybatteriene er relativt rimelige i innkjøp og produksjon i forhold til watt per time, men har en lav energitetthet og lavere effektivitet enn litium-ion batteriene. Blybatteriene har forholdsvis lav holdbarhet og vekt – energi forhold, og benyttes ofte til nødstrømsforsyning, motorstart og bruk ved mindre behov for mellomlagring. Alle batterier selvutlades til en viss grad og det er dermed viktig å full-lade dem slik at sulfatering og tap i effekt ikke oppstår under inaktiv bruk. For blybatteri som kan åpnes, må elektrolytten kontrolleres regelmessig og eventuelt reguleres med batterivann. Ved bruk av blybatteri på et oppdrettsanlegg kan det følge med problemer relatert til dannelsen av hydrogengass. Gassen som ofte refereres som knallgass, oppstår ved videre ladning av et fullt oppladet bilbatteri og medfører dermed reduksjon av vannmengden i batteriet og eksplosjonsfare i et uventilert rom ved bruk i nærheten av en antenningskilde [63].

Litium-ion batteri

Li-ion batteriene har en økt energitetthet i forhold til blybatteriene samt økt holdbarhet og levetid. Batteriets selvutladning og aldringsskade er svært liten og typisk håndholdt Li-ion batteri kan opprettholde opp mot full ladning ved inaktiv bruk opp mot et år, gitt lave oppbevaringstemperatur. Li-ion batteriene tolererer en lavere minimumsgrense for ladning på grunn av innebygd teknologi som kobler batteriet ut slik at det ikke utlades helt, og er derfor et mer effektivt og lavvektig batteri. Batteriene har høy lagringskapasitet og er meget utbredt innen bærbar elektronikk og de finnes i de fleste telefoner og dataverktøy. Selv om produksjonskostnadene på Li-ion batteriene er store er kostnaden på batteriet stadig synkende som følge av den globale etterspørselen av dem. Dette er spesielt interessant for bilindustrien da kostnadene for batteriene er forventet til å synke videre i løpet av de neste årene [63]. Tabell 15 viser tekniske egenskaper til de presenterte batteriene.

Tabell 15: Tekniske egenskaper til bly- og li-ion batteri [63]

Batteritype	Spesifikk energi [Wh/kg]	Energi tetthet [W/kg]	Spesifikk Watt [W/kg]	Livssyklus [Timer]	Energi effektivitet [%]
Bly	35	100	180	1000	>80
Li-ion	118-250	200-400	200-430	2000	>95

3.6.4 Batteri i oppdrettsnæringen

Når en skal velge en batteripakke er det forskjellige faktorer som må vurderes. For å sikre lang levetid, bør batteripakken ha høy kapasitet i amperetimer og være overdimensjonert. Det er også viktig å tenke på plasseringen siden batteripakken påvirkes av omgivelsestemperaturen, da den ikke tar ut samme mengde strøm når den er kald [64].

3.6.5 Valg og kostnad for batteripakke

For å kunne velge en batteripakke er det nødvendig å beregne ut hvor høy kapasitet den trenger. Da må energibehovet for et døgn beregnes om til kilowattimer. Dalsvåg oppdrettsanlegg er estimert til 66,4 kW per dag, som utgjør et energibehov på omtrent 700 til 900 kWh avhengig av hvilken periode oppdrettssyklusen befinner seg i. Når en skal velge en batteripakke er et vanlig kriterium at batteripakken må kunne forsyne nok strøm en hel dag, hvis anlegget opplever fullstendig strømbrudd. Det vil i dette tilfelle si at batteripakken må kunne lagre minst 900 kWh. I størrelse utgjør det en kontainer som er omtrent 12 meter lang [65].

Flåten ved Dalsvåg fiskeoppdrett har begrenset bruksareal, det er derfor valgt å skalere ned batteripakken til en kapasitet på omtrent 500 kWh. Batteripakken får da en kontainerstørrelse på omtrent fire kvadratmeter. En kan skalere ned batteripakken når det gjelder fiskeoppdrett fordi anlegget har en dieselgenerator som kan yte mer enn energidagsbehovet, om de fornybare komponentene får strømbrudd. Skulle også dieselgeneratoren oppleve strømbrudd, er det mulig å drive anlegget ved halv kapasitet i en krisesituasjon. Batteripakken valgt for Dalsvåg fiskeoppdrett er Intensium Mini, Li-ion batteri med kapasitet fra 78 til 480 kWh, vist i Vedlegg D.

Kostnadene for batteripakker har avtatt kraftig de siste årene. Innkjøpskostnaden for en batteripakke er estimert til å være omtrent 1200 kr per kWh i 2020 [66]. Tabell 16 viser generell informasjon over valgt batteripakke [67].

Tabell 16: Informasjon om valgt batteripakke Intensium mini, Li-ion

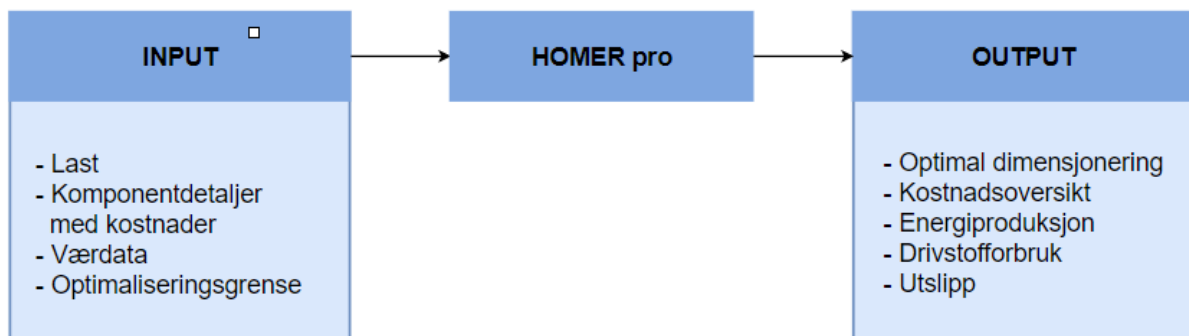
Type	Kapasitet [kWh]	Spenning [V]	Kapasitet [Ah] [C/5]	Vekt [tonn]	Mål [mm]	Innkjøpskostnad [NOK]
Intensium mini	78 - 480	700	174	19,5	2450x1580	~ 600 000

4. Datasimuleringsverktøy

For å finne en praktisk fornybar energiløsning i oppdrettsnæringen vil et datasimuleringsverktøy kalt HOMER Pro bli brukt. Dette programmet vil bli brukt for å undersøke om en hybridløsning vil være mer kostnadseffektivt enn den dieselgeneratoren som allerede er tilstede på anlegget.

4.1 HOMER Pro

HOMER Pro er et simuleringsverktøy som står for hybridoptimalisering av forskjellige energiresurser. Programmet ble utviklet ved National Renewable Energy Laboratory. Verktøyet vil simulere og gi informasjon om effektive gjennomførbare systemdesign, samt undersøke alle mulige kombinasjoner av systemtyper. Deretter sorterer verktøyet systemene etter optimaliseringsvariablene som er tilført programmet. HOMER Pro forenkler designprosessen betydelig ved å identifisere alternativer med lavest kostnader. Det er mulig å vurdere systemer med og uten nettilknytning [68]. For å kunne gi et optimalt simuleringsresultat krever HOMER Pro forskjellig informasjon som er vist i Figur 36.



Figur 36: Informasjon en tilfører og får ut av HOMER Pro

4.2 Input

Dette delkapittelet går gjennom hvilke verdier som legges til i simuleringsprogrammet. Last, komponentdetaljer med begrensninger, optimaliseringsgrense og værdata blir presentert. Ytterligere informasjon om verdier tilført HOMER Pro finnes ved Vedlegg I.

4.2.1 Last

For å kunne starte simuleringen må en legge til en last, som vil si komponenter av systemet som bruker energi. Systemet møter da den elektriske belastningen for å unngå tap. Når lasten er tilført, kan den modifiseres og tilpasses ved å legge inn lasten time for time, tilpasset last finnes i Vedlegg I.1. Lasten eller energibehovet til et oppdrettsanlegg er viktig data for å kunne undersøke fornybare energisystemer [69].

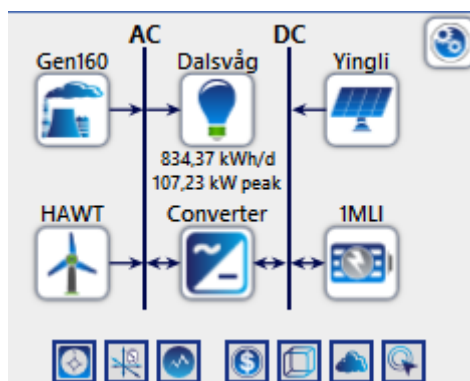
Det ble satt opp et estimert energibehov vist i Tabell 17 ved hjelp av Mikolaj Mroz, daglig leder ved Dalsvåg oppdrettsanlegg. Energiforbruket inkluderer den daglige driften, samt endringene i oppdrettssyklusen.

Tabell 17: Oversikt over energibehovet estimert ved Dalsvåg oppdrettsanlegg

Komponenter	Peak power [kW]	Gjennomsnittlig effekt [kW]	Tid	Energi [kWh]
Fôring	45	32	0800 – 1600	256
Overvåknings-utstyr	9	3,4	0800 – 1600	27,2
Kvern	28	8	0800 – 1600	64
Belysning inne	1,5	1	0800 – 1600	8
Belysning ute	1,5	1	1600 – 0800	16
Undervannsbelysning	7	7	0000 – 0000 I perioder (des. – jun.)	0 eller 168
Annet	20	14	0000 – 0000	336
Total	112	66,4		707,2 eller 875,2

4.2.2 Komponentdetaljer med kostnadsinformasjon

Komponentene i simuleringen inkluderer dieselgenerator, solcellepanel, vindturbin, konverter og batteri, vist i Figur 37. Figuren viser en peak kapasitet på 107,23 kW, som vil si den høyeste effekten komponentene trenger på anlegget. Energikomponentene må tilsammen yte en gjennomsnittlig energi på 834,37 kWh hver dag eller 304 545 kWh hvert år for å tilfredsstille energibehovet ved Dalsvåg fiskeoppdrett. Tilmærte komponentdetaljer som tidligere er beskrevet i Kapittel 3 ble lagt til for hver av komponentene. Alle komponentene som ble analysert ble gitt en øvre og nedre optimaliseringsgrense. Dette sikrer at HOMER Pro analyserer alle mulige kombinasjoner [70].



Figur 37: Systemdesign, komponenter som analyseres i HOMER Pro. Der Dalsvåg tilsvarer energiforbruk ved oppdrettsanlegget, her er gjennomsnittlig energiforbruk 834,37 kWh per dag, og en peak power på 107,23 kW. GEN160 er dieselgenerator, HAWT er vindturbin, Converter tilsvarer Konverter, Yingli er solcellepanel og 1MLI er batteripakken.

Power Generator GEN160MA

Dieselgeneratoren på Dalsvåg oppdrettsanlegg ble installert i september 2011, og har siden hatt jevnlig vedlikehold. Ved godt og jevnlig vedlikehold, trenger ikke generatoren å byttes ut før om omtrent fem år. Kostnadsverdier for generatoren vises i Tabell 18. Erstatningskostnaden er satt til 170 000 kr, da dette er estimert innkjøpskostnad for en ny generator. O&M står for operasjon og vedlikeholdskostnader. En dieselgenerator er vanligvis satt til 0,33 kr per operasjonstime [71]. Samme type diesel som brukes på Dalsvåg ble oppgitt i simuleringen.

Tabell 18: Kostnadsverdier lagt inn i HOMER

Innkjøpskostnad [NOK]	Erstatningskostnad [NOK]	O&M [NOK/h]	Drivstoffkostnad [NOK/L]
0	170 000	0,33	9,26

Solcelleanlegg Yingli Solar PANDA YL270c-30b

Komponentdetaljer som temperaturtoleranser, kapasitet og virkningsgrad ble lagt inn i simuleringverktøyet HOMER Pro vist i Figur 38, hentet fra Vedlegg A.6.

Figur 38: Verdier for solcelleanlegg Yingli Solar; Temperatur effekt, nominell temperatur ved cellelytelse og virkningsgrad under standard testforhold

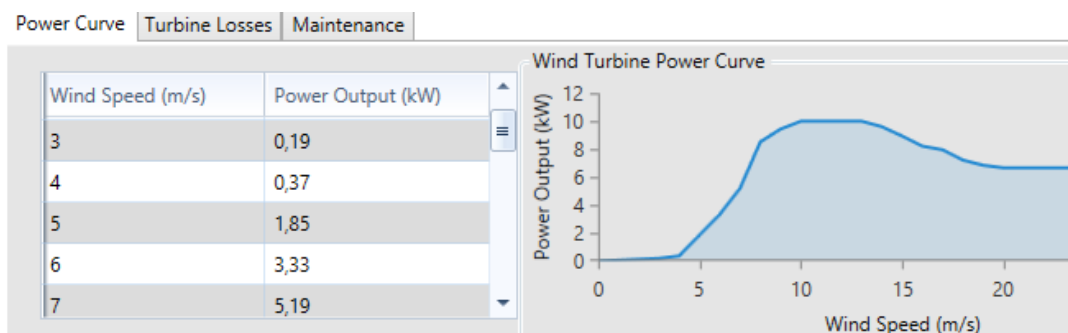
Tabell 19 viser kostnadsverdier og optimaliseringsgrense. Det blir satt en nedre og øvre optimaliseringsgrense for alle komponenter i simuleringprogrammet, dette gjør at HOMER Pro vurderer alle verdiene mellom nedre og øvre optimaliseringsgrense og velger ut hvilken verdi som er best for hver av komponentene. Øvre optimaliseringsgrense for solcelleanlegg ble satt til 100 kW peak power, slik at HOMER Pro regner ut hvilken effekt solcelleanlegget må ha for å yte optimalt på valgt lokasjon.

Tabell 19: Kostnadsverdier og optimaliseringsverdi fra Yingli Solar tilført HOMER Pro [72]

Innkjøpskostnad per panel [NOK]	Erstatningskostnad [NOK]	O&M [NOK/år]	Optimaliseringsgrense [kW]
1977	1977	195	0 – 100

Vindturbin10 KW 240V

Kapasitetsverdier basert på vindhastighet ble plottet inn i simuleringprogrammet vist i Figur 39, og presenteres i Vedlegg B.2.



Figur 39: Vind- og kapasitetsverdier fra vindturbin 10KW type 240V, lagt inn i HOMER Pro

Kostnadsverdier og optimaliseringsgrense vises i Tabell 20. Øvre optimaliseringsgrense ble satt til 100 kW, som utgjør et maksimum antall vindturbiner til å være 10 stykker.

Tabell 20: Kostnadsverdier og optimaliseringsverdi for vindturbin 10KW type 240V, lagt inn i HOMER Pro [73]

Innkjøpskostnad per turbin [NOK]	Erstatningskostnad [NOK]	O&M [NOK/år]	Optimaliseringsgrense [kW]
144 950	144 950	500	0 - 100

Batteri Generic 100kWh Li-Ion

Det ble valgt å simulere fem 100 kWh Li-ion batterier, for å komme nærmest verdiene til batteripakken valgt i delkapittel 3.6.5. Tabell 21 viser innkjøpskostnad for batteripakken og optimaliseringsgrensen valgt i simuleringen. Erstatningskostnad og O&M har HOMER Pro selv estimert.

Tabell 21: Kostnadsverdiene samt optimaliseringsgrense til batteripakken lagt inn i HOMER Pro

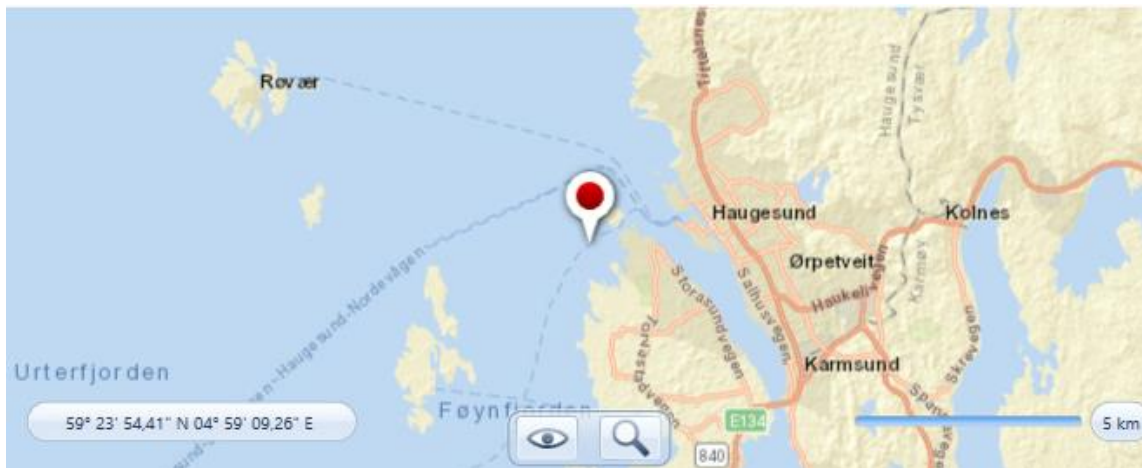
Innkjøpskostnad [NOK]	Erstatningskostnad [NOK]	O&M [NOK/år]	Optimaliseringsgrense [kWh]
600 000	70 000	1000	0 - 500

Konverterer

Det er valgt å se bort ifra detaljer angående konverteren i dette studiet, men for at HOMER Pro skal kunne simulere en optimal systemløsning trengs en konverterer for å konvertere energien til nyttig strøm. Det ble valgt en automatisk størrelse på konverteren, det vil si at HOMER Pro velger selv ut den størrelsen som er optimal for systemet. Kostnadene for systemet er også antatt av HOMER Pro og varierer ut i fra hvilken størrelse som blir valgt.

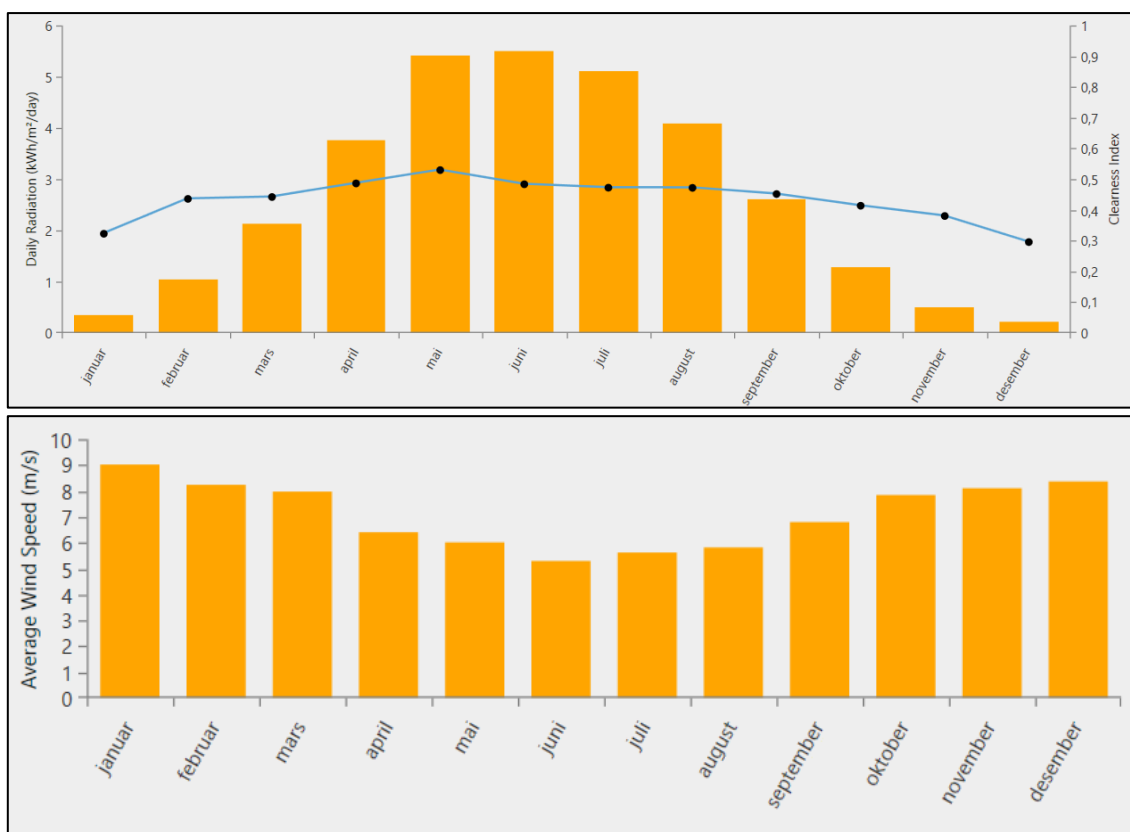
4.2.3 Værdata

Værdata er en grunnleggende del av å simulere et fornybart energisystem. Solcellepanel og vindturbiner er avhengig av solinnstråling og vindhastighet. HOMER Pro bruker værdata fra NASA Surface Meteorology og Solar Energy database, som er samlet fra satellittdata over 22 år [74]. For å få korrekt data fra simuleringverktøyet ble Dalsvåg fiskeoppdrett valgt som lokasjon, vist i Figur 40.



Figur 40: Lokasjon valgt i HOMER Pro. Pin er plassert ved fiskeoppdrettet Dalsvåg

Figur 41 viser solinnstrålingen og vindstatistikken ved fiskeoppdrettsanlegget på Dalsvåg. Lokasjonen har gjennomsnittlig solinnstråling på 2,67 kWh/m² per dag og en gjennomsnittlig vindhastighet på 7,13 m/s.



Figur 41: Øverste figur viser gjennomsnittlig solinnstråling og nedre figur viser gjennomsnittlig vindstatistikk ved Dalsvåg fiskeoppdrett over en 22 års periode

5. Systemløsning

Etter at HOMER Pro har beregnet dataen vises de forskjellige konfigurasjonene av komponentene. Resultatene blir rangert i HOMER Pro i henhold til Net Present Cost, NPC, som vil si kostnad for installasjon og operasjon over komponentenes levetid og Cost Of Energy, COE, som er gjennomsnittlig kostnad per nyttig energi produsert [75]. Simuleringsresultatene inneholder alltid kostnadsoversikt over systemets levetid, detaljer om produksjon og forbruk fra de elektriske komponentene, samt årlig utslippsoversikt. Ved å tilføre fornybare komponenter, generator, batteri og konverterer til simuleringsprogrammet, får en ytterligere detalj om drift og ytelse fra komponentene, oversikt over drivstofforbruk og detaljer om energilagring.

Det er valgt å evaluere systemløsningene ved å se på innkjøpskostnader og systemytelsen. Systemytelsen vil bli sett på som hvor stor del av energien som leveres er fornybart. Hver systemløsning inneholder en tabell som viser verdier fra totalenergiproduksjon, energikostnad og komponentytelse. De tre system løsningene vil også ha en figur over gjennomsnittlig månedlig energiproduksjon fordelt på komponenter. Deretter vises utslipp fra dieselgeneratoren, energidata fra batteripakken, systemets overflødig energiproduksjon og tilslutt en oversikt over total innkjøpskostnad. Verdier fra de forskjellige systemene vil kun bli presentert i dette kapitlet, hvor det fremkommer en diskusjon rundt verdiene i Kapittel 6. Det vil bli lagt vekt på dieselgeneratoren, vindturbinene, solcelleanlegget og batteripakken. Simuleringsverdier fra konverteren kan ses i Vedlegg I.6.

Total energiproduksjon viser den årlige energiproduksjonen fra hver elektrisk komponentene i systemet, i tillegg til den totale elektriske produksjonen. Derfor er den totale energiproduksjonen noe høyere enn energiforbruket vist i delkapittel 4.2.2, som bare viser den totale mengden elektrisk energi som forsyner hver av de elektriske komponentenes last. Den totale energiproduksjonen overstiger summen av det totale forbruket og overflødig energiproduksjon på grunn av tap i lagring og omforming av energi [68].

Overflødig energiproduksjon er overskudd av elektrisk energi som må dumpes fordi den ikke kan brukes til å forsyne lasten på anlegget eller til å lade batteriet, og oppstår når det produseres mer energi enn batteriet klarer å lagre. Overflødig energiproduksjon vil i de forskjellige resultatene vises som den totale mengden overflødig energiproduksjon fra hele systemet i løpet av et år.

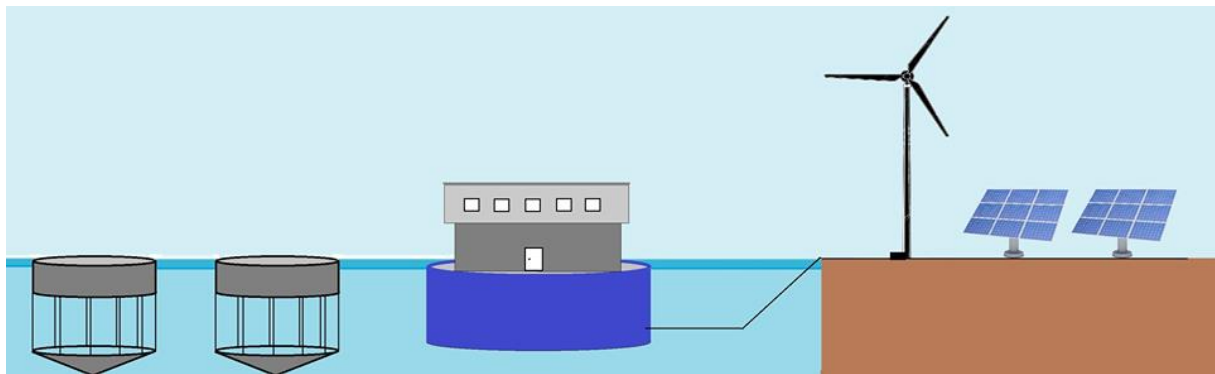
Energikostnad vil si gjennomsnittlig kostnad per nyttig energi produsert fra hver av de elektriske komponentene. HOMER Pro regner ut energikostnaden ved å dividere produksjonskostnadene for elektrisitet på den totale elektriske belastningen.

Komponentytelsen er en verdi som forteller hvor mye energi hver av komponentene produserer i systemløsningen. Alle de fornybare komponentene har samme operasjonstid i hvert resultat. Det vil si antall timer i året hvor utgangsdata fra de elektriske komponentene er større enn null. Vindturbinene har en operasjonstid på 8 759 timer i året og solcelleanlegget opererer 4 367 timer, hvor et året består av 8 760 timer. Dieselgeneratoren varierer i de forskjellige resultatene ut i fra hvor mye den må bistå med.

Utslippene fra de forskjellige resultatene viser total mengde utslipp fra hver av de forurensende stoffene som er produsert årlig. Forurensningene stammer fra dieselgeneratorens forbruk av drivstoff. De forurensende stoffene består av karbondioksid, karbonmonoksid, uforbrent hydrokarboner, svoveldioksid og nitrogenoksyder [68].

Batteripakken simulert i HOMER Pro er den samme i alle resultatene, men utgangsdataen batteripakken gir, er forskjellig i hver av simuleringene. Simuleringsdataen som vil bli sett på er energien inn og ut av batteripakken, samt energien som går tapt. Energien inn vil si den totale mengden energi lagret i kWh, energi ut omhandler den totale energien utladet i kWh. Her vil også overflødig energiproduksjon bli lagt til i tabellen da den påvirker batteriets ladingsevne.

Dette kapittelet vil se på tre systemløsninger med forskjellige fornybare energikilder, samt basissystemet med dieselgenerator. Ytterligere simuleringsinformasjon for hver av resultatene er vist i Vedlegg J. Figur 42 viser en enkel skisse om hvordan et oppdrettsanlegg kan se ut med fornybar energi implementert i anlegget.



Figur 42: Skisse over et oppdrettsanlegg med en vindturbin og et solcelleanlegg som er tilkoblet forflåten med sjøkabel. Til venstre i skissen er det plassert to merder

5.1 Basissystem

For å kunne sammenligne de fornybare systemløsningene ble basissystemet simulert først, som består av en dieselgenerator. Dieselgeneratoren på Dalsvåg ble installert i 2011, og har en kapasitet på 160 kW som vil si at den har rundt fem års levetid igjen. Derfor ble en annen generator brukt i simuleringen, slik at den nåværende generatoren blir byttet ut med en ny. Generatoren brukt i simuleringen har en kapasitet på 150 kW og bruker 135 707 liter diesel hvert år, mens den nåværende dieselgeneratoren har et årlig dieselforbruk på 148 885 liter. Dette utgjør en differanse på 8,8 %, og det antas at den nye generatoren har et redusert forbruk av diesel.

Basissystemet har et høyt forbruk av fossilt brensel som gir utslipp av diverse miljøfarlige stoffer som CO₂, CO, uforbrent HC og NO_x, som vist i Tabell 22. Disse stoffene dannes ved forbrenning og kan ha negativ påvirkning på miljøet.

Tabell 22: Oversikt over utslipp fra dieselgenerator ved basissystem

Utslipp	Betegnelse	[kg/år]
Karbondioksid	CO ₂	352 324
Karbonmonoksid	CO	1 688
Hydrokarboner	Uforbrent HC	97,7
Svoveldioksid	SO ₂	891
Nitrogenoksid	NO _x	1930

5.2 Systemløsning med sol- og vindenergi

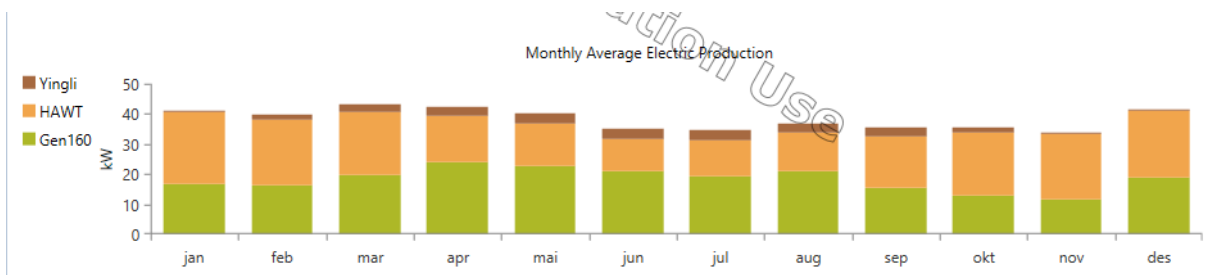
Resultat 1 består av en hybridløsning som er drevet av et solcelleanlegg, vindturbiner, batteripakke og en dieselgenerator. Systemløsningen bruker en kombinasjon av fire 10KW vindturbiner, 80 Yingli solcellepaneler som utgjør 130 kvadratmeter og en GEN160MA dieselgenerator. Denne løsningen bruker 47,1 % fornybar energi.

Tabell 23 viser total energiproduksjon på oppdrettsanlegget, overflødig energikostnad og ytelse fra de forskjellige komponentene. Solcelleanlegget Yingli har en komponentytelse på 6%, dette utgjør en liten fornybar energiproduksjon tilført anlegget. En får fra dette resultatet en total fornybar energiproduksjon på 175 643 kWh hvert år, store deler av den fornybare energiproduksjonen kommer fra vindturbinene.

Tabell 23: Resultat 1 simuleringsverdier av de elektriske komponentene med total energiproduksjon, energikostnad og komponentytelse

Komponent	Total energiproduksjon [kWh/år]	Energikostnad [NOK/kWh]	Komponentytelse [%]
10KW Vindturbin	155 230	0,312	46,2
Yingli Solcelleanlegg	20 413	1,37	6,08
Dieselgenerator	160 180	2,45	47,7
Total	335 823	4,132	100

I Figur 43 viser andel effekt hver av komponentene yter gjennomsnittlig hver måned. Hvor grønn er dieselgenerator, oransje er vindturbinene og brun er solcelleanlegget. Der dieselgeneratoren yter mest fra april til august, vindturbinen mindre og solcelleanlegget yter mer i denne perioden. Fordelt over året yter dieselgeneratoren mest og vindturbinen noe mindre, tilslutt yter solcelleanlegget vesentlig mindre enn de to andre komponentene.



Figur 43: Søylediagram over gjennomsnittlig effekteytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 1

Dieselgeneratoren bruker i dette resultatet 46 422 liter diesel hvert år. Tabell 24 viser dieselgeneratorens årlige utslipp.

Tabell 24: Utslipp fra dieselgenerator ved resultat 1

CO ₂ [kg/år]	CO [kg/år]	Uforbrent HC [kg/år]	SO ₂ [kg/år]	NO _x [kg/år]
120 521	577	33,4	305	660

Informasjon fra batteripakken vises ved Tabell 25 og inneholder energi inn og ut, samt tap som oppstår i batteriet. Hele systemets overflødig energiproduksjon vises også i tabellen.

Tabell 25: Oversikt over energi inn og ut av batteriet, inkludert tap som oppstår og overflødig strømproduksjon ved resultat 1

Resultat 1	Energi inn [kWh/år]	Energi ut [kWh/år]	Tap [kWh/år]	Overflødig energiproduksjon [kWh/år]
Batteri	136 990	123 477	13 709	3 989

Innkjøpskostnadene for hver av komponentene i systemløsningen, samt total innkjøpskostnad vises i Tabell 26.

Tabell 26: Oversikt over innkjøpskostnad for alle komponenter i resultat 1

Kompo- nent	Vindturbin	Solcelleanlegg	Generator	Batteri	Konverter	Total
[NOK]	579 808	159 760	0	600 000	30 675	1 370 243

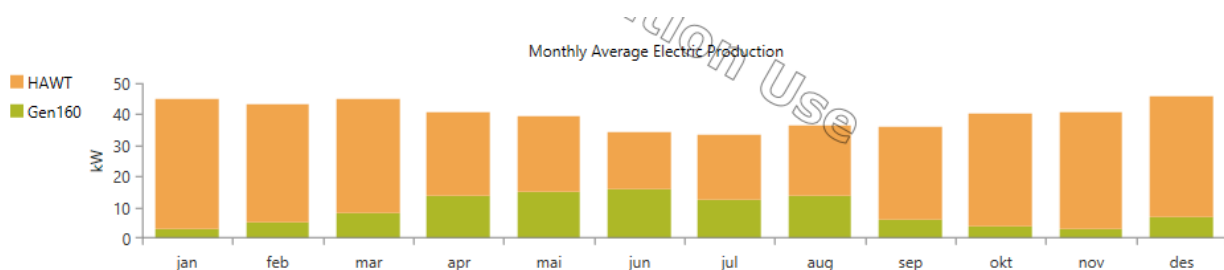
5.3 Systemløsning med vindenergi

Resultat 2 består av vindturbiner og dieselgenerator. Simuleringsprogrammet valgte optimalt antall vindturbiner til å være syv, som gir en fornybar energifraksjon på 74,4 %. Oversikt over energiproduksjon, energikostnad og ytelse vises i Tabell 27.

Tabell 27: Verdier fra de elektriske komponentene i resultat 2

Komponent	Total energiproduksjon [kWh/år]	Energikostnad [NOK/kWh]	Komponentytelse [%]
10KW Vindturbin	271 652	0,308	77,7
Dieselgenerator	78 106	2,45	22,3
Total	349 758	2,758	100

Effektytelsen fra vindturbinene og dieselgeneratoren vises i Figur 44. Vindturbinene vises i oransje og generatoren i grønn. Vindturbinen har en energiproduksjon på langt over halvparten i resultat 2, og yter mest i perioden fra september til mars.



Figur 44: Søylediagram over gjennomsnittlig effektytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 2

Generatoren i resultat 2 bruker 26 424 liter diesel per år. Årlig utslipp fra dieselgeneratoren er vist i Tabell 28.

Tabell 28: Oversikt over utslipp fra dieselgenerator i resultat 2

CO ₂ [kg/år]	CO [kg/år]	Uforbrent HC [kg/år]	SO ₂ [kg/år]	NO _x [kg/år]
68 603	329	19	174	376

Tabell 29 viser energidata fra batteripakken ved resultat 2, samt overflødig energiproduksjon fra systemløsningen med vindkraft.

Tabell 29: Oversikt over energi inn og ut fra batteriet, inkludert samlet tap og overflødig energiproduksjon ved resultat 2

Resultat 2	Energi inn [kWh/år]	Energi ut [kWh/år]	Tap [kWh/år]	Overflødig energiproduksjon [kWh/år]
Batteri	77 694	70 021	7 775	29 950

Tabell 30 viser total innkjøpskostnad ved systemløsningen, samt innkjøpskostnader ved hver av komponentene.

Tabell 30: Oversikt over innkjøpskostnader ved resultat 2

Komponent	Vindturbiner	Generator	Batteri	Konverter	Total
[NOK]	1 014 664	0	600 000	26 414,06	1 641 078

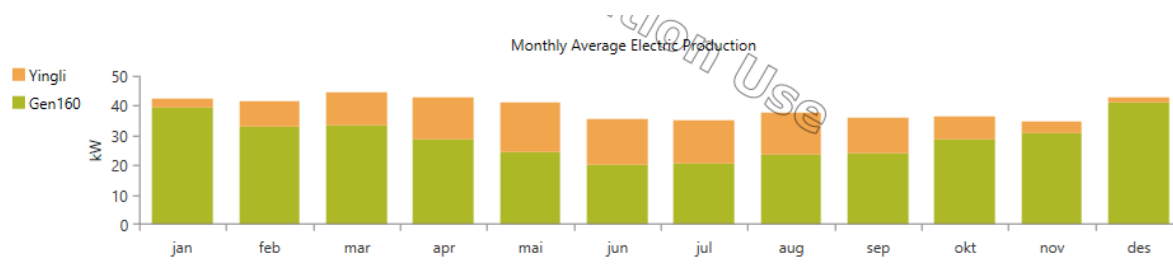
5.4 Systemløsning med solenergi

Systemløsningen i resultat 3 består av et solcelleanlegg med 350 paneler som kan yte 94,5 kW, solcelleanlegget utgjør et areal på 572 kvadratmeter. Systemet har også en dieselgenerator, i tillegg til en batteripakke og en konverter. Løsningen har en fornybar energiproduksjon på 16,6 %. Oversikt over energiproduksjon, energikostnad og ytelse vises i Tabell 31.

Tabell 31: Oversikt over verdier fra elektriske komponenter ved resultat 3

Komponent	Total energiproduksjon [kWh/år]	Energikostnad [NOK/kWh]	Komponentytelse [%]
Yingli Solcelleanlegg	89 308	1,37	26
Dieselgenerator	253 861	2,45	74
Total	343 170	3,82	100

Figur 45 viser månedlig gjennomsnittlig effektytelse fordelt på solcelleanlegg og dieselgenerator. Der solcellepanelet er vist i oransje og generatoren i grønn.



Figur 45: Søylediagram over gjennomsnittlig effektytelse fra hver av komponentene månedlig i resultat 3

Dieselgeneratoren i resultat 3 har et dieselforbruk på 72 719 liter hvert år. Utslippene fra denne systemløsningen vises i Tabell 32.

Tabell 32: Årlig utslipp fra dieselgenerator ved resultat 3

CO ₂ [kg/år]	CO [kg/år]	Uforbrent HC [kg/år]	SO ₂ [kg/år]	NO _x [kg/år]
188 794	905	52,4	478	1 034

Energi inn og ut av batteripakken, tap og systemets overflødig energiproduksjon vises i Tabell 33.

Tabell 33: Energi inn og ut av batteripakken og tap i resultat 3, inkludert systemets overflødig energiproduksjon

Resultat 3	Energi inn [kWh/år]	Energi ut [kWh/år]	Tap [kWh/år]	Overflødig energiproduksjon [kWh/år]
Batteri	184 447	166 374	18 465	273

De forskjellige komponentenes innkjøpskostnad, samt total innkjøpskostnad vises i Tabell 34.

Tabell 34: Oversikt over innkjøpskostnader ved de forskjellige komponentene

Komponent	Solcelleanlegg	Generator	Batteri	Konverter	Total
[NOK]	698 950	0	600 000	32 200	1 331 150

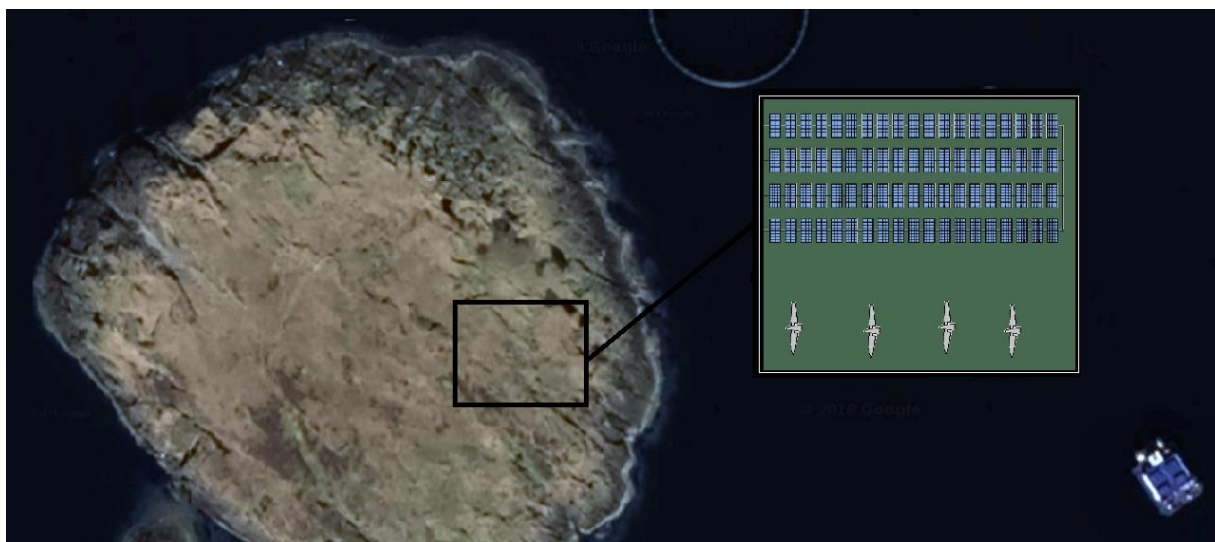
6. Diskusjon

Dette kapitlet vil analysere resultatinformasjon gitt fra HOMER Pro, med forslag til implementering av resultatene, samt en oversikt over estimert areal. Det vil også undersøkes om resultatene er reelle ved å regne ut om resultat 1 kan implementeres på et oppdrettsanlegg. Det legges vekt på resultat 1 da det er en kombinasjon av både solcellepaneler og vindturbiner.

Deretter vil en systematisk dokumentere hvilket resultat som er mest kostnadseffektivt, ut i fra data gitt fra HOMER Pro. Der et optimalt kostnadseffektivt hybridsystem ble valgt å defineres som et system som gir den høyeste fornybare fraksjonen for lavest innkjøpskostnad. Resultatene diskuteres i henhold til innkjøpskostnad per fornybare energiproduksjonen. Det vil også ses på hvor mye diesel generatoren bruker hvert år, samt reduksjonen i utslipp. Videre ses det på overflødig energiproduksjon samt operasjonskostnader over en 5 års periode. Til slutt blir det satt opp et poengsystem for å kunne evaluere hvilket resultat som er best ut i fra valgte verdier.

6.1 Fornybare energisystemer

Resultat 1 bruker to fornybare kilder i systemløsningen, hvor vindturbinene har en kapasitet på 40 kW og solcelleanlegget 21,6 kW peak power. Fordelene med to forskjellige fornybare kilder er at man kan utnytte flere værforhold. Solcelleanlegg og vindturbiner utfyller hverandre, der et solcelleanlegg produserer høyest energi på sommerstid og vindturbiner på vinterstid. Solcelleanlegget i dette resultatet klarer ikke å yte mer enn 6 %, som er svært lavt. En trenger et stort areal ved installasjon av både fire vindturbiner og et solcelleanlegg med 80 paneler. Figur 46 viser forslag til implementering av resultat 1.



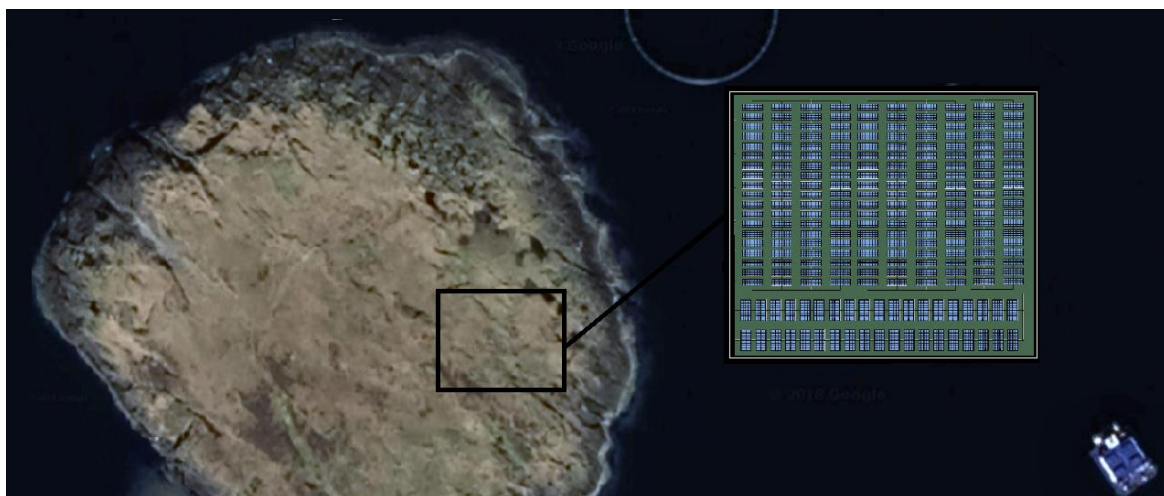
Figur 46: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 1, ikke i skala

Ved resultat 2 baseres systemet på vindturbiner med en kapasitet på 70 kW. På Vestlandet er det gode vindforhold spesielt ved kysten, dermed egnes resultat 2 svært godt til å utnytte vindforholdene med systemløsningens syv vindturbiner. For at vindturbinene skal kunne yte optimalt, trenger avstanden mellom hver turbin å være omtrent 20 – 30 meter [47]. Forslag til implementering av resultat 2 vises i Figur 47.



Figur 47: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 2, ikke i skala

Resultat 3 omhandler bruken av et solcelleanlegg med kapasitet på 60 kW peak power. Selv med et solcelleanlegg med så høy kapasitet har systemløsningen bare en fornybar fraksjon på 16,6 %. Hvor systemet ikke klarer å yte maksimalt på grunn av dårlige solforhold som finnes på Vestlandet. I Norge varierer solinnstrålingen fra rundt 1000 kWh/m² per år i sør til rundt 700 kWh/m² per år i nord [76]. Anlegget på Dalsvåg mottar en gjennomsnittlig solinnstråling på 2,67 kWh/m² per dag. Med utgangspunkt i den årlige solinnstrålingen sør i Norge er dette under gjennomsnittet og det antas derfor at solcelleanlegget ikke mottar nok solinnstråling for å yte maksimalt. Resultat 3 med 350 solcellepaneler kan implementeres som vist i Figur 48.



Figur 48: Bilde av den nærliggende øyen ved Dalsvåg som viser forslag til implementering av resultat 3, ikke i skala

Hver av de fornybare energisystemene krever stort areal. Den nærliggende øyen ved Dalsvåg har god plass til systemene med et øyareal lik 12 500 kvadratmeter. Resultat 2 krever størst areal med syv vindturbiner, på grunn av avstanden hver av vindturbinene krever til hverandre. Selv med størst areal har systemet høyest fornybar fraksjon og produserer mer energi per kvadratmeter. Systemet som krever minst areal er resultat 3, men implementering av 350 solcellepaneler er ikke tatt stilling til. Solcelleanlegget må kobles sammen uten å overstige dens totale spenning, i tillegg til en konverter som klarer å omforme spenningen.

Ved resultat 1 og 3 brukes hele arealet til å plassere solcelleanlegg, i motsetning til resultat 2 hvor det er et stort areal med mye plass mellom turbinene. Tabell 35 viser estimert areal fra hver av resultatene, samt den fornybare ytelsen til komponentene.

Tabell 35: Estimert areal av de forskjellige resultatene, samt den fornybare ytelsen til vindturbinene og solcelleanleggene

Løsning	Estimert areal [m ²]	Fornybar ytelse vindturbiner [%]	Fornybar ytelse solcelleanlegg [%]
Resultat 1: 4 vindturbiner og 80 solcellepaneler	750	46,2	6,08
Resultat 2: 7 vindturbiner	1 200	77,7	0
Resultat 3: 350 solcellepaneler	580	0	26

6.2 Implementeringsundersøkelse

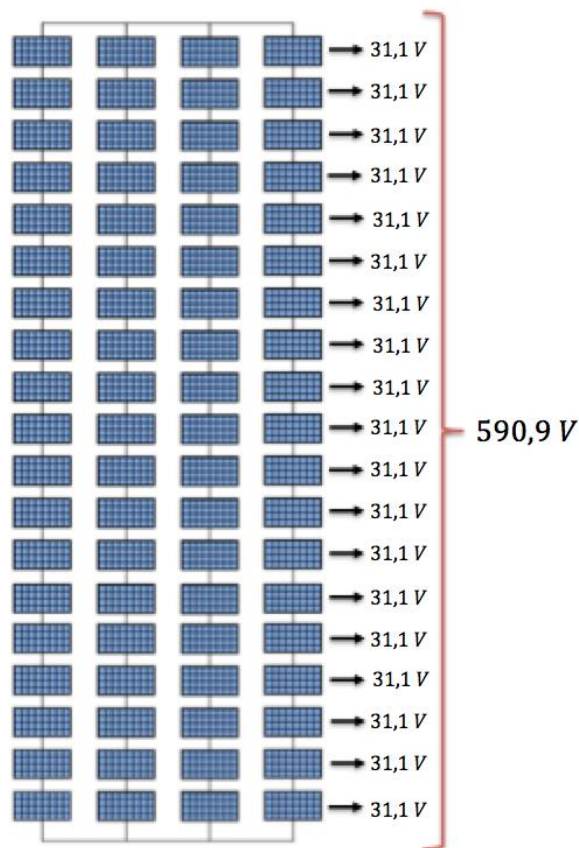
HOMER Pro tar ikke hensyn til hvordan systemløsningene skal implementeres i et anlegg, eller hvordan komponentene skal kobles opp mot hverandre. Resultat 1 består av fire vindturbiner og 80 solcellepanel som skal kobles opp mot en konverter og en batteripakke for å fungere som et system. Studiet vil undersøke hvordan de 80 solcellepanelene bør kobles sammen til et solcelleanlegg for å tilfredsstille dens maksimale systemspenning og spenningen batteripakken kan motta for å kunne lagre energien. Det vektlegges ikke vindturbinenes implementering til oppdrettsanlegget, da turbinen avgir vekselstrøm. En kan dermed parallellkoble vindturbinene uten å ta hensyn til en konverter.

Ved et solcelleanlegg konverteres likestrømmen fra solcellepanelene til vekselstrøm som deretter kan benyttes ved oppdrettsanlegget eller til energilagring. Omformingen av energi skjer ved hjelp av en konverter. HOMER Pro har valgt optimal størrelse for konverteren til å være 102 kW, ut i fra komponentdetaljer tilført programmet. Simuleringsresultatene oppgir ikke informasjon om spenning eller strøm konverteren omformer.

Solcelleanlegg kan både parallellkobles og seriekobles. Ved seriekobling øker man spenningen, i motsetning til parallellkobling der en øker strømmen til solcelleanlegget. For å kunne vite hvor mange paneler en kan seriekoble må man se på den maksimale system- og panelspenningen. Det valgte solcellepanelet, Yingli, har en maksimal systemspenning på 600 V, det vil si at totalspenningen ikke kan overstige dette. Maksimal panelspenning er 31,1 V. For å kunne beregne maksimalt antall panel som kan seriekobles, benyttes verdiene til utregning i Formel 14.

$$\text{Antall paneler} = \frac{\text{Maks systemspenning}}{\text{Maks panelspenning}} \quad 14$$

Ved bruk av formelen beregnes antall seriekoblet panel til å være 19. Ved å ha fire eller fem parallellkoblinger får en totalt 76 eller 95 paneler. Det velges fire parallellkoblinger da totalt antall paneler er nærmere simuleringsresultatet, fire paneler mindre enn resultatet i HOMER Pro. Figur 49 viser hvordan seriekoblingen og parallellkoblingen må være slik at solcelleanlegget tilfredsstiller den maksimale grensen satt for spenning.



Figur 49: Prinsippskisse av parallell- og seriekobling av solcelleanlegg. Hvor maksimal panelspenning er 31,1 V som utgjør en totalspenning på 590,9 V

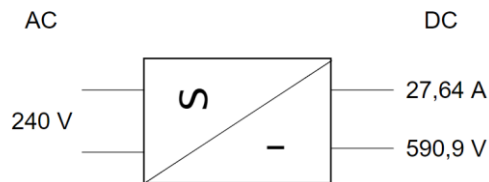
Formel 15 benyttes her for å kunne beregne den totale spenningen en nå oppnår ved å seriekoble solcelleanlegget. Hvor Formel 16 anvendes for å beregne den totale strømmen ved parallellkobling av solcelleanlegget.

$$\text{Total spenning} = \text{Antall seriekoblinger} \cdot \text{Maksimal panelspenning} \quad 15$$

$$\text{Total strøm} = \text{Antall parallellkoblinger} \cdot \text{Maksimal panelstrøm} \quad 16$$

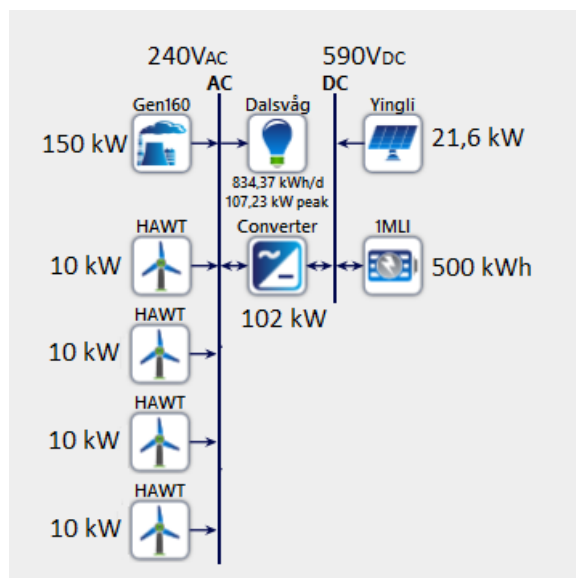
Den valgte batteripakken til oppdrettsanlegget har minimum spenning på 588 V og maksimum spenning på 790 V. For å kunne lagre energien til solcelleanlegget må totalspenningen befinne seg mellom grenseverdiene. Seriekoblingen med 19 paneler utgjør dermed en totalspenning fra solcelleanlegget lik 590,9 V_{DC}. Det vil si at den totale spenningen befinner seg innenfor grenseneverdiene til batteriet.

Konverteren må kunne omforme 590,9 V_{DC} til 240 V_{AC} som kan forsyne oppdrettsanlegget, og strøm fra solcelleanlegget 27,64 A kan bli behandlet i et 120 kW konverter. En slik konverter kan anskaffes og er kommersielt på markedet. Figur 50 viser en prinsippskisse av konverteren med strøm og spenningsverdier fra solcelleanlegget.



Figur 50: Prinsippskisse av konverter inkludert strøm- og spenningsverdier fra solcelleanlegg, samt likevektsspenning tilført anlegget

Tilpasset systemdesign til resultat 1, inkludert alle komponenters ytelse, samt spenning ved vekselstrøm og likestrøm vises ved Figur 51.



Figur 51: Tilpasset systemdesign av Resultat 1. Figuren viser ytelsen til hver av komponentene og spenning ved likevekt- og vekselstrøm.

Da HOMER Pro ikke tar hensyn til hvordan implementeringen av systemet foregår, er det derfor viktig å stille seg kritisk til resultatene. Simuleringsverktøyet gir kun en teoretisk systemløsning som bør etterprøves ved hjelp av beregninger. Det er ulike begrensninger ved HOMER Pro som omhandler inngangsdata og er nødvendig for å kunne oppnå et reelt praktisk system.

All inngangsdata tilført HOMER Pro er tilnærmet lik valgte komponenter, dette gir en viss usikkerhet i resultatene. Simuleringsverktøyet er anlagt slik at en kan velge blant mange forskjellige komponenter i et bibliotek. Selv om biblioteket inneholder en rekke lagrede ressursdefinisjoner, kan det være utfordrende å finne komponenter nøyaktig lik de som er valgt på forhånd. HOMER Pro tillater noen detaljendringer, men ikke nok til å utføre et reelt system som med en gang kan implementeres i praksis. Selv om flere av verdiene setter en begrensning på simuleringsprogrammet, er resultatene fortsatt gode og danner et godt grunnlag for videre studier.

6.3 Sammenligning av resultatene

Ved simulering av løsningene produserte HOMER Pro informasjon knyttet til dieselgeneratorens utslipp, dieselforbruk, fornybar fraksjon og fornybar energiproduksjon. Det er ønskelig å redusere utslippet og dieselforbruket med utgangspunkt i basissystemet ved å ha en høyest mulig fornybar fraksjon. Dette er presentert i Tabell 36.

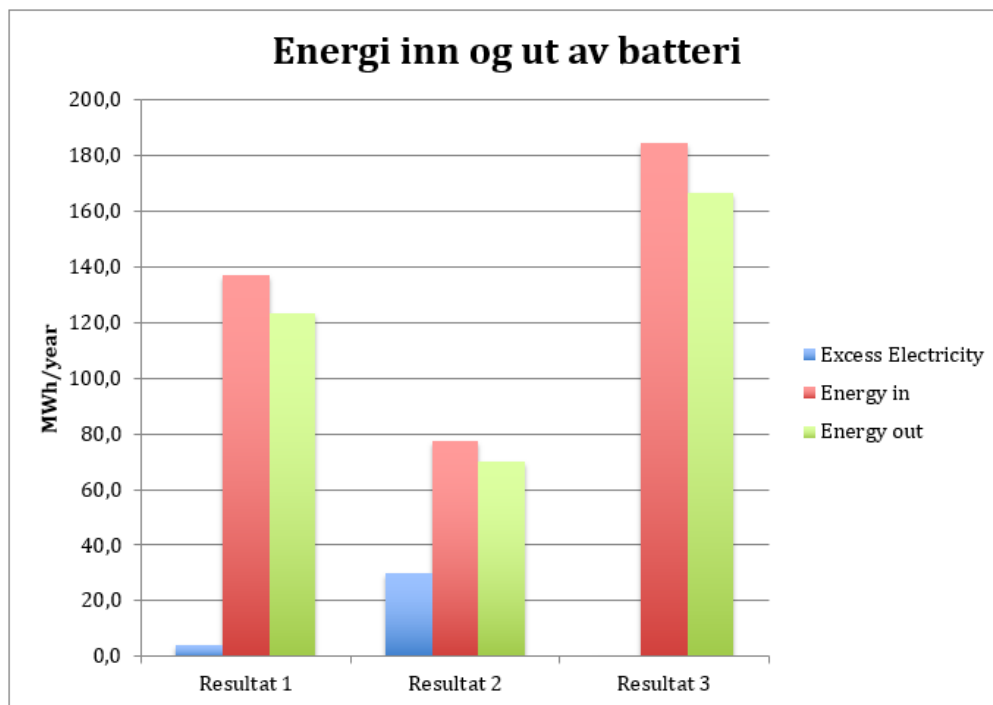
Tabell 36: Sammenligning av CO₂, dieselforbruk, fornybar fraksjon og fornybar energiproduksjon ved de forskjellige simuleringsresultatene

Resultat	CO ₂ [kg/år]	Dieselforbruk [L/år]	Fornybar-fraksjon [%]	Fornybar energiproduksjon [kWh/år]
Base	352 324	135 707	0	0
1	120 521	46 422	47,4	175 643
2	68 603	26 424	74,4	271 652
3	188 794	72 719	16,6	89 308

Basissystemet har størst dieselforbruk og opptrer som det mest forurensende anlegget med god margin. Løsningen som utgir minst forurensende stoffer er resultat 2 med vindturbiner og har lavest dieselforbruk samt 80 % reduksjon av CO₂ utslippet. Som vist i resultatene opererer dieselgeneratoren langt mindre i vindturbinløsningen og dermed er denne den mest miljøvennlige av de fire. Det er også viktig å tenke på at liten påkjent last på dieselgeneratoren kan medføre en lavere virkningsgrad og resulterer i redusert levetid. Det kan dermed være hensiktsmessig å tilpasse dieselgeneratorens kapasitet i henhold til hvor mye fornybar energi systemet produserer. Med utgangspunkt i basissystemet er resultat 3 med solcelleanlegg den fornybare løsningen med høyest dieselforbruk og utslipp, noe som utgjør en reduksjon i CO₂ på 46 %. Selv om reduksjonen er lavest av alle de fornybare resultatene, er utslippsreduksjonen positiv i forhold til basissystemet.

HOMER Pro evaluerer de sammensatte løsningene og produserer en fornybar fraksjon. Den fornybare fraksjonen er den prosentandelen av energien som stammer fra fornybare energikilder og leveres til lasten. I samsvar med dieselforbruk, CO₂ utslipp og fornybar energiproduksjon er løsning 2 det fornybare systemet med en høyest fornybar fraksjon på 74,4 %.

Når en skal analysere batteripakken for hvert resultat blir det sett på energien som blir lagret og utladet fra lagringskomponenten. Figur 52 viser energi inn og ut av batteriet samt overflødig energiproduksjon som er vist ved alle resultatene. Når en skal lagre fornybar energi fra solceller og/eller vindturbiner medfører det tap. Batteriets tap er differansen mellom energi inn og ut. Overflødig energi er som nevnt tidligere overskudd av elektrisk energi som må dumpes fordi den ikke kan brukes til å betjene en last eller lade batteriene.



Figur 52: Oversikt over energi inn og ut av batteripakken og overflødig energiproduksjon i MWh per år ved resultatene. Hvor Excess Electricity = overflødig energiproduksjon, Energy in = lagret energi og Energy out = utladet energi.

Mengden tap i resultatene har en sammenheng med mengden energi lagret i batteripakken. Resultat 3 har høyest mengde lagret energi, og dermed høyest tap i batteripakken med 18,4 MWh hvert år. Resultat 2 har lavest energitap på 7,7 MWh per år, men også minst energi lagret i batteripakken.

Resultat 2 har lavest energi inn i batteripakken, dette kan være grunnet at en stor del av den fornybare energiproduksjonen fra vindturbinene blir direkte brukt til å drifte oppdrettsanlegget. Resultatene varierer stort med hensyn til den overflødig produserte energien, hvor resultat 2 produserer størst andel overflødig energi etterfulgt av resultat 1. Siden dette gjenspeiler batteriets lagringsevne, antas det at batteripakken i resultat 2 har for liten kapasitet med hensyn til mengden fornybar energi som må lagres i dette tilfellet.

Resultat 2 er systemløsningen med høyest fornybar fraksjon samt fornybar energiproduksjon og den kan ikke lagre store deler av energien som resulterer i et energitap på 38 %. Som følge av dette vil det være nødvendig med anskaffelse av en større batteripakke ved investering i et fornybart vindkraftsystem, slik at en får nytte all energien.

Resultatet med minst energitap på 0,1 % er resultat 3. Dette er på grunn av den lave overflødige energiproduksjonen samt lav fornybar fraksjon fra solcelleanlegget på 16,6 %. Dieselgeneratoren i resultat 3 produserer høy andel energi som går direkte til drift av oppdrettsanlegget, dermed lagres store deler av solenergien i batteripakken. Det produseres lite overflødig energi på grunn av den lave fornybare fraksjonen som henger direkte sammen med energietterspørselen som dieselgeneratoren produserer fortløpende. Dette er en motsetning til vind og solkraft som er avhengig av gode værforhold og kan ikke produsere energi fortløpende for å møte energietterspørselen. Det er derfor viktig å ha en batteripakke med stor nok kapasitet slik at også fornybare energikilder utnyttes fortløpende slik som for dieselgeneratoren. Simuleringen gir en omfatning av resultatene og ikke en reell systemløsning.

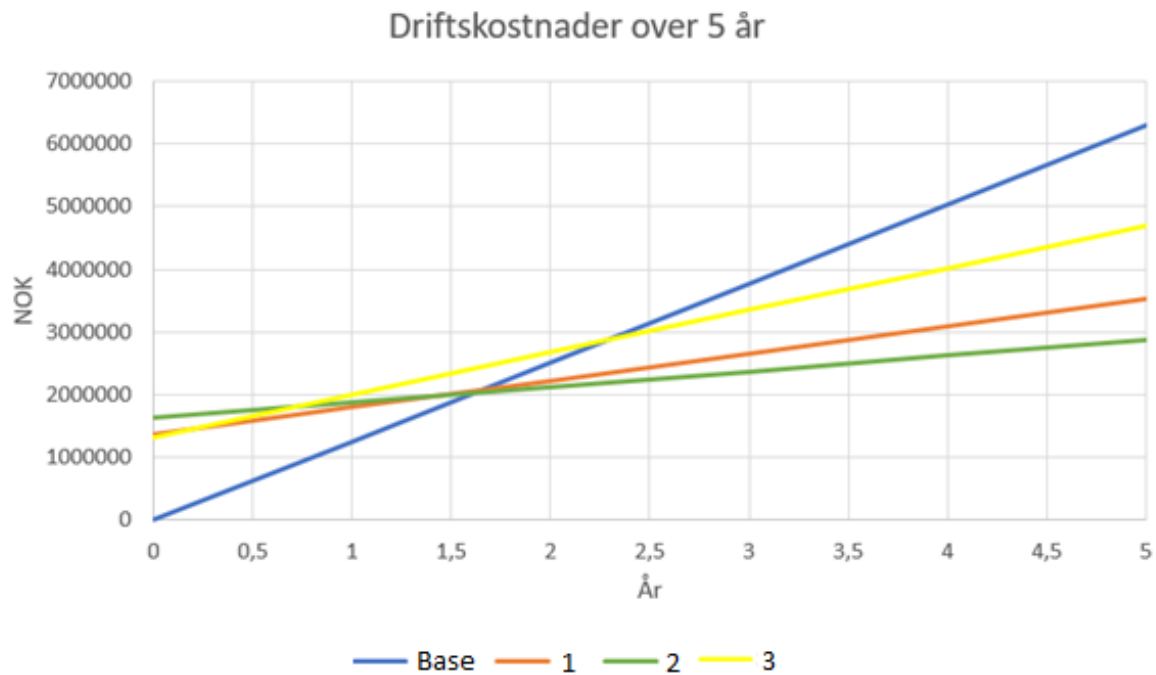
Det presenteres i Tabell 37 de ulike resultatenes kostnadsrelaterte parametere, som innkjøpskostnad, Net Present Cost og dieselkostnad. Net Present Cost er kostnadene til alle komponentene inkludert installasjon, drift og vedlikehold, disse kostnadene er regnet ut over en 25 års periode. HOMER Pro antar drift og vedlikeholdskostnader, samt en erstatningskostnad som forekommer hver 3,52 år. Programmet bruker også en rabattfaktor til å regne ut valutaen over systemets levetid. Dieselkostnadene forekommer ved å multiplisere dieselkostnaden med mengden diesel som brukes av dieselgenerator over 25 år.

Tabell 37: Kostnadsparametere av resultatene som viser innkjøpskostnad, Net Present Cost og dieselkostnad

Resultat	Innkjøpskostnad [NOK]	Net Present Cost [NOK/25 år]	Dieselkostnad [NOK/25 år]
Base	0	16 640 670	16 245 357
1	1 370 242	7 276 590	5 557 133
2	1 641 078	4 977 264	3 163 207
3	1 331 150	11 071 460	8 705 138

Innkjøpskostnadene varierer lite ved de tre fornybare løsningene hvor resultat 2 er 310 000 kr dyrere enn den rimeligste. Dieselkostnadene fra resultat 2 består av 63,5 % av NPC kostnadene, og er fem ganger billigere enn basissystemet i løpet av en 25 års periode.

Med hensyn til løsningsenes dieselforbruk vil resultat 2 inntjener de andre resultatene relativt hurtig som vist i Figur 53. Resultat 1 med vindturbiner og solcelleanlegg, Resultat 2 med vindturbiner og Resultat 3 med solcelleanlegg. Resultat 2, grønn linje, vil være mer økonomisk etter omtrent 1,5 år hvor vindturbinløsningen passerer basissystemet. Resultat 3, gul linje, er den fornybare løsningen med lavest innkjøpskostnad, men vil etter hvert føre til høyest driftskostnad etter basissystemet.



Figur 53: Driftskostnader over 5 år fra resultatene, samt basissystemet

6.4 Valgt løsning

Ved utvelgelsen av hvilken løsning som fremtrer bedre enn andre er det ulike parametere som må vurderes og vektlegges. Parameterne som det velges å legge til grunn for å kunne ta beslutningen settes opp i en utvelgelsesmatrise med poeng. Prinsippet baseres på at en kan ikke ta en beslutning ut ifra en positiv egenskap, men heller en oversiktlig storskala sammenheng som tar hensyn til temaene som er presentert i studiet. Tabell 38 viser resultatene med tilhørende poenggivende parametere. Det gis poeng 0 til 3 hvor høyest tallverdi presenterer det beste kriteriet.

Tabell 38: Oversikt over poengsystem. Lavest vurderingsverdi er 0 og høyest er 3. Resultatet med høyest poengsum tilsvarer best energisystem

Poeng Resultat	Innkjøps- kostnad	Diesel- kostnad per år	Drifts- kostnader over 5 år	CO2- produksjon per år	Fornybar- fraksjon	Overflødig energi- produksjon	SUM
Base	3	0	0	0	0	0	3
1	1	2	2	2	2	2	11
2	0	3	3	3	3	1	13
3	2	1	1	1	1	3	9

Ut ifra utvelgelsesmatrisen hvor hver av de simulerte resultatene ble poengsatt, er resultat 2 med vindturbiner, den best egnede fornybare energiløsningen med 13 poeng. Poengene er plassert ut i fra utledede tabeller vist tidligere i kapittelet og hentet fra de simulerte resultatene. Den høye overflødig energiproduksjonen i resultat 2, kan bedres ved å skalere opp batteripakken. Selv ved høye innkjøpskostnader er det lønnsomt å investere i et vindturbinssystem med tanke på de høye dieselkostnadene som nærmest er konstant hvert år og de lave strømkostnadene for vind på 0,308 NOK/kWh. Ved å implementere et fornybart energisystem vil en kunne tjene på anlegget etter omtrent 1,5 – 3 år ut ifra hvilke system en benytter, samt hvilke basissystem en har fra før av.

7. Konklusjon

Studiet har bestått av en litteraturstudie av fornybare energikilder som sol-, vind- og bølgekraft med hensikt om å fremlegge en anbefaling til alternativ strømforsyning av et fiskeoppdrettsanlegg. Lakseoppdrettet det er valgt å ta utgangspunkt i er Norway Royal Salmon ved Dalsvåg, hvor også essensiell informasjon ble anskaffet.

For å kunne bestemme hvilken energikilde som hadde størst potensial ved Dalsvåg, ble de ulike installasjonene og metodene diskutert og vektlagt. Dette ledet til at bølgekraft ble ekskludert som beskrevet i delkapittel 3.4.4, der gjenværende energikilde ble vind- og solkraft som videre ble utledet og sammensatt til systemløsninger navngitt resultat 1, 2 og 3.

Resultatene i kombinasjon med anskaffet informasjon fra Norway Royal Salmon hadde som formål å danne grunnlaget for inngangsdataen som skulle benyttes i simuleringsprogrammet HOMER Pro. Simuleringsverktøyet analyserte dernest resultat 1, som er en systemløsning med kombinert bruk av vindturbiner, solcelleanlegg og dieselgenerator, resultat 2 bestående av vindturbiner og dieselgenerator og til sist resultat 3, som omhandlet bruken av solcelleanlegg og en dieselgenerator.

Som utgangspunkt for studiet ble den eksisterende energiløsningen ved Dalsvåg også simulert, som består hovedsakelig av en dieselgenerator. Systemet hadde en Net Present Cost på 16,6 million NOK over dens estimerte levetid på 25 år, samt et CO₂ utslipp på 352 tonn per år. Som følge av dette og regjeringens krav om redusert utslipp og energiforbruk, er det en klar motivasjon til å etablere en oppdrettsnæring som skal redusere bruken av fossilt brensel og gå mot fornybar energiproduksjon.

Alle hybridløsningene som presenteres resulterer i store utslipps- og kostnadsreduksjoner. Men mest optimal av de tre hybridløsningene er resultat 2, med vindturbiner, konverter, batteripakke og dieselgenerator. Hybridløsningen har en reduksjon i CO₂ utslipp på hele 80 % som følge av den begrensede driften av dieselgeneratoren. Hybridløsningen har en innkjøpskostnad på 1,6 million NOK som er høyest av alle resultatene. Men grunnet den lave Net Present Cost på rundt 5 million NOK over systemets estimerte levetid på 25 år, vil hybridløsningen allerede etter 1,5 år inntjene dieselgeneratorsystemet som eksisterer ved Dalsvåg i skrivende stund, samt de andre hybridløsningene.

Å etablere et fullstendig fornybart energisystem vil medføre pålitelighetsproblemer rundt usikkerheten av gode nok vind- og solforhold for å kontinuerlig forsyne et oppdrettsanlegg. Dieselgeneratoren implementert i hybridløsningen fungerer dermed som en buffer for å sikre kontinuerlig strømforsyning til oppdrettsanlegget.

Likt som ved alle simuleringsstudier er det usikkerhet rundt resultatene. Den mest fremtredende usikkerheten er de ulike komponentenes kostnad. Dette er informasjon som ikke er lett tilgjengelig og medfører dermed at oppgaven å designe et kostnadsoptimalt fornybart energisystem er krevende. Blant annet er dieselprisen fluktuerende og en observerer også både batteri- og solcellepanelkostnadene i en avtagende trend, som kan åpne for mer kostnadseffektive fornybare systemer.

For å kunne gjennomføre en simulering i HOMER Pro er værdata grunnleggende. Værdata som simuleringsverktøyet benytter er et beregnet gjennomsnitt av værforholdene over 22 år. Denne informasjonen er ikke presis men anvendes som en tilnærming for å måle gjennomførbarheten av å installere et fornybart energisystem ved Dalsvåg. Denne informasjonen vil være ulik ettersom hvilken lokasjon som velges og en må derfor stille seg kritisk til denne.

Det er gjennomførbart å redusere utslippene som oppstår fra Norges oppdrettsanlegg. Investering i et fornybart hybridssystem samt ideologien rundt bærekraftig utvikling i Norge, bør drive selve industriaktørene til å innføre CO2 reduserende energiltak.

Referanser

- [1] Miljøstatus, «Miljøstatus norsk klimagassutslipp,» Miljøstatus, [Internett]. Available: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/>. [Funnet 02 Mai 2018].
- [2] Regjeringen, «Regjeringen Meld. St. 13 (2014-2015),» [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-2014-2015/id2394579/sec2> . [Funnet 02 Mai 2018].
- [3] FHF, «FHF prosjektdetaljer,» [Internett]. Available: <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900097> . [Funnet 01 Mai 2018].
- [4] Commando Group, «[www.Teknologiradet.no](http://www.teknologiradet.no),» april 2012. [Internett]. Available: <https://teknologiradet.no/wp-content/uploads/sites/19/2013/08/Rapport-Fremtidens-lakseoppdrett.pdf> . [Funnet 02 mai 2018].
- [5] Miljødirektoratet, «Fiskeoppdrett,» 29 Oktober 2015. [Internett]. Available: http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Vann_og_hav/Pavirkning-i-havet-og-langs-kysten/Akvakultur/Oppdrett/. [Funnet 5 Mars 2018].
- [6] A. Ø. Bore, «Bærekraftig energi for anlegg til havs,» Nyhetstjenester AS, 6 Oktober 2014. [Internett]. Available: <http://www.rogfk.no/Vaare-tjenester/Naeringsutvikling/VRI-Rogaland/Aktuelt-VRI/Baerekraftig-energi-for-anlegg-til-havs>. [Funnet 4 Mars 2018].
- [7] E. Kruse, «SPIR-kandidat: Energinøytralt oppdrettsanlegg,» 7 Februar 2017. [Internett]. Available: <http://energiogklima.no/spirprisen/spir-kandidat-energinoytralt-oppdrettsanlegg/>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [8] E. Hovland, A. Haaland, B. Hersoug, N. Kolle og D. Møller, «Band 5: Havbruk,» UiB, 19 August 2014. [Internett]. Available: <https://norges-fiskeri-og-kysthistorie.w.uib.no/bokverket/bind-5-havbrukshistorie/>. [Funnet 8 Mars 2018].
- [9] Store Norske Leksikon, «www.snl.no,» [Internett]. Available: <https://snl.no/fiskeoppdrett> . [Funnet 28 April 2018].

- [10] Teknologiradet, «www.Teknologiradet.no,» [Internett]. Available: <https://teknologiradet.no/wp-content/uploads/sites/19/2013/08/Rapport-Fremtidens-lakseoppdrett.pdf> . [Funnet 28 April 2018].
- [11] SalMar, «Havbasert fiskeoppdrett,» 1 Januar 2014. [Internett]. Available: <https://www.salmar.no/havbasert-fiskeoppdrett-en-ny-aera/>. [Funnet 10 Mars 2018].
- [12] K. A. Okstad, «Slik kan oppdrettsnæringa bli mer klimavennlig,» 20 Februar 2017. [Internett]. Available: <https://forskning.no/2017/02/havvind-kan-lose-klimautfordringene-oppdrettsnaeringen/produisert-og-finansiert-av/universitetet-i-stavanger>. [Funnet 14 Januar 2018].
- [13] A. Hallenstvedt, «Fiskeoppdrett,» 12 Juni 2015. [Internett]. Available: <https://snl.no/fiskeoppdrett>. [Funnet 28 Februar 2018].
- [14] Havforskningsinstituttet, «Rømt fisk og genetisk påvirkning,» 22 August 2012. [Internett]. Available: https://www.imr.no/temasider/akvakultur/romt_fisk_og_genetisk_pavirkning/nb-no. [Funnet 16 Februar 2018].
- [15] Fiskeridirektoratet, «Rømmingsstatistikk,» 12 Mars 2018. [Internett]. Available: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Roemningsstatistikk>. [Funnet 22 Mars 2018].
- [16] Mattilsynet, «Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse,» 20 September 2016. [Internett]. Available: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/fiske_og_skjellsykdommer/lakselus/fakta_om_lakselus_og_lakselusbekjempelse.23766. [Funnet 16 April 2018].
- [17] A. Kvistad, «Om lakselus,» 1 Januar 2015. [Internett]. Available: <http://lusedata.no/om-lakselus/>. [Funnet 16 Februar 2018].
- [18] O. B. Samuelsen, «Miljøeffekter av lakselusmidler,» 26 Januar 2018. [Internett]. Available: http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/miljoeffekter_av_lakselusmidler/nb-no. [Funnet 16 Februar 2018].
- [19] Fiskeridirektoratet, «Tydligere miljøkrav ved bruk av lusemidler i oppdrett,» 24 Februar 2015. [Internett]. Available:

- <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2015/0215/Tydeligere-miljoekrav-ved-bruk-av-lusemidler-i-oppdrett>. [Funnet 16 Februar 2018].
- [20] J. O. Flekke, «Oppdrettsindustrien spyler grønn energi rett ut i fjorden,» 11 Januar 2016. [Internett]. Available: <https://www.altaposten.no/meninger/2016/01/11/—Oppdrettsindustrien-spyler-grønn-energi-rett-ut-i-fjorden-12015288.ece>. [Funnet 23 Februar 2018].
- [21] Lusedata, «Slik sikrer vi kontrollen med lakselus,» 1 Januar 2015. [Internett]. Available: <http://lusedata.no/tiltak/>. [Funnet 22 Februar 2018].
- [22] T. Svåsand, K. K. Boxaspen, Ø. Karlsen, B. O. Kvamme, L. H. Stien og G. L. Taranger, «Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2014,» 2 Februar 2015. [Internett]. Available: https://www.imr.no/filarkiv/2015/04/risikovurdering_2014_web.pdf/nb-no. [Funnet 25 Februar 2018].
- [23] Miljødirektoratet, «Tilførsel av næringsalter fra fiskeoppdrett,» 13 September 2016. [Internett]. Available: <http://www.miljostatus.no/tema/hav-og-kyst/fiskeoppdrett/tilforsler-av-naringsalter-fra-fiskeoppdrett/>. [Funnet 22 Februar 2018].
- [24] O. Myrset, «Dette må du vite om oppdrettsanlegg på land,» 12 Februar 2015. [Internett]. Available: <https://sysla.no/fisk/dette-ma-du-vite-om-oppdrettsanlegg-pa-land/>. [Funnet 22 Februar 2018].
- [25] W. A. Hægermark, «Mer kontroll i lukkede oppdrettsanlegg,» 26 August 2013. [Internett]. Available: <https://forskning.no/fiskehelse-oppdrett/2013/08/mer-kontroll-i-lukkede-oppdrettsanlegg>. [Funnet 23 Februar 2018].
- [26] M. Seternes, «Havets gull får strøm fra land,» 22 Januar 2015. [Internett]. Available: <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/news/havets-gull-faar-stroem-fra-land-103514>. [Funnet 3 Mars 2018].
- [27] G. Boyle, Renewable Energy, Power for a sustainable future, 3. utgave red., vol. 1996, Oxford: Oxford University Press, 2012, p. 566.
- [28] Fornybar.no, «2.1 Elektrisk energi fra solen,» Mai 2016. [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#top>. [Funnet 28 Januar 2018].

- [29] Fornybar.no, «Solceller,» Mai 2016. [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/solceller>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [30] UngEnergi, «Solceller,» 30 September 2016. [Internett]. Available: <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/>. [Funnet 12 Februar 2018].
- [31] J. Sandstad og J. Linder, «Fotoelektrisk effekt,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/fotoelektrisk_effekt. [Funnet 5 Mars 2018].
- [32] Norsk Solenergiforening, «Solceller,» 2015. [Internett]. Available: <https://www.solenergi.no/solstrm/>. [Funnet 2 Februar 2018].
- [33] Ocean sun, «About Ocean sun,» 1 April 2017. [Internett]. Available: <http://oceansun.no/about/>. [Funnet 2 Februar 2018].
- [34] Smartlading, «www.smartlading.no,» [Internett]. Available: <http://www.smartlading.no/veiledninger> . [Funnet 05 Mai 2018].
- [35] Ung energi, «www.ungenergi.no,» [Internett]. Available: <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/#point2> . [Funnet 05 Mai 2018].
- [36] Strømløs, «Pris på solcellepanel,» Sivilingeniør Carl Christian Strømberg AS, 2015. [Internett]. Available: <https://www.strømløs.no/solcellepanel-monokrystallinsk-205w-ibc-158x81x-4-5xibc-monosol-205-cs.html#product-tabs2>. [Funnet 4 April 2018].
- [37] Europe-solarshop.com, «Pris på solcellepanel (Suntech),» [Internett]. Available: <http://www.europe-solarshop.com/solar-panels/suntech/suntech-stp260-20-wem.html>. [Funnet 4 April 2018].
- [38] Yingli Green Energy Holding, «Panda 60 cell series,» Juni 2012. [Internett]. Available: http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2012_PANDA_60.pdf . [Funnet 4 April 2018].
- [39] Vindportalen.no, «Om systemer,» 1 August 2014. [Internett]. Available: <http://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonssiden-om-vindkraft/Teknologi/Om-systemer>. [Funnet 18 Januar 2018].

- [40] K. Hofstad, «Vindenergi,» 30 Oktober 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/vindenergi>. [Funnet 19 Januar 2018].
- [41] Teknisk ukeblad, «WWW.tu.no,» [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-billigere-er-vindkraft-enn-kull-og-gass-i-norge/223285>. [Funnet 07 Mai 2018].
- [42] Store Norske Leksikon, «www.snl.no,» 2013. [Internett]. Available: http://snl.no/Betz%27_lov. [Funnet 08 Mai 2018].
- [43] Vindportalen.no, «Vindturbinens virkningsgrad,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonsiden-om-vindkraft/Vindkraft/Vindfysikk/Vindenergi/Vindturbinenes-virkningsgrad>. [Funnet 29 Januar 2018].
- [44] Vindportalen.no, «Turbiner,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonsiden-om-vindkraft/Teknologi/Turbiner>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [45] K. A. Rosvold, «Vindturbin,» 26 April 2016. [Internett]. Available: <https://snl.no/vindturbin>. [Funnet 6 Februar 2018].
- [46] The new ecologist, «Pros and cons of vertical axis wind turbine,» 2016. [Internett]. Available: <http://www.thenewecologist.com/2016/01/pros-cons-vertical-axis-wind-turbine/>. [Funnet 6 Februar 2018].
- [47] Fornybar.no, «2.1 Vindturbinen,» 2016. [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/vindkraft/teknologi>. [Funnet 21 Januar 2018].
- [48] Vindportalen.no, «Valg av lokasjon,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonsiden-om-vindkraft/Vindkraft/Vindkraftverk/Valg-av-lokasjon>. [Funnet 3 April 2018].
- [49] J. Amdahl, S. Berge, F. Dukan, A. Endal, J. Hals, H. Holm, G. Johnsen, T. King, C. Larsen, L. Lundby, T. Moan, D. Myrhaug, J. Odland, B. Pettersen, S. Steen, A. Sørensen, P. Werenskiold og V. Æsøy, Havromsteknologi, NTNU: NTNU og Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS, 2014.

- [50] UngEnergi, «Bølgeenergi,» 28 Oktober 2016. [Internett]. Available: <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>. [Funnet 20 Januar 2018].
- [51] Brendmo, «www.brendmo.net,» [Internett]. Available: http://www.brendmo.net/owc/oversiktsartikkel_owe.html. [Funnet 07 Mai 2018].
- [52] T. Stensvold, «Norge har fått sitt første bølgekraftverk som leverer strøm til kraftnettet,» 13 Juni 2017. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/norge-har-fatt-sitt-forste-bolgekraftverk-som-leverer-strom-til-kraftnettet-slik-virker-det/395569>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [53] Waves4power, «Wave power,» August 2017. [Internett]. Available: <https://www.waves4power.com/why-wave-power/>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [54] Det kongelige olje- og energidepartementet, «Meld. St. 14 - om utbygging av strømmettet,» 2011-2012. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/19472ee2fcc54a0eaae169972fd61c98/no/pdfs/stm201120120014000dddpdfs.pdf>. [Funnet 16 Februar 2018].
- [55] R. Hunter og G. Elliot, Wind-Diesel Systems, Cambridge, NY: Cambridge university press, 1994, p. 106.
- [56] Mongstad Elektro, «Seminar om Nødgeneratorer/Reserveenergi,» Juni 2012. [Internett]. Available: http://www.ifea.no/wp-content/uploads/2012/06/J-Brandt-Nødgenerator_reserveenergi.pdf. [Funnet 16 Februar 2018].
- [57] E. A. Bergmann, «Ny elektrisitetsforsyning av øya Myken på Helgelandskysten,» 4 September 2014. [Internett]. Available: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/218743>. [Funnet 14 Februar 2018].
- [58] FPT industrial, «Dieselgenerator GEN160MA,» [Internett]. Available: <http://www.fptindustrial.com/global/en/engines/power-generation/genset/n67>. [Funnet 11 Mars 2018].
- [59] Fornybar.no, «Overføring og lagring av energi,» Mai 2016. [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/overforing-og-lagring-av-energi>. [Funnet 16 April 2018].

- [60] MIT Electric Vehicle Team, «A Guide to Understanding Battery Specifications,» Desember 2008. [Internett]. Available: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf. [Funnet 20 April 2018].
- [61] Battery univeristy, «BU-402: What Is C-rate?,» 9 Mars 2017. [Internett]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate. [Funnet 20 April 2018].
- [62] S.-L. Chou og S.-X. Dou, «Next-Generation Batteries,» 2017. [Internett]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adma.201705871>. [Funnet 18 Februar 2018].
- [63] S. F. Tie og C. W. Tan, «A review of energy sources and energy management system in electric vehicles,» April 2013. [Internett]. Available: <https://www-sciencedirect-com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S1364032112006910>. [Funnet 4 Mars 2018].
- [64] Sunwind, «Velg riktig batteri til hytta,» 11 Februar 2016. [Internett]. Available: <https://www.sunwind.no/pages/tips/read/?id=14>. [Funnet 16 April 2018].
- [65] Corvus Energy, «CONTAINERIZED ENERGY STORAGE SYSTEM,» 2017. [Internett]. Available: <http://corvusenergy.com/containerized-energy-storage-system/>. [Funnet 24 April 2018].
- [66] M. G. Garathun, «På syv år har prisen på elbilbatterier falt med 60 prosent,» 25 Mars 2015. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/pa-syv-ar-har-prise-pa-elbilbatterier-falt-med-60-prosent/222657>. [Funnet 20 April 2018].
- [67] Saft batteries, «Intensium Max, the megawatt energy storage system,» 2016. [Internett]. Available: <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/intensium-max-megawatt-energy-storage-system>. [Funnet 26 Februar 2018].
- [68] HOMER energy, «HOMER pro,» 2001. [Internett]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>. [Funnet 5 April 2018].
- [69] HOMER pro 3.11, «Loads tab,» [Internett]. Available: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/loads_tab.html. [Funnet 5 April 2018].

- [70] HOMER pro 3.11, «Components tab,» [Internett]. Available: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/components_tab.html. [Funnet 5 April 2018].
- [71] HOMER energy, «Diesel O&M costs,» 19 Mars 2018. [Internett]. Available: <http://usersupport.homerenergy.com/customer/en/portal/articles/2188634-diesel-o-m-costs>. [Funnet 6 April 2018].
- [72] Solar DAO, «Everything You Need to Know About Operations & Maintenance (O&M) For Utility Scale PV Solar Plants,» 2 September 2017. [Internett]. Available: <https://medium.com/@solar.dao/everything-you-need-to-know-about-operations-maintenance-o-m-for-utility-scale-pv-solar-plants-9d0048e9b9a2>. [Funnet 6 April 2018].
- [73] Wind energy The facts, «Operation and Maintenance Costs of Wind Generated Power,» [Internett]. Available: <https://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>. [Funnet 6 April 2018].
- [74] HOMER pro 3.11, «Resource tab,» [Internett]. Available: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/resources_tab.html. [Funnet 5 April 2018].
- [75] HOMER pro 3.11, «Results,» [Internett]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/results.html>. [Funnet 5 April 2018].
- [76] NVE, «Energiforsyning og konsesjon, solenergi,» [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/solenergi/>. [Funnet 26 04 2018].
- [77] S. Lybæk, «Fiskeoppdrett i Norge,» 23 Januar 2017. [Internett]. Available: https://www.dyreverv.no/andre_dyr/fisk/fiskeoppdrett-i-norge. [Funnet 6 Mars 2018].
- [78] Kolofon, «Solenergi,» [Internett]. Available: http://www2.kolofon.no/images/Marketing/Advertisements/Tospråklig/Energi_Norsk_utdrag.pdf.
- [79] UngEnergi, «Hva er solenergi,» 30 September 2016. [Internett]. Available: <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/hva-er-solenergi/>. [Funnet 28 Januar 2018].

- [80] C. Aadland, «Tester ut bølgekraft ved oppdrettsanlegg,» 25 September 2015. [Internett]. Available: <https://sysla.no/gronn/tester-ut-bolgekraft-ved-oppdrettsanlegg/>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [81] Fornybar.no, «Batterier,» Mai 2016. [Internett]. Available: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/elektrisitetslagring/batterier>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [82] J. Ayre, «Lithium-ion battery costs to keep falling, boosting electric car sector,» 11 August 2015. [Internett]. Available: <https://evobsession.com/lithium-ion-battery-costs-to-keep-falling-boosting-electric-car-sector/>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [83] Marineharvest, «Laksens livssyklus,» 2016. [Internett]. Available: <http://marineharvest.no/products/seafood-value-chain/>. [Funnet 6 Mars 2018].
- [84] J. P. Johnsen, «Merd,» 28 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/merd>. [Funnet 5 April 2018].
- [85] J. Hagland, «Offshore,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/offshore>. [Funnet 5 April 2018].
- [86] H. G. Simonsen, «Kontaminere,» 1 Juli 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/kontaminere>. [Funnet 5 April 2018].
- [87] T. Falkanger, «Konsesjon,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/konsesjon>. [Funnet 5 April 2018].
- [88] P. Lødrup, «Skifteretten,» 15 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/skifteretten>. [Funnet 5 April 2018].
- [89] A. Vøllestad, «Gyting,» 11 November 2012. [Internett]. Available: <https://snl.no/gyting>. [Funnet 5 April 2018].
- [90] N. Spjeldnæs, «Geotermisk energi,» 31 Oktober 2017. [Internett]. Available: https://snl.no/geotermisk_energi. [Funnet 5 April 2018].

- [91] J. V. Thue, «Fundament,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/fundament>. [Funnet 5 April 2018].
- [92] S. O. Erikstad, «Forankre,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: https://snl.no/forankre._-_Feste_en_bygningskonstruksjon. [Funnet 5 April 2018].
- [93] N. Nesse, «Pilotanlegg,» 11 Desember 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/pilotanlegg>. [Funnet 5 April 2018].
- [94] D. Gundersen, «Redundans,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/redundans>. [Funnet 5 April 2018].
- [95] B. Nordbø, «Implementere,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/implementere>. [Funnet 9 April 2018].
- [96] Miljøstatus, «Miljøstatus norske klimagassutslipp,» [Internett]. Available: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/> . [Funnet 02 Mai 2018].
- [97] Regjeringen , «Regjeringen Meld. St. 13 (2014-2015),» [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-2014-2015/id2394579/sec2> . [Funnet 02 Mai 2018].
- [98] FHF, «FHF prosjektdetaljer,» FHF, [Internett]. Available: <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900097> . [Funnet 01 Mai 2018].
- [99] P. Strøm, «Oppdrett kan redde et område som er dobbelt så stort som India,» *Oppdrett kan redde et område som er dobbelt så stort som India - NRK*, 30 April 2018.
- [100] P. strøm, «Oppdrett kan redde et område som er dobbelt så stort som India,» *Oppdrett kan redde et område som er dobbelt så stort som India - NRK*, 30 April 2018.
- [101] Teknologiradet, «WWW.teknologiradet.no,» [Internett]. Available: <https://teknologiradet.no/wp-content/uploads/sites/19/2013/08/Rapport-Fremtidens-lakseoppdrett.pdf> . [Funnet 28 April 2018].