

2022:00185 - Åpen

Rapport

Klimasatsing i kystfiskehavner

En analyse av energibruk på fangst- og mottaksleddet i kystfiskeflåten

Forfattere

Randulf Høyli

Karl Gunnar Aarsæther



Rapport

Klimasatsing i kystfiskehavner

En analyse av energibruk på fangst- og mottaksleddet i kystfiskeflåten

EMNEORD:
Energibruk, kystfiske,
ombordmåling,
fiskemottak

VERSJON
2.0

DATO
2022-03-01

FORFATTER(E)
Randulf Høyli
Karl Gunnar Aarsæther

OPPDRAGSGIVER(E)
Flakstad kommune

OPPDRAGSGIVERS REF.
Kurt Atle Hansen

PROSJEKTNR
822000165

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
59+ vedlegg

SAMMENDRAG

Analyse av energibruk i fangst- og mottaksleddet viser at drivstofforbruk i flåteleddet representerer den største andelen av totalt energibruk for produksjon av ferskfisk, tørrfisk og frossenfisk. Vi finner at fartøy under 15 meter i gjennomsnitt driver mest drivstoffeffektivt fiske, sammenlignet med den øvrige kystfiskeflåten i Flakstad kommune. Vi estimerer at flåtens CO₂-utslipp er økende fra 2018-2020, til tross for et synkende fangstvolum i samme periode. Analyse av energibruk i mottaksleddet viser at innfrysing og fryselager krever omtrent dobbelt så mye energi per kg fisk som bearbeiding/kjøling ved mottaksanlegg og ettertørrking av tørrfisk. Det kreves også mer energi å produsere frossenfisk, sammenlignet med ferskfisk og tørrfisk. Ved estimering av produktenes klimaavtrykk har valg av elektrisitetstetthet derimot stor betydning, og kan være avgjørende for hvilket produkt som tilskrives lavest avtrykk.

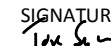
Innhenting av data fra et batterihybrid fartøy viser mulighetene som ligger i ombordmålinger, hvor data fra fartøyet relativt enkelt kan omformes til en profil over driftstilstander som gange og fiske. Ombordloggingen viser et mønster hvor energien til fartøyet i stor grad brukes på gange, mens tiden fordeler seg mer likt mellom gange og fiske. Tiden brukt på felt bidrar dermed mindre til klimaavtrykket fra fartøyet drift. Ombordmålinger må installeres på hvert enkelt fartøy, noe som gjør det upraktisk for studier av flåter på størrelse med Flakstads fiskeflåte. AIS-metoder utnytter allerede eksisterende infrastruktur og kan derfor benyttes for å finne aksjonsområdet til større fartøysgrupper, men slike metoder er til gjengjeld lite egnet for å estimere energibruken.

UTARBEIDET AV
Randulf Høyli

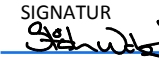
SIGNATUR

Randulf Høyli (Mar 7, 2022 08:53 GMT+1)

KONTROLLERT AV
Tore Syversen

SIGNATUR

Tore Syversen (Mar 7, 2022 09:25 GMT+1)

GODKJENT AV
Ståle Walderhaug

SIGNATUR

Ståle Walderhaug (Mar 7, 2022 09:41 GMT+1)

RAPPORTNR
2022:00185

ISBN
978-82-14-07551-9

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2021-12-21	Utkast
1.1	2022-02-08	Utkast
2.0	2022-03-01	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Målsetting	5
1.3	Datakilder og avgrensning	5
1.4	Rapportens struktur	6
2	Kystfiskeflåten i Flakstad	7
3	Energibruk i fangstleddet	10
3.1	Introduksjon	10
3.1.1	Motorarrangement	11
3.1.2	Eksisterende data for energibruk i fiskeflåten	14
3.2	Metode og data	15
3.2.1	Målinger av fartøys aktivitet	15
3.2.2	Analysemodell for kystflåtens driftsmønster	18
3.3	Resultater og diskusjon	19
3.3.1	Erfaringsbasert	19
3.3.2	Registerdata	22
3.3.3	AIS-metode	26
3.3.4	Ombordmålinger	30
4	Energibruk i mottaksleddet	35
4.1	Introduksjon	35
4.1.1	Fiskemottakene	36
4.2	Metode og data	37
4.2.1	Datakilder	37
4.2.2	Energi- og utslippsberegninger	37
4.2.3	Allokering	37
4.2.4	Avgrensning	37
4.3	Resultater og diskusjon	38
4.3.1	Energibruk på mottaksanlegg	38
4.3.2	Energibruk og sesongvariasjoner	40
4.3.3	Energibruk ved produksjon av typiske sjømatprodukter	41
4.3.3.1	Klimaavtrykk	43
4.3.4	Interaktiv visualiseringsplattform	45
5	Infrastruktur i havner	47

6	Oppsummering og anbefalinger for videre arbeid.....	52
6.1	Måling av fartøys aktivitet og bevegelsesmønster	52
6.2	Energibruk og utslipp i kystfiske	53
6.2.1	Flåteleddet	53
6.2.2	Mottaksleddet	53
6.2.3	Kombinert flåte- og mottaksledd	54
6.3	Anbefalinger for videre arbeid.....	56
7	Referanser.....	57
A	Fangst, drivstofforbruk og CO₂-utslipp fordelt på lengdegruppe 2018-2020	59

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

1 Innledning

Denne rapporten oppsummerer SINTEFs arbeid i prosjektet *Klimasatsing i kystfiskehavner* som er en oppfølging av et tidligere forprosjekt med samme navn [1, 2]. Prosjektet er gjennomført på oppdrag for Flakstad kommune, og har vært finansiert over klimasatsordningen til Miljødirektoratet. *Klimasatsing i kystfiskehavner* består totalt av syv delprosjekter, hvorav SINTEF har hatt hovedansvaret for delprosjekt 1 og 2 som tar for seg energibruk og klimagassutslipp på henholdsvis fiskefartøy og mottaksleddet.

1.1 Bakgrunn

Energibruk og utslipp i kystflåten er i stor grad forbundet med konvensjonelle fremdriftssystemer basert på fossile brenslers som eksempelvis marin gassolje (MGO). Det er flere faktorer som vil påvirke drivstofforbruket og derav klimagassutslippet til fiskeflåten. Blant de viktigste av disse er gangtid til og letetid på fiskefelt, lasteevne/kapasitet, oljepris, redskapsbruk og fangstrater [3]. Ved å erstatte dagens fossile brenslers med mer miljøvennlige alternativer, vil man potensielt kunne oppnå en betydelig reduksjon i fartøyenes klimagassutslipp. Det er likevel relativt nylig at batterielektriske fartøy har blitt introdusert i kystflåten, først med sjarken Karoline (11m, 190 kWh), og senere Angelsen Senior (21m, 270 kWh) og Sundsbøen (11m, 50 kWh). Innenfor havbruk finnes det derimot flere eksempler på helelektriske servicefartøy i drift i dag.

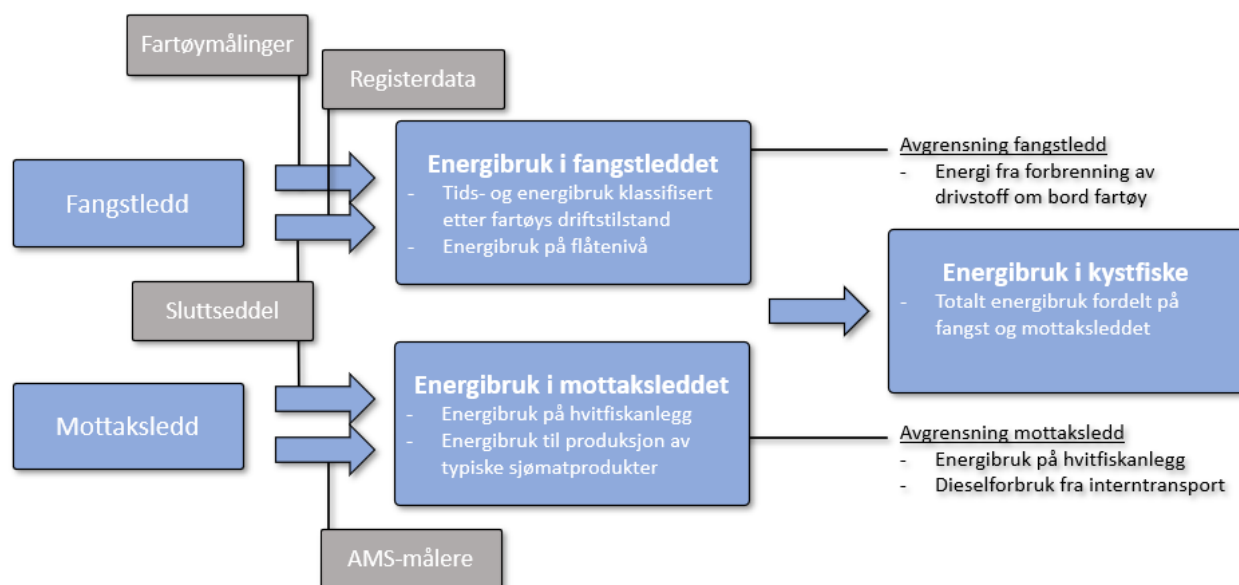
Elektrifisering av kystfiskeflåten kan sies å være mer utfordrende blant annet på grunn av et driftsmønster preget av lengre distanser og større energibehov mellom hvert havneanløp. Bruk av batterier og brenselceller med hydrogen eller ammoniakk som drivstoff kan være løsningen for å utvikle nullutslipps kystfiskefartøy [4]. Selv om sjømatprodukter har vist seg å være et klimavennlig alternativ til mange landbaserte kjøttprodukter [5], er det likevel et potensial for å redusere utslippene innen fiskeri ytterligere. Gjennom Parisavtalen har Norge også forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med 50 prosent sammenlignet med 1990-nivået [6], noe som representerer et utslippskutt av en størrelse som fordrer at samtlige sektorer bidrar til å innfri klimaforpliktelsene.

1.2 Målsetting

Hovedprosjektet *Klimasatsing i kystfiskehavner* har hatt til formål å utvikle kunnskap og løsninger i kystfiskefartøy og deres hjemmehavner som bidrar til reduksjon i utslipp av klimagasser og omstilling til lavutslippssamfunnet. Hovedmålet for SINTEFs arbeid i delprosjekt 1 og 2 har vært å fremskaffe kunnskap om energibruken i kystfiskeriene fordelt mellom flåte- og mottaksleddet.

1.3 Datakilder og avgrensning

Figur 1 oppsummerer hvilke data som er samlet inn og behandlet i prosjektet. De viktigste datakildene omfatter registerdata for Flakstad-flåtens drivstofforbruk og fangstvolum, energibruk på hvitfiskanlegg fra anleggenes AMS-målere, samt målinger av fartøybevegelser via AIS og full ombordlogging. Både fartøys- og fiskemottakseiere har i tillegg bidratt med supplerende informasjon om deres drift.



Figur 1 Grafisk fremstilling av data som er samlet inn og behandlet i prosjektet. Figuren viser også hvordan dataene er brukt og hvilke resultater de har bidratt til å utlede, samt hvilke overordnede avgrensninger som er lagt til grunn for arbeidet.

Avgrensninger for analyse av energibruk i fangst- og mottaksleddet omtales i nærmere detalj i de respektive kapitlene. I grove trekk omfatter avgrensningene at det for fangstleddet kun vurderes energi fra forbrenning av drivstoff om bord fartøy, mens det for mottaksleddet avgrenses til elektrisk energibruk på hvitfiskanlegg, samt dieselforbruk til internttransport på anleggene.

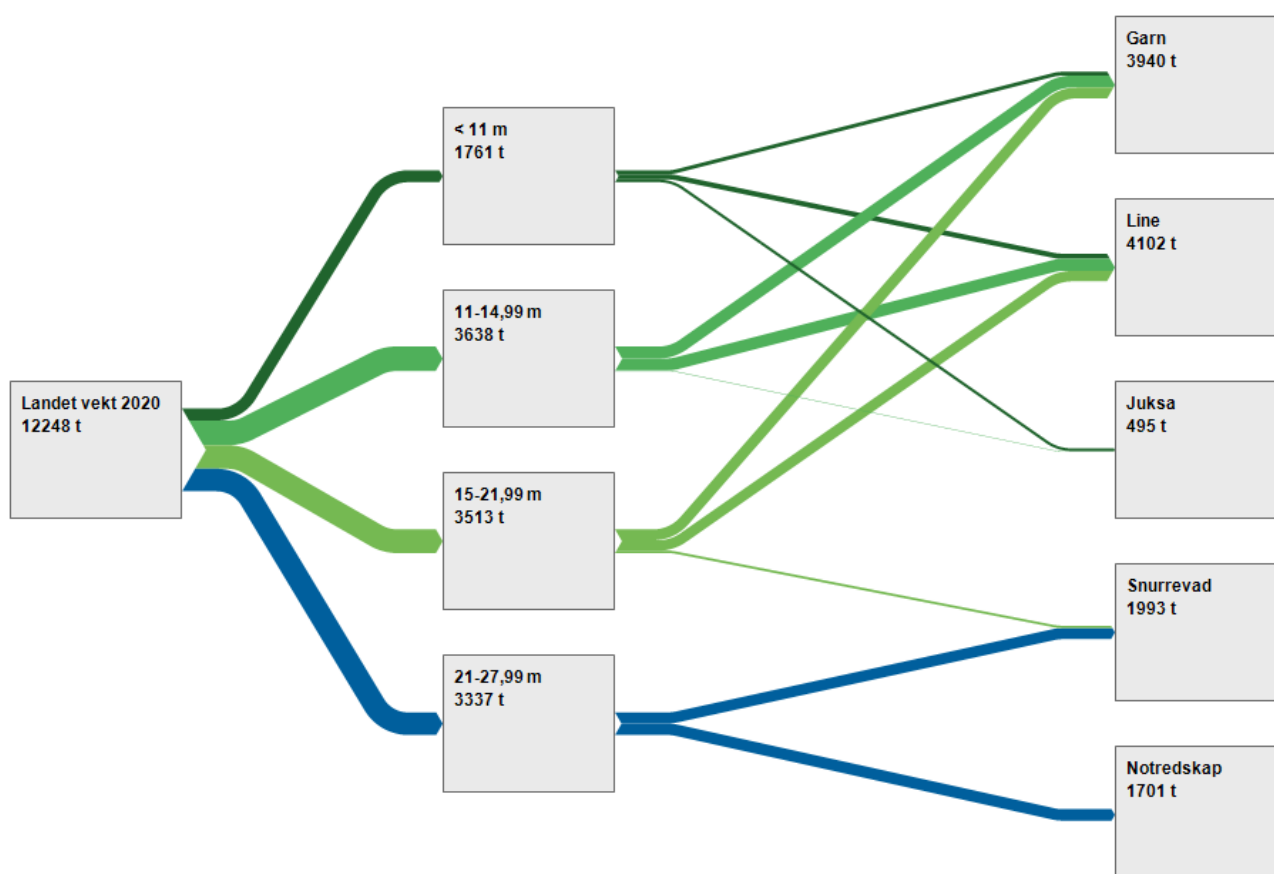
1.4 Rapportens struktur

I tillegg til introduksjonen gitt i dette kapitlet, er rapporten strukturert i følgende kapitler:

- Kapittel 2 gir en introduksjon til kystfiskeflåten i Flakstad
- Kapittel 3 omhandler energibruk i flåteleddet, hvor det ses på ulike metoder for å måle fartøys aktivitet, herunder erfaringsbasert datainnsamling, åpne registerdata for fangst og drivstoffbruk, AIS-målinger, samt fullstendig ombordmåling av energi- og effektbruk på fartøy.
- Kapittel 4 omhandler energibruk i mottaksleddet, hvor det ses på energibruken til ulike produksjonsanlegg (mottaksanlegg, fryseri/fryselager og tørrfisklager) og energibruk til bearbeiding av typiske sjømatprodukter.
- Kapittel 5 illustrerer et scenario for energi- og effektbehovet til en tenkt fiskerihavn hvor batterier er den dominerende teknologien for utslippsreduksjon.
- Kapittel 6 oppsummerer og gir anbefalinger for videre arbeid

2 Kystfiskeflåten i Flakstad

Fiskeflåten i Flakstad utgjøres i hovedsak av de minste lengdegruppene <11m, 11-14,99m og 15-20,99m, med henholdsvis 52, 18 og 9 aktive fartøy i 2020. I tillegg var det 3 aktive fartøy over 21 meter. Til tross for at de minste lengdegruppene representerer flest fartøy, leverer fartøy over 21m omtrent like mye fangst som hver av de andre lengdegruppene. Dette ser vi i Figur 2 som viser landet fangst av Flakstad-fartøy, fordelt på lengdegruppe og redskap. I figuren ser vi også at mens den mindre kystflåten primært fisker med garn og line, drifter de største fartøyene med utgangspunkt i tyngre redskap som snurrevad og andre notredskap. Totalt ble det levert i underkant av 12.250 tonn fangst fra Flakstad-registrerte fartøy i 2020.



Figur 2 Landet vekt av Flakstad-registrerte fartøy i 2020, fordelt på lengdegruppe og redskap. Det er i tillegg 17 tonn fangstet med teiner som ikke er vist i figuren.

Tabell 1 gir en oversikt over flåtesammensetningen i Flakstad og hvordan leveranser og fangst fordeler seg på de ulike lengdegruppene. I parentes vises prosentvis endring fra 2018 til 2020. Det ses en nedadgående trend for de to minste lengdegruppene, der både antall fartøy og gjennomsnittlig fangst per fartøy reduseres i perioden. Til gjengjeld er det en økning på samme parametere for lengdegruppene over 15 meter.

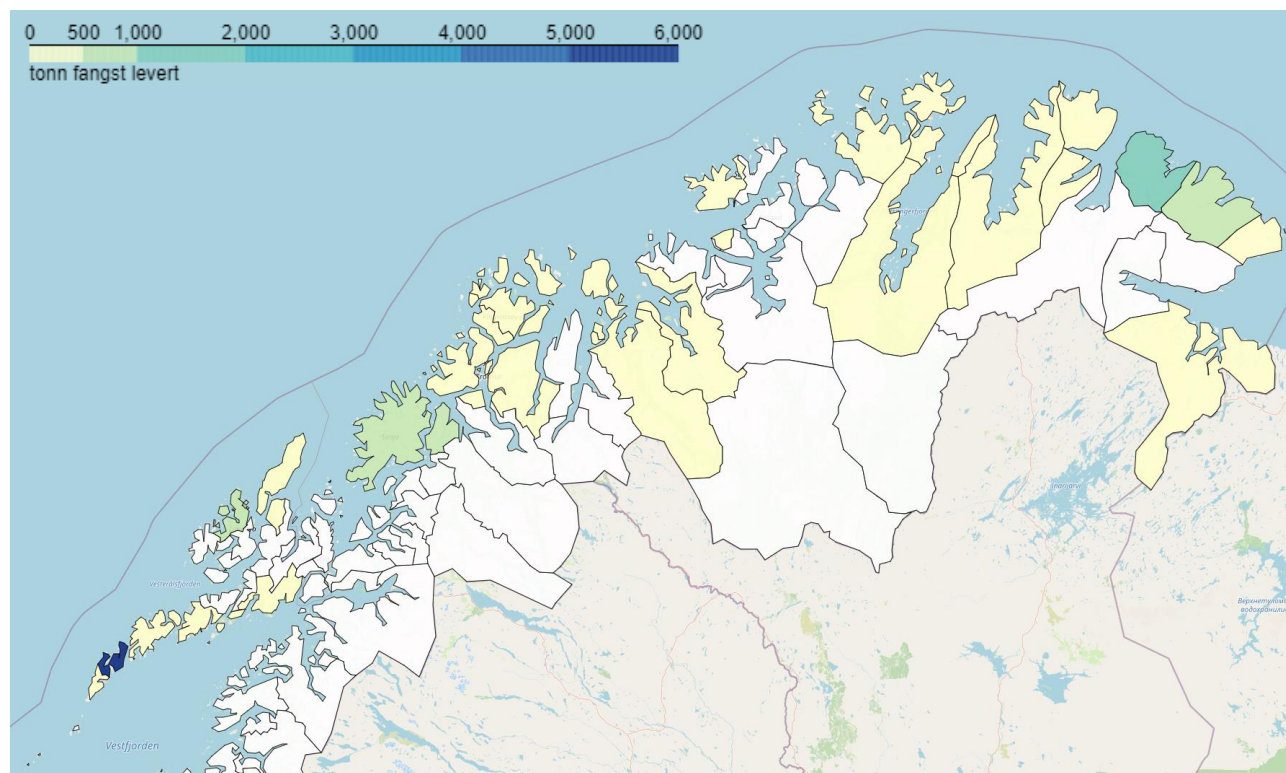
For den største lengdegruppen ses en relativt stor økning, til tross for at det er ett færre fartøy i drift. Likevel er det en nedgang i levert fangst for Flakstad-flåten samlet sett. Lengdegruppen 15-20,99m er mest aktiv målt i antall leveranser, med i gjennomsnittsnitt 80 og 100 flere leveranser per fartøy enn henholdsvis lengdegruppene 11-14,99m og 21-27,99m. De minste fartøyene under 11m har klart færrest leveranser per fartøy, men på grunn av det høye fartøyantallet har lengdegruppen samlet sett flest leveranser i 2020.

Flakstad-flåtens samlede fangstvolum fordeler seg på 15.000 leveranser, med en gjennomsnittlig leveranse på 815 kg. I hjemkommunen Flakstad ble det i gjennomsnitt levert 563 kg per landing, mens de største leveransene ble landet på Senja og Tromsø, med henholdsvis 25 og 17 tonn per landing. Dette er også betydelig mer enn neste på listen, som er Båtsfjord hvor det i snitt ble levert 2,3 tonn per leveranse.

Tabell 1 Antall fartøy, -leveranser og tonn fangst, samt gjennomsnittlig fangst, leveranser og kg per leveranser per lengdegruppe og totalt for Flakstad-registrerte fartøy. Tall for 2020 og endring fra 2018 angitt i parentes.

Lengdegruppe	Antall fartøy	Antall leveranser	Tonn fangst	Tonn per fartøy	Leveranser per fartøy	Kg per leveranse
Under 11 m	53 (-4 %)	5559 (-18 %)	1761 (-19 %)	33 (-16 %)	105 (-15 %)	317 (-2 %)
11-14,99 m	18 (-10 %)	5050 (-26 %)	3638 (-29 %)	202 (-21 %)	281 (-17 %)	720 (-4 %)
15-20,99 m	10 (11 %)	3619 (14 %)	3513 (11 %)	351 (0 %)	362 (2 %)	971 (-2 %)
21-27,99 m	3 (-25 %)	793 (35 %)	3337 (47 %)	1112 (97 %)	264 (80 %)	4208 (9 %)
Totalt/snitt	84 (-5 %)	15021 (-13 %)	12248 (-4 %)	146 (1 %)	179 (-9 %)	815 (11 %)

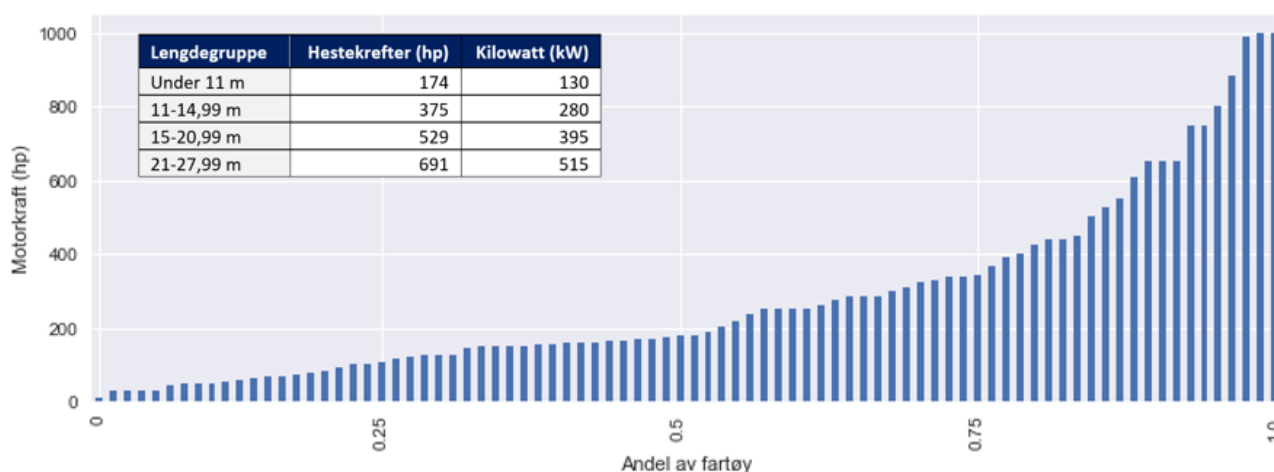
Figur 3 viser at det landes fisk fra Flakstad-registrerte fartøy langs hele kysten i Nord-Norge. Fra figuren er det også tydelig at brorparten av fangstvolumet landes i noen få kommuner, med en klar hovedvekt i Flakstad kommune hvor nesten halvparten av fangsten ble levert (5.600 tonn). Etter Flakstad landes det mest fisk i Berlevåg (16 %), markert med mørkegrønn farge. Videre landes det mellom 500-1000 tonn i kommunene Båtsfjord, Senja og Øksnes (alle 6-7 %), angitt med en lysere grønnfarge. I de resterende kommunene med fangstlevering (gul farge) ble det landet under 500 tonn fra Flakstad-registrerte fartøy i 2020. Hvit farge indikerer at det ikke har vært landet noe fangst i kommunen.



Figur 3 Kartutsnitt som viser hvilke kommuner Flakstad-registrerte fartøy leverte fangst til i 2020. Figuren viser kun Nord-Norge, og ekskluderer omtrent 80 tonn levert til Ålesund.

Ser vi på den geografiske aktivitetsutredelsen til de ulike lengdegruppene, er det tydelig at de minste fartøyene i all hovedsak drifter i og rundt Lofoten og Vesterålen med over 90 prosent av både fangst og leveranser i hjemfylket Nordland. For de større lengdegruppene ser man en økende grad av bortefiske. Lengdegruppen 15-20,99 meter har for eksempel omtrent halvparten av sin aktivitet på Finnmarkskysten, mens fartøy over 21 meter leverer nesten 40 % av sin fangst i gamle Troms fylke. Det er nesten utelukkende de største fartøyene som har aktivitet i Troms, spesielt med hensyn på mengden fangst levert.

Figur 4 viser en fordeling av motorkraft på framdriftsmotor i Flakstad-flåten, hvor x-aksen angir andelen av alle fartøy. Vi ser at omtrent halvparten av fartøyene har motorstørrelse under 200hp/149kW og kun 15 prosent har motor over 600hp/447kW. Det er videre ingen fartøy med mer enn 1000hp/745kW motorkraft, og dermed heller ingen fartøy hjemmehørende i Flakstad som havner inn under NOx-fondets grense for avgiftsplikt (750 kW).



Figur 4 Fordeling av motorkraft (hp) på hovedmotor for Flakstad-registrerte fartøy i 2020. Innfelt tabell til venstre viser gjennomsnittlig motorkraft for de ulike lengdegruppene.

Innfelt i Figur 4 ser vi også en tabell som angir gjennomsnittlig motorkraft fordelt på lengdegruppe. Ikke uventet øker motorkapasiteten med fartøylengde, men fra underliggende data ser vi at det også er flere mindre fartøy med relativt store motorstørrelser.

3 Energibruk i fangstleddet

Fartøy og kjøretøy blir ofte beskrevet med hestekrefter som mål på kraft. Kraftbruk over tid betyr energiforbruk, energibruken kommer fra bruksmønsteret og hvordan motoren blir belastet over tid. Energibruken er derfor sjelden den oppgitte effekten på motorer multiplisert med gangtid. Fordeling av kraftuttak fra motoren over gangtiden kompliserer bildet ytterligere. Grunnleggende representerer en liter drivstoff en enhet energi som en motor kan omdanne til mekanisk energi. Mekanisk kraft beskrives gjerne med hestekrefter, men det er ikke et tilsvarende mål på energi. For å sammenligne kraft og energibruk mellom fremdriftsmotorer, generatorer og forbruksenheter, og mellom forskjellige fartøy og landanlegg, er kW og kWh de mest brukte målene på kraft og energi.

Diesel er energibæreren i konvensjonelle kystfartøy og all energi som brukes på fartøyet kommer fra forbrenning av diesel som konverterer den kjemiske energien til mekanisk effekt og varme. Den mekaniske effekten kan konverteres videre til hydraulisk og elektrisk effekt ved mekanisk drevne pumper og generatorer. Sammenligning av energibruk på fartøy og mellom fartøy og landsiden bør baseres på kWh siden kWh er den internasjonale enheten for energi. Enkelt regnet tilsvarer 100 HK effekt 75 kW. Forbruket til fartøy og motorer oppgis som liter drivstoff og en liter diesel har et kjemisk energiinnhold på 10 kWh¹.

3.1 Introduksjon

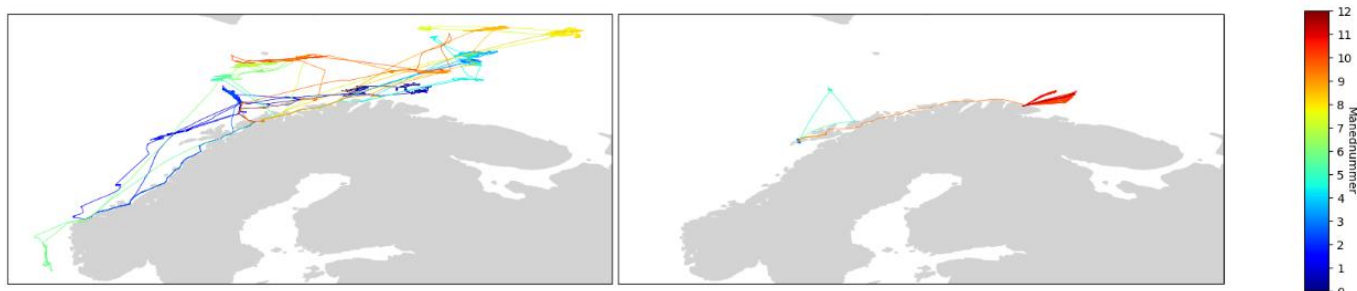
Norsk fiskeflåte er delt inn i tre hovedgrupper med den havgående flåten (lengre enn 28m), «stor kyst» (21-27,99m) og den tradisjonelle kystflåten (0-20,99m). Driftsmønsteret og utforming av fartøyene i de forskjellige gruppene er variert, men antallet fartøy er størst i den tradisjonelle kystflåten som fangster nærmere land i forhold til den havgående flåten. Antall fartøy i de gruppene som fisker etter hvitfisk (primært torskearter som torsk, hyse og sei) var 1666 i 2018, en nedgang på 19 prosent fra 2008. Den minste kystflåten var flåtegruppen med minst nedgang og fordelingen av antall fartøy i de forskjellige lengdegruppene er vist Tabell 2.

Tabell 2: Fordeling av antall fartøy som fangster hvitfisk fordelt på lengdegrupper

Gruppe År	Under 10m	11-14.9m	15-20.99m	21-27.99m	Over 28m	Total
2008	1136	519	227	102	89	2073
2018	1110	333	120	50	53	1666
Endring %	-2.3%	-35%	-47%	-51%	-40%	-19%

Antallet fartøy i havfiskeflåten og «stor kyst» gruppen er sterkt redusert gjennom kjøpt og salg av kvoterettigheter som har samlet et større ressursgrunnlag på hvert enkelt fartøy [7, 8]. Det er en stor forskjell på aktivitetsmønsteret til havfiskeflåten og kystflåten som vist med eksempel i Figur 5. Figuren viser bevegelsens til en større (81m) kombinert torsk og rekestråler fra havfiskeflåten og en 19m garn og line båt fra kystflåten. I figuren viser fargen på posisjonen hvilken tid på året den er hentet fra.

¹ Det er 38-39 megajoule i en liter diesel, som tilsvarer 10.5-10.85 kWh



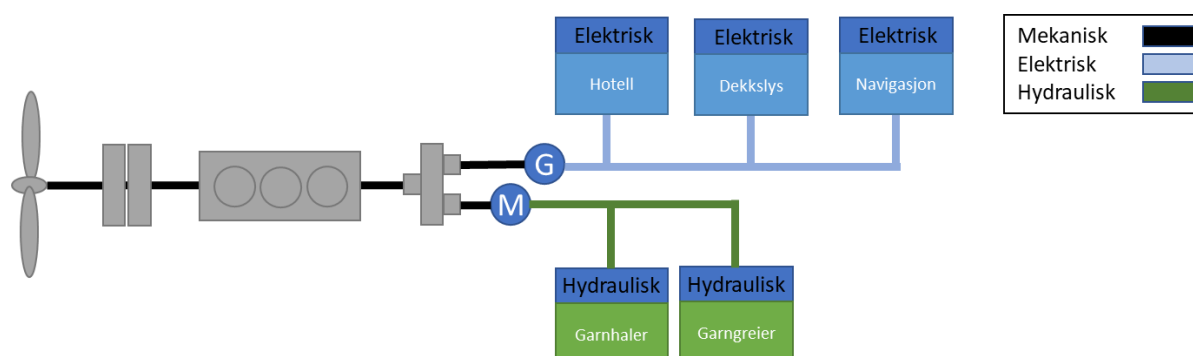
Figur 5: Aksjonsområde for en 81m kombinert reke- og hvitfisktråler til venstre og et 19m kystfiskefartøy med garn og line til høyre.

Sammenligner man de to fartøyene i Figur 5 så vil det havgående fartøyet lande mer fangst på grunn av sitt store ressursgrunnlag og bruk av trål, men også fiske i helårsdrift som krever at fartøyet henter råstoff lengre fra land, med lengre turer og med større geografisk spredning. Kystbåten henter sine ressurser i en mer konsentrert periode rundt tradisjonelle sesongfiskerier hvor varangerfisket og lofotfisket utgjør nesten hele års-aktiviteten. Kystfartøyet går kortere turer bundet til havner hvor det er støttfunksjoner og fiskemottak. Begge fartøys motorsystemer er primært designet ut ifra kraftbehovet de har i forflytning mellom land og felt. Valget av løsningen for energiproduksjonen og fremdrift setter premisset for hvilke teknologier som kan tas i bruk og hvordan drivstoffet brukes til å drifte fartøyet i gange og på felt.

3.1.1 Motorarrangement

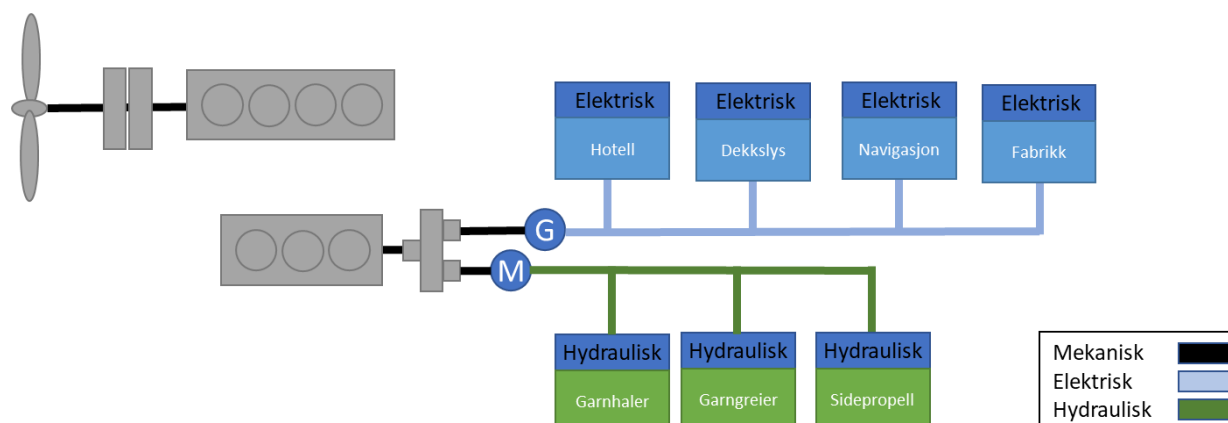
Motorinstallasjonen og drivstoff er en av de større investeringene og kildene til løpende kostnader for fartøy. Motorer er dyre, og vedlikehold, smøreoljer og drivstoff påløper for hver driftstime for motoren. Samtidig er praktiske hensyn ved vekt og plass viktigere på mindre fartøy. Mindre fartøy krever fleksibilitet av motorene mens motorer designes for å være mest effektiv ved høy belastning, hvor de fleste motorer leverer mest effekt pr forbrukt drivstoff på jevn belastning rundt 80 % av maksimal effekt.

Den vanligste motorinstallasjonen på mindre fartøy er en enkelt hovedmotor som driver propellen koblet til motorakselen som vist i Figur 6. Effekt til hydraulikk og elektrisitet tas ut fra samme aksel gjennom generator og hydraulikkpumpe. Fartøyet oppholdsområder (Hotell) krever i hovedsak elektrisk strøm, men kan også varmes opp fra overskuddsvarme fra motorer hvis det er installert et varmegjenvinningssystem i forbindelse med motor. Hvis hovedmotoren stoppes på sjøen, vil fartøyet ha begrenset med kraft tilgjengelig fra forbruksbatterier for navigasjonslys og instrumenter. Fartøyet må med et slikt motorarrangement drive hovedmotoren for å få kraft til arbeid på feltet, mens motoren er dimensjonert for å levere kraften som kreves for å gå fartøyet til og fra felt. Overskuddsenergien fra motoren må fjernes med sluregir eller vribar propell og motoren vil arbeide på en lav belastning. Den lave belastningen fører til høyere drivstofforbruk pr enhet levert energi (kWh) til fartøyet siden motorens egen drift av kjølevannspumpe, drivstoffpumpe og tap gjennom friksjon utgjør en større andel av energien som produseres. Hvis motoren skal produsere vekselstrøm automatisk så må turtallet låses slik at vekselstrømnettet får rett frekvens, hvis ikke må likestrøm fra motoren omformes til vekselstrøm av ønsket frekvens og spenning som gir enheter og tap i konvertering.



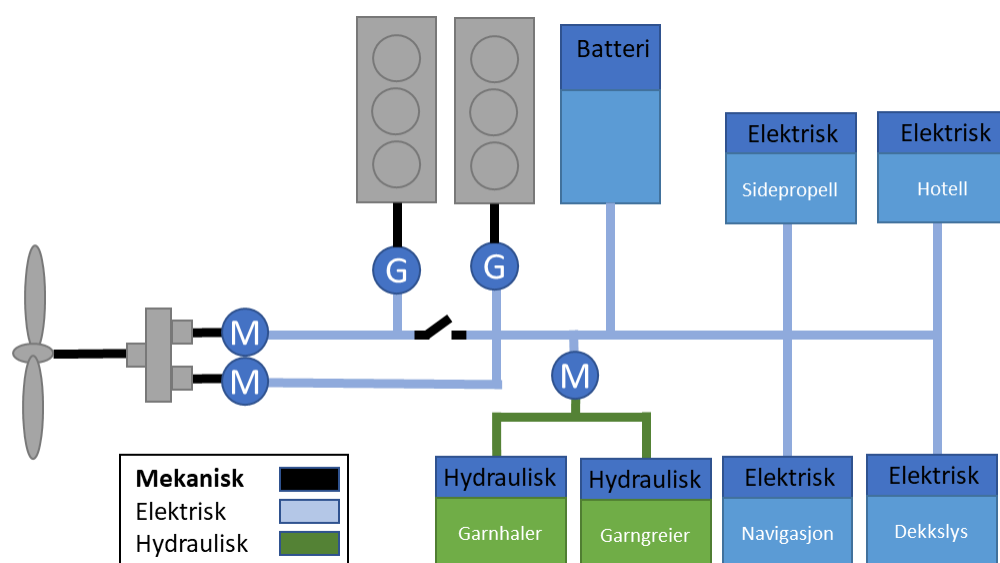
Figur 6: Motorarrangement for mindre tradisjonell kystbåt - fremdrift, hydraulikk og elektrisitet drives av hovedmotor

Større fartøy med hjelpemotorer har mulighet til å frikoble fremdrift fra behov for elektrisk og hydraulisk kraft som vist i Figur 7. Fartøy med slike motorarrangement kan velge fritt om fremdriftsmotoren skal kjøres uavhengig av behovet for elektrisk og hydraulisk effekt. I situasjoner hvor det er et lavt, men hyppig krav om fremdrift vil hovedmotoren fortsatt måtte kjøres på lav belastning, men hjelpemotoren kan kjøres på en gunstigere belastning. Det er også mulig å kjøre hjelpemotoren på et fast turtall for å levere vekselstrøm. Det er derimot få tilfeller der behovet for fremdrift er helt fraværende, under fiske vil det være et lavt men hyppig behov for manøvrering ved hjelp av hovedmotoren.



Figur 7: Motorarrangement for større tradisjonell kystbåt - fremdrift fra hovedmotor og elektrisitet og hydraulikk drevet av hjelpemotor. Noen motorarrangement har elektrisk hydraulikkpumpe som dermed drives av det elektriske nettet fra hjelpemotoren.

Dieselektriske fremdriftssystemer frikobler dieselmotorer fra propellen og baserer og bruker elektriske motorer for å drive fremdriften. Diesel er fremdeles energikilden, men frikoblingen og distribusjon av kraft over ledningsnett fører til større fleksibilitet i plassering av motorer og muligheten til å installere flere motorer som stoppes og startes etter fartøyets totale kraftbehov. Elektriske distribusjon av kraft fra dieselmotorer er derfor hyppig brukt i større fartøy hvor det er store variasjoner i kraftbehovet mellom forskjellige driftsfaser som gange, fiske eller standby. Dieselektriske fremdriftssystemer brukes derfor ofte i cruiseskip, offshorefartøy og havgående autoline.



Figur 8: Motorarrangement for større kystfartøy med batterihybrid fremdrift og elektrisk kraftdistribusjon

Et motorarrangement som vist i Figur 8 er mer komplisert å styre, koster mer i installasjon og resulterer i tap når energi konverteres. Tapene i konvertering til og fra elektrisk energi er ikke store, men er til stede og vil gi dieselelektriske (med og uten batterier) et høyere forbruk enn direkte drift fra en dieselmotor til propell. Dette forutsetter derimot at kraften fra hovedmotoren kan nyttes fullt ut, i situasjoner som gange. Dieselelektriske anlegg (med og uten batteri) henter fordelene fra muligheten til å stoppe motorer under lavlastforhold på fartøyet. Dette sparer både drivstoff, men også smøreolje og slitasje som følge av gangtimene til motoren. Motorene i et dieselelektrisk system har også jevn belastning som gir en større andel av driftstiden på motorens tiltenkte ytelse.

Distribusjon av kraft ved hjelp av elektrisitet gir stor fleksibilitet på fartøy, og kan økes ytterligere ved bruk av batteriteknologi. Dette gir et hybrid fremdriftssystem der energi fra motorene flyter inn og ut av batteriet etter behov. Batterier kan brukes til å drifte hele fartøyet når kraftbehovene er lave, og kan hjelpe en (eller flere) dieselmotorer når kraftbehovene overstiger kapasiteten motorene kan levere. Hvis kraftbehovet til fartøyet er lavere enn motorens tiltenkte effekt, kan batteriet mellomagere overskuddskraften til senere bruk. Batteriet er en ytterligere investering, men gjør det mulig å effektivt drive fartøy på lave kraftnivåer, slik man opplever på fiskefelt med bruk av redskaper med lavt kraftbehov som garn, line og juksa. Batterier gjør det mulig å periodevis drive fartøy helt uten bruk av dieselmotorer, som for motorene fører til ytterligere reduksjon av for bruk og gangtimer, men for mannskapet fører til fravær av motorstøy, eksos og vibrasjoner. Når batterier brukes til å drive fartøyet ved lave kraftbehov er besparelsen i drivstoff lav, siden drift av fartøyet fra motorer da krever lav belastning. Økning i komfort, og besparelser på vedlikehold og levetid for motorer kan være like viktige i et langsiktig perspektiv.

Elektrisk distribusjon av kraft gir ikke bare fleksibilitet i motorarrangement, drift og plassering. Men det gir også fleksibilitet i energilide. Et batterihybrid fartøy kan i fremtiden konverteres til nullutslippsteknologi ved å erstatte kraftproduksjon fra dieselaggregat med enten større batteribanker eller brenselceller basert på hydrogen eller ammoniakk. Et konvensjonelt fartøy vil kreve en mer omfattende ombygging for å kunne ta i

bruk andre energibærere enn diesel, der konvertering til gassdrift og bruk av biogass² er den korteste veien til mindre utslipp.

3.1.2 Eksisterende data for energibruk i fiskeflåten

Energiforsyningen til fartøy i handelstrafikk og fiskerier er basert på fossile energikilder med varierende sammensetning slik som tungolje, marine fueloljer, diesel og naturgass. Energibruk i fartøy er et stort forskningsområde, men har vært fokusert på større havgående handelsfartøy. Den Internasjonale Maritime Organisasjonen (IMO) innførte i 2011 krav om «energimerking» av nybygde fartøy (EEDI – Energy Efficiency Design Index) og krav om rutiner for energieffektiv drift av fartøy (SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan), men disse kravene omfatter ikke fiskefartøy. Handelsfartøy i faste ruter kan klassifiseres etter fraktvolum og energibruk, mens det for fiskeflåten er variasjoner i både seilt distanse, fartøy og tilgjengelighet på fisk.

Tabell 3: Gjennomsnittlig drivstofforbruk for landet fangst basert på forskjellige datakilder. Snittforbruket er regnet om til forbruk for Flakstads flåte basert på fangstmengder i Figur 2.

Studie	Snitt forbruk fra litteraturen (l/kg)	Omregnet til Flakstad-tall	
		Fartøygruppe	Forbruk (l)
Schau et al 2009 – garn [9]	0,19	Alle båter med garn	748.600
Schau et al 2009 – line [9]	0,31	Alle båter med line	1.271.620
Jafarzadeh et al 2016 – konv. under 15m [10]	0,126	Alle redskap under 15m	677.945
Jafarzadeh et al 2016 – konv. fra 15 til 21m [10]	0,134	Alle redskap mellom 15-21m	469.760
Energinettverk fiskeflåte 2010 – garn [11]	0,15	Lette redskap, garn	591.000
Energinettverk fiskeflåte 2010 – line [11]	0,19	Lette redskap, line/juksa	779.380

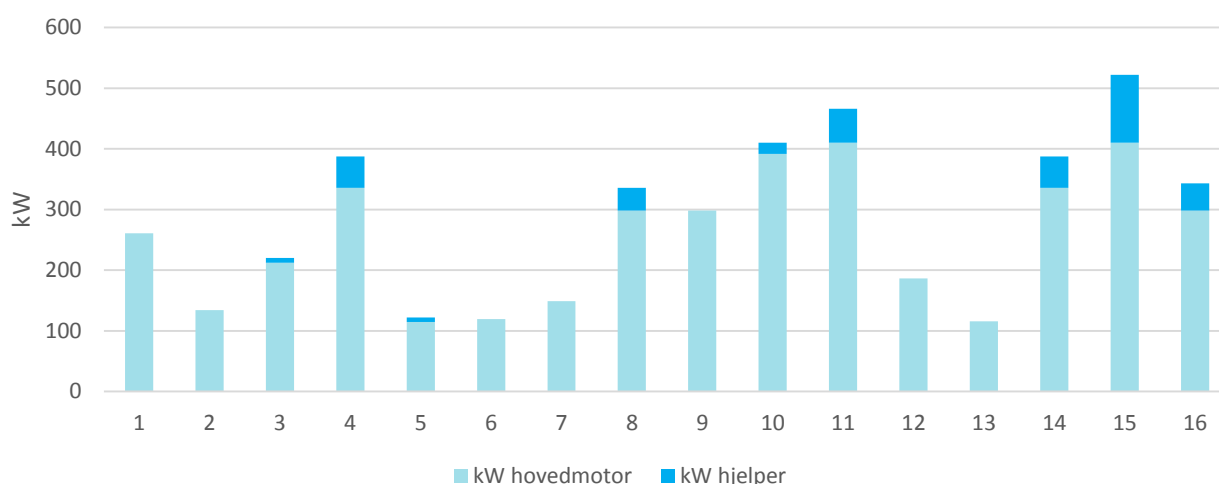
Tallene i Tabell 3 over viser resultater fra registerstudier for snittforbruket når man ser på liter diesel brukt for å lande fisk med rund vekt, og inkluderer alle fartøy i lengdegruppene. Gjennomsnittstall er ofte ikke representativ når man ser på enkelttilfeller eller spesielle driftsformer, siden spesielt de mindre fartøyene er preget av lokale forhold som gangtid til felt og mottak. Samtidig viser Jafarzadeh m.fl. (2016) [10] til at tilgjengelighet på fangst har størst påvirkning på drivstofforbruket. Når man ser på et mindre utvalg fartøy vil driftsmønster påvirke forbruket i større grad, i tillegg vil en kortere observasjonsperiode bli påvirket av tilgangen på fangst. Det finnes i tillegg noen publiserte resultater som går på fartøynivå hvor driftsmønsteret inngår.

Detaljer rundt energibruk på undergrupper med fartøy, eller enkeltfartøy kan etableres ved detaljert oppfølging av driftsmønster, eller bruk av ombordmålingssystemer. Tidligere eksempel på slike studier er oppfølgingen av det batterihibride kystfiskefartøyet Karoline [12] og Energinettverk for fiskeflåten [11]. Detaljdata for fartøyet Karoline (moderne fartøy under 11m) viser et effektbruk i gange på 75 – 100 kW avhengig av værforhold og last. Samtidig brukte fartøyet rundt 20 kW i fiske på felt og 42 kW under forflytning på felt. Dieselmotoren som brukes som aggregat på Karoline kan produsere 129kW kraft³. Kraftbehovet til Karoline, sammen med tidsbruken i gange og fiske kan si noe om det faktiske energibehovet til fartøyet og tilsvarende fartøy.

² Biogass regnes klimanøytralt pga. den korte omløpstiden for karbonet i drivstoffet, men baserer seg fortsatt på forbrenning av hydrokarboner.

³ Faktisk maksimal belastning er begrenset av motorprodusent

SALTs undersøkelse [13] om strukturen til fiskeflåten i Flakstad viser fordeling av installert effekt for fartøy hjemmehørende i Flakstad som vist i Figur 9. Fra oversikten ser man at de fleste fartøyene i undersøkelsen har hjelpemotor, mens de mindre fartøyene (med mindre effekt på hovedmotor) kun kan produsere kraft fra hovedmotoren. Ingen av fartøyene i undersøkelsen har installert effekt over 750 kW og vil dermed ikke falle inn under registreringsplikt for NOx fondet, og således ikke være inkludert i oversikter basert på registerdata fra NOx fondet. Til sammenligning har kombinasjonstråleren vist i Figur 5 en installert motoreffekt på knappe 7000 kW med 2300 kW hjelpemotorer, sammenlignet med den 522 kW som største motorinstallasjon i Figur 9.



Figur 9: Installert effekt for hovedmotor og hjelpemotor for respondenter i hovedrapport fra SALT omgjort til kW.

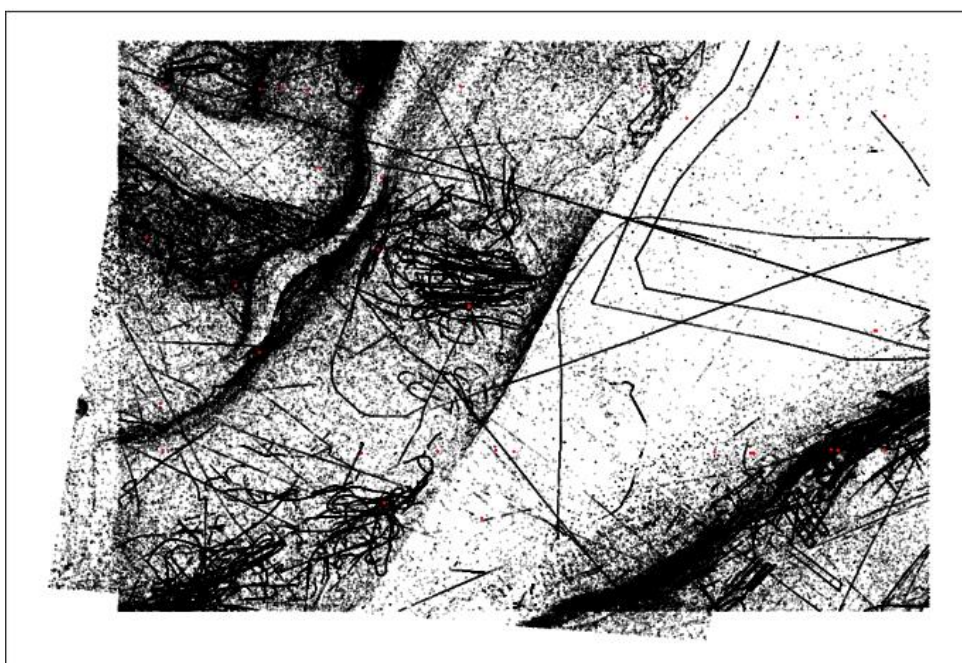
3.2 Metode og data

3.2.1 Målinger av fartøys aktivitet

Det er flere fremgangsmåter for å bestemme aktiviteten til fartøy, og forskjellige fremgangsmåter har forskjellige styrker og svakheter. Den hyppigst brukte fremgangsmåten for å finne aktivitet, og estimere energibruk er fjernmåling ved hjelp av enten registre eller målesystemer som ikke krever deltagelse av fartøyene utover allerede etablerte systemer for kringkasting av navigasjonsdata.

Registerdata er hyppig brukt til studier av fiskeflåten der spesielt sluttsedler og statistikk fra refusjonsordningen for drivstoffavgifter gjør det enkelt å koble landet fangs, fartøystørrelse og drivstoff [10, 9]. Slike studier gir for fiskerier gode tall på flåtenivå for energiinnsatsen som kreves for å lande fangsten, gjerne fordelt på arter, men når tallene sammenlignes med enkeltfartøy vil man fort finne at driftsmønsteret til de enkelte fartøyene i flåten ikke nødvendigvis samsvarer med gjennomsnittet.

Fjernmåling ved hjelp av AIS⁴ som kringkaster identitet, posisjon fart og kurs for alle fartøy utstyrt med AIS sender er en annen hyppig anvendt metode. Så lenge man er innenfor VHF rekkevidde kan man overvåke posisjon og hastighet for fartøy. Systemet er brukt til å overvåke energi og utslipp fra handelsskip i rutefart hvor driften er transport fra havn til havn i jevn hastighet. Dette har gitt gode resultater for å beregne utslippstettheten i havområder, men siden man mangler informasjon om motorenes faktiske belastning må man bruke modeller basert på fartøyets fart, størrelse og registrert motorstørrelse for å estimere fremdriftseffekt. For fiskefartøy vil resultatet av en slik fjernmåling bli påvirket av fartøyets valg av redskap og driftsmønster, fra AIS systemets synsvinkel er det ingen forskjell på tauing av trål i 2-4 knop og sakte gange under venting i garnfiske. Data fra AIS som viser fiskefartøy over et kalenderår er vist i Figur 10 hvor man i et utsnitt fra nordvestlig Atlanterhavet ser posisjonsrapportering fra fiskefartøy, på bildet kan man skimte hvordan både bunntopografi og territorialgrenser påvirker driftsmønsteret til fiskeflåten i området.



Figur 10: Eksempel på fjernmåling av posisjoner fra fiskefartøy ved hjelp av AIS. Hvert datapunkt inneholder posisjon, fart og kurs for hvert fartøy med AIS sender. Data innhentet med AIS mottager på seltelitt for å omgå rekkevidden på VHF sendere.

Ombordmålinger er den mest detaljerte, men også variable fremgangsmåten for innhenting av fartøysdata. Ombordmålinger krever installasjon av utstyr om bord i fartøy, men kan gi tilgang til posisjons og hastighetsdata som samtidig kan kombineres med målinger og maskinelt avlest informasjon fra fartøyets systemer slik som motorers effekt, lokal måling av værforhold, detaljerte bevegelsesdata, fordeling av effekt mellom fartøyets forbrukere som fremdrift, sidepropeller og dekksutstyr. Ombordmålinger er forbundet med risiko i form av tilgjengelighet på signaler for avlesning, feil på utstyr og muligheten til å påvirke fartøyets systemer.

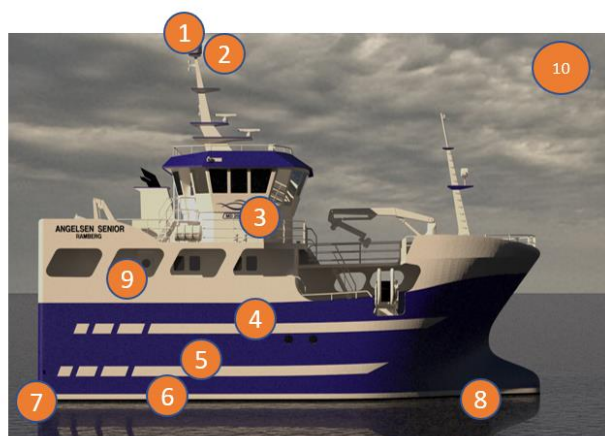
⁴ Automatic Identification System (AIS) er et system for skip designet for å støtte radarnavigasjon ved at fartøy kringkaster sin egen identitet, GPS posisjon, hastighet og kurs relativt hyppig (hvert 2s – 30 min avhengig av fart). Egentlig brukt til «flygeledertjenester» og støtte radar ved å vise fartøy i radarskygge og motvirke «Target swap» på sporingsradar, men brukes nå i stor grad til å overvåke historisk skipstrafikk.



Figur 11: Eksempel på tilkoblingspunkt for GPS og kursdata ombord på havfiskefartøy

Det er fordelaktig med et minimalt antall tilkoblingspunkter, i praksis vil dette innebære tilkobling til dataoverføringer mellom eksisterende navigasjonssystemer for å lese av posisjon, kurs og hastighet samt tilkobling til fartøyets motorkontrollsystem eller integrerte automasjonssystem. En installasjon som leser av slike signaler, kan høste data over lang tid uten å påvirke fartøyets drift.

Det ble satt ombord datamaskiner for målinger og fjernstyring på 4 fartøy. Det ble koblet opp mot fartøyenes databusser for navigasjonsdata og dette ble logget, men tilkobling til de separate motorkontrollsystemene var mer problematisk. Motordata ble kun tilgjengelig fra et fartøy og utstyret på det ene fartøyet måtte fjernes etter jordingsfeil på datamaskinen installert for avlesning av data. Et nybygd batterihybrid fartøy ble deretter inkludert i prosjektet og data ble hentet ut kontinuerlig fra det integrerte automasjonssystemet. Automasjonssystemet leser av data hvert sekund og data ble hentet til land for videre behandling. De viktigste målepunktene om bord på fartøyet er oppsummert i Figur 12.



1. GPS Posisjon
2. GPS Fart
3. EMS – modus
4. uGrid – effekt om bord
5. Effekt og ladegrad på batterier
6. Effekt fra Generator 1/2
7. Effekt på Fremdriftsmotor 1/2
8. Effekt på Sidepropell
9. Effekt landstrøm
10. Elektronisk fangstdagbok

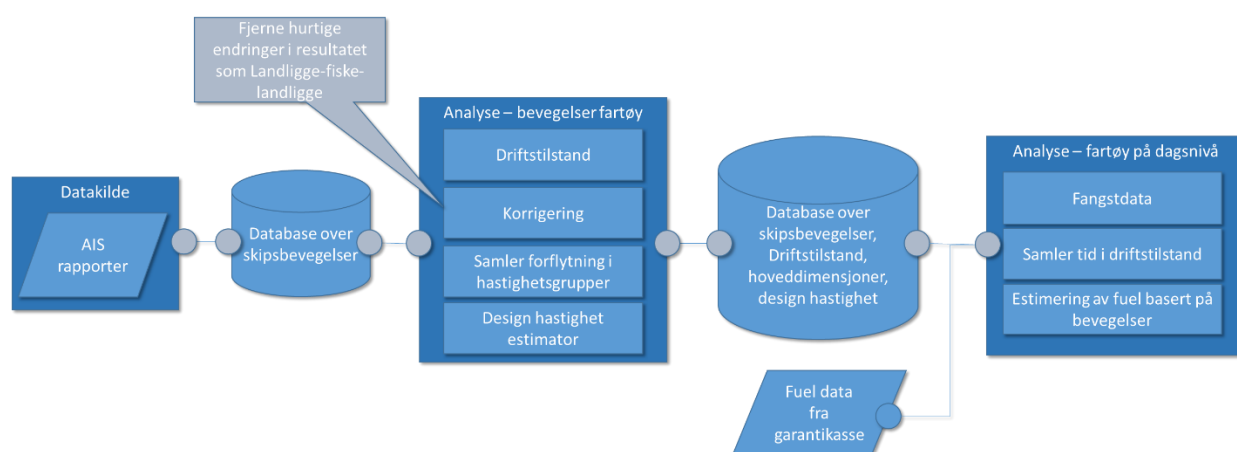
Figur 12: Målepunkter fra automasjonssystemet ombord på en 21m batterihybrid garnbåt fra Flakstad

Fra målepunktene kan man for dette fartøyet utlede en detaljert beskrivelse av fartøyets operasjonsmønster, bruk av energi og bruk av tid. Dataene som fartøyet samler beskriver fartøyets «operasjonsprofil», det vil si fordeling av tid mellom hastighetsområder, og hvor mye kraft fartøyet behøver for å driftes.

3.2.2 Analysemodell for kystflåten driftsmønster

Figur 13 viser en grafisk framstilling av modell for analyse av fjernmålinger og registerdata for fartøy. Fartøybevegelser løses ut fra AIS-rapporter og mates inn i en analysemodell som klassifiserer skipsbevegelser etter ulike parametere. Ulikheter i fartøys hastighet og bevegelsesmønster under forflytning og fiske, gjør at man med noenlunde nøyaktighet kan klassifisere disse som egne driftstilstander basert på AIS-data. Uten ytterligere informasjon om for eksempel bruk av dekksutstyr, sidepropell, osv., er det derimot langt mer utfordrende å skulle si noe mer detaljert om fartøyets aktiviteter på fiskefelt. Nøyaktigheten med AIS-data kan uansett ikke måle seg med full ombordlogging på fartøy.

Med informasjon om blant annet fangst, leveringssted og fiskefelt, eventuelt supplert med geografiske betingelser, kan analysemodellen løse ut overordnede driftstilstander for bestemte fiskerier som for eksempel blåveitefiske, hjemmefiske eller fiske i andre geografisk avgrensede områder. Når utgangspunktet er at analysemodellen løser ut tidsbruk under forflytning og fiske, kan man med slike overordnede driftstilstander undersøke forskjeller mellom ulike fiskerier og regioner. Man kan også undersøke driftsmønsteret til ulike lengdegrupper og ulike redskaper.



Figur 13: Modell for analyse av fjernmålinger og registerdata

I tillegg til fordeling av tidsbruk på driftstilstander, kan man med AIS-metoder også utlede estimer for fartøyers energibruk. I AIS-studier utledes energibruken om bord basert på tid- og posisjonsdata som et mål for fartøyenes hastighet, uten å ha informasjon om det faktiske motorpådraget (se eks. [14, 15, 16]). Det er derfor tilknyttet store usikkerheter ved slik metoder, spesielt for fartøy med varierende aktivitetsmønster. Med AIS-metoder kan motorpådraget (LF) estimeres fra ligning (1) [14].

$$LF = \frac{P}{MCR} = \left(\frac{V}{V_{MCR}} \right)^3 = f \left(\frac{V}{V_d} \right)^3 \quad (1)$$

Hvor P er fartøyets framdriftseffekt, MCR er installert effekt på framdriftsmotor, V er fartøyets målte hastighet og V_d er fartøyets designhastighet. Motorbelastningen (LF) angis altså som en prosent av fartøyenes installerte motoreffekt (% av MCR). Designhastigheten til større fartøy er typisk tilgjengelig i databaser, mens for mindre kystfartøy er ikke denne informasjon tilgjengelig. En tilnærming for å finne V_d , er å utlede denne fra AIS-dataene ved å vurdere maksimum hastighet målt over sammenhengende perioder på minst to timer [16]. Ifølge [14] er typiske verdier for f i litteraturen 0,8-1,0. Videre følger

estimering av energibruk (W) og drivstofforbruk (F) av ligning (2) og (3), hvor t er tid og SFC er motorens spesifikke drivstofforbruk.

$$W = LF * MCR * t \quad (2)$$

$$F = W * SFC \quad (3)$$

Denne framgangsmåten ser kun på energibruk til hovedmotor, mens fiskefartøy av en viss lengde typisk har en eller flere hjelpemotorer. For å estimere energibruk fra hjelpemotorer kreves ytterligere antagelser om motoreffekt og driftsmønster.

3.3 Resultater og diskusjon

Resultatene fra analyse av energibruk i flåteleddet er presentert i fire delkapitler. Kapittel 3.3.1 sammenstiller erfaringsbaserte beskrivelser av typiske driftsopplegg for kystfiskeflåten. Datagrunnlaget er fire fartøyeiere/kystfartøy hjemmehørende i Flakstad. Kapittel 3.3.2 tar utgangspunkt i registerdata (fangst, drivstofforbruk) og utleder gjennomsnittlige drivstoffkoeffisienter (l/kg fangst) for kystflåten i Flakstad. Kapittel 3.3.3 demonstrerer bruk av AIS-metode for estimering av drivstoffbruk i kystfiske og hvilke usikkerheter som hører med. Kapittel 3.3.4 studerer energi- og effektbehov om bord et 21 meter hybridfartøy basert på faktiske ombordmålinger.

3.3.1 Erfaringsbasert

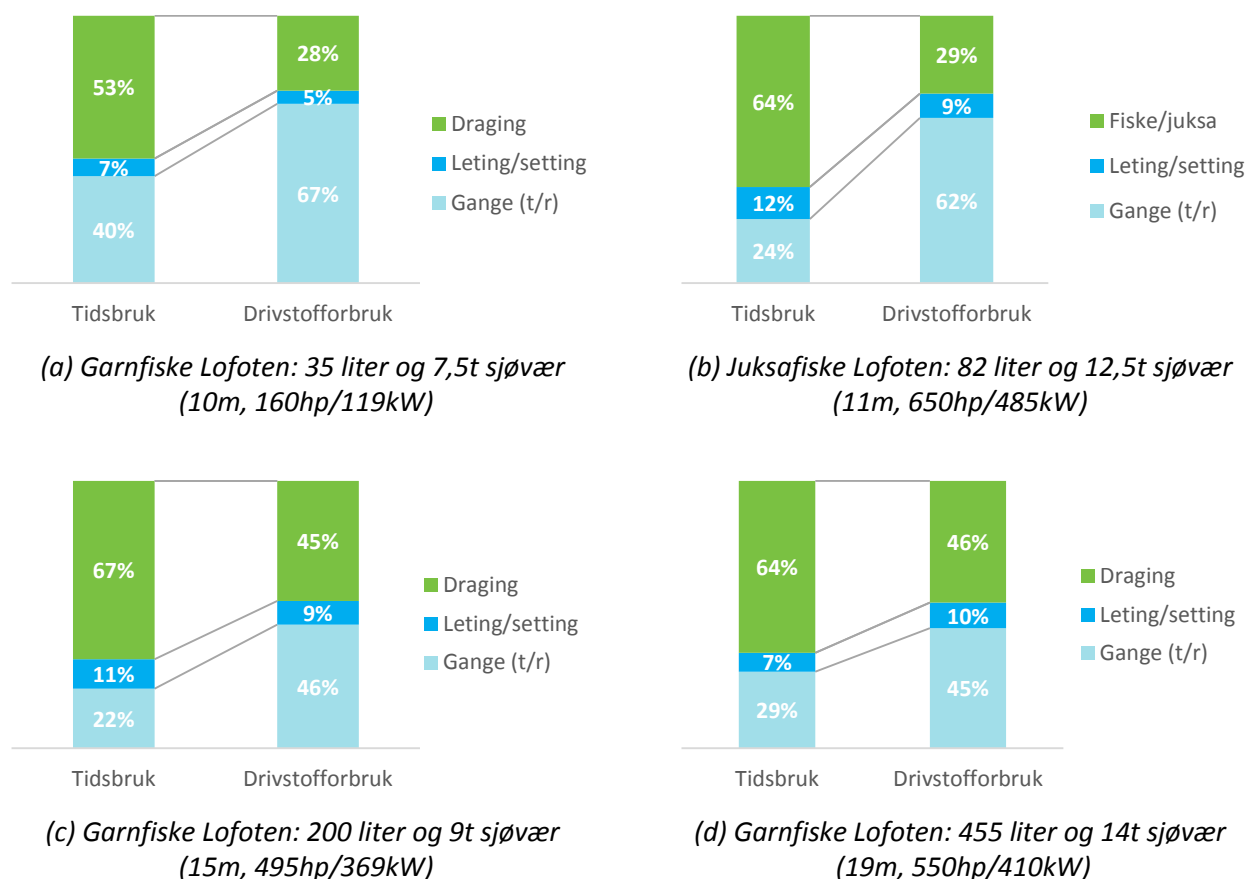
Resultatene som presenteres i dette delkapitlet er basert på erfaringsbaserte verdier fra fartøyeier, og ikke på faktiske ombordmålinger. Det innsamlede datagrunnlaget omfatter fartøyeiernes vurdering av typiske sjøvær med hensyn på hastighet (knop), medgått tid (time) og drivstofforbruk (liter per time) for ulike driftstilstander. Disse dataene er benyttet for å utlede sammenhenger mellom nevnte parametere og gjøre estimerer på fartøyenes samlede drivstofforbruk under typiske sjøvær i Lofoten, Finnmark og blåkkeitefiske. De aktuelle fartøyene drifter alle med passive og konvensjonelle redskap som garn, line og juksa, samt teiner.

Vinterfiske i Lofoten

Under vinterfiske i Lofoten har fartøyene relativt korte gangtider til fiskefelt (1-2t) og velger å returnere til land mellom setting (0,5-1t) og haling (6-9t) av redskap. Et første sjøvær vil omfatte gange til fiskefelt hvor redskap settes ut, før fartøyet returnerer til land og venter. Et påfølgende sjøvær starter derfor med gange til fiskefelt, før haling og nytt utsett av redskap. Redskapet blir igjen stående på fiskefelt, mens fartøyet returnerer til havn for levering (0,5-1t). Dette driftsmønsteret vil gjentas helt til fartøyet ikke har planlagt flere påfølgende sjøvær, og derfor tar med seg redskapet tilbake til land.

Figur 14 viser fordelingen av tids- og drivstoffbruk i driftstilstandene gange (tur/retur), setting og draging for fire kystfiskefartøy som drifter fra Lofoten. Ettersom sammensetningen og rekkefølgen av driftstilstandene under et sjøvær vil variere noe, representerer ikke fremstillingen i Figur 14 nødvendigvis ett enkeltstående sjøvær. Unntaket er juksafiske hvor fartøyet fisker aktivt under hele sjøværet og ikke har noe redskap stående på fiskefeltet over natten. De to lengste fartøyene på 15 og 19m, har begge to hjelpemotorer som kjøres mer eller mindre stabilt under hele sjøværet. Ettersom fartøyene bruker fra 1,5 til 3,5 ganger så lang tid på fiskeoperasjoner som gange til og fra fiskefelt, kan bruk av hjelpemotorer være med å forklare hvorfor de lengste fartøyene bruker en større andel av drivstofforbruket på fiskefeltoperasjoner sammenlignet med fartøyene uten hjelpemotor.

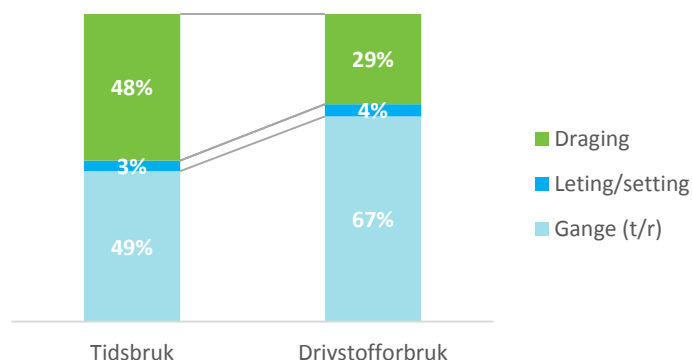
Det kan være misvisende å sammenligne fartøyenes drivstofforbruk uten å ta hensyn til andre faktorer, blant annet fangstvolum. Likevel ser vi at det er relativt store forskjeller i estimert drivstofforbruk mellom fartøyene, selv om de vurderte sjøværerne er sammenlignbare. Det estimeres drivstofforbruk på 35 liter for 7,5t sjøvær (Figur 14-a), 82 liter for 12,5t sjøvær (Figur 14-b), 220 liter for 9t sjøvær (Figur 14-c) og 455 liter for 14t sjøvær (Figur 14-d).



Figur 14 Andel tids- og drivstofforbruk i ulike driftstilstander for fire kystfiskefartøy under typiske sjøvær i Lofoten. Drivstofforbruket (liter) er estimert basert på informasjon fra fartøyeiere om medgått tid og drivstofforbruk (l/t) per driftstilstand.

Blåkveitefiske

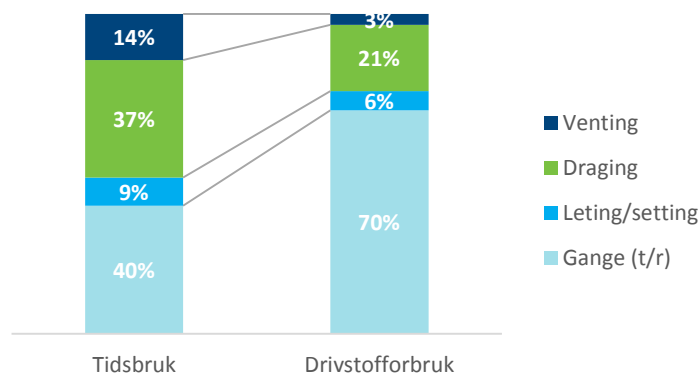
Figur 15 viser fordeling av tidsbruk og drivstofforbruk for et 19 meters kystfartøy under et typisk blåkveitefiske ved Tromsøflaket. Fiskefeltet er ca. 420 km fra hjemmehavn, og sjøværet varer omtrent fem dager. Sjøværet omfatter fire dragninger á 14 timer, og en total gangtid på omtrent 60 timer inkludert levering på Senja før gange til hjemmehavn i Lofoten. Som tidligere ser vi at det er betydelige forskjeller i hvor stor andel av tid og drivstofforbruk som medgår til de respektive driftstilstandene. Forskjellen fra hjemmefiske i Lofoten (Figur 14-d) er den store gangavstanden som øker både tids- og drivstofforbruk i gange. Her ser vi at det er omtrent 50 prosent av tiden som medgår til forflytning til og fra fiskefeltet, mens samme aktivitet representerer nesten 70 prosent av drivstofforbruket. Samlet for sjøværet estimeres et drivstofforbruk på ca. 4400 liter.



Figur 15 Andel tids- og drivstofforbruk i ulike driftstilstander for et 19m kystfiskefartøy (550hp/410kW) under blåveitefiske på Tromsøflaket. Drivstofforbruket (liter) er estimert basert på informasjon fra fartøyeier om medgått tid og drivstofforbruk (l/t) per driftstilstand.

Finnmark

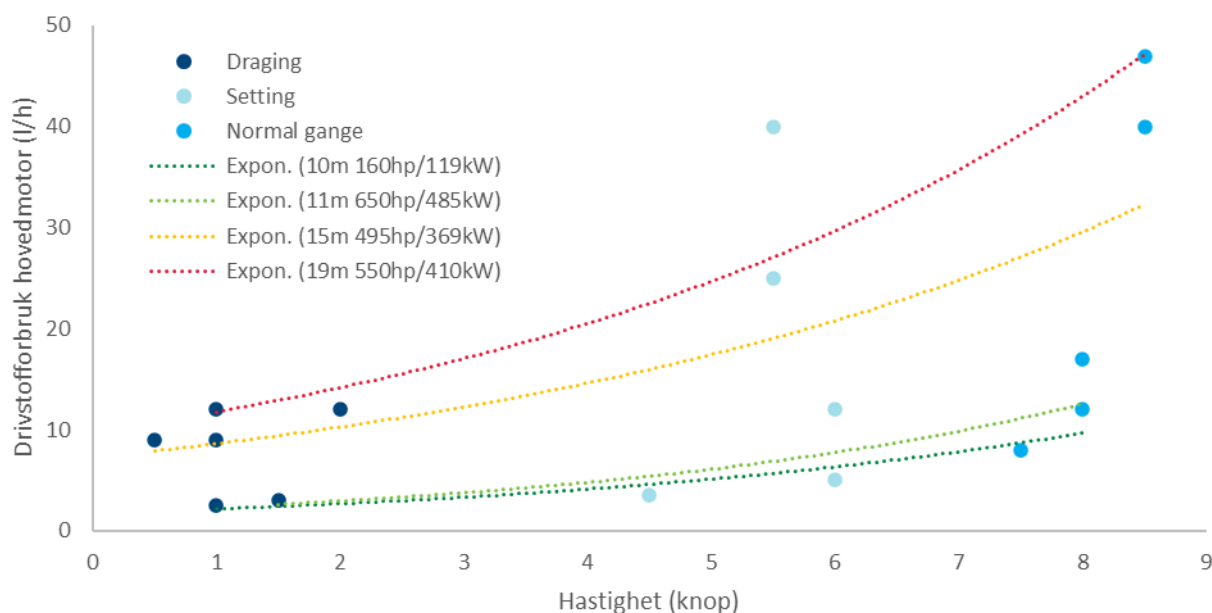
Figur 16 viser fordeling av tidsbruk og drivstofforbruk for et 15 meters kystfartøy under et typisk sjøvær i Finnmark. Fiskefeltet er ca. 85 mil fra land, og sjøværet varer omtrent 2 dager: 8-10 timer gange hver vei, 4 timer setting, 7 timer venting og 15-18 timer draging. Figuren viser at det er 40 prosent av tiden som medgår til forflytning til og fra fiskefeltet, mens samme aktivitet representerer 70 prosent av drivstofforbruket. Samlet for sjøværet estimeres et drivstofforbruk på ca. 1300 liter.



Figur 16 Andel tids- og drivstofforbruk i ulike driftstilstander for et 15m kystfiskefartøy (495hp/369kW) under et typisk sjøvær på Finnmarkfiske. Drivstofforbruket (liter) er estimert basert på informasjon fra fartøyeier om medgått tid og drivstofforbruk (l/t) per driftstilstand.

Hastighet- og drivstoffprofil

Figur 17 sammenstiller data for hastighet og drivstofforbruk under driftstilstandene setting, normal gange og draging. Vi ser at det er relativt liten variasjon mellom fartøyenes hastighet under setting (4,5-6,0 knop), draging (0,5-2,0 knop) og normal gange (7,5-8,5 knop), mens variasjon i drivstofforbruk for de samme driftstilstandene setting (3,5-40,0 l/h), draging (2,5-12,0) og normal gange (8,0-47,0) er større.



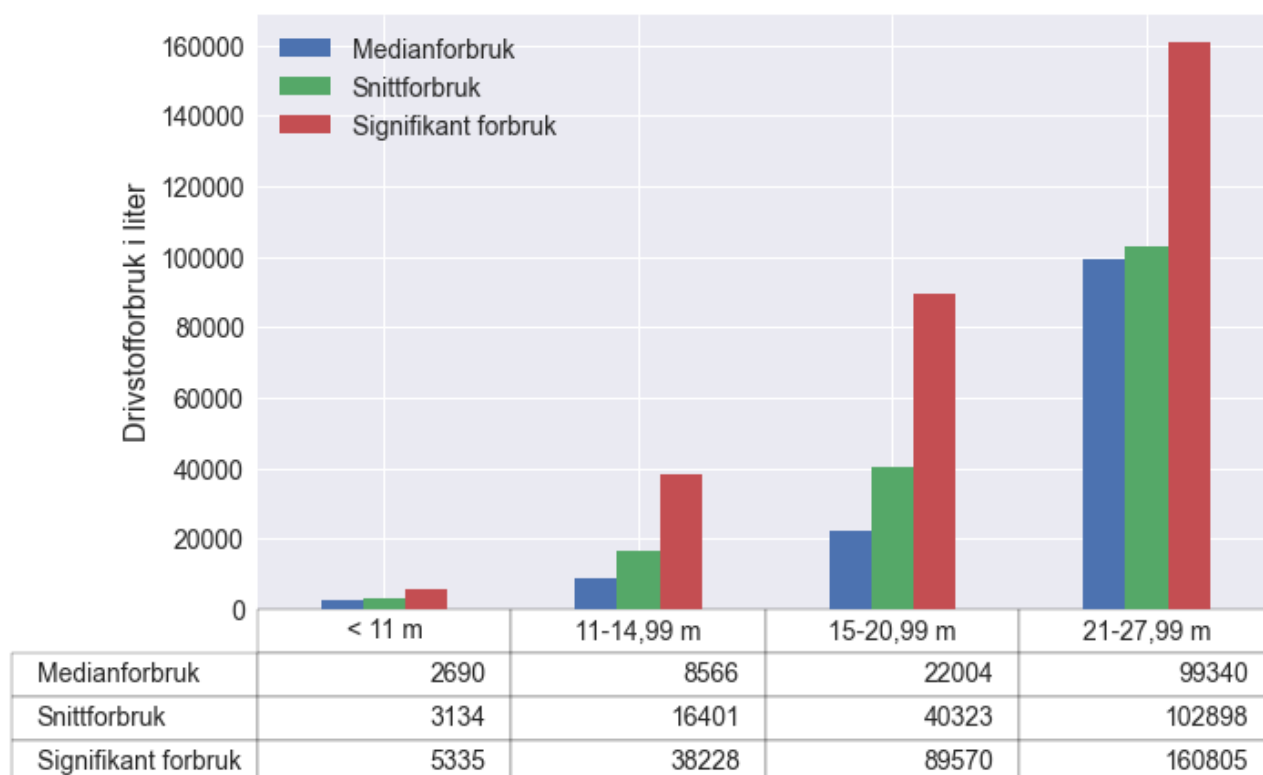
Figur 17 Viser sammenheng mellom hastighet og drivstofforbruk på hovedmotor for ulike driftstilstander. De stiplede linjene er trendlinjer for hver av enkeltfartøyene.

De prikkete linjene i Figur 17 er eksponentielle trendlinjer som representerer hver av de fire enkeltfartøyene (fartøylengde og hovedmotor angitt i parentes). Selv om hastighetene fartøyene opererer i er omtrent de samme, er drivstofforbruket tydelig større for større fartøy. I tillegg til størrelsen på fartøyet, har også sjøforhold, omdreiningshastighet og redskapsbruk betydning for fartøyet drivstofforbruk. Her oppgir et av fartøyene et drivstofforbruk fra 25-40 l/h avhengig av strømforholdene under setting, mens et av de mindre fartøyene sier drivstoffbruket varierer fra 8-12 l/h avhengig av om motoren kjøres på 1600 eller 1800 RPM.

3.3.2 Registerdata

Fiskere kan få refundert mineraloljeavgiften som belastes ved kjøp av diesel og marine gassoljer til fiskerfartøy. Dette er en ordning som administreres av Garantikassen for fiskere. På forespørsel har Garantikassen tilgjengeliggjort en oversikt over Flakstad-registrerte fartøys drivstofforbruk i 2018, 2019 og 2020, som fiskerne har rapportert til Garantikassen i forbindelse med refusjonssøknaden.

Figur 18 viser drivstofforbruket til Flakstad-registrerte fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen i 2020, fordelt på lengdegrupper. Det signifikante forbruket tilsvarer det gjennomsnittlige forbruket til de mest aktive fartøyene, herunder den tredjedelen av fartøyene med høyest drivstofforbruk. Ettersom ikke alle fartøy har omsøkt refusjon for mineraloljeavgiften, representerer ikke tallene fra Garantikassen summen av drivstofforbruket til Flakstad-flåten. Dataene kan likevel brukes for å utlede såkalte drivstoffkoeffisienter og gjøre estimer for flåtens samlede drivstofforbruk og CO₂-utslipp. Dette adresseres i de påfølgende avsnittene og er også oppsummert i vedlegg A.

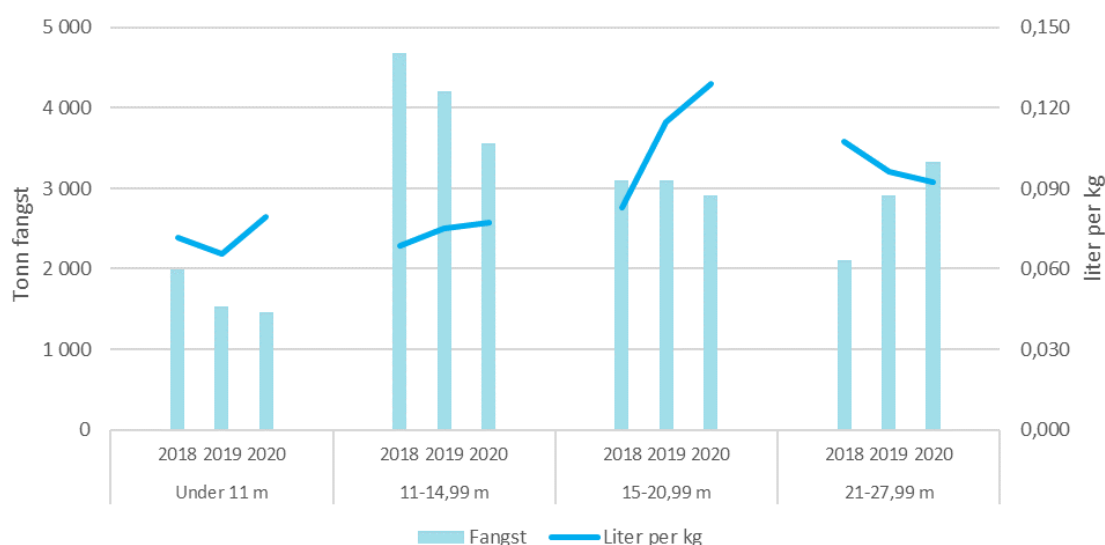


Figur 18 Viser median-, gjennomsnittlig- og signifikant drivstofforbruk for Flakstad-flåten, fordelt på lengdegruppe. Data for Flakstad-registrerte fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen i 2020.

Drivstoffkoeffisienter brukes for å si noe om hvor effektivt fiskefartøy opererer, og angis typisk i enten kg eller liter drivstoff per kg fangst. Koeffisientene vises ofte som et gjennomsnitt for større fartøygrupper (Tabell 3), men vil kunne variere betydelig på fartøynivå. Variasjoner kan skyldes flere årsaker, og det er heller ikke mulig å forklare disse uten kunnskap om hvilke forhold som gjelder for enkeltfartøy. På generelt grunnlag kan man likevel si at gangtid til fiskefelt og tilgjengelighet på fangst er viktige forhold som påvirker fartøyenes drivstofforbruk, samt at fiskerne selv også kan påvirke dette gjennom måten fartøyene opereres på. Mer overordnet vil også reguleringer og bestandsforvaltning kunne påvirke fiskeflåten drivstofforbruk.

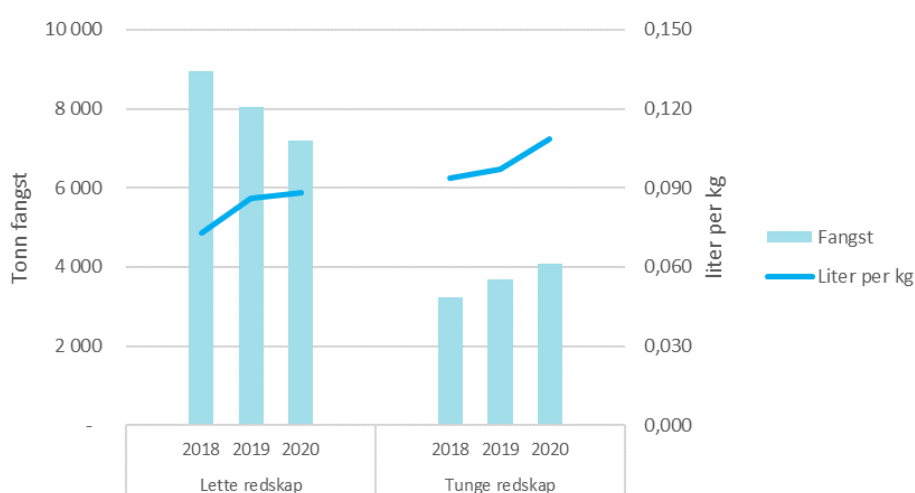
I Figur 19 har vi utledet gjennomsnittlige drivstoffkoeffisienter for Flakstad-fartøy for perioden 2018-2020, fordelt på lengdegruppe. Vi ser at drivstofforbruket per kg fangst er økende for alle lengdegruppene i perioden 2018-2020, med unntak av fartøyene over 21 meter som også har et klart økende fangstvolum i samme periode. For alle år er det fartøyene under 15 meter som i gjennomsnitt driver mest drivstoffeffektivt fiske. Lengdegruppen 15-20,99m har også en markant økende drivstoffkoeffisient, til tross for et relativt stabilt fangstvolum. Vedlegg A oppsummerer utledede drivstoffkoeffisienter for helårene 2018, 2019 og 2020.

Sammenlignet med gjennomsnittlige drivstoffeffektiviteter rapportert i litteraturen (Tabell 3), ser vi at Flakstad-fartøyene har noe lavere forbruk. Blant annet fant [10] drivstoffbrukskoeffisienter for konvensjonelle redskap på 0,126 og 0,134 l/kg for henholdsvis fartøy under 15m og fartøy mellom 15-20,9m. Dette ser vi er en del høyere for fartøy under 15 meter og omtrent på samme nivå for 15-20,99m, sammenlignet med våre tall for Flakstad-fartøy.



Figur 19 Fangst og gjennomsnittlig drivstoffkoeffisient fordelt på lengdegruppe 2018-2020. Data for Flakstad-registrerte fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen for fiskere.

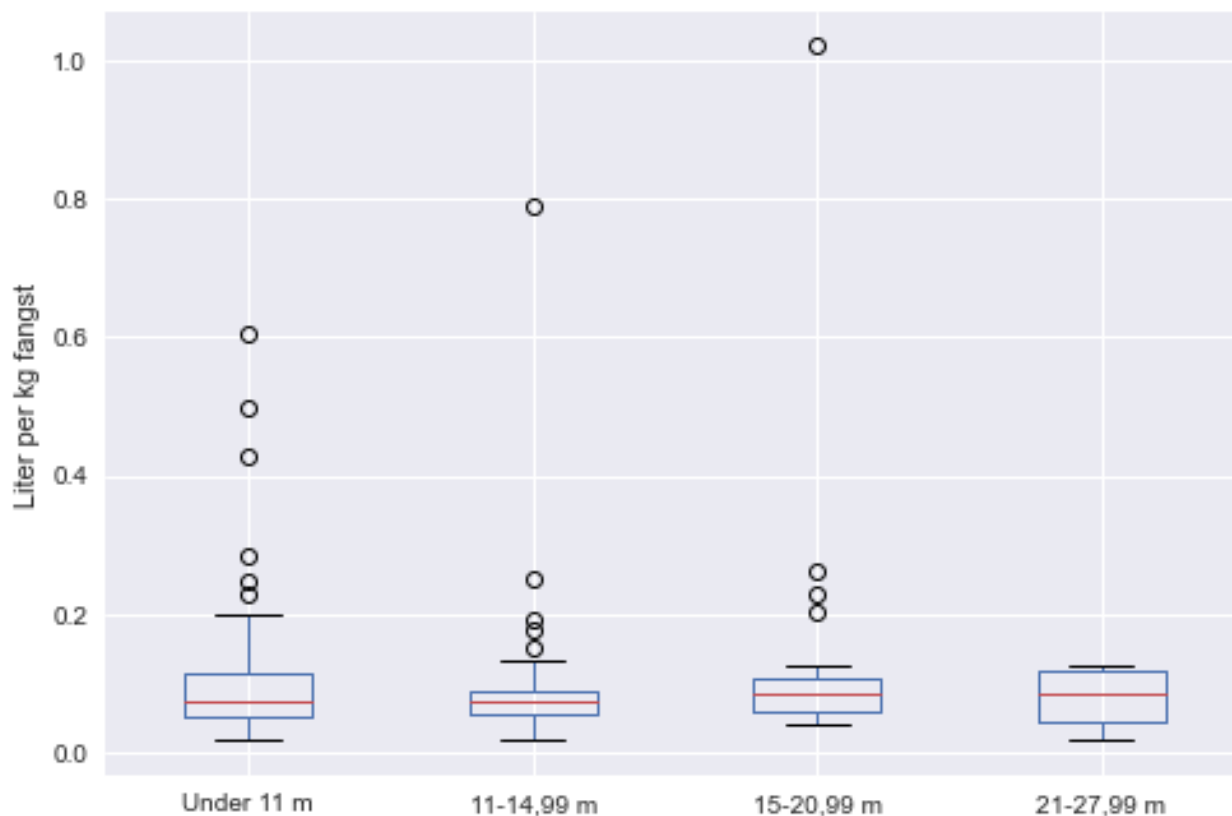
I Figur 20 er fartøyenes gjennomsnittlige drivstoffkoeffisient fordelt på lette og tunge redskap. Med tunge redskap menes autoline, snurrevad og andre notredskap, mens lette redskap representerer garn, line, juksa og teiner. Fartøy som fisker med flere redskap i løpet av et år, har blitt kategorisert etter hvilket redskap de har fangstet mest med. Vi ser at de lette redskapene i gjennomsnitt er noe mer effektive enn tunge redskap, samt at drivstofforbruket per kg fangst er økende for begge redskapskategoriene i perioden 2018-2020.



Figur 20 Fangst og drivstoffkoeffisient fordelt på lette og tunge redskap 2018-2020. Data for Flakstad-registrerte fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen for fiskere.

De gjennomsnittlige drivstoffkoeffisientene vi har sett til nå er utledet basert på summen av lengdegruppenes drivstofforbruk og fangst, og sier derfor lite om spredningen i dataene på fartøynivå.

Variasjon mellom enkeltfartøy er i Figur 21 illustrert gjennom et boksplot basert på drivstoffkoeffisienter for enkeltfartøy i 2018, 2019 og 2020. Datagrunnlaget består av totalt 200 observasjoner, fordelt på lengdegruppene under 11m (113 observasjoner), 11-14,99m (52 observasjoner), 15-20,99m (25 observasjoner) og 21-27,99m (10 observasjoner). Med observasjon menes fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen, og siden datagrunnlaget går over tre år, vil ett og samme fartøy kunne representere inntil flere observasjoner i dataene.



Figur 21 Box-plot over enkeltfartøys drivstoffkoeffisienter, fordelt på lengdegruppe. Rød linje representerer medianverdi og rammen/boksen viser de midterste 50 % av verdiene, kjent som interkvartilområdet. Utstikkerne sier noe om spredningen i dataen og tilsvarer min/maks-verdier, inntil 1,5 ganger interkvartilområde. Alle observasjoner som ligger utenfor dette intervallet, er markert med sirkler. Data for Flakstad-registrerte fartøy med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen for fiskere.

Tabell 4 oppsummerer utledede drivstoffkoeffisienter for Flakstad-flåten, estimert med utgangspunkt i enkeltfartøys drivstoffkoeffisienter (fartøynivå) og estimert basert på lengdegruppens samlede fangst og drivstofforbruk (flåtenivå). Her ser vi at til tross for at fartøy over 21m har høyest median, har de det laveste gjennomsnittet av lengdegruppene. Det høyere gjennomsnittet til de andre lengdegruppene kommer sannsynligvis av flere høye ekstremverdier i dataene, synlig som sirkler i Figur 21. En årsak til at mindre fartøy har større variasjon i drivstoffkoeffisient, kan være at de jevnt over har lavere aktivitetsnivå enn større fartøy. Med det menes at et i utgangspunktet lavt aktivitetsnivå vil medføre at alt av ikke-fiskerirelatert aktivitet får relativt større betydning.

Tabell 4 Utledele drivstoffkoeffisienter per lengdegruppe, estimert på to måter: fartøynivå er median/gjennomsnitt av alle enkeltfartøys drivstoffkoeffisienter, mens flåtenivå er utledet fra lengdegruppens totale fangst og drivstofforbruk.

Lengdegruppe	Fartøynivå (median)	Fartøynivå (gjennomsnitt)	Flåtenivå (gjennomsnitt)
Under 11m	0,074	0,095	0,072
11-14,99m	0,072	0,090	0,073
15-20,99m	0,086	0,132	0,108
21-27,99m	0,089	0,083	0,098

Tabell 4 viser at de to beregningsmetodene kan gi relativt ulike resultater. Det vil være fornuftig å ta utgangspunkt i flåtenivå dersom man ønsker å gjøre overordnede betraktninger for en lengdegruppe, et avgrenset geografisk område, eller lignende. Fartøynivå bør i stedet brukes dersom man er mest interessert i å undersøke forbruket til et typisk fartøy. For å forstå årsakene bak variasjonene mellom fartøy, kreves som nevnt kunnskap om hvordan enkeltfartøyene drifter.

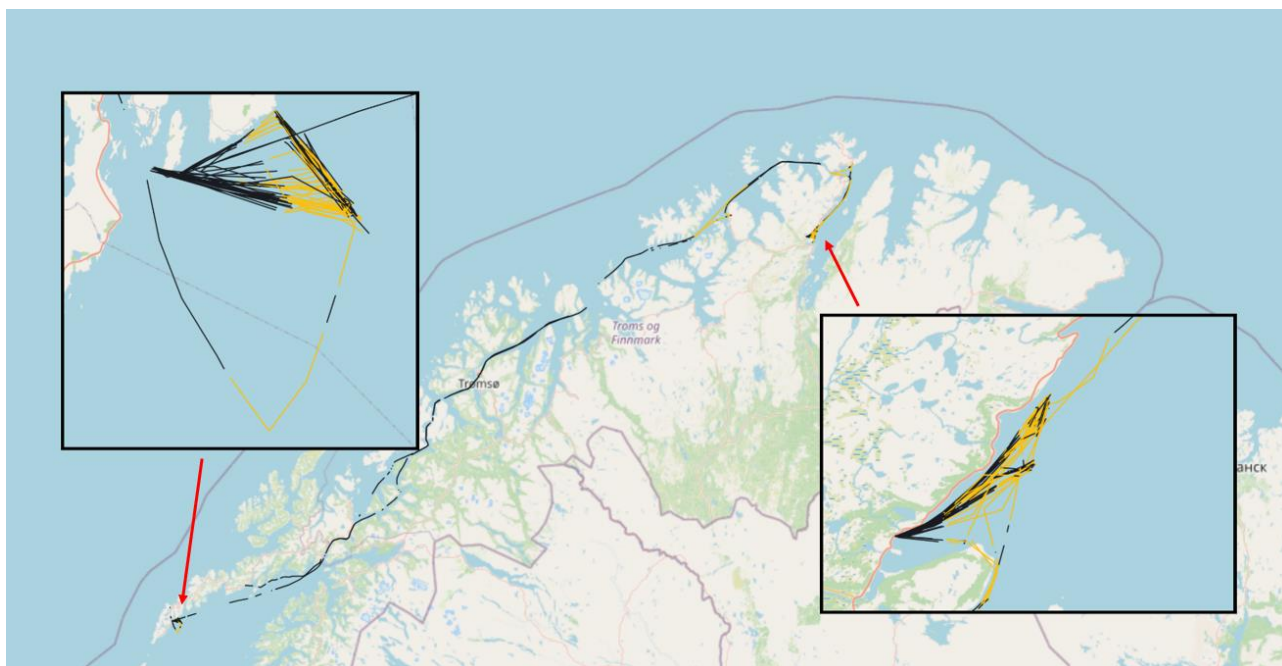
Et spesifikt klimagassutslipp (kg CO₂/kg fangst) kan utledes fra drivstoffkoeffisienter (l/kg) ved å multiplisere med en utslippsfaktor på 2,66 kg CO₂ per liter drivstoff. Med kunnskap om Flakstad-flåtens fangstvolum, kan vi videre gjøre estimater for flåtens samlede CO₂-utslipp fra forbrenning av drivstoff. Basert på gjennomsnittlige drivstoffkoeffisienter (vedlegg A), estimeres årlige CO₂-utslipp fra Flakstad-flåten til 2780 tonn CO₂ i 2018, 2920 tonn CO₂ i 2019 og 3150 tonn CO₂ i 2020. Det estimeres altså et økende CO₂-utslipp fra 2018-2020, til tross for et synkende fangstvolum i samme periode.

3.3.3 AIS-metode

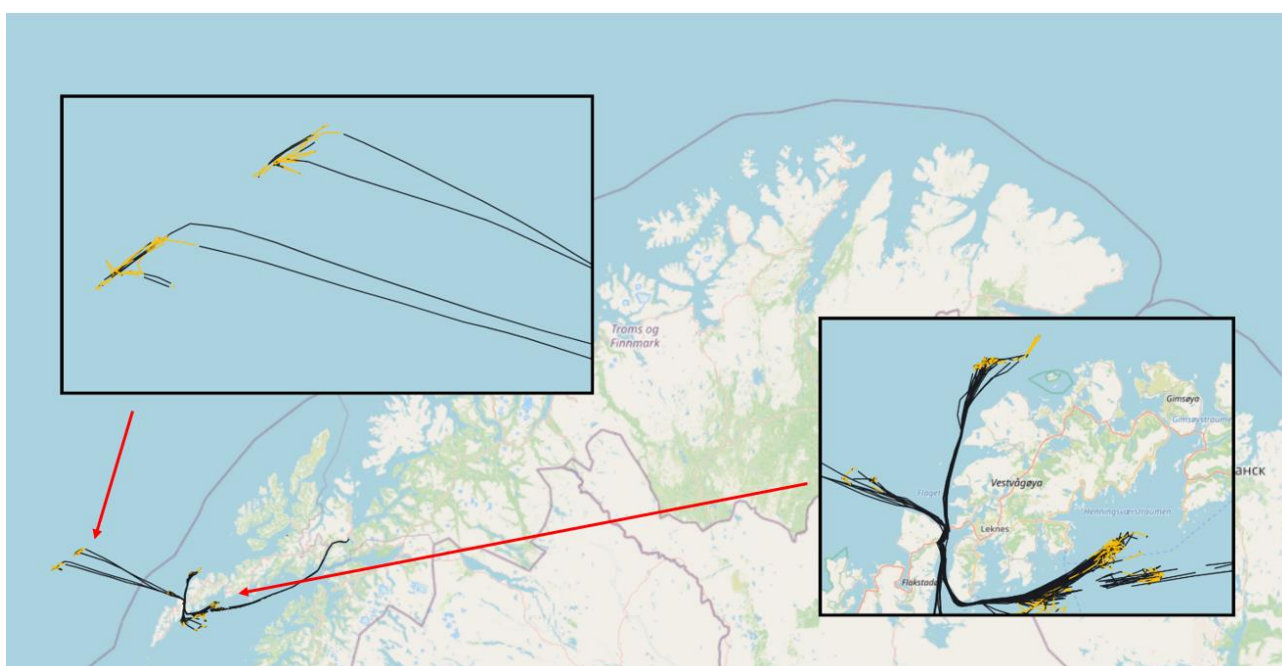
Det er utviklet en analysemodell for kystflåtens driftsmønster (kapittel 3.2.2) som klassifiserer hvilken driftstilstand fartøyene opererer i (gange eller fiske). Her ser vi i de påfølgende figurene (Figur 22, Figur 23, Figur 24 og Figur 25) bevegelsesmønsteret til fire kystfiskefartøy hjemmehørende i Flakstad basert på AIS-målinger mottatt fra Kystverket.

I figurene ser vi at AIS-målingene stort sett gir gode og sammenhengende målinger når fartøyene opererer nærme land. Når fartøyene derimot befinner seg lengre til havs får vi relativt dårlige signaler og måldataene blir oppstykket. Dette er spesielt synlig i Figur 24 og Figur 25, når fartøyene drifter utenfor finnmarkskysten.

Figur 22 representerer et 10m kystfartøy som primært driver hjemmefiske i Lofoten, i tillegg til et årlig kongekrabbefiske i Finnmark. Fartøyet deltar normalt også i blåveitefiske, men fra figuren ser vi at dette ikke var tilfellet for den aktuelle perioden. Figur 23 viser et 11 meter kystfartøy som kun driver hjemmefiske i Lofoten, hvis vi ser at fartøyet veksler mellom fiske på innersiden og yttersiden av Lofoten. Fartøyet har også hatt to turer på blåveitefiske i den aktuelle perioden.

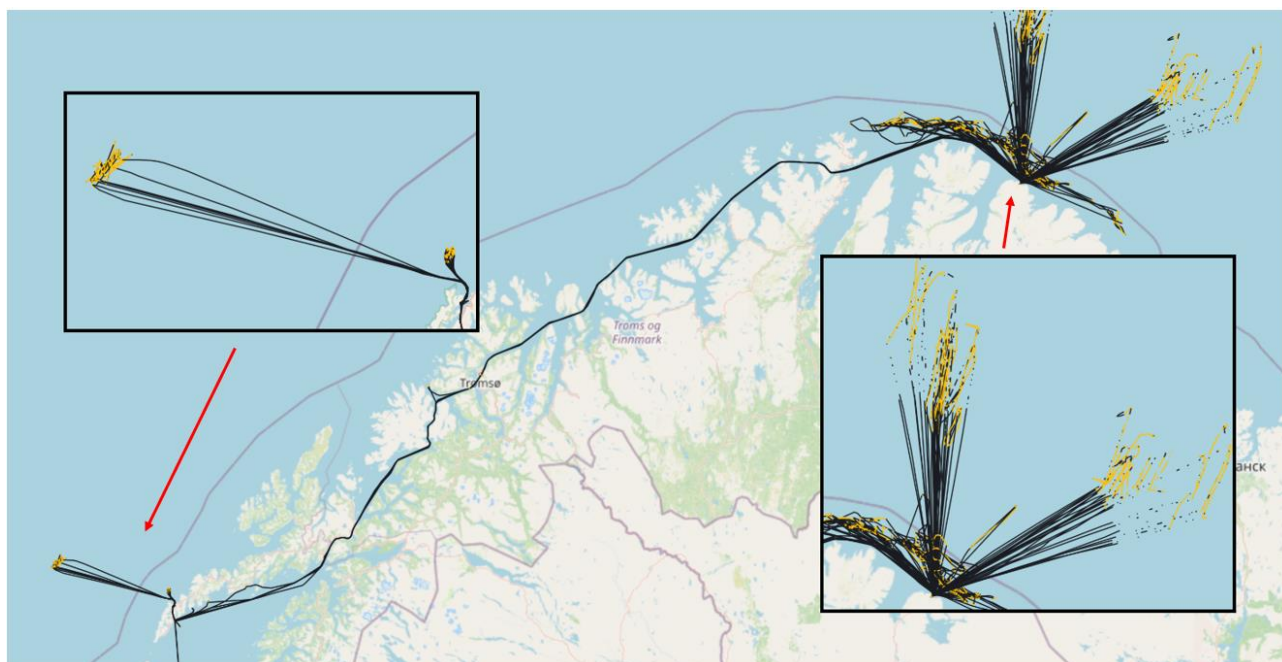


Figur 22 Viser fiskeriaktiviteten til et 10m kystfartøy utledet fra AIS-data. Klassifiseringen av fiske (gult) og gange (svart) er basert på fartøyets hastighet og bevegelsesmønster.



Figur 23 Viser fiskeriaktiviteten til et 11m kystfartøy utledet fra AIS-data. Klassifiseringen av fiske (gult) og gange (svart) er basert på fartøyets hastighet og bevegelsesmønster.

Figur 24 representerer et 15m kystfartøy med betydelig fiskeaktivitet over året. Store deler av fisket foregår fra Finnmarkskysten, men fartøyet fisker også fra Lofoten og deltar i blåkkefiske. Det er tydelig at distansen til fiskefelt er betydelig større ved Finnmarkfiske enn ved hjemmefiske i Lofoten.



Figur 24 Viser fiskeriaktiviteten til et 15m kystfartøy utledet fra AIS-data. Klassifiseringen av fiske (gult) og gange (svart) er basert på fartøyets hastighet og bevegelsesmønster.

Figur 25 viser et 19m kystfartøy med noe tilsvarende fiskeaktivitet gjennom året. Fartøyet fisker også fra Lofoten hvor de veksler mellom fiske på innersiden og yttersiden. Blåkkeveitefiske foregår på Tromsøflaket med levering på Senja før retur tilbake til Lofoten.



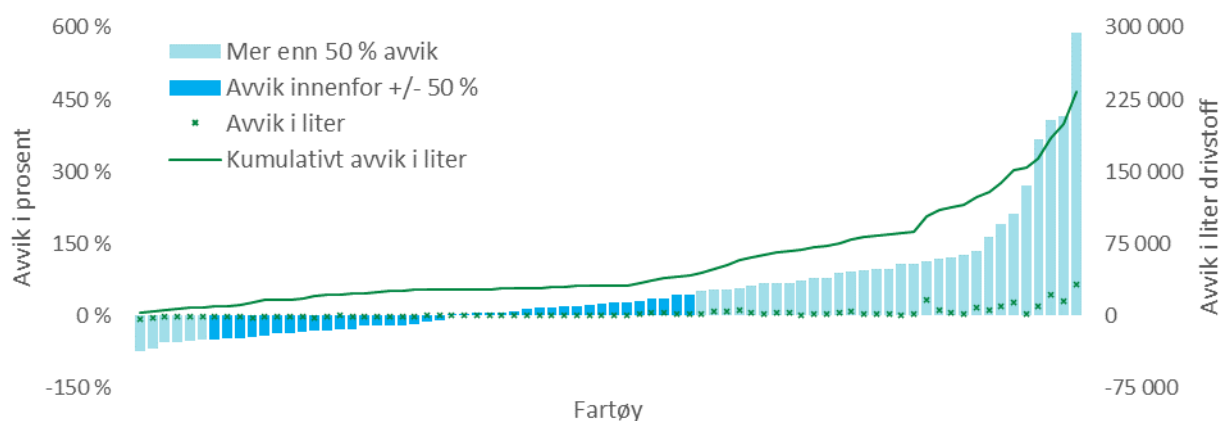
Figur 25 Viser fiskeriaktiviteten til et 19m kystfartøy utledet fra AIS-data. Klassifiseringen av fiske (gult) og gange (svart) er basert på fartøyets hastighet og bevegelsesmønster.

Som beskrevet i kapittel 3.2.2 finnes det metoder for å estimere fartøys energibruk fra AIS-data. En begrensning ved bruk av AIS-data for å måle energibruk om bord fiskefartøy, er derimot at man ikke vet nøyaktig hva fartøyet til enhver tid gjør. Selv om et fiskefartøy holder lav hastighet kan den faktiske aktiviteten om bord kreve større energibruk, for eksempel dersom fartøyet driver trålfiske eller bruker energi for prosessering og pakking av fisk [17]. Med kun AIS-data kan det som tidligere nevnt derfor være utfordrende med å skille mellom tauing av tyngre redskap i lav hastighet og venting på fiskefelt under garnfiske.

Den mindre kystfiskeflåten i Flakstad har derimot begrenset bruk av tyngre redskap (Figur 2), noe man kan tenke seg at bidrar til å gjøre AIS-metoder mer anvendbare for denne fartøygruppen. Likevel har fiskefartøy på generelt grunnlag et varierende og lite ensartet driftsmønster sammenlignet med for eksempel frakteskip som holder jevn hastighet over lengre distanser. Derfor er AIS-metoder også mest utbredt innen shipping hvor fartøyene har langt mer stabil aktivitet.

For å demonstrere bruken av AIS-metoder i kystfiskeflåten, er det kjørt en estimering av drivstofforbruket til Flakstad-registrerte fartøy under 11 meter med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen. Det er kun sett på fartøy under 11 meter da disse normalt sett ikke har hjelpemotorer. Estimering av drivstofforbruk fra hjelpemotorer vil kreve ytterligere antagelser om både motorstørrelse og motorenes driftsregime.

Figur 26 viser estimert avvik i forhold til drivstofforbruket fartøyene har rapportert til Garantikassen. Vi ser at det estimeres betydelige avvik varierende fra -75 % til nesten +600 %, samtidig som estimatene for omtrent halvparten av observasjonene ligger innenfor +/- 50 %. Det ses ingen sammenheng mellom fartøyetys aktivitet (målt i drivstofforbruk) og størrelsen på estimert avvik. Med andre ord estimeres det store avvik både for mindre aktive (lavere drivstofforbruk) og aktive (høyere drivstofforbruk) fartøy.



Figur 26 Viser avvik mellom estimert drivstofforbruk med AIS-metode sammenlignet med fartøyenes innrapporterte drivstofforbruk til Garantikassen 2018, 2019 og 2020. Fartøy under 11 meter.

Det estimeres et kumulativt avvik (grønn linje, Figur 26) på 232 m³ for samtlige observasjoner, fordelt på 2018 (74 m³), 2019 (91 m³) og 2020 (67 m³). Ettersom det kumulative avviket er beregnet som summen av absolutte avvik, vil de negative avvikene gjøre at differansen mellom estimert og faktisk forbruk er noe mindre (177 m³ mot 232 m³, se Tabell 5). Generelt ser vi at modellen har en tendens til å overestimere, heller enn å underestimere drivstofforbruket.

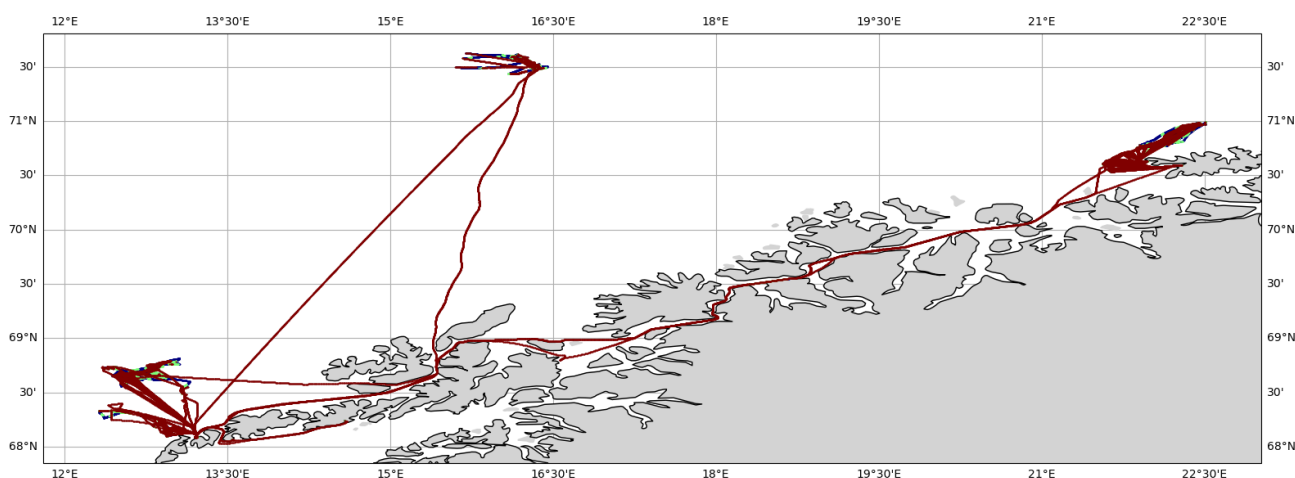
Tabell 5 Resultater fra estimering av fartøys drivstofforbruk basert på AIS-data for Flakstad-registrerte fartøy under 11 meter med innrapportert drivstofforbruk til Garantikassen.

Parameter	Enhet	Verdi	Kommentar
Drivstofforbruk			
Faktisk	Liter	270.122	Garantikassen 2018-2020
Estimert	Liter	447.681	AIS-data fartøy
Avvik fra Garantikassen			
Avvik	Liter	177.559	Estimert forbruk minus faktisk forbruk
	%	65 %	
Absolutt avvik	Liter	232.472	Absolutt sum av negative og positive avvik
	%	86 %	
Gjennomsnittlig avvik på fartøynivå			
Absolutt avvik	Liter	3.059	
	%	78 %	

Resultatene indikerer at det er utfordrende å gi gode estimater på energibruk i kystfiske basert på AIS-metoder. Men kan treffe relativt godt i enkelte tilfeller, men samtidig få svært store avvik for andre fartøy. Parameterne i modellen kan sannsynligvis justeres for å gi gode resultater for enkeltfartøy, men det er utfordrende med en generisk modell som gir gode estimater for en hel flåte. Denne modellen er heller ikke i noen stor grad forsøkt optimalisert for de aktuelle fartøyene, og er ment som en illustrasjon av AIS-metoder for å estimere energibruk i kystfiske. I tillegg til nevnte usikkerheter knyttet til redskapsbruk og varierende driftsmønster, vil det være påvirkning fra vind, bølger og havstrømmer som heller ikke ivaretas av en slik modell.

3.3.4 Ombordmålinger

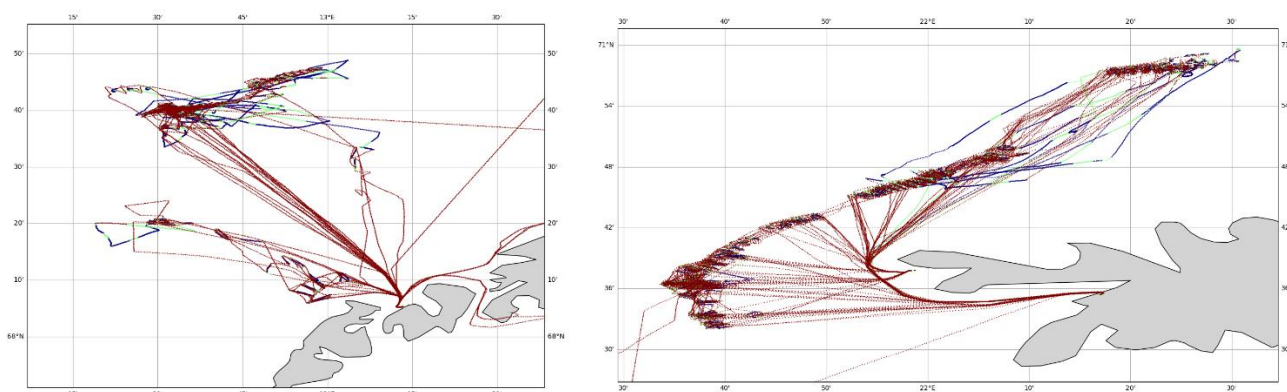
Det batterihybride fartøyet ble fulgt fra januar 2021, og fra posisjonsdataene kan man se at fartøyet driftes både fra Flakstad (Lofoten), på Blåkkeitefiske utenfor Andøya/Senka og fra Sørøya i Finnmark. Denne kombinasjonen av fiskerier er relativt vanlig for fartøyene fra Flakstad. Posisjonsrapporteringer er vist i Figur 27. I Figuren er hvert datapunkt tegnet med farge etter hvilken driftstilstand som er identifisert fra ombordmålingene.



Figur 27: Aksjonsområde for Angelsen Senior

I oversiktsbildet i Figur 27 er forflytning tydelig i rødt. Det er naturlig nok den tilstanden som dekker størst areal, men detaljene i forskjellige driftstilstander blir synlige når plottene viser typiske fiskefelt. Overgangen mellom gange og to driftstilstander på felt for de forskjellige fiskeriene kan sees på posisjonsrapporter vist i Figur 28. De blå og grønne punktene viser de to driftstilstandene under fiske. Disse to driftstilstandene kan sees i sammenheng med mannskapets beskrivelse av motorbruk på felt:

«Seilas til og fra feltet, setting av fiskeredskaper og seilas mellom fiskeredskaper på feltet i dieselelektrisk mode (DE-Mode). Når vi haler fiskeredskapene, sløyer fisk og hviler på fiskefeltet ligger vi i Batteri Mode (BM). Eneste unntaket er hvis det er veldig dårlig vær (fra liten storm og oppover), da velger vi DE-mode»



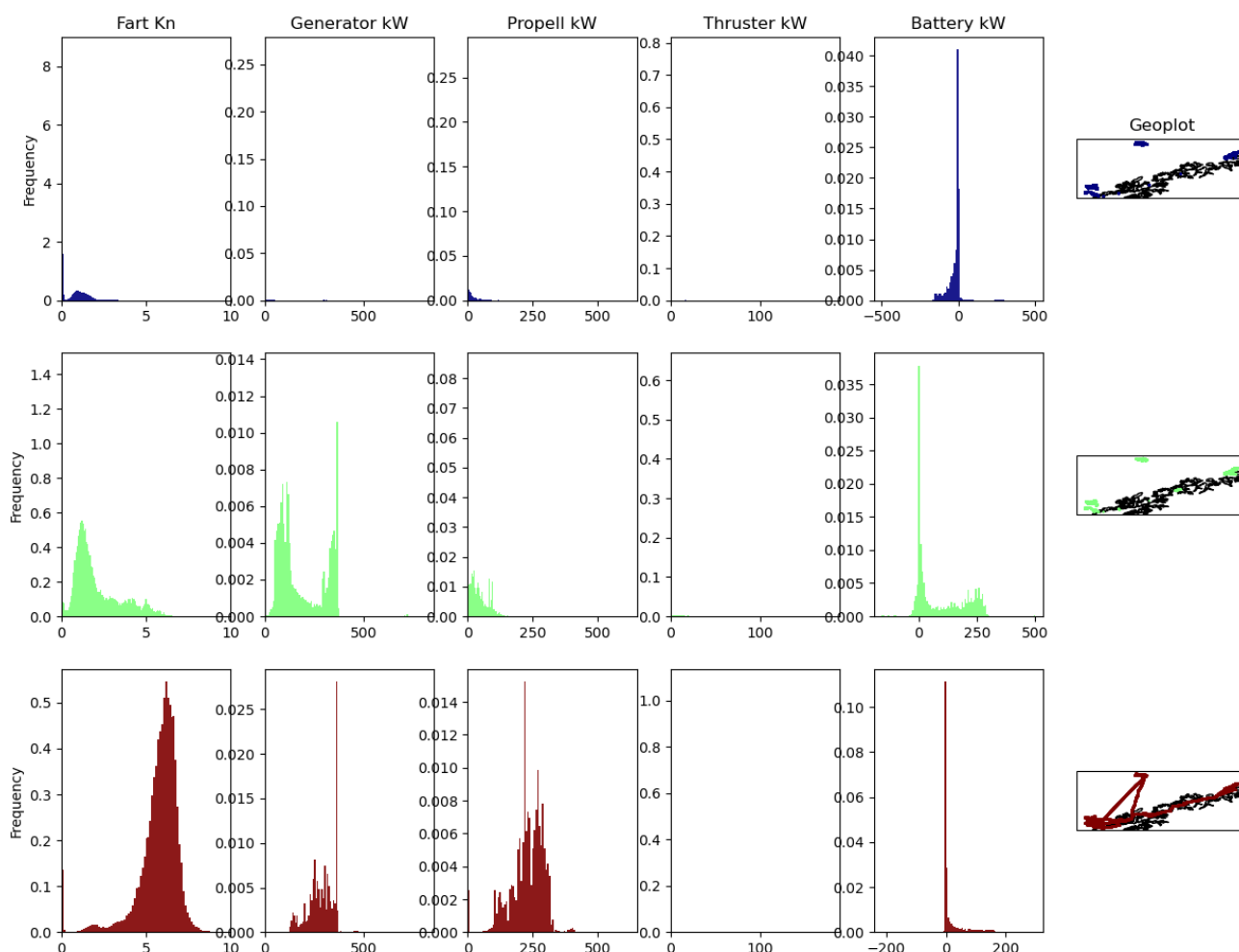
Figur 28: Detaljer rundt aksjonsområde for Lofoten (venstre) og Sørøya (høyre)

Hvert enkelt datapunkt i figurene over er bestemt til å tilhøre en av driftstilstandene basert på målingene som er gjort om bord. Når hvert målepunkt er knyttet til en driftstilstand kan man samle målepunktene for hver tilstand å utlede statistikk over energibruk, fart eller tid i tilstanden. Ved ombordmålingsprogrammer er det mulig å bestemme kraftbehovet og kraftproduksjonen til hvert målepunkt.

Datapunktene som er samlet inn er behandlet med en såkalt «Fuzzy Clustering» algoritme som samler data i forskjellige kategorier etter hvor «like» datapunktene er. Algoritmen jobber over flere dimensjoner, som gjør at den kan sammenligne kombinasjoner av fart, effektbruk til fremdrift, og effektproduksjon fra generatorer samtidig som den sammenligner bruk av sidepropell og lading/utlading av batteribanker. Fra dataene er alle målingene fra fartøyet klassifisert etter tre tilstander

1. På fiskefelt drevet med batteri
2. På fiskefelt drevet av generatorer og ladning av batterier
3. Gange drevet av generatorer

Det kan påpekes at de identifiserte tilstandene svarer til sitatet fra mannskapet om bruk av motor, selv om bare målepunktene har vært brukt til å definere tilstandene. Navngiving av tilstandene er gjort «for hånd» etter å ha undersøkt hvordan fordelingen av energibruk og fart i resultatet av klassifiseringen. Datapunktene med fordelinger av målingene er vist i Figur 29. Figuren viser også fordelingen av punktene i hver kategori sammen med hvor på kartet man finner punktene. Her ser vi at driftstilstand 1 (blå) og 2 (grønn) samsvarer godt med geoplots i Figur 29, hvor det er tydelig at fartøyet kun befinner seg på fiskefelt. Videre ser vi at det kun er i driftstilstand 3 (rød) at fartøyet befinner seg i gange mellom havner og fiskefelt.



Figur 29: Fordeling av målinger på tre indentifiserte driftsmoduser for Angelsen Senior

Når driftstilstander er klassifisert er hvert sekund i datasettet klassifisert som tilhørende til en av de tre driftstilstandene. Fra samlinger med datapunkter i driftstilstandene kan man beregne gjennomsnittlig verdi for alle variabler som måles om bord slik at man kan finne gjennomsnittlig effektbehov, samtidig kan man beregne tiden i hver tilstand ved å summere antall målinger.

I Tabell 6 ser man fordeling av effekt mellom fremdrift og sidepropell samtidig som fart og bruk av enten generator eller batteri til å forsyne skipet med strøm vises. Verdiene i Tabell 6 er fargelagt med søyler som viser hvor store størrelsene er i forhold til hverandre. Hver farge skal svare til en enhet slik at størrelsen på søylene svarer til tallets størrelse innenfor enheten, eksempelvis kW⁵. Merk at tabellen viser snittverdier for variablene, eksempelvis vil farten være basert på hastighetsmålinger over og under verdien som vises i tabellen. Fordelinger av verdier kan man se i Figur 29 der man kan se at snittet av hastigheten i gange befinner seg i tyngdepunktet av fordelingen vist nederst til venstre i figuren.

⁵ Negative verdier for kW er fargelagt rødt, og må ikke forveksles med fart i Knop.

Tabell 6 Fart, effekt og tidsforbruk i de tre identifiserte driftstilstandene. Verdiene er snittverdier for alle datapunkter i hver driftstilstand

Navn	Nr	Fart Knop	Generator kW	Propell kW	Thruster kW	Batteri kW	Timer
Fiskefelt m/batteri	0	0.46	3.73	5	0.2	-19	724
Fiskefelt m/generator	1	1.86	173	39	1.35	92	223
Gange	2	5.75	287	230	0.05	18	886

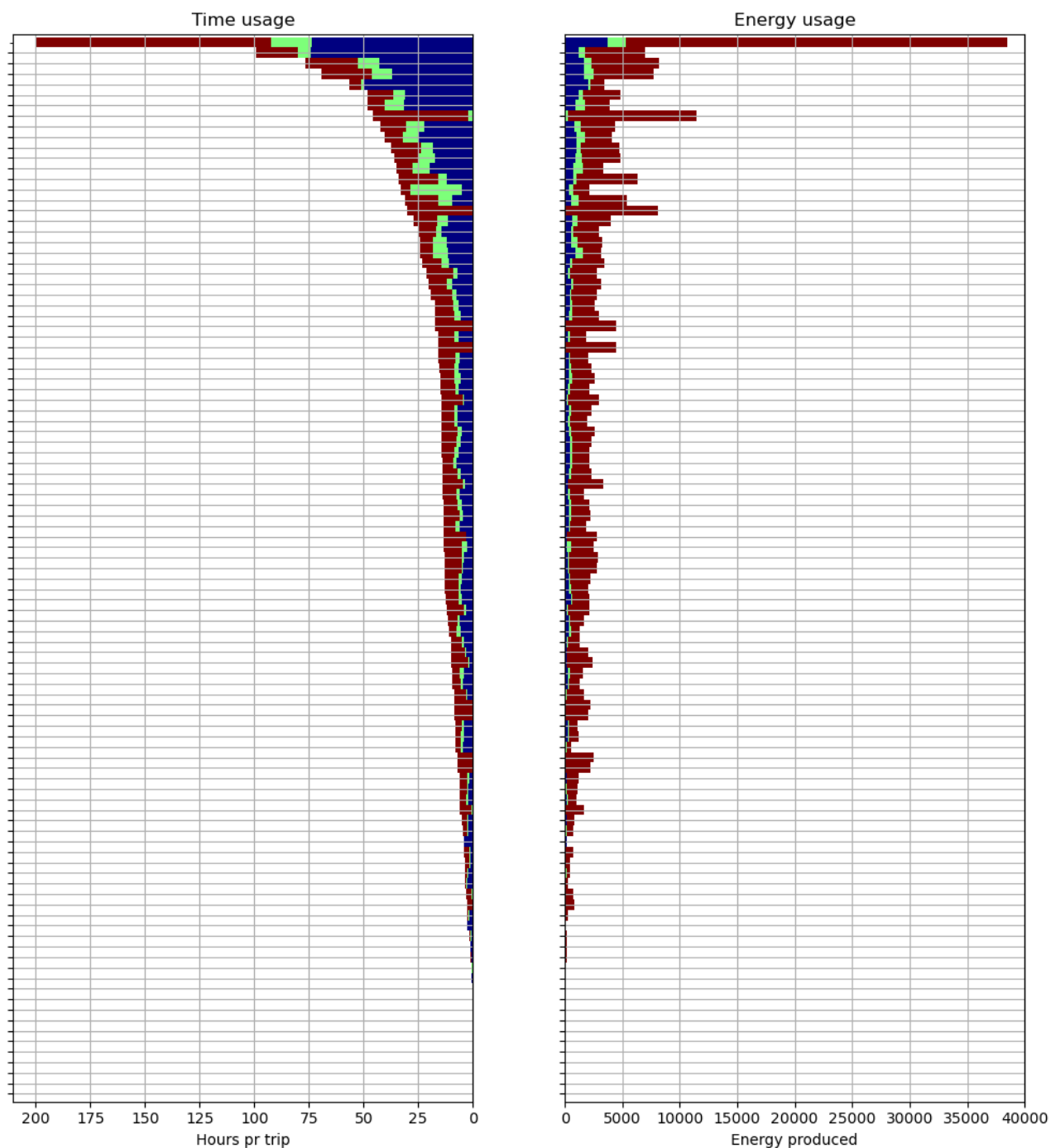
Fra effekter og timetallet kan man dermed regne ut energien som går med til de forskjellige driftsfasene til fartøyet. Fra timer og snitteffekt får man dermed ut kilowatt-timer forbrukt og tid på hver driftstilstand, Tabell 7.

Tabell 7 Energibruk i de tre forskjellige driftstilstandene. Tallene kommer ved å multiplisere snittet for effektbruken med antall timer i driftstilstanden. Total kWh er snitt effekt ganget med timer for batteri og generator summert

Navn	Nr	Timer	Generator kWh	Propell kWh	Thruster kWh	Batteri kWh	Total kWh
Fiskefelt m/batteri	0	724	2701	3620	145	-13756	16457
Fiskefelt m/generator	1	223	38579	8697	301	20516	59095
Gange	2	886	254282	203780	44	15948	270230

Tallene i Tabell 7 er beregnet fra alle datapunkter som er klassifisert, og det er mulig å finne mer detaljerte beskrivelser basert på ombordmålingene. Man kan for eksempel bruke målingene til å dele opp data etter sjøvær. Når man kjenner energi og tidsbruket til fartøyet kan man klassifisere hvert sjøvær basert på oppdeling av datasettet hvis man ser på periodene i målingene mellom hver havneligge. Dermed får man en sammenheng mellom energibruk og tidsbruk på hvert sjøvær som kan brytes ned på hver driftstilstand.

Dette er vist i Figur 30 hvor tiden brukt på fiske (blå og grønn) kan sammenlignes med energien brukt på samme driftstilstand. Det er tydelig at gange er den dominerende driftstilstanden med hensyn på energibruk, mens det meste av tiden medgår til fiske. Dette er resultater vi også kjenner igjen fra erfaringskartleggingen i kapittel 3.3.1. I figuren er hvert sjøvær (periode mellom havneanløp) sortert etter tid med lengst varighet øverst. Siden det måles mellom havneanløp inkluderer figuren også transitt mellom Flakstad og Finnmark, samt mindre forflytninger mellom havner uten at fisk landes.



Figur 30: Energi (kWh) og tidsbruksprofil (timer) fordelt på sjøvær. Hver stolpe svarer til ett sjøvær, fargene på stolpene svarer til driftstilstander. Tidsbruken for hvert sjøvær er vist på venstre side, mens energibruken er summert opp på høyre side.

4 Energibruk i mottaksleddet

4.1 Introduksjon

På fiskemottak i Norge er det normalt få eller ingen direkte utslipp av klimagasser. Det vil være unntak i form av fossildrevne kjøretøy som brukes i forbindelse med mottakenes internttransport, men det aller mest av maskiner og utstyr er typisk drevet med elektrisk energi. På et fiskemottak vil det dermed være flere kilder til energibruk. I hovedsak vil dette dreie seg om elektrisk energi til å drive maskiner og utstyr som for eksempel prosesslinjer der fisken foredles, samt prosesser som kjøling, oppvarming, tørking og isproduksjon. Det vil være forskjeller i energibruk mellom ulike fiskemottak, avhengig av blant annet hvilket utstyr som benyttes, hvilken grad av bearbeiding/prosessering som gjennomføres og hvilket fokus hver enkelt aktør har på optimalisering av egen energibruk. Erfaringer fra Danmark [18] viser at til tross for innføring av energitiltak, har ikke energibruken på fiskemottak blitt redusert, noe som forklares med økt foredlingsgrad internt hos mottakene, samt at det observeres en trend der mottakene investerer i større frysekapasitet.

Man ønsker gjerne å knytte energibruk opp mot en produksjon eller leveranse, og for fiskemottak vil det være naturlig å bruke indikatorer som energibruk per tonn råmateriale eller energibruk per tonn produkt. Sistnevnte vil ta hensyn til forskjeller mellom produktutbytte for ulike fiskeslag, og vil være et naturlig valg dersom studiens formål er å sammenligne ulike produkter. Dette er også vanlig i livsløpsanalyser der man ser på produkters klimaavtrykk, typisk angitt i kg CO₂-ekvivalenter per funksjonell enhet (eks. kg CO₂e per kg spisbart produkt). Hvis man i stedet ser mer isolert på energibruk på mottaksanlegg og hvor energieffektivt driften er, kan det være mer praktisk å bruke energibruk per tonn råmateriale som indikator.

I en studie fra 1999 [19] er det utledet estimater på spesifikt energibruk basert på data fra i hovedsak danske fiskemottak, men også noen afrikanske og amerikanske mottak. Studien angir energibruk per tonn råstoff for isproduksjon (10-12 kWh/tonn), innfrysing (50-70 kWh/tonn) og filetering (5 kWh/tonn), hvor utgangspunktet er at fiskemottakene benytter *gjennomsnittlig* teknologi. Studien ser videre på potensialer dersom fiskemottakene tar i bruk ulike tiltak for effektivisering av driften. I det optimaliserte scenarioet gis en mer detaljert oversikt per operasjon som inngår i prosessering av hvitfisk. I denne oversikten (gjengitt og systematisert av [20]), er det filetering (1,8 kWh/tonn), samt innfrysing og kaldlager (10-14 kWh/tonn) som er de mest energikrevende operasjonene. Totalt sett, inkludert øvrige operasjoner, oppgis et gjennomsnittlig energibehov for prosessering av hvitfisk på 20 kWh/tonn råstoff [20].

Winther m.fl. (2020) [5] oppgir derimot et energibruk for prosessering av hvitfisk på 363 kWh/tonn rundvekt og 107 kWh/tonn for lakselakteri som er mindre preget av sesongdrift. Dataene for hvitfiskanlegg er fra 10 norske fiskemottak i 2017, og tar utgangspunkt i mottakenes totale energibruk og mottatte rundvekt. Energibruken er ikke spesifisert på underliggende operasjoner, og siden det er snakk om mottakenes totale energibruk antar vi at tallet også inkluderer energibruk til lys, oppvarming og andre støttesystemer som ikke er direkte knyttet til prosesseringen. Ifølge samme studie er innfrysingsprosessen en neglisjerbar del av energibruken på fiskemottak, hvor heller kaldlagring/kjølerom før og etter prosesseringen bruker mest energi. Energibruk til å drive kjøle- og fryselager skal være tilnærmet lik. Fiskemottak som i hovedsak tar imot ferdig fryst fisk fra havflåten vil ha et lavere energibehov til innfrysing enn et tradisjonelt fiskemottak for kystflåten som leverer fangsten på kjøll. I tillegg til elektrisk energibruk, antar Winther m.fl. (2020) et dieselforbruk på 0,13 liter/tonn i forbindelse med prosessering av hvitfisk.

4.1.1 Fiskemottakene

Tre fiskemottak og ett fryseri har deltatt i dette dokumentasjonsprosjektet i Flakstad. Fiskemottakene er Napp Sjømat AS, Bjørn Gjertsen AS og JM Langaas AS, samt fryseriet Lofoten Fryseri AS som eies i sin helhet av JM Langaas AS. Nedenfor følger en beskrivelse av de ulike aktørenes verdikjeder.

J.M. Langaas AS og Lofoten Fryseri AS

J.M. Langaas AS er et av Lofotens eldste fiskemottak lokalisert ved Sund. Mottaket har moderne produksjonslokaler og har de siste årene investert betydelige beløp i fryseri, innfrysningstunell, sløyelinje og tørrfisklager. Selskapet har en verdikjede som omfatter produksjon av tørrfisk, ferskfisk og frossenfisk, samt en satsing på økt utnyttelse av restråstoff til humant konsum. Fiskemottaket har ikke filetmaskin, og selger fersk og frossenfisk som sløyd og hodekappet, med unntak av blåkveite som selges med hode. Materialflyten er illustrert i et Sankey-diagram (Figur 36) hvor tykkelsen på materialstrømmene indikerer en omtrentlig mengdefordeling.

Fiskemottakets årsprofil er preget av variasjoner i råstoffmottak der hovedinntaket ligger under vinterfiske, typisk fra mars til midten av april. I tillegg til mottak over kai, kjøpes det i denne perioden også inn fisk og biprodukter fra andre fiskemottak. Torsk utgjør den største andelen av råstoffgrunnlaget, men i januar-februar produseres også en del sei og senere i mai-juni og august-september foregår blåkveiteproduksjon.

Tørrfiskproduksjon er en viktig del av virksomheten til J.M. Langaas. Produksjon foregår ved at tørrfisken (torsk, sei) fra vinterfiske kjøres til hjell hvor den henger ute i ca. tre måneder før den tas inn og palletteres for ettertørking inne. Ettertørkingen tar typisk 5-6 uker og foregår fra august til midten av november. Tørrfisken selges etter hvert som den har blitt sortert, normalt fortløpende fra og med september måned. Markedet for tørrfisk er typisk i Italia hvor de vanner ut fisken og bruker den i ulike matretter. Produksjon av frossen fisk (torsk og blåkveite) er også en betydelig del av selskapets virksomhet. J.M. Langaas har nylig investert i et større fryseler som gir en fleksibilitet hvor fiskemottaket kan tilpasse seg etterspørselen i markedet og oppnå bedre pris. Markedet for frossen torsk er stort, og selges både internasjonalt og nasjonalt. Blåkveite selges hovedsakelig til det asiatiske markedet. I tillegg til torsk og blåkveite, fryser selskapet inn store mengder biprodukter for salg. J.M. Langaas AS satser på økt utnyttelse av biprodukter og har en intern utnyttelsesgrad på over 90 %, hvor i hovedsak lever og ensilasje sendes bort og håndteres av andre aktører. Selskapets ferskfiskproduksjon er relativt liten og omfatter i hovedsak sei og andre arter.

Napp sjømat AS

Napp Sjømat AS er et konvensjonelt fiskemottak lokalisert på Napp som sender mesteparten av volumet til produksjon av tørrfisk lokalt og saltfisk i Ålesund, i tillegg til noe salg av fersk fisk til restaurantbransjen. Fiskemottaket er utstyrt med egen sløyelinje og sorteringsgrader, samt kjøle- og lagringskapasitet. Napp Sjømat har også et serviceanlegg for fiskerne med egnebuer, lager og oppholdsrom. I tillegg har de noen hybler for sesongarbeiderne.

Bjørn Gjertsen AS

Bjørn Gjertsen AS er en fiskeribedrift som er lokalisert på Fredvang i Flakstad kommune. De tar imot rundt 2.000 tonn fisk årlig, mest torsk i vintersesongen, men anlegget har helårsdrift. Volumet går omtrent likt fordelt til tørrfiskproduksjon, filetering og salting/annet. Mottaket har sløyelinje, en mindre filetmaskin og ismaskin. Fiskemottaket har også et velferdsbygg for fiskere og leier lokaler i kaiområdet til egnebuer for fiskerne, samt kaiplass i havna for båter som leverer fangst.

4.2 Metode og data

4.2.1 Datakilder

Datakilder omfatter data for energibruk og råstoffmottak fra tre fiskemottak. Energidataene omfatter elektrisk energi fra selskapenes AMS-målere, samt bruk av fossile brenslere i forbindelse med internt transport som er mottatt direkte fra aktørene. Data om råstoffmottak omfatter sluttsetler fra Fiskeridirektoratet (kjøp over kai), samt informasjon fra fiskemottak om kjøp av råstoff fra andre mottak. I tillegg er det innhentet supplerende informasjon og beskrivelser om fiskemottakenes produksjon og verdikjeder.

4.2.2 Energi- og utslippsberegninger

For å vurdere klimaavtrykket fra elektrisk energibruk, anvendes CO₂-faktorer (kg CO₂ per kWh) for geografisk betingede elektrisitetssmikser. Elektrisitetssmiksen er geografisk betinget ettersom måten elektrisk kraft produseres på kan ha ulike CO₂-avtrykk. I Norge foregår det aller meste av den elektriske energiproduksjonen fra fornybare energikilder, mens det ute i Europa vil være større innslag av fossil energi som gir betydelige CO₂-utslipp. NVE [21] oppgir i den sammenheng CO₂-faktorer med og uten opprinnelsesgarantier til henholdsvis 20 gCO₂/kg og 402 gCO₂/kWh for 2020.

Prosjektet har mottatt årlig dieselforbruk til internt transport, herunder bruk av hjullastere i forbindelse med tørrfiskproduksjon. Energibruken fra dette er estimert basert på et energiinnhold på 10 kWh/liter diesel, og utslipp er beregnet med en utslippsfaktor på 2,66 kgCO₂/liter. Vi har ikke data på dieselforbruk i forbindelse med transport av råstoff fra andre fiskemottak, og har derfor gjort en tilnærming ved å bruke tilbakelagt transportdistanse (km), mengde råstoff transportert (tonn) og dieselforbruk på 0,020 liter per tonn*km [5]. Ettersom fiskemottaket kjøper råstoff fra andre mottak i varierende mengder og fra flere ulike leverandører, vil estimert CO₂-utslipp fra transport kunne variere mellom råstoff.

4.2.3 Allokering

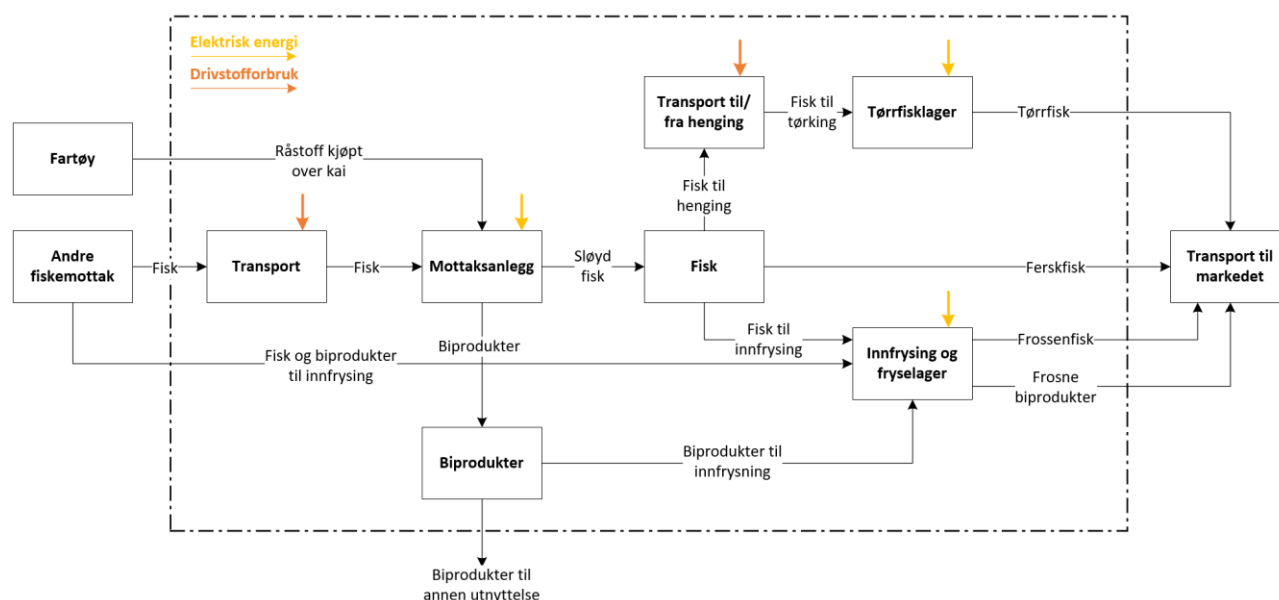
Biprodukter som oppstår under bearbeiding av sjømatprodukter kan utnyttes til forskjellige formål. Dersom slike biprodukter ikke har noen økonomisk verdi, vil de anses som avfall og tilskrives verken innsatsfaktorer eller konsekvenser (her: energibruk og CO₂-utslipp). I vårt tilfelle har alle biprodukter en økonomisk verdi og bør derfor ikke anses som avfall. Biproduktene har derimot svært varierende økonomisk verdi, og det er valgt å kun allokere energi og utslipp på biprodukter med mer høyverdig utnyttelse. Her er det antatt at 95 prosent av biprodukter fra egen produksjon (kai) utnyttes til slike formål, mens de resterende fem prosent ikke allokeres energibruk eller CO₂-utslipp.

Vi har valgt å allokere etter masse (kg) og benytter kg sløyd vekt som funksjonell enhet ved sammenligning av ulike sjømatprodukter. Det er valgt per kg sløydvekt ettersom vi ikke følger produktene til marked (Figur 31). Et alternativ til masseallokering kunne vært å allokere etter økonomisk verdi, ettersom enkelte biprodukter har lav økonomisk verdi sammenlignet med hovedproduktene. En utfordring med økonomisk allokering er derimot at produktenes økonomiske verdi vil variere fra år til år. I tillegg kan biproduktene ha større økonomisk betydning for den aktøren som tar imot og benytter biproduktene i en påfølgende verdikjede.

4.2.4 Avgrensning

Systemgrensen avgrenses til å omfatte fiskemottakets virksomhet, inkludert transport av råstoff fra andre fiskemottak. Dette er illustrert i Figur 31 hvor transport av produkter til markedet ligger utenfor

systemgrensen. Det samme gjelder for utnyttelse av biprodukter som ikke går til innfrysing. I analyse av produkters spesifikke energibruk, er det ikke vurdert hvorvidt produkter har ulik oppholdstid på kjøll/fryselager.



Figur 31 Systemgrense som også spesifiserer de vurderte kildene til energibruk og klimagassutslipp

Analysen er videre begrenset til å omfatte energibruk på og i tilknytning til fiskemottaket, herunder anleggenes elektriske energibruk samt dieselforbruk fra internt transport, angitt med henholdsvis gule og oransje piler i Figur 31.

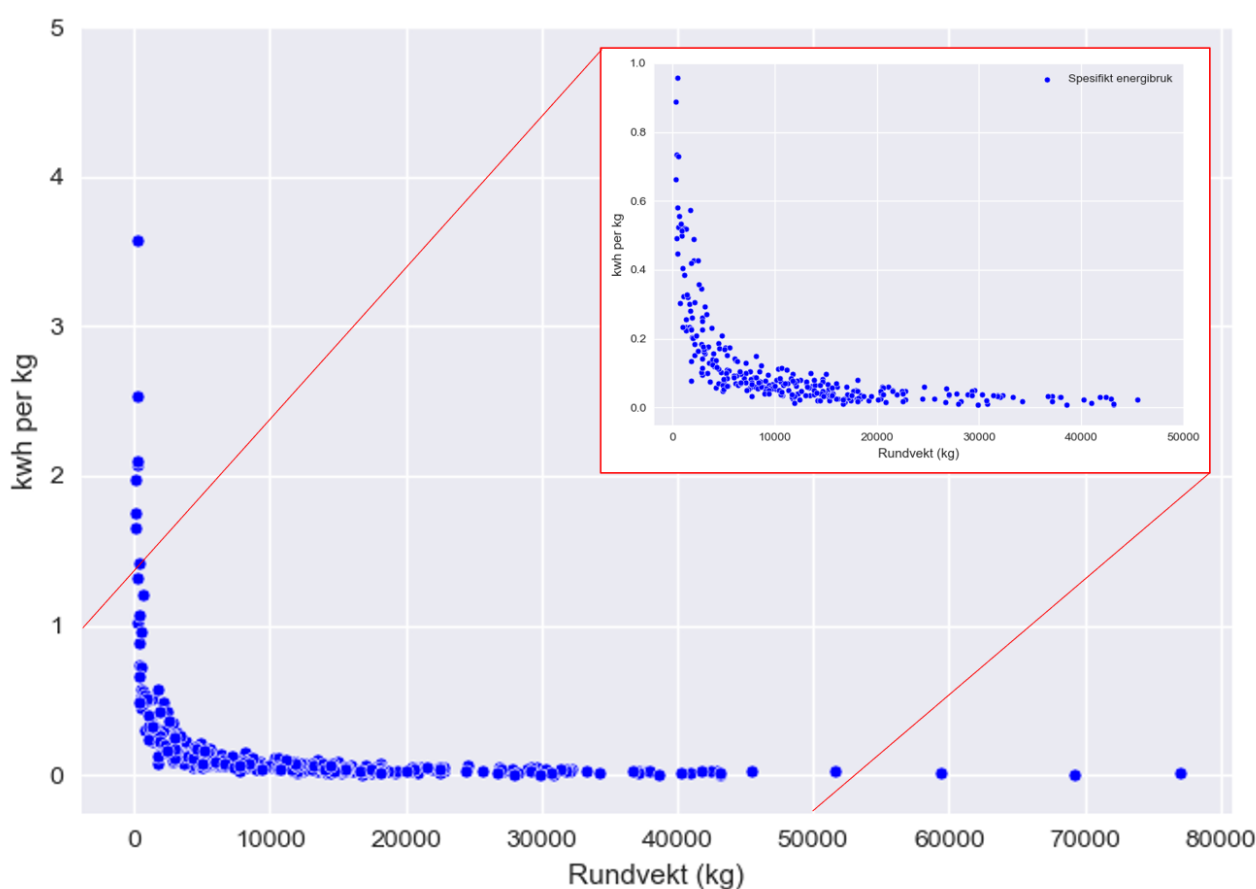
4.3 Resultater og diskusjon

Resultatene fra analyse av energibruk i mottaksleddet er presentert i fire delkapitler. Kapittel 4.3.1 ser på energibruk på mottaksanlegg og hvor mange kWh som medgår per tonn rundvekt. Datagrunnlaget er tre mottaksanleggs råstoffmottak og elektriske energibruk over tre år. Kapittel 4.3.2 tar utgangspunkt i verdikjeden til ett av selskapene og ser på energibruken over året for ulike produksjonsledd, herunder mottaksanlegg, innfrysing/fryselager og tørrfisklager. Kapittel 4.3.3 studerer spesifikt energibruk for produksjon av noen typiske sjømatprodukter og gjør estimater for CO₂-utslipp fra denne energibruken. Kapittel 4.3.4 gir en kort introduksjon til en interaktiv visualiseringsplattform som er utviklet for fiskemottakene i prosjektet.

4.3.1 Energi bruk på mottaksanlegg

Det er gjort estimater på hvor mye elektrisk energi som medgår under prosessering av hvitfisk. Datagrunnlaget er tre mottaksanleggs råstoffmottak og energibruk over tre år. Altså er det kun energibruk på selve mottaksanlegget og ikke eventuelle tørrfisklager eller fryseri. I datagrunnlaget er det videre tatt hensyn til kjøp og salg av råstoff fra andre fiskemottak, der denne informasjon har vært tilgjengelig. Der data mangler, får det den følgen at den spesifikke energibruken potensielt underestimeres for fiskemottak som videreselger råstoff, og motsatt potensielt overestimeres for fiskemottak som kjøper inn råstoff fra andre mottak. Omfanget av over- og underestimering vil avhenge av i hvor stor grad råstoffet bearbejdes før og etter salg.

Resultatene viser at de tre mottaksanleggenes i perioden 2018-2020 har en gjennomsnittlig energibruk på 122-138 kWh/tonn rundvekt. Det er altså ingen betydelig variasjon i mottakenes gjennomsnittlige forbruk fra år til år, og mottakene har et samlet gjennomsnitt på 130 kWh/tonn rundvekt. Det er derimot større forskjeller mellom aktører, hvor fiskemottakenes respektive energibruk varierer mellom 93-107, 98-102 og 173-211 kWh/tonn rundvekt. Årsaker til dette kan være at aktørene driver forskjellig grad av bearbeiding hvor restråstoff i større grad tas vare på, samt at bygningsmassene er av ulik størrelse og med forskjellig krav til basislast for å drifte bygget. De to hvitfiskmottakene med lavest forbruk har et lavere energibruk sammenlignet med de 107 kWh/tonn som rapporteres for prosessering av laks i [5]. Winter m.fl. (2020) [5] viser også til andre studier [22] hvor det rapporteres lavere energibruk på mellom 70-88 kWh/tonn rundvekt, men har selv benyttet 107 kWh/tonn i sin analyse. Generelt er det noe uventet at hvitfisk er på nivå med estimerer for lakseslakterier, ettersom hvitfiskindustrien i større grad enn lakseslakterier vil være utsatt for sesongdrift med variabel produksjon.



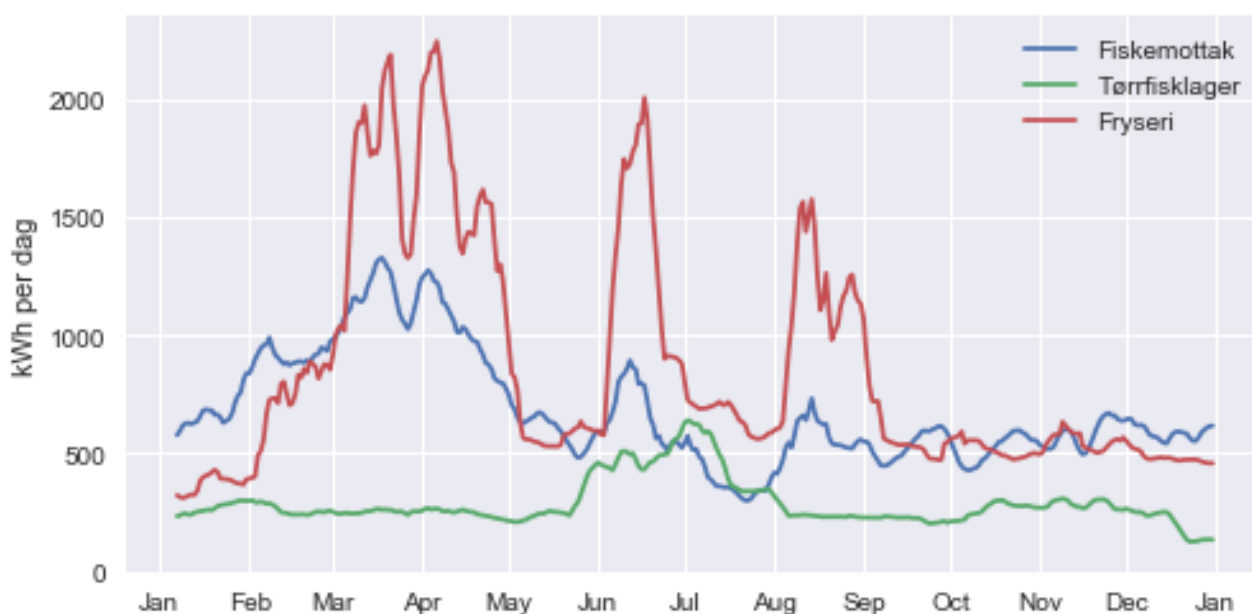
Figur 32 Spesifikt energibruk og daglig råstoffmottak for tre mottaksanlegg i perioden 2018-2020, filtrert for enkelte ekstremverdier.

I Figur 32 er det spesifikke energibruket til de tre fiskemottakene plottet som et døgngjennomsnitt basert på ukentlig energibruk og råstoffmottak. Det ses en trend hvor det spesifikke energibruket synker med økende mengde råstoff som mottaket behandler. En årsak til dette er at fiskemottakene har en grunnlast uavhengig av hvor stort råstoffmottaket er (Figur 34). Selv om man ved mindre råstoffmottak får noe kortere tid på sløvelinjen, er man avhengig av drift av maskiner og utstyr som vil gå omtrent like mye om anlegget håndterer 5 eller 30 tonn. Punktene i Figur 32 kan også minne om en effektivitetskurve som indikerer at anleggene oppnår en energieffektiv drift dersom råstoffmottaket er over ca. 7,5 tonn rundvekt per dag.

4.3.2 Energibruk og sesongvariasjoner

Figur 33 viser et hvitfiskmottaks energibruk over året, fordelt på mottaksanlegg, innfrysing og fryselager, samt tørrfisklager. Alle de tre anleggene er elektrisk drevet og representerer dermed ingen kilde til direkte CO₂-utslipp. Vi vil se senere at det i forbindelse med tørrfiskproduksjon brukes dieseldrevne hjullastere for transport til og fra hending, men i Figur 33 ser vi kun på anleggenes elektriske energibruk. De forskjellige anleggene har flere forbrukere av energi:

- På fiskemottaket (blå linje, Figur 33) omfatter de viktigste forbrukerne sløyelinje, sjøvannspumpe, bulker, ismaskin og kjøling, samt to truckladere og en del lys på gamle armaturer. Mottaksanlegget har i tillegg en gasstruck og et mindre fryselager, men dette har ikke vært i bruk de siste årene.
- Energibruken på fryseriet (rød linje, Figur 33) omfatter både innfrysing og fryselager, samt en trucklader. Alt av belysning er LED. Det største forbruket følger av kjølemaskinen som driver innfrysningen. Fryselageret har ikke egen kuldeproduksjon, men vifter som henter kulde fra innfrysingsrommet.
- På tørrfisklageret (grønn linje, Figur 33) er det drift av ti store vifter som representerer den største energibruken. Tørrfisklageret har også et fryserom som ble etablert i påvente av det store fryselageret som ble satt opp nede ved mottaksanlegget i 2019. Fryserommet på tørrfisklageret har derimot ikke vært i bruk etter 2019. I tillegg til produksjonsutstyret, er det installert en relativt stor varmevifte på tørrfisklageret som brukes om høsten for å gi varme til de ansatte.



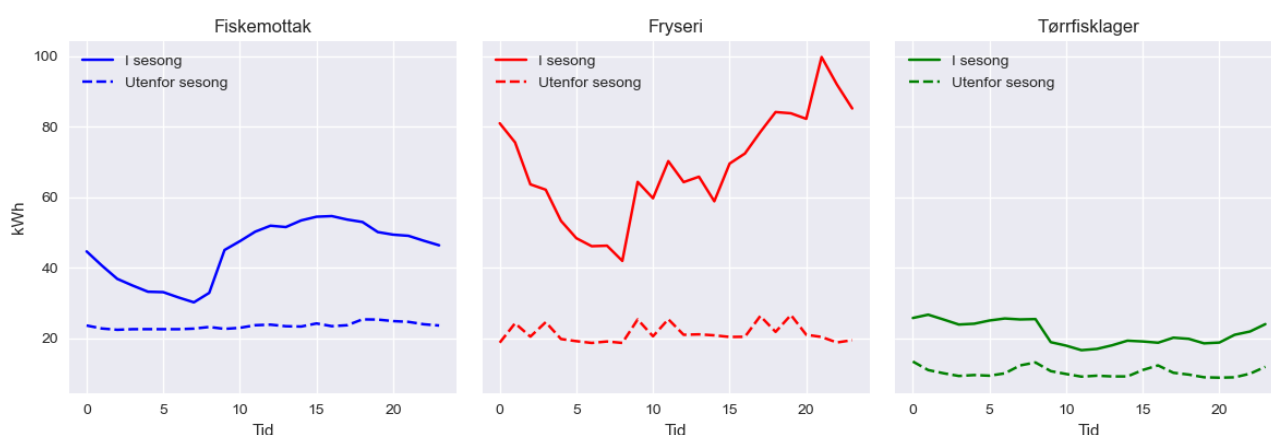
Figur 33 Energibruk over året for mottaksanlegg, fryseri og tørrfisklager

Energibruken over året (kWh/dag) i Figur 33 gir et bilde over de ulike sesongene for hvitfiskmottaket. Året er tydelig preget av sesongvariasjoner med energitopper i høysesong, og et lavere, mer jevnt forbruk utenfor sesong.

Fra mars til midten av april foregår vinterfiske, og både fiskemottak og fryseriet har i denne perioden store energitopper. Det kjøpes inn fisk over kai og fra andre fiskemottak, samt restråstoff som fryses inn. Fra mai til juni er det ingen aktivitet og anleggene ligger brakk, med kun grunnlasten for å opprettholde

basisfunksjoner ved anleggene. Fra juni til juli pågår blåkkeitefiske hvor all fisken fryses inn. I tillegg startes ettertørking av tørrfisk, som gir økt energibruk på tørrfisklageret. I august er det ny runde blåkkeitefiske, som gir en ny energitopp på fryseriet. Fra midten av september og ut året kjøpes det ikke inn fisk og både mottak og fryseri ligger brakk.

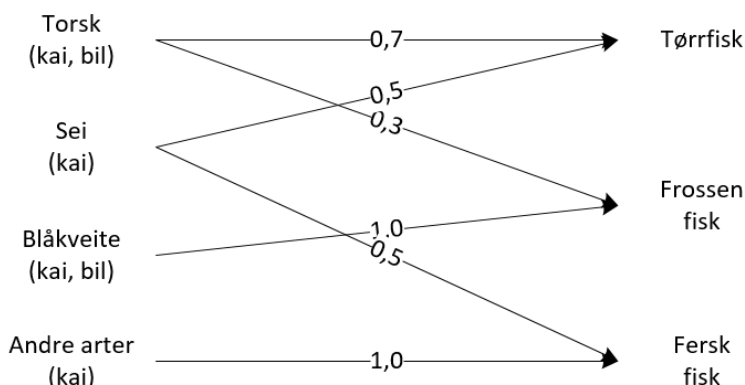
I Figur 34 ser vi gjennomsnittlige effektprofiler for de tre anleggene, hvor heltrukne og stiplede linjer representerer henholdsvis høy- og lavsesong. Vi ser at effektprofilene utenfor sesong er relativt stabile over døgnet, mens i sesong er det tydelig når anleggene starter opp produksjon. Dette gir et inntrykk av hvilken grunnlast anleggene må opprettholde uavhengig av hvor mye fisk som produseres. Det ses også en sammenheng mellom oppstart av mottaksanlegg og produksjon av fisk, med påfølgende innfrysning på fryseriet.



Figur 34 Gjennomsnittlig effektprofil over døgnet i sesong (hel linje) og utenfor sesong (stiplet linje).

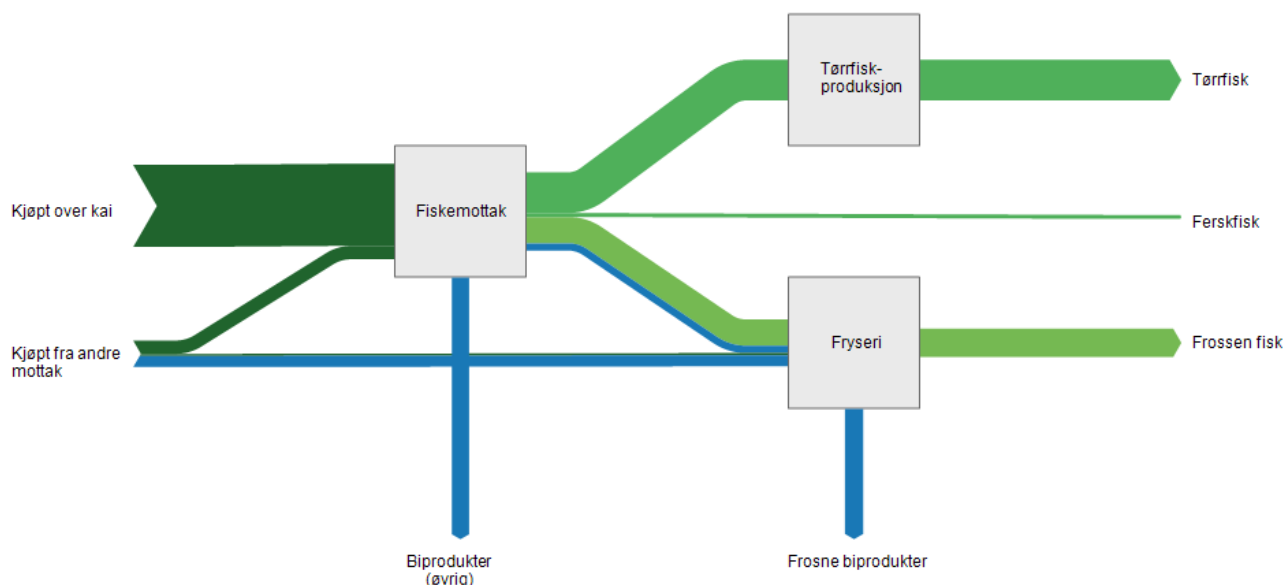
4.3.3 Energibruk ved produksjon av typiske sjømatprodukter

Det er sett nærmere på energibehov ved produksjon av tre ulike sjømatprodukter, herunder tørrfisk, frossen fisk og fersk fisk. Datagrunnlaget er ett fiskemottaks energibruk og råstoffmottak over tre år. Etter ønske fra fiskemottakseier, ble det valgt å se på artene torsk, blåkkeite og sei, mens resterende arter har blitt slått sammen til én felles kategori. En omtrentlig produktmaterise er vist i Figur 35, hvor parentesene bak artene angir om råstoffet kjøpes over kai (fartøy), transporteres inn med bil fra andre mottak, eller begge deler. Kombinasjonen av ulike råstoffleverandører (kai, bil) og at torsk og sei brukes som råstoff til flere sjømatprodukter, gjør at vi får totalt 11 ulike verdikjeder (inkludert frosne biprodukter). Vi vil derimot se senere at det i vårt tilfelle ikke blir noen betydelige forskjeller mellom energibruken på tvers av arter (til samme produkt).



Figur 35 Viser omtrentlig produktmaterise

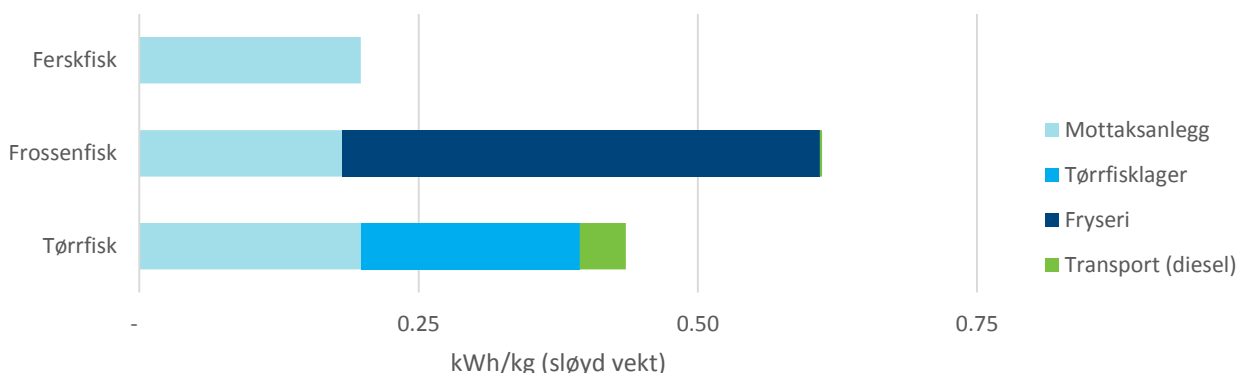
Som hovedregel gjennomgår all råstoffet (kai og bil) behandling ved mottaksanlegget, med unntak av innkjøpte biprodukter og noe torsk kjøpt fra andre fiskemottak som går direkte til innfrysing (se Figur 36). I tillegg til hovedproduktene tørrfisk, frossen fisk og fersk fisk, er det valgt å definere *frosne biprodukter* som et samleprodukt for alle biprodukter som fryses inn. Alle øvrige biprodukter er vist som én materialstrøm i Figur 36, men som beskrevet tidligere er det antatt at 95 prosent av biprodukter fra egen produksjon (kai) utnyttes til "høyverdige" formål. De resterende fem prosent allokeres ikke energibruk eller CO₂-utslipp. Biprodukter til innfrysing (typisk rogn og iselje) er estimert som 10 prosent av mottatt rund fisk, med unntak av blåkveite hvor ingen biprodukter fryses inn.



Figur 36 Verdikjede fra mottak over kai/trailer til biprodukter og sluttprodukter klar for transport til markedet. Tykkelsen på pilene angir den relative fordelingen av materialstrømmer etter masse (tørrfisk i sløyd vekt). Materialstrømmen *biprodukter (øvrig)* omfatter alle biprodukter som ikke fryses inn.

Energibruken på anleggene fordeles etter mengden råstoff (kg) som gjennomgår behandling på de respektive anleggene. For eksempel vil råstoff som sendes direkte til innfrysing ikke allokeres noe av energibruken fra mottaksanlegget. I tillegg til anleggenes elektriske energibruk, er det tatt hensyn til drivstofforbruk på hullaster til/fra hending og transport av råstoff fra andre fiskemottak. All øvrig intertransport på anleggene er antatt å foregå med elektriske trucker, og er derfor ivarettatt gjennom anleggenes AMS-målere.

I Figur 37 vises resultatene overordnet for de tre hovedproduktene frossenfisk (0,61 kWh/kg), tørrfisk (0,44 kWh/kg) og ferskfisk (0,20 kWh/kg), samt fordelt på de ulike anleggene, herunder mottaksanlegg (0,20 kWh/kg), fryseri (0,43 kWh/kg) og tørrfisklager (0,20 kWh/kg). Med overordnet menes at resultatet for eksempelvis tørrfisk er beregnet for all tørrfiskproduksjon, hvor råstoff fra ulike arter (torsk og sei) og råstoff fra kai og bil er slått sammen. Det er valgt å fremstille resultatene overordnet ettersom det ikke er noen betydelige forskjeller i energibruk mellom arter. Dette skyldes valg av utnyttelsesgrader for biprodukter, hvor det er antatt samme utnyttelsesgrad for alle arter. Hadde det for eksempel vært lagt til grunn en lavere utnyttelsesgrad for én art, ville denne arten også fått et høyere spesifikt energibruk.



Figur 37 Spesifikt energibruk for produksjon av ulike sjømatprodukter. Datagrunnlaget er de tre anleggenes elektriske energibruk, samt dieselforbruk ifm. internttransport og transport av råstoff fra andre fiskemottak. Resultatene er et gjennomsnitt for helårene 2018, 2019 og 2020.

Vi ser at frossen fisk får et lavere energibruk ved mottaksanlegget enn fersk fisk og tørrfisk, noe som skyldes at deler av råstoffet går direkte til innfrysing. Dette er enda tydeligere for frosne biprodukter (ikke vist i Figur 37) hvor store deler av råstoffet kjøpes fra andre fiskemottak og sendes direkte til innfrysing. Merk at råstoff som går direkte til innfrysing har vært håndtert ved andre fiskemottak tidligere og bør tilskrives sin andel av energibruken medgått der.

Estimert energibruk fra *Transport (diesel)* kommer i hovedsak fra bruk av hjullastere under tørrfiskproduksjon, mens transport av råstoff fra andre mottak kun utgjør en liten andel av energibruken. Trailertransporten har begrenset betydning (i kWh/kg) både når vi ser på resultatene overordnet (Figur 37), og isolert for verdikjeder hvor råstoffet utelukkende kjøpes inn fra andre mottak. Transporten vil derimot få større betydning når vi ser på produktenes klimaavtrykk.

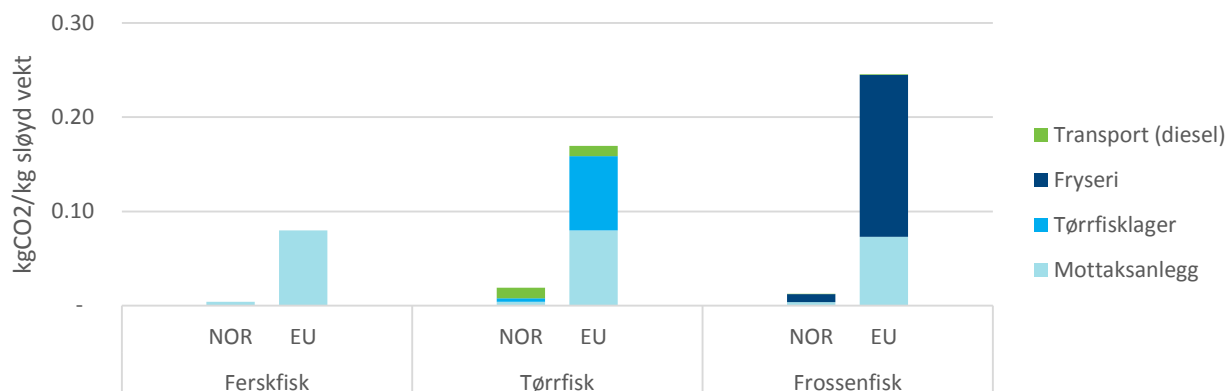
4.3.3.1 Klimaavtrykk

Det er estimert klimagassutslipp fra energibruk under produksjon av sjømatproduktene, angitt i kg CO₂ per kg sløyd vekt. Datagrunnlaget er det samme som i energianalysen i kapittel 4.3.3. Med andre ord er det anleggenes elektriske energibruk, samt dieselforbruk i forbindelse med internttransport og transport av råstoff fra andre fiskemottak som er kildene til estimert CO₂-utslipp.

Klimagassutslippene fra fiskemottakenes elektriske energibruk vil følge av mengden ikke-fornybar energi som inngår i den aktuelle strømmiksen. På grunn av sammenkobling med det europeiske kraftsystemet, vil mengden "uren" strøm som importeres til Norge kunne variere. En utfordring med å bruke norsk CO₂-faktor i miljøanalyser er at det er vanskelig å garantere for strømmens opprinnelse, dersom en ikke har opprinnelsesgaranti. Ifølge NVE [21] var henholdsvis 24 og 76 prosent av norsk strømkjøp i 2020 gjort med (20 gCO₂/kWh) og uten (402 gCO₂/kWh) opprinnelsesgarantier. For å ta hensyn til usikkerheter tilknyttet miljøpåvirkning fra elektrisk energibruk er det valgt å ta utgangspunkt i to scenarioer:

- 1) et "best-case" scenario basert på norsk CO₂-faktor på 20 gCO₂/kWh; og
- 2) et scenario basert på europeisk strømmiks og CO₂-faktor på 402 gCO₂/kWh

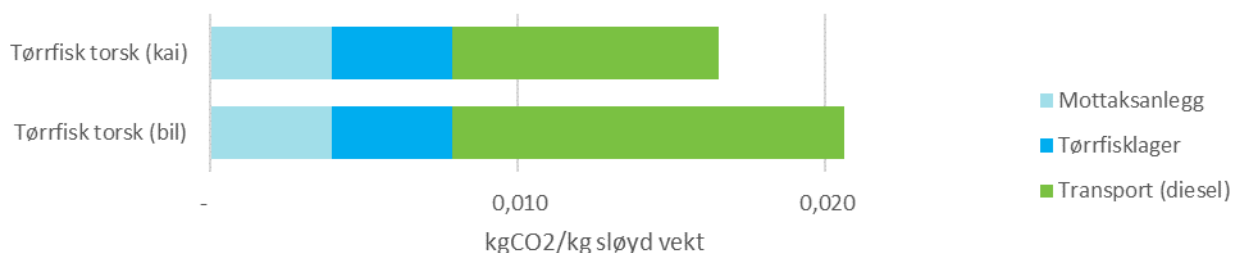
Basert på gitte forutsetninger, estimeres klimaavtrykk for ferskfisk (0,004-0,080 kgCO₂/kg), tørrfisk (0,019-0,169 kgCO₂/kg) og frossenfisk (0,013-0,245 kgCO₂/kg), Figur 38. Tallene i parentes er gitt for henholdsvis norsk (NOR) og europeisk elektrisitetsmiks (EU).



Figur 38 Estimert CO₂-utslipp fra energibruk ved produksjon av ferskfisk, tørrfisk og frossenfisk. Resultatene er et gjennomsnitt for helårene 2018, 2019 og 2020.

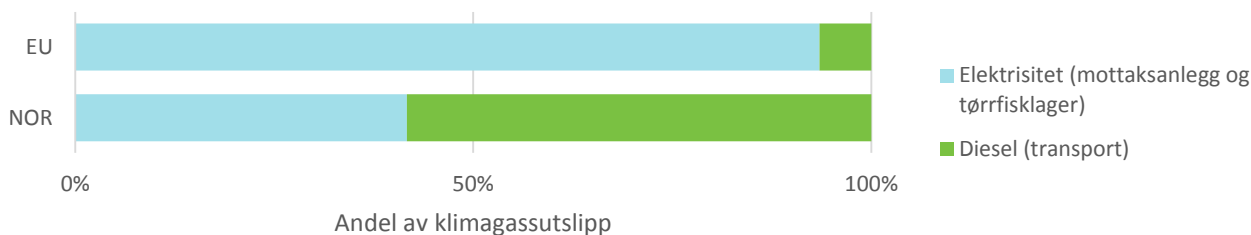
Variasjonene i resultatene (Figur 38) viser at elektrisitetsmiksen har svært stor betydning for hvilket klimaavtrykk som tilskrives produkter i miljøanalyser, og kan til og med avgjøre hvilke produkter som havner best ut. For eksempel ser vi at frossenfisk har størst klimaavtrykk med europeisk elektrisitetsmiks, mens med norsk elektrisitetsmiks får tørrfisk størst klimaavtrykk.

For energibruk så vi at det ikke var noen betydelige forskjeller i kWh/kg avhengig av hvor råstoffet kjøpes fra (kai eller bil). Dette er i stor grad også gjeldene for CO₂-utslipp når dette estimeres med europeisk elektrisitetsmiks. Med norsk elektrisitetsmiks får derimot transportleddet en større relativ betydning, slik at råstoff kjøpt fra andre fiskemottak får et større klimaavtrykk sammenlignet med råstoff kjøpt over kai. Dette er illustrert i Figur 39 som viser estimert klimaavtrykk for tørrfisk produsert av torsk kjøpt over kai og bil. Det kan påpekes at ettersom fisken fra andre mottak kjøpes ferdig sløyd, vil den sannsynligvis ha noe mindre bearbeiding (energi og utslipp) ved mottaksanlegget sammenlignet med fisk kjøpt over kai. I analysen er det derimot kun vurdert hvorvidt råstoff bearbeides ved et anlegg, og ikke hvor stor grad av bearbeiding fisken mottar i hvert tilfelle. Det vi uansett ser er at transport fra andre mottak representerer en relativt stor andel av de totale utslippene, estimert med norsk elektrisitetsmiks.



Figur 39 Sammenligning av råstoff kjøpt over kai og fra andre mottak. Illustrerer betydningen av transportleddet når CO₂-utslipp estimeres med norsk elektrisitetsmiks. Figuren tydeliggjør også at den største delen av *transport (diesel)* under tørrfiskproduksjon kommer fra internt transport.

I tillegg til å påvirke det totale utslippet, har elektrisitetsmiksen altså også stor betydning for den relative fordelingen av utslippene. Dette er tydelig når vi ser på fordelingen av CO₂-utslipp for tørrfisk med ulike elektrisitetsmikser i Figur 40.

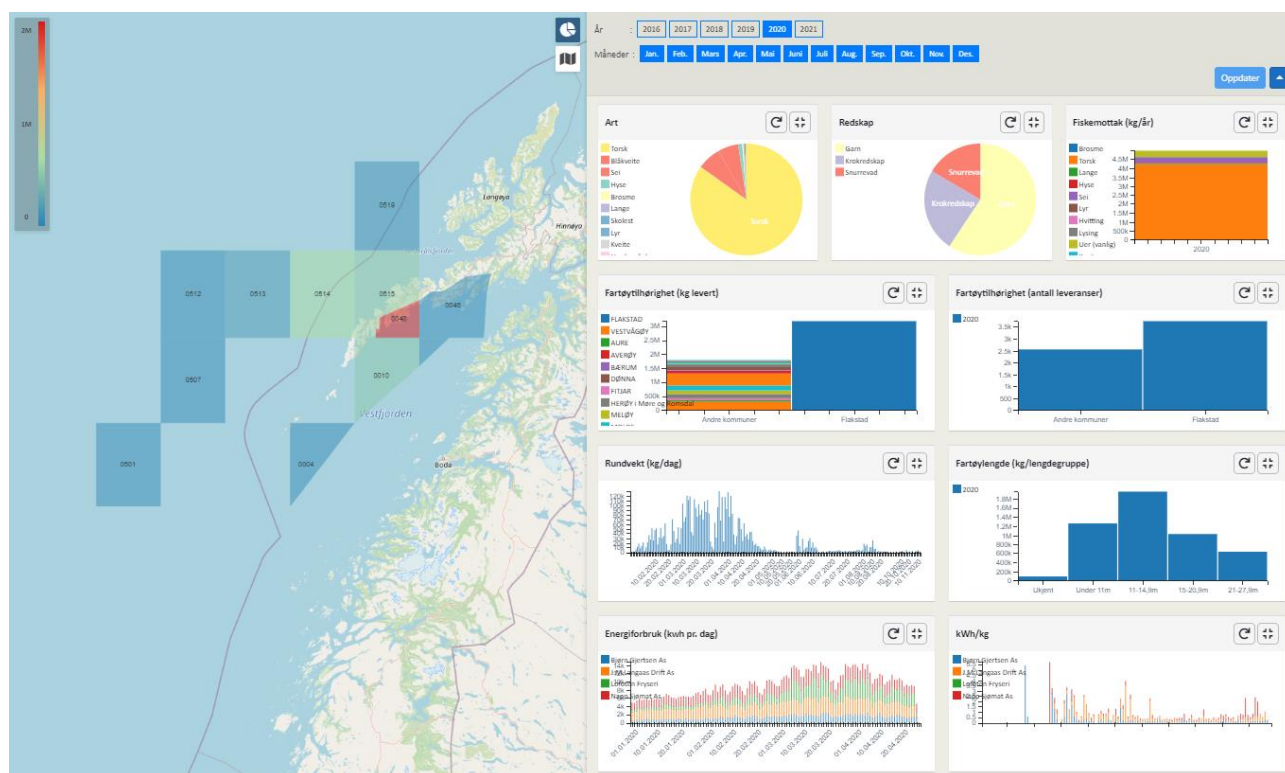


Figur 40 Fordeling av estimerte CO₂-utslipp for tørrfisk med norsk og europeisk elektrisitmiks.

Med europeisk elektrisitmiks representerer transportleddet under 10 prosent av utslippene. Med norsk elektrisitmiks er derimot nesten 60 prosent av utslippene fra transport. Selv om de absolutte tallene er relativt lave, har den interne fordelingen av utslippene betydning for hvor det vil være hensiktsmessig å innrette tiltak dersom en ønsker å redusere sitt klimaavtrykk.

4.3.4 Interaktiv visualiseringsplattform

Det er utviklet en dashboardløsning (Figur 41) som visualiserer mottakenes energibruk ned på dagsnivå. Visualiseringsverktøyet er interaktivt og har en innebygd kartfunksjon som viser hvilket fiskefelt fangsten kommer fra. Visualiseringsverktøyet er bygget på SINTIUM; et grafisk rammeverk for visualisering av data som SINTEF har utviklet og benyttet i flere tidligere prosjekter. Eksempel på tidligere bruk er visualisering av fangstdata gjennom portalen www.fangstanalyse.no. Mer informasjon om SINTIUM finnes på <http://www.sintium.no>.



Figur 41 Visualiseringsverktøyet er interaktivt der man kan filtrere på en rekke parametere. På kartutsnittet kan man klikke direkte eller zoome inn og ut for å filtrere på fiskefelt.

I tillegg til energidata, henter plattformen fangstdata fra Fiskeridirektoratets sluttsedler. Dermed kan det løses ut spesifikt energibruk i kWh per kg rundvekt som tas imot og prosesseres. Sluttseddeldataene gir også mulighet for å enkelt se på sammensetningen av fartøy som leverer til hvert mottak, herunder både lengde- og redskapsfordelingen, samt hvorvidt fartøyene er hjemmehørende i Flakstad eller ikke. Mottakene vil også kunne få visualisert hvor fisken har blitt fangstet og få summert opp total fangst fordelt på art, redskap, lengdegruppe og hjemkommune.

5 Infrastruktur i havner

Dersom en stadig større andel av kystfiskeflåten skal omlegges til elektrisk drift, vil det kreves en tilrettelegging av ladeinfrastruktur i havner. Dette kapitlet er i den sammenheng ment som en illustrasjon av energi og effektbehov til en mindre fiskerihavn med næringsaktivitet, lading for buss og bil, turisme og gjennomreisende, samt anløp av kystfiskefartøy og foredling av fisk, alt drevet av strømmettet. Den tenkte fiskerihavnen er utstyrt med et batteri for å glatte ut effekttoppene slik at det er mulig å midlertidig levere mer effekt. Batteriet vil dermed lade når strømforbruket i havna er lavt, og lades ut når strømforbruket er høyt. Scenariet er ment som en illustrasjon av energi- og effektbehovene til fremtidens fiskerihavner ved et lavutslippssamfunn hvis batterier blir den dominerende teknologien for utslippsreduksjon. Selv om det ikke er vurdert i våre scenario, kan også hydrogen ha en rolle i overgangen til mer klimavennlig kystfiske [4].

Tabell 8 spesifiserer hvilke energibrukere som inngår i scenarioet, samt hvilken batteri- og ladekapasitet som er lagt til grunn. Her er det tatt hensyn til at batterier ikke kan utnyttes i hele området fra 0-100 %, uten å påvirke batteriets levetid betydelig. Fra erfaring med Karoline [12] er realistisk batteriutnyttelse den energien som kan tappes mellom 25-80 % ladegrad⁶. Man får dermed med dagens batteriteknologi omtrent 55 % av total batterikapasitet til bruk om bord. Et fartøy med 600 kWh batterikapasitet vil dermed ha behov for å lade 330 kWh for å fylle batteriet fra 25-80 %.

Tabell 8 Sammensetning av forbrukere for et tenkt scenario med delvis elektrifisering av kystflåten

Forbruker	Antall	Batteristørrelse [kWh]	Ladekapasitet [kWh/h]	Referanse
Batterihybrid fartøy	11m; 21m	195; 270	10 % per time	Karoline, Angelsen Senior
Helelektrisk fartøy	11m	600	10 % per time	Karoline [12]
Liten elbil	2	35,8	40	Volkswagen e-Golf
Mellomstor elbil	2	62	100	Nissan Leaf
Stor sedan	1	75	150	Tesla Model S
SUV	1	102	150	Tesla Model X
Buss 12 meter	1	150	150	Volvo 12 meter
Buss 18 meter	2	200	200	Volvo 18 meter
Fryseri og fryselager	1	-	-	Figur 27 (i sesong)
Fiskemottak	1	-	-	Figur 27 (i sesong)
Næringsbygg	1	-	-	Figur 3 fra [23] (tertiærnæring, ukedag)

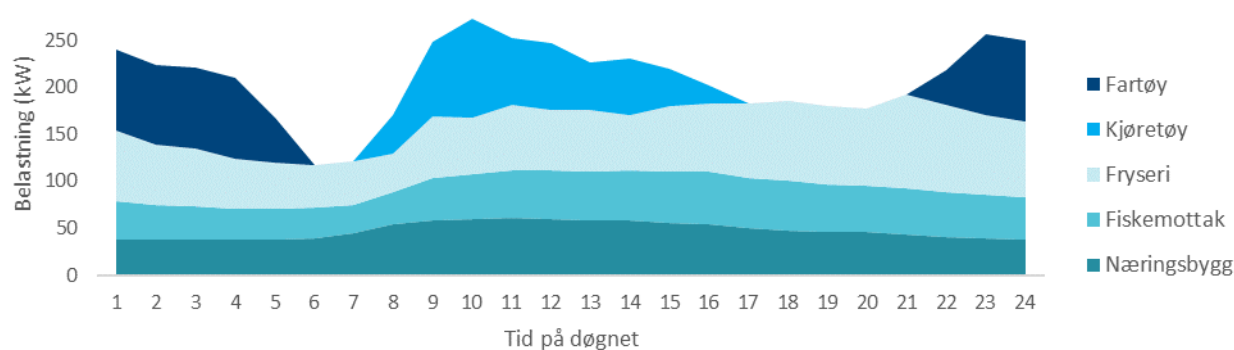
Med utgangspunkt i forbrukerne fra Tabell 8, kan vi simulere hvordan det samlede kraftbehovet utvikler seg over døgnet (Figur 42-a), samt hvordan behovet for ekstra ladekapasitet utvikler seg avhengig av den samlede belastning og tilgjengelige grunnkapasiteten i nettet (Figur 42-b).

Fiskerihavnens kraftbehov er fordelt på næringsbygg, fiskemottak, fryseri, kjøretøy og fartøy, og driftsmønsteret til forbrukerne er antatt som følger: lading av kjøretøy er basert på antagelser om turismeaktivitet, gjennomreisende og ansatte som ikke lader hjemme om natten. De hybride- og helelektriske fartøyene drifter med ett sjøvær om dagen, og lader om natten mens de ligger i havn.

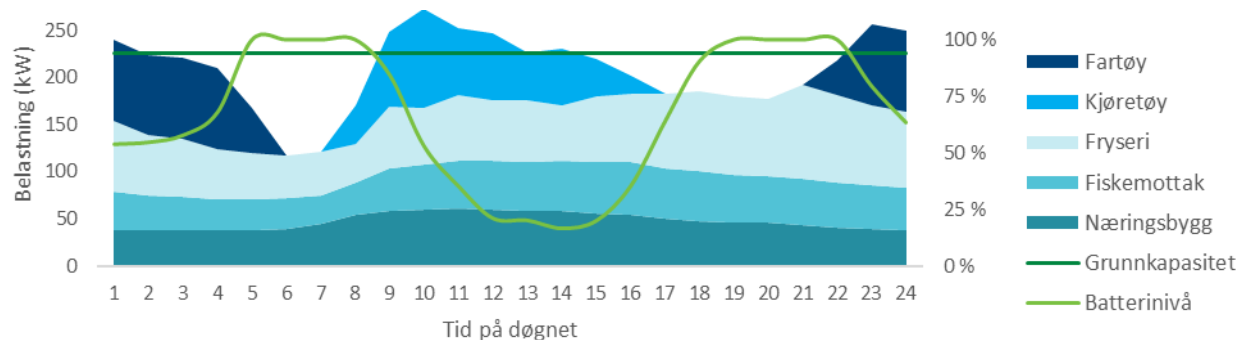
⁶ Det batterihybride fiskefartøyet i prosjektet varierte mellom 28%-81% ladegrad på batteriene, ikke ulikt utnyttbar andel av batteriet på Karoline

Døgnprofilen til fiskemottak og fryseri er gjennomsnittsverdier innhentet gjennom dette prosjektet (Figur 34), mens næringsbygg er basert på et gjennomsnitt for tertiærnæringene i Norge [23].

I løpet av døgnet har de stasjonære forbrukerne (fryseri, fiskemottak og næringsbygg) et samlet maksimalt kraftbehov på omtrent 200 kW. Dette er basert på gjennomsnittsverdier, slik at det kan forekomme perioder med større kraftbehov. Samtidig er gjennomsnittsverdiene tatt fra høysesongen hvor det er stor foredlingsaktivitet, og derfor vil det også være lengre perioder med klart lavere effektbehov når det er mindre aktivitet på fryseri og fiskemottak. Estimater på 200 kW gir en indikasjon på hvilken minimumskapasitet som kreves for å støtte opp fiskemottak, fryseri/fryselager og et gjennomsnittlig næringsbygg. Det maksimale kraftbehovet i scenarioet er omtrent 270 kW og oppstår tidlig på dagen når foredling av fisk og næringsvirksomhet starter opp samtidig som ansattes kjøretøy og turistbusser settes til lading. Fartøyene som lader om natten, trekker på det meste 85 kW alene, og 260 kW sammen med de øvrige forbrukerne.



(a) belastningsprofil over døgnet



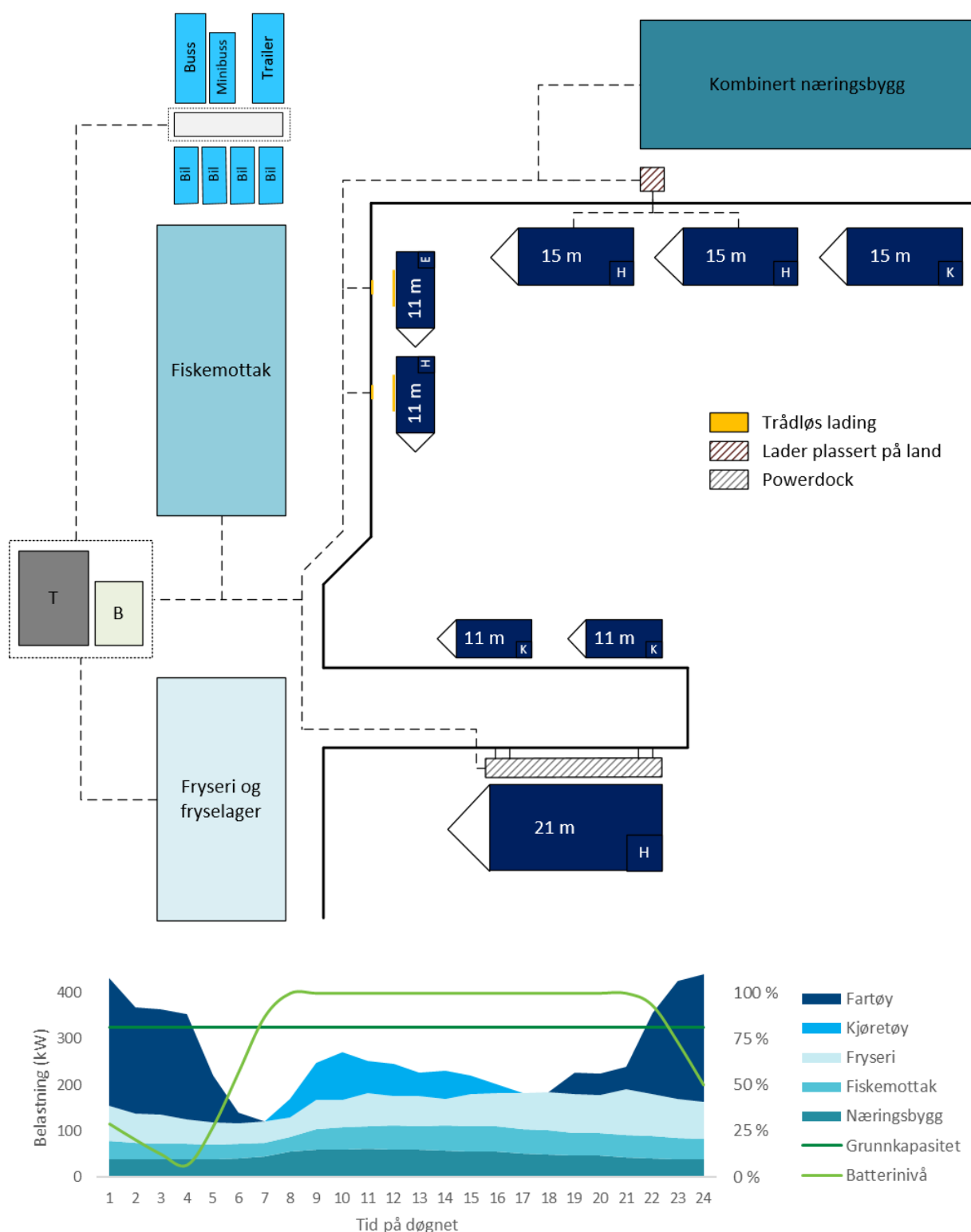
(b) batterikapasitet for å avlaste effektopper

Figur 42 Belastningsprofil for en fiktiv fiskerihavn med næringsaktivitet, turisme, anløp av kystfiskefartøy og foredling av fisk.

Figur 42-b illustrerer hvordan batterikapasiteten utnyttes når belastningen på nettet overstiger grunnkapasiteten, og motsatt hvordan batteriet lades opp igjen når det er overskudd i nettet. Det er lagt til grunn en grunnkapasitet på 225 kW som er tilgjengelig for å forsyne forbrukerne med strøm, samt et batteri med tilgjengelig kapasitet på 150 kWh og overføringskapasitet på 50 kW for å håndtere periodevis effektopper. Med gitte forutsetninger ser vi at belastningen overstiger grunnkapasiteten tidlig på dagen når lading av elektriske kjøretøy begynner, samt om natten når fartøyene lader batteriene på landstrøm.

I motsetning til det relativt forutsigbare kraftbehovet til stasjonære forbrukere, har mobile forbrukere som kjøretøy og fartøy mer uforutsigbare driftsmønstre og ladebehov. Det er derfor behov for bedre estimerer av spesielt de mobile forbrukeres lademønstre, for å være mer presis om det faktiske kraftbehovet over døgnet i fiskerihavnen. Det er i den sammenheng nylig gjennomført et relevant arbeid i form av en energikartlegging for havner i nabokommunen Vestvågøy. I 2022 gjennomføres en tilsvarende kartlegging for Flakstad-havnene i regi av Flakstad kommune.

Figur 43 viser en skisse av vår fiktive fiskerihavn, nå med større innslag av hybride fartøy, slik at det er forutsatt større grunnkapasiteten (325 kW) og batterikapasitet (500 kWh, 150 kW). Det er lagt til to hybride 15-metringer som er tenkt utstyrt med batteripakker for å dekke fiskeaktiviteten (setting og draging) i løpet av et typisk Lofoten-sjøvær med 1 times gange til fiskefelt (Kapittel 3.3.1). Batteripakkene er dimensjonert basert på et estimert drivstoffbruk for sjøværet på 220 liter, hvorav 115 liter fra aktiviteten på fiskefeltet. Med antagelse om drivstoffkoeffisient på 0,5 og en utnyttbar batterikapasitet på 57 %, estimeres en nødvendig batteristørrelse på omtrent 1000 kWh. Hensikten her er ikke å vurdere hvorvidt det er realistisk med såpass store batteripakker om bord et mellomstort kystfiskefartøy, men heller å illustrere hvordan et ekstra kraftbehov som følger av hybride og helelektriske fartøy kan påvirke kraftsituasjonen i en mindre fiskerihavn. Det vi ser er at grunnkapasiteten nå er overdimensjonert for all annen strømkrevende aktivitet, og den installerte batterikapasiteten brukes kun til å avlaste nettet når fartøyene lader om natten.



Figur 43 Skisse av en fiktiv fiskerihavn med innslag av hybride og helelektriske fartøy. Nederst vises en simulert belastningsprofil for scenarioet, eksklusiv trailer. Selv om godstransport og tyngre kjøretøy ikke er lagt inn i belastningsmodellen, er de vist i figuren da denne forbrukergruppen hører med i det videre arbeidet med å tilrettelegge for kombinert ladestasjon i havner.

Selv om disse betraktningene er helt grunnleggende og har stort behov for kvalitetssikring av data/referanseverdier, kan slike energi-/effektmodeller likevel brukes for å se innledningsvis på ulike scenarioer for elektrifisering av kystflåten og kombinert ladeinfrastruktur i havner. Dersom en større andel av kystfiskeflåten skal over på batterielektriske fremdriftssystemer forsynt med landstrøm, bør det ligge til grunn realistiske estimer på energi- og effektbehovet i havner. Dette, og flere andre problemstillinger relatert til klimavennlig kystfiske, vil adresseres i ZeroKyst-prosjektet som startet opp høsten 2021 med sentrale FoU-midler gjennom Grønn Plattform. Her vil kunnskap og data fra klimasatsprosjektet i Flakstad kunne brukes som grunnlag for å etablere tekniske løsninger, og etablere pilotanlegg med smart energistyring og lading i havnene.

6 Oppsummering og anbefalinger for videre arbeid

6.1 Måling av fartøys aktivitet og bevegelsesmønster

Den mest tilgjengelige metoden for å få oversikt over bevegelsesmønsteret til fartøy er bruk av AIS siden den utnytter allerede eksisterende infrastruktur. Mengden data som genereres av AIS er stor og ikke alltid dekkende for flåten man undersøker siden noen fartøy ikke har krav om føring av AIS-transpondere. AIS lager et spor av posisjoner og hastigheter, og fartøyene i prosjektet ble fulgt over AIS for å finne aksjonsområde. Som vist i Figur 22 til Figur 25 fungerer systemet og løsningen godt til å identifisere områder hvor det er fiskeriaktivitet. Resultatene er beheftet med noe usikkerhet, men lav fart og hyppige retningsendringer gjør det mulig å finne arealbruken. Analyse av AIS data ble kombinert med data om fangst og landinger for flåten i Flakstad under 11m for å forsøke å beregne energibruken. Fremgangsmåten som tidligere er brukt på handelsskip og større fartøy viste seg lite egnet til å estimere energibruken. Modellen for energibruk er sensitiv for egenskaper som er vanskelig å etablere for en variert flåte av mindre fiskefartøy slik som designhastighet og tomgangsforbruk. Figur 26 viser avviket mellom registerdata for energibruk og beregnede energibruksdata fra bevegelsesmønster.

Ombordmålinger av kraftforbruk er ikke heftet med samme usikkerhet som energimodeller basert på forlytningsdata. Energimålinger kan heller ikke lene seg på allerede eksisterende infrastruktur og må installeres på hvert enkelt fartøy, noe som gjør det upraktisk for studier av flåter på størrelse med Flakstads fiskeflåte. Det har vist seg utfordrende å installere ombordmålingssystemer med oppkobling til motorer på fartøy som ikke har integrerte automasjonssystem på grunn av tilkoblingsmuligheter, forskjellige leverandører av motorer og forskjellige motorarrangement.

Innhenting av data fra det batterihybride fartøyet viser muligheten som ligger i ombordmålinger. Data fra fartøyet er hentet fra det integrerte kontrollsystemet for motor og batteristyring. Data fra fartøyet kan relativt enkelt omformes til en profil over driftstilstander som gange og fiske, samtidig kan man videre dele opp fiske på felt med og uten batteridrift. Data viser som forventet at gange er den mest effekt- og energiintensive tilstanden. Dette er oppsummert i Tabell 6 og Tabell 7. Mens propellen trekker 230 kW under gange er hele fartøyet drevet av 23 kW når det ligger på fiskefeltet i batteridrift. Når fartøyet er mer aktivt på felt, og bruker generator til batterilading i tillegg, drives fartøyet med 81 kW (Generator effekt, minus lading av batterier). Omregnet til hestekrefter tilsvarer dette henholdsvis 31 HK og 108 HK. Vi ser derfor det samme bildet som fra Karoline [12] hvor det er store forskjeller på effektkravene i gange og under fiske. Samtidig ser vi også et lignende mønster hvor energien til fartøyet i stor grad brukes på gange, mens tiden fordeler seg mer likt mellom gange og fiske. Tiden brukt på felt bidrar dermed mindre til klimaavtrykket fra fartøyet drift.

Ombordmålingsprogrammer som vist på den batterihybride båten viser den egentlige effektbruken under fisket, og sammen med det elektriske kraftdistribusjonssystemet gir det en fremtidig fleksibilitet i valg av energibærere. Den store variasjonen mellom effektbehovene i gange og fiske er mest etablert under bruk av garn og line, og det er usikkert om det vil være tilfellet med bruk av mer energikrevende redskaper som trål og snurrevad. Mer energikrevende redskaper kan være mer energieffektive i uttak av fisk, men setter begrensninger i bruk av alternative energi og fremdriftsløsninger siden de under fisket krever høyere effektnivåer.

6.2 Energibruk og utslipp i kystfiske

6.2.1 Flåteleddet

Registerdata er benyttet for å utlede gjennomsnittlige drivstoffkoeffisienter for kystfiskeflåten i Flakstad. I gjennomsnitt over tre år bruker fartøyene mellom 0,072-0,108 liter drivstoff per kg fangst, avhengig av lengdegruppe (Tabell 9). For alle år i perioden 2018-2020 er det de to minste lengdegruppene som driver mest drivstoffeffektivt fiske. I samme periode ses likevel en økning i drivstoffbruk per kg fangst for samtlige lengdegrupper. Slike gjennomsnittlige drivstoffkoeffisienter kan være nyttige for å si noe om forbruk til større fartøysgrupper, men vil ikke være nøyaktige for beskrivelse av enkeltfartøy.

Tabell 9 Utledede drivstoffkoeffisienter og estimert CO₂-utslipp for kystfiskeflåten i Flakstad, fordelt på lengdegruppe. Alle tall er gjennomsnitt for perioden 2018-2020.

Lengdegruppe	Drivstoffkoeffisient (l/kg fangst)	CO ₂ -utslipp (kg CO ₂ /kg fangst)	CO ₂ -utslipp (tonn CO ₂ /år)
Under 11 m	0,072	0,191	364
11-14,99 m	0,073	0,195	844
15-20,99 m	0,108	0,288	975
21-27,99 m	0,098	0,260	768
Totalt	0,088	0,234	2 950

For kystfiskeflåten i Flakstad estimeres et gjennomsnittlig årlig CO₂-utslipp på 2950 tonn CO₂ for perioden 2018-2020. Vi erfarer at CO₂-utslippet er økende fra år til år, til tross for et synkende fangstvolum i samme periode. Merk at fordi det ikke finnes data på drivstofforbruk til samtlige fartøy, er CO₂-utslippet beregnet fra utledede drivstoffkoeffisienter multiplisert med hver lengdegruppes totale fangst.

6.2.2 Mottaksleddet

Basert på årlig energibruk og råstoffmottak for tre fiskemottak over tre år, finner vi et gjennomsnittlig spesifikt energibruk på 130 kWh/tonn rundvekt for mottak og prosessering av hvitfisk. Det er relativt lite variasjon fra år til år for hvert anlegg, men derimot større variasjon mellom fiskemottakene, noe som kan ha sammenheng med grad av bearbeiding. Vi ser at den spesifikke energibruken reduseres med økende råstoffmottak, og at det er en overgang til mer energieffektiv drift ved et daglig råstoffmottak på >7,5 tonn rundvekt.

Basert på data for én av aktørene over en periode på tre år, estimerer vi gjennomsnittlig elektrisk energibruk til mottaksanlegg (0,20 kWh/kg), fryseri og fryselager⁷ (0,43 kWh/kg) og tørrfisklager (0,20 kWh/kg). Drift av innfrysing og fryselager krever altså omtrent dobbelt så mye energi per kg fisk som bearbeiding/kjøling på mottaksanlegget og ettertørking av tørrfisk. Videre er det gjort en undersøkelse av energibruk for produksjon av tre typiske sjømatprodukter, hvor også dieselforbruk til transport er

⁷ Det vurderte fryseriet betjener kystfiskeflåten hvor råstoff mottas på kjøling, i motsetning til et større frysehotell for havfiskeflåten hvor råstoff vil mottas ferdig fryst. Det bør derfor kunne forventes et høyere energibruk til innfrysing av fisk på mottaksleddet i kystfiskeriene, sammenlignet med havflåten hvor energibruken i stedet tilfaller flåteleddet. I den sammenheng ser man også at energibruken i mottaksleddet primært drives med elektrisk energi, mens all energibruk på konvensjonelle fiskefartøy produseres ved forbrenning av fossile brensler.

hensyntatt. Her finner vi spesifikke energibruk for tørrfisk (0,44 kWh/kg), ferskfisk (0,20 kWh/kg) og frossenfisk (0,61 kWh/kg).

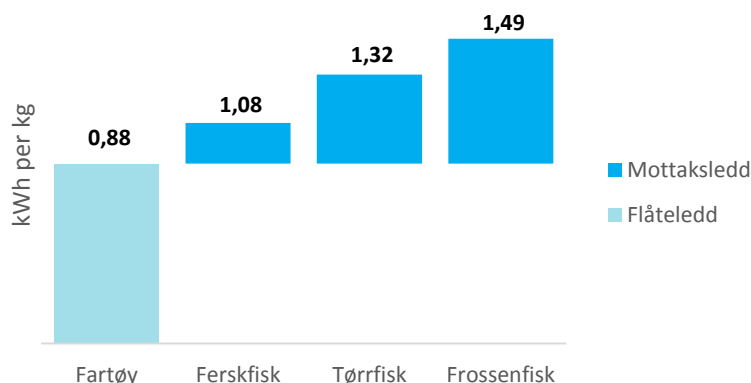
Tabell 10 Estimert energibruk og CO₂-utslipp for produksjon av noen typiske sjømatprodukter.

Produkt	Energibruk (kWh/kg)	CO ₂ -utslipp (NOR) (kgCO ₂ /kg)	CO ₂ -utslipp (EU) (kgCO ₂ /kg)
Ferskfisk	0,20	0,004	0,080
Tørrfisk	0,44	0,019	0,169
Frossenfisk	0,61	0,013	0,245

Basert på energiestimatene er det beregnet klimaavtrykket til tørrfisk (0,019-0,169 kgCO₂/kg), ferskfisk (0,004-0,080 kgCO₂/kg) og frossenfisk (0,013-0,245 kgCO₂/kg). Tallene i parentes representerer resultater med henholdsvis norsk og europeisk elektrisitetsmiks, og viser hvor stor betydning valg av elektrisitetsmiks har. Elektrisitetsmiksen kan være avgjørende både for hvilket produkt som tilskrives lavest klimaavtrykk, samt hvordan klimagassutslippene fordeler seg internt hos de respektive produktene.

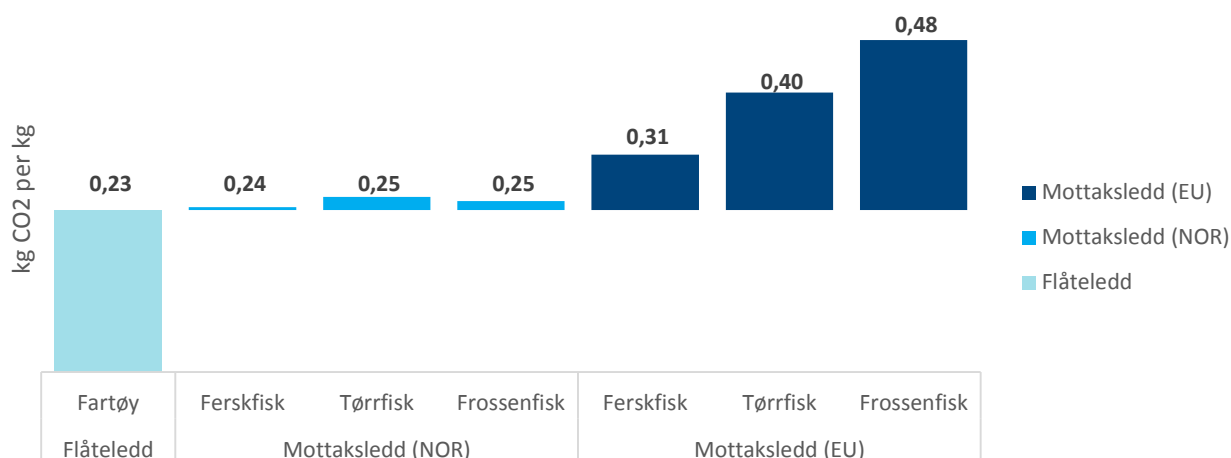
6.2.3 Kombinert flåte- og mottaksledd

Figur 44 sammenstiller estimert energibruk for produksjon av de samme sjømatproduktene, nå fordelt på flåte- og mottaksleddet. Det er brukt en gjennomsnittlig drivstoffkoeffisient for Flakstad-flåten på 0,088 liter/kg fangst for estimering av energibruk om bord fartøy. Med gitte forutsetninger estimerer vi at flåteleddet (0,88 kWh/kg) representerer henholdsvis 82, 67 og 59 prosent av samlet energibruk for produksjon av ferskfisk (1,08 kWh/kg), tørrfisk (1,32 kWh/kg) og frossenfisk (1,49 kWh/kg).



Figur 44 Viser energibruk for produksjon av typiske sjømatprodukter, fordelt på flåte- og mottaksleddet.

Figur 45 viser beregnet CO₂-utslipp fordelt på flåte- og mottaksleddet, estimert med norsk og europeisk elektrisitetsmiks. Vi ser at flåteleddet (0,234 kgCO₂/kg) i de fleste tilfeller representerer det største CO₂-utslippet, men at andelen som tilskrives mottaksleddet i stor grad avhenger av valg av elektrisitetsmiks.



Figur 45 Viser CO₂-utslipp fordelt på flåte- og mottaksleddet for produksjon av typiske sjømatprodukter, med norsk og europeisk elektrisitmiks.

Med norsk elektrisitmiks representerer CO₂-utslippet fra mottaksleddet mellom 2-8 prosent av totalt utslipp, mens tilsvarende tall med europeisk miks er 25-51 prosent. Altså estimeres det for frossenfisk et høyere utslipp i mottaksleddet enn flåteleddet, forutsatt europeisk elektrisitmiks.

Merk at datagrunnlaget for flåteleddet er drivstofforbruk på fiskefartøy. Derfor inkluderer flåteanalysen kun prosessene om bord fiskefartøyene, og energitilførsel til produksjon av fartøy, redskaper, agn, osv. er utelatt. Tilsvarende for mottaksleddet, er energitilførsel til produksjon av maskiner, utstyr, osv. utelatt, i tillegg til at det ikke er vurdert utslipp fra øvrig materialbruk i livsløpet. For mottaksleddet stopper systemgrensen ved fiskemottaket, som betyr at transport til markedet ikke er vurdert.

6.3 Anbefalinger for videre arbeid

Prosjektet har vurdert energibruk og utslipp i kystfiskeriene, fordelt på flåte- og mottaksleddet. Basert på dette arbeidet, foreslås følgende punkter for videre arbeid:

- Innhenting av data fra det batterihybride fiskefartøyet bør fortsette for å bygge et datasett med større dekning. Datasettet vil gjøre det mulig å studere energi- og effektbruken i detalj.
- Sørge for energilogging fra flere fartøy av forskjellig type. Nybygde fartøy i området vil kunne bli bygget med tilrettelagte automasjonssystemer, eller databusser som gjør det enklere å hente inn data over tid fra fartøy. Slike data kan være viktig både i dokumentasjon av aktivitet, men også for å danne grunnlaget for bruk av nye energiformer og fremdriftssystemer i kystfiske.
- Dokumentasjon av produkters klimaavtrykk bør ivareta alle utslippskilder gjennom produktets livsløp. Dette prosjektet har vært avgrenset til å omfatte utslipp fra drivstofforbruk og elektrisk energi i verdikjeden fra fangstledd til bearbeiding av sjømatprodukter klar for transport til markedet. Et videre arbeid bør (i) utvide systemgrensen til å omfatte transportleddet ut til markedet og (ii) vurdere øvrig energi- og materialbruk som inngår i produktenes livsløp.
- Det er utviklet en visualiseringsplattform hvor fiskemottakene får oversikt over eget råstoffgrunnlag og energibruk. Plattformen kan videreutvikles til å bli et beslutningsstøtteverktøy som mottakene anvender aktivt i sin daglige drift. Med automatisert dataflyt kan man følge råstoffet gjennom anleggene og se hvor mye energi og materialer som medgår til de ulike prosessene. Dette gir en kontinuerlig oppdaterende materialstrømsanalyse, som kan kobles mot kjente utslippsfaktorer for å dokumentere produktenes klimaavtrykk avhengig av forholdene i produksjonen. Med kunnskap om oppstrøms- og nedstrøms verdikjeder, vil verktøyet også kunne si noe om produktenes samlede klimaavtrykk gjennom livsløpet.
- Den forenklete havnemodellen kan brukes til illustrasjon av energi- og effektbehovene til en tenkt fiskerihavn ved et lavutslippssamfunn hvor batterier er den dominerende teknologien for utslippsreduksjon. Modellen har stort behov for kvalitetssikring av bakgrunnsdata/referanseverdier for å vurdere nærmere hvilke energi- og effektkrav en delvis elektrifisering av kystflåten vil sette for mindre kystfiskehavner. I et videre arbeid bør det tas utgangspunkt i faktiske forhold for fiskerihavner med en regional kystflåte som kan forventes å bidra i overgangen til klimavennlig kystfiske.

7 Referanser

- [1] Flakstad kommune, «Sluttrapport forprosjekt Klimasatsing i kystfiskehavner,» 2018.
- [2] K. G. Aarsæther, R. Høyli og H. W. Brendeløkken, «Driftsmønster og energibruk i kystfiskeflåten,» SINTEF Nord AS, Tromsø, 2018.
- [3] J. R. Isaksen, Ø. Hermansen, D. Standal, B. I. Bendiksen, S. Jafarzadeh og B. Dreyer, «Økonomiske og miljømessige konsekvenser av reguleringer og institusjonelle rammer,» Nofima, Tromsø, 2021.
- [4] S. Jafarzadeh, J. Ladstein, F. Zenith, A. Ødegår, K. Sundseth, M. M. Ortiz og R. Høyli, «Elektrifisering av kystfiskeflåten ved bruk av batterier og brenselceller,» SINTEF Ocean AS, Trondheim, 2021.
- [5] U. Winther, E. S. Hognes, S. Jafarzadeh og F. Ziegler, «Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017,» SINTEF Ocean AS, Trondheim, 2020.
- [6] United Nations General Assembly, «United Nations Climate Change Conference,» Paris, 2015.
- [7] D. S. o. H. Aasjord, «SINTEF Rapport 2021:00021 - Noen vurderinger vedr. regulering av kystfartøy (0 – 21 meter) etter faktisk lengde og lasteroms-volum. Innspill til Norges Fiskarlags prosjekt: Framtidens kystfiskefartøy,» SINTEF Ocean, Trondheim, 2021.
- [8] Riksrevisjonen, «Riksrevisjonens undersøkelse av kvotesystemet i kyst- og havfisket Dokument 3:6 (2019–2020),» Riksrevisjonen, Oslo, 2020.
- [9] E. M. Schau, H. Ellingsen, A. Endal og S. Aa.Aanondsen, «Energy consumption in the Norwegian fisheries,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, nr. 3, pp. 325-334, 2009.
- [10] S. Jafarzadeh, H. Ellingsen og S. A. Aanondsen, «Energy efficiency of Norwegian fisheries from 2003 to 2012,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3616-3630, 2016.
- [11] J. I. Jenssen, «Resultater Energinettverk Fiskeflåte 2009-2010: Kystflåten under 22 meter,» COWI, Norges Fiskarlag og Fiskeri- og havbruksnæringens Forskningsfond, 2011.
- [12] K. G. Aarsæther og J. Eldby, «Hybrid fremdriftssystem for mindre fiskefartøyer,» SINTEF Nord AS, Tromsø, 2018.
- [13] E. Johannessen og H. Johansen, «SALT rapport 1053 - Klimasatsing i kystfiskehavner,» SALT Lofoten AS, 2021.
- [14] S. Jafarzadeh og I. Schjølberg, «Operational profiles of ships in Norwegian waters: An activity-based approach to assess the benefits of hybrid and electric propulsion,» *Transportation Research Part D*, vol. 65, pp. 500-523, 2018.
- [15] L. Goldsworthy og B. Goldsworthy, «Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data – An Australian case study,» *Environmental Modelling & Software*, vol. 63, pp. 45-60, 2015.
- [16] J. Coello, I. Williams, D. A. Hudson og S. Kemp, «An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet,» *Atmospheric Environment*, vol. 114, pp. 1-7, 2015.
- [17] M. Winther, J. H. Christensen, M. S. Plejdrup, E. S. Ravn, Ó. F. Eriksson og H. O. Kristensen, «Emission inventories for ships in the arctic based on satellite sampled AIS data,» *Atmospheric Environment*, pp. 1-14, 2014.
- [18] M. Thrane, E. H. Nielsen og P. Christensen, «Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, pp. 380-390, 2009.
- [19] COWI Consulting Engineers and Planners AS, «Cleaner production assessment in fish processing,»

UNEP/Danish Environmental Protection Agency, 1999.

- [20] J. F. Muir, «Fuel and energy use in the fisheries sector: Approaches, inventories and strategic implications,» Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, 2015.
- [21] NVE, «Varedeklarasjon for strømleverandører,» NVE, 7 Juli 2021. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/virkemidler/opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-stromleverandorer/varedeklarasjon-for-stromleverandorer/>. [Funnet November 2021].
- [22] B. Ates, K. N. Widell, T. S. Nordtvedt og A. L. Cojocaru, «Energy consumption for salmon slaughtering process,» i *Ammonia and CO2 Refrigeration Technologies*, Ohrid, 2017.
- [23] T. Ericson og B. Halvorsen, «Hvordan varierer timeforbruket av strøm i ulike sektorer?,» 2008.

A Fangst, drivstofforbruk og CO₂-utslipp fordelt på lengdegruppe 2018-2020

	l/kg fangst (Garantikassen, sluttседler)		
Lengdegruppe	2018	2019	2020
Under 11 m	0,072	0,066	0,079
11-14,99 m	0,068	0,075	0,077
15-20,99 m	0,083	0,115	0,129
21-27,99 m	0,107	0,096	0,093
Totalt	0,080	0,089	0,095
	kgCO ₂ /kg fangst (estimert)		
Lengdegruppe	2018	2019	2020
Under 11 m	0,190	0,174	0,211
11-14,99 m	0,182	0,199	0,206
15-20,99 m	0,220	0,305	0,344
21-27,99 m	0,286	0,256	0,246
Totalt	0,212	0,238	0,254
	kg fangst (sluttседler)		
Lengdegruppe	2018	2019	2020
Under 11 m	2 185 460	1 746 512	1 760 788
11-14,99 m	5 123 917	4 276 949	3 637 661
15-20,99 m	3 166 447	3 345 171	3 512 989
21-27,99 m	2 578 749	2 911 036	3 336 869
Totalt	13 054 572	12 279 668	12 248 307
	Liter drivstoff (estimert)		
Lengdegruppe	2018	2019	2020
Under 11 m	156 393	114 518	139 506
11-14,99 m	350 678	320 358	281 043
15-20,99 m	261 807	383 323	454 044
21-27,99 m	276 801	280 413	308 695
Totalt	1 045 679	1 098 612	1 183 287
	tonn CO ₂ (estimert)		
Lengdegruppe	2018	2019	2020
Under 11 m	416	305	371
11-14,99 m	933	852	748
15-20,99 m	696	1 020	1 208
21-27,99 m	736	746	821
Totalt	2 782	2 922	3 148



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no