

2018:01157 - Åpen

Rapport

Hybrid fremdriftssystem for mindre fiskefartøyer

Forfattere

Karl Gunnar Aarsæther
Jørn Eldby



Rapport

Hybrid fremdriftssystem for mindre fiskefartøyer

EMNEORD:Fiskeri
Batteri
Fartøy**VERSJON**

1.4

DATO

2021-06-25

FORFATTER(E)Karl Gunnar Aarsæther
Jørn Eldby**OPPDRAKSGIVER(E)**

Selfa Arctic AS

OPPDRAKSGIVERS REF.

Fredrik Ianssen Lundh

PROSJEKTNR

822000061

ANTALL SIDER:

43

SAMMENDRAG

MK Karoline ble utviklet og bygget av Selfa Arctic AS i perioden 2014–2015. I 2016 ble fartøyet solgt til Øra AS v/Bent Gabrielsen som igangsatte regulært fiske med fartøyet. Måleprogrammet gjennomført under prosjektet har gått over 3 år, fra januar 2016 til desember 2018. Fartøyet har ikke hatt driftsavbrudd under fisket i prosjektperioden. Basert på erfaringer fra prosjektet, elektrisk fremdriftsmotor skiftet ut sommeren 2017 til en modell som kunne yte høyere moment ved samme effekt.

Prosjektet er finansiert av Forskningsrådet (NFR) og Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF), og bygger på forstudien "Hybrid Fiskebåt". Partneren i prosjektet er Selfa Arctic, Siemens og SINTEF. Prosjektet dokumenterer reduksjonen i bruk av fossilt brennstoff ved anvendelse av en hybrid fremdriftsløsning på mindre fiskefartøyer. Prosjektet demonstrerer også hvordan utnyttelse av medbrakt fornybar energi kan optimaliseres for å bedre arbeidsmiljøet, gjennom redusert støy og lukt fra avgasser.

UTARBEIDET AV

Karl Gunnar Aarsæther

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Jarle Ladstein

SIGNATUR

GODKJENT AV

Ståle Walderhaug

SIGNATUR

RAPPORTNR

2018:01157

ISBN

-

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2019-01-31	Første versjon
1.1	2019-02-07	Oppdatert etter FHF's rapporteringsmal
1.2	2019-05-16	Ny kvalitetssikrer
1.3		Endelig versjon m/rettelse fra styringsgruppemøte
1.4	25.06.2021	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	6
2	Innledning	8
2.1	Forprosjekt.....	8
2.2	Hovedprosjektet	9
2.3	Hybridløsning.....	9
2.4	Fartøy, fangst og drivstofforbruk for norsk fiskeflåte.....	10
3	Problemstilling og formål	15
4	Resultater.....	16
4.1	Karolines driftsmønster	16
4.2	Måleprogram	16
4.2.1	Ombordmålinger	17
4.2.2	Identifisering av driftstilstander	18
4.2.3	Driftstimer for dieselaggregat	22
4.2.4	Dieselforbruk	24
4.2.5	Landstrøm.....	27
4.2.6	Bruk av hydraulikk og sidepropeller	28
4.2.7	Energiprofil for Karoline før og etter ombygging	29
4.2.8	Alternative driftskonsepter	32
4.2.8.1	Originalt konsept	33
4.2.8.2	Alternative konsepter.....	33
4.3	Måling av trekkraft	34
4.4	Lydmålinger	36
4.5	Bedriftsøkonomisk lønnsomhet.....	37
5	Diskusjon og konklusjon	41
6	Hovedfunn	42

Figurliste

Figur 1: Prinsippskisse, seriehybridløsning (Mothership)	9
Figur 2: Prinsippskisse, parallell-hybridløsning (Mothership).....	10
Figur 3: Lengdefordeling for norske fartøy over 28 m.....	10
Figur 4: Lengdefordeling for norske fartøy under 28 m.....	11
Figur 5: Antall sluttседler fordelt på lengdegrupper.....	12
Figur 6: Andel av total landet rundvekt og drivstofforbruk fordelt på lengdegrupper	13
Figur 7: Oversikt over gjennomsnittlig refundert drivstoffmengde fordelt på lengdegrupper	14
Figur 8: Eksempel på data før og etter ombygging.	17
Figur 9: Signaler til måleprogram om bord på Karoline	17
Figur 10: Eksempel på kategorisering av målepunkter i operasjonsfaser ved bruk av "fuzzy clustering"	19
Figur 11: Fordeling av andel bruke av dieselgenerator mot aktive dager	24
Figur 12: Spesifikt drivstofforbruk for propellbelastning for dieselmotoren brukt som aggregat i Karoline	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Figur 13: Regnskap over dieselfylling fra 28 januar 2016 til og med 7 desember 2017. Totalt forbruk for perioden er 18927 liter, mens måleprogrammet startet først etter fylling 10 februar.....	25
Figur 14: Bruk av landstrøm til opplading og forbruk ombord ved kai. Startmålerstand på strømmåler er 1430 kWh og sluttstand 39456 kWh	27
Figur 15: Antall målinger av hydraulikkeffekt på forskjellige effektnivåer.....	28
Figur 16: Antall målinger av total sidepropell effekt på forskjellige effektnivåer.....	29
Figur 17: Energiprofil for Karoline før ombygging. Landligge utelatt. Hver horisontal søyle representerer en kalenderdag med drift av fartøyet.....	30
Figur 18: Energiprofil for Karoline etter ombygging uten landligge. Forflytning m/aux tilsvarer forflytning med energi fra batteri. Hver horisontal søyle representerer en kalenderdag med drift av fartøyet.....	31
Figur 19: Sammenheng mellom fremdriftseffekt og fart.....	32
Figur 20: Måling av trekkraft for Karoline før og etter ombygging.....	35
Figur 21: Fremdriftseffekt og oppnådd fart før og etter ombygging	35

BILAG/VEDLEGG

1 Sammendrag

Prosjektet er en oppfølging av sjarken Karoline med batterihybrid fremdriftsløsning etter at fartøyet ble tatt i bruk i aktivt fiske. Det batterihybride fremdriftssystemet basert på el-motorer var designet uten erfaringsdata fra bruk av elektrisk fremdrift for mindre fiskefartøy. Det ble installert et loggesystem om bord for overvåkning av bevegelser og bruk av energi. Målingene skiller mellom trekk av energi fra dieselaggregat, batteribank og forbruk til fremdrift, sidepropeller og hydraulikk. Måleprogrammet gjør det mulig å finne

1. fordelingen i tidsbruk mellom landligge, gange og fiske; operasjonsprofilen til fartøyet
2. fordeling av energiforbruk i de forskjellige driftsfasene

Resultatene viser et driftsmønster for Karoline som består av 2 timer gange til felt, 4 timer fiske på feltet og 2 timer gange til havn. Fra analyse av data er tiden fartøyet bruker i gange funnet til å være mellom 50 % og 55 %. Samtidig er energibruken til fartøyet i gange 75–80 % av den totale energibruken. Fra målingene kan man se at garnfiske trekker rundt 20 kW effekt i fasen ved haling, mens skyting og forflytning mellom garnlenker krever 40–60 kW, men over en mye kortere tidsperiode. Gangtimer for generatoren er redusert med mellom 37 % og 49 %, og spesifikt dieselforbruk for fartøyet 250 g/kWh mot 217 g/kWh som oppgitt på databladet for motoren. Hvis man tar hensyn til 120 kWh fra landstrøm på batteriene før hvert sjøvær blir spesifikt drivstofforbruk 199 g/kWh beregnet ut ifra forbrukt drivstoff og energi.

Endringer i støy og vibrasjoner mellom Karoline og sammenlignbare fartøy med konvensjonell motorløsning ble verifisert ved måling av lydtrykk under gange og fiske. Resultatene fra lydmålingene viser et redusert lydtrykk på rundt 20 db (fra 75–80 db til 55–60 db) under fiske. Lydnivået på dekket til Karoline under fiske er sammenlignbart med kontorarbeid. Karoline ble bygget om i løpet av måleprogrammet for å bytte elektrisk fremdriftsmotor for å kunne kompensere for økt motstand fra tyngre last og dårlig vær. Endring i trekraft ble dokumentert med bollard pull prøve.

1 Summary

The project is a follow-up of the small fisheries vessel Karoline with battery hybrid propulsion system after the vessel began active fishing. The hybrid propulsion system was designed without experience data from the use of electric propulsion in smaller fishing vessels. A data logging system was installed on board for monitoring movements and the use of energy. The measurements distinguish between the draw of energy from the diesel generator, battery bank and energy consumption for propulsion, thrusters and hydraulics. The measurement program makes it possible to find:

1. The operational profile of the vessel; the distribution in time spent between idle, transit and fishing.
2. Distribution of energy consumption in the various operating phases.

The results show an operating pattern for Karoline which consists of 2 hours transit to fishing grounds, 4 hours fishing and 2 hours transit to port. From analysis of the data, the time the vessel spends in transit is found to be between 50 % and 55 %. At the same time, the energy consumption in transit is about 75–80 % of the total energy consumption. The measurements show that gillnet fishing draws around 20 kW effect during hauling, while shooting and moving between gillnet lines requires 40–60 kW, but over a much shorter time period. Running hours for the generator has been reduced with between 37 % and 49 %, and specific fuel consumption for the vessel is 250 g/kWh vs the engines normal 217 g/kWh rating, however, if the 120 kWh from shore power for each fishing trip is included the specific fuel consumption becomes 199 g/kWh.

Changes in noise and vibrations between Karoline and comparable vessels with conventional engines were verified by measuring the sound pressure. The results of the sound measurements show a reduced sound pressure of around 20 db (from 75–80 db to 55–60 db) during fishing. The sound level on the deck of Karoline during fishing is comparable to office work. Karoline was rebuilt during the measurement program to upgrade the electric propulsion engine to compensate for increased resistance from heavier loads and bad weather. The change in thrust was documented with the bollard pull trial.

2 Innledning

Det er i transportsektoren en tvunget utvikling mot redusert bruk av fossile energikilder, både for å redusere bidraget globale CO₂ utslipp, men også for å bedre lokal luftkvalitet. Reduksjon av CO₂ utslipp i transportsektoren har i stor grad vært drevet av økt bruk av elektrisk fremdrift og reduserte kostander for lagring av elektrisk energi i batterier. Den maritime næringen har tatt i bruk batterier etter hvert som kostnadene er blitt redusert. Bruk av batteriteknologi i fartøy krever elektrisk kraftdistribusjon og el-motorer om bord, noe som oftest er tilgjengelig på større fartøy av cruise typen og offshore med stor andel av tiden i standby. Fiskefartøy, og spesielt kystfartøy, har begrenset bruk av elektrisk kraftdistribusjon til fremdrift selv om de mindre fartøyene bruker svært energieffektive redskaper. Den energieffektive fiskerioperasjonen gjør små fartøy velegnet for motorarrangement som effektivt kan drive fartøyet i både energiintensiv forflytning, og under fiske med svært små krav til energibruk. Der offshore fartøy har brukt rene dieselektriske motorarrangement så er dette upraktisk i de små fartøyene og en batterihybrid fremdriftsløsning vil kunne hjelpe mindre kystfiskefartøy til å

- kutte i klimautslipp ved å bruke batteri på fiskefeltet
- forbedre arbeidsmiljø ved reduksjon i støy, vibrasjoner og eksponering mot dieseleksos ved batteridrift på felt

Kystfiskeflåten har et varierende driftsmønster og dimensjoneringen av en batterihybrid fremdriftsløsning og evaluering av egnetheten til teknologien i fiske krever erfaring fra fullskala bruk.

2.1 Forprosjekt

I 2013 og deler av 2014 ble forprosjektet "Hybrid Fiskebåt" utført for FHF i nært samarbeid med kystfiskere i nord. Her ble alternative hybride fremdriftssystemer for mindre fiskefartøyer modellert, og motstand og energibehov under forskjellige driftsoperasjoner, simulert. Operasjoner som

- forflytting til fiskefeltet
- setting av bruk
- venting
- hiving
- forflytning fra fiskefeltet

Variierende batteriestørrelse som energikilde under operasjonene ble analysert og optimalisert i forhold til krav til fornybarhet, HMS og økonomi. Basert på dette ble dagens og fremtidens forventede lønnsomhet beregnet.

Motstandsdata har vært begrenset i de lave hastighetene spesielt, men kunnskap om virkelig bunkerforbruk hos tilsvarende fartøystyper, viste at det simulerte energiforbruket stemte godt med virkeligheten. Resultatene viste at en kunne anta at hverken rene batteriløsninger eller hybride løsninger for mindre fiskefartøyer, vil være lønnsomme uten bruk av støtteordninger. Batteriene utgjør den største enkeltkostnaden i det hybride fremdriftssystemet. Denne kostnaden forventes å falle i årene som kommer. For driftsløsninger som krever mindre batteripakker, kan hybride løsninger være lønnsom allerede i dag. Reduserte kostnader til overhaling og smøreolje for hybride løsninger sammenlignet med konvensjonelle fremdriftssystemer, bidrar til denne lønnsomheten.

Ved 100 % batteridrift, eller annen nullutslipp energiform slik som hydrogen, for kystflåten under 21m, forventes et redusert årlig CO₂-utslipp på over 80.000 tonn basert på tall for dieselforbruk registrert hos Garantikassen For Fiskere. En løsning der forflytningen til og fra feltet baserer seg konvensjonell fossil drift, og at resterende del av fisket gjennomføres ved batteridrift, er det grunn til å forvente at CO₂-utslippet vil reduseres med 40 % til 60 % basert på gangtid fra havn til felt på mellom 30 minutter og 2 timer. Redusert

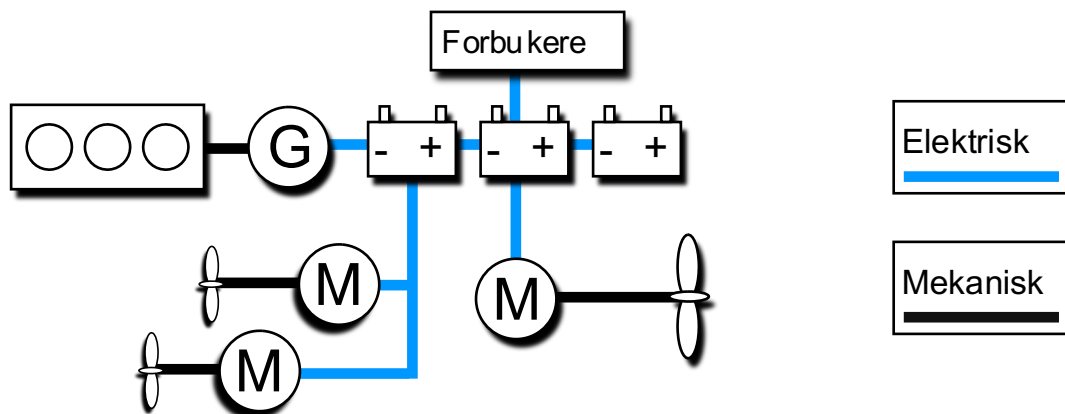
støy og lukt under batteridrift bidrar samtidig positivt til bedret HMS og fiskernes helse, mens batteriteknologien bidrar til å vesentlig redusere gangtimer på fartøyets dieselmotor.

2.2 Hovedprosjektet

Resultatene fra forprosjektet ble benyttet som grunnlaget for hovedprosjektet "Hybrid Fiskefartøy" finansiert av Forskningsrådet (MAROFF-programmet) og Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF). Prosjektet er gjennomført mellom samarbeidspartneren Selfa Arctic – båtbygger, Siemens – leverandør av elektrisk fremdriftssystem og SINTEF. Det hybride fiskefartøyet Karoline ble utrustet med utstyr for direkte logging av driftsdata i løpet av 2016, 2017, samt deler 2018. Resultatene fra hovedprosjektet dokumenterer et redusert utslipp av klimagasser på 40 % under et sjøvær på omkring 8 timer der 2 timer utgjør gangtid til og fra feltet. Dette stemmer med antagelsene fra forprosjektet. Karolines avstand til og fra fiskefeltet er 4 timer, så andelen reduserte utslipp av klimagasser for Karolines del, ligger rundt 25 % på grunn av den utypiske lange avstanden til feltet. For et fiskefartøy med samme batterikapasitet som Karoline, men bare 30 minutters gange til fiskefeltet, reduseres altså klimagassutslippene med omkring 60 % som antatt i forprosjektet.

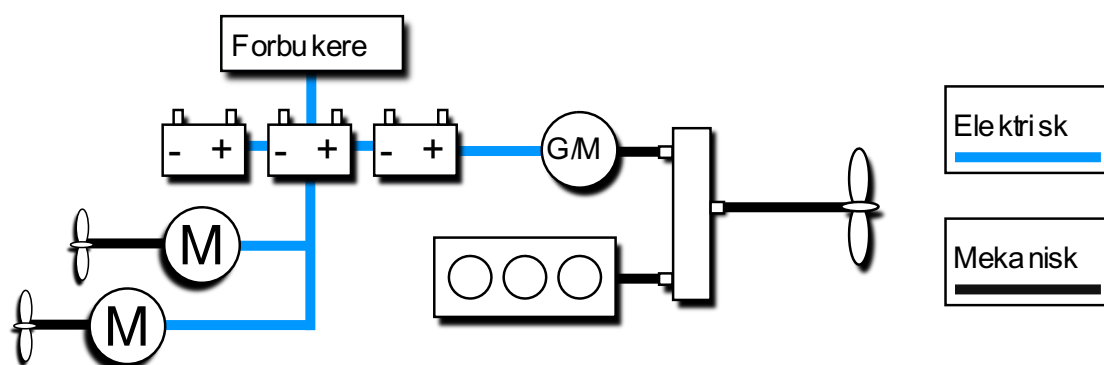
2.3 Hybridløsning

Karoline er utstyrt med en seriehybridløsning hvor en elektrisk fremdriftsmotor er koblet til et 195 kWh batteri som lades fra land når det er tilkoplest strøm fra land. Generatoren om bord står for energiforsyning under energikrevende operasjoner. Eksempelvis under forflytning til og fra fiskefeltet. Figuren under illustrerer prinsippet for en seriehybridløsning, og illustrerer samtidig hvordan solenergi kan benyttes som energikilde.



Figur 1: Prinsippskisse, seriehybridløsning

Til sammenligning vil en parallell-hybridløsning bestå av en konvensjonell dieselmotor med muligheter for direkte kopling til aksel og propulsjonssystem.

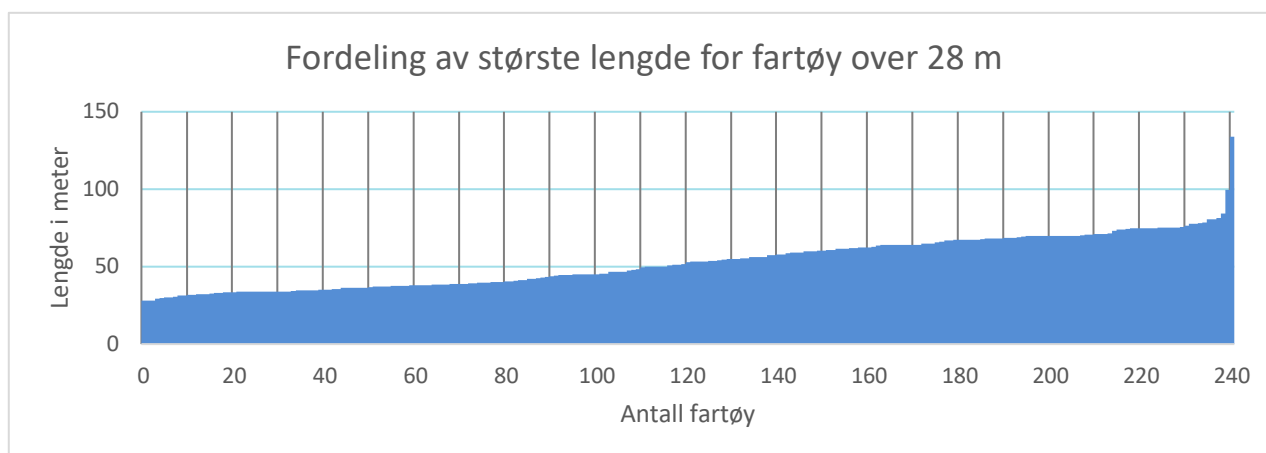


Figur 2: Prinsippskisse, parallell-hybridløsning

I en parallell-hybridløsning vil det også være mulig å drive akslingen med en elektromotor som henter energien fra en batteripakke ladet med landstrøm. Under dieseldrift vil elektromotoren samtidig fungere som en generator slik at batteriene lades.

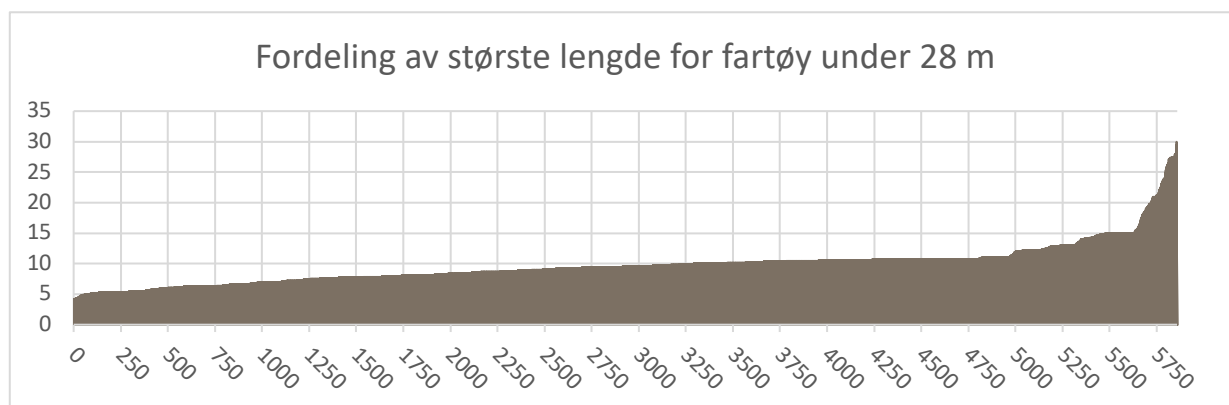
2.4 Fartøy, fangst og drivstofforbruk for norsk fiskeflåte

Batterier kan brukes i maritime energisystemer der det enten er behov for ekstra kraft i korte perioder ("Peak-shaving") eller i driftsformer hvor fartøyet har lavt energibehov i noen operasjonsfaser. Den relativt lave energitettheten i batterier i forhold til fossile drivstoff gjør batteriene aktuelle for "Peak-shaving" i større fartøy, men også som eneste energikilde under fiske med lite energikrevende redskaper fra mindre fartøy. Den norske fiskeflåten består av en kystflåte og en havgående flåte. Disse to flåtegruppene er skilt gjennom regulering, og i stor grad kan den også skilles på fartøyenes lengde ved å se på fartøy over og under 28 m største lengde. Den havgående flåten over 28 m har vært gjennom en lengre struktureringsprosess som har redusert antall fartøy og konsentrert fiskerettighetene. Fiskeridirektoratets fartøyregister inneholder i 2018 om lag 240 fartøy med lengde over 28 m. I Figur 3 vises størrelsesfordelingen for fartøy over 28 m største lengde med en søyle for hvert fartøy. Søylene er sammenstilt og sortert etter lengde slik at fordelingen av fartøy under en gitt lengde er synlig. Median lengden for fartøy over 28 m er 51.7 m.



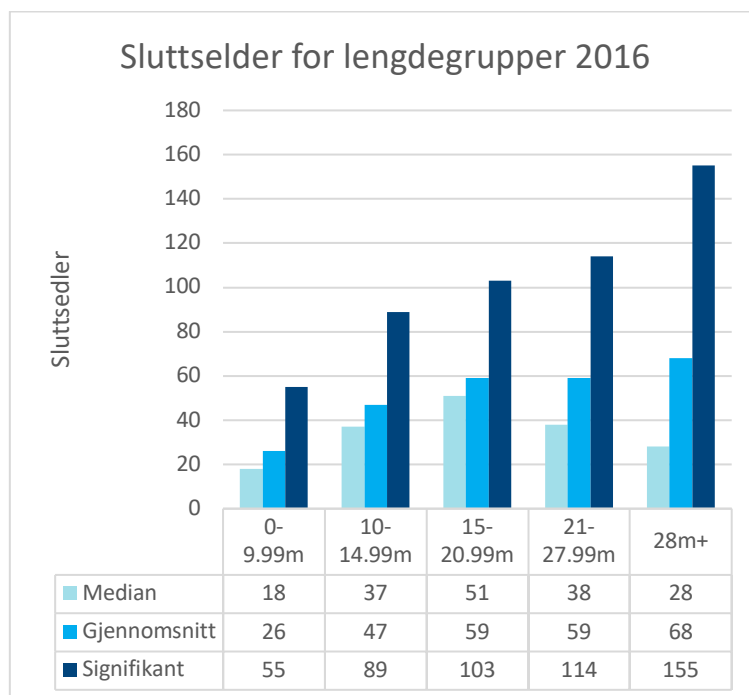
Figur 3: Lengdefordeling for norske fartøy over 28 m

Fartøygruppen under 28 m er mer sammensatt der det største antall fartøy finnes i lengdegruppen opp til 11 m. Fordeling av lengde blant fartøy under 28 m er vist i Figur 4 hvor det er tydelig at lengdereguleringen for deltagelse i åpne fiskerier for fartøy under 11 m påvirker størrelsen på fartøyene. I denne gruppen inngår det mange fartøy med mindre kvotegrunnlag. Det er rundt 5750 fartøy under 28 m registrert i Fiskeridirektoratets registre som fordeler seg på om lag 5000 fartøy under 11 m og 750 fartøyer fra 11 til 28 meter.



Figur 4: Lengdefordeling for norske fartøy under 28 m

Mens det er rimelig å anta at alle fartøy over 28 m driver aktivt fiske, er aktivitetsnivået til fartøygruppen opp til 28 m varierende. Dette er synlig hvis man ser på sluttseddeldata som er koblet opp mot lengdeinformasjon. Sluttsedler genereres hver gang det levers fisk fra fartøy til land. Sluttsedlene er upålitelig for vurdering av aktivitetsnivået for større fartøy med frysekapasitet. Med forutsetning om at det leveres fangst for hvert driftsdøgn, er det derimot mulig å gjøre et overslag over aktivitetsnivået til den mindre flåtegruppen med begrenset kjølekapasitet. Sluttseddeldata fra Fiskeridirektoratet er benyttet for å vise antallet aktive døgn for forskjellige lengdeklasser. Sluttseddeldataene er presentert i Figur 5. Tallunderlaget inneholdt en annen lengdeopptelling og de er derfor presentert i intervallene “opptil 10 m”, “10–14.99 m”, “15–20.99 m”, “21–27.99 m” og “over 28 m”. Antallet fartøy med sluttsedler i hver lengdegruppe viser seg å være nær tilsvarende antall fartøy fra Fiskeridirektoratets fartøyregister. De fleste registrerte fartøy er dermed aktive minst en gang i løpet av året.



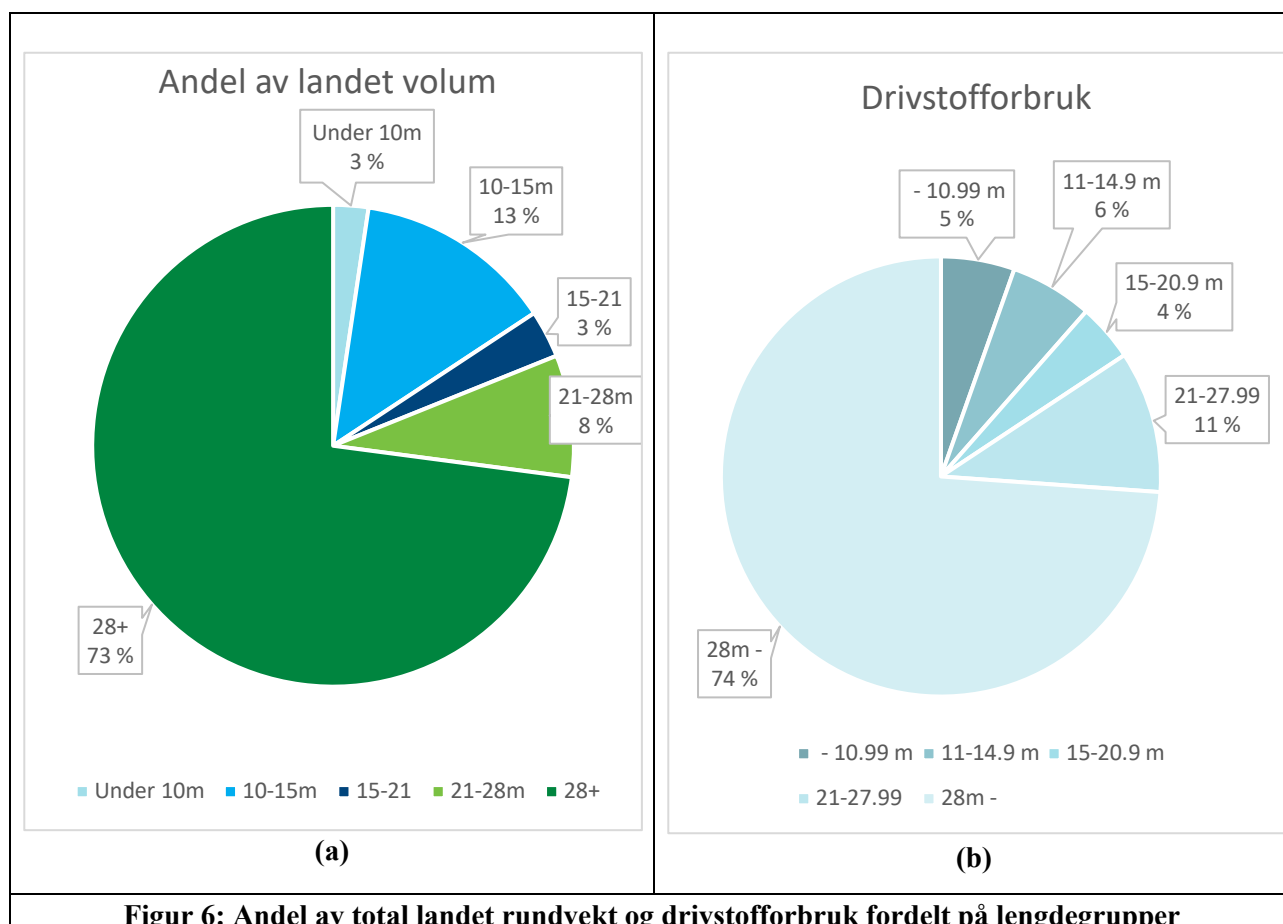
Figur 5: Antall sluttsedler fordelt på lengdegrupper

Figuren viser tre søyler for hver lengdegruppe med median, gjennomsnitt og “signifikant” antall sluttsedler. Det signifikante tallet er gjennomsnittet av de 1/3 høyeste verdien i hver gruppe. Fra figuren er det åpenbart at de minste fartøyene har et lavt aktivitetsnivå som nok er forbundet med sesongbaserte fiskerier. I lengdegruppen “10–14.99 m” leverer de 1/3 mest aktive fartøyene fangst i snitt 90 dager i året. Redskaper som garn, juksa og line er hyppig brukt i denne lengdegruppen, samt blant de minste fartøyene i gruppen “15–20.99 m”. En aktiv flåte med kombinasjon mellom lite energikrevende redskap og mindre fartøy er en flåtegruppe som burde være godt egnet for bruk av batteriteknologi. Ved å se på lengdefordelingen av fartøy i Figur 4 er det om lag 750 fartøy som faller inn under denne kategorien (1/3 av 2250 fartøy mellom 10 og 15 m). Fra sluttsedlene kan man også finne volumet av rundvekt som de forskjellige flåtegruppene leverer. Volumet er sensitivt for artssammensetningen mellom de forskjellige gruppene hvor pelagiske fartøy leverer store volum til mindre verdi enn typiske torskefisker som fiskes av den mindre flåten med garn, juksa og line. Andelen av lengdegruppens landede rundvektvolum for 2016 er vist i Figur 6a. Sluttsedlene er en god datakilde for aktivitetsnivået og volumet fangst som landes av norsk flåte, mens det ikke er noen lignende datakilde for drivstoffbruket. Den nærmeste kilden til data over drivstoffbruket er registrert for refusjon av mineraloljeavgift administrert av Garantikassen for Fiskere. Fiskere kan søke Garantikassen om å få refundert mineraloljeavgift for drivstoff. Dette er ikke obligatorisk, og fartøy kan unnlate å søke refusjon av forskjellige grunner. Samtidig kan havgående flåte bunkre i utenlandske havner hvor det ikke innkreves mineraloljeavgift. Mengden drivstoff det er søkt refusjon om, og hvor mange fartøy som har søkt refusjon, inndelt i lengdegrupper er vist i Tabell 1. Det er tydelig at det er færre fartøy som søker refusjon enn antallet aktive fartøy som er synlig i Fiskeridirektoratets fartøyregister og sluttseddeldata.

Tabell 1: Mengde drivstoff og fartøy for refusjon fra Garantikassen i 2016

Lengdegruppe	0–10.99 m	11–14.99 m	15–20.99 m	21–27.99 m	Over 28m	Sum
Liter drivstoff	11.307.500	12.670.989	8.794.718	21.783.302	154.211.763	208.768.272
Antall fartøy	2502	631	175	148	238	1192

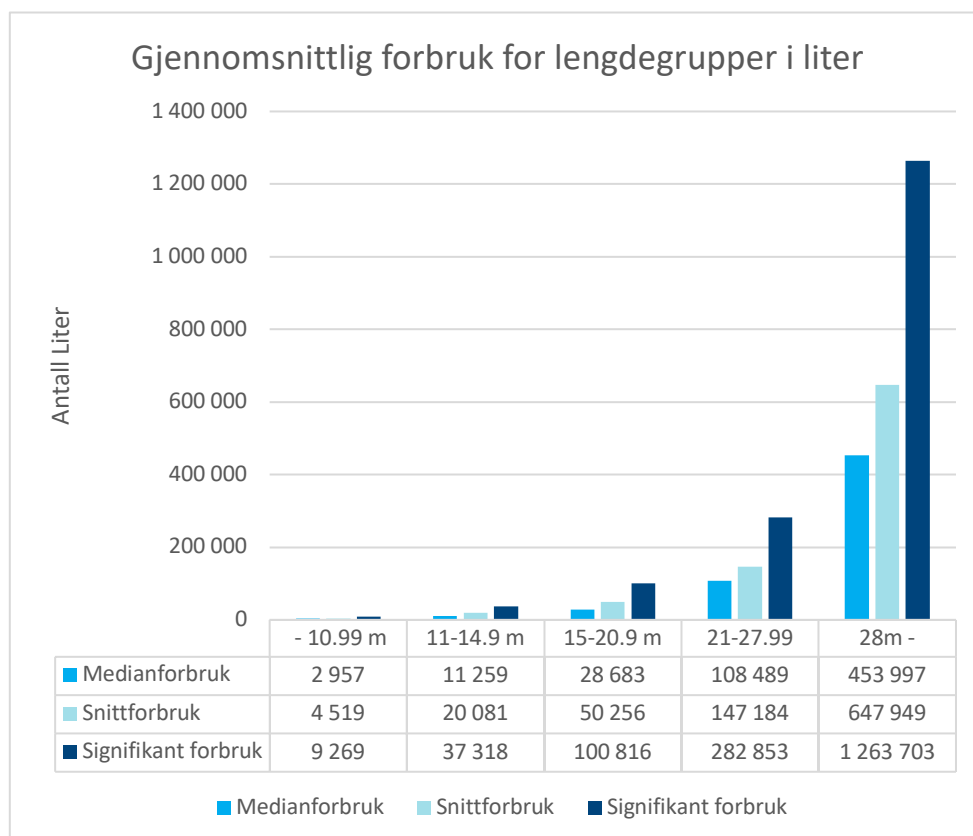
Andelen fartøy som søker refusjon er høyere i de større lengdegruppene, mens det blant de mindre fartøyene mangler en stor mengde fartøy. Lengdegruppenes andel av Garantikassens registrerte drivstofforbruk er vist i Figur 6b. Sammenligning av de mindre fartøyenes (opptil 15 m) andel av fangst og drivstofforbruk viser at disse lander 16 % av rundvekten, men forbruker 11 % av drivstoffet. Dette kan indikere mer energieffektiv fiske i forhold til større fartøy, men rundt 40 % av de mindre fartøyene har ikke meldt inn dieselforbruk for refusjon hos Garantikassen.



Det er et varierende forbruk mellom enkeltfartøy med samme mønster som for sluttседlene. Det er derfor regnet median, gjennomsnitt og signifikant (snitt av 1/3 største forbruk) for hver lengdegruppe vist i Figur 7. Det signifikante forbruket virker realistisk for fartøy som er i helårsdrift og tallet for den minste flåtegruppen stemmer overens med erfaringstall innhentet i forprosjektet for drivstofforbruk for mindre kystfiskefartøy. Enovas ordninger til støtte av energieffektiviserende tiltak, slik som investeringer i hybride fremdriftsløsninger, krever en årlig besparelse på minimum 10.000 liter diesel. Figur 7 viser at gjennomsnittlig forbruk for fartøygruppen opp til 11 meter er 4500 liter per år, mens de 1/3 mest aktive fartøyene har et snittforbruk på 9.250 liter. I fartøygruppen mellom 11 og 15 meter er snittforbruket på 20.000 liter og forbruket til de 1/3 mest aktive 37.300 liter. Kystfiskeflåten kan dermed dra fordel av Enovas støtteregeime om det investeres i flere fartøy under 11 m samtidig. Eller hvis aktive fartøy fra lengdegruppene over 11 m investerer i batterihybride løsninger. Det nye kystfartøyet "Angelsen Senior" i lengdegruppen 15–20.99 m regner med drivstoffbesparelser på rundt 25 % ved å elektrifisere driften på fiskefeltet men samtidig benytte diesel til fremdrift¹. Basert på en drivstoffreduksjon på 25 % ved bruk av batteri på fiskefeltet vil man trenge en serie

¹ https://www.nrk.no/nordland/investerer-millioner-i-ny-el-skoyte_-_vil-gi-bedre-miljo-bade-ombord-og-til-sjos-1.13697919

på 4 båter for de mest aktive fiskene i den minste klassen, 1–2 fartøy for de mest aktive fiskerne i lengdeklassen 11–14.99 m for å kvalifisere til Enova støtte. Samtidig er forbruket blant de mest aktive fartøyene i de større lengdegruppene så stort at enkeltfartøy, slik som Angelsen Senior, vil kvalifisere for støtte til å ta i bruk energibesparende teknologi slik som batteripakker.



Figur 7: Oversikt over gjennomsnittlig refundert drivstoffmengde fordelt på lengdegrupper

Forskjellene mellom median, snitt og signifikant forbruk i Figur 7 viser at det innad i hver fartøyklasse er store forskjeller i drivstofforbruk. Kystfiskeriene er preget av forskjellige driftsmønstre etter regioner, kvotegrunnlag og sesonger. Fartøy med base i et område med sesongvis lett tilgang på ressurser kan drive med kort gangtid til feltet og fiskekvoten sin i løpet av en kort, men hektisk sesong. Andre fartøy kan gå lengre distanser til felt, eller forflytte seg mellom regioner etter sesongfiskeriene og får dermed et høyere drivstofforbruk. Et måleprogram på et fartøy som Karoline viser hvor energien i kystfisket brukes, og hvilke fordeler, eller ulemper, en batterihybrid løsning gir for kystfiskeriene.

3 Problemstilling og formål

Det finnes ingen erfaringstall eller dokumentasjon av energiforbruket til et kystfiskefartøy med batterihybrid fermdriftsløsning. Det er dermed vanskelig å dimensjonere en slik fremdriftslinje og det er vanskelig å svare på fordeler og ulemper med batterihybride fremdriftssystemer. For å kunne bestemme batterikapasitet og mulig reduksjon av klimautslipp, eksponering for støy og eksponering for eksos er det behov for dokumentasjon av fartøyets energibruk. I tillegg til energibruken er det behov for å vite fartøyets driftsprofil, både for å kunne sammenligne tallene fra Karoline med andre scenarier, men også for å vise i hvilke faser av sjøværet fartøyet kan driftes uten bruk av fossile energikilder.

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra et måleprogram for Karolines energibruk over 30 måneder som forsøker å svare på følgende: Hva er energiforbruket om bord på et batterihybrid kystfiskefartøy? Hvordan er fartøyets operasjonsprofil, og hvilke fordeler med tanke på eksponering mot støy og dieseleksos² er observert?

² WHO har siden 2012 klassifisert dieseleksos som kreftfremkallende

4 Resultater

Fartøyet Karoline er bygget som en seriehybrid hvor alle konsumenter om bord drives fra et elektrisk nett. Det elektriske nettet forsynes av energi fra et batteri som igjen mottar strøm fra en akselgenerator montert på en dieselgenerator, eller fra en tilknytning til landstrøm. Fartøyets batteri har en kapasitet på 195 kWh og den utnyttbare energien er i batteriets ladeområde 80 % til 25 %, noe som tilsier 125 kWh i medbrakt energi fra landstrøm til fiskefeltet for hvert sjøvær.

Det ble gjennomført et måleprogram i løpet av 2016, 2017 og deler av 2018 med formål å dokumentere driftsprofilen med tilhørende energibruk for hybridsjarken Karoline. Dataene gir et innblikk i hvordan fartøyet opereres og hvordan energibruken varierer.

Måleprogrammet gjør det mulig å rekonstruere, og definere fartøyets driftsprofil med fokus på produksjon og forbruk av energi om bord. Måleresultatene kan normalisere på tidsbruk, noe som gjør de overførbare til andre driftsprofiler med samme fartøy og redskapstype.

4.1 Karolines driftsmønster

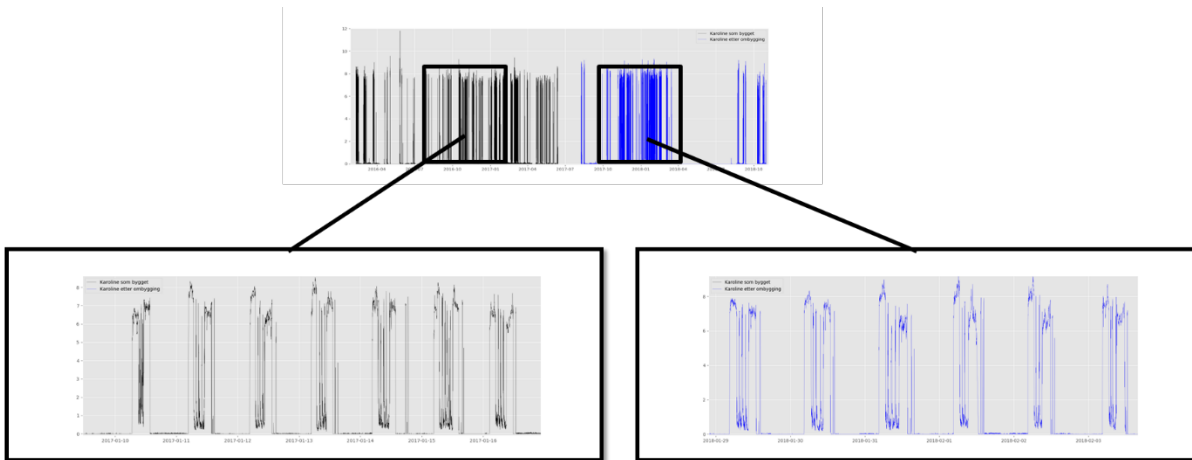
Karoline har et driftsmønster som skiller seg fra et typisk mindre kystfiskefartøy som opererer i samme område. Karoline har av praktiske årsaker valgt å ha hjemmehavn i Kristoffervalen på Vannøya i Troms, og er under vinterfisket aktiv på fiskebankene rett nord for Vannøya. Det tar om lag fra 2 timer til 2 timer og 30 min i gangtid en vei fra Kristoffervalen til fiskefeltet. De fleste fartøyene som fisker på samme fiskefelt er basert i Torsvåg på Vannøya og har om lag 45 min gangtid en vei til fiskefeltet. Karolines drift er dermed preget av en relativt høy andel av tiden brukt i gange mellom hjemmehavn, leveringssted og fiskefelt. I absolutte tall vil derfor Karoline bruke mer diesel, tid og energi på gange til og fra fiskefelt, enn det mange fartøy av denne fartøytypen gjør.

4.2 Måleprogram

Målesystem med datainnhenting ble installert med en løsning der data innhentes kontinuerlig. Målinger av energiforbruket var operativt 9. februar 2016 mens feil i overføringen av GPS signalet gjorde at posisjonen til fartøyet ikke ble tilgjengelig før 22. februar 2016. Etter dette har målesystemet vært operativt og sendt inn data kontinuerlig, med unntak av perioder hvor fartøyet har vært helt nedstengt som under verkstedsopphold når det ikke strøm tilkoblet fartøyets ombordsystemer. Måleprogrammet har vært operativt 645³ dager og fartøyet har vært uvirksomt 347 dager i løpet av denne perioden.

	Start	Stop	Målinger
Karoline som bygget	10. februar 2016	14 juni 2017	34 780 300
Karoline etter ombygging	8.august 2017	31. oktober 2018	21 109 140

³ 9 februar 2016 til 31 oktober 2018

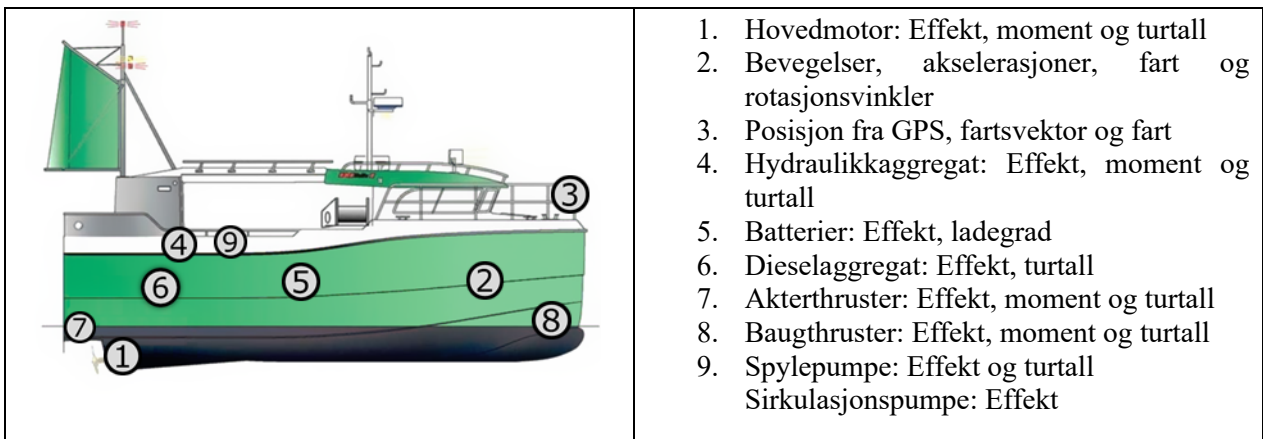


Figur 8: Eksempel på data før og etter ombygging.

Sommer 2016 ble det rettet en feil i loggesystemet som førte til feil energiforbruk for sirkulasjonspumpen som var ble målt som en fast verdi på 140 W, dette ble korrigert for tidligere målinger ved å la verdien for effektforbruk på sirkulasjonspumpen være 0 når dieselaggregatet var nedstengt. Sommeren 2017 ble Karoline ombygget og fikk ny elektrisk fremdriftsmotor samt ny propell. Den elektriske fremdriftsmotoren ble byttet til en modell som ga økt moment ved lave turtall for å tilpasses den nye propellen. Motoren beholdt nominell effekt på 100 kW. Samtidig ble det installert en bryter som lar skipperen starte og stoppe dieselaggregatet fra dekk, noe som bare var mulig fra styrhuset tidligere. Dieselgeneratoren ble oppjustert fra 75 kW til 85 kW maks effekt, noe som gjør den litt underdimensjonert for den nye motorens maks effekt. Måleprogrammet er derfor delt opp i to faser, før og etter ombygging. Skillepunktet mellom disse to fasene er satt 1. august 2017.

4.2.1 Ombordmålinger

Målesystemet fanger data hvert sekund og lagrer dette om bord før det overføres via mobilnettet periodisk. Data lagres om bord frem til det er overført selv om fartøyet skulle være utenfor dekningsområdet til mobilnettet. Alle datapunkter stemples med tid og tall fra energisystemet samordnes med målinger av fartøyets bevegelser. Fartøyets bevegelser lagres også separat med 10 målepunkter i sekundet. Effekten på det generelle elektriske utstyret om bord beregnes som differansen mellom levert og forbrukt kraft og vil derfor være upålitelig i situasjoner hvor fartøyet mottar energi fra land. Elektrisk utstyr om bord innbefatter navigasjonsutstyr, datamaskiner, oppvarming og generelt elforbruk i kabin samt el-fyrt kjel for varmekabler i dekk.



Figur 9: Signaler til måleprogram om bord på Karoline

4.2.2 Identifisering av driftstilstander

De innsamlede målingene er ustrukturerte bortsett fra ordning etter tid og bruk av disse krever videre analyse for å kunne gi svar på spørsmål relatert til fartøyets driftsmønster. Fartøyets driftsprofil er på forhånd definert gjennom forprosjektet⁴ som følgende driftsfaser.

Driftsfase	Beskrivelse
Steaming	Gange til og fra fiskefelt
Fiske / setting	Utsetting av garn i hastighet
Fiske / haling	Ombordtaking av garn og fangst i lav hastighet
Fiske / venting	Tid på fiskefeltet mellom setting og haling
Landligge	Båt ved kai uten bruk av fremdrift

Måledataene danner grunnlaget for et nytt sett driftstilstander og målepunktene klassifisering innenfor disse tilstandene danner dermed grunnlaget for en faktisk driftsprofil for fartøyet. Grunnet den store mengden data lar dette seg ikke gjøre manuelt, men må overlates til datamaskinene. Metoden "fuzzy clustering"⁵ ble brukt for å klassifisere fartøysdata i kategorier som utviste stor grad av likhet. Dette ble gjort ved å definere 6 dimensjoner som grunnlag for fartøyets operasjonsprofil:

1. Fartøyets hastighet
2. Effektforbruk av hovedmotor
3. Effektforbruk av sidethrustere
4. Effektforbruk av hydraulikk, spylepumpe og sirkulasjonspumpe
5. Levert effekt fra dieselgeneratoren
6. Levert effekt fra batteripakken

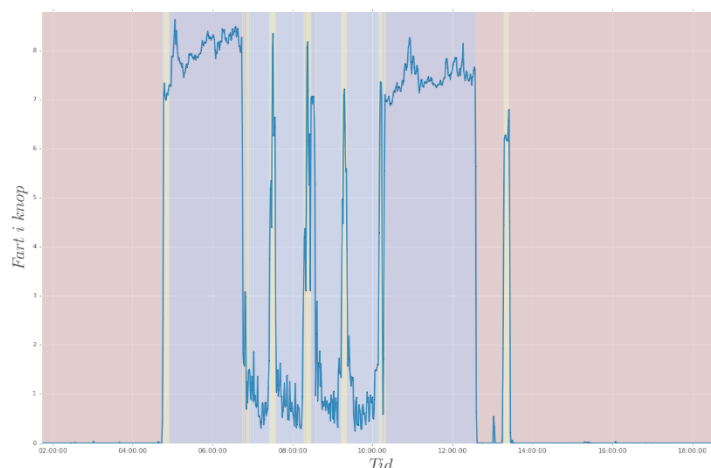
Dimensjonene valgt som grunnlag for driftsprofilen er valgt ut ifra ønsket om å kunne fange driftstilstandene som var definert i forprosjektet, samt å skille ut bruk av elektrisk effekt fra batteripakken innenfor disse operasjonsfasene.

Datasettet ble dermed inndelt i 5 kategorier etter likhet innenfor de overnevnte dimensjonene. Dette resulterte i et ekstra signal i måledataene som definerte hvilken operasjon fartøyet til enhver tid befinner seg innenfor. Hvilke regler og grenser som brukes til å klassifisere målepunktene innenfor hver kategori fremkommer i beregningen og er ikke satt på forhånd. Grensene mellom settene blir dermed et resultat av måledataene og hvilke verdier disse antar. Datapunkter ble ordnet i kategorier ved bruk av "Fuzzy clustering" hvor hvert punkt får tildelt et tall mellom 0 og 1 for hver kategori som sier graden av tilhørigheten. Punktene ble tilordnet en kategori ved å velge punktets kategori med maksimum tilhørighet. Eksempel på resultater av "fuzzy clustering" langs aksene definert over er vist i Figur 10 hvor bakgrunnen er fargelagt etter datapunktets tilhørighet i kategorier og fartøyets fart er plottet. Det er tydelig at metoden plukker opp fartøyets driftsmønster, og samtidig bygger grupper av datapunkter for hver driftstilstand.

⁴ <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900922>

⁵ Josh Warner, Jason Sexauer, scikit-fuzzy, twmeggs, Alexandre M. S., Aishwarya Unnikrishnan, Himanshu Mishra. (2017, October 6). JDWarner/scikit-fuzzy: Scikit-Fuzzy 0.3.1 (Version 0.3.1). Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1002946>

Etter ombyggingen var det ikke lenger tilstrekkelig med 5 kategorier, og kategoriseringen ble utvidet til 6. Dette var grunnet endringer i operasjonsmønsteret som tilskrives den kraftigere elektriske fremdriftsmotoren sammen med muligheten til å starte og stoppe dieselaggregatet fra dekk. Etter ombyggingen bruker Karoline dieselgeneratoren hyppigere på feltet når fartøyet skal forflytte seg. Dette sparer energien som er lagret på batteriene til annet bruk, slik som supplement til effekten fra dieselgeneratoren. Energien lagret i Karolines batteri som ikke brukes under fiske brukes til å supplere energien fra dieselgeneratoren under gange tilbake til havn når fartøyet er tyngre med fangst fra feltet.



Figur 10: Eksempel på kategorisering av målepunkter i operasjonsfaser ved bruk av "fuzzy clustering"

Bruk av "fuzzy clustering" resulterte i 5 forskjellige grupperinger av data, der to representerte landligge med henholdsvis ladning og tapping av batteriene. Verdiene i tabellene viser gjennomsnittsverdien til de forskjellige dimensjonene for hver identifisert driftstilstand. Det er to operasjoner som ble identifisert som landligge, med og uten ladning av batteriet. Disse ble kombinert til en driftstilstand og klassifiseringen resulterte dermed i 4 operasjonstyper for den originale Karoline og 5 etter ombygging. Verdiene for hver celle i tabellen er snittet av alle datapunkter som er klassifisert i hver driftoperasjon. Batteriene lades under landligge, men klassifiseringen av dataene plukket ut to typer landligger hvor energi enten gikk inn eller ut av batteriene. Energistrømmen til og fra batteriene bytter hyppig etter at batteriene er fulladet med små trekk av energi, med påfølgende lagring av energi i batteriene. Dermed ble disse to forskjellige typene av "landligge" slått sammen til en driftstilstand hvor ladning av batterier foregår i en andel av tiden.

For den originale Karoline var forskjellen mellom de identifiserte og forhåndsdefinerte driftsfasene "Fiske" hvor aktiviteter som haling av garn er inkludert, Fasen "fiske m/fremdrift" med relativt høy hastighet, bruk av hydraulikk (Annet kW) og bruk av batteri er lagt til. Denne driftsfasen ser ut til å representere forflytning på felt og setting av garn ved bruk av hovedsakelig kraft fra batteriene.

Tabell 2: Identifisert driftsprofil for Karoline før ombygging

	Fart Knop	Fremdrift kW	Sidepropell kW	Annet kW	Diesel kW	Batteri kW	Timer
Landligge	0.02	0.04	0.02	0.02	-0.30	1.62	8631
Fiske	1.12	5.39	1.28	3.38	-2.64	12.40	401
Fiske m/fremdrift	6.56	63.90	0.19	1.10	-6.55	61.98	118
Gange	6.97	72.35	0.04	0.68	-73.05	-2.38	514

Bruken av batteriet som energikilde i driftsfasen "Fiske m/fremdrift" før ombygging forsvant med introduksjonen av knappen på dekk som lar dieselgeneratoren startes og stoppes uten å være i styrhuset. Det

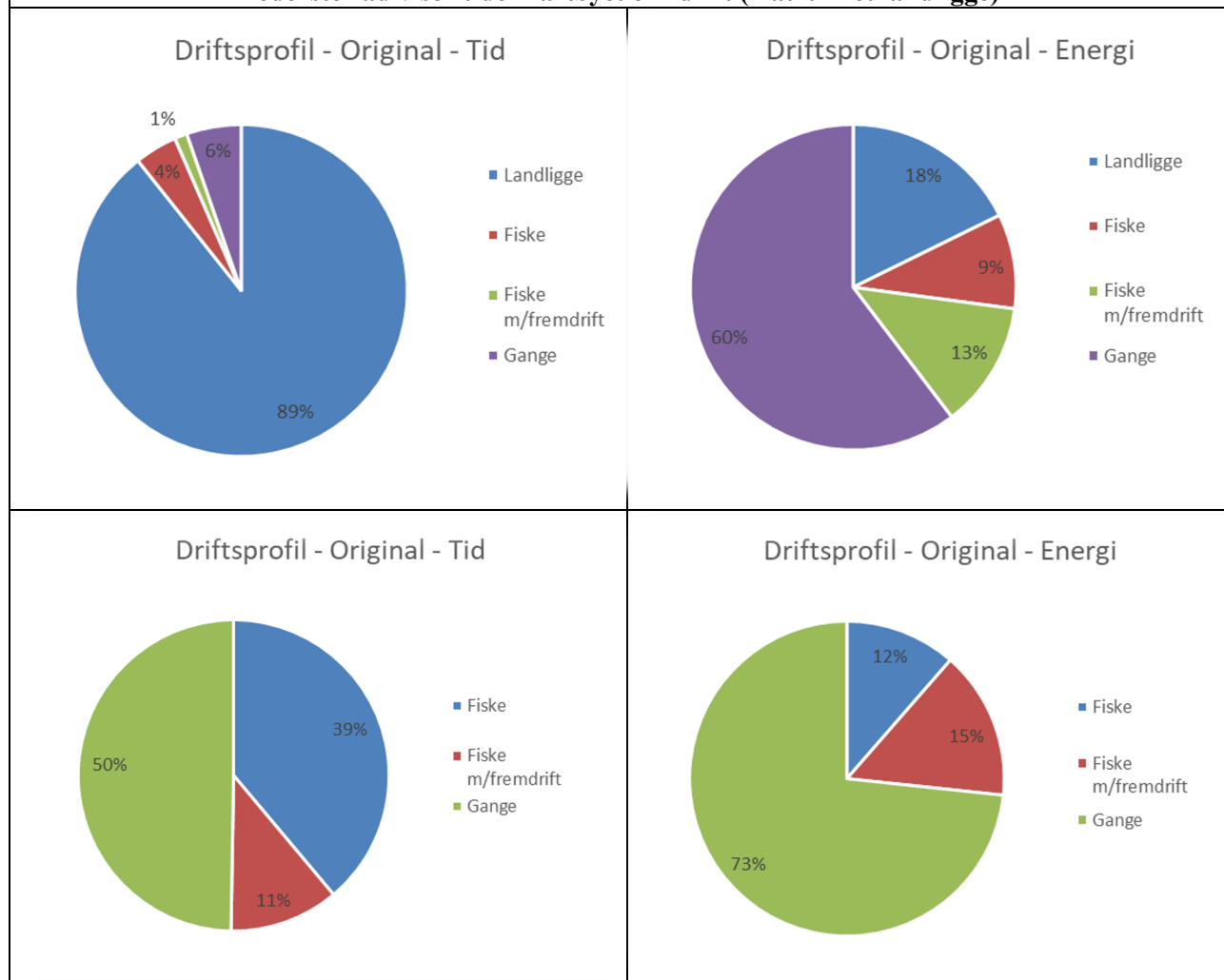
er fortsatt mulig å bruke fartøyet i steaming med batteri som energikilde, men dette ble funnet lite hensiktsmessig når praksisen tappet batteriene for mye energi i forhold til varigheten på operasjonen. I dataene etter ombygging brukes dieselmotoren i større grad til "Fiske m/fremdrift". Energien i batteriet som ikke brukes under fiske blir brukt i en ny driftsfase hvor den fremdriftsmotoren drives av både dieselgeneratoren og batteriet, sannsynligvis er dette i tilfeller hvor fartøyet går i motsjø eller er tungt lastet på vei mot land.

Tabell 3: Identifiser driftsprofil for Karoline etter ombygging

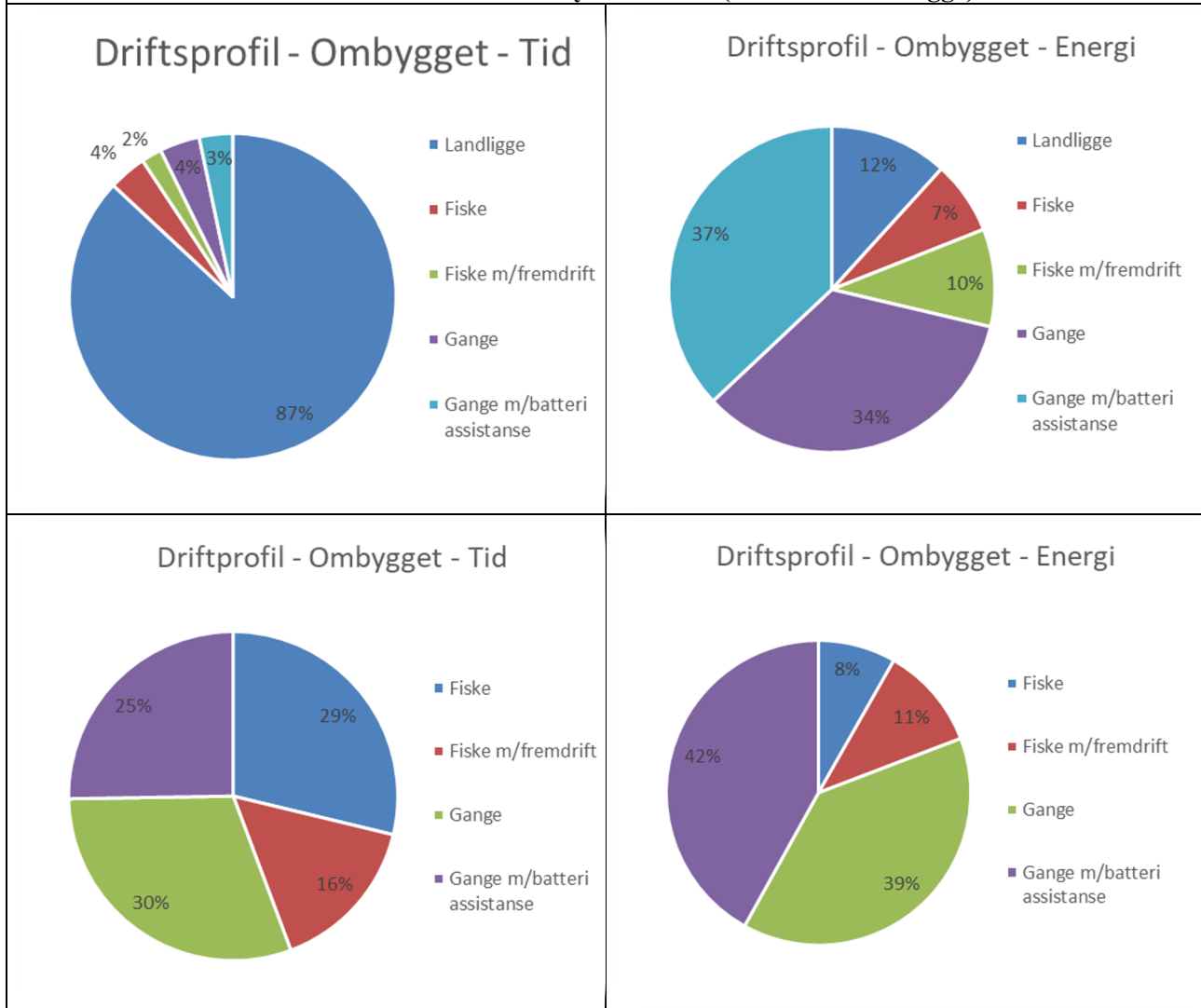
	Fart Knop	Fremdrift kW	Sidepropell kW	Annet kW	Diesel kW	Batteri kW	Timer
Landligge	0.02	0.05	0.02	0.02	-0.29	1.55	5099
Fiske	1.09	6.64	1.54	3.68	-5.08	-13.03	220
Fiske m/fremdrift	4.70	37.13	0.75	1.56	-59.10	14.50	119
Gange	7.27	76.55	0.02	0.56	-81.75	0.98	233
Gange m/batteri assistanse	7.37	98.66	0.01	0.79	-71.24	-33.68	193

Karoline har to primærkilder til energi, diesel som konverteres til elektrisk energi av generatoren og landstrøm som bringes fra land til fiskefeltet på batteriene. Etter ombyggingen brukes mindre batterienergi i fiske siden dieselaggregatet av praktiske hensyn brukes oftere under "Fiske m/fremdrift". Siden den elektriske fremdriftsmotoren kan forbruke mer effekt enn generatoren kan levere brukes energi laget på batteriet på tilbaketuren fra feltet. Dieselgeneratoren går dermed hyppigere enn originalt siden den aktiveres på feltet under fiske.

Energi og tidsprofil for Karoline som bygget. Øverste rad viser total tid over hele året, mens nederste rad viser tiden fartøyet er i drift (fratrukket landligge)



Energi og tidsprofil for Karoline etter ombygging. Øverste rad viser total tid over hele året, mens nederste rad viser tiden fartøyet er i drift (fratrullet landligge)



4.2.3 Driftstimer for dieselaggregat

Driftstimer for en dieselmotor er dimensjonerende for vedlikeholdskostnader i form av overhalinger, slitasje på deler og forbruk av smøreolje. Samtidig så vil driftstimer gi behov for kjøling av motoren og produsere et varmeoverskudd som i noen tilfeller kan gjenvinnes. Karoline er utstyrt med et dieselaggregat som kan forsyne fartøyet med elektrisk energi til å drive både hovedmotor, sidepropeller og hydraulikk. Med en konvensjonell diesel drevet fremdriftslinje vil et mindre kystfartøy uten hjelpemotor måtte kjøre dieselmotoren så lenge det er behov for kraft om bord. Karolines batteri-elektriske hybridsystem vil derimot kunne forsyne fartøyet med kraft etter behov, med eller uten generering av elektrisk kraft fra dieselaggregatet. Sammenligning av driftstimer mellom enkeltfartøy fartøy og år er beheftet med feil ettersom variasjoner i tilgjengelighet på fisk, leveringssted og hjemmehavn vil gi store utslag. Måleprogrammet på karoline gjør det mulig å definere fartøyets aktive tid og bruken av dieselaggregatet slik at man kan finne andelen av døgnet Karoline er aktiv samtidig som antallet timer diesel aggregatet er i drift.

Data fra måleprogrammet er brukt til å finne antall aktive dager for Karoline før og etter ombygging. Siden Karoline ikke har et driftsmønster som tilsier turer som krysser 24 timer er finnes den aktive tiden i løpet av døgnet fra hver aktiv dag. Den aktive tiden starter ved første bruk av fremdriftsmotoren eller dieselaggregatet og slutter med siste bruk av fremdriftsmotor eller dieselaggregatet.

Tabell 4: Antall aktive dager, totalt antall aktive timer og totalt antall driftstimer på dieselaggregatet for Karoline før og etter ombygging

	Antall aktive dager	Aktive timer	Driftstimer dieselaggregat
Før ombygging	167	1345	698
Etter ombygging	112	1075	681

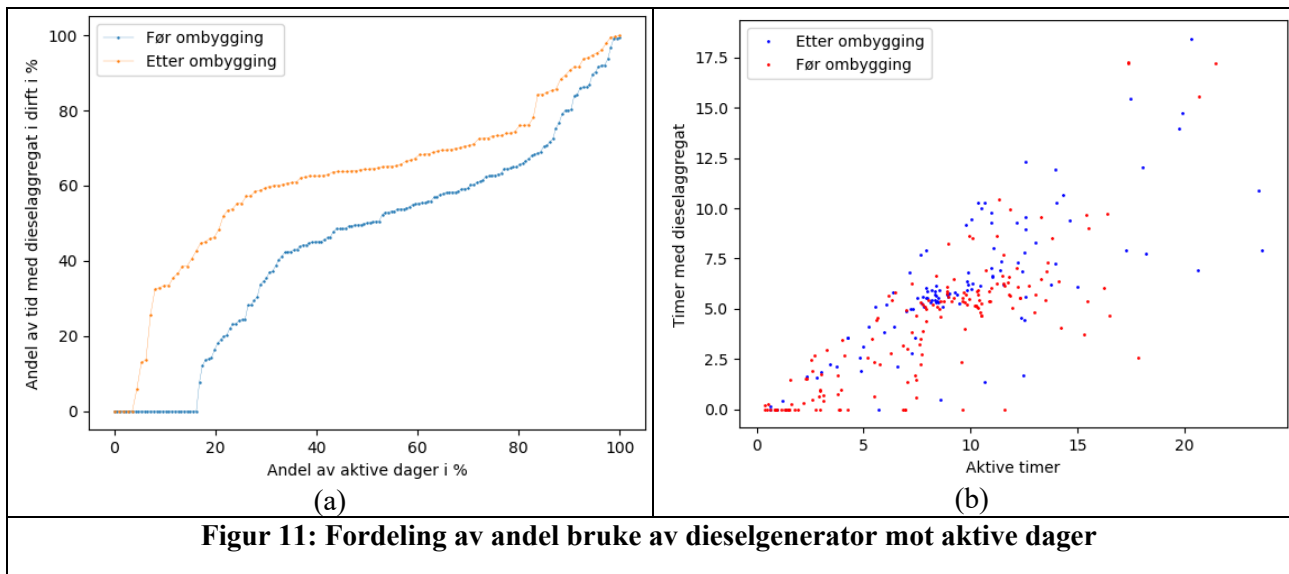
Datasettet fra måleprogrammet inneholder flere aktive dager før ombyggingen ble gjennomført. For å se på hvor stor andel av tiden Karoline bruker på batterier kan man regne andelen av tiden med dieselaggregatet i drift.

Tabell 5: Gjennomsnittlig aktive timer pr driftsdag og gjennomsnittlig bruk av dieselaggregat

	Aktive timer pr dag	Dieselaggregat timer pr dag	Andel av tid med dieselaggregat i drift
Før ombygging	8t 3min	4t 10 min	51.8%
Etter ombygging	9t 36min	6t 5min	63.3%

Tallene viser at Karoline brukte mer tid pr driftsdøgn etter ombygging enn før ombygging. Dette kan bare tilskrives endrede driftsforhold. Den gjennomsnittlige aktive tiden økte med om lag 1t 30 min etter ombygging mens bruk av dieselaggregatet økte 1 time 55min. Bruk av dieselaggregatet under lange eller hurtige forflytninger på fiskefeltet kan tilskrives noe av økningen i bruk av dieselaggregatet, men det er en økning i total tidsbruk pr dag som kan forklare hoveddelen av økningen. Karolines driftsmønster er preget av lang gangtid og dieselaggregatet brukes under gange. Hvis økningen i aktiv tid pr dag tilskrives mer tid brukt i gange vil økningen i driftstid for dieselaggregatet etter ombygging være rundt 25 min som følge av forflytning på feltet med bruk av dieselaggregat, dette vil tilsi en endring for tallene før ombygging fra 51.8 % bruk av aggregat til 56.9 %. Relativ betyr dette en 10 % økning av tiden aggregatet er i drift.

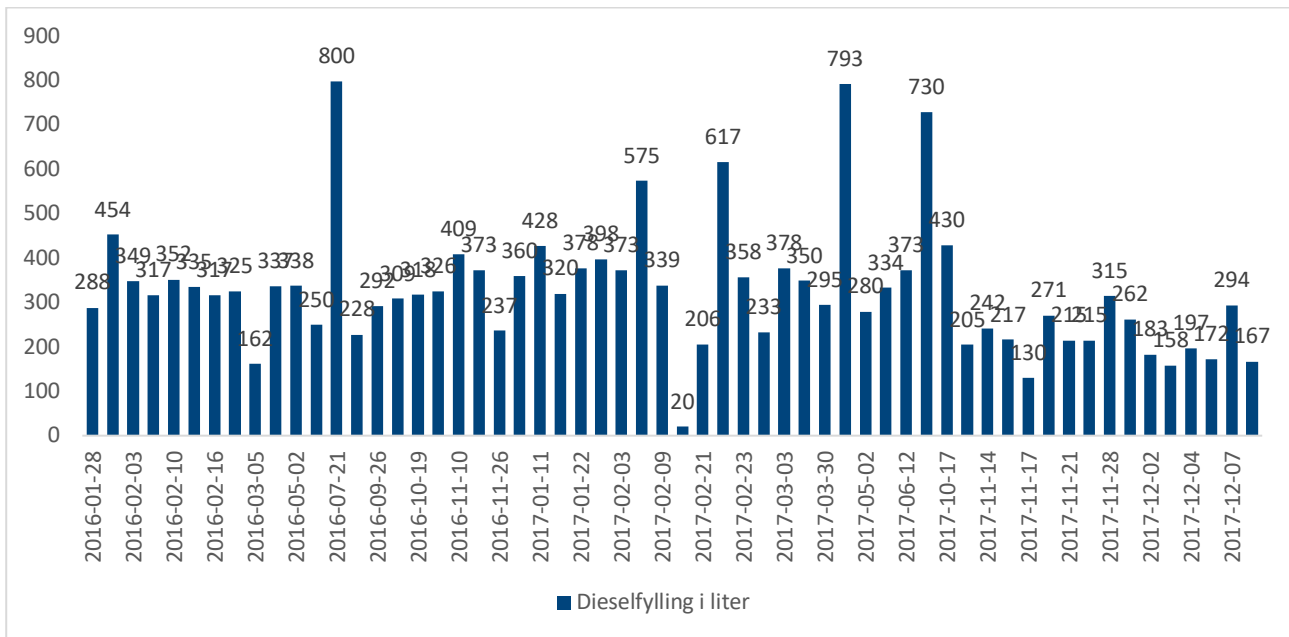
En kumulativ fordeling av andelen med tid dieselaggregatet er i gang viser også hvordan Karoline er brukt relativt mer i aktivt fiske etter ombyggingen, med mindre andel korte turer på kun elektrisk drift og svært lav andel tidsbruk av dieselaggregatet. Figur 11a viser endringen i andel av tid hvor dieselgeneratoren er i bruk.



Det er verdt å merke at Figur 11a ikke viser endringen i tidsbruk, slik at endringen i aktiv tid pr dag ikke fremkommer, og slik at andelen dieseltimer øker når tid brukt i gange øker. Figur 11b viser aktive timer mot timer med dieselaggregat før og etter ombygging. Fra denne figuren kan man se at det ikke er spesielt store forskjeller på andelen tid med aggregatet i gang, men det er en liten økning i aggregatbruk der punktene står tettest.

4.2.4 Dieselforbruk

Karolines aggregat leverte 75 kW under loggeprogrammets første fase, og 80 kW under loggeprogrammets andre fase. Ved 80 kW effekt svarer til et spesifikt drivstofforbruk på 216 g/kWh (0.257 L/kWh) regnet etter kurven i **Feil! Fant ikke referanse-kilden..** Kurven er en fremstilling av spesifikt dieselforbruk for en tenkt propell last med direkte drift, mens Karolines motor driver en generator for å produsere strøm som måles som produsert effekt. Karolines motorcomputer tilkoblet dieselaggregatet rapporterer 22 L/time ved generering av 75 kW (tilsvarende 243 g/kWh) og 23–24 L/time ved 80 kW (tilsvarende mellom 238 og 249 g/kWh). Kontrollsystemet til Karolines Volvo dieselaggregat rapporterer dermed et forbruk som ligger 16 % over den idealiserte kurven. Fartøyets faktiske dieselforbruk er logget ved å notere dato og antall liter når det tankes. Dette gjøres manuelt. Forbruket til og med 7. desember 2017 er vist i Figur 12. Fyllinger på rundt 800 liter er en ekstra tank til bruk under blåkveitefiske, brukt som depottank. Variasjonen med bruk av fartøyet og fylling av drivstoff gjør det vanskelig å regne et detaljert forbruksmønster, særlig i forbindelse med tanking på depottanker på 800 L som så forbrukes over tid. Fartøyets dieselforbruk er dermed regnet ved å se på perioden hvor det er rapportert dieselfyllinger og dermed regne ut et snittforbruk for den genererte effekten fra dieselaggregatet ved å se på den kumulative summen av generator effekten over samme periode.



Figur 12: Regnskap over dieselfylling fra 28 januar 2016 til og med 7 desember 2017. Totalt forbruk for perioden er 18927 liter, mens måleprogrammet startet først etter fylling 10 februar.

Dieselregnskapet dekker januar og starten av februar for 2016, en periode som mangler i måleprogrammet. Data for fartøysbruk og dieselforbruk kan sammenstille fra 10. februar. Det er fylt 18639 liter diesel i denne perioden. Ombordmåleprogrammet var først operativt 10. februar 2016 og fyllinger etter denne datoen er totalt 17167 L, dette tallet benyttes for å beregne snittforbruket til Karolines dieselaggregat. I perioden med både drivstoffall og ombordmålinger er turtallet til dieselaggregatet større enn null 956.41 timer. Snittforbruket på aggregatet pr driftstime blir da:

Dieselforbruk	Timer med bruk av dieselgenerator	Liter/time
17167 liter	956.41	17.95 L/h

Spesifikt forbruk beregnes ved å se på summen av levert effekt fra dieselgeneratoren i perioden og sammenligne den med dieselforbruket. I perioden fra 10. februar 2016 til 11. desember 2017 ble det registrert 56777 kWh generert fra Karolines generator.

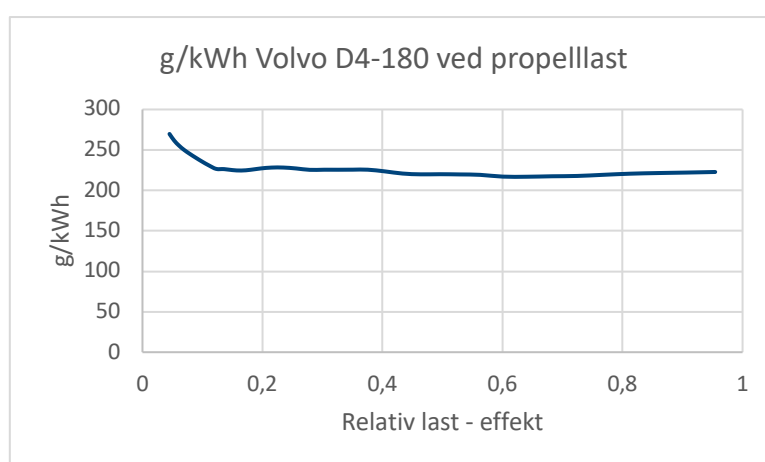
Dieselforbruk	kWh fra generator	g/kWh
17167 liter / 14248 kg	56777	250

Tallet for målt spesifikt drivstofforbruk for generatoren er sammenlignbart med tallet observert (22–24 L/time) fra motorens kontrollsystem. Tallet for spesifikt drivstofforbruk ligger over det som er oppgitt på databladet for dieselmotoren som brukes som aggregat på Karoline (Volvo D4-180) som vist i Figur 13. Karolines aggregat går på 3 forskjellige settpunkt valgt av mannskapet. Det er derimot ikke nok til å forklare avviket, siden den spesifikke forbrukskurven er relativt flat i hele det praktiske bruksområdet for aggregatet (brukes ikke under 20% belastning). Snittforbruket som er observert for aggregatet er derimot betydelig lavere enn forbruket ved full last, det må dermed være en relativt stor innblanding av lavbelastning på motoren i datasettet. Målingen av levert effekt er fra generator, som inkluderer tap i omsetningen fra mekanisk til elektrisk energi. Ved 80kW så gir databladet til motoren 217 g/kWh, dette gir estimert tap på 15% i omformingen av energi, som virker høyt.

Omregnet til liter drivstoff i gange (80kw levert av aggregat)

Spesifikt forbruk	Liter/time ved 80 kW	Liter/kWh ved 80 kW
250 g/kWh	24.2 L/time	0.3025

Karolines dieselgenerator er i stand til å levere 132 kW effekt på akselen. Maksimum omdreinings hastighet er 2800 RPM, noe som klassifiserer den som en "high speed" dieselmotor. Drivstofforbruket til dieselmotorer varierer med belastning og de opererer best ved relativt høy, men konstant belastning. Volvo publiserer motordata for forbruk når motoren er koblet til en belastning som tilsvarer en propell. For en propell last vil typisk belastningsavhengig spesifikt drivstofforbruk (gram drivstoff pr. kWh produsert) for Karolines dieselaggregat være som vist i **Feil! Fant ikke referanseskilden..**

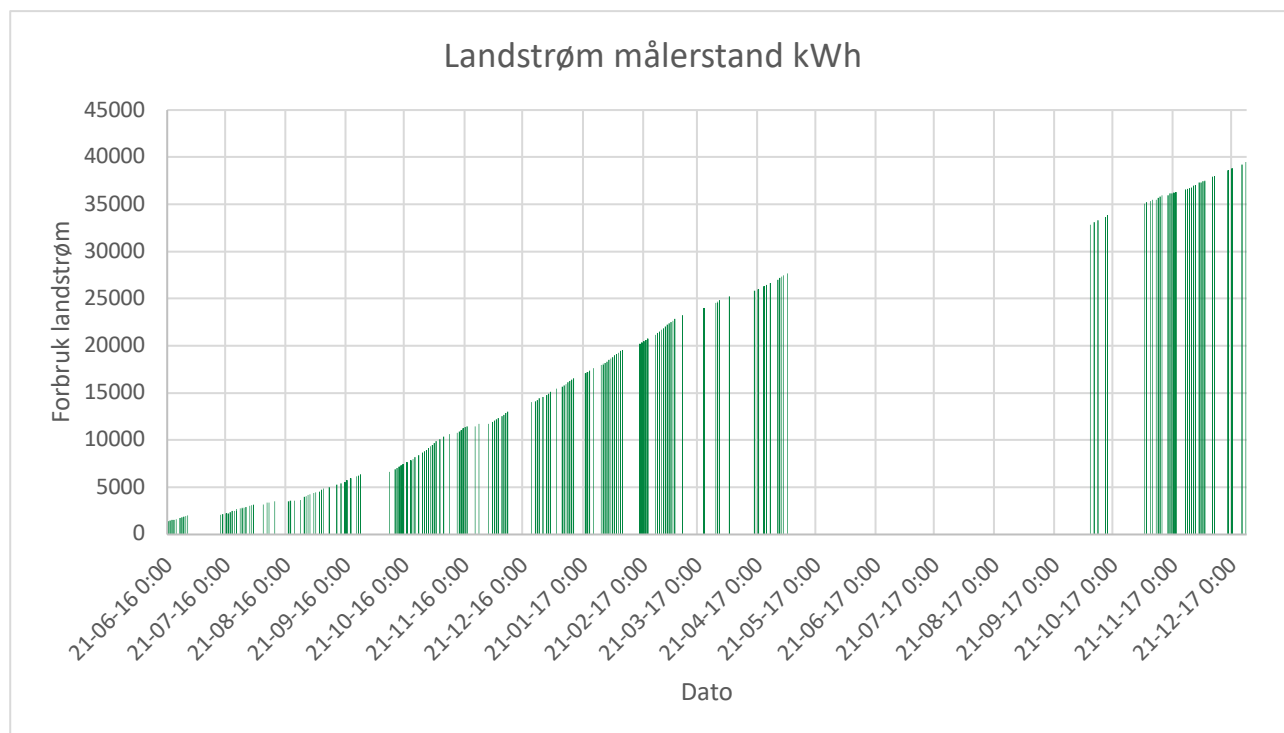


Figur 13: Spesifikt drivstofforbruk for propellbelastning for dieselmotoren brukt som aggregat i Karoline⁶

⁶ Fra Technical specifications - Volvo Penta Inboard Diesel D4-180, Volvo Penta 2016

4.2.5 Landstrøm

Det er montert en strømmåler som måler forbruk ved kai, som sammen med målt kraftproduksjon av generator gir det totale kraftforbruket for fartøyet. Kraft passerer fra land til fartøyet og brukes til enten ladning av batterier eller direkte til forbruk. Manuelle målinger av landstrømmen er foretatt og vises i figuren under.



Figur 14: Bruk av landstrøm til opplading og forbruk ombord ved kai. Startmålerstand på strømmåler er 1430 kWh og sluttstand 39456 kWh

Målingen av strøm over landstrømkontakten startet 21. juni 2016 med siste avlesning 28. desember 2017. Dette samsvarer ikke med perioden hvor det er rapportert dieselfylling. Hvis man kombinerer data fra både dieselloggen og landstrømloggen får man en periode fra 16. juni 2016 til 11. desember 2017. I denne perioden med både landstrømmåling og rapportert dieselforbruk har fartøyet fylt **15103L** og fra energiloggen har generatoren forsynt fartøyet med **49216kWh**. Fartøyets totale energiforbruk er elektrisk energi fra land pluss produsert energi fra fartøyets dieselgenerator.

Energi fra land	Energi fra dieselgenerator ⁷	Total
37551-1430 = 36121 kWh	49216 kWh	85337 kWh

Snittforbruket for å produsere den leverte energimengden fra generatoren i løpet av perioden med både dieselfylling data og landstrømlogg er

Dieselforbruk	Generert effekt	Liter/kWh
15103 L	49216 kWh	0.307 ⁸

⁷ Tallet for generert effekt er lavere enn tilsvarende tall for beregning av drivstofforbruk siden innhenting av tall for energi fra land startet etter innhenting av drivstoffdata.

⁸ Tallet er forskjellig fra beregning av spesifikt drivstofforbruk siden tidsintervallet dataene er hentet fra er ulikt

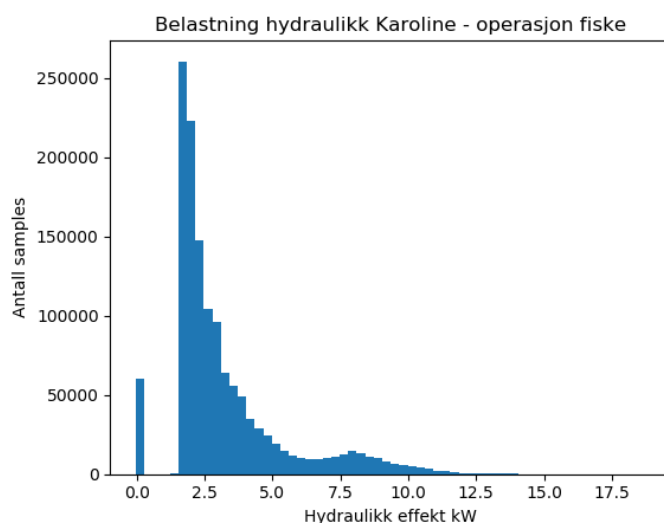
Dette tallet inkluderer generelt forbruk om bord som kan dekkes av landstrømkontakt på et konvensjonelt fartøy. Et estimat på bruken av landstrøm på fiskefeltet kan gjøres ved å se på alle målingene av forbruket over landstrømkontakten som er konstant og telle disse som ett sjøvær med utlading av batteriet med batteriets utnyttbare energimengde på 110 kWh. Det er 110 slike målepunkter i dataunderlaget hvor det er dekning både fra drivstofflogg og strømlogg.

Dieselforbruk	Generert effekt	Liter/kWh	Estimert landstrøm forbrukt på felt	Liter/kWh (m/strøm fra land)	g/kWh
15103 L	49216 kWh	0.307 ⁹	12100 kWh ¹⁰	0.24 L/kWh / 199g/kWh	

Et forbruk på 0.24 L/kWh tilsvarer et forbruk for Karoline på 19.2 L/time når det er behov for 80 kW fra diesel generator.

4.2.6 Bruk av hydraulikk og sidepropeller

Bruk av et hybrid fremdriftssystem med generator fører til en omlegging av produksjonen av hydraulisk kraft. I konvensjonelle mindre kystfiskebåter vil hydraulikken drives av hovedmotoren. Dette fartøyet er dermed utstyrt med en egen elektrisk hydraulikkpumpe hvor det var usikkert hvor mye hydraulisk effekt som var påkrevd for å drive dekkmaskineriet. Det hydrauliske maskineriet er garnhaler, garngreier og lastebom. Effektbehovet til hydraulikkpumpen er analysert i driftstilstanden identifisert som "fiske" med et datapunkt pr. sekund. Dette ble gjort for å identifisere effekttopper med varighet på under et minutt. Fordeling av belastning på forskjellige effektnivåer er vist i Figur 15 og figuren viser en fordeling av belastningen med en topp rundt 8 kW.



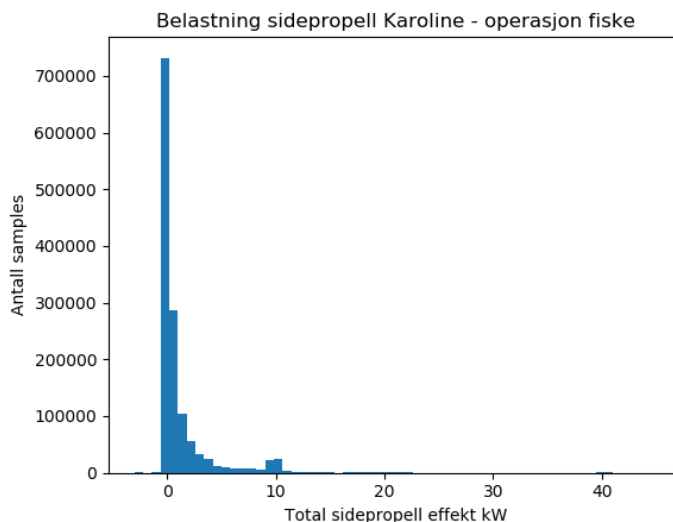
Figur 15: Antall målinger av hydraulikkeffekt på forskjellige effektnivåer

Konvensjonelle dieseldrevne sjarker har ofte hydraulisk drevne sidepropeller. Effektnivået til Karolines sidepropeller under fiskeoperasjonen er vist i Figur 16. Sidepropellene er for det meste aktive under fiske og benyttes til å holde fartøyet på kurs i forhold til redskapet. Sidepropellene krever lav effekt under fiske, fra

⁹ Tallet er forskjellig fra beregning av spesifikt drivstofforbruk siden data er hentet fra forskjellige tidsintervaller

¹⁰ Tallet fremkommer av 110 sjøvær (hvor fartøyet har gått fra havn og returnert) og forutsetningen av all energi fra batteriet er benyttet. 119 sjøvær * 110 kWh utnyttbar energi = 12100 kWh

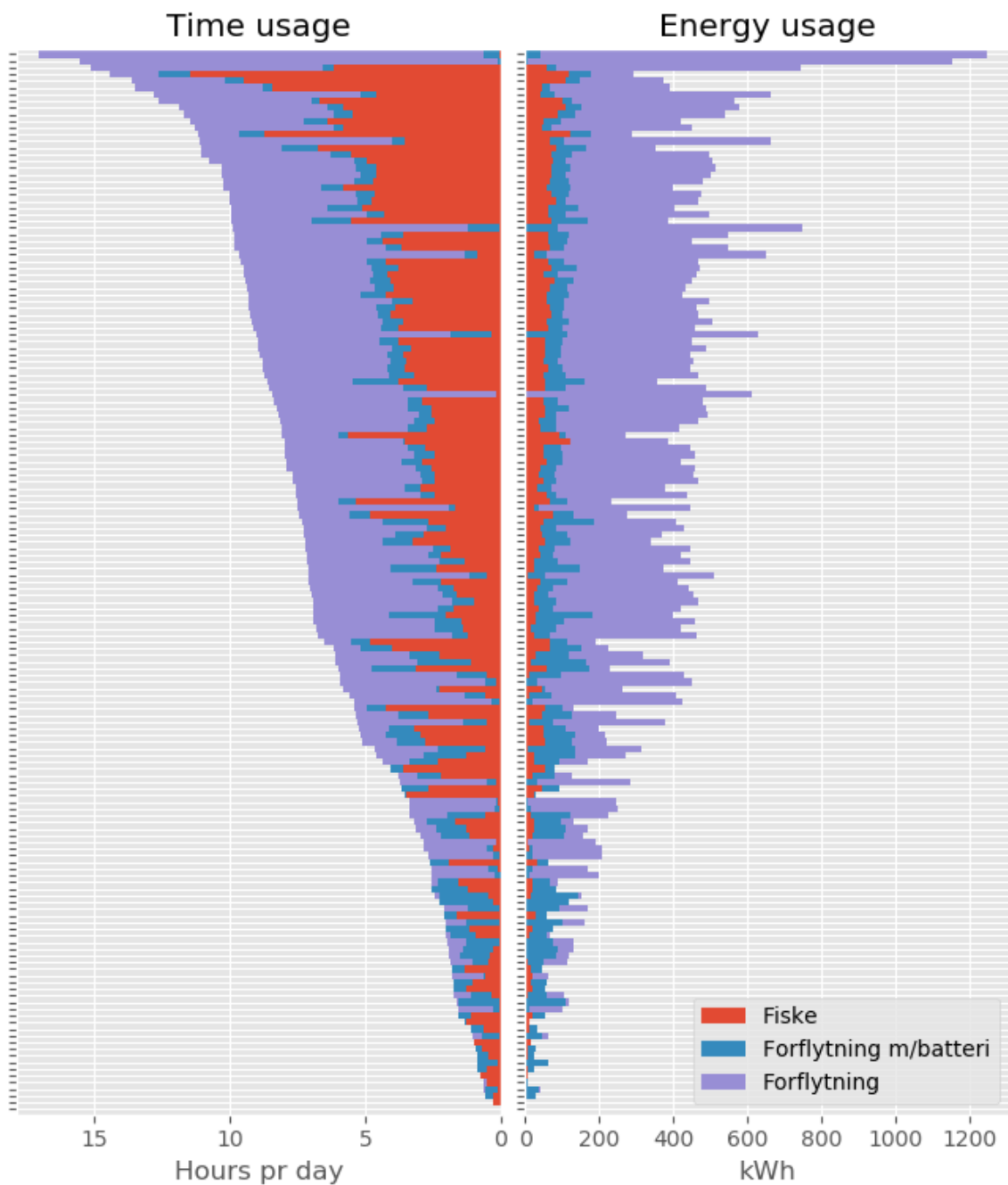
figuren ser man at de fleste målingene befinner seg i området under 5 kW kombinert for begge sidepropellene. Typisk belastning er rundt 10 kW når det er behov for stor skyvekraft fra sidepropellene, dette er synlig som en liten topp rundt 10 kW på figuren, samtidig som det er noen målinger i området maks skyvekraft på 40 kW.



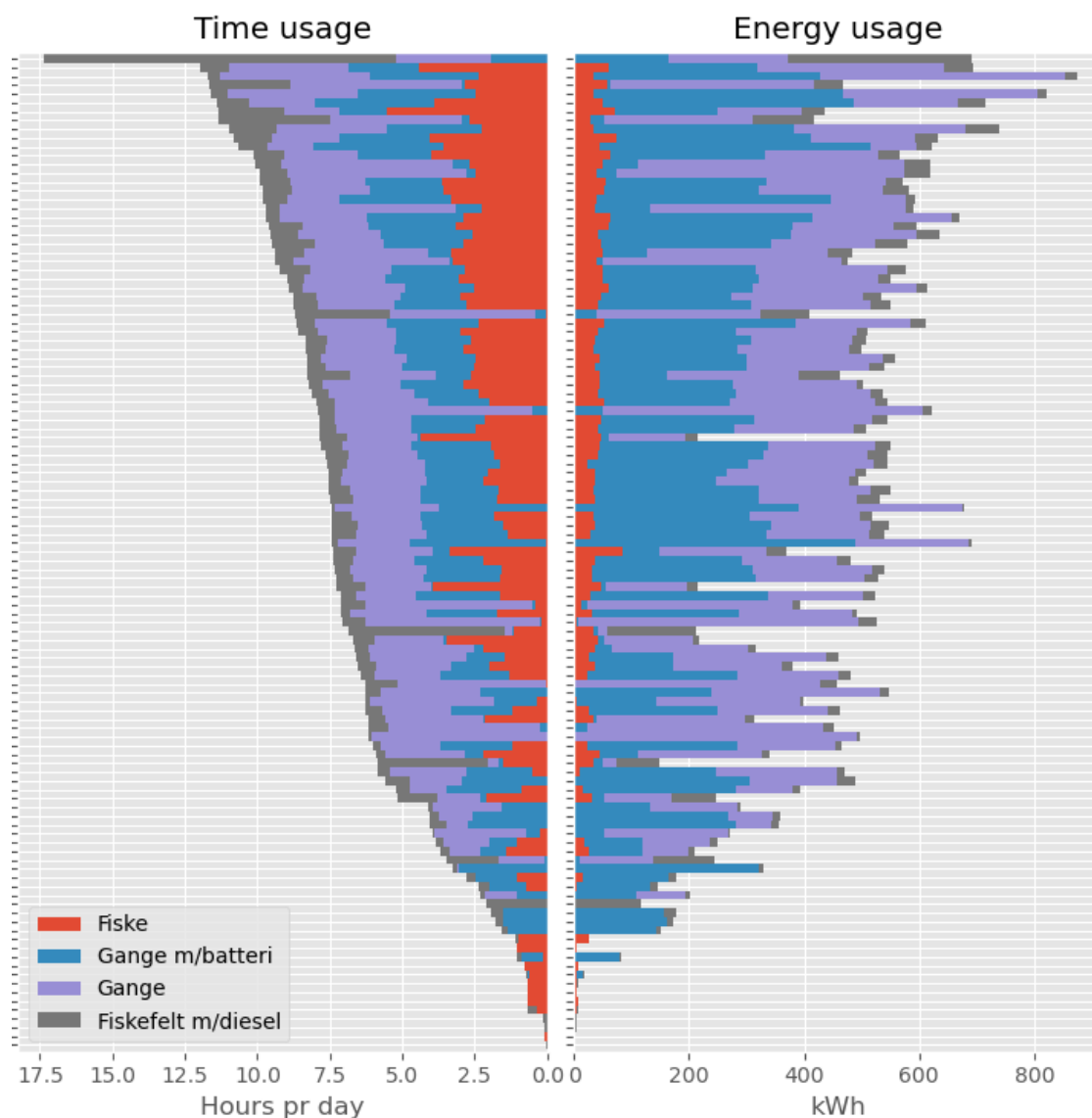
Figur 16: Antall målinger av total sidepropell effekt på forskjellige effektnivåer

4.2.7 Energiprofil for Karoline før og etter ombygging

Energibruken til Karoline for hver aktive dag, og hvordan energi og tidsbruk fordeler seg mellom operasjonstilstandene er vist i Figur 17 med data før ombygging og Figur 18 med data etter ombygging. Energiprofilen viser sammenhengen mellom tidsbruk i operasjonstilstander på daglig basis og hvor energikrevende operasjonene er. Med ny fremdriftsmotor bruker den ombygde karoline mer energi enn originalt. Det genereres mer energi fra dieselaggregatet under fiske og batteriet brukes som ekstra energikilde for å drive fremdriftsmotoren på retur fra feltet. Fra figurene ser man også hvor energieffektivt selve fiskeriene med garn fra en mindre kystbåt er. Andelen energibruk under fiske er en brøkdel av energibruken under transit. Dette forholdet kommer også frem i operasjonsprofilen.



Figur 17: Energiprofil for Karoline før ombygging. Landligge utelatt. Hver horisontal søyle representerer en kalenderdag med drift av fartøyet



Figur 18: Energiprofil for Karoline etter ombygging uten landligge. Gange m/batteri tilsvarer gange med dieselaggregat og kraft fra batteri. Fiskefelt m/diesel tilsvarer lav forflytningshastighet drevet med dieselaggregat. Hver horisontal søyle representerer en kalenderdag med drift av fartøyet

Fra dataene som er vist energi- og tidsprofilene i Figur 17 og Figur 18 kan snitteffekten for hver driftstilstand beregnes ved å dele den daglige energien brukt i driftstilstanden på tiden i driftstilstanden. Tallene er vist i Tabell 6 og Tabell 7.

Tabell 6: Gjennomsnittlig effekt for driftstilstander før etter ombygging. Tall basert på snittet av daglig brukt energi delt på tid for hver driftstilstand

Driftstilstand før ombygging	Gjennomsnittlig effekt
Fiske	16 kW
Forflytning (gange)	74 kW
Forflytning med batteri	66 kW

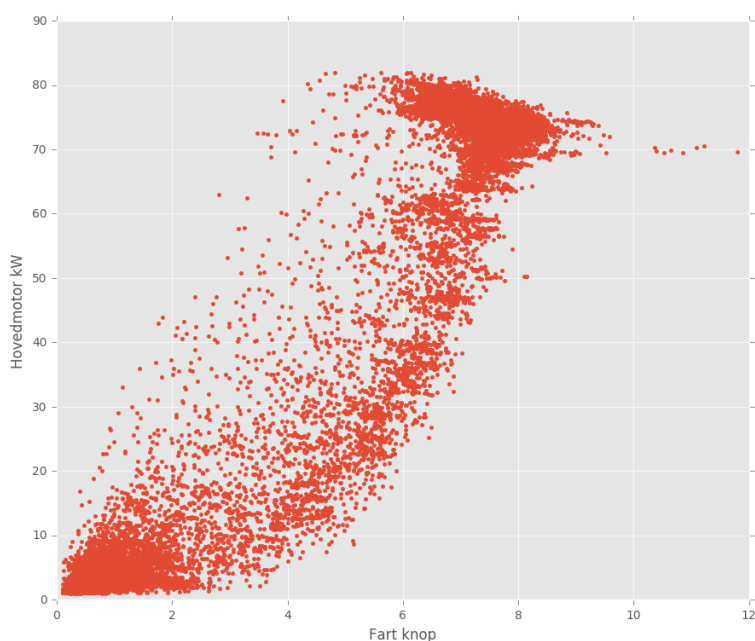
Tabell 7: Gjennomsnittlig effekt for driftstilstander etter ombygging. Tall basert på snittet av daglig brukt energi delt på tid for hver driftstilstand

Driftstilstand etter ombygging	Gjennomsnittlig effekt
Fiske	20 kW
Fiskefelt med dieselaggregat	42 kW
Gange	80 kW
Gange m/Batteri (og aggregat i drift)	103 kW

Energien som brukes av diesel aggregatet under forflytning på felt, og energien som brukes for å øke hastigheten ved bruk av batteriet kan estimeres ved å se på medianen av totalenergiforbruket på dagsbasis. Før ombygging er median forbruket av energi på 383 kWh, mens det etter ombygging er 482 kWh. Forenklet kan man se på dette som 100 kWh ekstra brukt til fremdrift etter ombygging. Dette tilsvarer om lag 10 liter diesel og med en høy virkningsgrad på dieselaggregatet (40%) tilsvarer det et merforbruk etter ombygging på 25 liter. Det må understrekes at ombyggingen var nødvendig for bruken av fartøyet, og det derfor blir feil å betegne dets som et merforbruk, men heller et mål på energibehovet for Karolines driftsprofil på i underkant av 500 kWh pr sjøvær.

4.2.8 Alternative driftskonsepter

Med detaljerte data over energi og tidsbruk for fartøyet er det mulig å sette opp noen enkle energiregnestykker som viser effekten av endret driftsmønster, teknisk løsning og operasjonsmetode på energiforbruket om bord. Steaming tilstanden fremgår av driftsprofilen for energi som den største forbrukeren av energi. Sammenhengen mellom effekt for fremdriftsmotoren og fremover hastighet er vist under og gjør det mulig å si noe om endringen i effektforbruket ved endret hastighet.



Figur 19: Sammenheng mellom fremdriftseffekt og fart

Datapunktene for fart og effekt danner to større ansamlinger ved lav hastighet og fartøyets marsjhastighet. Denne naturlige tendensen er problematisk for anvendelse av normal kurvetilpassning, da disse ansamlingene av punkter vil motta svært stor vekt i kurvetilpassningen, på bekostning av kurvens form mellom disse punktene. Manuell avlesning basert på det tetteste båndet mellom de to ansamlingene av punkter er brukt for å finne effektnivået for endrede hastigheter i operasjonsfasene. Motstandskurven virker noe bratt og et visst fartstap er synlig i ansamlinger av punkter ved full effekt, men lavere hastighet.

4.2.8.1 Originalt konsept

Tallene for karolines nåværende driftsmetode er hentet ut av tallunderlaget for fisket i starten av året, da dette var mest regulært og viste de høyeste tids og effektbehovene. Tallene for gjennomsnittet virker forenelige med de forventede egenskapene og den installerte batterikapasiteten. Batteristørrelsen er beregnet fra nødvendig utnyttbar energi og størrelsen tilpasset slik at en tilsvarende mengde energi er tilgjengelig mellom 25 % og 85 % ladegrad. Fornybarandelen er beregnet som batteriets andel av det totale energibehovet.

CASE Karoline	Lang Steaming											
	Fremdrift			Effekt forbruk kW		Energibehov kWh	Effekt Produksjon kW		Energifordeling kWh		Diesel	
	Tid-Timer	Fart (Kn)	Sjømil	Fremdrift	Annet		Diesel	Batteri	Diesel	Batteri	Liter/Time	Forbruk Liter
Steaming til felt	4.50	7.50	33.75	80.00	0.50	362.25	75.00	5.50	337.50	24.75	22.01	99.05
Fiskefelt lav fart på batteri	4.20	1.20	5.04	5.00	3.50	35.70	0.00	8.50	0.00	35.70	0.00	0.00
Fiskefelt høy fart på batteri	0.75	6.80	5.10	65.00	1.00	49.50	0.00	66.00	0.00	49.50	0.00	0.00
Lengde Sjøvær	9.45											

Batteristørrelse (25-82)	195.00 kWh	Total Energi	447.45 kWh
Utnyttbar batterienergi (25-82)	111.15 kWh	Energioverskudd	1.20 kWh
Fornybar andel	25%		
Dieselforbruk - Liter	99.05		

Driftsprofilen til Karoline er preget av lang steaming til felt på vinterhalvåret. I et tilfelle hvor det er kortere gange til felt vil fartøyet oppnå en langt høyere fornybarandel ved å trekke energi fra batteriet til steaming, forutsatt at man beholder batteristørrelsen.

CASE Karoline	Kort Steaming											
	Fremdrift			Effekt forbruk kW		Energibehov kWh	Effekt Produksjon kW		Energifordeling kWh		Diesel	
	Tid-Timer	Fart (Kn)	Sjømil	Fremdrift	Annet		Diesel	Batteri	Diesel	Batteri	Liter/Time	Forbruk Liter
Steaming til felt	2.00	7.50	15.00	80.00	0.50	161.00	67.50	13.00	135.00	26.00	22.09	44.19
Fiskefelt lav fart på batteri	4.20	1.20	5.04	5.00	3.50	35.70	0.00	8.50	0.00	35.70	0.00	0.00
Fiskefelt høy fart på batteri	0.75	6.80	5.10	65.00	1.00	49.50	0.00	66.00	0.00	49.50	0.00	0.00
Lengde Sjøvær	6.95											

Batteristørrelse (25-82)	195.00 kWh	Total Energi	246.20 kWh
Utnyttbar batterienergi (25-82)	111.15 kWh	Energioverskudd	-0.05 kWh
Fornybar andel	45%		
Dieselforbruk - Liter	44.19		

4.2.8.2 Alternative konsepter

Det mest nærliggende konseptet er samme driftsmønster som fartøyet benytter i dag, men med mindre distanse fra hjemnehavn til fiskefelt. Samtidig er hastigheten på setting redusert siden total tid på fiske er redusert. Dette fører til lavere krav til tilgjengelig batterikapasitet og en større andel fornybar energi i energimiksen til fartøyet.

CASE Karoline Kort Steaming/Sakte setting

	Fremdrift			Effekt forbruk kW		Energibehov kWh	Effekt Produksjon kW		Energifordeling kWh		Diesel	
	Tid-Timer	Fart (Kn)	Sjømil	Fremdrift	Annet		Diesel	Batteri	Diesel	Batteri	Liter/Time	Forbruk Liter
Steaming til felt	2.00	7.50	15.00	80.00	0.50	161.00	75.00	5.50	150.00	11.00	22.01	44.02
Fiskefelt lav fart på batteri	4.20	1.20	5.04	5.00	3.50	35.70	0.00	8.50	0.00	35.70	0.00	0.00
Fiskefelt medium fart på batteri	1.30	4.00	5.20	15.00	1.00	20.80	0.00	16.00	0.00	20.80	0.00	0.00
Lengde Sjøvær	7.50											

Batteristørrelse (25-82)	120.00 kWh	Total Energi	217.50 kWh
Utnyttbar batterienergi (25-82)	68.40 kWh	Energioverskudd	0.90 kWh
Fornybar andel	31%		
Dieselforbruk - Liter	44.02		

Hvis fartøyet samtidig utstyres med automatisk start/stopp av diesellaggregatet ved større effektbehov vil batteristørrelsen kunne reduseres ytterligere, mens dieselforbruket økes med 65 %. Man får samtidig et "energioverskudd" fra generatoren mens fremdriften har mindre effektbehov, noe som kan tyde på at en slik løsning ikke er ideell, og en mer nøysom balansering av tallene og driftsmoduser er å foretrekke.

CASE Karoline Kort Steaming/Sakte setting med Diesel

	Fremdrift			Effekt forbruk kW		Energibehov kWh	Effekt Produksjon kW		Energifordeling kWh		Diesel	
	Tid-Timer	Fart (Kn)	Sjømil	Fremdrift	Annet		Diesel	Batteri	Diesel	Batteri	Liter/Time	Forbruk Liter
Steaming til felt	2.00	7.50	15.00	80.00	0.50	161.00	75.00	5.50	150.00	11.00	22.01	44.02
Fiskefelt lav fart på batteri	4.20	1.20	5.04	5.00	3.50	35.70	0.00	8.50	0.00	35.70	0.00	0.00
Fiskefelt medium fart på diesel	1.30	4.00	5.20	15.00	1.00	20.80	16.00	0.00	20.80	0.00	29.44	38.27
Lengde Sjøvær	7.50											

Batteristørrelse (25-82)	85.00 kWh	Total Energi	217.50 kWh
Utnyttbar batterienergi (25-82)	48.45 kWh	Energioverskudd	1.75 kWh
Fornybar andel	21%		
Dieselforbruk - Liter	82.29		

Fullelektrisk drift står som motsetningen til dette, der kraftbehovet til forflytning gjør batteristørrelsen upraktisk med teknologien som ble benyttet når Karoline ble bygget. Batteristørrelsen blir dermed omtrent det dobbelte av det Karoline er bygd med, og dette stiller krav til en dobling av energitettheten i batteriene i forhold til batteritypen Karoline er bygget med.

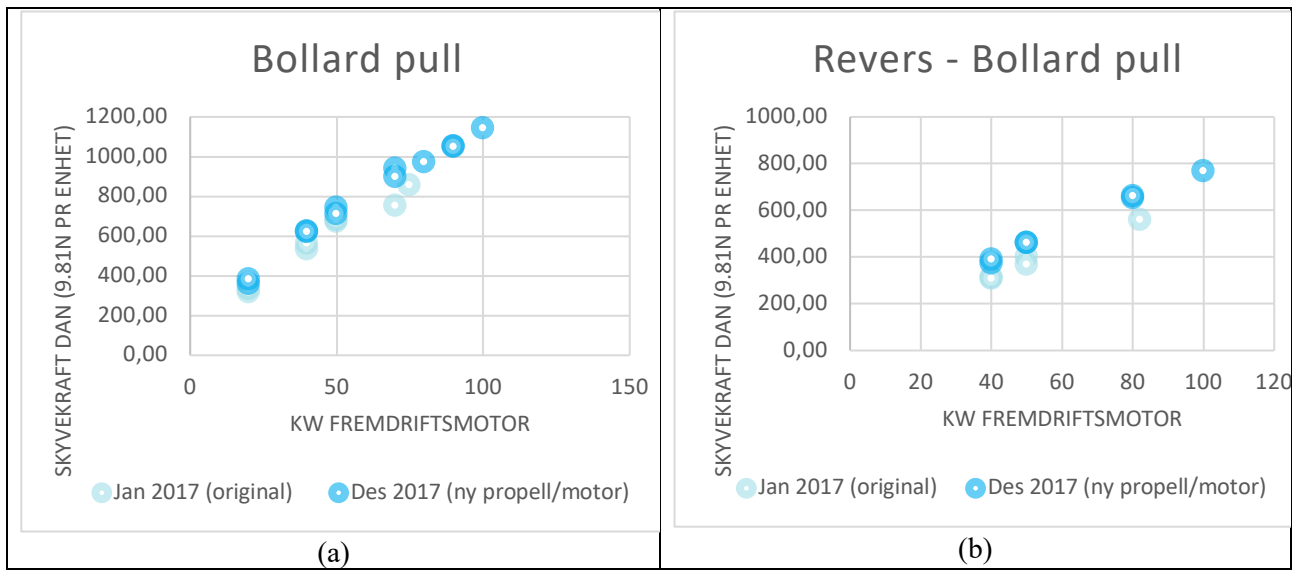
CASE Karoline Kort Steaming/Sakte setting med Helelektrisk

	Fremdrift			Effekt forbruk kW		Energibehov kWh	Effekt Produksjon kW		Energifordeling kWh		Diesel	
	Tid-Timer	Fart (Kn)	Sjømil	Fremdrift	Annet		Diesel	Batteri	Diesel	Batteri	Liter/Time	Forbruk Liter
Steaming til felt på batteri	2.00	7.50	15.00	80.00	0.50	161.00	0.00	80.50	0.00	161.00	0.00	0.00
Fiskefelt lav fart på batteri	4.20	1.20	5.04	5.00	3.50	35.70	0.00	8.50	0.00	35.70	0.00	0.00
Fiskefelt medium fart på batteri	1.30	4.00	5.20	15.00	1.00	20.80	0.00	16.00	0.00	20.80	0.00	0.00
Lengde Sjøvær	7.50											

Batteristørrelse (25-82)	380.00 kWh	Total Energi	217.50 kWh
Utnyttbar batterienergi (25-82)	216.60 kWh	Energioverskudd	-0.90 kWh
Fornybar andel	100%		
Dieselforbruk - Liter	0.00		

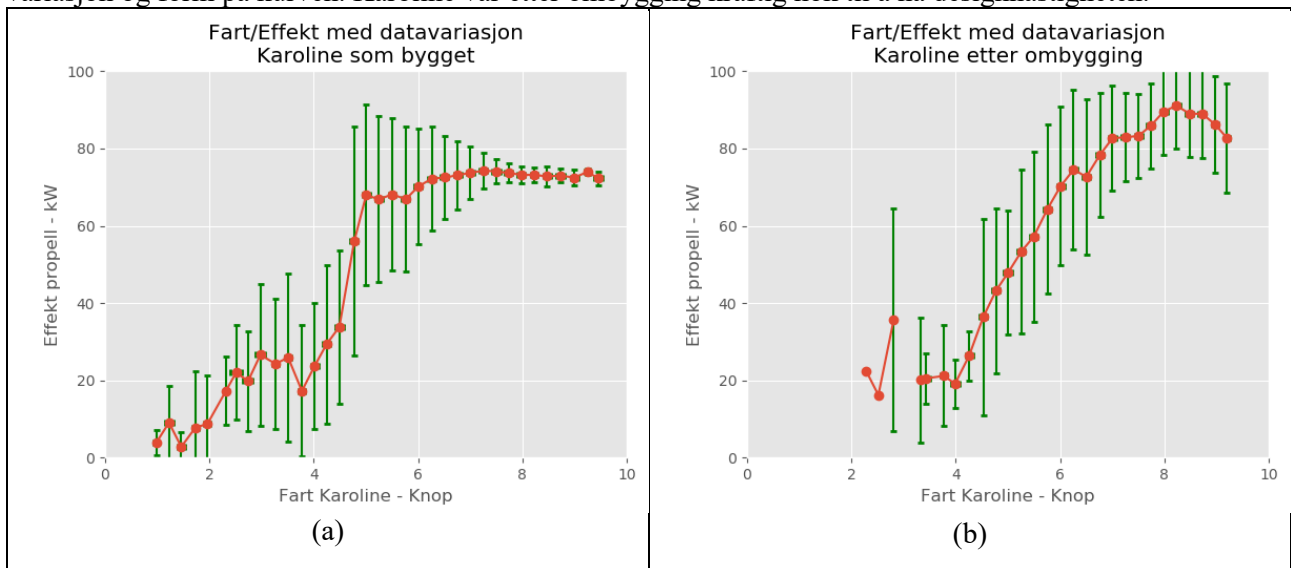
4.3 Måling av trekkraft

Karoline var slik den originalt ble bygget for svak til å holde designhastigheten på 7.5–8 knop i moderat vær. Karolines trekkraft ble testet ved kai, noe som resulterte i ombygging med sterkere fremdriftsmotor og større propell (fra 24/26 til 30/32 propell). Original trekkraft forover og bakover, sammen med oppdaterte målinger er vist i Figur 20. Bytte av propell og fremdriftsmotor resulterte i om lag 30 % høyere trekkraft.



Figur 20: Måling av trekraft for Karoline før og etter ombygging

Forskjellen på Karolines fremdriftseffekt og oppnådd fart er vist i Figur 21 hvor fart er plottet mot fremdriftseffekt etter målinger. Datapunktene er gjennomsnittet av målinger som befinner seg i 0.25 knops intervaller. Gjennomsnittet av disse målingene er datapunktene i figuren og standardavviket i målingene er plottet som grønne bånd rundt datapunktene. Det er tydelig at den originale fremdriftsløsningen som vist i Figur 21a har stadig færre datapunkter etter hvert som farten øker. Dette er synlig som en synkende varians, og datapunkter over 8 knop kommer nok av medstrøms forhold. Figur 21b viser en mer normal fordeling av variasjon og form på kurven. Karoline var etter ombygging kraftig nok til å nå designhastigheten.



Figur 21: Fremdriftseffekt og oppnådd fart før og etter ombygging

4.4 Lydmålinger

Fraværet av vibrasjoner og støy fra dieselmotoren under fisket er en fordel for arbeidsmiljøet om bord på et batterihibrid kystfiskefartøy. De små dimensjonene på slike fartøy gjør det vanskelig for fiskere på dekk å unnsnippe støy og eksos fra dieselmotoren som av nødvendighet er plassert nært arbeidsområdet. Det ble gjort forenklete støymålinger av et fartøy som var identisk med Karoline bortsett fra bruk av et konvensjonelt fremdriftssystem. Støymålingene ble gjort med en enkel, men kalibrert, støymåler og lydtrykket ble målt slik som vist i Tabell 8. Lydnivå på om lag 80 desibel betraktes som høyt. Etter arbeidsmiljøloven¹¹ er det ved eksponering for støy med nivå 85 desibel i en time krav om støyreduserende tiltak for arbeid med støyende maskiner. Ved 70 desibel støyeksponering over 1 time kreves tiltak for arbeid hvor det er store krav til presisjon, hurtighet eller oppmerksomhet.

Tabell 8: Lydmålinger av Selfa Max Diesel – forenklet måler, verdier i dB

	Case	Målepunkt			
		Haler	Renne	Binge	Rorhus
1	Motor i gang, ligger i kai	72	77	77	65
2	Bakker 1-2 knop	72	75	78	67
3	Bakker hydraulikk på	75	79	79	67
4	Bakker hydraulikk samt spyla på	75	79	79	67
5	Stimer, 7,5 knop	75	79	80	64

Fra målingene er arbeidsplassen på dekk under fiske for en konvensjonell sjark langt over kravene for arbeid som krever presisjon, hurtighet og oppmerksomhet. Identiske målinger ble utført på Karoline før ombygging og resultatene er vist i Tabell 9. Fra tabellen ser man at støybelastningen er kraftig redusert i forhold til konvensjonelle fartøy. Arbeidsposisjonen ved haler, renne og binge er langt under grenseverdiene for støy i arbeidsmiljøloven. De høye verdiene er målt på dekk under gange og ikke representativ for støyeksponeringen fiskere vil få på dekk under selve fiskeriet.

Tabell 9: Lydmålinger av Selfa Max Elektrisk – forenklet måler, verdier i dB

	Case	Målepunkt			
		Haler	Renne	Binge	Rorhus
1	Aggregat i gang, ligger i kai	61	64	71	53
2	Bakker 1-2 knop, kun batteri	55	56	59	49
3	Bakker hydraulikk på	59	61	62	55
4	Bakker hydraulikk samt spyla på	65	70	69	59
5	Stimer, aggregat i gang	75	75	82	66
6	Stimer, kun batteri	73	74	78	66

Etter ombyggingen av Karoline ble det utført nye støymålinger ved hjelp av et firma akkreditert for måling av lyd på arbeidsplasser og i bygninger. Det ble benyttet mer nøyaktig lydmåler og målingene ble utført etter metode brukt for måling av støy på arbeidsplasser. Resultatene vist i Tabell 10 bekrefter tallene fra lydmålingene med forenklet måleinstrument.

¹¹ <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2006-04-26-456>

Tabell 10: Lydålinger av Selfa Max Elektrisk - Verdier i dB - Laf Max

	Case	Målepunkt			
		Haler	Renne	Binge	Rorhus
1	Ved kai - Diesel 2300 RPM	66.7	67.2	77.6	57.7
2	Bakking	60.5	57.4	56.4	57.0
3	Bakking m/hydraulikk	55.7	63.8	57.3	52.6
4	Bakking m/hydraulikk og spylepumpe	65.3	61.8	67.1	60.6
5	Steaming med Diesel	71.2	73.4	79.5	65.6
6	Steaming med Batteri	70.5	72.6	76.3	65.5

4.5 Bedriftsøkonomisk lønnsomhet

En kommersialisering av den hybride fremdriftsløsningen som er testet ut på Karoline, har vært et mål i prosjektet. Samtidig vet vi at en hybrid fremdriftsløsning for et mindre fiskefartøy vil ha en høyere kostand, sammenlignet med en konvensjonelle fremdriftsløsninger bestående av dieselmotor og gir koplet til propellakslingen. Det er usikkert hvor stor denne ekstra kostnaden blir i en fremtid med serieproduserte fiskefartøyer tilsvarende den hybride løsningen som Karoline har. Batteripakken forventes også i fremtiden å utgjøre den største ekstrakostnaden, men forventes å falle i pris. Lønnsomheten avhenger også av størrelsen på batteripakken, som igjen bestemmer graden av fornybarhet som kan oppnås.

Det er også usikkert om fordeler som reduserte klimagassutslipp og et bedret arbeidsmiljø om bord alene er tilstrekkelig som argument for fiskeren til å betale de ekstrakostnadene en hybrid fremdriftsløsning krever. Det bør derfor tilrettelegges for insitamentsordninger i form av investeringsstøtte slik at miljøeffektene dokumentert i prosjektet, lar seg realisere.

Tallene for investeringene tilsvarende kostnadene Selfa Arctic har hatt for bygging av prototypen med 195 kWh batteri 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.

I forprosjektet ble det beregnet en merkostnad på omkring 1,3 million kroner for investering i en hybrid fremdriftsløsning med tilsvarende batteripakke som Karoline. Dagens merkostnader for bygging av et enkeltstående hybrid fiskefartøy tilsvarende Karoline, har ikke endret seg vesentlig. I en fremtid med produksjon av større serier av tilsvarende fartøy med hybrid fremdriftsløsning, forventes merkostnadene og halveres.

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.

For en ren batteriløsning, vurderes de samlede investeringskostnadene til å være lavere enn for den hybride løsningen. Det å slippe investeringer i dieselmotor og gir, bidrar sterkt til de reduserte investeringskostnadene.

Til å dekke de økte investeringskostnadene, vil en hybrid fremdriftsløsning medføre besparelser ved

- reduserte energikostnader
- forlenget levetid for dieselmotoren
- reduserte driftskostnader for dieselmotor
- lengre vedlikeholdsintervaller
- redusert antall oljeskift

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 lading av batteriene (landstrøm) tatt med.

Forlenget 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 statisk 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 hybridløsning 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. Den hybride løsninger inneholder færre bevegelige deler sammenlignet med den konvensjonelle løsningen basert på dieselmotor og gir alene. Samtidig vil et diesellaggregat 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 lengden på 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.

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.

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

Prosjektet antar en samlet økonomisk besparelse på omkring kr 100.000 per år ved bruk av hybrid fremdriftssystem i forhold til en konvensjonell løsning. Til tross for at Karoline har vært i operasjon i nærmere 3 år, har det vært vanskelig å sikkert kunne verifisere denne besparelsen.

	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)

Med krav om tilbakebetaling av investeringene i løpet av 3 år, bidrar de reduserte driftskostnadene med en bedring i lønnsomheten på rundt kr 300.000. Vi står fremdeles med kr 1.000.000 for høye investeringskostnader.

Det finnes følgende muligheter som kan gjøre investeringen i et hybrid fiskefartøy lønnsom:

1. Produksjon av større serier som vil bidra halvering av ekstra investeringskostnader.
2. Redusere fornybarhetsgraden gjennom investering i en mindre batteripakke.
3. Flere fiskebåteiere går sammen om å investere i 3–4 hybride fiskefartøyer som samlet sparer utslipp fra 10.000 liter diesel, og som derfor gjøre det mulig å få investeringsstøtte (50 %).

I fiskerisamfunn som Myre, deler av Senja og Båtsfjord, hvor det er en stor andel fiskere i den mindre kystflåten, kan det være mulig for flere å gå sammen om å søke støtte til investeringer i hybride fremdriftssystemer. En støtteandel på 50 % av et ekstra investeringsbehov på kr 1.300.000, betyr at fiskeren sitter igjen med kr 650.000 i ekstra utgifter. Trekket effekten av reduserte driftskostnader på kr 300.000 inn i

kalkylen, betyr dette at fiskeren står igjen med en merkostnad på kr 350.000. I prosjektet tar vi utgangspunkt i at investeringen skal være lønnsom for fiskeren. Til tross for dette er det mulig at enkelte fiskere velger å betale dette beløpet for at reduserte CO₂-utslipp på opptil 60 %, og et bedre og mere støyfritt arbeidsmiljø.

Endres operasjonen slik at eksempelvis settingen gjennomføres med generatoren i drift, reduseres fornybarhetsgraden. Samtidig vil det være tilstrekkelig med en batteripakke på rundt 100 kWh. Dette reduserer investeringen i batteripakken til det halve, og det vil være mulig å oppnå lønnsomhet allerede i dag samlede dieselbesparelser utgjør minimum 10.000 liter.

5 Diskusjon og konklusjon

Karoline er bygget som den første batterihybride kystfiskebåten og ble bygget før erfaringer fra praktisk bruk av elektriske fremdriftssystem og batteri i fiske var tilgjengelig. Karoline ble levert til en fisker sommeren 2015, knappe 2 år etter at Tesla leverte første Model S i Norge. Fartøyets praktiske funksjon er ikke ulik et konvensjonelt fartøy av samme type, men fartøyet måtte gjennomgå en ombygging i prosjektperioden for å få tilfredsstillende ytelse i gange i dårlig vær. Tidlige data i prosjektet viste at fartøyet brukte mye batterikapasitet på hurtig forflytning på feltet mellom garnlenker eller under skyting av garn. Under ombyggingen ble det installert en bryter på dekk som gjorde start og stopp av dieselaggregatet mulig utenfor styrhuset. Dette førte til en 10 % relativ økning (5 % absolutt økning) i bruken av dieselgeneratoren.

Et batterihybrid fremdriftssystem gir størst fordeler i arbeidsmiljøet hvor det i prosjektet er dokumentert vesentlig lavere støynivå om bord enn på tilsvarende fartøy med konvensjonelt fremdriftssystem. Under haling av garn og arbeid på dekk så er dieselaggregatet stoppet. Støymålingene tidligere i denne rapporten viser to hovedfunn: Støy i arbeidsmiljøet er redusert fra om lag 80 db til i underkant av 60 db. Normalt kan 80 db sammenlignes ved å stå ved en trafikkert vei, mens 60 db er som støynivået på et kontor. Lyd forplantes med vibrasjoner og lydmålingene viser dermed også at vibrasjonsnivået om bord er sterkt redusert, noe som også bidrar til et forbedret arbeidsmiljø. Mannskapet har med start/stop funksjonen for dieselgeneratoren på dekk en mulighet til å slippe dieseleksos når de måtte ønske det, selv om bruken av generatoren har økt etter installasjonen av bryteren. Selv om dieselgeneratoren nå benyttes under forflytning mellom garnlenker og under skyting av garnlenker så er arbeidsdagen i all hovedsak uten eksponering for dieseleksos.

Ombordmålingsprogrammet sammen med det elektriske energisystemet har gitt en god oversikt over fartøyets forbruk av energi. Som ventet er det i all hovedsak transitt som er energikrevende, men effekt- og energibehovet til sidepropeller og hydraulikk viser seg å være svært lavt. Dette burde gi muligheter for å dimensjonere elektrisk dekkmaskineri, eller i det minste elektriske hydraulikkpumper, sammen med batteripakker for bruk i kystfiske.

Drivstoffeffektiviteten til Karoline i forhold til sammenlignbare fartøy er det vanskelig å gi et definitivt svar på. Konvertering av mekanisk energi fra et dieselaggregat til elektrisk energi i et dieselelektrisk system vil ha et typisk tap på rundt 10%. Det hybride motorsystemet på Karoline vil derfor være mindre effektivt enn ved en tenkt situasjon hvor Karolines aggregat drev en propellaksling med samme konstante effektbehov, relativt til det ideelle forbruket til ved direktdrift med Volvo Penta D4-180 så er tapet på 16 %. Dieselaggregatet til Karoline er ikke sammenlignbar med motorene i fartøy med samme skrog, men med konvensjonell fremdrift. Karolines aggregat går med fast belastning og har lavere effekt (132 kW mot 213 kW) enn fremdriftsmotoren i sammenlignbare fartøy¹². Karolines elektriske fremdriftsmotor begrenser maksimal fremdriftseffekt til 100 kW. Forbruk for diesel rapportert fra Karolines motorcomputer er ikke nevneverdig forskjellig fra forbruk rapportert av motorcomputere til to fartøy med samme skrogform, men med konvensjonelle fremdriftssystem. Det kan dermed tenkes at Karoline tidvis går med noe lavere fart enn konvensjonelle fartøy når påkrevd effekt for å holde farten overskrider 100 kW, og besparelsen man vil oppleve ved å senke farten kompenserer for tap i energikonvertering.

Det man med sikkerhet kan si er at Karolines dieselaggregatet er stoppet i om lag 3–3.5 timer av et sjøvær på 8–9 timer, dette fører til en besparelse på drivstoff under fisket på feltet og en reduksjon av oljeforbruk, gangtid og vedlikeholdsbehov. Besparelsen av drivstoff skjer i den minst energikrevende fasen og må sammenlignes med forbruket fremdriftsmotoren på konvensjonelle fartøy behøver under selve fisket.

¹² Karoline benytter en Volvo Penta D4-180 (134 kW), sammenlignbare fartøy har benyttet Cummins QSL 8.9 (213 kW)

6 Hovedfunn

Prosjektet har dokumentert batterihybridteknologi for den mindre kystfiskeflåten og konkluderer med følgende:

1. **Ved bruk av hybridteknologi reduseres gangtiden på dieselmotor** (aggregat) med mellom 49–37 % avhengig av om mannskapet bruker dieselmotoren under kortere forflytninger på felt. Aggregatet går i all hovedsak under den energiintensive forflytningen til og fra fiskefeltet. Dette fører til besparelser for smøreolje og periodisk vedlikehold for diesel aggregatet i forhold til en motor som ville gått under hele driftstiden.

Dieselmotoren er den største bidragsyteren til støy på mindre fartøy. Lydmålinger viser at støyen under arbeid på dekk reduseres fra et nivå på rundt 80 dB LAF til 60 dB LAF uten bruk av dieselmotor på felt. Dette kan sammenlignes med støyforskjellen mellom veikanten ved en motorvei og lyden i en stue med tv på. Under gange med dieselaggregatet i drift kan mannskapet oppholde seg i styrhuset. Dette fører også til redusert eksponering mot eksos for mannskapet under arbeid på dekk. Aggregatet kan stoppes av mannskapet etter ønske, det er vanskelig å tallfeste reduksjonen av eksponering mot dieseleksos, men fartøyet drifter i all hovedsak på batterier når det er i fiske på felt.

2. **100 kW fremdriftseffekt er påkrevd for Karoline.** Karoline holdt marsj fart med fremdriftseffekt økt til 100 kW etter å ha fått satt inn større, mer saktegående propell og høyere moment på elektrisk fremdriftsmotor. Etter ombygging bruker fartøyet tidvis mer energi under gange, men marsjarten er lik. Etter ombygging kan fartøyet kompensere for motstand i varierende vær. Før ombygging var fremdriftseffekten i snitt 73 kW mens etter ombygging har fartøyet 45 % av gangtiden 99 kW som fremdriftseffekt og 55 % av tiden 77 kW som fremdriftseffekt. Den ekstra effekten som kreves for 99 kW fremdriftseffekt leveres av batteriene, siden generator kjører på fast effekt i seriehybridløsningen. Snittbelastning på diesel generatoren under gange er før ombygging er 73 kW og 81 kW etter ombygging¹³. Fartøyet vil derfor registrere likt drivstofforbruk pr tidsenhet generatoren er i drift, men energien som kreves for å kompensere for høyere motstand må produseres av generator og lagres på batterier. Dette fører til økt kjøretid på diesel aggregatet og drivstofforbruk når energien må produseres under lettere motstand eller på feltet.
3. **Gange til og fra felt for fiskebåter på batteri er ikke praktisk mulig pr dags dato.** Energiforbruket til Karoline er etter ombygging rundt 480 kWh pr sjøvær, og fartøyet i dag utstyrt med et batteri med 120 kWh utnyttbar energi. En annen energibærer enn batterier er nødvendig for å dekke energibehovet, men alternativer til diesel er mulig når fartøyet er utstyrt med et elektrisk fremdriftssystem. Totalenergiebehovet bestemmes av fordeling mellom gange og fiske, målinger på karoline viser at fartøyet krever 100 kW fremdriftseffekt for å holde ønsket fart. Karolines store batteripakke dekker 1 times gange ved 100 kW og en time fiske ved 20 kW, noe som i de fleste tilfeller blir for lite.
4. Karolines **dieselmotor kjører med tilnærmet konstant belastning** i seriehybridløsningen. Motoren belastes etter ombygging 60 % (80 av 132 kW). Snittforbruk for generering av elektrisk energi er estimert til 250 g/kWh basert på innkjøpt drivstoff til fartøyet og målt elektrisk energi ut fra generator. Dette tilsvarer et konstant forbruk på 24 liter/time. Samtidig frakter fartøyet med seg 120kWh fra landstrøm, hvis landstrømmen regnes inn blir forbruket 199 gram diesel for hver forbrukte kWh. Det er derfor vanskelig å sammenligne forbruket mot andre fartøy, Karolines fremdriftsløsning går med konstant last på dieselmotor og lagrer/henter energi til/fra batteriet ettersom kravet til effekt varierer. Samtidig har fartøyet har et mindre dieselaggregat (132 kW) enn hovedmotoren tilsvarende fartøy med konvensjonell drift (213 kW).

¹³ Under ombyggingen ble maksimalt tillatt effekt på dieselgenerator oppjustert fra 75kW til 80 kW.

5. **Effektbelastningen under fiske tilsvarer rundt 15–20 kW** (15 % last på dieselmotoren som har oppgitt maks belastning på 132 kW). Energibehovet for hydraulikk og sidepropeller er begrenset. Elektrifisering av dekkststyr, eller hydraulikkpumpe, kombinert med batteri vil fjerne behovet for å kjøre hovedmotor for å bruke fartøyets dekkmaskineri.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no