

82200017-1 Åpen

Rapport

Hybrid Fiskebåt

Forprosjekt

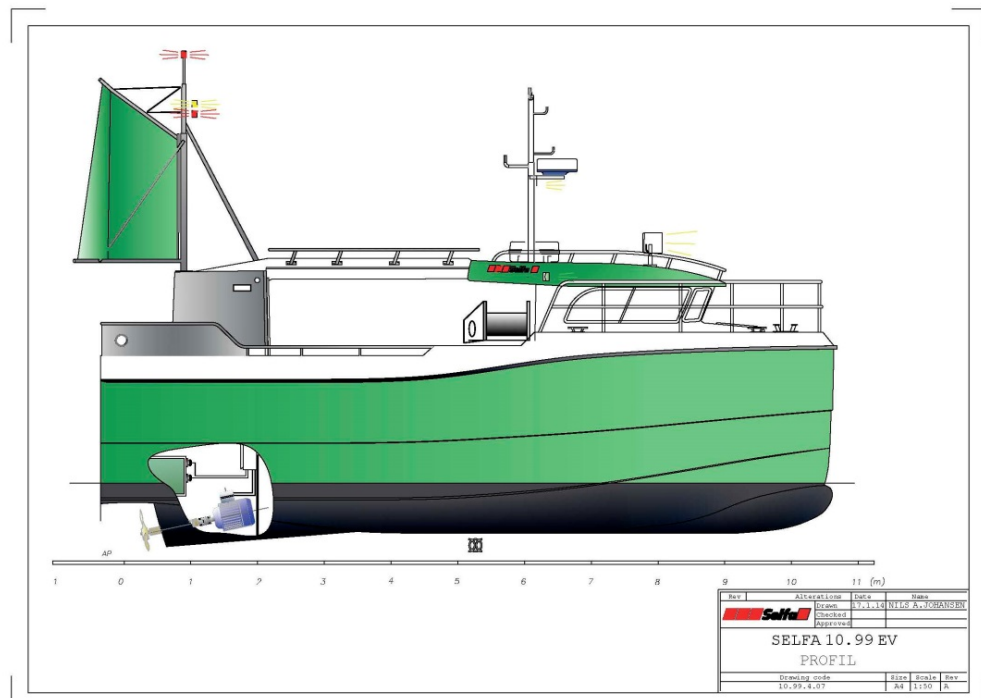
Forfattere

Lars Tandle Kyllingstad

Lasse Rindahl

Jørgen Vollstad

Jørn Eldby

**SINTEF Nord AS**

Ledelse og administrasjon

2014-12-10

Rapport

Hybrid Fiskebåt

Forprosjekt

EMNEORD:Fiskeri
Maskineri
Miljø
Hybrid
Simulering
Lønnsomhet**VERSJON**

2.0

DATO

2014-12-10

FORFATTER(E)Lars Tandle Kyllingstad
Jørn Eldby
Lasse Rindahl
Jørgen Vollstad**OPPDRAGSGIVER(E)**

Fiskeri og Havbruksnæringens Forskingsfond (FHF)

OPPDRAGSGIVERS REF.

Roar Pedersen

PROSJEKTNR

822000017

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

46 + vedlegg

SAMMENDRAG

Forprosjektet har simulert alternative hybride fremdriftssystemer for mindre fiskebåter. Motstand og energibehov under forflytting til og fra fiskefeltet, under setting av bruk, venting og haling er modellert. Ved å variere behovet for batteriet som energikilde under operasjonene, bestemmes krav til batteristørrelse. I tillegg er dagens og fremtidens lønnsomhet beregnet. Motstandsdata benyttet i simuleringen, har vært begrenset i de lave hastighetsområdene spesielt. Virkelig bunkerforbruk hos tilsvarende fartøystyper er benyttet for verifisering av modellen, og viser at samlet simulert energiforbruk stemmer godt med virkeligheten. Resultatene viser at rene batteriløsninger i dag for mindre hybride fiskebåter, ikke er lønnsom uten bruk av støtteordninger. Ved fortsatt fall i batterikostnadene vil nødvendig lønnsomhet kunne oppnås innen de neste 5-7 år. For driftsløsninger som krever mindre batteripakker, kan hybride løsninger være lønnsom allerede i dag. Reduserte driftskostnader for hybride løsninger bidrar vesentlig til denne lønnsomheten. Ved 100% batteridrift for denne flåten, forventes et redusert årlig CO₂-utslipp på over 80.000 tonn. Hvis forflytningen til og fra feltet baserer seg på dieseldrift og resten på batteridrift, reduseres utslippet med 40%. Redusert støy og avgasser under batteridrift bidrar samtidig positivt til fiskernes arbeidsmiljø og helse. For å sikre god markedsintroduksjon og riktig dimensjonering av fremdriftsløsning, er det nødvendig å øke kunnskap om virkelig motstand og energibehov under alle vær- og vindforhold og driftssituasjoner.

UTARBEIDET AV

Jørn Eldby

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**Karl Gunnar Aarsæther
Leonore Olsen**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Lasse Rindahl

SIGNATUR

SINTEF Nord AS

Postadresse:
Postboks 118
9252 Tromsø

Sentralbord: 73 59 30 00

Foretaksregister: 992 769 211

| RAPPORTNR | ISBN | GRADERING | GRADERING DENNE SIDE |
|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| 822000017-1 | 978-82-14-05858-1 | Åpen | Åpen |

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBESKRIVELSE |
|---------|------------|---------------------|
| 2.0 | 2014-12-10 | Endelig versjon |

Innholdsfortegnelse

Innhold

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Sammendrag | 6 |
| 2 | Innledning | 8 |
| 3 | Problemstilling og formål | 9 |
| 4 | Prosjektgjennomføring | 10 |
| 4.1 | Metodikk og gjennomføring: | 10 |
| 4.2 | Avvik i forhold til opprinnelig plan | 11 |
| 4.3 | Prosjekt- og styringsgruppemøter | 13 |
| 4.3.1 | Planleggingsmøte 23. mai 2013 i Trondheim | 13 |
| 4.3.2 | Styringsgruppemøte 17. juni 2013 i Tromsø | 17 |
| 4.3.3 | Styringsgruppemøte 11. november i Trondheim | 19 |
| 4.4 | Selfa Arctic utvikler hybrid fiskebåt | 20 |
| 5 | Oppnådde resultater, konklusjon | 22 |
| 5.1 | Energiberegninger av momentane effekter | 22 |
| 5.1.1 | Kort introduksjon til MachOS | 22 |
| 5.1.2 | 11-meters sjark | 23 |
| 5.1.3 | 15-meters kystfiskebåt | 28 |
| 5.1.4 | Feilkilder og forbedringsmuligheter | 31 |
| 5.2 | Simulering av driftsprofiler | 32 |
| 5.2.1 | Basis scenarier for 11 og 15 meters fartøy | 32 |
| 5.2.2 | Simulering av alternative driftsscenarier, 11 meters fartøy | 34 |
| 5.2.3 | Verifisering av modell | 36 |
| 5.2.4 | Krav til batterikapasitet | 36 |
| 5.2.5 | Ladekapasitet og infrastruktur på land | 37 |
| 5.2.6 | Reduserte CO ₂ -utlipp | 38 |
| 5.3 | Lønnsomhet | 39 |
| 5.3.1 | Investeringskostnader | 39 |
| 5.3.2 | Driftskostnader | 40 |
| 5.3.3 | Lønnsomhetsanalyse | 42 |
| 5.4 | Konklusjon og anbefalinger | 43 |
| 6 | Leveranser | 45 |
| 7 | Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater | 45 |

8 Bibliografi..... 46

BILAG/VEDLEGG

Referanser til andre relevante hybride løsninger

1 Sammendrag

Formålet med prosjektet har vært å vurdere grunnlag for realisering av hybride fremdriftsløsninger for mindre fiskebåter (11 og 15 meter). Bakgrunnen er målet om et ennå mere bærekraftig fiske med reduserte utslipp av klimagasser gjennom økt bruk av fornybar energi. Potensialer knyttet til fiskernes helse og arbeidsmiljø har også vist seg realiserbare som følge av at deler av fisket kan gjennomføres med batteriet som energikilde ombord.

Det har vært gjennomført løpende styringsgruppemøter med deltagende fiskere i prosjektet. Dette for å sikre at relevante driftsmodeller benyttes, samt for verifisering og forankring av resultatene underveis.

Prosjektet er gjennomført i 3 steg:

- **Steg 1: Energiberegninger**
- **Steg 2: Simulering av driftsprofiler**
- **Steg 3: Lønnsomhetsberegninger**

Energiberegningene er gjennomført til tross for noe begrenset datagrunnlag. Spesielt gjelder dette motstandsmålinger i lave hastigheter. Samlet simulert energiforbruk er verifisert mot virkelige årlige forbrukstall fra fiskefartøyer med tilnærmet samme motorløsninger som benyttet i simuleringmodellen. Forbrukstallene stemmer godt nok overens med de simulerte data til å underbygge konklusjoner og anbefalinger i forprosjektet. Samtidig understrekes viktigheten av å utvikle et langt bedre datagrunnlag for modellering av motstandskurver og energiforbruk hos mindre fiskebåter, under varierende driftsoperasjoner samt vær- og strømforhold.

Forprosjektet har utviklet et eget simuleringverktøy basert på de momentane effekter beregnet i steg 1. Et sjøvær er delt inn i driftsoperasjonene; forflytning til og fra feltet, setting av bruk, venting og haling av bruk. Det er mulig å variere lengden på hver av driftsoperasjonene, operasjonenes varighet, antall sjøvær per år, samt kostnader til bunker og elektrisitet.

Simuleringene viser hvilken batterikapasitet båten må ha i de forskjellige driftsscenarioene. For 11-metringen med seriehybrid løsning i et 10 timers sjøvær, kreves følgende minimum lagringskapasitet:

- Kun batteriløsning: 226 kWh, operasjoner med batteri (hele sjøværet): 10 timer
- Forflytning med forbrenningsmotor: 74 kWh, operasjoner med batteri: 7,4 timer
- Forflytning og setting med forbrenningsmotor: 37 kWh, operasjoner med batteri: 6,3 timer

For 15-metringen med en parallellhybrid løsning og et sjøvær på 10 timer, viser simuleringen følgende batteristørrelser:

- Kun batteriløsning: 731 kWh, operasjon med batteri (hele sjøværet): 10 timer
- Forflytning med forbrenningsmotor: 164 kWh, operasjon med batteri: 7,4 timer
- Forflytning og setting med forbrenningsmotor: 94 kWh, operasjon med batteri: 6,3 timer

Hvis alle 11 og 15-meters fiskebåter i Norge, med registrert inntekt over kr. 50.000,-, konverteres til rene batteriløsninger, vil det direkte CO₂-utslippet fra båtene reduseres med 81.000 tonn årlig. Hvis forflytningen til og fra fiskefeltet gjennomføres med forbrenningsmotoren, reduseres årlig CO₂ utslipp for denne flåten med 40% for 11-metringene, og 29% for 15-metringene.

En viktig tilleggseffekt knyttet til batteribruk, er bedret arbeidsmiljø for fiskeren gjennom bortfall av avgasser og støy fra dieselmotoren under hele eller deler av sjøværet. Simuleringene viser at det ikke trengs mer enn 37 kWh lagret energi i batteriet for at et 11 meters fiskefartøy skal kunne operere i 6,3 timer uten bruk av dieselmotoren under venting og haleoperasjonen. Dette utgjør et såpass lite batterivolum at det forventes og relativt enkelt kunne plasseres i et ombygd fartøy.

Bruk av batteriløsninger under operasjoner der dieselmotoren normalt opererer utenfor optimale driftsbetingelser, forventes å redusere kostnader til drift og vedlikehold, og forlenge motorens levetid vesentlig. Samtidig er dagens batteriløsning tilpasset denne type fartøyer såpass dyre, at en batteripakke som er ment å dekke behovet over hele sjøværet er å betrakte som ulønnsom i dag. Tilbakebetalingstider for ekstra kostnader knyttet til investeringer i en ren batteriløsning for et 11 meters fiskefartøy er godt over 10 år, sammenlignet med konvensjonelt fremdriftsmaskineri. Akseptabel tilbakebetalingstid for denne type investeringer er satt til 3-4 år. Omkring år 2020 forventes tilbakebetalingstiden å reduseres til det halve. Tilbakebetalingstiden for et 15 meters fiskefartøy er noe lavere. Dette skyldes i all hovedsak behovet for hjelpemotoren faller bort. Bruk av konstant magnet motor er ikke analysert her, men antas å kunne bidra til ennå lavere energibehov og bedre lønnsomhet for begge fartøystyper.

Benyttes dieselmotoren til og fra feltet, reduseres behovet for batterikapasitet. Tilbakebetalingstiden for den ekstra investeringen i batteriløsningen på omkring 100 kWh, ligger per 2014 på 6 år. Rundt år 2020 forventes tilbakebetalingstiden å reduseres til 2 år. Benyttes dieselmotoren også under setting, reduseres batteribehovet til under 50 kWh. Investeringen i et slikt batteri på 50 kWh forventes, har beregnet tilbakebetalingstid på 4 år. Dette gjør en slik investering lønnsom allerede i dag. Rundt år 2020 forventes investeringen å være tilbakebetalt i løpet av det første året.

Antallet brukte batteripakker fra vår stadig voksende el-bil park, vil øke i fremtiden. Det vurderes som interessant å se på mulighetene alternativt anvendes av brukte batterier. En mulighet kan være mindre fartøyer der batteripakker på 50-100 kWh kan være tilstrekkelig. Brukte batterier vil kunne bedre lønnsomheten og redusere CO₂-utslippet. Det er også interessant å analysere hvilke miljøeffekter anvendelsen av brukte batterier fra bilparken vil ha. Kostnadselementet og hva som skal til for å anvende bilbatteriene om bord på fiskebåter, må selvsagt også gjennomgås.

Forprosjektet konkluderer med at det i løpet av de nærmeste årene etter all sannsynlighet vil være mulig å tilby hybride fremdriftsløsninger for mindre fiskefartøyer. Kostnadene knyttet til batteriløsninger er avgjørende for lønnsomheten, og krav til batteristørrelse er sterkt avhengig av ytre faktorer som vind og vannstrøm. For å sikre gode markedstilpassede løsninger er det derfor avgjørende at Selfas nye hybrid-prototyp underlegges et testprogram. Verifisering av energibehov i alle driftsfasene og under forskjellig vær- og vindforhold er nødvendig slik at optimale hybride fremdriftsløsninger kan tilbys markedet for nybygg og ombygging av eksisterende fiskebåter.

2 Innledning

Bakgrunn

Alternative energibærere og redusert energiforbruk i fiskeflåten er et tema som aktualiseres mer og mer. Bakgrunn for forprosjektet er at Selfa Arctic er i gang med utvikling av el-driftsløsninger for mindre fartøy med lavere effektbehov. I tillegg har André Reinholdsen fra Myre i Vesterålen ønske om å få bygget et 15-meters fartøy rigget for teinedrift med mulighet for levende lagring av fangst. Reinholdsen ønsker å benytte konseptet utviklet i FHF-prosjektet "*Teknologi for fangst og føring av levende hvitfisk*" som utgangspunkt. Reinholdsen ønsker å bygge et fartøy med hybrid fremdrift basert dieselmotor og plug-in løsning med strøm fra land og generator ombord.

Prosjektdeltakere:

- Selfa Arctic
- MS Bjørkåsbuen
- MS Sandfjordjenta
- MS Kloegga
- SINTEF Nord
- SINTEF Fiskeri og havbruk

Omfang

Utgangspunktet for dimensjonerende krav for hybrid fremdriftsløsning angitt i prosjektforslaget var blant annet:

- Batteribank tilstrekkelig for fiskeoperasjonen under teinefiske
- Diselelektrisk fremdriftssystem for snurrevad og transportetapper
- Mulighet for å lagre generert overskuddsenergi fra diselelektrisk på batteribank

Forprosjektet har videre begrenset seg til å se på bruk av passivt redskap.

Prosjektorganisering:

Prosjektet ble organisert med styringsgruppe bestående av;

Styringsgruppe:

- André Reinholdtsen, Kloegga (15-meting for teinefangst og håndtering av levendefisk)
- Jens-Einar Bjørkås-Johnsen, Bjørkåsbuen (11 m sjark)
- Vegard Bangsund, Sandfjordjenta (11 m sjark)

Prosjektleder;

Jørn Eldby, adm. Dir. SINTEF Nord AS

Prosjektgruppe;

- Erik Ianssen, adm.dir. SELFA Arctic
- Fredrik Ianssen Lundh, salg- og markedssjef nybygg, SELFA Arctic

- Lasse Rindahl, forsker SINTEF Fiskeri og Havbruk
- Lars Tandle Kyllingstad, forsker SINTEF Fiskeri og Havbruk
- Jørgen Vollstad, forsker SINTEF Fiskeri og Havbruk

Observatør i prosjektet: Roar Pedersen, FHF

SELFA's kompetanse og arbeid med utvikling av en hybrid fremdriftsløsning for en 50 fots teinebåt og hybridløsninger for mindre fiskebåter, har vært viktig for gjennomføring av forprosjektet. Foruten SELFA's generelle fartøys- og produksjonskunnskap, sitter selskapet inne med kunnskap knyttet til hvilke mulige batteriløsninger som finnes på markedet for mindre fartøyer, hvilke utviklingsaktiviteter som foregår samt hvordan vi kan utvikle realistiske konsepter for et hovedprosjekt. Det har også vært viktig for prosjektet å vurdere eksisterende fremdriftskonsepter i tillegg til konsepter som per i dag er under utvikling i markedet.

SINTEF Nord og SINTEF Fiskeri og Havbruk har bidratt i prosjektet med kunnskap om marine maskinerisystemer, driftstekniske problemstillinger og økonomi knyttet til investeringer, drift og vedlikehold av fiskefartøy. SINTEF Fiskeri og Havbruk har også forestått motstandsregninger og beregninger av effektbehov i forskjellige driftsfaser. Det har vært utfordrende å få til måling av eksakt energiforbruk for enkeltkomponenter. Denne usikkerheten er redusert gjennom kvalitativt vurdering av virkelige forbrukstall fra fiskerne og SELFA's erfaringer og kunnskap om dette, mot simulerte data. Gjennom SINTEF Energi har prosjektet fått kunnskap om batterisystemer generelt og hvordan disse dimensjoneres og styres.

3 Problemstilling og formål

Forventet nytteverdi og betydning for næringen

Den forventede nytteverdien er å redusere konsumet av fossilt drivstoff i kystfiskeflåten, noe som:

1. Redusere fangstkostnader til fisker
2. Redusere miljøbelastningen under fiske

Resultatmål angitt i prosjektsøknaden (utgangspunkt)

1. For to fiskebåttørrelser (11 og 15 meter) skal to realistiske løsninger for hybrid fremdriftskonsepter (serie- og parallellhybride løsninger) vurderes i forhold til to konvensjonelle fremdriftssystemer.
2. Løsning med konstant magnet motor skal vurderes for relevant hybride fremdriftskonsepter
3. Kraftbehov og krav til lagring av energi (batterikapasitet) skal beregnes for transitt og fiskeoperasjonene for relevante fiskerier
4. Energibalanser og driftskalkyle skal beregnes for angitte fartøystørrelser og driftsoperasjoner, samt for alle framdriftsalternativer. Forbruk av drivstoff og strøm (fra land og egenprodusert) skal også beregnes.
5. Totalkostnader (investeringer og operasjonskostnader) beregnes for alle løsninger

4 Prosjektgjennomføring

4.1 Metodikk og gjennomføring:

Det er avgjørende for introduksjon av hybride fiskefartøy til kystflåten at disse oppfyller nødvendige krav til funksjon og effektivt fiske. Forprosjektet skal sannsynliggjøre at disse kravene oppfylles og at samlede investerings- og driftskostnader ikke blir forverret i forhold til tilsvarende samlede kostnader for konvensjonelle fiskefartøyer.

Deltagende fiskere i prosjektet vil sikre at reelle driftsscenarier anvendes i simuleringene og at funksjonalitet og ytelse for fremtidens hybride fiskefartøy oppfyller de krav som stilles i kystflåten. Dette er gjennomført i en prosess med løpende styringsgruppemøter der muligheter og begrensninger er vurdert, og endelige realistiske krav definert.

Med bakgrunn i at datagrunnlag for motstandsberegninger har vært begrenset, og at beregninger av energibehov i stor grad er basert på ekstrapoleringer basert på målinger i de høyeste fartsområdene, har prosjektet verifisert simuleringresultatene mot virkelig bunkerforbruk.

Selfas beslutning om bygging av en hybrid-prototyp (11 meter), har gitt prosjektet nyttig informasjon om virkelig investeringskostnader. Usikkerheten ligger i estimering av kostnader i en situasjon med produksjon av større serier. Her har prosjektet tatt utgangspunkt i prisutvikling på batterier i bilindustrien og ekstra kostnader knyttet til mariniserte batteriløsninger.

Estimatene tar utgangspunkt i hypotesen at maskineriløsningene samlet (batteriløsning og separat diesellaggregat), også i fremtiden vil representere en høyere investeringskostnad sammenlignet med konvensjonell fremdriftsløsning. Samtidig forventes levetiden på hybride maskineriløsninger å være såpass mye lengre og driftskostnadene lavere, slik at reduksjonen i samlede driftskostnader vil kompensere for de økte investeringskostnadene slik at hybride fremdriftssystemer blir lønnsomme.

Verifisering av hypotesen krever at prototypen testes i et hovedprosjekt under ordinært fiske over minimum 2 sesonger, der virkelig energiforbruk registreres i definerte driftsscenarier. Et hovedprosjekt må også verifisere antatt utvikling i kostnadene til batteriløsninger. Dette gjøres gjennom dialog med systemleverandører på batteriløsninger. Kostnadene vil være avgjørende. Leverandører til bilindustrien blir derfor en viktig referanse siden dette markedet er drivende for reduserte batterikostnader.

Beregningene i forprosjektet er gjennomført i tre steg:

Steg 1: Energiberegninger

Beregningene har tatt utgangspunkt i kjente data, samt kunnskap og erfaring fra erfarent personell i bransjen. Til energiberegninger har prosjektet benyttet maskinerioptimaliseringssystemet MachOS til simulering av forbruk i de forskjellige driftsfasene for 11. og 15. meters fartøy. Momentant forbruk beregnes med bakgrunn i gitte driftsforhold.

Steg 2: Simulering av driftsprofiler

Momentant forbruk er videre benyttet som basis for beregning av samlede energiforbruk under valgt driftsprofil, per sjøvær og per år. Prosjektet har etablert et regneark med muligheter for simulering av alternative driftsprofiler og energiforbruk per sjøvær og år.

Steg 3: Lønnsomhetsberegninger

Basert på styringsgruppens vurderinger av normale driftsmønstre er for de aktuelle fartøystørrelsene, settes krav til batteristørrelse. For å gjøre en lønnsomhetsvurdering av en hybrid maskineriløsning sammenlignet med en konvensjonell, er endrede investerings- og driftskostnader identifisert og beregninger av tilbakebetalingstid og nåverdi gjennomført. Regnearket gjør det mulig å se hvilke økonomiske effekter endrede driftsprofiler medfører.

Prosjektet har også vurdert:

- Miljømessige effekter i forhold til CO₂, ved bruk av hybride og rene batteriløsninger
- HMS og fiskerens arbeidsmiljø om bord
- Krav til infrastruktur på land

Konklusjoner og anbefalinger trekkes med bakgrunn i beregningsresultatene og de krav som stilles til hybride fiskefartøyer av styringsgruppa.

4.2 Avvik i forhold til opprinnelig plan

Opprinnelig plan for gjennomføring av prosjektet var identifikasjon og summering av forbrukstall for utstyrskomponentene basert på definerte driftsprofiler. Tallene skulle, i så stor grad som mulig, basere seg på registrerte målinger, og hvis mulig, verifiseres som en del av forprosjektet. Ved behov, skulle også instrumentering for måling av moment/thrust benyttes.

Med basis i erfaringsdata og virkelige målinger, skulle energiregnskaper etableres med basis i dagens fremdriftsløsninger og definerte driftsprofiler for førtøystørrelsene 11 og 15 meter.

Med basis i kjent teknologi, skulle mulige parallell- og seriehybride løsninger, identifiseres og benyttes som grunnlag for analyse av mulige hybride fremdriftsløsninger tilpasset mindre fiskefartøyer. Teknologiens modenhet og behov for videre utviklingsarbeid for tilpasning for slike anvendelser skulle også vurderes.

Eksempler på utstyr for vurdering:

- Batteribank
- Gearsystemer
- Omformere
- Styrings- og overvåkingssystemer
- Sikkerhet (knallgass o.l.)

Forprosjektet skulle også identifisere og kontakte aktuelle leverandører og mulige partnere for et hovedprosjekt.

Med basis i alternative maskinkonfigurasjoner og batteriløsninger, skulle energibalanser gjennomføres sammen med vurderinger i forhold til oppfyllelse av definerte driftskrav. Simuleringer av alternative kapasiteter og ytelser av relevante kombinasjoner av kapasiteter/ytelser skulle også gjennomføres for hver driftsprofil og forbruksenhet.

Det skulle videre utarbeides et forslag til hovedprosjekt, med overordnet mål å kontrahere et nybygg for begge fartøystørrelser som inneholder, inkludert:

- Forslag til leverandører
- Utviklings og forskningsbehov, samt aktuelle FoU- miljøer
- Progresjon i byggeprosess
- Finansieringsmodell for hovedprosjekt

Styringsgruppen besluttet å benytte den serie-hybride løsningen for den minste fartøystørrelsen, og den parallell-hybride løsningen for 15-metringen. Delvis siden en parallell-hybrid løsning har et større utstyrsomfang, og antagelsen om at det største fartøyet har de største potensialene for besparelser. Dette vil igjen bidra til en enklere kapitalisering av det ekstra investeringsbehov hybride fremdriftsløsninger antas å kreve.

Det viste seg underveis vanskelig å identifisere eksakte energiforbruksstørrelser per utstyr og operasjon. I tillegg viste måleutstyr som var tenkt benyttet til thrust/moment-målingene, for kostbart til bruk under forprosjektet.

For å bedre verifiseringsgrunnlaget, besluttet prosjektet å etablere motstandskurver for definerte motorstørrelser og propulsjonssystemer. Plottene for den minste fartøys- og motorstørrelsen viste seg å være begrenset i de lave turtallsområdene, men samtidig vurdert som tilstrekkelig for gjennomføring av de nødvendige verifiseringer i forprosjektet.

Det ble etablert et enkelt verktøy for simulering av alternative driftsprofiler og batteristørrelser for gitt motstandskurve og variable kostnadselementer som:

- Bunkerkost
- El.pris
- Investeringskostnader (batteri og øvrig utstyr)
- Besparelser i drift og vedlikehold

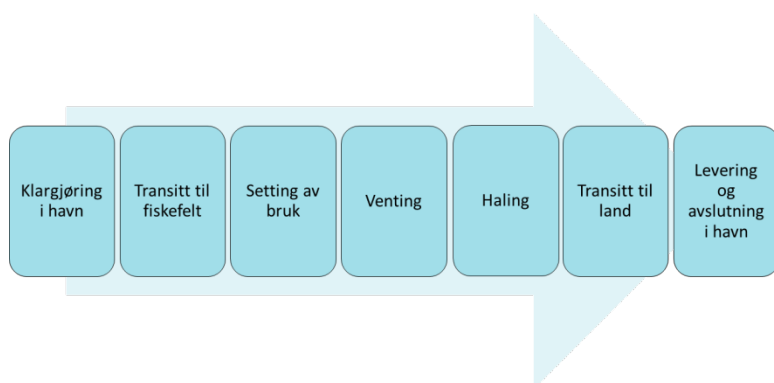
Avvikene i forhold til opprinnelig plan er av styringsgruppa ikke vurdert som kritiske i forhold til hovedkonklusjonene i forprosjektet.

4.3 Prosjekt- og styringsgruppemøter

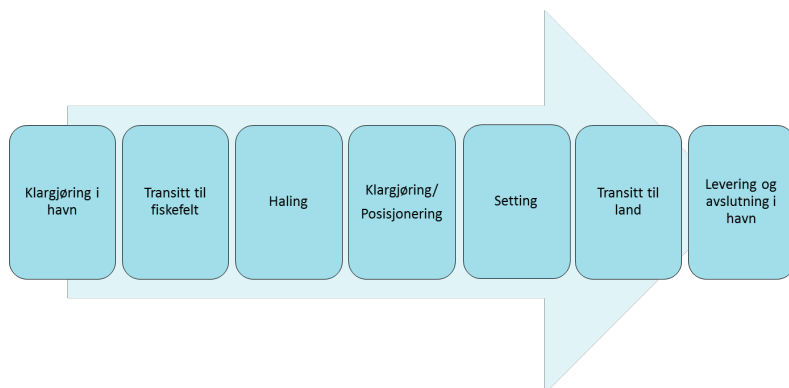
4.3.1 Planleggingsmøte 23. mai 2013 i Trondheim

Første planleggingsmøte ble gjennomført hos Selfa Arctic 23. mai 2013 der målet var å identifisere det teknologiske grunnlaget for mulige hybride fremdriftsløsninger for mindre fiskefartøyer, samt aktuelle driftsmønstre for analyse i prosjektet. Deltagere var Selfa Arctic, SINTEF Fiskeri og havbruk, SINTEF Energi og SINTEF Nord.

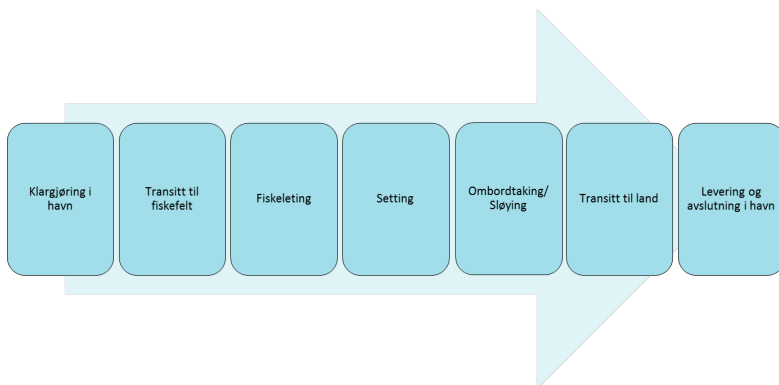
Linefiske:



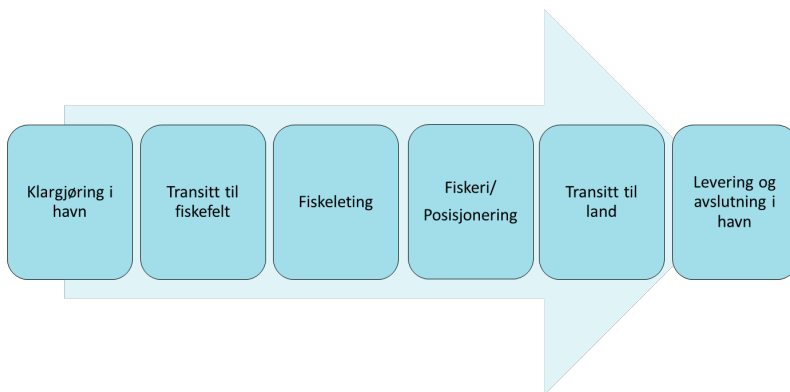
Garnfiske:



Snurrevad:



Juksa:



Eksempel på utstyr som trekker energi under snurrevadfiske:

- Kombinasjonsvinsjer for snurrevadtau
- ”Triplex” rekkehaler,
- Hydraulisk leggerull med eget sving og tiltsystem for fast oppheng i kran.
- Knekkarmskran med vinsj.
- Bom med vinsj for innsekking, løftekapasitet >1200 kg.
- Ønskelig med system for pumping av fisk for levering.

Eksempel på utstyr som trekker energi under linefiske:

- Hydraulisk linekveiler komplett med skjerm, rekkerull (skråstilt), fiskeavtaker, børster og angelvasker
- Enkel kveiler for haling av fløytiler/ me-iler.
- Uttak for saltvann til spyleslange og blødekar
- Uttak 220 V
- Slaveskjerm av kartplotter, radar
- Styreposisjon
- VHF-høytaler
- Varme i båten i vinterhalvåret

⇒ Innredning og fasiliteter for opphold:

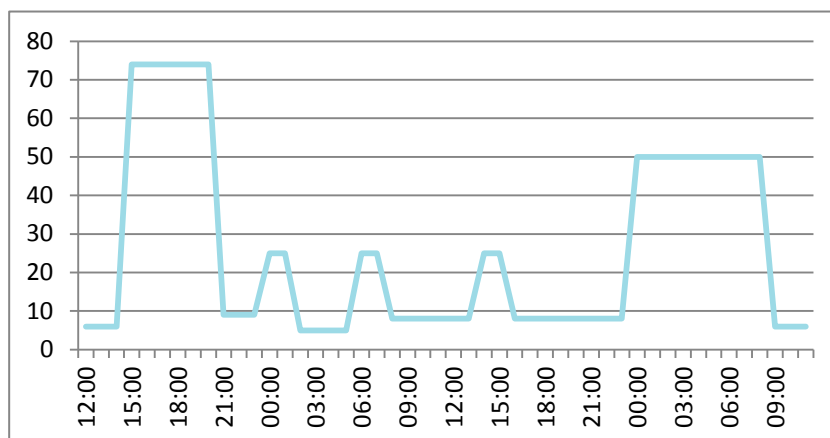
- Bad med dusj og toalett

- Elektrisk varmtvannsbereder
- Tørkefasiliteter for tøy og arbeidsklær samt håndvask ((gjerne med toalett)ta bort)
- Toalett (elektrisk)
- Minst to kokeplater
- Mikrobølgeovn
- Kaffemaskin
- Tv med DVD i messe
- Trådløs internett-tilgang (ICE)

Registrerte forbruksprofiler for mindre fiskefartøyer finnes i mindre grad tilgjengelig. Som eksempler har vi sett nærmere på typiske profiler for større fartøyer:

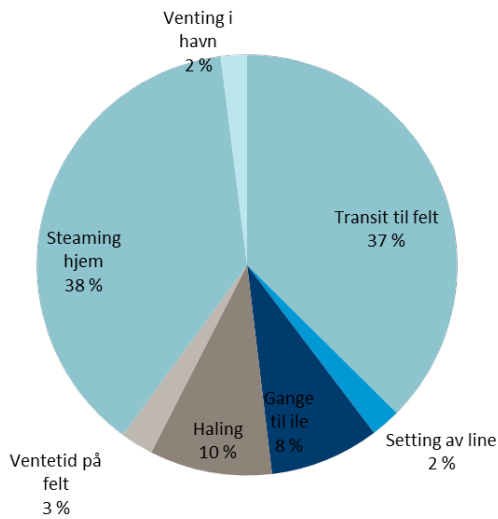
Eksempel 1:

Bankfiske 60 nautiske mil fra havn i godt vær (laber bris). Fisket foregår på "bananen" med Båtsfjord som utgangspunkt. Eksempelet viser resultatene fra linefiske med landegnet stamp. Ref.: Larsen, R., Tatone, B og Bolle, Ø. (2012) Pilotanlegg med integrert helautomatisk linehalersystem (ALH) for et 15 meters kystfiskefartøy: Hovedprosjekt med bygging og dokumentasjon av anlegg. Sluttrapport på FHF prosjekt nr. 900411.

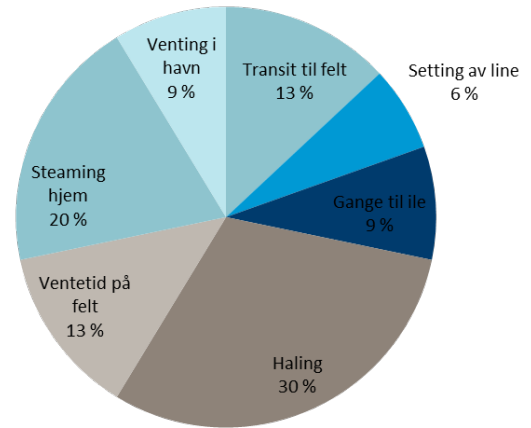


Forbruk (liter/time) over sjøværet

Bankfiske 49 fot-drivstofforbruk



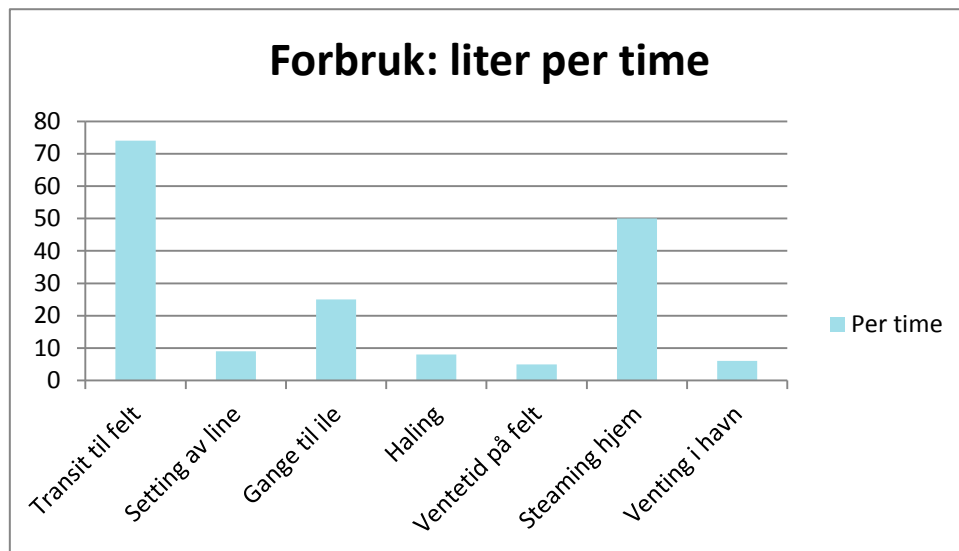
Bankfiske 49 fot-Tidsforbruk

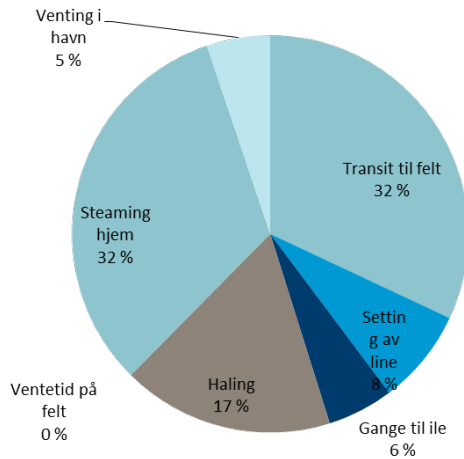
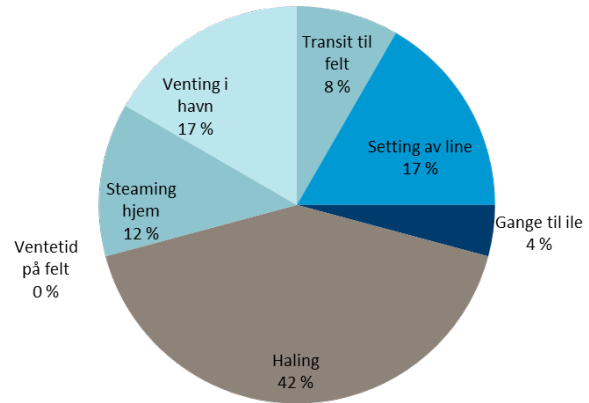


Forbruk av drivstoff over et sjøvær på 46 timer

Eksempel 2:

Eksempelet baserer seg på samme fartøyet som under bankfiske i eksempel 1, som er en 49 fots åpen shelter fra Seigla (Island) med Volvo IPS fremdriftssystem bestående av 2 motorer à 490 HK. Båten har planende skrog og kombinasjonsdrift for garn, line og teine. Verdiene er beregnet over et sjøvær på 12 timer med basis i Bankfiske-eksempelet.



Kystfiske 49 fot-drivstofforbruk

Kystfiske 49 fot-tidsforbruk


Forbruk av drivstoff over et sjøvær på 12 timer

Sammenligning, bankfiske og kystfiske:

Eksemplene viser naturlig nok en relativt større andel tid til steaming til og fra feltet for bankfiske, sammenlignet med kystfiske. Dette illustrerer at potensialene for miljømessige energibesparelser ved bruk av hybride fremdriftsløsninger er størst der gangtid til/fra feltet er størst. Viktig avklaring blir derfor hvilke batteristørrelser som trengt for tilstrekkelig kost/nytte effekt.

4.3.2 Styringsgruppemøte 17. juni 2013 i Tromsø

Under første styringsgruppemøte ble følgende gjennomgått:

- Krav til hybride fremdriftsløsninger
- Driftsprofiler
- Hybridløsninger for nærmere analyse
- Referansemålinger

Krav til hybride fremdriftsløsninger:

Bjørkås-Johnsen og Bangsund representerer sjarkfiskere med ordinære 1-manns sjarker der det fiskes med line og teine. Begge med relativt kort vei til fangststed. Et mulig pilotprosjekt for 1. generasjon hybride fiskebåt, med utgangspunkt i en løsning som innebærer korte gangavstander til feltet, ansees som gunstig rent funksjonelt og sikkerhetsmessig. Batteriløsningene kan begrenses i omfang, og avstanden til land ved uønskede hendelser er kort.

Reinholdtsens M/S Kloegga driver en del teinefiske etter torsk, men har de senere år benyttet båten til håndtering og mellom lagring av levendefisk. Dette innebærer relativt korte gangtider med tilgang til strøm

fra land på flere steder. En dimensjonering av batteripakker i forhold til tilgang til strøm fra land, vil isolert sett være interessant rent energiøkonomisk. Det er samtidig interessant å identifisere hybride løsninger med der et slikt driftsmønster kan kombineres med ordinært fiske med fartøystørrelser rundt 15 meter.

Med bakgrunn i aktuelle driftskonsepter, ble det satt følgende funksjonelle krav til hybride løsninger for mindre fiskefartøyer:

- Minimum hastighet settes til 8-9 knop. Samtidig er det et ønskelig at farten kan økes ytterligere (10 knop). Det anses usannsynlig at det vil være mulig å oppnå høyere hastigheter enn dette med hybride fremdriftsløsninger.
- Båtene skal kunne til enhver tid kunne rømme havet med akseptabel minimumshastighet. Settes til 6-7 knop.
- De hybride løsningene skal håndtere alle passive redskaper - ikke snurrevad – for kystflåten (10-15 m): line, teine, garn og juksa.
- Bedret HMS gjennom redusert støy ved avstengt forbrenningsmotor under selve fisket prioriteres høyt. Energibehovet under selve fiske bør derfor dekkes med lagret energi fra land.
- Fremtidens fiskerier forventes å utvikle seg i retning av lengre avstand til/fra feltet. Hybride løsninger skal ikke begrense mulighetene for operasjon over flere dager.
- Det hybride minimumskrav til løsningen av fartøyets utforming og stabilitet skal være slik at dagens lastekapasitet opprettholdes. Løsninger som frigjør ytterligere plass bør vektlegges.
- Samlede kostnader for investeringer, drift- og vedlikehold i en hybrid løsning, som oppfyller overnevnte krav, skal ikke i vesentlig grad overstige dagens kostnader med tilnærmet tilsvarende funksjonalitet.

Gitt at nevnte krav oppfylles, forventer styringsgruppen en betydelig interesse for hybride fiskebåter i fremtiden. Redusert SOx og NOx gjennom bruk av hybride løsninger, forventes å gi reduserte avgifter og økt investerings/driftsstøtte.

Driftsprofiler

Under møtet i mai ble alternative driftsmønstre med gangtid og drivstoff forbruk. Under dagens møte ble driftsmønstre og forbruk gjennomgått for 15-metringen "Vibeke Catrin", og en "Selfa 36 Øko".

Med basis i hva som vurderes som aktuelle redskapsanvendelser for hybride løsninger for 11-15 meters fiskebåter (line, teine, garn og juksa), skal følgende driftsprofiler analyseres:

- Normalt "dags-sjøvær" med normal varighet på 10 timer. For større fartøyer, opp til 20 timer der større andel av tiden går med til fiske og fangst.

- Sjøvær over 2 døgn

Hybride løsninger for nærmere analyse:

SINTEF Fiskeri og Havbruk har utviklet en modell for simulering av alternative maskinerikonfigurasjoner (presentert under møtet). Modellen gjør det mulig og enkelt simulere energibalanser for alternative hybride maskinerikonfigurasjoner.

Styringsgruppen beslutter å simulere følgende hybride løsninger:

- En "serie-hybrid" løsning
- En "parallell-hybrid" løsning
- En parallell-hybrid løsning med konstant magnet motor

Skisser til hybride fremdriftsløsninger for nærmere analyse utarbeides.

Ingen av SINTEF's definerte konfigurasjoner stemmer helt overens med disse løsningene slik at tilpasninger må gjøres.

Rolls Royce "Hybride aksel generator løsning" (HSG: Hybride Shaft Generator) ble presentert og diskutert, men funnet for omfattende og tilpasset større fartøyer med annet driftsmønster (eks. supply/standby). Til tross for dette vil en modifisert løsning av parallell-hybrid løsningen vår, være mulig å modifisere ved frikopling av hovedmotor fra gir.

Referansemålinger

Registreringene ble diskutert og styringsgruppen konkluderer med at det ikke vil være tilstrekkelig å få en tilfredsstillende oversikt over forbruk per enhet gjennom direkte avlesninger. Kvaliteten på simuleringer av alternative hybridkonfigurasjoner krever mere nøyaktige referansemålinger.

Styringsgruppen besluttet derfor at måleprogram for blant annet akselmoment og trykk/flow-målinger ut fra hydraulikkaggregat, gjennomføres. Dette sammen med målinger fra elektriske paneler og manuelle avlesninger, forventes å være tilstrekkelig for referansemålingene som kreves i forprosjektet.

4.3.3 Styringsgruppemøte 11. november i Trondheim

Under styringsgruppemøte 11. november 2013 i Trondheim ble resultatene fra prosjektarbeidet gjennomgått. Prosjektgruppen har konsentrert seg om verifisering av en "serie-hybrid" løsning for 11-meters fiskebåt, og en "parallell-hybrid" løsningen for en 15-meters fiskefartøy.

Kostnadene forbundet med investeringer hybride løsninger for mindre fiskefartøyer vil være en kritisk faktor for realisering de nærmeste årene. Den noe mere komplekse parallell hybride løsning med konstant magnet motor er derfor ikke analysert nærmere i forprosjektet.

Under styringsgruppemøtet ble følgende presentert:

- Løsninger med og uten batteri for 11 og 15 meters fiskefartøyer
 - Driftsprofiler
 - Motstandsberregninger
 - Energiforbruk
 - Alternative scenarier for batteristørrelser
- Kostnader og besparelser
 - Investeringer
 - Drifts- og vedlikeholdskostnader
 - Levetid
- Miljøeffekter
 - Reduserte utslipp
 - HMS

Det ble utviklet en enkel simuleringsmodell med muligheter for enkelte følsomhetsanalyser som krav til batteristørrelser, kostnader og driftsprofiler.

4.4 Selfa Arctic utvikler hybrid fiskebåt

Under forprosjektet (mot slutten av 2013) fikk Selfa Arctic fått støtte fra Transnova til utvikling av elektrisk fiskebåt. Transnova gir støtte til prosjekter og tiltak som bidrar til å erstatte fossilt drivstoff med alternative drivstoff som gir lavere eller ingen CO₂-utslipp.

Selfa arbeider også mot Sjøfartsdirektoratet og leverandørindustrien, og har som mål å ha et fiskeklart fartøy med elektrisk fremdriftslinje til vintersesongen for torskefiskeklar i 2015. Selfa introduserer også ny teknologi i fartøyene fra tidlig 2014 i form av helisolerte vakuumbåter. Dette gir en betydelig vektbesparelse som igjen vil gi lavere utslipp og drivstoffkostnader.



Selfa El-Max (prototyp)

Selfas utvikling av prototypen har gitt forprosjektet tilgang til dagens priser på mariniserte batteriløsninger for mindre fartøyer. Dette har igjen gjort det mulig å gjennomføre mere detaljerte lønnsomhetsberegninger som del av forprosjektet.

Batteriene utgjør en vesentlig del av investeringer i en hybrid løsning for fiskefartøyer. Med basis i erfaringer fra bilbransjen, vil batterikostnadene falle i årene som kommer. (ref.: [Forventet kostnadsutvikling på batterier, Tesla](#)) I dag ligger kostnadene rundt 2-300 usd/kwh, men de forventes å falle til 180 usd/kwh innen 2020.

Selfa's El-Max prosjekt har som utgangspunkt er kostnad på rundt 1000 usd/kwh. Det er god grunn til å anta at batteriprisene for mariniserte batteriløsninger også vil falle. Usikkerheten ligger i hvor rask og i hvilket omfang. Prosjektet har vært i dialog med Tesla (Rotterdam) som har uttrykt interesse for forprosjektet, og ønsker nærmere dialog under gjennomføring av et hovedprosjekt.

Tabellen under sammenligner batteriprisene vi i dag opererer med, med priser vi forventer oss i fremtiden:

| | Pris usd/kwh | kr/usd | kr/kwh |
|-----------------------------|--------------|--------|--------|
| Selfa El Max | 1000 | 6 | 6000 |
| I dag, bilindustri | 400 | 6 | 2400 |
| Fremtid, bilindustri | 200 | 6 | 1200 |

Simuleringer i forprosjektet har vist at mindre fiskefartøyer vil operere med behov for medbrakt energi på i størrelsesorden 50 – 400 kwh, avhengig av driftsmønster og behov. Tabellen under angir hvilke batterikostnader som da vil være aktuelle i dag og i fremtiden. Tabellen viser også batterivekter. Alle vekter er håndterbare siden disse erstatter nødvendig ballast om bord;

Batteripakke (kWh):

| | 100 | 200 | 300 | 400 |
|--|-----|-----|-----|-----|
|--|-----|-----|-----|-----|

Batterikostnad:

| | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Selfa El Max, i dag | 600000 | 1200000 | 1800000 | 2400000 |
| I dag, bilindustri | 240000 | 480000 | 720000 | 960000 |
| Fremtid, bilindustri | 120000 | 240000 | 360000 | 480000 |

| | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Vekt (10 kg/kwh) | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 |
|-------------------------|------|------|------|------|

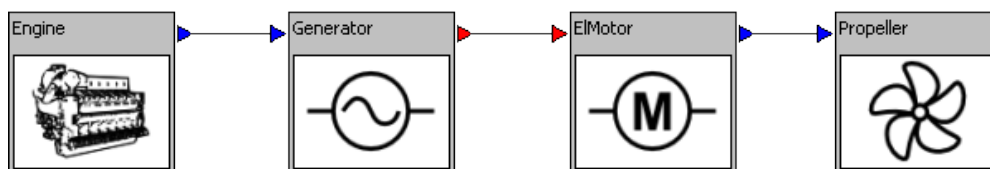
5 Oppnådde resultater, konklusjon

5.1 Energiberegninger av momentane effekter

5.1.1 Kort introduksjon til MachOS

Machinery Optimisation System, forkortet *MachOS*, er et programvareverktøy for matematisk modellering av energisystemer utviklet ved SINTEF Fiskeri og havbruk AS i forbindelse med KMB-prosjektet ImproVEDO (SINTEF Fiskeri og havbruk AS, 2010). Ved hjelp av denne programvaren kan man kombinere matematiske modeller for forskjellige enkeltkomponenter i et skips maskineri-/energisystem til en modell av hele eller deler av systemet. Ut fra en slik modell kan en evaluere systemets egenskaper i ulike situasjoner, med hovedfokus på drivstofforbruk og energitap i forskjellige komponenter.

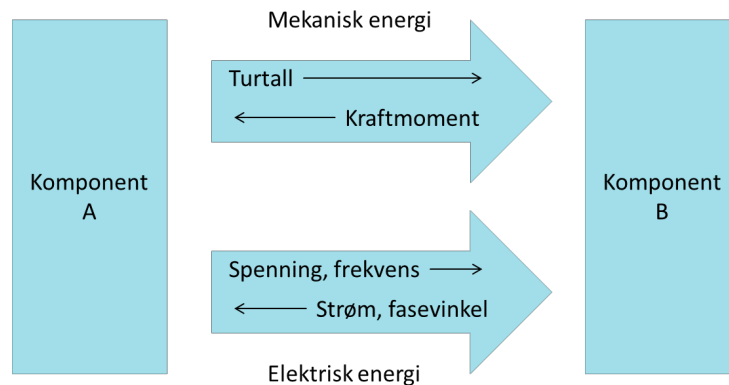
I MachOS har hver komponent et sett *inn-* og *ut-porter*, hvor *inn-porter* representerer energi som tilføres komponenten, mens *utporter* representerer energi som forlater den. Disse portene er igjen kategorisert etter type energi – mekanisk eller elektrisk. Mekaniske porter representerer energioverføring gjennom roterende akslinger, mens elektriske porter representerer energioverføring gjennom elektriske ledere. For eksempel vil en generator ha to porter – en mekanisk innport som representerer drivakslingen og en elektrisk utport som representerer de elektriske lederne hvor man henter ut generert strøm. Komponenter kombineres i en modell ved at man kobler de mekaniske utportene til én komponent til de mekaniske innportene til andre komponenter, og tilsvarende for elektriske porter. En mekanisk port kan naturligvis ikke kobles til en elektrisk port eller omvendt.



Eksempel på dieselelektrisk maskinerisystem konfigurert i MachOS. Blå trekantede porter er mekaniske porter mens røde trekantede porter er elektriske porter.

Figur 1 viser et eksempel på et enkelt dieselelektrisk system konfigurert i MachOS. Her er en motor koblet til en generator via en mekanisk kobling (drivakslingen), generatoren er koblet til en el-motor via en elektrisk kobling, og el-motoren er igjen koblet til propellen via en mekanisk kobling (propellakslingen).

På matematisk nivå modelleres energiflyten mellom komponenter ved hjelp av en båndgraf-lignende metode. En mekanisk kobling fra en komponent A til en komponent B realiseres i modellberegningene ved at komponent A gir et turtall til komponent B, som svarer med å gi det kraftmomentet som skal til for å opprettholde det gitte turtallet. Kraftmomentet vil da typisk være beregnet av den bakenforliggende matematiske modellen, basert på turtallet og verdien av eventuelle andre porter og modellparametere. Tilsvarende består en elektrisk kobling av et spenning-frekvens-signal som går i samme retning som energiflyten og et strøm-fasevinkel-signal som går i motsatt retning. Dette er illustrert i Figur 2.



Modellering av energiflyt.

Hver komponent har i tillegg til inn- og utportene et sett med modellparametere som tilpasses etter systemet man ønsker å modellere, og som er med på å definere utfallet av modellberegningene. For eksempel kan man for en motormodell velge antall sylindre, sylinderdiameter, og så videre. Verdien av disse parametrene kan settes av brukeren, bestemmes automatisk av en optimaliseringsalgoritme eller hentes fra driftsprofilen til fartøyet. Eksempel på parametere som typisk hentes fra en driftsprofil er skipets hastighet, skrogmotstand ved denne hastigheten, elektrisk forbruk, og så videre.

Når det benyttes en optimaliseringsalgoritme kan brukeren selv velge hvilke parametere som skal ha faste verdier og hvilke som skal optimaliseres, og så vil algoritmen prøve ut forskjellige kombinasjoner av parameterverdier til den finner den kombinasjonen som gir lavest drivstofforbruk. Optimaliseringsalgoritmen som benyttes er en genetisk algoritme, NSGA-II (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002). I dette prosjektet ble optimalisering kun brukt til å finne optimal motorhastighet – samt, for 15-meters-båten, optimal propellstigning – i forskjellige driftsfaser.

5.1.2 11-meters sjark

5.1.2.1 Referansebåt

Referansebåten i dette tilfellet var en Selfa 36 Øko. Tabell 1 inneholder en oversikt over noen av komponentspesifikasjonene som ble oppgitt fra produsentens side for en slik båt. På skrogssiden fantes det veldig lite tilgjengelige data, og slepeprøver var langt utenfor rammene av hva man kunne gjøre i dette prosjektet. Det eneste vi hadde å gå ut fra var noen meget grove målinger av forbruk utført på en prøvetur med en nybygd sjark. Disse er gjengitt i Tabell 2. Vær-, strøm- og bølgetilstand var ikke registrert sammen med disse målingene, men ettersom hastigheten var *lavere* ved 2500 rpm enn ved 2400 rpm, så må det ha vært varierende forhold under prøveturen. Det er med andre ord meget stor usikkerhet forbundet med bruk av disse målingene. På tross av dette ble de i mangel av bedre alternativer brukt til å estimere skrogmotstand. Fremgangsmåten er beskrevet nærmere i seksjon 5.5.1.2.5.

| Komponent | Fabrikk | Spesifikasjoner |
|-----------------|-----------------------|---|
| Motor | Cummins QSB5.9-230 HD | 168 kW (230 hk) ved 2600 rpm. Drivstofforbruk oppgitt langs propellkurve for turtall 800-2600 rpm i motorens datablad. |
| Propell | Radice S8 | Diameter: 18" (457 mm) Antall blader: 4 Bladarealforhold: 0.75 Stigningsforhold: 1.35 (fast) |
| Girkasse | ZF 280-A | Utvekslingsforhold 1:2 |

Spesifikasjoner for utvalgte komponenter i Selfa 36 Øko.

| Turtall [rpm] | Fart [knop] | Forbruk [l/t] |
|---------------|-------------|---------------|
| 2600 | 13.6 | 40.3 |
| 2500 | 11.7 | 38.5 |
| 2400 | 12 | 34.5 |
| 2300 | 10.8 | 29.5 |
| 1900 | 9.9 | 19.1 |

Forbruksdata fra prøvetur med Selfa 36 Øko (2012-11-01).

5.1.2.2 Driftsprofil

Driftsfasene som ble definert for denne båttypen og deretter brukt i modellberegningene er gjengitt i Tabell 3. Disse er i hovedsak basert på erfaringsdata fra båteiere, og bør kun tolkes som et representativt eksempel.

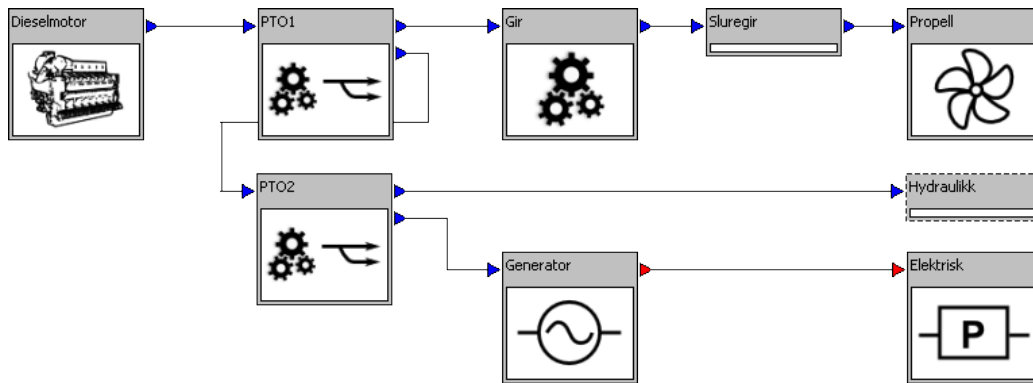
| Driftsfase | Hastighet [knop] | Forbruk, elektrisk [kW] | Forbruk, hydraulisk [kW] |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| Forflytning | 8.0 | 2 | |
| Forflytning (hurtig) | 10.0 | 2 | |
| Haling | 1.5 | 2 | 3 |
| Setting | 6.0 | 2 | |
| Venting | 1.0 | 2 | |

Definert driftsprofil for 11-meters sjark.

5.1.2.3 Modell av konvensjonelt maskinerisystem

Det konvensjonelle maskinerisystemet som ble modellert er vist skjematisk i Figur 3, og er en grov approksimasjon til det som er installert i en virkelig Selfa 36 Øko. Elektrisk anlegg og hydraulikk er her modellert som enkle forbrukere av henholdsvis elektrisk og mekanisk energi, der forbrukt effekt avhenger av driftsfasen og derfor hentes fra driftsprofilen. Kraftmomentet på propellakslingen er beregnet ved å bruke standard B-serie-polynom (Bernitsas, Ray, & Kinley, 1981) med de spesifikasjonene som var oppgitt for S8-propellen, bortsett fra propelldiameteren, som ble oppjustert til 482 mm for tilpasning til de målte forbruksdataene (se seksjon 5.5.1.2.5 for detaljer). I mangel på detaljerte data om referanseskroget ble både medstrømsfaktor og thrustdeduksjon antatt å være 0.2. Beregning av drivstofforbruk i motoren er gjort ved lineær ekstrapolasjon ut fra målepunktene som oppgis i motorens datablad. For både girkassen og

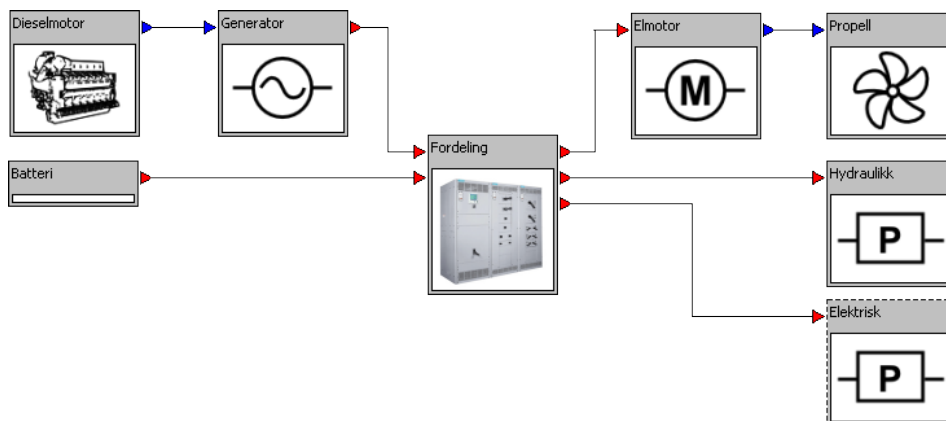
generatoren ble det regnet med et flatt tap på 3%. Sluregiret ble modellert veldig enkelt ved at komponentens inn- og utporter hadde samme kraftmoment men forskjellig rotasjonshastighet, hvilket gir et energitap lik $\Delta\omega\tau$, der $\Delta\omega$ er forskjellen i vinkelhastighet og τ er kraftmoment. PTO og strømmtavle er modellert som enkle forgreningspunkter uten tap av energi.



Modell av konvensjonelt maskinerisystem for 11-meters sjark.

5.1.2.4 Modell av hybrid-fremdriftssystem

Modellen som ble konfigurert for å beregne energiflyten under hybriddrift av fremdriftssystemet er vist i Figur 4. Girkasse og sluregir er her byttet ut med en elektrisk motor der det er regnet med en konverteringseffektivitet på 90%. For enkelhets skyld er det i videre beregninger antatt at man benytter enten ren *dieselektrisk drift*, der all energi produseres av aggregatet, eller ren *batteridrift*, der all energi hentes fra batteriet.



Modell av hybrid-fremdriftssystem for 11-meters sjark.

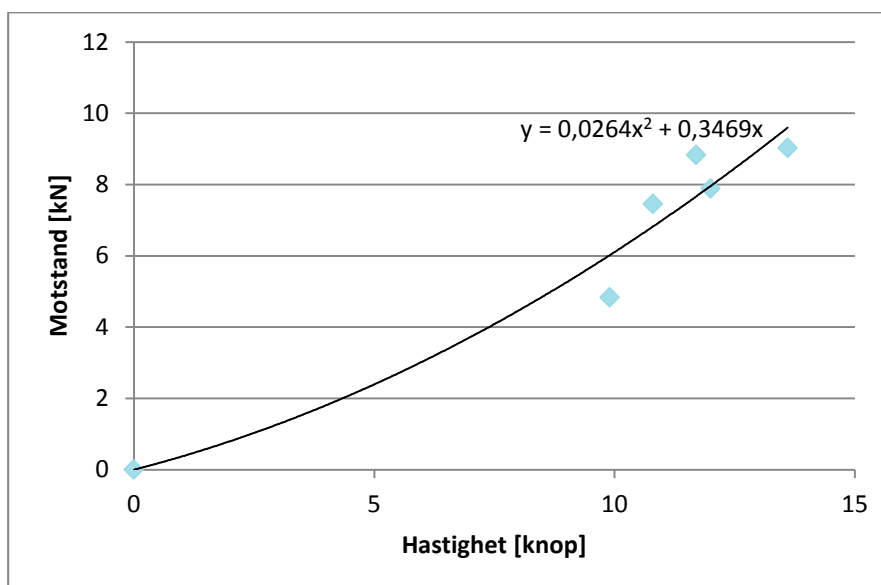
5.1.2.5 Estimering av motstandskurve

På grunn av manglende informasjon om skroget var det nødvendig å gjøre et grovt estimat av skrogets motstandskurve basert på målingene gjengitt i Tabell 2. Dette ble gjort ved å bruke MachOS-modellen beskrevet i seksjon 5.5.1.2.3 til å beregne hvor stor skyvekraft propellen har, og dermed hvor stor motstand det er på skroget, ved de oppgitte turtall og hastigheter. Skrogmotstand varierer typisk med kvadratet av hastigheten. Det ble derfor laget en 2. ordens polynomtilpasning til de estimerte motstandsverdiene, og denne

ble igjen brukt til å estimere motstanden ved lavere turtall. Resultatet av disse beregningene er gjengitt i Tabell 4 og vist grafisk i Figur 5.

| Turtall [rpm] | Fart [knop] | Beregnet motstand [kN] | Beregnet drivstofforbruk [l/h] |
|---------------|-------------|------------------------|--------------------------------|
| 2600 | 13.6 | 9.03 | 40.3 |
| 2500 | 11.7 | 8.83 | 37.7 |
| 2400 | 12 | 7.88 | 32.8 |
| 2300 | 10.8 | 7.46 | 29.8 |
| 1900 | 9.9 | 4.83 | 17.1 |

Skyvekraft og drivstofforbruk, beregnet i MachOS.



Motstand som funksjon av hastighet. Punktene er data fra Tabell 4, mens kurven er en 2. ordens polynomtilpasning til disse punktene.

Det skal bemerkes at modellen i utgangspunktet ga et mye lavere drivstofforbruk enn produsentens målinger tilsa, og kilden til dette antas å være en kombinasjon av at prøveturen ikke ble utført på stille vann samt at propellmodellen neppe stemmer helt overens med den fysiske propellens egenskaper. Etter litt eksperimentering med forskjellige modellparametere ble det funnet en langt bedre overensstemmelse med måleresultatene ved å øke propelldiameteren til 482 mm, mot båtens faktiske propelldiameter som er 457 mm. Det ble regnet med 2 kW forbruk på det elektriske anlegget under prøveturen, siden dette er antakelsen som er gjort i driftsprofilen.

For hastighetene som ble definert i driftsprofilen for dette fartøyet får man da, basert på kurvetilpasningen, verdiene som er gjengitt i Tabell 5. Motstanden er sannsynligvis overestimert i området 4-8 knop. Det var dessverre ikke mulig innenfor prosjektets rammer å verifisere disse tallene med målinger, men det resulterende beregnede drivstofforbruket ved konvensjonell drift har blitt verifisert på erfaringsgrunnlag av

Selfa. Ettersom prøveturen tilsynelatende ble utført under varierende strøm- og værforhold er det ikke lagt til noe tilleggsmotstand for å kompensere for slikt.

| Driftsfase | Hastighet [knop] | Estimert motstand [kN] |
|----------------------|------------------|------------------------|
| Forflytning | 8.0 | 4.46 |
| Forflytning (hurtig) | 10.0 | 6.11 |
| Haling | 1.5 | 0.58 |
| Setting | 6.0 | 3.03 |
| Venting | 1.0 | 0.37 |

Estimert kraftbehov for 11-meters sjark i forskjellige driftsfaser.

5.1.2.6 Beregnet forbruk

Beregnet drivstoff- og energiforbruk ved konvensjonell dieseldrift og batteridrift er henholdsvis oppgitt i Tabell 7 og Tabell 8. Tabell 6 inneholder en forklaring på de forskjellige symbolene.

| Symbol | Forklaring |
|------------|---|
| n | Turtall, dieselmotor. |
| F | Drivstofforbruk ved konvensjonell/dieselektrisk drift (volum per tidsenhet). |
| P_{tot} | Total energiproduksjon (sett bort fra interne tap i energikilde). Ved konvensjonell drift er dette mekanisk energi produsert av dieselmotoren, ved dieselektrisk drift er det elektrisk energi produsert av aggregat, mens ved batteridrift er det energien som hentes fra batteriet. |
| P_{prop} | Energiforbruk, propell (dvs. hvor mye mekanisk energi som går med per tidsenhet for å drive propellakslingen). |
| L_{gen} | Energitalp i generator. |
| L_{gir} | Energitalp i gir. |
| L_{slur} | Energitalp i sluregir. |
| L_{elm} | Energitalp i el-motor |
| r_{slur} | Hastighetsforholdet mellom propellaksling og drivaksling i sluregiret. $r_{slur} = 1$ betyr at giret er låst og vi har direkte kraftoverføring. |

Symbolforklaring til resultattabeller.

| Driftsfase | n [rpm] | F [l/h] | P_{tot} [kW] | P_{prop} [kW] | L_{gen} [kW] | L_{gir} [kW] | L_{slur} [kW] | r_{slur} |
|----------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|
| Forflytning | 1765 | 14.8 | 54.6 | 50.9 | 0.06 | 1.58 | 0 | 1 |
| Forflytning (hurtig) | 2090 | 22.8 | 87.4 | 82.8 | 0.06 | 2.56 | 0 | 1 |
| Haling | 800 | 2.9 | 8.1 | 3.7 | 0.06 | 0.09 | 0.78 | 0.73 |
| Setting | 1432 | 9.0 | 30.9 | 28.0 | 0.06 | 0.86 | 0 | 1 |
| Venting | 800 | 1.9 | 4.0 | 2.7 | 0.06 | 0.06 | 0.79 | 0.58 |

Resultat av energiberegninger for konvensjonell drift, 11 meters sjark.

| Driftsfase | F [l/h] | P_{tot} [kW] | P_{prop} [kW] | L_{elm} [kW] |
|----------------------|-----------|----------------|-----------------|----------------|
| Forflytning | 15.3 | 58.6 | 51.0 | 5.7 |
| Forflytning (hurtig) | 24.2 | 94.6 | 83.3 | 9.3 |
| Haling | 2.7 | 7.4 | 2.2 | 0.2 |
| Setting | 8.9 | 33.1 | 28.0 | 3.1 |
| Venting | 1.7 | 3.3 | 1.1 | 0.1 |

Resultat av energiberegninger for hybriddrift, 11 meters sjark.

5.1.3 15-meters kystfiskebåt

5.1.3.1 Referansebåt

Referansebåten i dette tilfellet var *Vibeke Cathrin* (kallesignal LG7498), en 15 meters kystfiskebåt rigget for linefiske. Denne er utstyrt med tre motorer – en hovedmotor som driver propell og hydraulikk, og to mindre hjelpemotorer som står for strømproduksjon. Spesifikasjonene som ble oppgitt fra produsentens side er gjengitt i Tabell 9.

| Komponent | Fabrikk | Spesifikasjoner |
|------------|----------------------|---|
| Hovedmotor | Deutz BF8M1015MC | 364 kW (495 hk) ved 1800 rpm |
| Propell | Finnøy P30.12.1.50.3 | Diameter: 1500 mm Antall blader: 3 Variabelt stigningsforhold |
| Girkasse | Finnøy G27FK | Utvekslingsforhold 4.48:1 |
| Aggregat 1 | Perkins Sabre 44GM | 47.7 kVA ved 1500 rpm |
| Aggregat 2 | Perkins Sabre 422TGM | 27.7 kVA ved 1500 rpm |

Spesifikasjoner for utvalgte komponenter i *Vibeke Cathrin*.

Heller ikke for denne båten hadde vi tilgang til motstandskurver, og måtte igjen bruke enkle estimater. Fremgangsmåten her var dog helt annerledes enn for 11-metringen, og er beskrevet i seksjon 5.5.1.3.5.

5.1.3.2 Driftsprofil

Driftsfasene som ble definert for denne båttypen og deretter brukt i modellberegningene er gjengitt i Tabell 3. Disse er i hovedsak basert på erfaringsdata fra båteiere, og bør kun tolkes som et representativt eksempel.

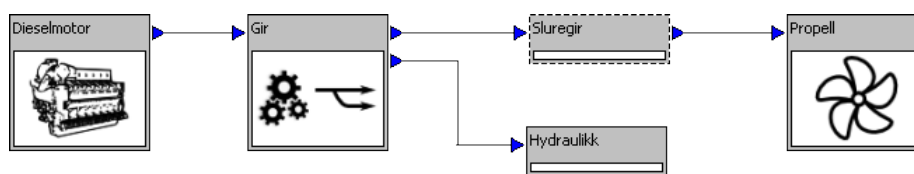
| Driftsfase | Hastighet [knop] | Forbruk, elektrisk [kW] | Forbruk, hydraulisk [kW] |
|-------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| Forflytning | 8.5 | 4 | |
| Haling | 1.5 | 4 | 15 |
| Setting | 6.5 | 4 | |
| Venting | 0.5 | 4 | |

Definert driftsprofil for 15-meters kystfiskebåt.

5.1.3.3 Modell av konvensjonelt maskinerisystem

Ettersom fremdrifts- og hydraulikksystemene i Vibeke Cathrin drives av hovedmotoren, og er helt frakoblet det elektriske anlegget, ble disse systemene modellert for seg selv i MachOS. Konfigurasjonen som ble brukt er vist i Figur 6. Her merker man seg fort at det er lagt inn et sluregir mellom propell og girkasse, hvilket ikke finnes i Vibeke Cathrin. Dette er en ren modelleringsteknisk tilpasning, lagt til fordi propellmodellen ikke støtter den lave propellstigningen som må brukes ved de laveste hastighetene (fasene *haling* og *venting* i driftsprofilen). Sluregiret er låst, slik at man har direkte kraftoverføring, ved de hastighetene der propellstigningen er høy nok til at propellmodellen er gyldig. Igjen er propellanlegget modellert med standard B-serie-polynom (Bernitsas, Ray, & Kinley, 1981), med de spesifikasjonene som var oppgitt for P30-propellen og et antatt bladarealforhold på 0.7. Det er regnet med en antatt thrustdeduksjon på 0.2.

Det var vanskelig å finne gode tall på drivstofforbruk for Deutz-motoren, så det ble istedet brukt en sammenlignbar motor med lettere tilgjengelige forbruksdata (Cummins KTA19-M3). Drivstofforbruk ved ulik belastning og turtall er beregnet ved ekstrapolasjon fra de forbrukstallene som er oppgitt i databladet for denne motoren. Girkassen ble modellert med det oppgitte utvekslingsforholdet på 4.48:1 og et flatt tap på 1%, mens hydraulikken er en enkel forbruker av mekanisk energi der forbruk i kW hentes fra driftsprofil.



Modell av konvensjonelt maskinerisystem for 15-meters kystfiskebåt.

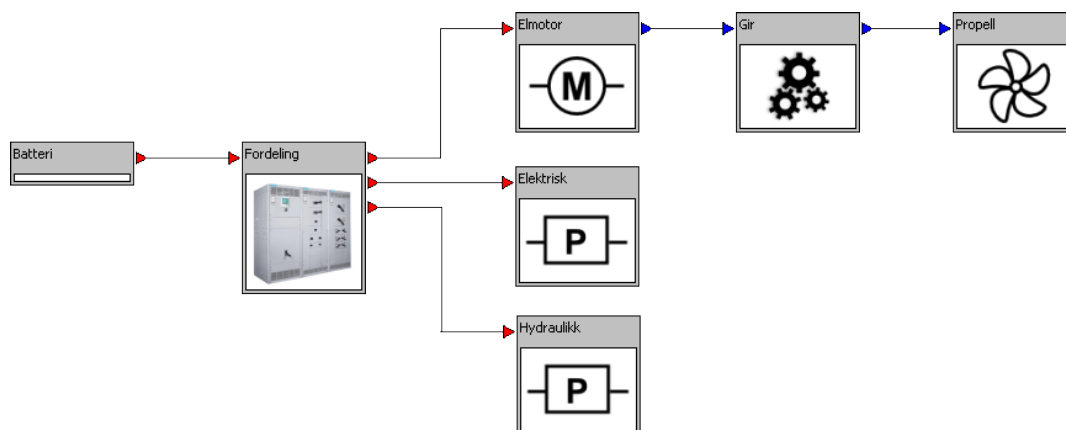
Aggregatene går med jevnt turtall og har ganske jevn belastning, så her ble det besluttet å bruke en veldig enkel modell for drivstofforbruk, nemlig at

$$F = fP$$

der F er drivstofforbruk, f er spesifikt drivstofforbruk og P er produsert elektrisk effekt. Spesifikt forbruk ble antatt til å være 300 gram per kWh elektrisk energi, som er ganske høyt, fordi det elektriske forbruket her er antatt å være relativt lavt i forhold til det aggregatene er dimensjonert for.

5.1.3.4 Modell av batteridrevet maskinerisystem

I et parallell-hybridsystem står forbrenningsmotoren og el-motoren på samme aksling, i dette tilfellet akslingen som går til girkassen og derfra videre til propellen. For å modellere ren batteridrift av dette systemet ble det derfor konfigurert en forenklet MachOS-modell som vist i Figur 7. Her er dieselmotoren byttet ut med en elektrisk motor med 90% effektivitet, og elektrisk anlegg og hydraulikk er modellert som enkle elektriske forbrukere med effektbehov tatt fra driftsprofilen.



Modell av batteridrevet fremdriftssystem for 15-meters kystfiskebåt.

Merk at denne båten, til forskjell fra 11-metringen, ikke har noen dieselektrisk driftsmodus, ettersom dieselmotor og elmotor begge står på samme drivaksling. (Man kan tenke seg en situasjon der *begge* disse leverer kraft til propellen på en gang, men dette er for enkelhets skyld ikke tatt med i betraktningen her.)

5.1.3.5 Estimering av motstandskurve

Det ble gjort et forsøk på å oppdrive eksisterende motstandskurver for lignende 15-meters båter, men dette lyktes ikke. Motstandsestimatene er derfor basert på tall fra slepeprøver med et 18.5 meters skrog med noenlunde samme tverrsnitt (MARINTEK, 1998).

Basert på disse målingene ble det laget en eksponentiell kurvetilpasning av formen $R = ae^{bv}$ (inspirert av (Digernes, 1982)), der R er motstand, v er hastighet og a og b er tilpasningsparametre funnet ved minste kvadraters metode. Dette ga resultatene

$$a = 0.419 \text{ kN}$$

$$b = 0.453 \text{ s/m}$$

Dette gir oss skrogmotstanden i stille vann. Man må med andre ord legge til en del motstand for å kompensere for bølger og vind, men vi kan også trekke fra litt siden motstandskurven i utgangspunktet er tilpasset et 18.5 meter langt skrog. For enkelhets skyld ble det derfor valgt å legge på 10% motstand. Her er det åpenbart rom for forbedringer, og det ble blant annet påpekt under det avsluttende styringsgruppemøtet at dette tillegget i mange tilfeller vil være for lavt. Et eventuelt hovedprosjekt vil derfor måtte ta for seg detaljer rundt tilleggsmotstand i bølger, samt hvordan driftsprofilen i større grad kan gjenspeile de forskjellige værforholdene en båt opplever gjennom et helt år. Resultatene for den definerte driftsprofilen er gjengitt i Tabell 11.

| Driftsfase | Hastighet [knop] | Estimert motstand, stille vann [kN] | Estimert motstand, 10% tillegg [kN] |
|-------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Forflytning | 8.5 | 19.7 | 21.7 |
| Haling | 1.5 | 0.83 | 0.91 |
| Setting | 6.5 | 7.97 | 8.77 |
| Venting | 0.5 | 0.53 | 0.58 |

Estimert kraftbehov for 15-meters kystfiskebåt i forskjellige driftsfaser.

5.1.3.6 Beregnet forbruk

Beregnet drivstoff- og energiforbruk ved konvensjonell dieseldrift og batteridrift er henholdsvis oppgitt i Tabell 13 og Tabell 14. Tabell 12 inneholder en forklaring på de forskjellige symbolene.

| Symbol | Forklaring |
|------------|--|
| F | Totalt drivstofforbruk ved konvensjonell drift (volum per tidsenhet). |
| F_{HM} | Drivstofforbruk ved konvensjonell drift, hovedmotor. |
| F_{agg} | Drivstofforbruk ved konvensjonell drift, aggregat. |
| P_{HM} | Mekanisk energi produsert av hovedmotor. |
| P_{batt} | Total effekt levert av batteri. |
| P_{prop} | Energiforbruk, propell (dvs. hvor mye mekanisk energi som går med per tidsenhet for å drive propellakslingen). |
| L_{gir} | Energitap i gir. |
| L_{elm} | Energitap i el-motor |

Symbolforklaring til resultattabeller.

| Driftsfase | F [l/h] | F_{HM} [l/h] | F_{agg} [l/h] | P_{HM} [kW] | P_{prop} [kW] | L_{gir} [kW] |
|-------------|--------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Forflytning | 50.6 | 49.19 | 1.44 | 192.1 | 190.2 | 1.9 |
| Haling | 7.4 | 5.94 | 1.44 | 19.3 | 4.1 | 0.2 |
| Setting | 15.9 | 14.45 | 1.44 | 53.7 | 53.2 | 0.5 |
| Venting | 3.2 | 1.74 | 1.44 | 2.3 | 2.3 | 0.02 |

Resultat av energiberegninger for konvensjonell drift, 15 meters kystfiskebåt.

| Driftsfase | P_{batt} [kW] | P_{prop} [kW] | L_{elm} [kW] | L_{gir} [kW] |
|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Forflytning | 217.8 | 190.3 | 21.4 | 1.9 |
| Haling | 20.8 | 1.5 | 0.2 | ~0.0 |
| Setting | 63.9 | 53.3 | 6.0 | 0.5 |
| Venting | 4.7 | 0.6 | 0.1 | ~0.0 |

Resultat av energiberegninger for batteridrift, 15 meters kystfiskebåt.

5.1.4 Feilkilder og forbedringsmuligheter

Det er forbundet en meget stor grad av unøyaktighet med beregningene som er presentert her. El-motor, generator og gir er modellert ganske enkelt med en flat tapsprosent, altså at komponentenes effektivitet er uavhengig av forbrukt effekt, på tross av at effektiviteten til slike komponenter ofte vil variere sterkt med

belastningen på systemet. De største feilkildene er allikevel forbundet med estimering av skrogmotstand og propellens effektivitet. Det aller meste av forbrukt energi i en båt går til fremdrift, og i tillegg er det for disse systemene det finnes minst tilgjengelige data. Til slutt er driftsprofilene som ble benyttet i dette prosjektet i hovedsak basert på erfaring, estimater og antakelser, og ikke på faktiske målinger, og de tar ikke høyde for forskjellige værforhold, fiske med forskjellige redskap og på forskjellige lokasjoner, og så videre.

En eventuell videreutvikling av dette forprosjektet bør derfor ta for seg:

- Måling og logging av data ombord i eksisterende båter over en lenger periode – minst et år, gjerne flere. Her bør man samle inn data om drivstofforbruk, elektrisk forbruk, kraftmoment på propellaksling, vær, posisjon/hastighet, fiske og mye mer. Dette vil gi et solid grunnlag for å lage en detaljert, representativ driftsprofil.
- Mer detaljert modellering av tapseffektene forbundet med forskjellige former for energikonvertering, for eksempel el-motor og generator. En enkel metode er å bruke effektivitetskurver fra produsentenes datablader, men denne informasjonen er ofte mangelfull eller helt manglende. En bedre løsning vil være å gjøre beregninger av de fysiske effektene som fører til energitap, for eksempel kobbertap, mekaniske tap, kjernetap, osv. i en generator.
- Målinger og/eller beregninger av skrogmotstand for de skrogene som er aktuelle for prosjektet, både i stille vann og i forskjellige bølgetilstander.
- Frivannsprøver av de aktuelle propellene, med det formål å lage en bedre tilpasset propellmodell. Propulsjonsprøver med akterskip vil også være aktuelt for å etablere mer nøyaktige verdier for medstrømsfaktor og thrustdeduksjon.

5.2 Simulering av driftsprofiler

5.2.1 Basis scenarier for 11 og 15 meters fartøy

Energiberegningene har gitt oss det momentane kraftbehovet som er nødvendig for å operere fartøyene i de angitte driftsfasene:

- Forflytning
- Haling
- Setting
- Venting

For å kunne simulere det samlede energibehovet per sjøvær og år, samt kunne være i stand til å gjennomføre lønnsomhetsberegninger ved investeringer i hybride maskineriløsninger, har prosjektet utviklet et regneark. Her er det bl.a. mulig å variere:

- Lengden på sjøværet
- Antallet sjøvær per år
- Omfanget av de angitte driftsfasene innenfor et sjøvær

Vi har benyttet virkelig dieselforbruk for 2012 som del av verifisering av simuleringsmodellen. MS Bjørkåsbuen og MS Sandfjordjenta representerer begge 11-metinger, mens MS Kloegga representerer 15-metiringen i prosjektet.

Virkelig dieselforbruk for år 2012 for disse fartøyene var:

- MS Kloegga: 21.686 liter
- MS Bjørkåsbuen: 9.800 liter diesel
- MS Sandfjordjenta: 17.500 liter diesel

MS Kloegga har operert som brønnbåt i store deler av året, og dieselforbruket antas derfor å være i underkant av normalt årsforbruk sammenlignet med 15-metringene benyttet i ordinært fiske. MS Bjørkåsbuen er en 11 meters sjark med konvensjonell fremdriftsmotor. MS Bjørkåsbuen er en Selfa speed med 500 hk på 35 fot (10,65 meter), og MS Sandfjordjenta er en Selfa speedsjark med 600 hk på 40 fot (12,2 meter). Årsaken til det ulike forbruket er driftsmønsteret. MS Bjørkåsbuen fisker med påleline (vorm) på et relativt begrenset område hele året mens MS Sandfjordjenta drifter på et større geografisk område. Modellen for energiberegningene har tatt utgangspunkt konvensjonelle fremdriftsmotorer på 168 kw. En speed-sjark opererer til sammenligning med momentane effekter på over 400 kw. I simuleringene for 15-metringene har vi benyttet en hovedmotor på 477 kw. Til sammenligning bygges Selfas hybrid-prototyp med et dieselaggregat på 70 kw.

Som basis scenario for simuleringer av driftsprofiler har vi tatt utgangspunkt i følgende:

| | |
|-----------------|------|
| Sjøvær [timer]: | 10 |
| Ant. Sjøvær | 150 |
| Driftstimer/år | 1500 |

| | |
|-------------------|-----|
| Bunker (kr/l): | 6,5 |
| El. kost (kr/kwh) | 0,6 |

Momentanforbrukene per driftsfase har vi fra kapittel 5.1, og med fordeling av tid i hver driftsfase som nedenfor angitt, får vi følgende forbruk per sjøvær og (diesel og el) kostnader per år for:

- konvensjonell drift
- dieselelektrisk drift i kombinasjon med batteri
- og scenarioet der kun batteriet er energikilde i hele sjøværet

I basis scenariet har vi beregnet samlede forbrukskostnader beregnet for en hybrid løsning der dieselmotoren kun benyttes til forflytning og batteriet for øvrige operasjoner. Scenariet baserer seg på at batteriet er fullt ut ladet fra land.

11-metring:

| Driftsprofil | | | | Forbruk sjøvær | | | Forbruk per år (kr) | | | |
|----------------------|--------------|-------------|--|-------------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | Andel av tid | Tid [timer] | | Konvensjonell (l) | Dieselelektrisk (l) | Batteri (kWh) | Konvensjonell | Dieselelektrisk | Kun batteri | Hybrid (scen 1) |
| Forflytning | 26 % | 2,6 | | 38,4 | 39,8 | 152,4 | 37477 | 38837 | 13718 | 38837 |
| Forflytning (hurtig) | 0 % | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Haling | 40 % | 4 | | 11,4 | 11,0 | 29,6 | 11156 | 10720 | 2668 | 2668 |
| Setting | 11 % | 1,1 | | 9,9 | 9,8 | 36,4 | 9629 | 9540 | 3276 | 3276 |
| Venting | 23 % | 2,3 | | 4,4 | 4,0 | 7,6 | 4286 | 3916 | 683 | 683 |
| | 100 % | 10 | | 64,2 | 64,6 | 226,0 | 62548 | 63013 | 20344 | 45464 |

Dette scenariet gir følgende endringer i kostnader til bunker/el per år (hybrid løsning med forflytningen basert på dieselmotor alene):

| | |
|-------------|--------|
| Kun batteri | -42203 |
| Hybrid | -17084 |

Hvert sjøvær forbruker i dette scenariet 226 kwh. Benyttes dieselmotoren til forflytning alene, vil øvrige operasjoner kreve 74 kwh.

15-metring:

| Driftsprofil | | | | Konvensjonell drift | | | Forbruk per år (kr) | | |
|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------|-----------------|
| | Andel av tid | Tid [timer] | Sjøvær [kWh] | Forbruk HM (l/h) | Forbruk gen. (l/h) | Sum forbruk (l/h) | Konvensjonell | Kun batteri | Hybrid (scen 1) |
| Forflytning | 26 % | 2,6 | 566,3 | 49,19 | 1,44 | 50,63 | 128353 | 50965 | 128353 |
| Haling | 40 % | 4 | 83,2 | 5,94 | 1,44 | 7,38 | 28791 | 7488 | 7488 |
| Setting | 11 % | 1,1 | 70,3 | 14,45 | 1,44 | 15,89 | 17045 | 6326 | 6326 |
| Venting | 23 % | 2,3 | 10,8 | 1,74 | 1,44 | 3,18 | 7136 | 973 | 973 |
| | 100 % | 10 | 730,6 | | | | 181325 | 65752 | 143140 |

Dette scenariet gir følgende endringer i kostnader til bunker/el per år (hybrid løsning med forflytningen basert på dieselmotor alene):

| | |
|-------------|---------|
| Kun batteri | -115573 |
| Hybrid | -38185 |

Hvert sjøvær forbruker i dette scenariet 731 kwh. Benyttes dieselmotoren til forflytning alene, vil øvrige operasjoner kreve 164 kwh.

5.2.2 Simulering av alternative driftsscenarioer, 11 meters fartøy

Avstanden til fiskefeltene og lengden på sjøværet kan variere relativt mye. I basis scenariet for den hybride løsningen har vi tatt utgangspunkt i et 10 timers sjøvær der 26% av tiden går med til forflytning til og fra feltet. Setting tar 11% av tiden, venting 23% og haling 40%.

Settingen er antatt å gjennomføres i 6 knops fart, mens halingen gjennomføres i 1,5 knops fart og ventingen i 1 knops fart. Her forventes det at 50% av samlet batteriforbruk under sjøværet går med til settingen selv om dette tidsmessig utgjør omkring 15% av tiden båten drives med batteri som eneste energikilde.

Variasjon, batteridrift under deler av sjøværet

Som tidligere vist, får vi et akselerert forbruk av batteri ved økt fart. Et samlet energiforbruk i basis scenariet tilsier:

- Batteridrift under hele sjøværet: 226 kwh
- Batteridrift under setting, venting og haling: 74 kwh

Reduseres batteridriften til kun å benyttes under haling og venting, blir energiforbruket kun 44 kwh. Batteridrift benyttes da under 63% av det samlede sjøværet. Simuleringene viser at store deler av sjøværet kan gjøres med begrenset batterikapasitet om bord. Fra et HMS perspektiv, viser forprosjektet at fiskerens arbeidshverdag kan bedres vesentlig, selv med relativt begrensede batteristørrelser om bord.

Dette indikerer også mulige løsninger der batteripakken kan bygges ut etter hvert, noe som kan være aktuelt i påvente av stadig billigere batteripakker på markedet.

Variasjon, hastighet

Økt hastighet bidrar sterkt til økt energibehov. En økning i hastigheten til og fra fiskefeltet fra 8 knop til 10 knop, betyr at effektbehovet øker fra 59 KW til 95 KW, altså en økning i effektbehovet på over 60% for å øke hastigheten med 25%.

Ved å øke hastigheten fra 8 til 10 knop, reduseres sjøværet med omkring 30 minutter fra 10 timer til 9,5 timer. Ved samme avstand til og fra feltet, medfører denne tidsbesparelsen en økt totalt energiforbruket fra 152 kWh til 197 kWh, eller omkring 30% økning. Dette betyr en årlig økning i bunkerkostnader på rundt kr 10.000,-. Hastigheten til og fra feltet kan også reduseres, og samtidige gi reduserte bunkerkostnader. Dette ansees som uakseptabelt siden sjøværets totale tidsomfang da blir for langt.

For setting, venting og haling, kan hastigheten endres noe. Slike endringer er ikke analysert i forprosjektet, men er interessant å analysere nærmere i et hovedprosjekt. Det relative tidsforbruket innen hver operasjon er i all hovedsak konstant. Samlet tidsforbruk for hvert sjøvær avhenger normalt av hvordan fisket er, kvotesituasjonen, samt avstand fra havn til fiskefelt.

Variasjon, lengden på sjøværet

Energibehovet følger lengden på sjøværet direkte så lenge forholdet mellom operasjonene er like. I hoved scenariet der forbrenningsmotoren benyttes til forflytning til og fra feltet, vil en reduksjon i sjøværet på omkring 20%, fra 10 til 8 timer, medføre tilsvarende reduksjon i det batteribaserte forbruket reduseres fra 74 kWh til 59 kWh.

Går fisket tregt er den mulig at ventetiden økes noe. Benyttes samme mengde bruk, må sjøværet forlenges. Opprettholdes sjøværet lengde, må mengden bruk reduseres. Reduseres setting og haling med omkring 25%, øker ventingen med nærmere 60%. Samlet batteribasert energiforbruk under et sjøvær på 10 timer blir da omkring 60 kWh.

5.2.3 Verifisering av modell

Simuleringsmodellen er basert på en del antagelser og forutsetninger på grunn av relativt begrenset dataunderlag for beregning av momentant forbruk for begge fartøystørrelsene. Dette gjelder spesielt motstandskurver, men også energibehovet til andre forbrukere om bord.

Basis scenariet er basert på fiskernes antatte driftstimer i året (sjøværets gjennomsnittlige lengde og antallet sjøvær per år). Disse var for 2012:

| År 2012 | Liter: | Kroner | Simulert (liter) |
|----------------------------------|--------|--------|------------------|
| Kloegga (15 meter): | 21686 | 140959 | 27896 |
| Bjørkåsbuen (10,65 speed meter): | 9800 | 63700 | 9623 |
| Sandfjordjenta (12 m speed): | 17500 | 113750 | 9623 |

Tabellen inneholder også simulerte verdier for fartøystørrelser som tilsvare referansebåtene MS Kloegga, MS Bjørkåsbuen og MS Sandfjordjenta.

MS Bjørkåsbuen representerer operasjoner som passer den simulerte driftsformen best, til tross for at denne er en Selfa Speed. Dette skyldes den korte avstanden til fiskefeltet. Virkelig forbruk av diesel sammenlignet med simulert forbruk, bekrefter dette.

M/S Kloegga er benyttet som brønnbåt i store deler av året. Dette forklarer det høyere simulerte forbruket.

MS Sandefjordjenta er også en Selfa Speed og har derfor, naturlig nok, et høyere årlig forbruk. Basis scenariet har en mars fart på 8 knop. Vi har også simulert årlig forbruk med samme framdriftsmaskin. Denne viser et årlig dieselforbruk på 12.763 liter. Samlet forbruket øker altså 33% med 2 knop ekstra fart. For selve forflytningsoperasjonen alene er forbruksøkningen 53%.

Med basis i vurdering av modellen i forhold til virkelig forbruk, antas de videre analyser, konklusjoner og videre forslag til oppfølgingsaktiviteter og hovedprosjekt, å være innenfor akseptable toleransegrenser.

5.2.4 Krav til batterikapasitet

Under lønnsomhetsberegningene representerer batteriløsningene det største elementet i andelen økte kostnader for hybride fremdriftsløsninger. Det er derfor viktig at batteristørrelsen optimaliseres i forhold til relevante driftsscenarier samtidig som investeringskostnadene på batteri-siden ligger innenfor akseptable grenser.

Base case driftsscenariene tar utgangspunkt i et sjøvær på 10 timer, 150 sjøvær i året, og at energien fra batteriene primært benyttes til haling, setting og venting. Andel tid til transport til og fra feltet er satt til 26% av sjøværet.

I tillegg til kostnadene forbundet med investeringen i hybride fremdriftsløsninger, viser simuleringene at valg av driftsscenarier sterkt påvirker batteristørrelse og kapasitet. Vi har i utgangspunktet 3 driftsscenarier med følgende behov for lagringskapasitet. For 11-metringen (basis scenario, sjøvær 10 timer):

- Kun batteriløsning: 226 kWh, operasjoner med batteri: 10 timer
- Forflytning med forbrenningsmotor: 74 kWh, operasjoner med batteri: 7,4 timer
- Forflytning og setting med forbrenningsmotor: 37 kWh, operasjoner med batteri: 6,3 timer

Simuleringene viser altså at store deler av operasjonen kan gjennomføres med relativt begrensede batteristørrelser om bord. Arbeidsmiljøet i forhold til støy og avgasser for fiskeren er fortsatt tilfredsstillende siden venting og spesielt haling er en operasjon under lav hastighet der fiskeren står ute og arbeider.

I dagens situasjon der batterikostnadene er høye, kan modulære batteriløsninger gi muligheter for senere utvidelse av batteripakken. I forbindelse med ombygging av eksisterende fartøy, der plassen for plassering av batteripakken kan være en begrensning, er det også mulig å få til en god hybrid fremdriftsløsning med langt bedre arbeidsmiljø for fiskeren, men relativt små batteripakker, eks. 40 kWh.

For 15-metringen med en parallellhybrid løsning og et sjøvær på 10 timer, viser simuleringen følgende batteristørrelser:

- Kun batteriløsning: 731 kWh, operasjon med batteri: 10 timer
- Forflytning med forbrenningsmotor: 164 kWh, operasjon med batteri: 7,4 timer
- Forflytning og setting med forbrenningsmotor: 94 kWh, operasjon med batteri: 6,3 timer

Også for 15-metringen kan fiskeren oppnå store arbeidsmiljø-fordeler med relativt små batteripakker.

5.2.5 Ladekapasitet og infrastruktur på land

Det er også viktig med tilstrekkelig infrastruktur på land i form av tilgjengelig ladekapasitet slik at fiskeren kan operere optimalt uten større ventetid. Prosjektet har som utgangspunkt at batteriene skal kunne topplades på under 5 timer (hovedscenario). Dette stiller krav til tverrsnitt på krafttilførselen (el-kablene) og spenning. Batteripakkene vil sannsynligvis kreve 63 ampers sikring og spenning på 230 volt, lader rundt 14,5 kW per time. Dette betyr at et batteri på 72 kWh kan lades på 5 timer. Økes spenningen til 400 volt, lades 25,2 kW per time, og batterier på opp til 126 kWh lades på 5 timer. Reduseres behovet for batteristørrelse om bord, er det mulig å klare seg med mindre strøm og spenning for opprettholdelse av krav til ladetid.

Kartlegging av eksisterende el-infrastruktur på fiskerihavnene langs kysten, blir en del av de foreslåtte oppfølgingsaktivitetene. Myndighetene gjennom kommunenes havner, antas å sørge for tilrettelegging for bruk av fiskefartøyer med hybride løsninger og eventuelt rene batteriløsninger, slik at normale krav til effektiv drift blir oppfylt.

5.2.6 Reduserte CO₂-utlipp

1 liter diesel veier 835 gram. Diesel består av 86,2% karbon, eller 720 gram karbon per liter diesel. For å forbrenne dette karbonet til CO₂ trengs 1920 gram oksygen. Summen blir da 720 + 1920 = 2640 gram CO₂ per liter diesel. I tillegg kommer CO₂ utslipp knyttet til fremstilling og distribusjon av marine diesellojer benyttet om bord på fiskebåter.

I dag finnes det ca 1480 registrerte fiskefartøyer mellom 10 og 11 meter, og 730 registrerte fiskefartøyer mellom 11 og 15 meter. Antallet registrerte fartøyer med inntekter over kr. 50.000,- er henholdsvis 1250 og 670.

| Inntekt (NOK) | Lengde (m) | Antall |
|---------------|------------|--------|
| < 50.000 | <10 | 928 |
| | 10- | 131 |
| | 11- | 20 |
| ≥ 50.000 | <10 | 1634 |
| | 10- | 1254 |
| | 11- | 673 |
| | 15-21 | 154 |

Utdrag fra Fiskeridirektoratets brosjyre "Fiskefartøy og fiskarar, konsesjonar og årlege deltakaradgangar, tabell 19": *Aktive registrerte fartøy etter inntekt og lengde 2013*

Tabellen under baserer seg på simuleringer gjort i prosjektet for 11 og 15 meters fiskefartøyer, og viser antall ton CO₂ per år reduksjoner vi kan forvente oss per gruppe fartøy.

| Forbruk, konvensjonell: | 11 meter | 15 meter |
|---|----------|----------|
| Bunker/år (kr) | 62548 | 181325 |
| Bunker/år (liter) | 9623 | 27896 |
| | | |
| Forbuk, hybrid løsning: | | |
| Bunker/år (kr) | 37477 | 128353 |
| Bunker/år (liter) | 5766 | 19747 |
| | | |
| Besparelser CO ₂ per år og fartøy: | | |
| Ren batteriløsning (ton) | 25 | 74 |
| Hybrid løsning (ton) | 10 | 22 |
| | | |
| Antall fartøy | | |
| Totalt registrert | 1480 | 730 |
| Inntekt over knok 50 (*) | 1250 | 670 |

Reduksjon av CO₂-forbruk per år og fartøy (prosjektsimuleringer)

Hvis alle 11 og 15-meters fartøyer med inntekt over kr. 50.000,- konverterte til rene batteriløsninger, vil CO₂ utslippet reduseres med 81.000 ton årlig.

For den aktuelle kystflåten alene vil en hybrid løsning (kun forflytning utføres med forbrenningsmotor), kunne redusere det samlede CO₂-utslippet med omkring 40% for 11 meters kystfartøy, og 29% for gruppen 15 meters kystfartøy.

| Fartøystype | % reduksjon |
|-------------|-------------|
| 11 meter | 40 |
| 15 meter | 29 |

Reduksjon i CO₂-utslipp ved bruk av hybrid løsning i den aktuelle kystflåten

I forhold et samlede miljømessig fotavtrykk ved bruk av rene batteriløsninger eller hybride løsninger, vil utstyrets forlengede levetid sammenlignet med konvensjonelle løsninger, også bidra til reduserte miljøutslipp.

Forprosjektet har heller ikke vurdert miljøeffektene av en eventuell flytting av kvoter fra større fiskefartøyer, til mindre fiskefartøyer med hybride løsninger. Det er samtidig interessant å analysere hvilke miljøeffekter anvendelsen av brukte batterier fra bilparken vil ha. Kostnadselementet og mulighetene for marinisering av slike batteripakker må selvsagt også gjennomgås.

5.3 Lønnsomhet

Lønnsomhetsberegningene er basert på endringer i investerings- og driftskostnader ved bygging av hybrid fremdriftsløsning for et 11 meters fiskefartøy, der fartøyet benytter forbrenningsmotor til og fra feltet i den hybride løsningen.

5.3.1 Investeringskostnader

Tallene for investeringene tilsvarer kostnadene Selfa Arctic har hatt for bygging av prototypen med 195 kWh batteripakke om bord. Forprosjektet har videre gjort en vurdering av disse kostnadene for estimering av dagens kostnader ved bygging av en ren batteriløsning med samme batteripakke.

Basert på forventet fall i batterikostnadene, er det gjort et estimat over hva tilsvarende kostnader for 2020 vil være.

| Utstyrendring (scen 1): | Hybrid løsning | | Kun batteri | |
|--|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
| | Investeringsendringer | | Investeringsendringer | |
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Skifte til mindre dieselmotor | -500 000 | -500 000 | -800 000 | -800 000 |
| Fjerning av gir | -150 000 | -150 000 | -150 000 | -150 000 |
| El propulsjonssystem (2020: serieprod) | 470 000 | 200 000 | 470 000 | 200 000 |
| Batteripakke (195 kwh) | 1 300 000 | 850 000 | 1 300 000 | 850 000 |
| El. motor | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 |
| Større generator | 150 000 | 150 000 | - | - |
| Netto endring: | 1 330 000 | 610 000 | 880 000 | 160 000 |

Endringer i investeringskostnader (11 metring)

I den hybride løsningen som er beskrevet, legges det opp til en mindre dieselmotor samt at giret fjernes (seriehybrid). Disse postene bidrar til reduserte investeringskostnader. Økningen i investeringene er knyttet til det elektriske propulsjonssystemet, batteripakken, elmotoren, og at det vil være nødvendig med en større generator.

Prototypen (11 meters kystfartøysjark) som bygges er beregnet til å koste i overkant av 1,3 millioner kroner mer, sammenlignet med en konvensjonell sjark av samme størrelse. I år 2020 forventes batterikostnadene å falle vesentlig, samtidig som propulsjonssystemet serieproduseres. Samlede investeringskostnader forventes å falle til omkring 0,6 millioner kroner.

For en ren batteriløsning, vurderes de samlede investeringskostnadene til å være lavere enn for den hybride løsningen. Det å slippe investeringer i dieselmotor bidrar sterkt til de reduserte investeringskostnadene. Framtidige reduserte batterikostnader bidrar i tillegg så mye at vi antar at en fremtidig ren batteriløsning vil ligge mellom 100.000 og 200.000 kr sammenlignet med dagens konvensjonelle løsning.

Tabellen under viser endringene i investeringskostnader for et 15 meters fiskefartøy. Samlede investeringer forventes å ligge omkring 1,8 millioner kroner høyere enn en konvensjonell løsning. Siden dette fartøyet opererer med hoved- og hjelpemotor, forventes en fremtidig ren batteriløsning og ha lavere investeringskostnader enn en konvensjonell løsning (kun en av motorene tas med).

| | Hybrid løsning: | | Kun batteri: | |
|---|-----------------------|----------|-----------------------|------------|
| | Investeringsendringer | | Investeringsendringer | |
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Utstyrendring (hybrid løsning): | | | | |
| Fjerning, hjelpemotor/begge dieselmotorer | -500 000 | -500 000 | -1 000 000 | -1 000 000 |
| Endring av gir | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| NA | - | - | - | - |
| Batteripakke (400 kwh) | 2 200 000 | 850 000 | 2 200 000 | 850 000 |
| NA | - | - | - | - |
| Endring til akselgenerator (G/M) | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| Netto endring: | 1 800 000 | 450 000 | 1 300 000 | -50 000 |

Endringer i investeringskostnader (15 metring)

5.3.2 Driftskostnader

Reduserte energikostnader

Med utgangspunkt i gitte driftsforutsetninger som motorstørrelse, motstand og hastighet, er det gjennomført simuleringer for hybride fremdriftsløsninger for aktuelle driftsmønstre. Beregningene er gjort med utgangspunkt i forbruket for konvensjonell fremdriftsmaskin og propulsjonssystem, og sett hvilke endringer vi får ved en hybrid fremdriftsløsning. Her er reduserte dieselkostnader og økte utgifter til elektrisitet for ladning av batteriene (landstrøm) tatt med.

Forlengt levetid, dieselmotor

I den hybride løsningen erstattes dieselmotoren og giret, men dieselaggregat, batteripakke og et enklere el-drevet propulsjonssystem.

Med bakgrunn i driftsforutsetningene lagt til grunn i prosjektet, er det kun under transitt til og fra feltet dieselmotoren vil være i drift, og derfor kunne arbeide under optimale driftsforhold det aller meste av

motoren levetid. Dieselmotorene på dagens sjarker er i drift under hele sjøværet, og opererer i omkring 75% av motorens levetid, under ugunstige forhold. Dette medfører økt slitasje med redusert levetid som konsekvens.

Det foreligger ikke statistisk materiale som gjør det mulig å kvantifisere økt levetid som følge av optimale driftsforhold. Basert på samtaler med fiskere og enkel vurdering av driftstimer, antas motorens levetid å kunne flerdobles basert på ren driftstid. Med utgangspunkt i en levetid på 10 år for dagens motorer, benytter vi en levetid på 25 år for dieselaggregater benyttet på en hybrid løsning der aggregatet kun benyttes under transitt til og fra feltet.

Vi tar altså utgangspunkt i en total levetid på fartøy lik 25 år, og antar at dagens dieselmotor må byttes ut etter 10 år. Med en investeringskostnad lik kr. 500.000,-, antar vi årlige besparelser grunnet redusert reinvesteringsbehov lik kr. 50.000,-. Erfaringer så langt med batteriers levetid tilsier at batteripakken vil tåle estimert antall oppladninger over hele båtens levetid.

Reduserte driftskostnader, dieselmotor

I tillegg til økt levetid for dieselmotoren, forventes også reduserte driftskostnader i form av:

- Reduserte energikostnader
- Lengre vedlikeholdsintervaller / økt avstand mellom hovedoverhalinger
- Redusert antall oljeskift
- Redusert sannsynlighet for motorhavari og driftsstans
- Redusert assistansebehov

Lengre vedlikeholdsintervaller / økt avstand mellom hovedoverhalingene

Redusert slitasje innebærer mindre behov for vedlikehold. Dette gjelder forebyggende vedlikehold og korrektivt vedlikehold. De hybride løsningene inneholder færre bevegelige deler sammenlignet med den konvensjonelle løsningen basert på dieselmotor og gir alene. Samtidig vil et dieselaggregat som jobber under optimale driftsforhold, kreve mindre vedlikehold sammenlignet med en dieselløsning som – under store deler av sjøværet – vil arbeide under ugunstige driftsforhold.

Vi antar en dobling av vedlikeholdsintervallene, både når det gjelder forebyggende og korrektive tiltak. Fra næringen har vi antatte årlige vedlikeholdskostnader av denne type på kr. 40.000,- for 11-meters fiskefartøyer, og omkring kr. 60.000,- for 15-meters fiskebåter.

Redusert antall oljeskift

I tillegg til reduserte vedlikeholdskostnader (inspeksjoner og reparasjoner), forventes reduserte kostnader som følge av redusert antall olje- og filterskift. Dette estimeres til å utgjøre en årlig besparelse på kr. 10.000,- for hver av fartøystypene sammenlignet med konvensjonelle fremdriftsløsninger.

Redusert sannsynlighet for motorhavari og driftsstans

Grunnet manglende kunnskap om redusert sannsynlighet for motorhavari og driftsforstyrrelser på dieselmotoren, tar vi ikke med denne fordelen i lønnsomhetsberegningene. Samme gjelder driftsstabiliteten til batteriløsningene der vi heller ikke har tilstrekkelig statistisk materiale. Vi antar i denne studien at disse usikkerhetene virker mot hverandre.

Redusert assistansebehov

Det forventes samtidig en lav sannsynlighet for assistansebehov i forbindelse med feil på en hybrid fremdriftsløsning sammenlignet med en konvensjonell løsning med dieselmotor. Dieselaggregatet og batteriet representerer i utgangspunktet redundans. Full redundans forutsetter at det finnes tilstrekkelig med batterikapasitet til å søke havn ved feil på dieselaggregatet, samt at dieselmotoren starter ved tomt batteri eller feil på batteriet. Grunnet manglende statistisk grunnlag for påstanden om redusert assistansebehov, tar vi heller ikke med denne forventede fordelene i lønnsomhetsberegningene.

Tabellen under viser hvilke årlige besparelser til drift vi forventer oss sammenlignet med konvensjonelt fartøy.

| | Hybrid løsning | | Kun batteri | |
|----------------------------|----------------|---------|-------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Årlig besparelse hybrid: | | | | |
| Bunker | 17 084 | 17 084 | 42 203 | 42 203 |
| Forlengelse, levetid motor | 38 000 | 38 000 | 57 000 | 57 000 |
| Oljeskift | 20 000 | 20 000 | 30 000 | 30 000 |
| Økt vedlikeholdsintervall | 30 000 | 30 000 | 45 000 | 45 000 |
| | 105 084 | 105 084 | 174 203 | 174 203 |

Reduserte driftskostnader (11 metring)

Vi antar at levetiden på motoren øker fra 10 til 25 år, at vi sparer 3 oljeskift per år, og at vedlikeholdsintervaller dobler seg. For den rene batteriløsningen har vi økt disse besparelsene med ytterligere 50%.

| | Hybrid løsning: | | Kun batteri: | |
|----------------------------|-----------------|---------|--------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Årlig besparelse hybrid: | | | | |
| Bunker | 38 185 | 38 185 | 115 573 | 115 573 |
| Forlengelse, levetid motor | 54 000 | 54 000 | 81 000 | 81 000 |
| Oljeskift | 30 000 | 30 000 | 81 000 | 81 000 |
| Økt vedlikeholdsintervall | 50 000 | 50 000 | 75 000 | 75 000 |
| | 172 185 | 172 185 | 352 573 | 352 573 |

Reduserte driftskostnader (15 metring)

5.3.3 Lønnsomhetsanalyse

Prosjektet har begrenset seg til å benytte tid til tilbakebetaling av de økte investeringskostnadene gjennom reduserte driftskostnader. Normalt bør ikke denne type investeringer ha høyere tilbakebetalingstid enn 3-4 år (basert på industrielle normer for investeringer med middels grad av usikkerhet).

| | Hybrid løsning | | Kun batteri | |
|--------------------------|----------------|---------|-------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Tilbakebetalingstid (år) | 13 | 6 | 5 | 1 |

Tilbakebetalingstiden for ekstra investering i 11-meters fiskefartøy(195 kWh batteri)

| | Hybrid løsning: | | Kun batteri: | |
|--------------------------|-----------------|---------|--------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Tilbakebetalingstid (år) | 10 | 3 | 4 | -0 |

Tilbakebetalingstiden for ekstra investeringen i 15-meters fiskefartøy (195 kwh batteri)

Beregningene viser at de hybride løsningene for 11 meters fiskefartøy har problemer med å få til akseptabel tilbakebetalingstid, også i fremtiden. Grunnet enklere maskineriløsninger, er det enklere å finne lønnsomme hybride løsninger for et 15 meters fiskefartøy.

For rene batteriløsninger er vi allerede i dag i en situasjon der investeringene i rene batteriløsninger kan være lønnsom.

| | Hybrid løsning | | Kun batteri | |
|--------------------------|----------------|---------|-------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Tilbakebetalingstid (år) | 6 | 2 | 1 | -2 |

Tilbakebetaling for ekstra investeringer i 11-meters fiskefartøy (ca 100 kwh batteri)

Reduserer vi batteripakken til det halve, ser vi straks langt kortere tilbakebetalingstid. I år 2020 vil en hybrid løsningen med 100 kWh batteri om bord, være en investering med god lønnsomhet.

For hybride fremdriftsløsninger forventes det allerede i dag at det med relativt begrensede virkemidler, vil være mulig å stimulere til investeringer i hybride fiskebåter. Særlig hvis batteripakken ikke overstiger 100 kWh.

| | Hybrid løsning | | Kun batteri | |
|--------------------------|----------------|---------|-------------|---------|
| | I dag | år 2020 | I dag | år 2020 |
| Tilbakebetalingstid (år) | 4 | 0 | 0 | -2 |

Tilbakebetaling for ekstra investeringer i 11-meters fiskefartøy (ca 50 kwh batteri)

Batteripakker helt ned til 50 kWh kan allerede i dag være å betrakte som en lønnsom investering hvis forutsetningene stemmer.

5.4 Konklusjon og anbefalinger

Forprosjektet viser at hybride fremdriftsløsninger kan være kommersielt tilgjengelig i markedet for mindre fiskefartøyer i løpet av få år. I tillegg til positive effekter knyttet til reduksjon i utslipp av klimagasser, vil de arbeidsmiljømessige fordelene være vesentlige under operasjoner der fremdriftssystemet henter energien bra batteriene. Hvis forbrenningsmotoren om bord benyttes til forflytning til og fra fiskefeltet, samt under setting av bruk, vil ventingen og halingen ikke kreve mere enn en batterikapasitet på 37 kWh for et 11-meters fiskefartøy. Da gjennomføres 6,3 timer av et 10 timers sjøvær på batteri. Dette er under operasjoner der fiskeren normalt eksponeres for avgasser og støy fra dieselmotoren. For et 15-meters fartøy vil tilsvarende scenarie kreve en batteripakke 94 kWh.

Ut fra rene investerings- og driftsøkonomiske hensyn, vil slike løsninger kunne presenteres for markedet i løpet av kort tid, forutsatt at beregningene stemmer med virkeligheten. Tilbakebetalingstiden for batteripakker ned til 50 kWh antas å ligge på akseptable 4 år.

For sjøvær på 10 timer der kun batteri benyttes som energikilde, kreves en batteripakke på minimum 226 kWh for et 11 meters fiskefartøy (serie-hybrid). For et 15 meters fartøy kreves en batteripakke på 731 kWh.

For et driftsscenario der dieselmotoren kun benyttes til forflytningen til og fra feltet, behøver 11-metringen en batteripakke på 74 kWh, og 15-metringen en batteripakke på 164 kWh. Da foregår hele 7,4 timer av sjøværet på 10 timer, under batteridrift. Også disse løsningene er interessante i dag basert på rene investeringskalkyler. Tilbakebetalingstiden for investering i en batteripakke på 100 kWh (11-metring), antas i dag å være omkring 6 år.

Med reduserte CO₂-utslipp på rundt 40% og vesentlige forbedringer i fiskernes arbeidsmiljø, antar forprosjektet at hybride løsninger for mindre fiskefartøyer vil representere et verdifullt verktøy for moderne fiskere i tiden som kommer.

For norsk båtbyggerindustri, med lange tradisjoner knyttet til bygging av mindre fiskefartøyer, er det viktig å være tidlig ute å tilby hybride løsninger. Både i nybygg, men også i forbindelse med ombygginger og utskifting av fremdriftsmaskineri i den eksisterende kystfiskeflåten.

Det er avgjørende for en introduksjon av hybride løsninger, at forprosjektet følges opp med et hovedprosjekt der hypotesene og beregningene i forprosjektet verifiseres. Fiskerier er tradisjonelt konservativ og sliter med ny-rekruttering. Spesielt gjelder dette kystfiskeflåten. Moderne løsninger som bygger på bærekraft og effektivitet, forventes å bidra positivt til dette. Samtidig forventes det at rene fossile løsninger i fremtiden vil underlegges strengere regimer knyttet til økte avgifter.

Transnovas finansiering av batteriløsningen og Selfas beslutning om bygging av en hybrid-prototyp, utgjør en unik mulighet for verifisering av modellene og beregningene i forprosjektet. En slik verifisering krever systematisk måling og oppfølging i virkelige driftssituasjoner. Prototypen er planlagt ferdigstilt desember 2014. Lønnsomhetsberegningene i forprosjektet har tatt utgangspunkt i løsninger og kostnader for bygging av prototypen.

I tillegg er det naturlig å invitere leverandører av dekkstrutning og andre energibrukere om bord, med på utvikling av løsninger som i større grad er elektrifisert. Elektriske løsninger har ofte høyere virkningsgrad, og det er grunn til å anta at en grundig gjennomgang av forbrukerne av energi om bord kan identifisere energibesparende tiltak.

Med bakgrunn i dette anbefales et forskningsprosjekt bestående av følgende hovedelementer:

1. Instrumentering av prototyp for registrering og verifisering av virkelig energiforbruk
2. Utarbeidelse og gjennomføring av måle- og testprogram over minimum 2 fiskerisesonger
3. Utvikling av rimelige og effektive batteriløsninger tilpasset fiskeflåten
4. Elektrifisering av mekaniske løsninger om bord

Prototypen bør utrustes slik at energiforbruket kan registreres på hvert enkelt forbrukselement om bord.

6 Leveranser

I tillegg til denne rapporten er det utviklet et regneark som simulering av alternative driftsscenarioer for et 11-meters og 15 meters fiskefartøy med henholdsvis seriehybrid og parallell hybrid konfigurasjon. Verktøyet opereres av SINTEF og er godt egnet for dimensjonering av batterikapasiteter og beregning av lønnsomheter under gitte forutsetning.

Forprosjektet har også deltatt under NorFishing i Trondheim i august 2014 hvor resultater fra prosjektet ble presentert.

Prosjektresultatene er også formidlet gjennom pressen ved innlegg i Adresseavisa, Aftenposten og Under Dusken. NRK ønsker også lage et innslag i Schrödingers Katt om prosjektet. Etter avsluttet forprosjekt vil det lages en pressemelding som går ut til fagpressen og den allmenne pressen i nord.

Som del av prosjektet er det også utarbeidet en søknad til MAROFF-programmet om finansiering av hovedprosjekt basert på anbefalingene angitt i rapporten.

7 Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater

Fiskerne som har vært en del av styringsgruppa, har vært de viktigste i sikringen av at prosjektet er i henhold til brukernes ønsker, og at en eventuell realisering av nye hybride fiskefartøyer lettere kan sannsynliggjøres.

Avvik i forhold til hva prosjektet skulle oppnå, er begrenset. Her vises det til kapittel 4.2.

For øvrig er SINTEF-gruppens kvalitetssikringsrutiner fulgt. Manglende empiri har nødvendiggjort en del antagelser under veis, men kontroll av simulerte forbrukstall ved hjelp av virkelig tall fra deltagerne i prosjektet, gjør at beregningene i rapporten er å anta som tilfredsstillende i et forprosjekt. Selfas virkelige investeringskostnadstall knyttet til bygging av prototypen, har vært et viktig bidrag i lønnsomhetsberegningene.

8 Bibliografi

- Bernitsas, M. M., Ray, D., & Kinley, P. (1981). *KT, KQ and efficiency curves for the Wageningen B-series propellers*. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197.
- Digernes, T. (1982). *An analytic approach to evaluating fishing vessel design and operation*. Doktor ingeniøravhandling, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim.
- MARINTEK. (1998). *18.5 m (Loa) coastal fishing vessel. Hull design, performance tests and seakeeping tests. (Report no. 601517.00.01)*.
- SINTEF Fiskeri og havbruk AS. (2010). Improved ship design and operation, by operational data aggregation, key performance indices and numerical optimization.

Kalkulasjon CO₂-utslipp:

<http://www.ecoscore.be/en/how-calculate-co2-emission-level-fuel-consumption>

Vedlegg

Referanser til andre relevante hybride løsninger:

Torqueedo: Vant hovedpris i fjor for elektrisk framdrift på påhengere-kom med innenbordsløsning-ca 30 kw-ingen solgt (www.torqueedo.com)

Corvus: Ingen referanser fra elektrisk framdrift i denne størrelse (www.corvus-energy.com) (referanse, fergen)

Oceanvolt: Finsk produsent som bygger anlegg opp til 8,3 kw (www.oceanvolt.com)

Whisper Power: Mange single større installasjoner, mest parallell hybrid, opptil 130 kwh batterikapasitet (www.whisperpower.com)

GreenStar Marine: Inboard framdrift, max ca 15 kw (www.greenstarmarine.se)

Elco: Amerikansk produsent av inboard elektrisk framdrift, maks 26 kw (www.elcomotoryachts.com)

FisherPanda: Har holdt på lengst, og mest rettet mot lystbåter – små system opptil 6 kw motorer (www.fisherpanda.de)

EST Technologies BV - www.esttechnologies.nl

French Electric Boats Associaton (www.bateau-electrique.com)

SAFT: Antar at dette er nærmeste konkurrent til Corvus, men ingen referanser vedr maritime elektrisk framdrift (www.saftbatteries.com)

Båter: Franskmenn har holdt på lengst med elektriske båter, men etter vårt skjønn driver de med «Think»-produksjon enda, selv etter 15 år i markedet.

Elvebåter, små passasjerbåter for innsjøer, (www.alternativesenergies.com) og (www.odcmarine.com), uansett ikke serieproduksjon, og ikke standard båter.

Utfra alt dette framstår i dag Brusa (www.brusa.eu) på EVS med det utstyr som passer best for vårt prosjekt. De leverer utstyr til de 100 lastebilene på 18 tonn som er presentert på hjemmesidene til www.eforce.ch – Tv-innslag på forsiden. Her er det effekter og kapasiteter det er lett å kjenne igjen:

- 240 kwt batterikapasitet
- Motorer på ca 50 kw
- Spenning på 400 Volt

Diskusjonen rundt prisutvikling på batterier: <http://www.teslamotorsclub.com/showthread.php/17590-Model-S-Battery-Pack-Cost-Per-kWh-Estimate> merk at dette ikke er mariniserte baterier.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no