



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Smarte energiløsninger – grønn oppdrettsbåt



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Prosess- og energiteknikk

Av: Øyvind Mortveit Ellingsen
Anders Kristiansen

Kand.nr.

6

Kand.nr.

14

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Øyvind Mortveit Ellingsen
Anders Kristiansen

Linje & studieretning Maskin, prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: *Smarte energiløsninger – Grønn oppdrettsbåt*

Oppgavetekst:

I del av et større prosjekt, hvor muligheten for å drifte et oppdrettsanlegg i eksponert farvann undersøkes, vil det tas i bruk et nytt båtdesign. Oppdrettsbåter drives normalt av rene dieselsystemer, og det er ønskelig å finne mer miljøvennlige alternativer som hydrogen-, batteri- og hybridsystemer og alternativer til fossil diesel.

Etter en forklaring av de ulike energisystemer, vil de bli sammenlignet, vurdert og diskutert. Kriterier som det fokuseres på er: energitetthet, systemvirkningsgrad, rekkevidde, ladning/påfylling, tilgjengelighet, og utslipp. Avslutningsvis vil resultatene bli brukt i en reell case. Lokaliteten som brukes i casen er et planlagt oppdrettsanlegg i Brennevinsgrunnen, som driftes av Bremnes Seashore.

Endelig oppgave gitt: Onsdag 2. mars 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 4. mai 2016 kl. 12.00

Intern veileder: Eyvind Rossebø, tlf. 52 70 26 69

Ekstern veileder: Gunnar Birkeland – UNI Research Polytec, mob: 909
Adresse ekstern veileder: 81 029
Sørhauggata 128, 5527 Haugesund, Norway

**Godkjent av
studieansvarlig:**
Dato:

J. C. Lindaa
15/4-16



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund

Studie for ingeniørfag

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

Tlf. nr. 52 70 26 00

Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Smarte energiløsninger – Grønn oppdrettsbåt		<i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av Øyvind Mortveit Ellingsen Anders Kristiansen		
Linje Maskin <i>(Stryk det som ikke passer)</i>	Studieretning Prosess- og energiteknikk	
Gradering Åpen	Innlevert dato 03.05.2016	Veiledere Intern: Eyvind Rossebø, HSH Ekstern: Gunnar Birkeland, Uni Research Polytec

Ekstrakt

Denne rapporten er skrevet for Uni Research Polytec og omhandler alternative energiløsninger for en oppdrettsbåt. Bakgrunnen for rapporten er et ønske om å finne miljøvennlige (grønne) alternativer. Batteri-, hydrogen-, og alternative dieselløsninger sammenlignes i rapporten etter disse kriteriene: rekkevidde, virkningsgrad, utslipp, påfyllingsmulighet og tilgjengelighet. Etter utledning av energisystemene, presenteres tre alternativer som kan brukes om bord i en arbeidsbåt som drifter et oppdrettsanlegg i Brennevinnsgrunnen.

Rapporten er utført som en litteraturstudie, der det i tillegg er gjort egne beregninger for teoretisk rekkevidde og virkningsgrad. Informasjonen hentet fra litteraturen, og de utførte beregningene har gitt et grunnlag til refleksjon rundt alternativene.

Ekstrakt

Denne rapporten er skrevet for Uni Research Polytec og omhandler alternative energiløsninger for en oppdrettsbåt. Bakgrunnen for rapporten er et ønske om å finne miljøvennlige (grønne) alternativer. Batteri-, hydrogen-, og alternative dieselløsninger sammenlignes i rapporten etter disse kriteriene: rekkevidde, virkningsgrad, utslipp, påfyllingsmulighet og tilgjengelighet. Etter utledning av energisystemene, presenteres tre alternativer som kan brukes om bord i en arbeidsbåt som drifter et oppdrettsanlegg i Brennevinsgrunnen.

Rapporten er utført som en litteraturstudie, der det i tillegg er gjort egne beregninger for teoretisk rekkevidde og virkningsgrad. Informasjonen hentet fra litteraturen, og de utførte beregningene har gitt et grunnlag til refleksjon rundt alternativene.

Forord

Rapporten er et resultat av den avsluttende oppgaven i Bachelor-studiet for Maskin, Energi- og Prosessteknikk, siste semester ved Høgskolen Stord/Haugesund. Oppgaven, sammen med fremføring, plakat og et produkt er vektlagt med 20 studiepoeng.

Oppgaven er utformet på bakgrunn av problemstillingen til Uni Research Polytec hvor det skal finnes et alternativt energisystem for en oppdrettsbåt. Uni Research Polytec undersøker alternative energi- og konstruksjonsmuligheter for en oppdrettsbåt, og hva som kan erstatte dagens løsninger. Løsningene vil være fremtidsrettet og ha et positivt miljøaspekt.

Uni Research Polytec, som sammen med Austevoll Marine Group og andre står for selve konstruksjonen av oppdrettsbåten, har fungert som eksterne veiledere og har kommet med informasjon relevant for oppgaven. Oppgaven ble valgt av interesse rundt fremtidsrettede fremdriftssystemer og miljøinteresse.

Vi vil takke vår interne veileder ved Høgskolen Stord/Haugesund **Eyvind Rossebø** for god oppfølging av oppgaven, og ekstern veileder ved Uni Research Polytec, **Gunnar Birkeland** for god informasjon og introduksjon mot fagmiljøet. Vi vil også takke **Svein Olav Halstensen** for informasjon om oppdrettsbåt og fiskebåt.

Vi vil også takke Bremnes Seashore og Austevoll Marine Group for god og relevant informasjon rundt oppdrettsbåten og oppgaven generelt.

Øyvind Mortveit Ellingsen

Anders Kristiansen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for oppgave	1
1.2	Oppgavens problemstilling	1
1.3	Metodikk	1
1.4	Antagelser	2
1.5	Forkortelser, indekser og tegn	2
2	Informasjon om oppdrettsbåt	3
2.1	Generell informasjon	3
2.2	Driftsprofil	3
2.3	Felleskomponenter	6
2.4	Redundansbehov	8
2.5	Formler brukt i rapporten	8
3	Dieselalternativer	9
3.1	Fornybar diesel	9
3.2	Biodiesel	9
3.3	LNG og CNG	9
3.4	Metanol- og etanolfremdrift	9
3.5	Kombinert batteri- og dieselelektriskløsning	9
3.6	Virkningsgrad og lagringskapasitet	10
3.7	Sammenligning av diesel alternativer	11
4	Batteriteknologier	12
4.1	Oversikt over aktuelle batteriteknologier	12
4.2	Virkningsgrad og lagringskapasitet	15
4.3	Diskusjon rundt batteriteknologier	16
4.4	Batterisystemer	16
4.5	Konklusjon	18
5	Opplading av batterisystemer	19
5.1	C-rate	19
5.2	Lademetoder	19
6	Hydrogen som energikilde	22
6.1	Produksjon av hydrogen	22
6.2	Lagring av hydrogen	22
6.3	Påfylling av hydrogen	24

6.4	Omdanning av hydrogen til energi.....	25
6.5	Virkningsgrad og lagringskapasitet.....	27
6.6	Sammenligning av hydrogenløsninger for oppdrettsbåt og valg	27
7	Alternativ fremdrift.....	29
7.1	Magnuseffekt og flettnerskip	29
7.2	Bølgefremdrift.....	29
7.3	Seil som fremkomstmiddel.....	30
7.4	Lagret potensiell energi.....	30
7.5	Strømproduksjon på båt	31
7.6	Permanent magnet thruster.....	31
8	Teknologisammenligning.....	32
8.1	Sammenligning av virkningsgrader	32
8.2	Sammenligning av utslipp.....	32
8.3	Sammenligning av rekkevidder	33
8.4	Sammenligning av utviklingsmulighet	33
8.5	Sammenlagt vurdering og rangering	33
9	Anbefalte alternativer for arbeidsbåt.....	35
9.1	Alternativ 1 – batteri- og fornybar dieselfremdrift	35
9.2	Alternativ 2 - helelektrisk batterisystem	36
9.3	Alternativ 3 – hydrogenenergisystem.....	38
10	Diskusjon, valg av alternativ og forslag til videre arbeid.....	40
10.1	Diskusjon av alternativene	40
10.2	Valg av energisystem	40
10.3	Forslag til videre arbeid.....	40
11	Konklusjon	41
	Bibliografi	I
	Vedleggsliste.....	IV

Figurliste

Figur 2.1 Kart over området.....	4
Figur 2.2 Øyeblikkelig effektforbruk i kW.....	5
Figur 2.3 Kumulativt energiforbruk i kWh.....	5
Figur 2.4 Elektrisk motor.....	6
Figur 2.5 Prosesskjema oppdrettsbåt.....	7
Figur 3.1 Prosessdiagram for kombinert diesel- og batterisystem.....	10
Figur 4.1 Skisse av li-ion batteri [8].....	12
Figur 4.2 Metall-luft batteri [35].....	13
Figur 4.3 EST-Floatch batterisystem.....	17
Figur 4.4 SAFT batteriskap.....	17
Figur 6.1 Prinsippskisse av en brenselcelle [36].....	22
Figur 6.2 Hydrogenpåfylling for bil [37].....	24
Figur 6.3 Påfyllingsstasjon for hydrogen [25].....	25
Figur 6.4 Prinsippskisse PEMFC [28].....	26
Figur 7.1 Magnus effekt.....	29
Figur 7.2 Flettnerskip [34].....	29
Figur 7.3 Hvalfinne påmontert båt for simulering [30].....	30
Figur 7.4 Kite-system [38].....	30
Figur 7.5 Permanent magnet thruster fra Rolls-Royce [31].....	31
Figur 8.1 Oversikt over utslipp målt i kg/kWh.....	32
Figur 8.2 Rekkevidde for kommersielle løsninger.....	33
Figur 8.3 Rekkevidde for teoretiske løsninger.....	33
Figur 9.1 Oppsett for kombinertsystem.....	35
Figur 9.2 Oppsett batterisystem.....	37
Figur 9.3 Oppsett hydrogensystem.....	38

Tabelliste

Tabell 1.1 Oversikt over forkortelser.....	2
Tabell 1.2 Indekser og forkortelser brukt utregninger.....	2
Tabell 2.1 Effektbehov.....	3
Tabell 3.1 Virkningsgrad for et dielelektrisk system.....	10
Tabell 3.2 Sammenligning av dieselalternativer.....	11
Tabell 4.1 Virkningsgrad for et helelektrisk energisystem.....	15
Tabell 4.2 Sammenligning av batteriteknologier.....	16
Tabell 5.1 C-rate og anbefalt ladetid.....	19
Tabell 6.1 Virkningsgrad for et hydrogendrevet energisystem.....	27
Tabell 6.2 Oversikt over hydrogendata.....	28
Tabell 6.3 Fremtidige hydrogenløsninger.....	28
Tabell 8.1 Sammenligning av totalvirkningsgrad.....	32

Sammendrag

Målet med rapporten er å vurdere alternativer til rene dieselsystemer om bord i en oppdrettsbåt. Hovedpoenget er å komme med forslag til et mer miljøvennlig energisystem. Tre forskjellige energisystemer blir undersøkt: et helelektrisk system, et kombinert system og et hydrogensystem. Det helelektriske systemet baserer seg på bruk av batterier som energikilde. Det kombinerte systemet inneholder både batterier og en dieselgenerator som drives av fornybar diesel. Hydrogensystemet omgjør hydrogen til elektrisitet ved hjelp av brenselceller.

Resultatet av vurderingene gjort i rapporten er å bruke det kombinerte energisystemet om bord oppdrettsbåten. Alle alternativene ble vurdert opp mot hverandre i forhold til virkningsgrad for hele systemet, miljøpåvirkning, levetid, rekkevidde, fremtidig karakteristikk og bruksmulighet. All informasjon rundt teknologiene som inngår i de forskjellige systemene er hentet fra vitenskapelige artikler og produsenter av de forskjellige komponentene. Grafiske fremstillinger av data og konseptuelle tegninger for oppbygningen og virkemåte av de forskjellige systemene er gjort på egenhånd.

Det kombinerte systemet ble valgt på grunn av fleksibiliteten ved to forskjellige energikilder, her vil batterier utnyttes ved daglig, normal drift, og dieselgeneratoren vil bare bli brukt ved spesielle anledninger hvor energibehovet er høyere enn batterikapasiteten. Generatoren vil i hovedsak bli sett på som et redundanssystem. Systemet gir oss fordelene til et helelektrisk energisystem med gode miljø- og fremtidsaspekter, men også fordeler som kapasitet for lengre turer og mulighet for å utføre tyngre oppdrag.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgave

Oppdrettsnæringen har i de siste årene vokst så mye at mangel på areal har blitt en begrensning for videre vekst. Det er anslått at arealet tilgjengelig for oppdrettsanlegg kan tredobles dersom oppdrett kan plasseres i områder som er eksponert for mer vær og vind. Med tanke på at prisen, per 1.2.2016, på en fullvoksen laks er høyere enn prisen på et fat olje [1], vil det være lønnsomt å øke produksjonen av oppdrettsfisk.

Oppdrettsnæringen mottar stadig negativ omtale i media på grunn av økologiske skader forårsaket av blant annet rømt laks og lakselus. Dersom produksjon av fisk blir mer miljøvennlig, med det menes mindre utslipp av klimagasser og luftforurensninger, er det mulig at befolkningens oppfatning av næringen forbedres. Det er også muligheter for økonomiske incitamenter, gjennom grønn konsesjon, dersom bruken av fossilt brensel enten reduseres eller opphører.

På bakgrunn av dette undersøkes muligheten for å drive oppdrettets arbeidsbåt med energikilder som enten sterkt reduserer eller opphører utslippet av klimagasser.

1.2 Oppgavens problemstilling

I denne konseptutredningen vil informasjon som er nødvendig for å velge et energisystem for en grønn oppdrettsbåt bli presentert og vurdert. I tillegg til å se på løsningene som er tilgjengelig per dags dato, vil fremtidige løsninger utredes.

I vurdering og sammenligning av energisystemene vil det legges vekt på følgende kriterier: energitetthet, systemvirkningsgrad, rekkevidde, påfyllings mulighet, utslipp og tilgjengelighet. Informasjonen vil danne grunnlaget for valg av det beste energisystemet i en saksstudie. Saksstudien vil inneholde energisystemets oppbygging og virkemåte.

1.3 Metodikk

For å komme frem til ulike energiløsninger brukes fagartikler, standarder og produktkataloger for å samle inn informasjon og vurdere ulike løsninger og teknologier som kan anvendes i et eventuelt energisystem på en grønn oppdrettsbåt. Ved vurdering av disse kildene antas det at informasjonen er nøyaktig, objektiv og troverdig.

I vurderingen av kildene vil det bli sett på:

- Kildens alder
- Teknologiens modenhet
- Tjener forfatter/produsent noe på å publisere informasjonen
- Kredibilitet til publikasjonen og forfatter
- Relevans i forhold til tema

Metodens fordel er muligheten for å innhente store mengder med informasjon om tilgjengelige teknologier og hvordan den beste løsningen på problemstillingen kan konstrueres. Svakheter er mulig feilinformasjon, og at viktige og relevante artikler overses på grunn av for mye informasjon.

Ulike dataverktøy benyttes for å produsere denne oppgaven. For å skrive rapporten, og fremstille formelutregninger og konseptuelle skisser benyttes Microsoft Word. Grafisk fremstilling av data er utført i Microsoft Excel. Prosesskjema for virkemåte av det elektriske systemet er utført med nettsiden <http://www.Draw.io>.

1.4 Antagelser

I denne rapporten er følgende antagelser gjort:

- Det er konstant fart og effektforbruk ved overfart; dette vil forenkle utregningene.
- Batterier kan plasseres på samme sted som generatorer vil være i et dielelektrisksystem
- At komponentene og materialer som brukes i eksisterende oppdrettsbåter fra Austevoll Marine Group er lik arbeidsbåten i oppgaven.
- I hydrogenløsningene kan energien enten gå til forbruker/motor eller mellomlagres i et batteri dersom energiproduksjonen er større enn forbruket.

1.5 Forkortelser, indekser og tegn

PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell
DMFC	Direct methanol fuel cell
MCR	Maksimal kontinuerlig ytelse
KWP	Effekt levert til propell
LH ₂	Liquid Hydrogen
Li	Litium
Zn	Sink
KOH	Kaliumhydroksid
Li-H ₂ O	Litium-vann
NiMH	Nikkel Metallhybrid
CNG	Compressed Natural Gas
LNG	Liquid Natural Gas

Tabell 1.1 Oversikt over forkortelser

T	Total
η	Virkningsgrad
u	Volumetrisk energitetthet
V	Volum
P	Effekt
t	Tid
v	Fart
r	Rekkevidde
AO	Arbeidsoppgave
C	C-rate

Tabell 1.2 Indekser og forkortelser brukt utregninger

2 Informasjon om oppdrettsbåt

2.1 Generell informasjon

2.1.1 Bruksbeskrivelse

Båttypen det skal finnes alternative energisystemer til, brukes til de mindre og rutinemessige arbeidsoppgavene et oppdrettsanlegg. Av og til vil båten brukes i ekstraordinære arbeidsoppgaver som sleping og fortøyning av merd. Båtene vil som oftest ha havn mindre enn en time unna og har mulighet til å reise frem og tilbake hver dag.

2.1.2 Oppbygging

Oppdrettsbåter er under 15 meter, men får et stort dekkareal ved å være veldig brede i forhold til en fritidsbåt på samme lengde. I denne rapporten fokuseres det på en arbeidsbåt som har en lengde på 13.5 meter og en bredde på 7-8 meter. Båtens skrog og overbygg vil være laget av aluminium. Skroget beskrives som toskrogsbåt, også kjent som katamaran. Et eksempel er en SWATH toskrogsbåt er vist på forsiden [2].

2.1.3 Lagringsplass

På grunn av begrenset plass inni oppdrettsbåten, er det to drivstofftanker på 1000 liter om bord. Noen av teknologiene trenger ikke generatorer, for eksempel batterier, og volumet de opptar kan derfor være høyere enn 1000 liter. Dersom et energisystem bruker mindre areal enn de nåværende løsningene, antas det at store deler av denne plassen kan brukes som energilager. Dersom båten oppbygges optimaliseres for batteribruk kan dette volumet bli enda høyere.

2.1.4 Effektbehov ved ulik fart

Driftstilstand	Fart [knop]	KWP [hk/KW]
Maksimal ytelse	16	265/195
"Service Condition"	8-9	133/100
"Idle Sailing": laveste propelleffekt	6	50/37

Tabell 2.1 Effektbehov

Tabell 2.1 viser effekten som må leveres fra motoren til propellen for å holde en gitt fart. "Idle sailing" er minste effekten og minste turtallet som kan leveres til propellen og fortsatt ha fremdrift. "Service Condition" brukes ved lengre turer, eller når raskere tilkomst er ønskelig. Effektbruket vil variere med vind- og bølgeomstanden, og det anbefales å finne effektbehovet i dårlig vær og varierende fart.

2.1.5 Energibehov ved oppdrett

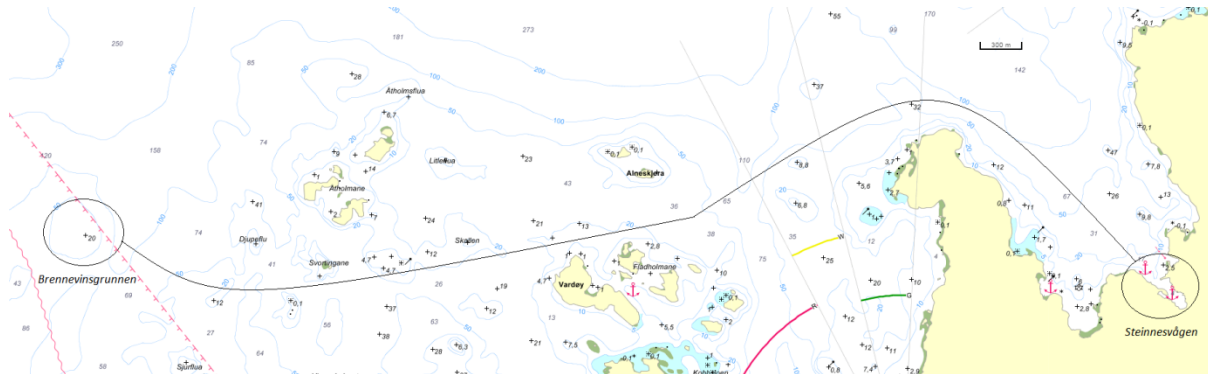
Energibehovet ved oppdrettet er likt for alle energisystemene, men er ikke likt alle arbeidsdager. Enkelte operasjoner er mer energikrevende enn andre, og noen arbeidsoppgaver gjør det umulig å ta en pause underveis. Energibehovet som brukes for beregninger i rapporten baserer seg på driftsprofilen til en rutinemessig arbeidsdag. Det blir tatt høyde for at energibehov kan være høyere i konstruksjon av energisystemer.

2.2 Driftsprofil

I denne delen fremstilles oppdrettsbåtens driftsprofil. Driftsprofilen inneholder båten daglige fartsmonster, operasjoner og tid ved havn. Båten skal inn til havn hver kveld, og skal kunne være ute i maksimalt 16 timer uten bunkring.

2.2.1 Fremdriftsprofil

Oppdrettsbåten vil ha hjemmehavn i Steinnesvågen på Finnøy, omtrent 8 kilometer fra Brennevinsgrunnen hvor oppdrettsanlegget skal finne seg. Strekningen er vist på kartet under, Figur 2.1.



Figur 2.1 Kart over området

Med en fart på 6 knop vil båten bruke omtrent 45 minutter på ruten til anlegget. Ved denne farten er levert effekt til propell 37kW, som betyr et forbruk på 26.6kWh.

$$t = \frac{d}{v} = \frac{8000m}{3.1 \frac{m}{s}} = 2581s = 43.2min$$

$$E = Pt = 37kW \cdot 0.72h = 26.6kWh$$

Når oppdrettsbåten ankommer merden, slås hovedmotorene av og vedlikeholdsarbeidet starter.

2.2.2 Anleggsprofil

Under er eksempler på vedlikeholdsarbeid utført av en oppdrettsbåt¹:

Fortøyningsarbeid (Ekstraordinært arbeid, utføres på gamle merder): Vedlikehold og reparasjon av alle fortøyninger på merden. Hver merd inneholder 12 fortøyninger som vedlikeholdes eller byttes ved behov. Bytte av fortøyninger på en merd tar omtrent 2 arbeidsdager. I arbeidstiden brukes hovedmotor, thrustere og winch.

Fôring av leppefisk: Utføres hovedsakelig av personer som går rundt på merden og mater manuelt. Eneste energibruk er transport mellom merdene. Matingen tar ca. 10 minutter per merd.

Bytte av leppefiskskjul (ekstraordinært arbeid): Oppgaven utføres hver gang merden skal avluses. For å løfte og senke skjulet brukes kranen. Arbeidet tar ca. 10 minutter per merd.

Bytte/vedlikehold av fuglenett (ekstraordinært arbeid): Dette kan gjøres på flere forskjellige måter, tidsbruk omtrent 6 timer.

Klargjøring av merd ved avlusning: Fjerne utstyr som er i veien og skyve fisken mot den ene siden av oppdrettsbåten. Krever bruk av det meste av utstyret om bord.

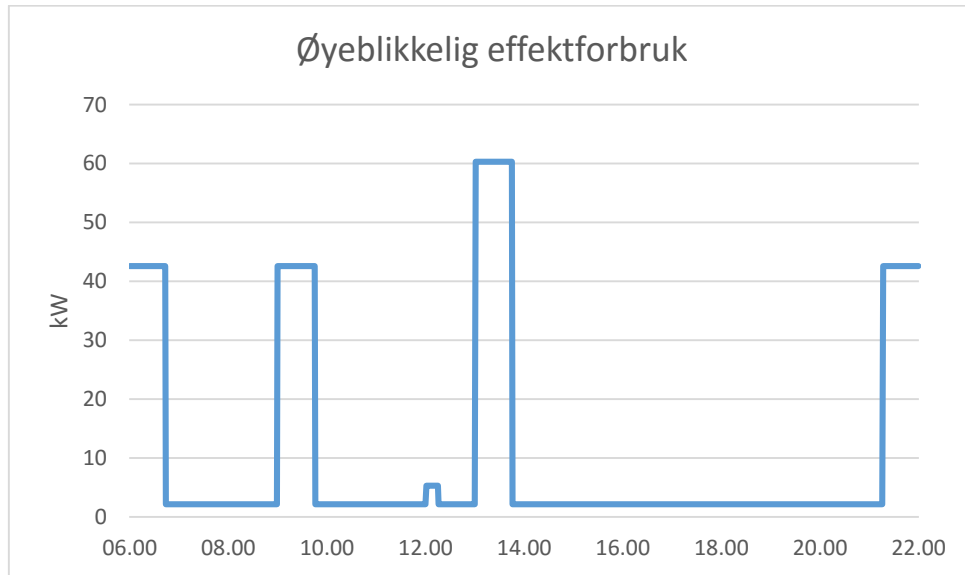
Overvåking av lakselus: Bruker kran og nett for å hente ut fisk og undersøker lusemengden.

¹ Informasjon om hvilke oppgaver som utføres ved oppdrettsanlegg og hva de innebærer er gitt av Andreas Gabrielsen, skipper/servicebåt hos Optifisk, D5L sertifikat, utdanning som matros

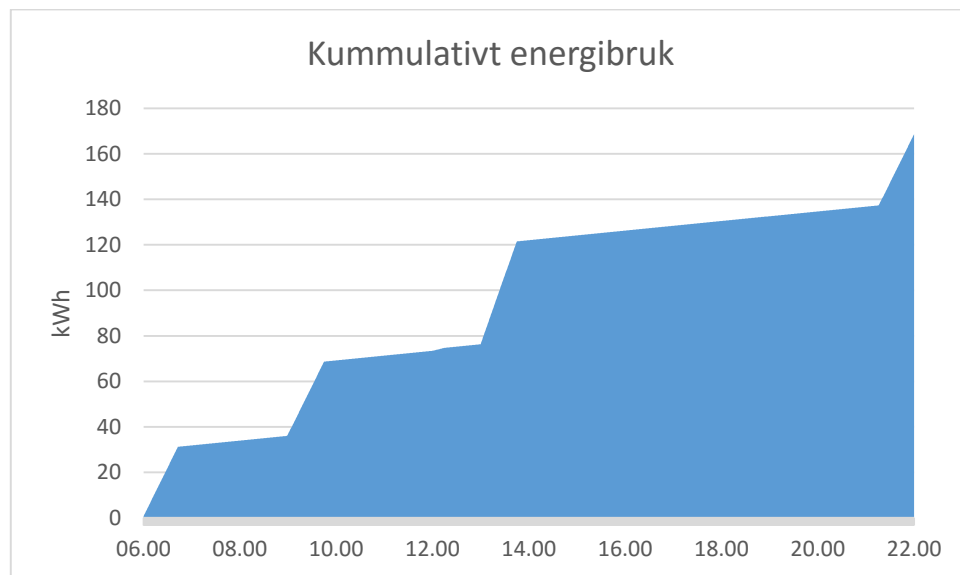
Oppdrettsbåtens bruk varierer fra dag til dag. Halve arbeidsdagen (ca. 4-6 timer per dag i gjennomsnittet) ligger båten i ro ved anlegget, og under spesielle oppdrag (som kan ta opptil en uke) brukes båten hele dagen. Mesteparten av arbeidet går til klargjøring av merd ved avlusing.

Denne informasjonen brukes for å etablere driftsprofilen og videre antas det at båten bruker omtrent 101 kWh ved oppdrettsanlegget.

2.2.3 Grafiske fremstillinger av energiforbruk



Figur 2.2 Øyeblikkelig effektforbruk i kW



Figur 2.3 Kumulativt energiforbruk i kWh

Figur 2.2 og Figur 2.3 viser både øyeblikkelig og kumulativt energiforbruk, i kW og kWh respektivt for et batterienergisystem. Grafene vil være nokså lik for andre energisystemer siden forbrukerne er de samme, men på grunn av ulike virkningsgrader vil energimengden levert til elektrisitets produsent (for eksempel brenselcelle) være annerledes.

2.3 Felleskomponenter

Sammensetningen av komponentene båten vil inneholde, og en tegnforklaring som forklarer innholdet, vises i Figur 2.5. Figuren er plassert etter forklaringen av felleskomponentene.

2.3.1 Propell

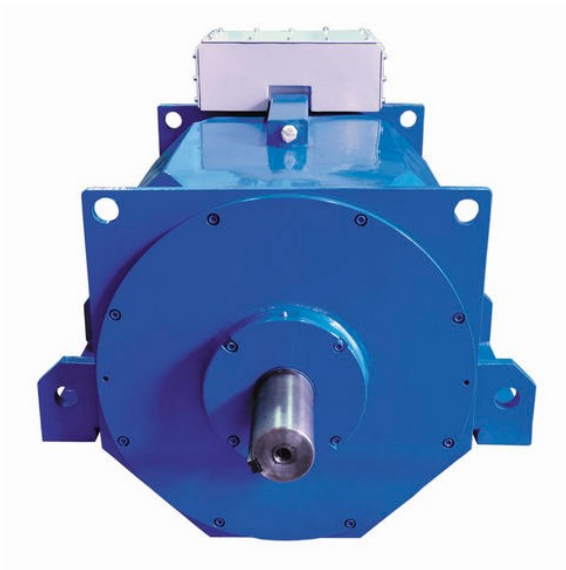
En propell med diameter på 1100 mm brukes for å overføre rotasjonsarbeid til lineær fremdrift. I rapporten sees det bort fra propellvirkningsgrad, siden effekten som må leveres til propellen er lik for alle de ulike energiløsningene og effekten brukt i utregninger er effekt levert til propell.

2.3.2 Elektrisk motor

Av elektriske motorer står valget mellom likestrøm- og vekselstrømsmotor.

For vekselstrømsmotorer finnes både asynkrone og synkrone motorer. Synkronmotor foretrekkes ved høyt effektbehov. Motorene er billig å produsere, driftssikre og har en virkningsgrad rundt 95 %. Ulemper med motorene er stort energibruk ved oppstart, magnetiseringen krever en del reaktiv effekt og behovet for en frekvensregulator.

Likestrømsmotor foretrekkes for sin enkle hastighetsstyring, turtallsregulering og karakteristikk, og brukes ofte som startmotor. Ved bruk av denne motortypen behøves ikke en frekvensregulator, siden batteriene forsyner likestrøm til motorer. Ulemper med denne motortypen er høy produksjonskostnad og flere vedlikeholdskrevende komponenter.



Figur 2.4 Elektrisk motor

I arbeidsbåten går vi ut fra at de elektriske motorene som brukes ligner TEMA LPMR-350.6.07AW, en permanent magnetmotor som går på likestrøm, se Figur 2.4.

Motoren har følgende spesifikasjoner:

- Nominell effekt 350 kW
- Kraftmoment 2034 Nm
- Virkningsgrad 96.2 %
- Vekt 733 Kg

Ny permanent magnet teknologi reduserer støy og vibrasjoner i motoren. Den er også mindre i forhold til konvensjonelle motorer med samme effekt, noe som øker tilgjengelig plass i maskinrommet. Motoren er beregnet for marine fremdriftssystemer og har høy levetid. Se vedlegg 1.

2.3.3 Aksling

For å forbinde elektrisk motor og propell brukes en aksling. Bruk av akslinger medfører noe energitap, men kan være enklere enn å bruke til fremdrift enn thrustere.

2.3.4 Elektrisk styring

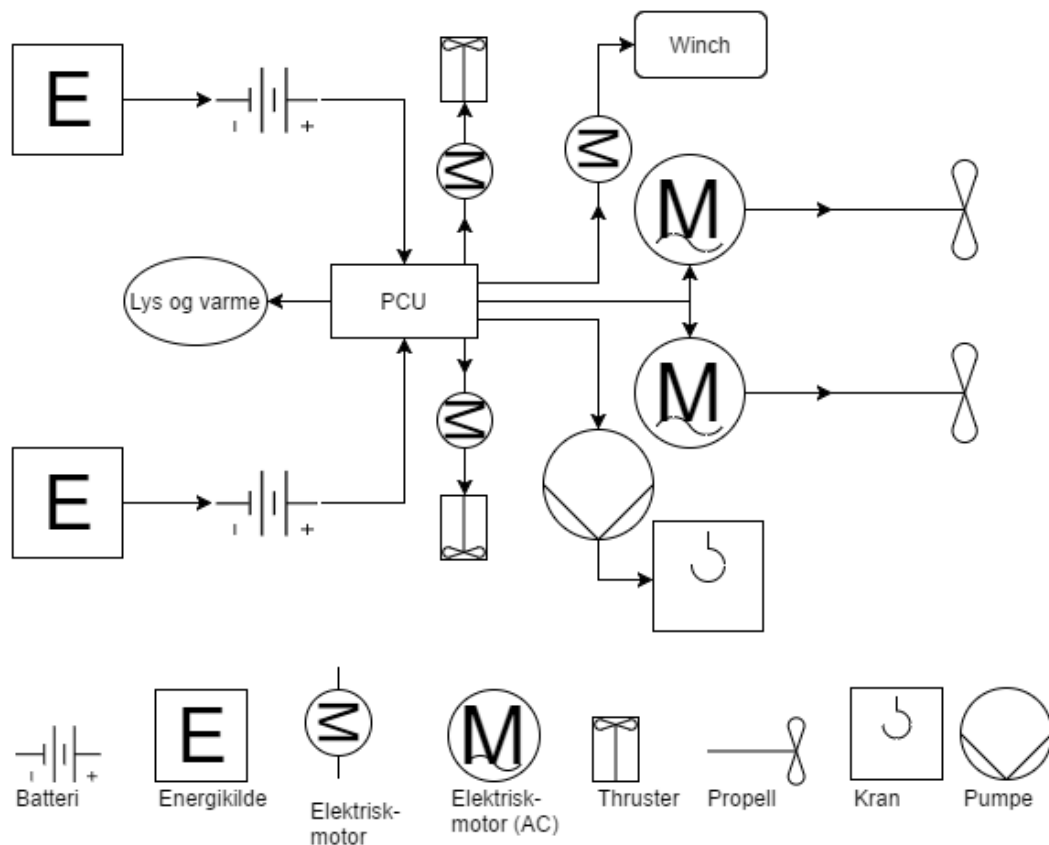
PCU (Power Control Unit) distribuerer og regulerer effekten levert fra energikildene til de forskjellige elektriske komponenter i systemet. Omformere vil både regulere og styre spenningen, og omforme likestrømmen til vekselstrøm. Energien levert til motorene er likestrøm, og strømmen om bord omgjøres til 3 fase vekselstrøm (400V/230V).

2.3.5 Thruster

Oppdrettsbåten har 2 thrusterer på båten langsider. Thrusterens oppgave er å forenkle sidelengs manøvrering ved oppdrett og kai. Effektforbruket er lavt når båten går til kai. Det sees bort fra dette forbruket og tar kun med effektbehovet for å holde båten i ro ved anlegget.

2.3.6 Kran og winch

For å utføre de nødvendige oppgavene ved oppdrettsanlegget er det behov for en kran og en winch. Effektforbruket til kranen og winchen er beregnet til å være henholdsvis 20kW og 5kW ved maksimal belastning, og drives av vekselstrøm.



Figur 2.5 Proseskjema oppdrettsbåt

2.4 Redundansbehov

På oppdrettsbåten vil det for hvert nødvendig system være et back-up system som brukes dersom hovedkomponenten svikter. Noen av systemene krever mer enn et reservesystem; for batterisystemer anbefales enten to batterisystemer og en generator eller et batterisystem og et dieselsystem [3].

2.5 Formler brukt i rapporten

I vurdering av energiløsningene er det 5 formler som er relevante. Formel 2.1 angir hvor mye energi som kan lagres i energilageret (energitetthet ganget med volum) og formel 2.2 viser hvor mye energi som må lagres (energibruk for overfart pluss energibruk ved oppdrettsanlegget).

Båtens maksimale rekkevidde (tur-retur) beregnes ved å bruke ligning for rettlignet bevegelse (med konstant fart) og ved å skrive om formel 2.2 til et uttrykk for tiden t , dette gir formel 2.3.

$$E_L = u \cdot V \quad 2.1$$

$$E_L = \frac{P \cdot t}{\eta_T} + \frac{E_{AO}}{\eta} \quad 2.2$$

$$r = \frac{v \cdot t}{2}$$

$$r = v \cdot \frac{\eta_T \cdot (E_L - \frac{E_{AO}}{\eta})}{2 \cdot P} \quad 2.3$$

For å regne ut virkningsgradene brukt i utregningene brukes formel 2.4. Virkningsgradene i formlene er produktet av komponentvirkningsgradene, som er koblet i serie, frem til effektmålepunktet (for eksempel propell, winch og kran).

$$\eta_T = \prod_{i=1}^n \eta_i = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_{n-1} \cdot \eta_n \quad 2.4$$

$$C = \frac{P}{E_L} \quad 2.5$$

Formel 2.5 brukes for å regne ut et batteris C-rate, og er levert effekt delt på totalt energiinnhold i batteriene. C-rate beskrives i seksjon 5.1.

3 Dieselalternativer

Dersom det er ønskelig å fortsatt bruke det dielelektriske systemet, kan den mineralbaserte dieselen erstattes med drivstoff som enten er del av den naturlige karbonsyklusen eller inneholder mindre forurensninger. Alternativer som vil bli vurdert i dette kapitlet er fornybar diesel, biodiesel, alkoholene metanol og etanol, CNG og LNG. Alle alternativene vil ha CO-, CO₂ og NO_x utslipp, og noen har i tillegg ha SO_x-utslipp. Energien kommer fra en dieselgenerator, for informasjon om generatoren se vedlegg 2.

3.1 Fornybar diesel

Den fornybare dieselen produseres av fett- og oljerester fra blant annet trevirke, fiske og slakterier. Første steg i dieselproduksjonen er å bryte ned fett- og oljerestene til hydrogen, H₂, og karbonmonoksid, CO, ved hjelp av høye temperaturer. Disse produktene omdannes til diesel ved å benytte Fischer-Tropsch-prosessen, hvor gassene binder seg sammen til hydrokarboner ved hjelp av en katalysator. Produktet er et drivstoff som inneholder 1ppm svovel, mot 8-10ppm i vanlig diesel, og antennes lettere. Karbonutslippene vil være del av den naturlige karbonsyklusen og mengden CO og CO₂ i atmosfæren øker dermed ikke. [4]

3.2 Biodiesel

Biodieselen som selges er for det meste vanlige fossildiesel med noe vegetabilsk- eller animalsk olje. Energitettheten til biodieseloljen er 9.25 kWh/l, som er noe mindre enn energitettheten til dieselen basert på mineraloljer (9.95 kWh/l) [5]. Bruk av biodiesel vil redusere behovet for konvensjonell diesel, som vil redusere økningen av CO₂ i atmosfæren. Det vil fortsatt være utslipp av CO₂, men deler av dette vil være en del av den naturlige karbonsyklusen.

3.3 LNG og CNG

For å lagre LNG behøves kryogeniske tanker, og for å lagre CNG behøves trykktanker. Gassene som brukes i LNG og CNG, metan og etan, forbrennes ved høye temperaturer, noe som medfører utslipp av nitrogenoksider. På grunn av at det er ren metan/etan som forbrennes, vil det ikke være utslipp av svoveloksider og utslippet av karbon vil være lavt. Energitettheten til CNG er 13.0 kWh/kg og energitettheten til LNG er 13.7 kWh/kg. LNG har høyere energitetthet på grunn av lavere innhold av inertmaterie. Energiinnholdet per liter avhenger av den volumetriske tettheten ([kg/m³]). [5]

3.4 Metanol- og etanolfremdrift

Alkoholene metanol og etanol kan brukes i båtens forbrenningsmotor, enten i ren form eller iblandet konvensjonelt drivstoff. I ren flytende form inneholder metanol 5 kWh/l og etanol 6.5 kWh/l [5]. Det vil ikke være utslipp av svovel siden alkoholene kun består av karbon og hydrogen, men ved høy forbrenningstemperatur dannes NO_x. Bruk av ren metanol eller etanol er usannsynlig, men ved å blande inn litt alkohol i fossile brensler reduseres utslippsmengden og drivstoffblandingen er mer fornybar.

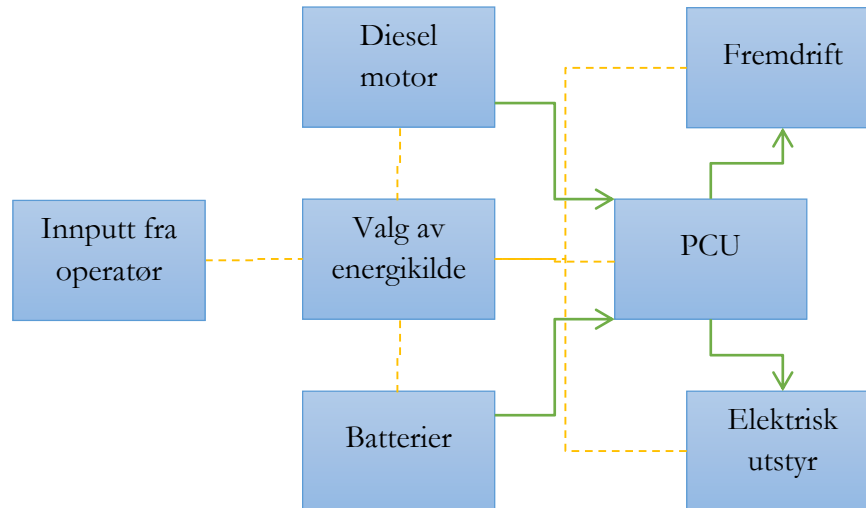
3.5 Kombinert batteri- og dielelektriskløsning

3.5.1 Opplading av batteri med forbrenningsmotor (hybridfremdrift)

Et alternativ for kombinasjon av batteri- og dielelektriskløsning er å lade batteriene med overskuddsstrøm fra det dielelektriske systemet. Denne kombinasjonen gjør at dieselmotoren

kan operere området med best virkningsgrad, noe som gjør at energitapene i forbrenningsmotoren blir minst mulig. Løsningen ligner på dielelektriskløsning uten batterier, men med batterier koblet mellom generator og strømforbrukere.

3.5.2 Opplading av batteri med landstrøm



Figur 3.1 Prosesdiagram for kombinert diesel- og batterisystem

Et annet alternativ for å kombinere batteri- og dielelektriskløsning er å lade batteriene med landbasert strøm og bruke denne energien til fremdrift/utstyr og dersom det er behov kan det dielelektriske systemet bli tatt i bruk. Et eksempel på kombinasjon av ren batterifremdrift med dielelektriskløsning som reservesystem er gitt i kapittel 9. Figur 3.1 viser forenklet hvordan systemet fungerer. Operatøren sender signaler (oransje stiplet strek) til styringsenhetene som styrer energikildene. Fra energikildene blir energi overført til PCUen (grønn pil) før den videresendes til forbrukeren.

3.6 Virkningsgrad og lagringskapasitet

3.6.1 Virkningsgrad

Tapsledd	Virkningsgrad
Batteri effektivitet	0.95
Generator/overføring	0.85
Forbrenningsmotor	0.40
Totalvirkningsgrad	0.323

Tabell 3.1 Virkningsgrad for et dielelektrisk system

Ved bruk av dieselgenerator kan 32.3 % av den opprinnelige energien i drivstoffet bli brukt i systemet, det vil si 67.7 % tapes. Virkningsgradene til de ulike komponentene er hentet fra rapporten om ReVolt fra DNV GL [6].

3.6.2 Utregninger for dielelektrisk system

Det nødvendige energilager et dielelektrisk system må ha for å kunne utføre jobben ved fiskeoppdrett brukt i sakstudien, kan finnes ved bruk av formel 2.2. vist i seksjon 2.5.

$$E_L = \frac{P \cdot t}{\eta_T} + \frac{E_{AO}}{\eta}$$

$$E_L = \frac{37kW \cdot 0.72h \cdot 2}{0.4 \cdot 0.95 \cdot 0.85} + \frac{101kWh}{0.85 \cdot 0.4}$$

$$E_L = 462kWh$$

Energiinnholdet i lagringskilden med lavest energitetthet (metanol) beregnes med formel 2.1:

$$E_L = u \cdot V$$

$$E_L = 5.0 kWh/l \cdot 1000l$$

$$E_L = 5000kWh$$

Lagringsmediet med den laveste energitettheten lagrer nok energi til å kunne seile til anlegget med en fart på 6 knop, og utføre oppgavene listet i driftsprofilen. Alle de nevnte lagringsmediene som kan forbrennes i en dieselgenerator vil derfor ha stor nok rekkevidde. Rekkevidden som de ulike løsningene vil ha er beregnet ved hjelp av formel 2.3 men vil ikke bli vist.

3.7 Sammenligning av diesel alternativer

Type	Energitetthet [kWh/l]	Rekkevidde [km]	Utslipp
Mineral Diesel	10	471	NO _x , CO ₂ , SO _x
Fornybar diesel	9.25	434	NO _x , CO ₂
Metanol	5.00	228	NO _x , CO ₂

Tabell 3.2 Sammenligning av dieselalternativer

For å holde oppdrettsbåten grønnest mulig, er det ønskelig å bruke minst mulig mineraloljebasert drivstoff. Biodiesel vil derfor ikke bli sett videre på. Bruk av naturgass, i flytende og komprimert form, vil heller ikke bli vurdert på grunn av hvor komplekst og utstyrskrevene det vil være i forhold til de andre drivstoffene.

Av de gjenværende alternativene vil fornybar diesel være det beste alternativet; sett bort fra pris er bruk av fornybar diesel er det beste alternativet. Den fornybare dieselen vil ha mindre utslipp enn konvensjonell mineralbasert diesel (mindre forurensninger i oljen) og den har fortsatt høy energitetthet.

Tabell 3.2 viser og sammenligner viktig informasjon for å foreta valg av drivstoff i en forbrenningsmotor.

4 Batteriteknologier

Et batteri er en samling av celler hvor kjemisk energi omdannes til elektrisk energi. En kjemisk celle inneholder en positivt ladet elektrode (katode) og en negativt ladet elektrode (anode). Elektrodene blir fraskilt av en elektrolyttløsning som kan transportere ioner. Elektrisk energi dannes ved at løse elektroner strømmer fra anoden til katoden i en ekstern krets og ioner dannet i prosessen transporteres gjennom elektrolytten.

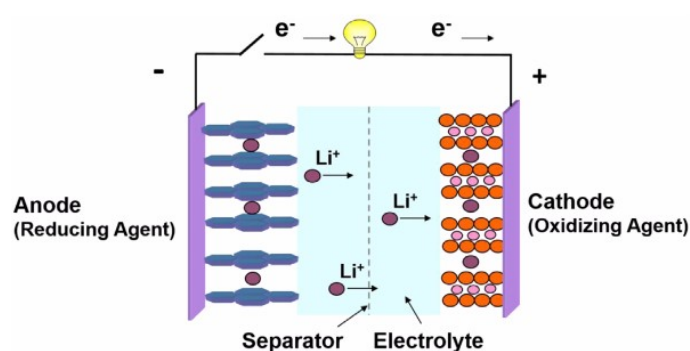
Oppladbare batterier virker som et standard batteri, men ved opplading reverseres prosessen og katoden og anoden bytter roller.

4.1 Oversikt over aktuelle batteriteknologier:

Batterier vurderes på grunnlag av energitetthet, kostnad, levetid og vekt. Nøkkelegenskaper som energitetthet, vekt og levetid vektlegges i vurderingen på grunn av begrenset plass om bord i båten og fordi utbygging av batteripakker vil være kostbart.

4.1.1 Litium-Ion

Li-ion batteriets egenskaper (høy energitetthet, lav vekt og mulighet for opplading) gjør det egnet for småelektronikk og håndholdte elektroniske komponenter. En skisse av batteriets virkemåte og oppbygning er vist i Figur 4.1. Siden gjennombruddet på 1990-tallet har Li-ion batteriet vært under konstant utvikling og skiller seg ut som batteriet med den høyeste energitettheten tilgjengelig på markedet.



Figur 4.1 Skisse av li-ion batteri [8].

Li-ion batteriets bruksområde har endret seg mye siden gjennombruddet; batteriet blir nå i tillegg brukt til energilagring i større enheter som helelektriske kjøretøy og skip. Batteriet har en cellespenning på rundt 3.7 V og en energitetthet på 115-250 Wh/kg og 200-400 Wh/l [7]. Driftstemperaturer ligger på mellom -40 og 65° ved bruk og mellom -20 og 60°C ved opplading [8]. Høy energitettheten gir batteriet fordeler ved begrenset volum som er spesielt gjeldene om bord i en båt. Levetiden er på rundt 2000 sykluser [7].

Batteriets oppbygging er som de fleste batterier og består av katode, anode og elektrolytt. Katodematerialet kan være litiummetalloksider eller litiummetallfosfater og anodematerialet er av grafitt. Elektrolytten består av en løsning litiumsalt, vanligvis LiPF₆ ("Lithium hexafluorophosphate") [9].

Når det hentes energi fra batteriet, strømmer elektroner fra anoden til katoden gjennom en ekstern krets og litiumioner generert fra prosessen strømmer gjennom elektrolytten. Disse kjemiske reaksjonene er reversible og gjør batteriet oppladbart.

En av de største utfordringene ved energilagring i stor skala er produksjonskostnadene som ligger rundt 500 \$/kWh [8], som er opp til 2-5 ganger dyrere enn andre batteriteknologier. Kostnaden er antatt å synke de neste årene på grunn av økt kommersielt bruk og ny forskning. I store

batterimoduler oppstår høye temperaturer og det behøves varmeisolering, siden elektrolytten består av brennbart organisk materiale. Forsking innenfor kjemisk sammensetning av anode, katode og elektrolytt kan redusere risikoen for antenning. Batteriet er i tillegg utsatt for aldring, selv når det ikke er i bruk.

Fordeler	Ulemper
Høy energitetthet	Utsatt for aldring (reduksjon av effektivitet)
Lav vekt	Dyrt å produsere
Lite vedlikehold	Konstant utvikling /må byttes ofte
Lang levetid	Krever god kretsbeskyttelse for å opprettholde høy spenning

4.1.2 Metall-luft

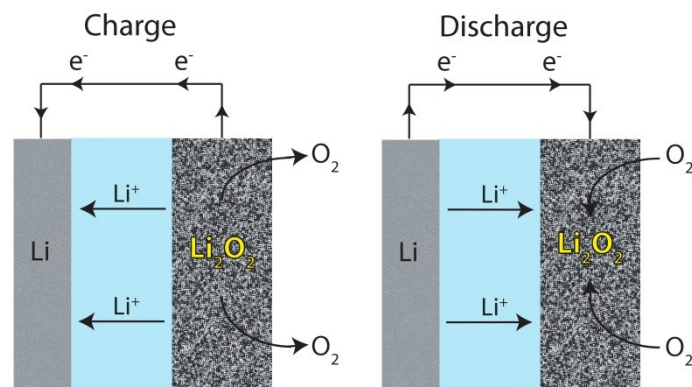
Det finnes to aktuelle alternativer for metall-luft batterier; Zn-luft og Li-luft. En skisse av et metall-luft batteri er vist i Figur 4.2. Hovedforskjellen mellom batteriene er metallet anoden består av, som kan være sink eller litium. Batteriene er bygget opp av en sink- eller litumanode, oksygenkatode, separator og metall-ion ledende elektrolytt, som regel kaliumhydroksid (KOH) [10]. En av de viktigste komponentene er oksygenkatoden, som består av en porøs karbonstruktur nedsenket i flytende elektrolytt omringet av en gassfase. Elektrolytten er som regel vannbasert, men på grunn korrosjonsfare fokuseres det på solide elektrolytter.

Metall-luft batterier er attraktive på grunn av den høyeste teoretiske energitettheten for batterier, dette er på grunn av at katodematerialet befinner seg i omgivelsene og ikke i batteriet.

Potensialet for fremtiden er stort, og det forskes mye på teknologien, men kan per dags dato ikke utkonkurrere Li-ion batteriet.

Energitettheten er teoretisk og

store fremskritt må til for å realisere den. Batteriene har også lav levetid og høye produksjonskostnader.



Figur 4.2 Metall-luft batteri [35].

Fordeler	Ulemper
Høy energitetthet	Energitetthet er teoretisk
Uendelig katodemateriale (luft)	Trenger utvikling/forskning
Stort potensial	Svak stabilitet ved opplading
	Ikke kommersielt tilgjengelig
	Lav levetid

4.1.2.1 Zn-Luft

Zn-luftbatteriet har en sink anode og en oksygenkatode. Batteriet opererer best ved en driftstemperatur mellom 0 og 50°C og den teoretiske energitettheten er 1350 Wh/kg [8].

Negative sider med batteriet er dårlig elektrokjemisk stabilitet ved opplading, anodematerialet er

utsatt for korrosjon og luft-katoden kan tettes av karbonisering påført av KOH elektrolytten [10]. Disse problemene samt lav levetid er årsaken til at batteriet ikke brukes kommersielt, men kan utkonkurrere Li-ion batteri dersom problemene løses.

4.1.2.2 Li-Luft

Li-luftbatteriets oppbygging er likt som Zn-luft batteriet, med unntak av litumanoden. Litumanoden har en spesifikk kapasitet på 3842 mAh/g, og foretrekkes fremfor sink som har en spesifikk kapasitet på 815 mAh/g [11]. Den teoretiske energitettheten er opp mot 3000 Wh/kg [11]. Utfordringene er lav levetid, rundt 200 sykluser [7], og store produksjonskostnader. Batteriet vil kreve mye forskning og utvikling før det kommer ut på markedet; komponentene trenger forbedring og det antas at batteriet vil være kommersielt tilgjengelig om en 10-15 år [12].

4.1.3 Nikkel-metallhybrid

NiMH batteriet er en type oppladbart batteri hovedsakelig brukt for energilagring i hybridkjøretøy. NiMH er billigere, tryggere og har en enklere oppbygging enn Li-ion batterier [13]. Energitettheten er lavere (70-95 Wh/kg og 180-220 Wh/l) og levetiden er ca. 3000 sykluser [14]. Batteriets anode består av LaNi_5 (Lantan-nikkel legering), katoden MH (Hydrogenabsorberende metallhybridlegering), og elektrolytten KOH. Batteriene er robuste, krever lite vedlikehold, har god sikkerhet og pålitelighet, og materialene er miljøvennlige. Prisen ligger på 200-250 \$/kWh [7].

Fordeler	Ulemper
Driftssikkert	Relativt lav energitetthet
Lang levetid	Utsatt for skade ved opplading
Miljøvennlig	Nesten ferdigutviklet teknologi
Lave produksjonskostnader	

4.1.4 Vannholdig litium-ion

ALB ("Aqueous lithium battery") er et godt alternativ til energilagring i stor skala. Batteriet baseres på en vannaktig elektrolytt. Hovedfordelene med ALB er den vannaktige elektrolytten, som er mer miljøvennlig, sikker og har en lavere pris sammenlignet med den brennbare organiske elektrolytten i Li-ion batteriet. Batteriteknologien har eksistert siden midten av 1990-tallet, men på grunn av dårlig ytelse og lav levetid har det ikke tiltrukket seg mye interesse. De siste årene har midlertidig interessen økt, da utvikling og forskning har forbedret den elektrokjemiske sammensetningen betraktelig. Batteriet er oppladbart og er sammensatt av LiFePO_4 som katodemateriale, $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ som anodemateriale og 0.5M $\text{Li}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ som elektrolytt [15]. Levetiden her er opp til en 1000 sykluser, batteriets energitetthet er 75 kWh/kg [15], noe lavere enn Li-ion. Batteriet er fortsatt i utviklingsstadiet og det er foreløpig ikke fastsatt noen pris.

4.1.5 Li-H₂O

Litium-vann batterier er en ny teknologi med mye høyere energitetthet enn tradisjonelle litium-ion batterier. Interessen rundt teknologien er høy på grunn av stort potensiale i marine fremkomstmidler og applikasjoner. Batteriet har en stor fordel over Li-ion batteri siden katoden befinner seg i vann, noe som fører til at batteriet har lavere vekt og tar betraktelig mindre plass. Batteriet er bygget opp av en anode bestående av litium, katode av vann, hvor vannet i tillegg fungerer som elektrolytt [16].

4.1.6 Pb-bly

Blybatteriet er den mest utviklede batteriteknologien på markedet og den eldste typen oppladbart batteri. Batteriet driver i hovedsak startmotorer, men brukes også i større energilagringssystemer. Anoden består av bly (Pb), katoden av bly-dioksid (PbO₂), og elektrolytten består av en fortynt oppløsning av svovelsyre (H₂SO₄). Levetiden, på rundt 1000 sykluser [7], er avhengig av driftstemperaturen og er optimal ved 45° [17]. Energitettheten er den største ulempen for dette batteriet (35 Wh/kg og 100 Wh/l), og prisen (50-100 \$/kWh [7]) er lav sammenlignet med andre batterier.

Fordeler	Ulemper
Lav kostnad	Lav levetid
Robust og vedlikeholdsfritt	Ferdigutviklet
Lite fremtidig potensial	Tunge batterier
	Lang ladetid

4.2 Virkningsgrad og lagringskapasitet

4.2.1 Virkningsgrad

Tapsledd	Virkningsgrad
Batteri effektivitet	0.95
Opplading	0.99
Elektrisk distribusjon/overføring	0.94
Elektrisk motor	0.95
Totalvirkningsgrad	0.84

Tabell 4.1 Virkningsgrad for et helelektrisk energisystem

Ved bruk av et rent helelektrisk batterisystem kan 84 % av den opprinnelige energien i batteriene utnyttes til fremdrift. Batterisystemet har en høy virkningsgrad og taper ikke store energimengder i omforming. Verdier hentet fra rapporten ReVolt fra DNV GL [6].

4.2.2 Utregninger for ulike energikilder

Det nødvendige energilager et batteri system må ha for å kunne utføre jobben ved fiskeoppdrett brukt i sakstudien, kan finnes ved bruk av formel 2.2. vist i seksjon 2.5.

$$E_L = \frac{P \cdot t}{\eta_T} + \frac{E_{AO}}{\eta}$$

$$E_L = \frac{37kW \cdot 0.72h \cdot 2}{0.94 \cdot 0.95 \cdot 0.95} + \frac{101kWh}{0.95 \cdot 0.94}$$

$$E_L = 176 kWh$$

Energiinnholdet i lagringskilden med lavest energitetthet (Pb-bly) beregnes med formel 2.1:

$$E_L = u \cdot V$$

$$E_L = 0.1 kWh/l \cdot 2000l$$

$$E_L = 200 kWh$$

Lagingsmediet med den laveste energitettheten lagrer nok energi til å kunne seile til anlegget med en fart på 6 knop, og utføre oppgavene listet i driftsprofilen. Alle lagringsmediene som kan brukes sammen med et batterisystem vil derfor ha stor nok rekkevidde. Rekkevidden som de ulike løsningene vil ha er beregnet ved hjelp av formel 2.3 men vises ikke.

4.3 Diskusjon rundt batteriteknologier

Oversikt over aktuelle batteriteknologier basert på data som energitetthet, kostnad, levetid, rekkevidde og vekt, som vist i tabellen under (Tabell 4.2). Vurdering av de forskjellige batteriteknologiene vil ha et fremtidsrettet preg, men realistisk ved at båten skal kunne bygges med teknologi tilgjengelig på markedet i dag. På grunn av behov for nedkjøling og overvåkingsutstyr vil rekkevidden og volumetriske energitetthet bli lavere enn vist i tabellen.

Batteri [Type]	Energitetthet [Wh/kg]/[Wh/l]	Kostnad [\$/kWh]	Levetid [Sykluser]	Rekkevidde [km]	Vekt [Estimat]
Li-ion	115-250/200-400	500	2000	66	Lav
Li-luft	3000/1680 (teoretisk)		200	428	Veldig lav
Li-H₂O					Veldig lav
ALB	75		1000		Lav
Ni-MH	70-95/180-220	200-250	3000	37	Middels
Zn-luft	1350/1400 (teoretisk)			357	Veldig lav
Pb-bly	35/100	50-100	1000	11	Høy

Tabell 4.2 Sammenligning av batteriteknologier

Av de kommersielt tilgjengelige batteriteknologiene skiller Ni-MH og Li-ion seg ut med de høyeste tilgjengelige energitetthetene. En båt har begrenset med plass og den volumetriske energitettheten er derfor viktig. Li-ion og Ni-MH batteriene som brukes i dagens helelektriske- og hybridkjøretøy er godt utviklet på dette området.

Metall-luft batteriene har størst potensiale, med veldig høy energitetthet, men siden teknologien ikke er godt nok utviklet vurderes de ikke som realistiske valg. Den optimale elektrokjemiske kombinasjonen er ikke funnet, batteriene har lav levetid og høy produksjonskostnad. Dersom teknologien blir kommersielt tilgjengelig, antatt tid er 10-15 år, brukes de i stedet for Li-ion og Ni-MH batterier.

Li-H₂O batteriet er fortsatt veldig tidlig i utviklingsstadiet og vurderes dermed ikke, men teknologien har stort potensiale. ALB batteriet er ikke like kommersielt tilgjengelig som andre batterier og energitettheten er lavere. Derfor vil batteriet ikke brukes. Pb-bly har lav kostnad og veldig lav energitetthet. På grunn av energitettheten og begrenset plass vil batteriet ikke egne seg i arbeidsbåten.

4.4 Batterisystemer

Batterisystemer er det beste alternativet for bruk av batterier om bord oppdrettsbåten. Systemene inneholder tettpakkede batterimoduler som er seriekoblet, og med hjelp av et kontrollpanel overvåkes og kontrolleres temperatur, spenning og tilgjengelig kapasitet. Et integrert kjølesystem gjør at batterisystemene holder optimal driftstemperatur og unngår overoppheting.

Fordeler	Ulemper
Krever ikke vedlikehold	Lav energitetthet
Lang levetid	Stort volum/høy vekt
Miljøvennlige	Dyrt
God sikkerhet	
Garanti på levetid	

4.4.1 Kommersielt tilgjengelige batterisystemer

4.4.1.1 EST-Floattech

EST-Floattech tilbyr energisystemer designet for marine fartøy. Batterisystemene leverer energi på en stabil og sikker måte og har tilnærmet ingen utslipp. Batterimodulene består av Litium-polymerbatterier og kan ha en levetid på opp mot 20 år (avhengig av brukt C-rate).

Batterisystemet har et innebygget styringssystem som overvåker hver enkel battericelle og sørger for at batteriene holder samme spenning, noe som fører til økt levetid. Oppbyggingen av systemet gjør at operative batterier kompenseres for defekte batterier. I systemet er det mulighet for å koble 18 batterimoduler sammen. Se vedlegg 3.



Figur 4.3 EST-Floattech batterisystem

ESTs energisystem tilbyr to aktuelle batterialternativer, Green Orca 620 og 1050 og en prinsippsskisse av et system vises i Figur 4.3

Green Orca 620 Marine Lithium Polymer batteries

620 har dimensjonene 505x540x240mm[HxBxL], og energitettheten er 0.13kWh/kg, 0.095kWh/l.

Batterispenningen er 26V og modulen lagrer 240Ah, som gir 6,2 kWh. Batteriene har en garanti på 5000 sykluser, eller 10 år.

Green Orca 1050 Marine Lithium Polymer batteries

1050 har mål på 505x520x325 mm [HxBxL], og har energitetthet 0.14 kWh/kg. 0.118 kWh/l. Batterispenningen er 52 V og modulen kan lagre 200 Ah, som gir 10.5 kWh. Batteriene har en garanti på 5000 sykluser, eller 10 år.

4.4.1.2 Saft

Saft er en kjent leverandør for marine batteriløsninger, og et batteriskap som de leverer er vist i Figur 4.4. De leverer et batterisystem, kalt «Seenergy battery system», egnet for ferjer, passasjerskip, fiskebåter og arbeidsbåt. Systemet kan sammenkoble 14 batterimoduler i samme skap/container. Batterisystemet har mulighet for forskjellige batterikonfigurasjoner og batterispenningen er fra 48 til 750 V.



Figur 4.4 SAFT batteriskap

Modulene er bygget opp av Li-ion batterier. Battericellene kommer i to alternativer: LiFePO₄ VL 41M (0.265 kWh/l) og VL 30P Fe (0.200 kWh/l).

Systemet har en volumetrisk kapasitet på 0.103 kWh/l. Dette er beregnet med følgende informasjon om batterisystemet: 60 cm bredde, 80 cm dybde og 24 U høyde (U: Rack=4.48 cm).

Denne kapasiteten gir, for en oppdrettsbåt utstyrt med batterimodulen og fart på 6 knop, en rekkevidde på 12 km. For detaljert informasjon om batterisystemet SAFT leverer, se vedlegg 4.

4.4.2 Fremtidige

I moderne og fremtidsrettede batterisystemer antas det at fremtidige batteriteknologi benyttes. De mest aktuelle teknologiene er Li-luft og Zn-luft, men Li-H₂O kan også brukes. Li-luft har en klar fordel med den høyeste teoretiske virkningsgraden tilgjengelig, og blir førstevalget for en fremtidig løsning.

For bruk av batteri om bord i båten, må det anvendes i moduler i et eget batterisystem med nødvendig kapasitet for modulene, og eget kjølesystem for optimal drift. Valget blir å utnytte et eksisterende system, som Saft, og bare bytte ut batteriene. Dette blir en veldig enkel løsning, men konstruksjon av et eget batterisystem blir for omfattende, og kan undersøkes som videre studie etter oppgaven.

4.5 Konklusjon

Oppbyggingen av batteriløsningen gjøres i en todelt konklusjon: en realistisk løsning, med tilgjengelige teknologier og systemer, og en fremtidig løsning med teknologi som kan bli tilgjengelig. Den optimale realistiske løsningen vil være å installere et batterisystem levert av Saft, med mindre en annen leverandør kan levere et bedre system. Batterisystemet er ferdigbygd med kjøle- og kontrollutstyr, lang (garantert) levetid og har en akseptabel energitetthet.

Som fremtidig løsning benyttes Li-Luft, som har beste energitettheten av alternativene, og er dermed den mest lovende fremtidige batteriteknologien. Det er usikkert om batteritettheten til et Li-Luft batterisystem vil ha den oppgitte energitettheten.

5 Opplading av batterisystemer

For opplading av batterimodulene utforskes to alternativer. Det første alternativet innebærer konvensjonell opplading med ladekabel når båten ligger ved havn, som er den mest anvendte metoden for opplading av større batteripakker. Det andre alternativet er å bytte batterimoduler. Det er da en fulladet batteripakke på land som kan byttes ut, dette vil sørge for at båten har fulle batterier om bord uavhengig av tid i havn. Metodene gjennomgås grundigere senere i kapittelet.

5.1 C-rate

Anbefalte opplading- og utladingsrater for batterier bestemmes av C-raten. Kapasiteten til et batteri er ofte 1C, det vil si at et 1 Ah batteri, vil kunne yte 1 A i 1 time uten stor innvirkning på levetiden. Det samme batteriet med utladingskapasitet på 0.5C, kan levere 500 mA i 2 timer.

C-rate	Tid
5C	12 min
2C	30 min
1C	1h
C/2	2h
C/5	5h
C/10	10h
C/20	20h

Tabell 5.1 C-rate og anbefalt ladetid

En C-rate på 1C står altså for en times utlading og 0.5C står for to timers utlading. Forskjellige C-rater fremstilles med ladetid i Tabell 5.1. Dersom ut- eller opplading skjer over batteriets C-rate kan batteriet skades temperatur økningen som oppstår.

5.2 Lademetoder

For opplading større batterisystemer må det installeres en lader tilpasset for store batteripakker.

5.2.1 Alternativ 1 - Konvensjonell opplading

Med konvensjonell opplading menes opplading av batteripakkene når oppdrettsbåten ligger ved havn. For å finne den mest effektive og minst belastende ladeteknologien undersøkes tre alternativer: Induksjon-, plugg- og pantograflading.

5.2.1.1 Induksjonslading

Induksjonslading, eller trådløs opplading, bruker elektroniske bølger for å overføre energi. Teknologien brukes hovedsak til opplading av små elektroniske applikasjoner, men er også nylig anvendt til opplading av elektriske biler.

Induksjonslading ansees som et reelt alternativ for fremtidig opplading av oppdrettsbåten; en induksjonslader for store maritime batteripakker er ikke utviklet. Induksjon er et fremtidig alternativ når teknologien er mer utviklet. Fordeler med en trådløs opplading er mangelen på fysisk kontakt mellom båt og lader, som kan by på problemet ved bølger og vind.

5.2.1.2 Ladekabel

Bruk av ladekabel er den vanligste lademetoden for elektriske kjøretøy/fartøy. Det finnes flere forskjellige typer plugger og er gitt i standarden IEC 62196 [18]. Hovedårsaken for bruk av

ladekabel er god kontakt mellom strømmettet og batterielektronikken, som gir god sikkerhet og ivaretar batteriet.

Installeres ladestasjonen nært havneområdet, og det er tilstrekkelig med kabel, vil denne oppladingsmetoden være lett å bruke. Kabelen tilkobles båten når den ligger til kai og det behøves en kabellengde som tillater bevegelse av båten. Her er de forskjellige «typer» plugger:

5.2.1.2.1 Type 1

Den mest brukte ladepluggen for dagens el-biler. Spesifikasjoner:

- Standardbetegnelse SAE J1772
- AC-opplading, 240V/16-80A/1 fase
- Ladeeffekt ca. 19 kW [18].

5.2.1.2.2 Type 2

EUs foreslåtte standard for el-bil opplading i Europa. Skal være enklere å bruke enn type 1, med økt sikkerhet og kommunikasjon mellom strømmett og batterielektronikk. Blir kalt den «nye elbilkontakten». Spesifikasjoner:

- Standardbetegnelse VDE-AR-E 2623-2-2
- AC opplading, 240 V/16 A/1 fase opp til 400 V/63 A/3 fase
- Ladeeffekt ca. 43 kW ved 3 fase [18].

5.2.1.2.3 Type 3

Mindre brukt alternativ i forhold til type 1 og 2. Spesifikasjoner:

- AC opplading, 400 V/32 V/3 fase
- Ladeeffekt 22 kW

5.2.1.2.4 Teslas superladestasjon

Tesla har utviklet sin egen ladeplugg med kapasitet for høy effektstrøm, opp mot 120 kW. Superladeren består av flere ladere som jobber parallelt.

5.2.1.3 Pantograflading

Pantograflading baserer seg på midlertidig kontakt mellom to strømledende overflater, hvor elektrisitet overføres ved kontakt. Den elektriske ferjen «Ampere» lades med pantograflading, og samme teknologi kan brukes på arbeidsbåten. Når båten ligger ved kai utløses en pantograf fra en ladeportal bygget på kaien. Pantografen treffer kontakter på siden på skroget, som muliggjør energioverføringen. Kontaktskinnene utformes slik at kontakten holdes selv om båten beveger seg vertikalt.

Kapasiteten på ladesystemet er tilstrekkelig med en maksimal effekt på rundt 300 kW. Systemet sammenkobles på mindre enn 30 sekunder.

5.2.2 Alternativ 2 - Bytte av batterimoduler

Et annet alternativ er å bytte utladede batterier med fulladede; når båten ankommer havn vil en kran bytte batteripakkene. Båten bør modifiseres slik at batteripakkene er lett tilgjengelige

gjennom en luke på dekk, slik at batteripakkene kan byttes på kortest tid. En kran vil installeres på havneområdet for bytte batteripakkene.

Alternativet er betydelig dyrere enn vanlig opplading. Batterikostnadene dobles og en kran for å bytte batteriene vil øke kostnadene. Ifølge driftsprofil skal båten til havn hver kveld og det er tilstrekkelig med tid for opplading av batteripakkene. Derfor anvendes ikke bytting av batteri

5.2.3 Konklusjon

Oppladingen av batteripakkene vil ideelt skje uten store inngrep i båten og havneområdet. Dette gjør at ikke blir pantograflading og bytte av batterimoduler ikke vurderes som reelle alternativer.

Ladestasjonen må ha kapasitet for opplading av en batteripakke på 206kW på 8 timer, dette krever en ladeeffekt på 26kW. Med en C-faktor på 0.2 (C/5), som Saft anbefaler, tar det 5 timer å lade batterier med en effekt på 41.2 kW. Sakte opplading bevarer kvaliteten på batteriene og anbefales, oppladings tid vil derfor tilpasses tiden båten skal ligge inne ved havn. For arbeidsbåten som skal drifte Brennevinsgrunnen anbefales opplading over 8 timer med en effekt på 26 kW.

Induksjonslading egner seg best som fremtidig løsning. Ladekabel gjenstår da som det beste alternativet, dette er fordi det ikke er behov for hurtiglading. Her vil «type 2» ladeplugg egne seg best for opplading av vårt batterisystem, siden pluggen har tilstrekkelig kapasitet og god sikkerhet.

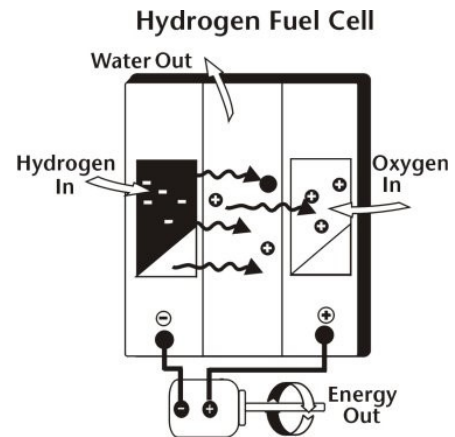
6 Hydrogen som energikilde

I dette kapitlet fokuseres det på 2 metoder for produksjon av hydrogen (bruk av elektrolyse og reformering), 2 metoder for omdanning av hydrogen til nyttig arbeid (PEMFC og DMFC), og 3 måter for lagring av hydrogenet (fast, flytende og gass). Kapitlet inneholder også generell informasjon om hva som gjør hydrogen til en attraktiv energikilde, negative sider, og avsluttes med en sammenligning av de ulike produksjons-, omdannings-, og lagringsmetodene.

Hydrogenbrenselcellene som vurderes omdanner kjemisk energi til elektrisk energi ved at et hydrogenbasert drivstoff reagerer og bindes med oksygen. Oppbyggingen av cellene ligner på batteriets, hvor begge består av en katode, anode og elektrolytt. I brenselcelle eksponeres en membran for hydrogen og oksygen på to ulike sider, samtidig som en ledning kobler sidene sammen.

Hydrogenprotonene går gjennom membranen mens elektronene går gjennom ledningen; elektronstrømmen danner en krets og en vil kunne ta ut elektrisk energi.

Figur 6.1 viser, forenklet, hvordan en hydrogenbrenselcelle fungerer.



Figur 6.1 Prinsipp-skisse av en brenselcelle [36]

6.1 Produksjon av hydrogen

6.1.1 Elektrolyse

Produksjon av hydrogen ved bruk av elektrolyse er gunstig i områder hvor det er overskudd av fornybar energi. Elektrolyse har ifølge DNV GL en virkningsgrad på 66 % [19], men andre kilder sier opp mot 80 % [20]. Disse virkningsgradene gjør hydrogen til en attraktiv lagringsform dersom prosessen drives av overskudds energi fra vind-, eller solkraft. Andre produksjonsmetoder bør vurderes dersom prosessen drives av fossilt brensel, for eksempel reformering av brenselet eller bruk av elektriske batterier. Denne rapporten baseres på at levert strøm kommer fra norske vannkraft og at hydrogenproduksjonen dermed er fornybar.

Brukes fornybare energikilder kan vann-hydrogensyklusen beskrives som et lukket system, i motsetning til fossile kilder som kun kan brukes en gang. I det lukkede systemet brukes energi for å splitte H_2O til hydrogen og oksygen, og når de bindes sammen frigjøres, i teorien, samme energimengden. [20]

6.1.2 Reformering

Reformering av fossilt brensel skjer ved en kombinasjon av høye temperaturer og en katalysator som gir et produkt som inneholder H_2 , CO_2 og vanddamp. Prosessen kan verken beskrives som lukket eller fornybar, med tanke på bruken av fossile brensler. Fossile brensler som kan brukes i prosessen er metan, biogass eller kull. Prosessen kan derimot være mer effektiv på å fange CO_2 enn et kraftverk, og vil inneholde mellom 60 og 90 % av den originale energien [20, 21].

6.2 Lagring av hydrogen

6.2.1 Gass

Selv om hydrogen er blant brenselene med høyest forbrenningsvarme per kilogram (nedre forbrenningsvarme er 33.33 kWh/kg), er energimengden per liter hydrogen (ved atmosfæriske

tilstander) lav. Grunnen til dette er at hydrogen ved atmosfæriske tilstander er i gassform og har en tetthet på 0.0899 kg/Nm³ [22]. Dersom gassen skal brukes som brensel i et fremkomstmiddel, må tettheten økes betraktelig; ved kompresjon øker trykket og tettheten.

For å oppbevare komprimert gass behøves spesielle oppbevaringstanker. Massen til tankene er svært høye relativt til vekten av hydrogenet. I følge Durbin og Malardier-Jugroot vil massefraksjonen til hydrogenet, i forhold til lagringssystemet, være 5.5 % ved 350 bar og 5.2 % ved 700 bar (teoretisk massefraksjon er 6.5 % og 7.5 % respektivt). Den volumetriske kapasiteten er også lav; ved 350 bar inneholder tanken 17.6 g H₂/l og ved 700 bar vil tanken inneholde 26.3 g H₂/l [23]. Ved å kombinere hydrogentettheten med den nedre forbrenningsvarmen finner en energiinnholdet per liter, ved 350 bar er energiinnholdet 0.6 kWh/l og ved 700 bar 0.9 kWh/l.

Fordeler	Ulemper
Trenger ikke nedkjøling av tank	Trenger energi til kompresjon
Brukt i eksisterende kjøretøy	Krever spesiellagde tanker
Ingen omdanning	Lite hydrogen per liter tank

6.2.2 Væske

For at hydrogenet skal være i væskefase må temperaturen senkes til 20 K. I denne fasen vil den volumetriske energitettheten være 2.2 kWh/l, betraktelig høyere enn i gassfase. Oppbevaring av i hydrogen i flytende form innebærer store energitap. For å kondensere hydrogen brukes energi tilsvarende 30-40 % av energiinnholdet i hydrogenet og vil etter hvert fordampe og må ventileres [20].

Tettheten blir enda høyere dersom trykket økes i tillegg til å redusere temperaturen; flytende hydrogen har en tetthet på 70g/l ved 1 atm og 87 g/l ved 237 atm. Kryogenisk trykktank reduserer fordampningstapet, siden de tåler et høyere trykk, og energien kan brukes til fremdrift i stedet for å bli ventilert til atmosfæren. Toyota har installert en kryogenisk trykktank i en av sine bilmodeller. Denne tanken har en volumetrisk hydrogentetthet på 41.8 g/l og en vektfraksjon på 5.5 %. Lawrence Livermore National Laboratory i California har utviklet en kryogenisk trykktank som kan lagre 5-10 ganger mer enn konvensjonelle tanker med bedre termisk motstand og forbedret påfyllingsmulighet [23].

Fordeler	Ulemper
Høy energitetthet	Lav vektfraksjon
Trenger ikke omdanning	Store energitap og tap av hydrogen
	Trenger nedkjøling og kompresjon

6.2.3 Adsorpsjon og absorpsjon

En av de mest lovende måtene for å lagre hydrogen er å fysisk eller kjemisk binde hydrogenet til andre stoffer. Ved bruk av adsorpsjon og absorpsjon kan en få høyere volumetrisk hydrogentetthet enn i væskefase, men å løsrive hydrogenet lett og raskt er problematisk [20]. Høy tetthet krever sterke og mer energikrevende bindinger. Lagringsmediene som betraktes i denne rapporten er hydrider (kjemisk bundet hydrogen) og porøse materialer (høyt overflateareal), men lagringsmetodene er for det meste fortsatt på forskningsstadiet.

Få metalhydrider frigjør hydrogen i temperatur- og trykkområdet som brenselceller opererer i. De hydrogenrike hybridene trenger opp mot 500°C for å frigjøre alt hydrogenet og metallhybridene frigjør lite hydrogen i forhold til totalmassen. Ikke-metalhydrider (som bor- og nitrogenhydrider) bruker lang tid og krever høye temperaturer for å frigjøre all hydrogenet. Bor- og nitrogenhydrider inneholder mer hydrogen og vektfraksjon enn de metalliske, men risikerer utslipp av ammoniakk og andre skadelige produkter. NH_3BH_3 vil ved oppvarming til 155°C frigjøre 13 vekt% H_2 (100 g H_2 /l NH_3BH_3) [20], men hydrogenet bør mellomlagres, frigjøres over tid, og etterlates som et restprodukt, og er dermed ikke kommersielt tilgjengelig [23].

Adsorpsjon foregår ved at gass fanges i overflaten til porøse materialer. Et grunnstoff som kan bli porøst og få høyt overflateareal er karbon, som i form av aktivert karbon og grafen, byr på lagringsproblemer. Aktivert karbon inneholder 8 vekt% hydrogen ved høyt trykk og lave temperaturer (77K). Grafen kan inneholde opptil 5.5 vekt% hydrogen og lagringspotensialet økes dersom metaller innblandes. [23]

Fordeler	Ulemper
Lang lagring	Restmassen må fjernes
Lite energitap	Vektfraksjon hydrogen i forhold til stoffet
Høy energitetthet	Ikke alt hydrogenet kan frigjøres
Trenger lite kompresjon/nedkjøling	Frigjøring av hydrogen øker med temperatur
Mye forskning innen området	Sakte frigjøring av hydrogen
Lett påfylling for fast stoff	Restprodukt/lagringsmediet kan være skadelig
	Ikke kommersielt tilgjengelig
	Kan kreve høyt trykk og lav temperatur

6.3 Påfylling av hydrogen

Utstyret for påfylling av hydrogen i gass eller flytende form er allerede kommersielt tilgjengelig og brukt i flere hydrogenstasjoner. Utstyret som brukes på disse stasjonene skal kunne brukes til påfylling av båter tilsvarende det som brukes til å fylle på eksisterende båter. Hydrogenpåfyllingen innebærer tap av hydrogen dersom sammenkoblingen ikke er god nok, og det er derfor viktig med god forselging mellom slange og fartøy. Et eksempel på koblingen er vist i Figur 6.2



Figur 6.2 Hydrogenpåfylling for bil [37]

For å kunne overføre hydrogenet fra et landbasert lager til skipet, må trykket være høyere enn skipstankens trykk. I følge Department of Energy må hydrogenlageret ha et trykk på 440 bar for å fylle en 350 bar tank og 880 bar for å fylle en 700 bar tank, dette betyr et kompresjonsarbeid på 2.23 kWh/kg H_2 og 3.0 kWh/kg H_2 respektivt [24]. Ved bruk av flytende hydrogen er fordampingstap et reelt problem og forhindrer langtidslagring. På grunn av dette kan jevnlig påfylling av lokale nedkjølte tanker eller lokal produksjon være bedre enn å lagre store

mengder hydrogen. Ifølge Department of Energy behøves det 13.3 kWh/kg LH₂ [24] for å kondensere hydrogen i liten skala. Figur 6.3 viser en hydrogenpåfyllingsstasjon hvor flytende hydrogen produseres lokalt ved hjelp av solceller. En slik stasjon kan brukes for å produsere og påfylle hydrogen i gass- og flytende form.

Absorpsjon krever ikke ekstra utstyr, noen av hydratene kan kreve spesialbehandling, men påfylling vil fortsatt skje problemfritt. Etter å ha fjernet restmassene kan nye hydrater lett og raskt påfylles slik en ville ha fylt på med pellets. For lagring av mest mulig hydrogen med adsorpsjon behøves det trykk høyere enn atmosfæriske tilstander og en lavere temperatur. Det vil være vanskelig å anskaffe utstyret som er nødvendig for påfylling av hydrogen i en adsorpsjonstank.



Figur 6.3 Påfyllingsstasjon for hydrogen [25]

6.4 Omdanning av hydrogen til energi

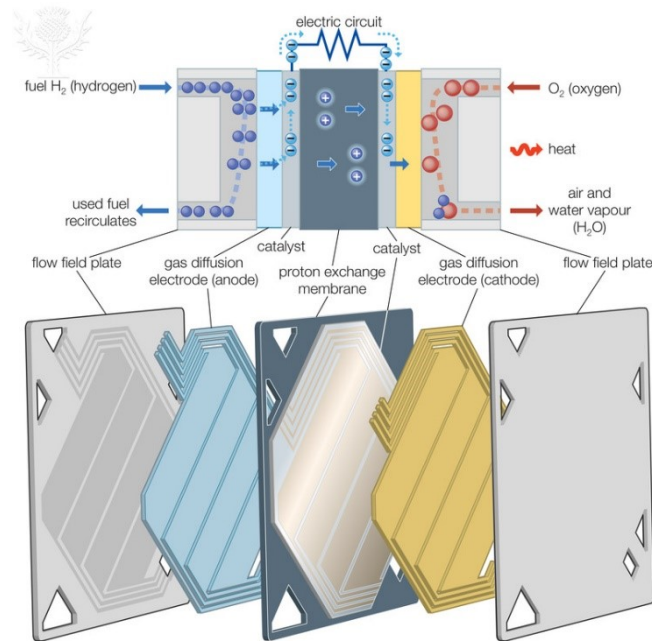
6.4.1 Metoder som utgår

Det finnes flere brenselcelleteknologier enn de tidligere utredet i rapporten. Fosforsyre-brenselcelle (PAFC), fast oksidbrenselcelle (SOFC), og flytende karbonatbrenselcelle (MCFC) er teknologier som kan være problematiske om bord på en båt, selv om de kan levere en høy effekt. Alle de nevnte brenselcellene har en elektrisk virkningsgrad lavere enn 50 %, men høy virkningsgrad dersom de brukes i et kombinert varme- og kraftverk. PAFC opererer i temperaturområdet 150-220°C, SOFC rundt 1000°C, og MCFC rundt 650°C [26].

6.4.2 PEMFC

PEMFC kan deles inn i to hovedgrupper, høy- og lavtemperatursbrenselcelle. Lavtemperatursbrenselceller opererer i området 60-80°C og har en elektrisk virkningsgrad mellom 40 og 60 %. Høytemperatursbrenselceller opererer ved en høyere temperatur, 110-180°C, og har en bedre elektrisk virkningsgrad, 50-60 %. Figur 6.4 viser oppbyggingen til en PEMFC og hvordan hydrogen og oksygen omdannes til vann og energi. Prisen på PEM brenselceller er for øyeblikket høyere enn prisen på forbrenningsmotorer, 100\$/kW for PEMFC mot 20-50\$/kW for forbrenningsmotor, og prisen for et marint system kan bli enda dyrere. [27]

Et eksempel på en PEMFC er gitt i vedlegg 5. De brukt ombord i båten blir større og bør spesialbestilles.



Figur 6.4 Prinsipp-skisse PEMFC [28]

Membranen som er i brenselcellen skades dersom innholdet av CO blir for høyt og fuktighetsnivået ikke holdes innenfor et visst område. Fuktighetsnivået og tykkelsen på membranen er med på å bestemme brenselcellens effekt og levetid. En modul, sammenkobling av celler, kan levere en effekt opptil 250kW, ha en levetid på 5 år, og vil ha behov for både nedkjøling og en hydrogenpumpe. [29]

Det er store fordeler med å bruke brenselceller. Få mekaniske deler betyr mindre behov for service og reparasjon, høy effektetthet på grunn av lav vekt, og i kombinasjon med et batteri for mellomlagring kan elektrisitet leveres kontinuerlig ved høy effektivitet.

Fordeler	Ulemper
Høy virkningsgrad (40-60 %)	Feil vanninnhold kan ødelegge membranen
Modularitet, lett å koble flere celler sammen	Utsatt for forurensning av membran
Få bevegelige deler	Høy pris/kW
Lave temperaturer	Lav levetid (5år)
Kun vann som utslipp	Trenger ekstrautstyr

6.4.3 DMFC

DMFC er kompakte, opererer ved temperaturer under 110°C, og drivstoffet har både høy energitetthet og er lett å lagre [21]. Teknologien har også ulemper: Brenselcellen leverer under 100kW, elektriskvirkningsgrad er rundt 40 %, det vil være utslipp av CO₂, og spenningen på hver enkeltcelle er lav [26]. Utslippene av CO₂ kan betraktes som neglisjerbare dersom metanolen blir produsert av fornybare energikilder og biologiskmateriale, siden utslippene vil være en del av den naturlige karbonsyklusen. Brenselcelleteknologien vil ikke kunne levere nok energi til å drive

oppdrettsbåten ved høy fart eller over lange distanser, men teknologien kan brukes som en back-up løsning eller som en generator brukt til andre ting enn fremdrift.

Fordeler	Ulemper
Høy volumetrisk energitetthet	Feil vanninnhold kan ødelegge membranen
Lave temperaturer	Høy pris/kW
Lettere å lagre metanol enn hydrogen	CO ₂ utslipp
Kompakt	Lav spenning

6.5 Virkningsgrad og lagringskapasitet

6.5.1 Virkningsgrad

Tapsledd	Virkningsgrad
Brenselcelle	0.45
Elektrisk distribuering/overføring	0.94
Elektrisk motor	0.95
Totalvirkningsgrad	0.402

Tabell 6.1 Virkningsgrad for et hydrogendrevet energisystem

Med hydrogen som energikilde vil 40.2 % av energien bli utnyttet i fremdriftssystemet. Som vist over er hoved tapet ved omdanningen av hydrogen til elektrisitet, da 55 % av energien i hydrogenet forsvinner. Det er her batterier har en klar fordel hvor energien allerede er lagret i batteriene. Verdier hentet fra rapporten ReVolt fra DNV GL [6].

6.5.2 Utregninger for omdanning/lagring/totalvirkningsgrad

Det nødvendige energilager et hydrogensystem må ha for å kunne utføre jobben ved fiskeoppdrett brukt i sakstudien, kan finnes ved bruk av formel 2.2. vist i seksjon 2.5.

$$E_L = \frac{P \cdot t}{\eta_T} + \frac{E_{AO}}{\eta}$$

$$E_L = \frac{37kW \cdot 0.72h \cdot 2}{0.45 \cdot 0.94 \cdot 0.962} + \frac{101kWh}{0.45}$$

$$E_L = 371kWh$$

Energiinnholdet i lagringskilden med lavest energitetthet (350 bar gass) beregnes med formel 2.1:

$$E_L = u \cdot V$$

$$E_L = 0.587 kWh/l \cdot 1000l$$

$$E_L = 587 kWh$$

Lagringsmediet med den laveste energitettheten lagrer nok energi til å kunne seile til anlegget med en fart på 6 knop, og utføre oppgavene listet i driftsprofilen. Alle lagringsmediene som kan brukes sammen med en PEMFC vil derfor ha stor nok rekkevidde. Rekkevidden de ulike løsningene vil ha er beregnet ved hjelp av formel 2.3 men vil ikke bli vist.

6.6 Sammenligning av hydrogenløsninger for oppdrettsbåt og valg

Som vist i Tabell 6.2, er det stor forskjell i energitetthet og pris per kWh-lagringskapasitet for de ulike lagringsmetodene som er tilgjengelige. I sammenligningen legges det stor vekt på volumetrisk energitetthet og energisystemets virkningsgrad, som sammen bestemmer systemets

rekkevidde. Grunnen til utslipp neglisjeres, er fordi det antas at hydrogenet produseres med fornybare energikilder. Selv om DMFC-systemet ikke leverer mer enn 100kW, sammenlignes systemet med PEMFC-systemer fordi begge kan bli brukt som energikilde ved oppdrettsanlegget eller som en nødgenerator.

Type	Energitetthet [kWh/l]	Pris lager [\$/kWh]	Virkningsgrad	Rekkevidde [km]	Utslipp	Drives av
350 bar PEMFC	0.587	15.4	0.402	21	Vann	Ren H ₂
700 bar PEMFC	0.877	18.7	0.402	38	Vann	Ren H ₂
LH₂ PEMFC	1.39	8	0.402	66	Vann	Ren H ₂
DMFC	5.00		0.300	272	CO ₂ + Vann	CH ₃ OH

Tabell 6.2 Oversikt over hydrogendata

På grunn av at totalvirkningsgraden til PEMFC-systemet er høyere enn DMFC-systemet, vil hydrogen lagret under 700 bar ha større rekkevidde enn metanol brukt i en DMFC. I tillegg til å ha en rekkevidde som er lavere enn LH₂ og 700 bar H₂, vil det med bruk av metanol som drivstoff være utslipp av både CO₂ og vann. For denne båten vil det være bedre å bruke et PEMFC-system til fremdrift og arbeid ved fiskeoppdrett, men et DMFC-system kan erstatte diesellaggregater.

De tre tilgjengelige metodene for å lagre rent hydrogen har veldig ulik energitetthet. Kompresjonen og nedkjølingen som er nødvendig for å øke energitettheten krever mye energi og utstyr, derfor kan det være bedre å kjøpe hydrogenet ferdigprodusert. Med tanke på at det stadig kommer flere hydrogenfyllestasjoner for kjøretøy, vil det være naturlig å bruke den samme teknologien som brukes i hydrogenbiler med mindre noen kan levere en løsning med høyere energitetthet. Dersom LH₂ kan leveres, vil PEMFC og LH₂ være beste valget.

Type	Energitetthet [kWh/l]	Rekkevidde [km]	Utslipp	Utvikling
Karbon nanorør	3,85 [23]	232	Vann	Stor
NH₃BH₃	3,33	201	Vann + NHBH	Middels
Fremtidig LH₂	6,96	420	Vann	Middels

Tabell 6.3 Fremtidige hydrogenløsninger

Fremtidige lagringsmetoder har en langt større rekkevidde enn de som er tilgjengelige. I Tabell 6.3 kan en se at metoden har nesten tre ganger så lang rekkevidde. Løsningen som muligvis er lettest å bruke, og ikke minst påfylle, er NH₃BH₃ og andre hydrater, selv om det kun frigjøres en mindre mengde hydrogen hvert minutt.

Det er ikke sikkert at hydrater er den beste løsningen for båten, med tanke på at det slippes ut mer enn vann. Hydratrestene må fjernes fra tanken før nytt drivstoff kan påfylles, og disse restene kan være skadelige. De beste fremtidige hydrogenlagringsløsningene kommer mest sannsynlig fra nanoteknologi. Dette er på grunn av den høye energitettheten (uten behov for lave temperaturer og høye trykk), og fordi utslippene er like rene som ved bruk av ren hydrogen-gass.

7 Alternativ fremdrift

7.1 Magnuseffekt og flettnerskip

Magnuseffekten er kraften som oppstår når gass strømmer rundt et roterende objekt. Massestrømmen og dermed lufthastigheten på en side av objektet blir høyere enn den andre, og trykkforskjellen skaper en løftekraft. Figur 7.1 illustrerer magnuseffekten, hvor V er luftstrøm og F er kraften fra trykkforskjellen.

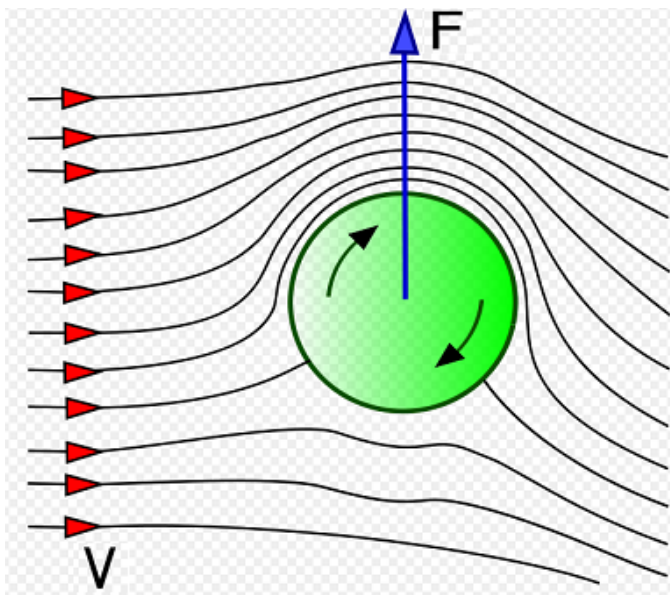
Denne effekten kan anvendes på skip; skipstypen kalles et rotorskip eller flettnerskip. Effekten oppnås ved bruk av høye sylindriske roterende søyler, deretter utnyttes kreftene som oppstår til fremdrift av skipet. I Figur 7.2 vises søylene som ved rotasjon genererer fremdrift ved utnyttelse av magnuseffekten.

For å utnytte magnuseffekten behøves vind, og det er tilstrekkelig vindmengde i området rundt oppdrettsanlegget. Det største problemet med flettnerskip er plassering av søylen. Søyler tar stor plass og kan gi problemer med stabilitet og vektoverskridelse. Flettnermotor er lite brukt og vil være mer passende for store havgående skip.

7.2 Bølgefremdrift

Bruk av bølgeenergi til fremdrift av oppdrettsbåten er et optimistisk alternativ. Teknologien er fortsatt ganske fersk og få løsninger er tilgjengelig. For å hente ut energien i bølger kan "hval-finner", som monteres under skroget på båten, brukes. Dette vil føre til redusert drivstoff- og batteribruk.

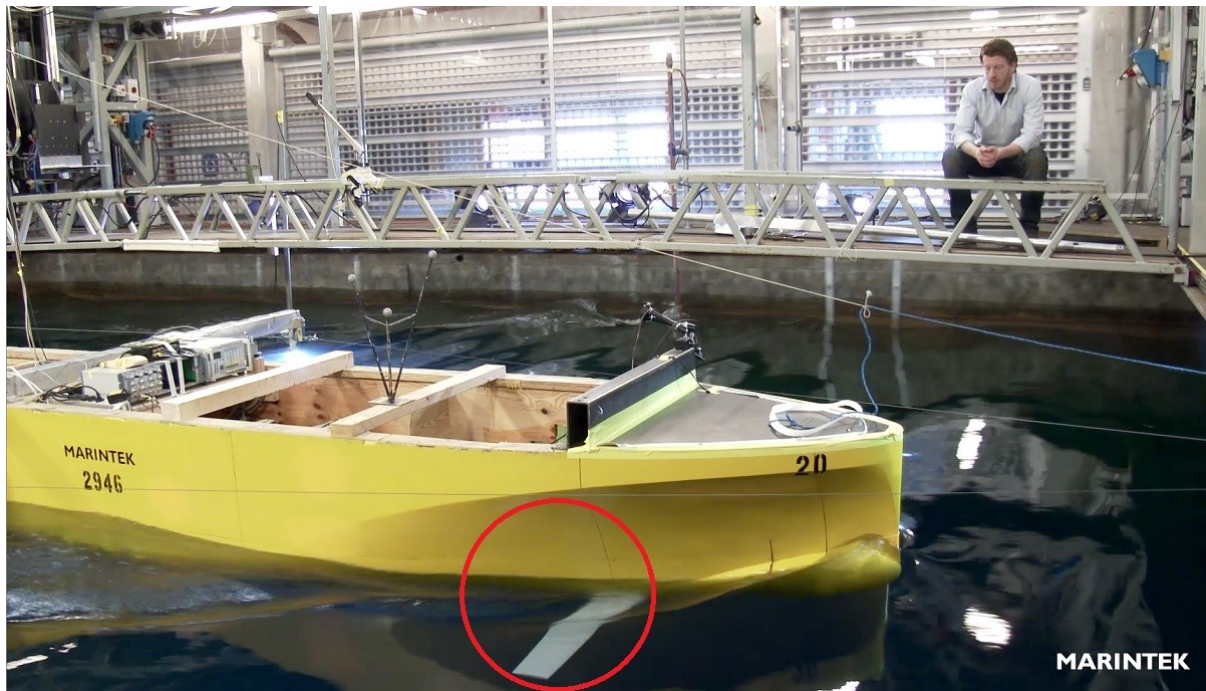
Teknologien baserer seg på hvordan en hvalfinne fungerer. Når bølger treffer båten, vil finnene bevege seg opp og ned og dermed skape fremdrift. Figur 7.3 viser et eksempel på bruk av teknologien.



Figur 7.1 Magnus effekt



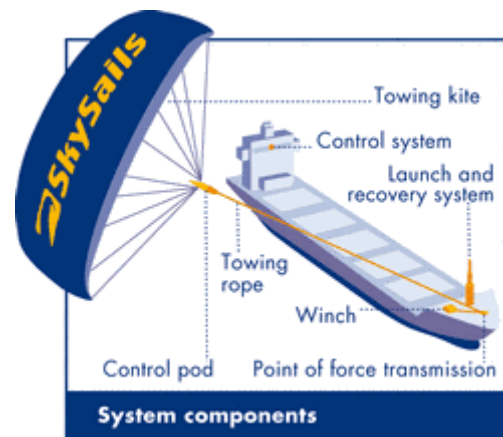
Figur 7.2 Flettnerskip [34].



Figur 7.3 Hvalfinne påmontert påmontert båt for simulering [30].

7.3 Seil som fremkomstmiddel

Det er to seil løsninger som kan bli brukt for arbeidsbåten. En av løsningene er den tradisjonelle med mast og seilduk i passende for og størrelse. Båten går ikke alltid i medvind og det vil derfor være behov for å bevege på mast og duk, men med medvind reduseres energibehovet betraktelig. Selv om seil på en motorbåt høres gammeldags ut, brukes seil på store båter, som for eksempel cruiseskipene "Wind Surf" og "Wind Spirit". En annen metode for å utnytte vindenergi er å bruke en drage på samme måte som i "kitesurfing". Dragen er lettere å ta ned enn seil, tar mindre plass på båten, og vil være bedre i områder hvor båten ofte utsettes for motvind. Figur 7.4 viser en skisse av et kite-system.



Figur 7.4 Kite-system [38]

7.4 Lagret potensiell energi

Ved bruk av et svinghjul kan energi som ellers ville gått tapt (for eksempel senkning av kran) lagres som potensiell energi (for eksempel fjærenergi) for å bli brukt ved behov. Svinghjul kan mellomlagre energi ved oppbremsing, ujevn energiproduksjon eller ujevnt forbruk, og forhindre at energi sløses. Metoden er optimal dersom det er et høyt energibehov i korte perioder. På grunn av at metoden er best på å lagre store energimengder i korte perioder, er det usannsynlig at svinghjul brukes som hoved energilager om bord båten. Selv om energilageret ikke brukes til å fremdrift kan et eller flere svinghjul redusere energibehovet for wincher og kraner.

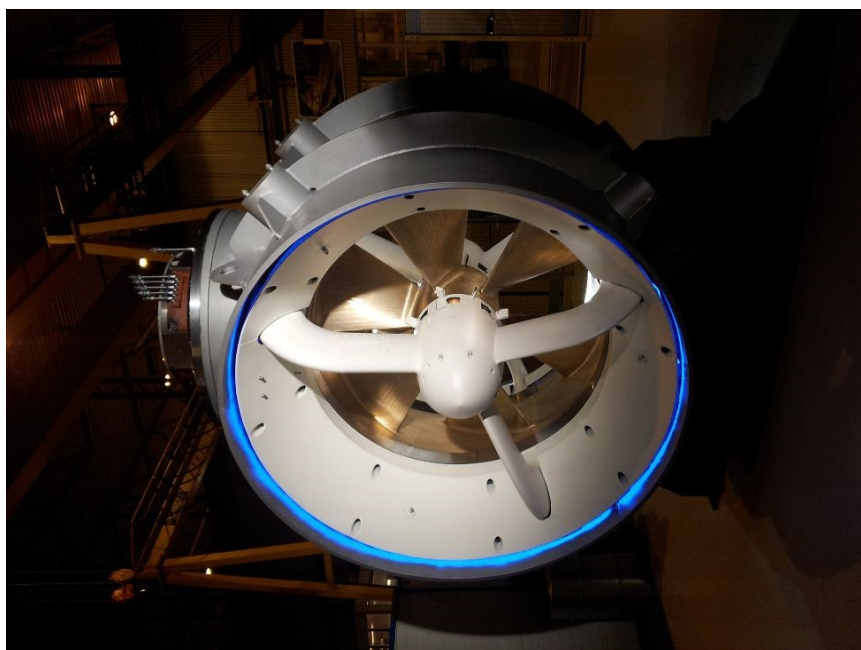
7.5 Strømproduksjon på båt

Båtens rekkevidde kan utvides ved å enten utnytte naturkrefter eller ved å produsere energi om bord. Den mest relevante metoden for å produsere elektrisitet er bruk av fotovoltaiske solceller, men lavt tilgjengelig areal og relativt lav solinnstråling gjør energiproduksjonen neglisjerbar. En annen energikilde som kan brukes om bord er kjernekraft, en energikilde som noen bruker i ubåter, hangarskip og isbrytere. Kjernekraft vil derimot kreve mye utstyr, sikkerhet og tillatelser.

7.6 Permanent magnet thruster

PM (Permanent magnet) tunnel thruster er ny teknologi utviklet av Rolls-Royce. Effektiviteten økes både i motoren og propellen ved å bruke permanente magneter rundt propellen. Designet er mer kompakt og frigjør plass om bord i båten. Vedlikeholdsbehovet reduseres og thrusteren kan fjernes og påmonteres uten å bruke tørrdokk. Thrusterene er per dags dato bare tilgjengelige i to størrelser; 1000 og 16000kW, men dersom teknologien blir mer anerkjent kan bruken og den kommersielle tilgjengeligheten øke.

Thrusterene har påvist mellom 7-13 % energisparing, avhengig av farten, i forhold til konvensjonelle dieselsystemer. Simuleringene er gjort av forskningsfartøyet «RV Gunnerus» fra NTNU.



Figur 7.5 Permanent magnet thruster fra Rolls-Royce [31].

Teknologien gjør det mulig å reversere energistrømmen og det vil derfor være mulighet for å bruke havstrømmer til energiproduksjon. Store deler av døgnet befinner båten seg i eksponert farvann med havstrømmer og slik energiproduksjon kan forlenge båtens rekkevidde. Noen nøyaktige estimater for beregning av energimengden er vanskelig, men produksjon ved hjelp av thrustere sees på som en reel mulighet i fremtiden.

8 Teknologisammenligning

8.1 Sammenligning av virkningsgrader

Her vil det utredes en sammenligning av totalvirkningsgraden for de forskjellige energisystemene.

Energisystem	Totalvirkningsgrad
Dieselektrisk	32.3 %
Batteri	84 %
Hydrogen	40.2 %

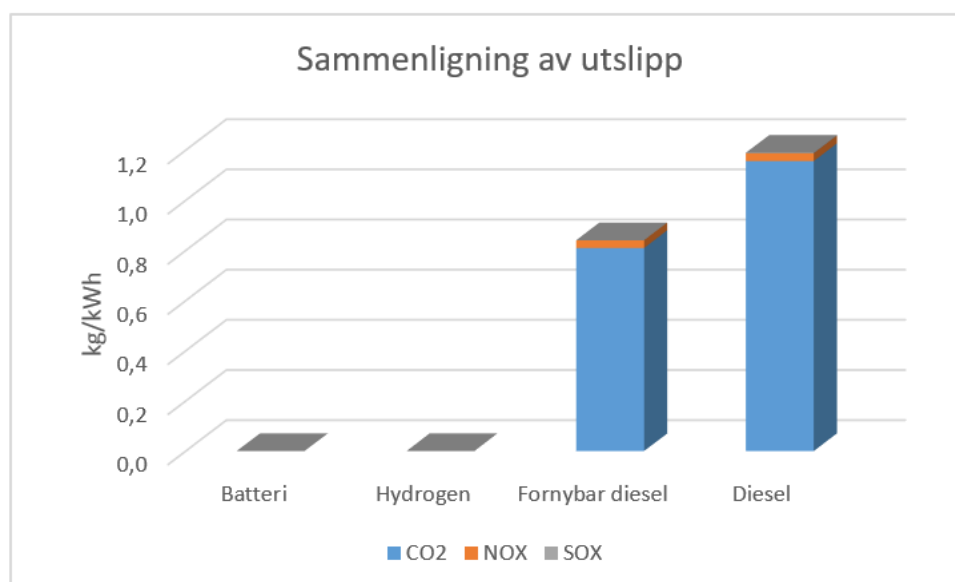
Tabell 8.1 Sammenligning av totalvirkningsgrad

Som Tabell 8.1 viser er et helelektrisk batterisystem overlegent med tanke på effektivitet. Batteriløsningen utnytter over dobbelt så mye av energien i forhold et hydrogen- og dieselektrisk system. Med tanke på miljøet og energiutnyttelse er batteriet et klart valg.

For fremtidig visjoner vil trolig det dieselektriske systemet falle bort, på grunn av utslippsverdiene til fossile brennstoffer. Bruken av hydrogen blir stadig mer og mer anvendt, og trolig vil fremtiden få frem bedre teknologiske løsninger for brenselcellen og dermed øke virkningsgraden.

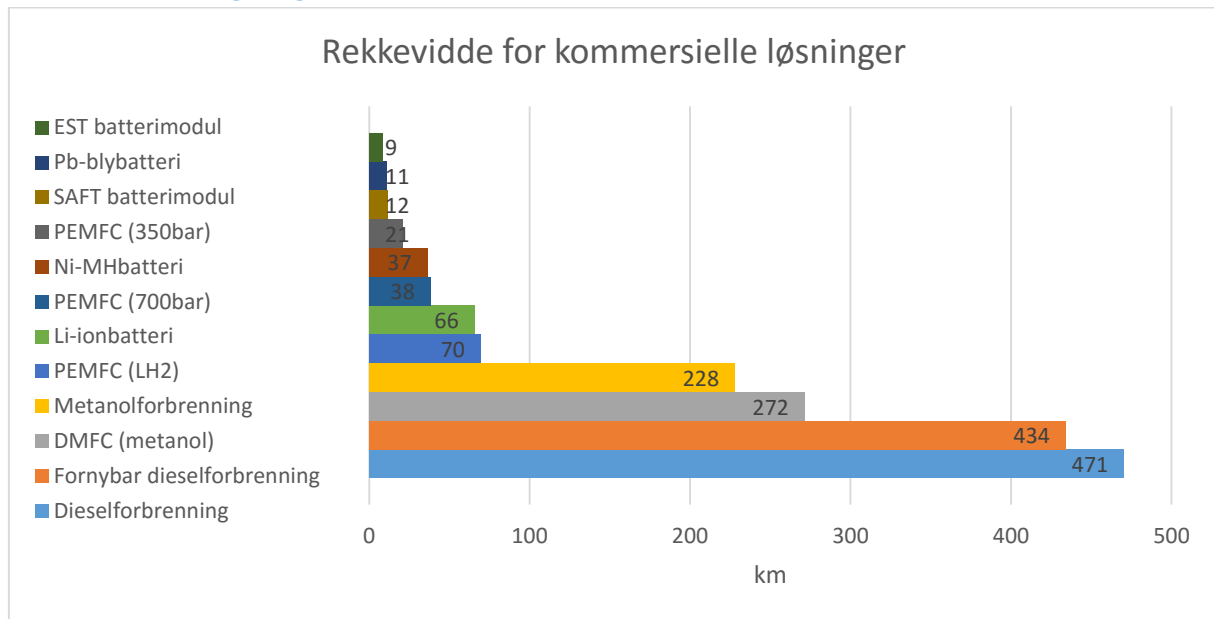
8.2 Sammenligning av utslipp

Hydrogenløsningene med hydrogen lagret i ren form og batteriløsningene vil ikke ha noen nevneverdige utslipp når de brukes, siden energien vil komme fra fornybare kilder. Forbrenningsløsningene vil ha utslipp. Dersom hydrokarbonene som forbrennes kommer fra fornybare kilder, for eksempel kompost og kloakk, vil karbonutslippet være en del av det naturlige karbonløpet. På grunn av forbrenning og forurensinger, vil det være utslipp av både NO_x og SO_x. Grafen under, Figur 8.1, sammenligner utslippene til hydrogenløsning, batterier, fornybar diesel, og vanlig diesel [32].

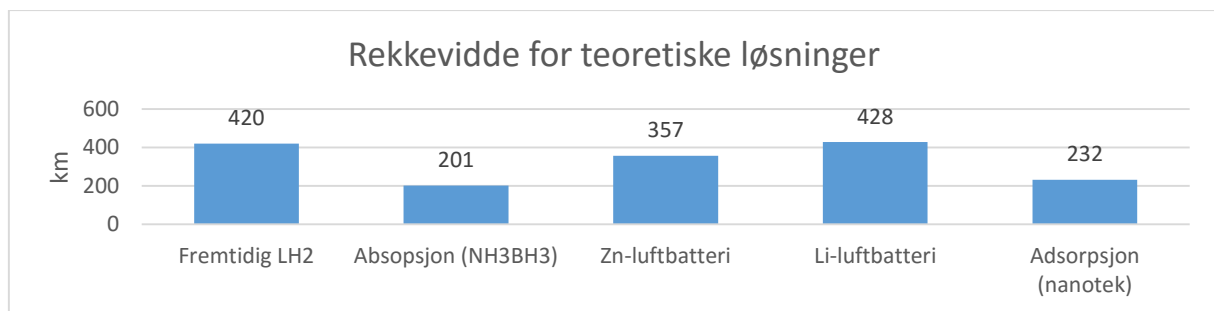


Figur 8.1 Oversikt over utslipp målt i kg/kWh

8.3 Sammenligning av rekkevidder



Figur 8.2 Rekkevidde for kommersielle løsninger



Figur 8.3 Rekkevidde for teoretiske løsninger

Dieselsystemene har lavere totalvirkningsgrad enn hydrogen- og batterisystemene, men større rekkevidde enn begge to. Hydrogen- og batteriløsningene som er kommersielt tilgjengelige har nokså like rekkevidder, men hydrogenløsningen med høyest tetthet (flytende hydrogen) har større rekkevidde enn batteriteknologien med høyest tetthet. Batteriteknologien med lavest tetthet har lavere rekkevidde enn hydrogenteknologien med lavest rekkevidde. Figur 8.2 viser en grafisk sammenligning av de kommersielle energilagringssystemene, mens figur 8.3 sammenligner noen av de mest lovende teoretiske batteri- og hydrogenløsningene.

8.4 Sammenligning av utviklingsmulighet

Av teknologiene som vurderes er batteriløsningene teknologien med størst utviklingspotensial i nær fremtid (5-20 år), og er fordi flere biler drives av batterier. Utvikling innenfor materialteknologi øker rekkevidden til både hydrogen- og batteriløsningene, men hydrogenløsningene vil mest sannsynlig bli bedre enn batteriløsningene i fjern fremtid (20+ år).

8.5 Sammenlagt vurdering og rangering

Tre av de mest lovende kommersielt tilgjengelige energiløsningene, og tre fremtidige lagringsmedier som kan brukes i oppdrettsbåten, vurderes i henhold til viktige parametere.

Løsningene gis en tallkarakter, fra 1-3, der høyest poengscore er den beste/anbefalte energiløsningen.

Tilgjengelige teknologier	Diesel Fornybar	Batteri SAFT	Hydrogen PEMFC
Energitetthet	3	1	2
Virkningsgrad	1	3	2
Rekkevidde	3	1	2
Påfylling/opplading	3	3	1
Utslipp	1	3	3
Tilgjengelighet	2	3	1
Bevegelige deler	1	3	2
Levetid	3	2	1
Utvikling (5-10 år)	1	3	2
Utvikling (10+ år)	1	2	3
Sum	19	24	19

Av de kommersielt tilgjengelige løsningene som omtalt, vurderes forbrenningsmotor med fornybar diesel, batterisystemet levert av SAFT og en PEMFC med hydrogen gass under 700 bar trykk. Dersom beste løsning ikke oppfyller minstekravet for rekkevidde og påfyllingsmulighet velges en annen løsning for båten. Av de tre er batteriløsningen det beste valget, med PEMFC som andrevalget.

Fremtidige teknologier	Hydrogen Adsorpsjon	Batteri Li-luft	Hydrogen Fast stoff
Energitetthet	3	1	2
Virkningsgrad	1	3	2
Rekkevidde	2	3	1
Påfylling/opplading	1	2	3
Utslipp	2	3	1
Bevegelige deler	1	3	1
Sannsynlighet	1	2	3
Sum	11	17	13

Av de omtalte fremtidige løsningene vurderes adsorpsjon av hydrogen i nanomateriale, Li-air batterier og hydrogen frigjort fra fast stoff. Li-luft får den beste poengsummen av løsningene. Hydrogen-løsningene kan gjøre det bedre en Li-air dersom virkningsgraden øker samtidig som energitettheten øker. Energitettheten og dermed rekkevidden til Li-luft batteriene reduseres dersom ekstra utstyr som nedkjøling tas med i volumetrisk energitetthet.

9 Anbefalte alternativer for arbeidsbåt

De følgende underkapitlene vil presentere tre alternative energisammensetninger som kan anvendes om bord oppdrettsbåten. Det første alternativet er kombinert batteri- og dieselfremdrift, det andre alternativet er ren batterifremdrift og det siste alternativet er et hydrogensystem.

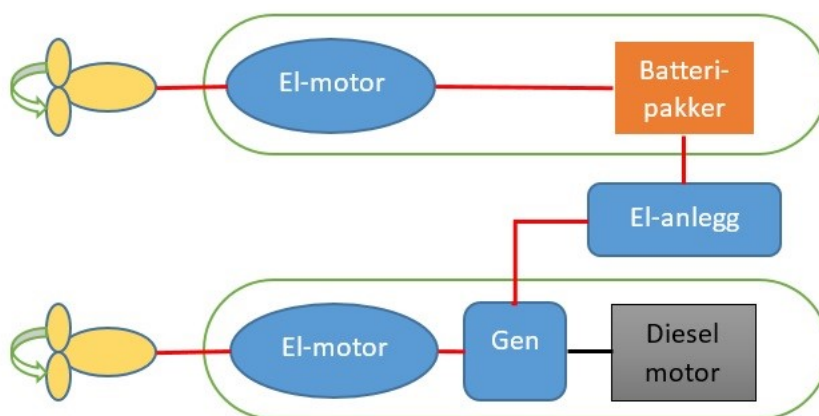
9.1 Alternativ 1 – batteri- og fornybar dieselfremdrift

Med et plug-in hybridsystem vil en kunne få alle fordelene til batteri- og dieselsystemene. Fordi fornybar diesel sjeldent brukes, vil utslippet være neglisjerbart.

Fordeler	Ulemper
Ingen utslipp ved korte reiser	Kompleksitet
Mulighet for lange turer	Lokale utslipp
Billig energi for korte turer	Dårlige framtidsutsikter
Kan utføre lange og tunge oppdrag	
Nok redundans/ingen aggregater	

9.1.1 Virkemåte

Hele systemet er illustrert i Figur 9.1. I en gjennomsnittlig arbeidsdag vil arbeidsbåten kun bruke batterier. Begge energisystemene vil kunne sende energi til enten en eller begge motorene. Det dielelektriske anlegget vil kun bli brukt som et back-up system eller dersom energibehovet blir høyere enn det som kan lagres i batteriene. Dieselmotoren driver generatoren som produserer elektrisitet som sendes til strømforbrukene. Energibehovet omhandler fremdrift, lys, varme, instrumenter, vedlikehold og en kran på dekk. Den elektriske energien strømmer fra batteriene eller generatoren som likestrøm (DC) og vil gjennom en omformer få rett spenning. Strømmen føres videre til et styringssystem som fordeler den til de forskjellige komponentene etter behov. I de elektriske motorene vil elektrisk energi bli omformet til mekanisk energi, og overført til propellen ved hjelp av en aksling.



Figur 9.1 Oppsett for kombinertsystem

9.1.2 Komponenter

Oppdrettsbåten vil inneholde mange viktige komponenter som inngår i det kombinerte energisystemet. Systemet vil inneholde 2 elektriske motorer, et diesellaggregat, en dieseltank, og et batterisystem som vist i Figur 9.1.

På bakgrunn av tidligere gjennomgått informasjon velges Saft sitt batterisystem «Seanergy battery system» med en tilgjengelig kapasitet på 0.103kWh/l og en dieselmotor og generator levert av John Deere. Med tilgjengelig kapasitet på 2000 l er det en batterikapasitet på 206 kWh og dieselkapasitet på 9250 kWh.

Kombinasjonen av disse to energikildene gir oss miljø- og effektivitetsverdiene til et helelektrisk system, men med muligheten til å foreta lengre turer og mulighet til å utføre tyngre oppdrag. Bruk av diesel innebærer også noen ulemper, nemlig potensielle utslipp og ekstra kompleksitet.

9.1.3 Bruk av alternativet i fremtiden

Utviklingen av batterisystemene og forbedring av styringsenheter vil gjøre det kombinerte systemet mer effektivt. Det er usikkert om fremtidige løsninger vil inneholde kombinert diesel- og batteriløsning, men inntil andre løsninger kan oppnå en rekkevidde som nærmer seg det dieselelektriske systemet, vil forbrenningsmotorer bli brukt. Utslipp av CO² og NO_x vil mest sannsynlig reduseres ved hjelp av bedre filtre og eksosanlegg.

9.1.4 Alternative kombinasjoner

Andre teknologier kan også kombineres for å ha lave eller ingen utslipp under daglig drift, samtidig som det kan lagre store mengder energi. Batteriene kan byttes ut med en hydrogenløsning (enten metanol og DMFC-kombinasjon eller en PEMFC). Diesel kan byttes ut med gass- eller alkoholforbrenning dersom fornybar diesel ikke er tilgjengelig. Valg av kombinasjon baseres på hva som er tilgjengelig og drivstoffprisen.

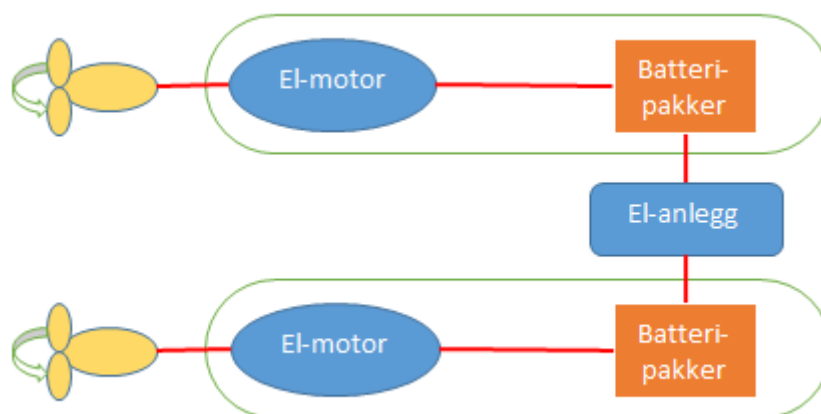
9.2 Alternativ 2 - helelektrisk batterisystem

Helelektriske batterisystemer er relativt ung teknologi innenfor skipsfart. Bruk av batterisystem om bord i oppdrettsbåten har fordeler og ulemper og de viktigste er listet under.

Fordeler	Ulemper
Miljøvennlig/ingen utslipp	Lav energitetthet/store batteripakker
Fremtidsrettet	Dyre batteriteknologier
Kan utnytte fornybar energi	Krever god kjøling
Billig strøm	Lav rekkevidde
Tilnærmet lydløs	Lang ladetid/dyrt

9.2.1 Virkemåte

I et helelektrisk energisystem drives fartøyet av en energikilde: batteri. Energien går til fremdrift, lys, varme, instrumenter, vedlikehold og en kran på dekk. Den elektriske energien strømmer fra batteriene som likestrøm (DC) og omformes til spenning og vekselstrøm ved behov. Strømmen fordeles til komponentene i et styringssystem. Elektriske motorer omformer energien til mekanisk energi og overføres til propellen via en aksling. Systemet illustreres i Figur 9.2.



Figur 9.2 Oppsett batterisystem

Ideelt skal det helelektriske systemet kunne levere samme energimengde som dagens dieselelektriske. For at dette skal realiseres må batterisystemene energitettheten eller tilgjengelig volum øke. Batteriteknologien som brukes er den viktigste variabelen. Batteriteknologiene varierer i pris, vekt og energitetthet, og en vurdering er gjort for å finne det beste batteriet for oppdrettsbåten. Batterikapasiteten beregnes ut fra antatt lagringskapasitet (tilgjengelig volum).

Et nødaggregat vil være installert og fungerer som et alternativ dersom det oppstår feil eller skade på batterisystemet. Redundanssystemet er nødvendig dersom batterisystemet svikter og båten mister fremdrift eller kommunikasjon. Tap av disse systemene kan føre til at båten havarerer.

9.2.2 Batteriteknologier

Ulike batteriteknologier og batterisystemer er gjennomgått, og det beste valget er et ferdiglaget og komplett batterisystem. Av de tilgjengelige løsningene velges batterisystemet levert av Saft. Batteriene har en relativ høy energitetthet og teknologien er tilpasset marine applikasjoner, noe som er en klar fordel i dette tilfelle.

Som en fremtidig løsning er det flere potensielle batteriteknologier. Metall-luft batterier og vannbaserte litium batterier kan revolusjonere marine energisystemer på grunn av høy energitetthet og lav miljøpåvirkning i forhold til dagens skipsfart.

9.2.3 Komponenter

Det helelektriske energisystemet har en noen nødvendige komponenter. Systemet inneholder 2 elektriske motorer og to batterisystem plassert på hver sin side av båtens skrog. Energien fra batteripakkene vil først innom styringssystemet, hvor strømmen distribueres til de elektriske motorene og annet elektrisk utstyr om bord båten (som lys, varme, kran, vedlikeholdsutstyr og instrumenter).

Batterisystemet som velges for bruk om bord båten er systemet levert av Saft ("Seanergy battery system"). Batterimodulene har en volumetrisk kapasitet på 0.103kWh/l, og et kjøle- og styringssystem er integrert. Med tilgjengelig kapasitet på 2x 2000l er lagringskapasiteten 412kWh.

9.2.4 Alternativet i fremtiden

I fremtidige batteriløsninger kan det anvendes batterier som det fortsatt forskes på. Disse vil ha høyere energitetthet, noe som resulterer i større rekkevidde og lagringskapasitet. Flere lovende

teknologier er vurdert i kapittel 4. Noen av alternativene kan erstatte de tilgjengelige batteritypene og gjøre helelektriske batterisystemer mer attraktivt og reelt for skipsfart.

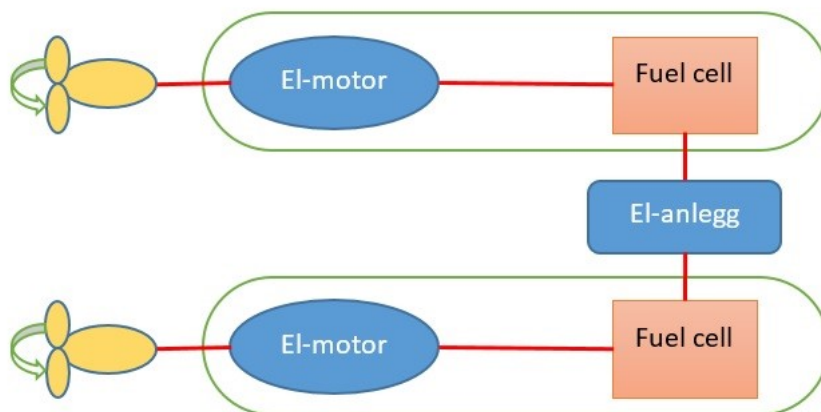
9.3 Alternativ 3 – hydrogenenergisystem

Hydrogen er lite brukt som energikilde i skipsnæringen, men i nyere tider har ulike bilprodusenter begynt å produsere kjøretøy drevet av hydrogen og PEMFC. Hydrogenbruken har noen klare fordeler og ulemper, og noen av de viktigste er listet opp under.

Fordeler	Ulemper
Kun vann som utslipp	Pris på hydrogen og utstyr
Modularitet	Komplekse lagertanker
Mulighet for rask påfylling	Lav rekkevidde
Få bevegelige deler	Behov for mellomlagring av energi
	Forurensning kan ødelegge brenselcelle

9.3.1 Virkemåte

I et hydrogensystem vil fartøyet bli drevet av hydrogen som sammenføres med oksygen i en brenselcelle. Systemet inneholder et par batterier som skal sørge for at strømforsyningen og energiomformingen er jevn. Energien går til fremdrift, lys, varme, instrumenter, vedlikehold og en kran på dekk. Den elektriske energien strømmer fra batteriene som likestrøm (DC) og vil gjennom en omformer få rett spenning. Strømmen føres videre til et styringssystem som fordeler strømmen på de forskjellige komponentene etter behov. I de elektriske motorene vil elektrisk energi bli omformet til mekanisk energi, overført til propellen ved hjelp av en aksling. Hele systemet blir illustrert i Figur 9.3.



Figur 9.3 Oppsett hydrogensystem

Ideelt skal det helelektriske systemet kunne inneholde opp mot samme energimengde som dagens dieselelektriske arbeidsbåter med tanke på rekkevidde og forbruk. For at dette skal bli realitet må hydrogenet lagres på en måte som ikke er kommersielt tilgjengelig. Utstyrets vekt, prisen, og energitettheten til hydrogenet varierer veldig ved ulike lagringsmetoder.

9.3.2 Hydrogenteknologier

Som energikilde vil kun PEMFC bli vurdert, DMFC vil ikke kunne produsere nok uten å bli for stor, og andre brenselceller vil bli for varme. Vurderingen av hvilken teknologi som velges er tatt på bakgrunn av energitettheten i de ulike lagringsmetodene.

9.3.3 Komponenter

Oppdrettsbåten har mange viktige komponenter som inngår i det hydrogenbaserte systemet. Det vil inneholde 2 elektriske motorer, to PEMFC med lik levert effekt som dieselgenerator og to lagertanker. Den elektriske energien som produseres av brenselcellen vil først innom et styringssystem for å enten bli lagret på et batteri eller bli overført til motoren.

Oppdrettsbåten kan drives av en PEMFC som drives av hydrogen levert fra en 300 bar tank, men ingen av de nåværende lagringsmetodene kan lagre nok energi til en tur på over 100km. For å kunne levere nok effekt til å drive båtene ved mer enn 6 knop, anbefales en større PEMFC modul og et hydrogenlager som er enten 700 bar eller flytende hydrogen.

Basert på informasjonen om driftsprofilen og hydrogenteknologi, velges hydrogengass under 700 bars trykk. Energilageret (2x1000l hydrogentanker) kan lagre 2x876kWh energi, men kun 2x482 kWh kan produseres av brenselcellen. For sirkulasjon av hydrogenet vil det være behov for en pumpe. Det kan være nødvendig å installere et lite dieselaggregat, eller annet energilager, dersom det er behov for mer redundans.

9.3.4 Bruk av alternativet i fremtiden

Fremtidige metoder for å lagre hydrogen i fast stoff, og utvikling i produksjon av brenselceller kan føre til at fremtidige oppdrettsbåter kan drives av rent hydrogen, både på lange turer og tunge oppdrag. Selv om det kan være behov for mellomlagring av hydrogen, vil dette hydrogenet ha et lavt trykk i forhold til de eksisterende måtene for å lagre hydrogengass.

10 Diskusjon, valg av alternativ og forslag til videre arbeid

10.1 Diskusjon av alternativene

De presenterte alternativene til et konvensjonelt dieselsystem har ulike fordeler og ulemper, men systemet som velges må oppnå en viss rekkevidde. I henhold til informasjon om fart, effektbruk og ønsket rekkevidde, vil batterimodulen (levert av SAFT) og hydrogenløsningen lagre nok energi for en arbeidsdag, men ikke nok til å foreta en lengre tur. Dersom det skulle være behov for en lang og/eller tung arbeidsdag kan det være nødvendig med en løsning som kombinerer energilageret til et dieselsystem og batteri/hydrogen. Ved bruk av fornybar diesel og en batteri/hydrogenkombinasjon vil karbonutslippene være minimale. Karbonutslippet vil være del av den naturlige karbonsyklusen og dieselgeneratoren er ikke hoved energikilden.

Selv om det stadig kommer flere hydrogenfyllestasjoner og hydrogenløsningene kan gi en lengre rekkevidde enn batteriløsningene, er batteriløsningen rangert over hydrogenløsningen.

Hydrogenløsningen innebærer et mer komplekst driv- og lagringssystem, og mer utstyr for påfylling og mellomlagring av drivstoffet. Ved bruk av batterimoduler skal det samme utstyret som brukes for å lade biler kunne brukes for opplading av båten, og batteristyringssystemene leveres integrert med modulene. Lagres hydrogenet i flytende form har oppdrettsbåten større rekkevidde enn med bruk av batterimodulene, men fortsatt mye lavere enn diesel. Står valget mellom batterimoduler og en hydrogenløsning, bør den mest tilgjengelige løsningen velges.

Det foregår mye forskning om batterier og hydrogen, og det er ikke utenkelig at rekkeviddene til hydrogen- og batterisystemer øker i løpet av 5 år. Hydrogentanker med høyere kapasitet og battericeller med bedre kjølesystemer og høyere energitetthet kan føre til at dieselbruket opphører helt i oppdrettsnæringen.

10.2 Valg av energisystem

Alternativene som er presentert i seksjonene 9.1, 9.2 og 9.3 er rangert etter preferanse for et planlagt oppdrettsanlegg, og tilgjengeligheten til drivstoff, rekkevidde, og påfyllingsmulighet er viktige kriterier når det kommer til hvilket alternativ som velges. På grunn av behovet for å kunne utføre en lengre reise, utføre ekstra arbeid ved oppdrettsanlegget, tilgangen på batterimodulen og billigstrøm anbefales en kombinert batteri- og fornybar dieselløsning for oppdrettsbåten.

Dersom en ser bort fra behovet for å lagre nok energi til tungt arbeid og en lengre tur, vil en løsning med to batterisystemer være det beste valget for casen. Batterifremdrift bør velges fremfor hydrogenfremdrift med mindre brenselceller og annet nødvendig utstyr for hydrogenlagring er mer tilgjengelig.

10.3 Forslag til videre arbeid

For å ha et bedre grunnlag for å velge energisystem anbefales det å se på følgende ting:

- Beregne tilgjengelig volum for batterier og andre energisystemer. Dersom lagringsplassen er større eller mindre enn det antatt i oppgaven, kan dette ha stor effekt på rekkevidden.
- Finne en standard for bruk av de alternative energisystemene. For å sikre at båten ikke havarerer eller mister kontroll over fartøyet bør det lages en standard som tar hensyn til det som kan gå galt. Det er også nødvendig å definere reservesystemene som må inkluderes for de ulike energisystemene.

- Forbedre driftsprofilen. Driftsprofilen som brukes i oppgaven bør forbedres og dersom energimengden som brukes ved oppdrett endres så endres rekkevidden.
- Beregne levert effekt ved ulik fart eller empiriske forsøk med modeller. Rekkevidden er avhengig av fart, hvor lange farten holdes, og effektforbruket ved denne farten.

11 Konklusjon

Når et nytt og miljøvennlig energisystem velges for en oppdrettsbåt, hvor diesel fortsatt er dominerende, er det viktig at systemet er energieffektivt og fremtidsrettet. Det er enda ikke noen lovforskrifter eller standarder for elektrisk fremdrift av oppdrettsbåter, og markedet for alternative løsninger er umodent.

Av de forskjellige teknologiske alternativene som er undersøkt, utmerker batteriteknologiene seg med god virkningsgrad, oppladingsmulighet og lave utslipp. Fremtidig utvikling vil føre til økt energitetthet, og dermed kan båtens rekkevidde bli høy nok til å drifte oppdrettsanlegg som ligger langt unna havnen. Brenselceller har lave utslipp, men også en lavere virkningsgrad og dermed større energitap i fremdriftssystemet. Flere av hydrogenløsningene høyere rekkevidde enn batterisystemene, en rekkevidde som øker med teknologiutviklingen.

Basert på den presenterte informasjonen konkluderes det at det kombinerte systemet, som har både batterier og fornybar diesel som energikilde, er det beste valget. Systemet har nok energi til å utføre de daglige arbeidsoppgavene og dieselgeneratoren kan brukes dersom energibehovet overskrider energimengden i batteriene. Batteri- og hydrogenløsningene har problemer med å lagre nok energi til å utføre lengre og mer arbeidskrevende oppdrag, men kan brukes for det planlagte oppdrettet ved Brennevinsgrunnen dersom driftsprofilen brukt i rapporten stemmer.

Bibliografi

- [1] Dagens Næringsliv, «Laks verdt mer enn olje - DN.no,» 13 January 2016. [Internett]. Available: <http://www.dn.no/nyheter/naringsliv/2016/01/13/0848/laks-verdt-mer-enn-olje>. [Funnet 1 February 2016].
- [2] «SWASH SUBMERGED SINGLE HULL WITH ACTIVE SURFACE STABILIZATION,» 2014. [Internett]. Available: http://www.bluebird-electric.net/SWASH_Submerged_Single_Hull_Active_Surface_Stabilization.htm. [Funnet 21 April 2016].
- [3] DNV GL, ZEM and Grenland Energy, «DNV GL Guideline For Large Maritime Battery Systems,» 2014.
- [4] O. R. Valmot, «Ny «fornybar» diesel gagnar både miljøet og motoren - Tu.no,» 8 October 2015. [Internett]. Available: <http://www.tu.no/artikler/ny-fornybar-diesel-gagnar-bade-miljoet-og-motoren/275952>. [Funnet 31 Mars 2016].
- [5] Alternative Fuels Data Center, «Microsoft Word - fuel_comparison_chart NG Updates 10_27_B_GCM HP(2).docx,» 10 October 2014. [Internett]. Available: http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf. [Funnet 1 April 2016].
- [6] H. A. Tvete, «ReVolt_Main_Report,» 2015.
- [7] C. W. T. Siang Fui Tie, «A review of energy sources and energy management system in electric vehicles,» 2012.
- [8] S. J. Y. K. Jaephil Cho, «Commercial and research battery technologies for electrical energy,» p. 101, 2015.
- [9] B. Scrosati, «Recent advances in lithium ion battery materials».
- [10] Y.-J. K. S.-W. E. N.-S. C. K.-W. K. S.-B. C. Sang-Min Leea, «Improvement in self-discharge of Zn anode by applying surface modification for Zn-air batteries with high energy density,» 2012.
- [11] Y. E.-E. Alexander Kraytsberg, «Review on Li-air batteries—Opportunities, limitations and perspective,» 2010.
- [12] M. B. S. F. E. Q. P. M. Doretta Capsoni, «Recent advances in the development of Li-air batteries,» 2012.
- [13] D. N. M. L. V. Yartys, «Metal hydrides as negative electrode materials for Ni-MH,» 2016.
- [14] I. S. J. L. S. Bruno G. Pollet, «Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects,» 2012.

- [15] A. A. M. Nurhaswani Alias, «Advances of aqueous rechargeable lithium-ion battery: A review,» 2014.
- [16] Y. I. K. N. R. Y. M. B. Takashi Katoha, «Lithium/water battery with lithium ion conducting glass–ceramics electrolyte,» 2011.
- [17] A. S. O. G.-B. R. V.-R. Francisco Díaz-González, «A review of energy storage technologies for wind power applications,» 2012.
- [18] H. H. Kvisle, «www.ladestasjoner.no,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.ladestasjoner.no/ladehjelpen/teknologi/38-type-elbilplugger>.
- [19] C. Chryssakis, H. Brinks og T. King, «The Fuel Trilemma: Next generation of marine fuels,» DNV GL, 2015.
- [20] G. W. Crabtree og M. Dresselhaus, «The Hydrogen Fuel Alternative,» *MRS Bulletin*, vol. 2008, pp. 428-428, April 2008.
- [21] H. J. Alves, C. Bley Junior, R. R. Niklevicz, E. P. Frigo, M. S. Frigo og C. H. Coimbra-Araújo, «Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells,» *International Journal of Hydrogen Energy*, pp. 5215-5225, 1 May 2013.
- [22] Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, «Wasserstoff Daten - Hydrogen Data,» [Internett]. Available: <http://www.h2data.de>. [Funnet 14 February 2016].
- [23] D. J. Durbin og C. Malardier-Jugroot, «Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle application,» *International Journal of Hydrogen Energy*, pp. 14595-14617, 4 October 2013.
- [24] DOE Hydrogen and Fuel Cell Program, «Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs,» 2009.
- [25] Encyclopædia Britannica ImageQuest, «Liquid hydrogen filling station with test car,» [Internett]. Available: http://quest.eb.com/search/132_1305083/1/132_1305083/cite. [Funnet 21 April 2016].
- [26] A. Mekhilef, R. Saidur og A. Safari, «Comparative study of different fuel cell technologies,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 981-989, 21 October 2011.
- [27] O. Z. Sharaf og M. F. Orhan, «An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 810-853, 13 February 2014.
- [28] Encyclopædia Britannica ImageQuest, «Proton exchange membrane (PEM) fuel cell,» [Internett]. Available: http://quest.eb.com/search/309_365590/1/309_365590/cite. [Funnet 21 april 2016].
- [29] S. J. Peighambardoust, S. Rowshanzamir og M. Rowshanzamir, «Review of the proton exchange membranes for fuel cell application,» *International Journal of Hydrogen Energy*, pp.

9349-9384, 19 June 2010.

- [30] I. Snøfugl, «<http://gemini.no/>,» 01 Juni 2015. [Internett]. Available: <http://gemini.no/2015/06/bolger-vil-gi-gronnere-skipsfart/>. [Funnet 04 04 2016].
- [31] World Maritime News, «UK: Rolls-Royce Delivers First Permanent Magnet Tunnel Thruster,» 20 September 2012. [Internett]. Available: <http://worldmaritimenews.com/archives/65791/uk-rolls-royce-to-delivery-first-permanent-magnet-tunnel-thruster/>. [Funnet 21 04 2016].
- [32] US EPA, «AP-42, Vol. I, 3.3: Gasoline And Diesel Industrial Engines,» 1996. [Internett]. Available: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch03/final/c03s03.pdf>. [Funnet 15 04 2016].
- [33] A. B. Leoneti, V. Aragão-Leoneti og S. V. W. Borges de Oliveira, «Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol,» *Renewable Energy*, *Volume 45*, pp. 138-145, September 2012.
- [34] Wikipedia, «<https://en.wikipedia.org/>,» [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotor_ship. [Funnet 21 04 2016].
- [35] Wikipedia, «https://en.wikipedia.org,» [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium%E2%80%93air_battery. [Funnet 21 04 2016].
- [36] Making-hydrogen.com, «Hydrogen Fuel Cell,» [Internett]. Available: <http://www.making-hydrogen.com/hydrogen-fuel-cell.html>. [Funnet 21 April 2016].
- [37] Encyclopædia Britannica ImageQuest, «Hydrogen fuel cell car refuelling,» [Internett]. Available: http://quest.eb.com/search/132_1213264/1/132_1213264/cite. [Funnet 21 April 2016].
- [38] Beluga Group, «Beluga Group Press Release,» [Internett]. Available: <http://www.ship.gr/news/beluga.htm>. [Funnet 21 April 2016].

Vedleggsliste

Vedlegg 1: Elektrisk motor, TEMA

Vedlegg 2: Diesलगenerator, John Deere

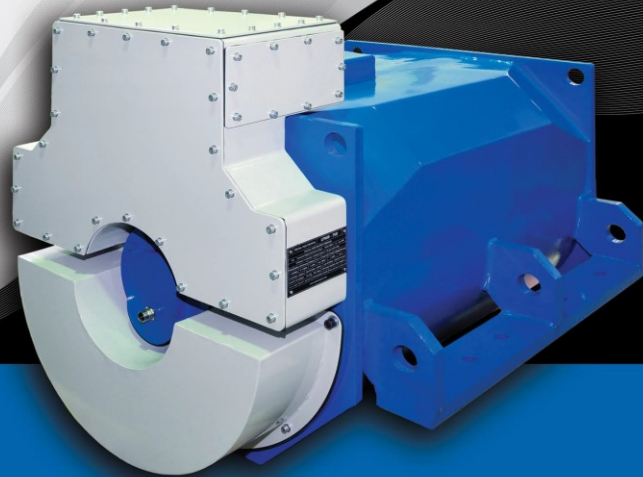
Vedlegg 3: Batterisystem, EST-Floatch

Vedlegg 4: Batterisystem, SAFT

Vedlegg 5: Brenselcelle PEMFC, Ballard

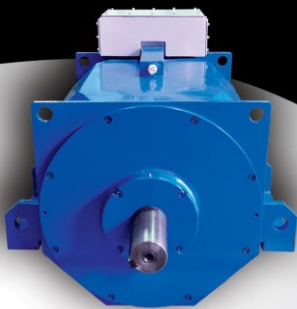
Vedlegg 1

TEMA LPMR
Reluctance Supported
Permanent Magnet Motors



*Practicing the advantage of a new
permanent magnet motor technology*

450-1350 HP



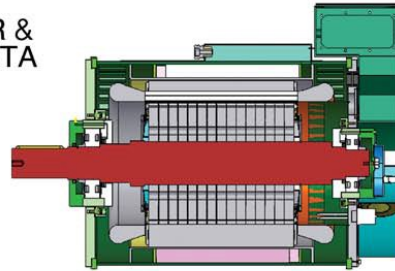
LPMR
Your **Permanent Power**

*Enjoy the silence and vibration free propulsion
Reduce engine room & increase your useful space
Increase the efficiency & protect the nature
Enlarge your cruising range
Go permanent magnet motor propulsion...*

TEMA d.o.o.

phone. +385/52 216 740
fax. +385/52 507 599
email. info@tema.hr
www.tema.hr

LPMR PERMANENT MAGNET MOTOR & GENERATOR FAMILY - TECHNICAL DATA

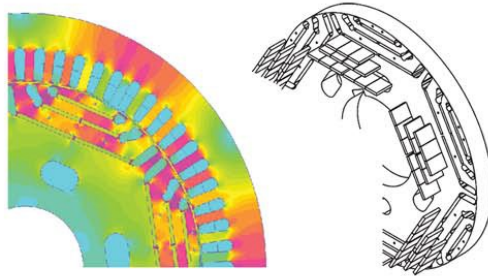


Flange = 780x780mm Isolat.Class = H Twtin = 25°C
 Nnom = 1800 RPM Thrm.Class = F Qwtmin = 4m³/h
 Nmax = 3000/4000 RPM fnom = 90 Hz Pwtmax = 5 bar
 Mch.Prt IP23&IP54 fmax = 200 Hz cos ϕ = 0,85 - 0,99

Motor Type Ups = 400/460 Vrms	Pnom [KW]	Pnom [HP]	To [Nm]	Tnsp [Nm]	Effc [%]	Nbase [RPM]	Nmax [RPM]	Lovall [mm]	Wght [Kg]
LPMR-350.6.07AW	350	469	2034	1858	96,2	4000	4000	1164	733
LPMR-400.6.08AW	400	536	2346	2123	96,3	4000	4000	1200	832
LPMR-450.6.09AW	450	603	2620	2389	96,3	4000	4000	1236	931
LPMR-500.6.10AW	500	671	2975	2654	96,5	3800	4000	1272	1030
LPMR-550.6.11AW	550	738	3210	2919	96,6	3450	4000	1308	1129
LPMR-600.6.12AW	600	805	3520	3185	96,8	3130	4000	1344	1228
LPMR-650.6.13AW	650	872	3735	3450	96,5	2900	4000	1380	1327
LPMR-700.6.14AW	700	939	4130	3715	96,7	2700	3000	1416	1426
LPMR-750.6.15AW	750	1006	4323	3981	96,8	2500	3000	1452	1525
LPMR-800.6.16AW	800	1073	4713	4246	96,7	2350	3000	1488	1624
LPMR-850.6.17AW	850	1140	4987	4512	96,9	2200	3000	1524	1723
LPMR-900.6.18AW	900	1207	5212	4777	96,9	2100	3000	1560	1822
LPMR-950.6.19AW	950	1274	5441	5042	96,8	2000	3000	1596	1921
LPMR-1000.6.20AW	1000	1341	5823	5308	96,7	1900	3000	1632	2020

Motor Type Ups = 550/690 Vrms	Pnom [KW]	Pnom [HP]	To [Nm]	Tnsp [Nm]	Effc [%]	Nbase [RPM]	Nmax [RPM]	Lovall [mm]	Wght [Kg]
LPMR-350.6.07BW	350	469	2034	1858	96,3	4000	4000	1164	735
LPMR-400.6.08BW	400	536	2346	2123	96,5	3850	4000	1200	833
LPMR-450.6.09BW	450	603	2620	2389	96,5	3400	4000	1236	932
LPMR-500.6.10BW	500	671	2975	2654	96,6	3050	4000	1272	1035
LPMR-550.6.11BW	550	738	3210	2919	96,6	2800	4000	1308	1130
LPMR-600.6.12BW	600	805	3520	3185	96,9	2550	4000	1344	1231
LPMR-650.6.13BW	650	872	3735	3450	96,6	2360	4000	1380	1332
LPMR-700.6.14BW	700	939	4130	3715	96,9	2200	3000	1416	1428
LPMR-750.6.15BW	750	1006	4323	3981	96,8	2050	3000	1452	1529
LPMR-800.6.16BW	800	1073	4713	4246	96,9	1920	3000	1488	1627
LPMR-850.6.17BW	850	1140	4987	4512	96,8	1800	3000	1524	1725
LPMR-900.6.18BW	900	1207	5212	4777	97,0	1700	3000	1560	1826
LPMR-950.6.19BW	950	1274	5441	5042	96,9	1620	3000	1596	1923
LPMR-1000.6.20BW	1000	1341	5823	5308	96,8	1530	3000	1632	2022

- Rotor position feedback resolver sensor built in
 - All motors are water cooled - forced ventilation cooling system on request
 - All motors can operate in 40°C ambient temperature with different tech specification
 - Motors can be supplied in a frameless OEM version
- We retain the right to change any data without prior notice.



Energy Saving & Maintenance Free LPMR motor family join synchro reluctance and permanent magnet torque production to deliver high KW/cm³ features and to extend the constant power speed range capability. High overcurrent capability and low rotor inertia makes these motors highly dynamic. These motors have very high efficiency and low torque ripple. Stator only dissipation facilitates minimizing the cooling system.

FEATURES ■

- Embedded Permanent Magnet Segments
- Mechanical, chemical & magnetic PM protection
- PM rotor robust on direct motor terminals short circuit
- Constant torque & constant power control features
- Very low torque ripple
- Low vibration
- High efficiency
- High W/Kg ratio
- Ambient friendly machine
- Efficient water cooling system
- Low thermal dissipation
- Low operating temperature
- Long life

BENEFITS ■

- Smaller dimensions
- Lower weight
- Lower cost
- Smoother running
- Constant torque across RPM's
- Short circuit on the motor terminal support
- Mechanically protected PM segments
 - Nickel Plated
 - Resin Barrier
- Both bearings isolated
- Higher efficiency under various conditions

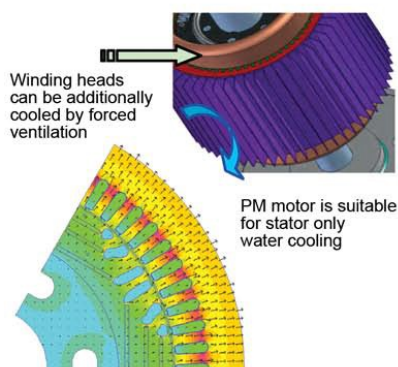
PRACTICE ■

- PM & reluctance torque motor contribution
- All winding wire connections outside the machine
- 3x3 phase system wiring
- 1x3 or 3x3 phase system supply
- Double bearing isolation system
- Three or nine phases connection
- Closed mechanical design
- Robust mechanical construction
- Water or Air cooling system
- Perfectly fits submersed applications
- Frame or frameless delivery
- No maintenance required

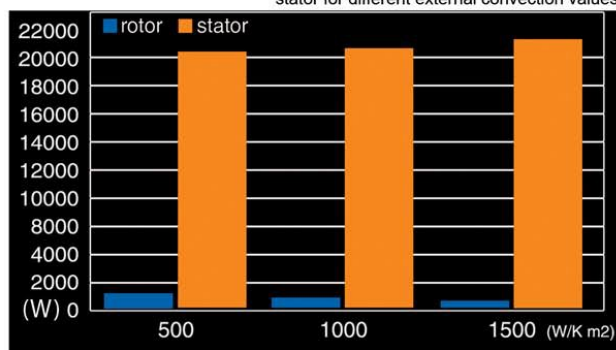
APPLICATIONS ■

- Shipbuilding
- Marine propeller and jet propulsion
- Wind turbines
- Electric vehicles traction
- Mining and drilling
- Oil industry
- Cement and sugar milling
- Paper industry
- Steel and plastic industry
- Water pumps
- Compressors

Rotor dissipation absence makes these motors extremely efficient in a very extended speed and power range.



Heat fluxes drained through the rotor and stator for different external convection values



High quality winding, advance isolation technology and no wire connections inside the motor makes these machines highly reliable and inverter compliant.

LPMR motors can be supplied over single three phase or triple three phase inverters -this way combining low power drive and redundant supply for high demanding applications



Three separate winding groups



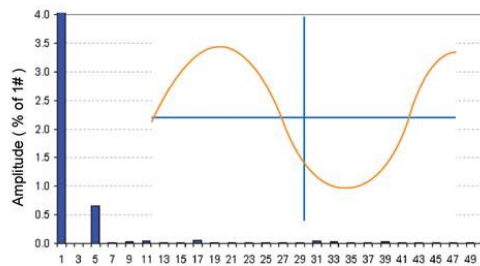
PM segments embedded inside the rotor structure



No wire connections inside the machine

Specific design makes LPMR motors very efficient and easy to cool, producing a high torque with low operation temperature and compact construction.

The BEMF is of a pure sinusoidal waveform that enables LPMR motors for a very smooth running generating low vibration and torque ripple.



Connection box is accessible from three sides making multiple wiring supply easy and comfortable.

Solid rotor enables reliable motor high speed operation. Every PM segment is mechanically and chemically protected.

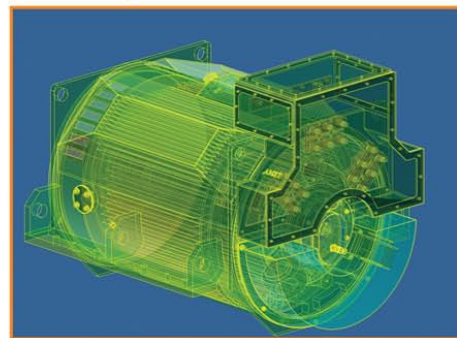


Efficient cooling system & low losses reduce LPMR motors overall dimensions



Special rotor design allows extended motor control in Constant Power speed range

TEMA
LPMR



Closed cooling system and robust mechanical design

Vedlegg 2

PowerTech™

6090SFM75 Diesel Engine

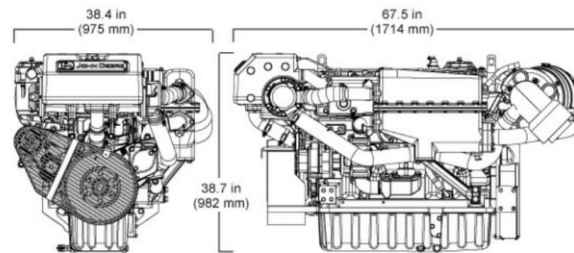
Marine Generator Drive Engine Specifications



Dimensions



6090SFM75 shown



Certifications

EPA Commercial Marine Tier 2
IMO MARPOL Annex VI Compliant

General data

Model	6090SFM75	Length - mm (in)	1714 (67.5)
Number of cylinders	6	Width - mm (in)	975 (38.4)
Displacement - L (cu in)	9.0 (549)	Height, Centerline to Top-- mm. (in)	662 (26.1)
Bore and Stroke-- mm (in)	118.4 x 136 (4.66 x 5.35)	Height, Centerline to Bottom-- mm. (in)	320 (12.6)
Compression Ratio	16.0 : 1	Weight, dry-- kg (lb)	1066 (2350)
Engine Type	In-line, 4-cycle	Maximum Installed Angle	Front Up – degrees 12 Front Down – degrees 0
Aspiration	Air-to-sea water		

Features and benefits

High Pressure Common Rail Fuel System

- Higher (33%) injection pressures, up to 1600 bar (23,000 psi)
- Variable injection pressure and timing control

Electronic Engine Control Unit (ECU)

- Advanced fault code diagnostics and customizable engine protections ensure reliability and uptime. Provides highly customizable features and trim to integrate your vessel.

Watercooled Turbocharger and Exhaust Manifold

- Cooler and quieter environment for vessel and crew
- Reduced external connections eliminates hoses and fittings that can leak or break

Replaceable Cylinder Liners

- Replaceable wet-type cylinder liners are precision-machined and hardened for long life. Allows engine to be rebuilt to original specifications.

Heat Exchanger

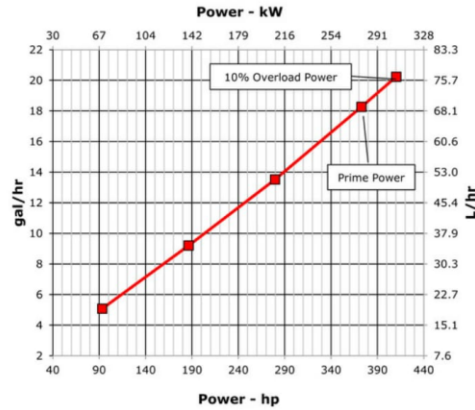
- High-capacity heat exchanger provides reliable operation in adverse conditions.

High Power Density

- High power density offers more power in a smaller package

Photographs may show non-standard equipment.

Performance curve



System data	1800 rpm	1500 rpm
Air system		
Engine air flow - m ³ /min (ft ³ /min)	22.9 (808.7)	14.6 (515.6)
Exhaust system		
Dry - mm (in)	127 (5.0)	127 (5.0)
Wet - mm (in)	139.7 (5.5)	139.7 (5.5)
Cooling system		
Coolant flow - L/min (gal/min)	250 (66.0)	216 (57.1)
Sea water system		
Pump flow - L/min (gal/min)	276 (72.9)	231 (61.0)
Fuel system		
Governor type	Electronic	Electronic
Governor regulation - %	Isochronous or Droop	Isochronous or Droop
Total fuel flow - L/hr (gal/hr)	221 (58.4)	221 (58.4)

Performance data	1800 rpm	1500 rpm
10% overload engine Power - kW (hp)	306 (410.4)	244 (327.2)
Prime engine power - kW (hp)	278 (372.8)	222 (297.7)
Low idle speed - rpm		
BMEP - kPa (psi)	2061 (299)	1972 (286)

Performance data

Hz (rpm)	Generator efficiency %	Keel cooled		Power factor	Calculated gen-set rating	
		(no fan)			kW	kVA
50 (1500)	88-92	--	--	0.8	195-204	244-255
60 (1800)	88-92	--	--	0.8	245-255	306-319

John Deere Power Systems
 3801 W. Ridgeway Ave.
 PO Box 5100
 Waterloo, IA 50704-5100
 Phone: 1-800-533-6446
 Fax: 319.292.5075

John Deere Power Systems
Usine de Saran
 La Foulonnerie - B.P. 11.13
 45401 Fleury les Aubrais Cedex
 France
 Phone: 33.2.38.82.61.19
 Fax: 33.2.38.82.60.00

All values at rated speed and power with standard options unless otherwise noted. Specifications and design subject to change without notice.

Litho in U.S.A. (15-10) © 2015 JOHN DEERE



EST-FLOATTECH INTRODUCTION

Medemblik, February 2016

EST-FLOATTECH



- Energy storage solution provider for marine and landbased grid
 - Focus on yachts & commercial vessels
 - As well as off grid (mobile) solutions
- Founded 2004
 - Electro-technical background knowlegde of complete shipsystems
 - Many years of Marine experience, 174 years to be exact....
- Small and integrated organization
 - Focus on total electronical system not only battery
 - Adaptable and flexible



EST-FLOATTECH



- Some highlights
 - In 2011 & 2012 project winner of Global super yacht award
 - In 2012 Europe's first hybrid multi task work boat in Amsterdam
 - In 2013 NL's first lithium polymer hybrid canal boat in Amsterdam
 - In 2014 world's first hybrid powered off grid to UN (Mali)

- 2014 Ponooc joined as equity partner for next phase growth
 - Sister company of Pon group
 - NL 2nd largest family company
 - founded in 1895, 2014 €6B revenue

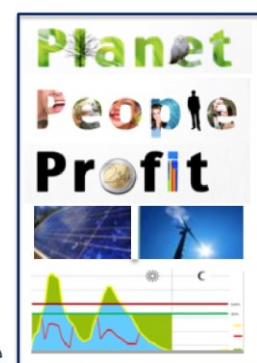


WHAT IS EST ABOUT

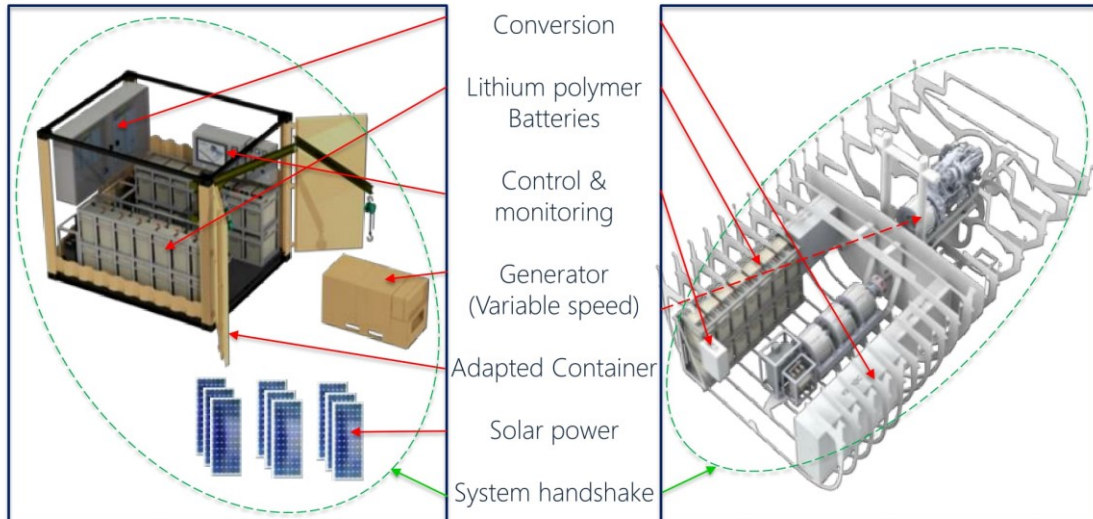


- We deliver energy in the most efficient way, at any time, in any place, in any form, always safe, in a one stop shop

- Reduced CO2 footprint
- More comfort: no emission, no smell, no noise
- Cost saving by less fuel, maintenance & logistics
- Continuity by using available renewable energy
- 24/7 stable energy & full remote insight
- Project reliability: one partner = system handshake

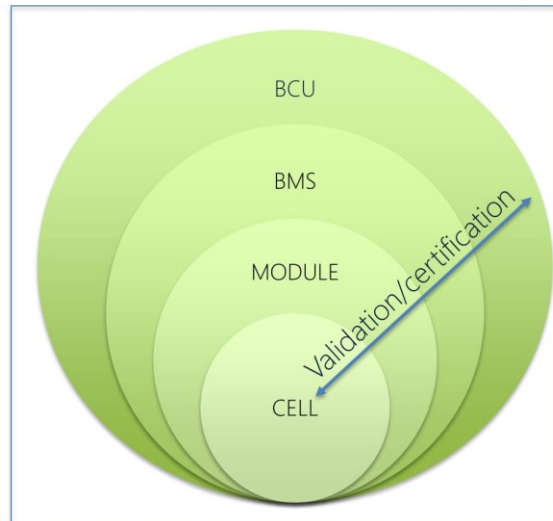


WHAT DO WE DELIVER?



OUR DESIGN PHILOSOPHY

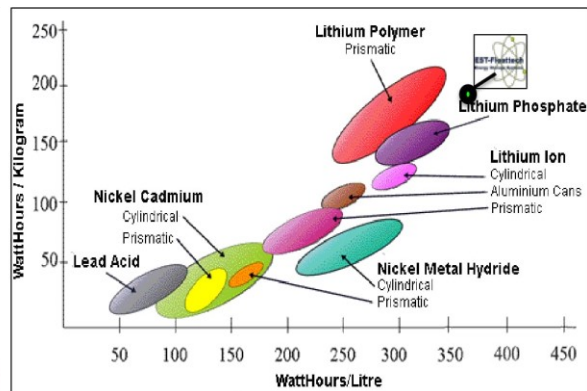
- Safe and reliable battery power is about the complete system!
 - Cell chemistry
 - Module
 - BMS
 - Master or BCU
- Quality of Individual elements
- The integration of the elements
- The validation of it all



EST PRODUCT SPECS LITHIUM POLYMER TECHNOLOGY



- Deliberate choice for Li-NMC
- Kokam Ltd, South Korea, cell partner
- World's leading Li-NMC cell manufacturer
- Specialized in mission critical, high safety standards applications
- e.g. submarines, jet fighters, NASA application



EST PRODUCT SPECS Kokam Li-NMC cell

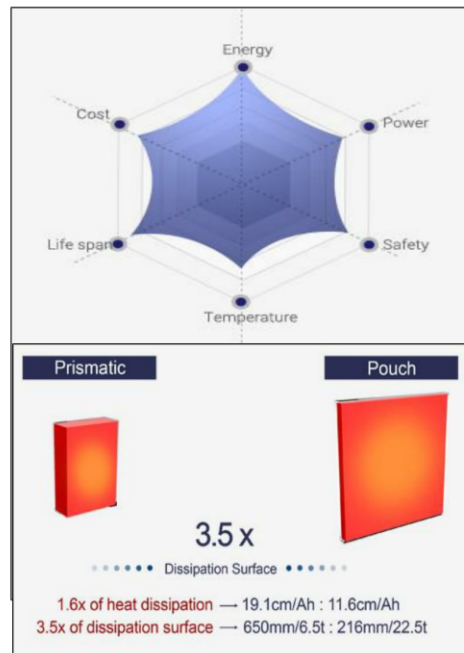
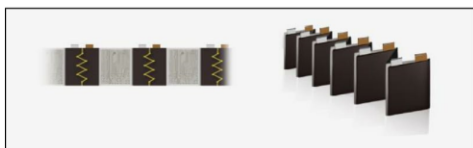


Kokam LI-NMC cell technology:

- High energy density
- Long lifespan
- Cost effective
- Best balanced on all aspects

Safety

- Pouch cells: 3.5 x more surface
- Zig-Zag folding for low impedance
- Result: less heat & high efficiency



EST PRODUCT PRODUCT HIGHLIGHTS



MODULE

- Spring loaded
- Low impedance
- Limited heat
- Maintenance free
- IP 67 casing

BMS

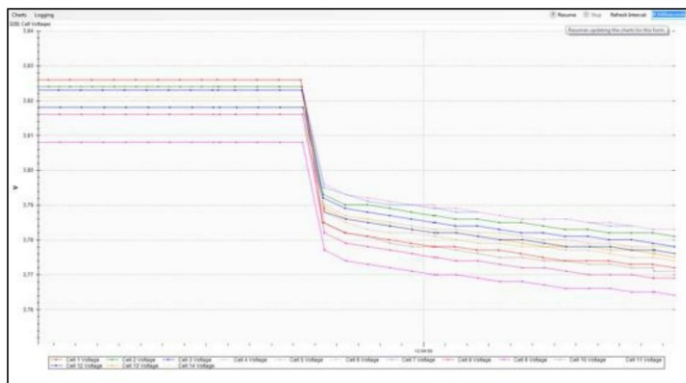
- Intelligence of battery
- Monitors individual cells
- Controls safety system
- Safe: redundant system
- Safe: active balancing

BCU

- Safe: redundant system
- Pre-charge on DC-bus
- Master / Slave
- DNV certified

Example: 756 kWh system

EST PRODUCT – DEEP DIVE ACTIVE BALANCING & MONITORING







- Full insight in battery thru monitoring each individual cell
- Full insight of internal resistance of individual cells
- Voltage gaps real time balanced between cells of 10mV
- As well as voltage differences between battery modules

- Max. insight in heart of battery
- No overflow & heating of indiv. cell
- No chain reaction
- Never unbalanced system
- Maximum safety

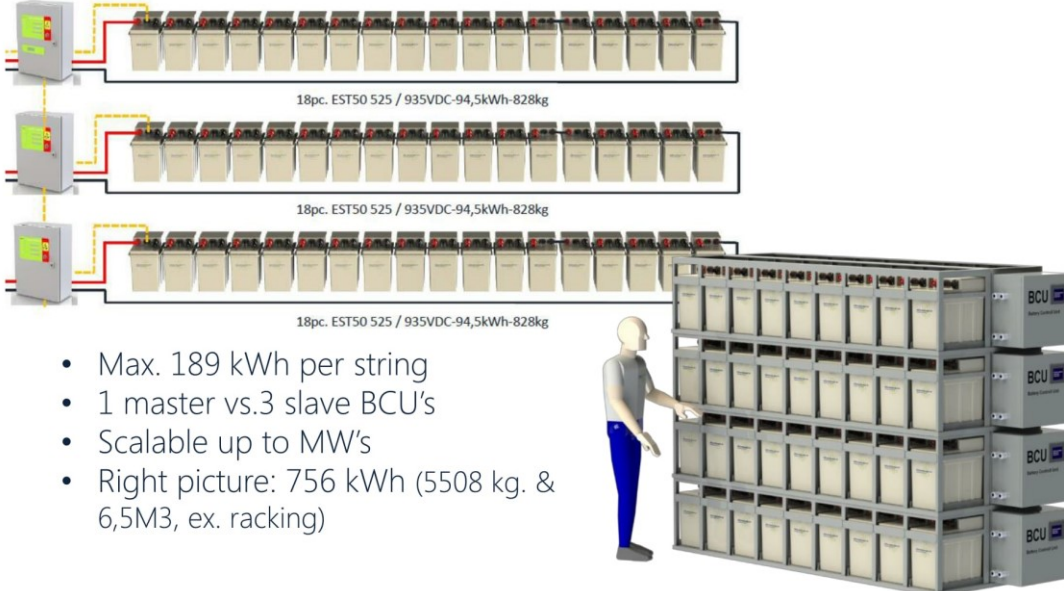
SYSTEM

3 DIFFERENT TYPES OF BATTERY MODULES



 <p>GREEN ORCA BCU 20 - 1000 Volts 27 kg 500 x 400 x 260 mm Up to 18 batteries in string Data gateway CAN NMEA2000 ModBus TCP Data logging</p>	 <p>GREEN ORCA 620 26 Volts 47 kg 505 x 540 x 240 mm 240 Ah 6.2 kWh Max 240 A charge Max 240 A discharge Peak 600 A discharge IP 65 Active balancing Warranty > 20 yrs 60% DoD >11.000 cycle</p>	 <p>GREEN ORCA 525 52 Volts 47 kg 505 x 540 x 240 mm 100 Ah 5.25 kWh Max 300A charge Max 300 A discharge Peak 600 A discharge IP 65 Active balancing Warranty > 20 yrs 60% DoD >11.000 cycle</p>	 <p>GREEN ORCA 1050 52 Volts 75 kg 505 x 540 x 325 mm 200 Ah 10.5 kWh Max 200 A charge Max 300 A discharge Peak 600A discharge IP 65 Active balancing Warranty > 20 yrs 60% DoD >11.000 cycle</p>
---	---	---	--

BCU – EXPANDING THE SYSTEM MODULAR BASED

18pc. EST50 525 / 935VDC-94,5kWh-828kg

18pc. EST50 525 / 935VDC-94,5kWh-828kg

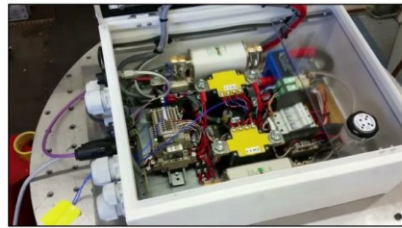
18pc. EST50 525 / 935VDC-94,5kWh-828kg

- Max. 189 kWh per string
- 1 master vs.3 slave BCU's
- Scalable up to MW's
- Right picture: 756 kWh (5508 kg. & 6,5M3, ex. racking)

EST PRODUCT CERTIFICATION



- Lloyd's certified
- Currently DNV/GL 2015 certification conform stricter IEC standards
- Cell, Module, BMS as well as BCU certified for real and integral safety
- When certified, world's first DNV/GL 2015 full battery system certification
- Passed all mechanical test
 - Heat test (70 celcius)
 - Cold test (-10 celcius)
 - Damp test (95% humidity)
 - Vibration test (X-, Y-, & Z-axle)
- Passed DNV-surveyor audit
- EMC test performed this month
- After passed EMC, expected to be certified within max. 2 months
- ABS certification approval process will follow shortly



EST SUMMARY



- Leading energy storage system supplier
- Driven by technology
- Delivering lower emissions, less cost, more reliability & increased comfort
- Backed up by leading cell manufacturer Kokam for BIC cell chemistry
- Backed up by leading family company Pon for continuity
- Delivering an integral approach: from cell to total system, fully validated
- Resulting in:
 - Leading ratio volume & weight vs. power
 - Full control on individual cell level for max. safety
 - No maintenance thru active balancing & advanced module build up
 - Extreme long life time >20yrs
 - Safe & rigid system
- Certified by Lloyd's & DNV-GL 2015 in progress

EST-FLOATTECH



- Questions?
- Any more information we can help you with?
- Please contact:
 - m.de.bos@est-floattech.com (Managing director)
 - p.van.wijk@est-floattech.com (Commercial director)
 - d.stam@est-floattech.com (Technical director)
 - m.vander.raaij@est-floattech.com (Account manager)
- Or visit our site at: <http://www.est-floattech.nl>



THANK YOU!

Medemblik, February 2016



Appendix

SOME EST PROJECTS - MARINE



Project: Wider 150.0 & 165.0
Customer: Wider shipyards
Question: Hybrid solution super yacht
Solution: Integrated battery pack
Power: 546 kWh
Additional: World's largest full battery electric propulsion so far

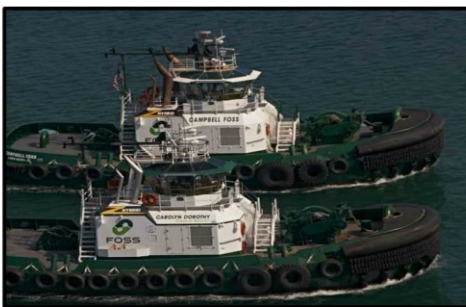


Project: Inoui
Customer: Vitters shipyards
Question: Extreme light hybrid solution for silent period
Solution: Integrated battery pack
Power: 68 kWh
Additional: World's lightest hybrid carbon sailing yacht

SOME EST PROJECTS - MARINE



Project: Patrol boat
 Customer: Waternet
 Question: Less CO2 & cost saving in Adam
 Solution: Integrated battery pack
 Power: 136 kWh
 Additional: Waternet also operates 100% electric working boat

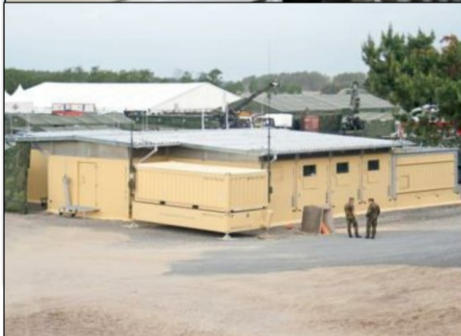


Project: Carolyn Dorothy & Campbell Foss
 Customer: Foss
 Question: Refit of existing hybrid pack
 Solution: Battery pack in existing tug
 Power: 2 x 150 kWh
 Additional: First hybrid tugs on US west coast

LAND BASED – UNITED NATIONS



Project name: Minusma
 Customer: United Nations
 Question: Self supplying deployable powerunit
 Date: 2014
 Solution: Full system: batteries, BCU, inverter technology, 1600 sqm. flexible PV
 Power: 272kWh
 Remarkable: World's first military 100% electric deployable power unit



Vedlegg 4

Seanergy® battery system

High energy and high power Li-ion battery system

The Seanergy® battery system has been designed to suit the various power and energy requirements of a large variety of marine applications.

Its modular design allows to adapt the battery configuration:

- to any system voltage from 48 V to 750 V,
- for floating or cycling applications,
- to any discharge pattern from high energy: energy requirements (hours or days of discharge) to very high power demands of seconds or minutes

Applications

- Passenger vessels (cruise liners, ferries, Ro-Pax, urban transports)
- Workboats (tugs, offshore vessels, administration ships, fishing vessels)
- Inland shippings (river-sea shuttles, pushers/tugs, freight)
- Leisure vessels (mega yachts, medium size yachts)

Seanergy® battery system

The Seanergy® battery system integrates power, safety, management and communication. It is a stand-alone rackable battery system, which offers the benefits of Saft Li-ion Super Iron Phosphate® technology in a qualified industrial design.

The Seanergy® battery system provides maintenance-free energy storage in a reduced volume, combining safety and high operational reliability with outstanding lifetime under the most difficult environmental conditions.

Features

Unprecedented design flexibility through:

- Series connection of base modules to suit system voltages of up to 750 V maximum
- One unique control module per string, containing battery management and communication
- Parallel operation

Highest energy/power density

- Seanergy® modules use battery cells LiFePO₄ VL 41M Fe 265 Wh/liter, or VL 30P Fe 200 Wh/liter high power cell

Stand-alone system

- Integrating power, controls, communication and safety into a standard rack-assembly



Nominal characteristics	
Nominal voltage (V) (with 14 modules max)	647
Capacity (C/5) (Ah)	82
Minimum energy (C/5) (kWh)	50
Nominal energy (C/5) (kWh)	53
Mechanical characteristics (standard cabinet with 14 modules)	
Width max (mm)	600
Height max (mm)	From 24U to 47U
Depth (mm)	800
Weight (without cabinet) (kg)	560
Maximum weight (with cabinet) (kg)	750
Electrical characteristics	
Voltage window (V)	529 to 745
Maximum charge voltage (V)	750
Maximum discharge current (A)	180
Maximum charge current (A)	180 (Power) - 80 (Energy)
Maximum time (h) at nominal current (95% State of Charge)	0.5 (Power) - 2 (Energy)



Smart operation

- State of charge and state of health indication
- Built-in battery control for efficient operation
- Redundant safety
- Comprehensive communication
- Compatible with standard rectifiers

Benefits

- Optimized battery configuration whatever application requirements, due to modular architecture with standardized base elements
- No development cost and time due to configure customized battery solutions
- Reduced battery space and weight
- Easy installation and upscaling
- High operational reliability
- Optimized supervision strategy though remote control/diagnostic
- Very long lifetime
- Preventive but not premature replacement at end of life

Safety

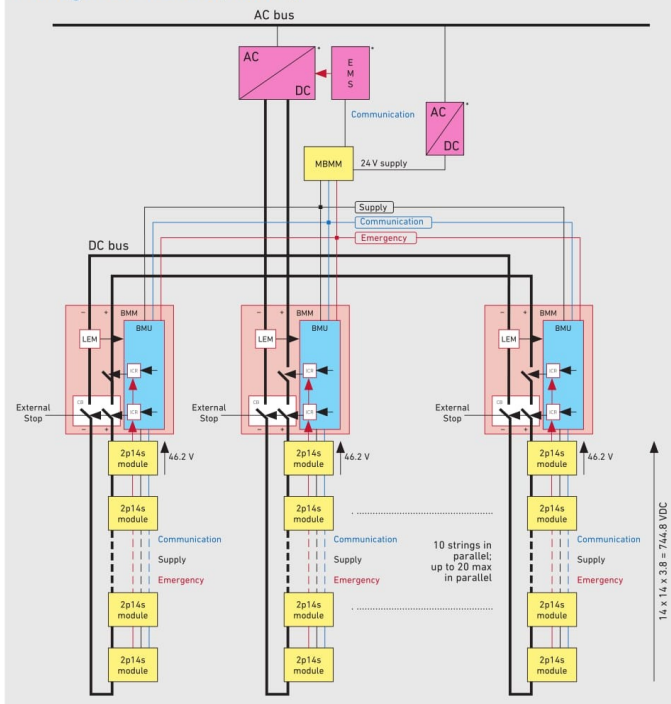
Redundant safety design to cope with component failure or abusive conditions:

- At cell level: no reaction in an abuse event with inert iron phosphate positive material, shutdown-effect separator, mechanical vent
- At module level: electronic board, individual cell voltage monitoring, module temperature monitoring, balancing, fuse
- At battery system level: electronic board, power switch, current sensor



Operating conditions	
Lifetime at +20°C perm (+68°F)	20 years
Lifetime at +40°C (+104°F)	>10 years
Cycle life (depending on delta DoD%; +20°C/+68°F)	from 3000 to 1 million cycles
Operating temperature	-25°C/+55°C (-13°F/+131°F)
Storage temperature	-40°C/+55°C (-40°F/+131°F)
Compliance to standards	
Module safety	EN 50178, cCSAus 60950, IEC 60950
United Nation Class	UN 3480
Hazard classification	Class 9
Transportation regulation compliance	UN recommendations for dangerous goods transportation, model regulations and manual tests and criteria 38.3
EMC	EN 61000-4-2 Class B / EN 61000-4-3 Class A / EN 614000-4-4 Class B / EN 614000-4-6 Class A / EN 55022 Class B
Protection class	IP 22

Example of a 500 kWh Battery System with a Master Battery Management Module (MBMM)



* Not supplied by Saft
** Consult Saft



Saft
Specialty Battery Group
12, rue Sadi Carnot
93170 Bagnolet - France
Tel. : +33 1 49 93 19 18
Fax : +33 1 49 93 19 69
www.saftbatteries.com

Doc No.: 35002-2-0515
Edition: May 2015
Data in this document is subject to change without notice and becomes contractual only after written confirmation.
Société par Actions Simplifiée au capital de 31 944 000 €
RCS Bobigny B 383 703 873
Produced in the UK by Arthur Associates Limited

Vedlegg 5

BALLARD®

PUTTING FUEL CELLS TO WORK

FCveloCity®-HD

Fuel Cell Power Module for Mass Transit Applications

85 kW

Description

Ballard's FCveloCity®-HD is the next-generation heavy duty fuel cell power module for use in zero-emission mass transit applications. The hydrogen fuelled power module offers a low risk, versatile and easy installation solution for system integrators, backed by Ballard's unmatched expertise and experience.



Features

High Performance – robust PEM fuel cells deliver the route flexibility, range, gradeability and top speeds demanded by transit operators.

Easy Integration – modular design with separate air and coolant sub-systems enable flexible and easy integration of components into the vehicle drive train and easy access for enhanced serviceability.

High Temperature Operation – permits a smaller cooling package for integration flexibility and generates HVAC heating, significantly improving overall vehicle fuel economy.

Climate Protection – IP-rated enclosure and freeze protection system to guard against premature deterioration of key module components in extreme climates.

High Pressure System – offers better performance, fuel efficiency and durability by preventing degradation of the fuel cell power module.

Fuel Efficiency – two to three times more efficient than CNG/diesel engines, fuel cell buses reduce overall fuel consumption.

Remote Diagnostics – direct or wireless connection allows customer to remotely monitor performance data and anticipate preventative maintenance.

Scalability – currently offered at 85 kW net power, the module is designed for scalability between 30 -200kW to match the requirements of the specific application.

Proven Reliability & Durability – demonstrated through exceptional bus availability and fuel cell module lifetime, with >18,000 hours of operation of a fuel cell power module in the field without failure.

Safety features – Integrated safety system with ventilation fans, H2 sensors, and smoke detectors built into the module to ensure highest safety and ease of installation.

System Integration Flexibility – collaborating closely with the system integrator, Ballard supports the integration of a variety of drive systems to optimize the transit application.

Zero-emission – PEM fuel cell power module to meet the mandates set by policy makers to reduce transportation emissions.

Humidification - integrated humidification system is maintenance free and provides maximum system performance and durability through a wide range of environmental conditions.

Specifications and descriptions in this document were in effect at the time of publication. Ballard Power Systems, Inc. reserves the right to change specifications, product appearance or to discontinue products at any time. Specifications given assume adherence to operating conditions detailed in the FCveloCity®-HD Integration Manual. (02/2016) SPC5104967-0A

BALLARD, Ballard®, Powered by Ballard®, FCgen® and FCveloCity® are trademarks of Ballard Power Systems Inc.

Ballard Power Systems, Inc.
9000 Glenlyon Parkway
Burnaby, British Columbia
Canada, V5J 5J8

TEL: (+1) 604.454.0900
FAX: (+1) 604.412.4700
www.ballard.com

BALLARD®

PUTTING FUEL CELLS TO WORK



PRODUCT SPECIFICATIONS

Technology	Fuel cell	Proton exchange membrane
Performance	Net power	85 kW
	Operating DC voltage range	280 - 420 V
	Rated net current	288 A
	Idle power	4 kW
Physical	Dimensions (l x w x h)	1130 x 869 x 506 mm
	Weight	256 kg (fuel cell module)
		125 kg (air and cooling sub-systems)
Fuel	Type	Gaseous hydrogen
	Composition	As per SAE specification J2719
Operation	Oxidant	Air
	Stack coolant	50/50 pure ethylene glycol and deionized water WEG 60° to 70°C
	Fuel supply pressure	8 barg nominal
	Fuel flow rate	1.7 g/s maximum
Safety Compliance	Certifications	ISO 6469-2:2009 ¹ , ISO 6469-3:2009 ¹ and ISO 23273:2013 ¹
	Enclosure	IP55
Monitoring	Control interface	CANbus
Emissions	Exhaust	Zero-emissions (no PM, NOx, SOx, CO or CO ₂)
	Sound level	Less than 75 dBA

¹ Specific clauses within each standards

Sub-system

The FCvelocity®-HD includes separate air and coolant systems for simplified and flexible integration into the electric drive system. These two discrete modules have been designed, tested and validated for transit bus and light rail applications.



Coolant sub-system

Delivers a water/ethylene glycol (WEG) mixture at a prescribed flow rate to the fuel cell module. Sub-system includes coolant pump, filter, piping, valves and freeze protection.



Air sub-system

Delivers air at a prescribed flow rate to the fuel cell stack to support the electrochemical reaction. Sub-system includes motor, controller, air compressor and a mass flow sensor.