



Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



Grønne scenarier for fiskeflåten

Etablering og anvendelse av modellverktøyet FiSceMod

Kenneth Løvold Rødseth, Niels Buus Kristensen

1980/2023

Tittel:	Grønne scenarier for fiskeflåten - Etablering og anvendelse av modellverktøyet FiSceMod
Tittel engelsk:	Green scenarios for the fishing fleet -
Forfatter:	Kenneth Løvold Rødseth, Niels Buus Kristensen
Dato:	09.2023
TØI-rapport:	1980/2023
Antall sider:	59
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-2042-4
Oppdragsgivers p.nr.:	FHF 901773, NFR 336432
Finansieringskilder:	Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering, Norges forskningsråd
TØIs p.nr.:	5261 – Fiskeflåten
Prosjektleder:	Kenneth Løvold Rødseth
Kvalitetsansvarlig:	Kjell Werner Johansen
Fagfelt:	Samfunnsøkonomiske analyser
Emneord:	Fiskeri; Klimagassutslipp; Lineær programmering; Konveks regresjon; Levetidsanalyse

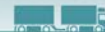
Kort sammendrag

Transportøkonomisk institutt (TØI) har utviklet et optimeringsbasert planleggingsverktøy kalt Fiskerinæringens ScenarioModell (FiSceMod) til tiltaksanalyse innen fiskerinæringen. FiSceMod benyttes til scenarioanalyser for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050). Beregningene viser at fiskerinæringen vil kunne bli karbonnøytral innen 2050, og at de tilhørende tiltakskostnadene per tonn CO₂ vil være i størrelsesorden lik myndighetenes referansepris på karbonutslipp i 2030.

Summary

The Institute of Transport Economics (TOI) has developed an optimization-based planning tool entitled Fisheries' Scenario Model (FiSceMod). It is utilized to analyze cost-effective green transition of the Norwegian fishing fleet to meet Norway's greenhouse gas emission reduction targets by 2030 and 2050. The results suggest that Norwegian fisheries can become carbon neutral by 2050, and that the associated abatement costs can be within the range of the Government's estimate of the social cost of carbon.

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [Åndsverklovens](#) bestemmelser.



Forord

Fiskerisektoren står for en betydelig andel av klimagassutslipp knyttet til innenriks sjøfart. Det forventes derfor strengere krav til sektorens utslipp i tiden som kommer i forbindelse med Norges forpliktelser til å redusere sine klimagassutslipp.

For å møte denne utfordringen har Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) bedt TØI om å utarbeide et kunnskapsgrunnlag for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050). Denne rapporten tilhører arbeidspakke 3 i prosjektet til FHF. Arbeidspakken har hatt som mål å a) lage scenarier for utvikling (grønt skifte) i fiskeflåten frem mot 2030 og b) utrede behov for landbasert infrastruktur i fiskerihavnene i forhold til forventet utvikling. For å imøtegå denne kravspesifikasjonen har TØI utviklet et optimeringsbasert planleggingsverktøy kalt Fiskerinæringens ScenarioModell (FiSceMod), som er dokumentert i denne rapporten.

FHF-prosjektet er gjennomført i samarbeid med Sintef Ocean og Stakeholder, men arbeidspakke 3 er ledet og utført av TØI. Kenneth Løvold Rødseth har ledet arbeidet, som er gjennomført i samarbeid med Niels Buus Kristensen. Prosjektet har mottatt bistand fra en referansegruppe oppnevnt av FHF. Forfatterne takker spesielt Kjetil Fagerholt (NTNU), Kristin Helen Roll (Universitetet i Sørøst-Norge), Tove Aasheim (Fiskeridirektoratet), Dag Stenersen (Sintef Ocean) og Nikolai Hydle Rivedal (Miljødirektoratet) for deres innspill til arbeidet presentert i denne rapporten.

Oslo, september 2023

Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud
Administrerende direktør

Kjell W. Johansen
Avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Formål	1
1.3	Avgrensning	2
1.4	Rapportstruktur	2
1.5	Ordforklaring.....	2
2	Deskriptiv statistikk for fiskerinæringen.....	4
2.1	Fiskeflåten	4
2.2	Populasjonen i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse	9
2.3	Landinger i norske fiskerikommuner	15
3	Metodetilnærming og analyse	17
3.1	Problembeskrivelse.....	17
3.2	Notasjon	21
3.3	Flåtemodellen	23
3.4	Infrastrukturmodellen.....	26
4	Modellparametere og implementering	28
4.1	Basispopulasjonen i flåtemodellen i FiSceMod	28
4.2	Produktfunksjoner for fartøygruppene	30
4.3	Teknologisk modenhet for alternative drivstoff	32
4.4	Energipriser	33
4.5	Andre driftskostnader	37
4.6	Priser på nybygg og ombygg av fartøy	38
4.7	Empiriske overlevelsesrater	43
4.8	Parametere til infrastrukturmodellen.....	44
5	Scenarier.....	45
5.1	Beskrivelse av scenarioene	45
5.2	Konsekvenser for sektorens klimagassutslipp	46
5.3	Konsekvenser for flåteutviklingen og flåtens drivstofforbruk	47
5.4	Tiltakskostnader	51
5.5	Sensitivitetsanalyse.....	51
5.6	Behovet for landbasert infrastruktur for alternative drivstoff til fiskerisektoren	53
6	Oppsummering og diskusjon.....	56
6.1	Oppsummering	56
6.2	Diskusjon	56
6.3	Feilkilder/forbehold	57
6.4	Videre forskning.....	57
	Referanser	58

Grønne scenarier for fiskeflåten

Etablering og anvendelse av modellverktøyet FiSceMod

TØI rapport 1980/2023 • Forfattere: Kenneth Løvold Rødseth, Niels Buus Kristensen • Oslo 2023 • 59 sider

Forskningsfunn/Hovedresultater:

Transportøkonomisk institutt (TØI) har utviklet et optimeringsbasert planleggingsverktøy kalt Fiskerinæringens ScenarioModell (FiSceMod) til tiltaksanalyse innen fiskerinæringen. FiSceMod benyttes til scenarioanalyser for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050). Resultatene fra analysene viser overordnet at fiskerisektoren vil være i stand til å møte økende forventninger til klimagassutslippsreduksjon dersom den teknologiske utviklingen som forutsettes i analysene kan realiseres i framtiden: Beregningene viser at fiskerinæringen vil kunne bli karbonnøytral innen 2050, og at de tilhørende tiltakskostnadene per tonn CO₂ vil være i størrelsesorden lik myndighetenes referansepris på karbonutslipp i 2030.

Fiskeri står for en betydelig andel av klimagassutslipp knyttet til innenriks sjøfart. Det forventes derfor strengere krav til sektorens utslipp i tiden som kommer i forbindelse med Norges forpliktelser til å redusere sine klimagassutslipp. Norge har ikke et selvstendig mål for reduksjon av klimagassutslippet fra fiskeflåten, men det er en forventning om at den maritime sektoren skal bidra til å nå Norges generelle mål for utslippskutt.

Formålet til denne rapporten er å besvare ønsket leveranse knyttet til Arbeidspakke 3 i FHF-prosjektet *Utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050)*. Målene til arbeidspakken er å

- Lage scenarier for utvikling (grønt skifte) i fiskeflåten frem mot 2030.
- Utrede behovet for landbasert infrastruktur i fiskerihavnene i forhold til forventet utvikling.

For å imøtegå denne kravspesifikasjonen har vi utviklet et optimeringsbasert planleggingsverktøy kalt Fiskerinæringens ScenarioModell (FiSceMod), som er dokumentert i denne rapporten. Verktøyet beskriver næringen gjennom bruk av 169 modellagenter (dvs. fartøy- og aldersgrupper) og framskriver fiskeflåten fram mot 2050 basert på minimering av fiskernes drifts- og investeringskostnader. Verktøyet synliggjør hvordan næringens utslippsreduksjonsmål kan nås til lavest mulig kostnad gitt en forventet utvikling i fiskekvotene.

FiSceMod består av to delmodeller:

- Flåtemodellen:** Flåtemodellen søker å finne de laveste kostnadene forbundet med grønn omstilling av fiskeriflåten for å nå framtidige utslippsmål i 2030 og 2050.

- b) **Infrastrukturmodellen:** Infrastrukturmodellen benytter resultatene fra flåtemodellen til å analysere lokalisering og skalering av infrastruktur for alternative drivstoff i norske fiskerikommuner.

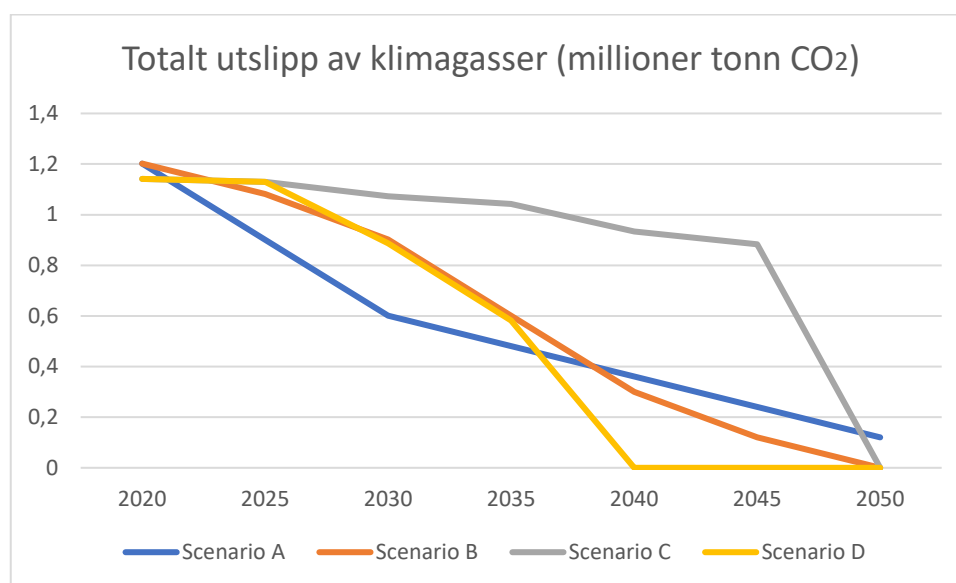
Scenarioanalyser

I denne rapporten benyttes FiScMod til å analysere 4 relevante scenarier for den grønne utviklingen av fiskeflåten. Disse er i tråd med Norges forpliktelser i Parisavtalen og avtalen med EU knyttet til «Fit-for-55», samt ambisjonene til den Internasjonale Maritime Organisasjon. Scenarioene er oppsummert av Tabell S.1.1 Scenario A-B analyserer prosentvise utslippsreduksjoner relativt til sektorens utslipp i 2020 mens scenarioene C-D analyserer konsekvensen av en CO₂-avgift på fossilt drivstoff.

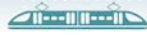
Tabell S.1.1: Beskrivelse av scenariene A-D, Prosentvis reduksjon og CO₂-avgift (NOK/tonn)

SCENARIO	TYPE	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	Utslippsreduksjon (%)	0%	25%	50%	60%	70%	80%	90%
B	Utslippsreduksjon (%)	0%	10%	25%	50%	75%	90%	100%
C	CO ₂ -avgift (NOK/tonn)	952	1 317	2 230	2 230	2 230	2 230	2 230
D	CO ₂ -avgift (NOK/tonn)	1 470	1 918	2 990	4 664	7 277	8 971	11 060

Figur S.1 beskriver estimert utvikling i CO₂-utslippet til fiskerisektoren fra dagens nivå. I 3 av 4 scenarier blir fiskerisektoren klimanøytral innen 2050. I scenario A er derimot utslippstaket til næringen i 2050 satt som 10 prosent av de samlede utslippene i 2020, noe som innebærer at sektoren ikke har incentiver til å bli klimanøytral innen 2050. Det mest ambisiøse scenariet – Scenario D – oppnår denne statusen allerede i 2040 som følge av en raskt økende pris på klimagassutslipp. Dette tyder på at fiskerisektoren vil være i stand til å møte økende forventninger til klimagassutslippsreduksjon dersom den teknologiske utviklingen som forutsetter i våre analyser kan realiseres i framtiden.



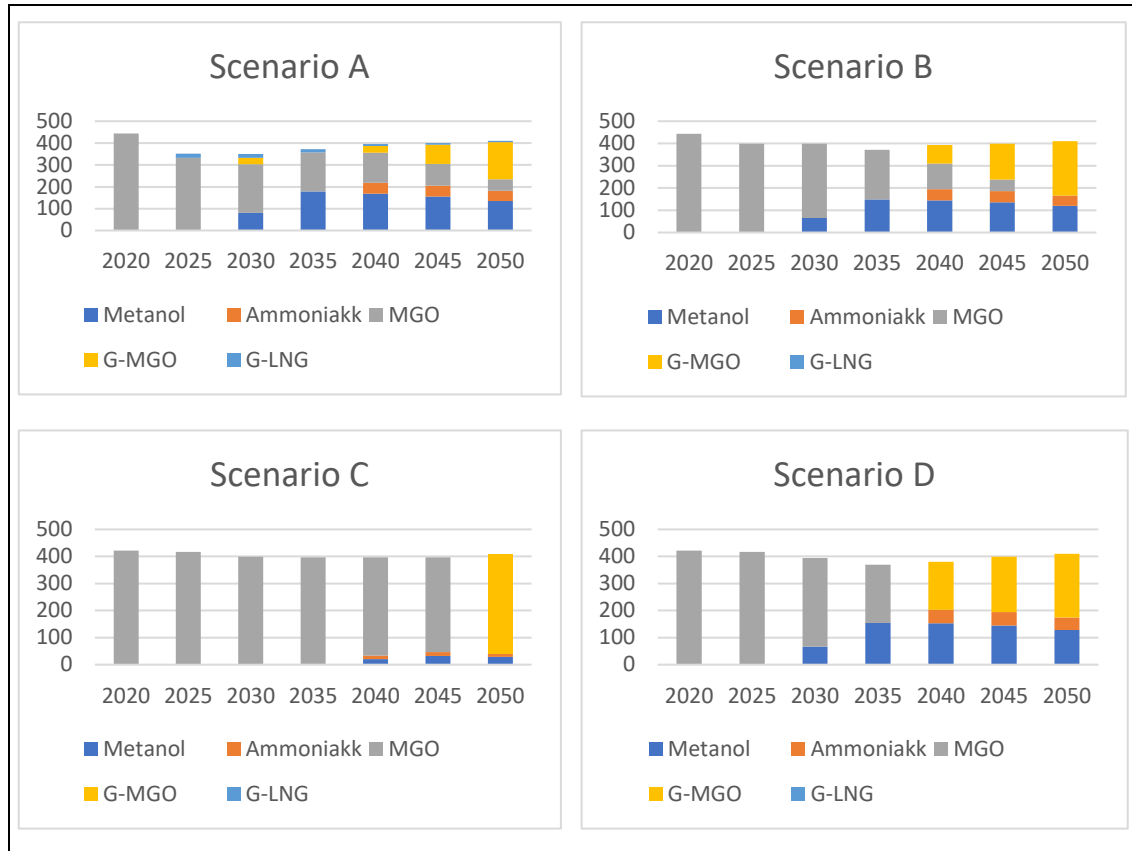
Figur S.1: Utviklingen til fiskerisektorens klimagassutslipp (millioner tonn CO₂) i scenariene A-D.



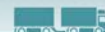
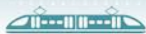
Beregningene for Scenario C tyder på at en moderat karbonbeskatning (dvs. rundt 2 000 kr/tonnet fra 2030) i liten grad gir incentiver til utslippsreduksjoner. De beregnede utslippene faller først betydelig i 2050, og det som en konsekvens av at prisen på grønn diesel er forventet å falle under prisen på konvensjonelt diesel inklusiv CO₂-avgift. Dette styrker funnene til Roll mfl. (2022) som konkluderer med at en drivstoffbeskatning vil ha liten innvirkning på praksisen innen fiskeri og dermed i begrenset grad endre sektorens klimagassutslipp. Funnene fra Scenario D tyder på at konklusjonene til Roll mfl. (2022) kun er gyldig for lave til moderate avgifter på konvensjonelt drivstoff.

FiScEMod vurderer bruken av flere lav- og nullutslippsteknologier i fiskerinæringen gjennom *nybygg* (herunder gass, hydrogen-hybrid, metanol og ammoniakk) og *ombygg* (herunder metanol og ammoniakk). Et sentralt funn i alle scenarioanalyser er at konvensjonelle dieselfartøy vil være dominerende i hele analyseperioden fram mot 2050. En viktig årsak til dette er at FiScEMod benytter overlevelsesserater til å estimere utskiftingen av fiskefartøy. Som følge av relativt lang forventet levetid for fiskefartøy – spesielt for mindre fartøy – tar det lang tid å skifte ut de eksisterende fartøyene i flåten. I scenariene A og D er det på det meste 114 fartøy som anvender alternative drivstoffer av en flåte på totalt 1 760 fartøy, mens det største antallet fartøy med alternative drivstoff er 26 i Scenario C. En viktig forklaring er at grønn diesel vurderes å være et kostnadseffektivt virkemiddel til utslippsreduksjon for majoriteten av fartøyene.

Figur S.2 viser beregnet energiforbruk (i million liter MGO-ekvivalent) i scenariene A-D. Den viser tydelig at FiScEMod i hovedsak ikke legger til grunn innfasing av grønne teknologier før i 2030. Scenariene peker på metanol, ammoniakk og grønn diesel (bio- eller e-diesel) som de viktigste tekniske virkemidlene i dekarboniseringen av fiskeflåten.



Figur S.2: Beregnet energiforbruk (million liter MGO-ekvivalent) i scenariene A-D.



Metanol antas å bli tilgjengelig for nybygg allerede i 2030 og for ombygg av eksisterende dieselfartøy til dual fuel i 2035. Våre beregninger viser at den største innfasingen av metanol vil være i perioden 2035-2039. Ammoniakk antas å modne senere, og blir derfor i begrenset grad tatt i bruk i våre beregninger. Alle beregninger viser at innblanding av bio- og e-diesel vil være et sentralt virkemiddel for å nå en klimanøytral sektor i 2050.

Tiltakskostnader

For å beregne tiltakskostnader i scenariene A og B summerer vi nåverdien til alle årlige merkostnader forbundet med å overholde sektorens utslippskrav, relativt til sektorens årlige kostnadsminimering i fravær av et utslippskrav. Deretter deler vi disse diskonterte merkostnadene på antall tonn CO₂ spart i perioden 2020 til 2050 som følge av miljøreguleringen. Dette gir beregnede tiltakskostnader på 2 272 NOK/tonn i Scenario A og 1 971 NOK/tonn i Scenario B. Begge disse anslagene er i størrelsesorden lik myndighetenes referansepris på 2 000 NOK/tonn i 2030, noe som tyder på at klima- og miljøkravene antatt i de to scenariene A og B kan være samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Sensitivitetstester

Sensitivitetstester viser at både relative priser på drivstoff og ulike fartøystyper er avgjørende for FiScEMods valg av fiskeflåten grønne utvikling. Usikkerheten knyttet til relative priser mellom ulike alternative grønne løsninger i framtiden innebærer at våre analyser *ikke* kan gi et konkret svar på hvordan det grønne skiftet i fiskeflåten kommer til å se ut. Allikevel tilbyr FiScEMod et konsistent rammeverk til å analysere alternative scenarier for fiskerisektoren. Etterhvert som framtidige priser på grønne drivstoffer blir mindre usikre vil modellens scenarioanalyser kunne gi et klarere bilde på hvilke energibærere det er lurt å satse på og hvor rask deres innfasing i fiskeflåten kan bli.

Infrastrukturbehov

Denne studien har som oppdrag å vurdere behovet for landbasert infrastruktur for alternative drivstoff til fiskerisektoren innen 2030. Våre scenarioanalyser tyder på at dette behovet vil være begrenset innenfor rammene av den forventede utviklingen i klima- og miljøkrav til sektoren. Det er i første rekke metanol og/eller ammoniakk som blir vurdert som viktige alternative drivstoff, og disse er forventet å bli teknisk modne først i perioden etter 2030.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Fiskeri står for en betydelig andel av klimagassutslipp knyttet til innenriks sjøfart. Det forventes derfor strengere krav til sektorens utslipp i tiden som kommer i forbindelse med Norges forpliktelser til å redusere sine klimagassutslipp.

Fiskeri tilhører ikke-kvotepliktig sektor. Gjennom en avtale med EU forplikter Norge seg til å kutte utslippet av klimagassutslipp i ikke-kvotepliktig sektor med 40% målt mot utslippene i 2005 innen 2030. Norge har et overordnet mål om å kutte minst 50% og opp mot 55% av sine klimagassutslipp i 2030 sammenlignet med nivået i 1990, og har ambisjoner om å bli et nullutslippssamfunn innen 2050.

Også internasjonalt er det økende press for å redusere klimagassutslipp fra maritim transport. Nylig reviderte International Maritime Organization (IMO) sin klimagasstrategi, og jobber nå for netto-null klimagassutslipp fra sjøfartsnæringen innen 2050. Som et ledd i å nå dette målet har IMO en satsing på innføring av alternative drivstoff som muliggjør lav- eller nullutslipp i den maritime næringen.

Kutt i klimagassutslipp fra fiskeri kan oppnås på ulike måter – både gjennom tekniske og operasjonelle tiltak. I denne rapporten beskrives kostnadseffektiv grønn omstilling av fiskeflåten med vekt på tekniske og økonomiske muligheter til å ta i bruk alternative drivstoff. Underliggende trender knyttet til utvikling i fartøyenes energieffektivitet og drivstoffreduksjoner ved operasjonelle tiltak er også tatt hensyn til i analysene.

Fiskerinæringen er heterogen og mulighetene for opptak av alternative drivstoff varierer mellom fartøygruppene. Det er også store forskjeller mellom drivstofforbruket til de ulike fartøygruppene i norske fiskerier, som overordnet kan deles inn i kyst- og havfiske. En analyse av Thompson og Thompson (2021) viser at kystfiskeflåten sto for kun 25 prosent av det totale drivstofforbruket til fartøyene som inngikk i populasjonen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse i 2019. Samtidig er kystfiskeflåten langt større enn havfiskeflåten. Dette gir et behov for et analyseopplegg som skiller mellom teknologiske og økonomiske muligheter for grønn tilpassing innenfor de enkelte fartøygruppene i fiskerisektoren.

1.2 Formål

Formålet til denne rapporten er å besvare ønsket leveranse knyttet til Arbeidspakke 3 i FHF-prosjektet Utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050). Målene til arbeidspakken er å

- a) Lage et scenario for utvikling (grønt skifte) i fiskeflåten frem mot 2030.
- b) Utrede behov for landbasert infrastruktur i fiskerihavnene i forhold til forventet utvikling.

For å imøtegå denne kravspesifikasjonen har vi utviklet et optimeringsbasert planleggingsverktøy kalt Fiskerinæringens ScenarioModell (FiSceMod), som er dokumentert i denne rapporten. Verktøyet synliggjør hvordan næringens utslippsreduksjonsmål kan nås til lavest mulig kostnad gitt en forventet utvikling i fiskekvotene.

FiSceMod består av to delmodeller:

- a) **Flåtemodellen:** Flåtemodellen søker å finne de laveste kostnadene forbundet av grønn omstilling av fiskeriflåten for å nå framtidige utslippsreduksjonsmål i 2030 og 2050.
- b) **Infrastrukturmodellen:** Infrastrukturmodellen benytter resultatene fra flåtemodellen til å analysere lokalisering og skalering av infrastruktur for alternative drivstoff i norske fiskerikommuner.

Denne rapporten fungerer både som en dokumentasjon av modellverktøyet FiSceMod og en presentasjon av resultater fra scenarioanalyser for grønn omstilling av fiskeflåten fram mot 2030 og 2050 under ulike forventninger til framtidig miljøpolitikk innen fiskerisektoren. Tiltakskostnader forbundet med å nå myndighetenes klimamål er også diskutert i rapporten. Rapporten analyserer tiltak og utslippsreduksjoner hvert 5. år fram mot 2050.

1.3 Avgrensning

Denne rapporten ser kun på utslipp og utslippsreducerende tiltak innen fiskeri. Utslipp knyttet til fartøyer innen havbruk faller utenfor mandatet til utredningen.

FiSceMod er et nybrottsarbeid innen tiltaksanalyse av fiskerinæringen. Siden etableringen av sentrale parametere som energikostnader og kapitalkostnader for fartøyer med alternative drivstoff har vært svært ressurskrevende har det vært nødvendig å prioritere mellom aktuelle data og parametere til modellen. Vi har lagt vekt på å framskaffe høykvalitetsparametere av spesiell relevans for fartøygrupper som står for den største andelen av utslippene innenfor rammen av dette prosjektet.

Basert på Jafarzadeh mfl. (2021) legges det ikke vekt på ren batteriframdrift eller hybrid-elektriske fartøy siden bruk av batterier ikke kan dekke hele energibehovet til et fiskefartøy grunnet dets krav til rekkevidde. Etter diskusjon med Sintef Ocean (AP1) er det også besluttet å ikke modellere landstrøm – i betydningen av elektrisk drift av hotellingslast for fartøy i havn – siden tiltakets utslippsreduksjonspotensial er vurdert som usikkert og beskjedent i flere fartøygrupper. Tilgang på nettkapasitet er også en viktig barriere som kan gjøre tiltaket teknisk og økonomisk krevende.

Denne rapporten presenterer første versjon av tiltaksanalyseverktøyet FiSceMod. Det planlegges for at modellen oppdateres og utvides med bedre data og flere utslippsreducerende tiltak i videre forskningsprosjekter.

1.4 Rapportstruktur

Denne rapporten er strukturert som følger. Kapittel 2 gir en kort beskrivelse fiskerinæringen og de ulike fartøygruppene som inngår i næringen. Disse danner grunnlaget for modellverktøyet FiSceMod: Kapittel 3 gir en formell beskrivelse av modellverktøyet FiSceMod, mens kapittel 4 beskriver etableringen av parametere til modellen. Kapittel 5 beskriver resultatene fra scenarioanalyser ved hjelp av FiSceMod, mens kapittel 6 oppsummerer analysene og konkluderer.

1.5 Ordforklaring

Merkeregisteret	Register over norske fiskefartøy
Landings- og sluttseddelregisteret	Register over alle landinger i norske fiskerikommuner, med tilhørende informasjon om art, volum og pris
Lønnsomhetsundersøkelsen	Fiskeridirektoratets årlige utvalgsundersøkelse for å kartlegge lønnsomheten i fiskerinæringen
Vessel Capacity Unit (VCU)	Mål på fiskefartøyets lastkapasitet, definert som $\text{lengde} \times \text{bredde} + 0.45 \times \text{motorkraft}$

Convex Nonparametric Least Squares (CNLS)	Ikke-parametrisk estimator for produktfunksjoner som pålegger standard antakelser fra økonomisk teori. Kalles også konveks regresjon.
Overlevelsrate (hazard rate)	Andel av fartøyene som forblir i flåten i neste periode, betinget på fartøyets alder
MIP	Mixed-Integer Programming (Optimeringsmetodikk)
CAPEX	Kapitalkostnader

2 Deskriptiv statistikk for fiskerinæringen

I dette kapitlet gis det en beskrivelse av fiskeflåten og hvordan flåten deles inn i ulike fartøygrupper i tråd med Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. Analysen i dette kapitlet er framkommet gjennom å kople og å bearbeide flere datakilder:

- Merkeregisteret (registrerte fiskefartøy)
- Landings- og sluttseddelregisteret (fangstmengder og fangstverdi)
- Fiskeridirektoratets klassifisering av fartøy etter fangstmulighet (leveranse til prosjektet fra Fiskeridirektoratet)
- Lønnsomhetsundersøkelsen for fiskeflåten

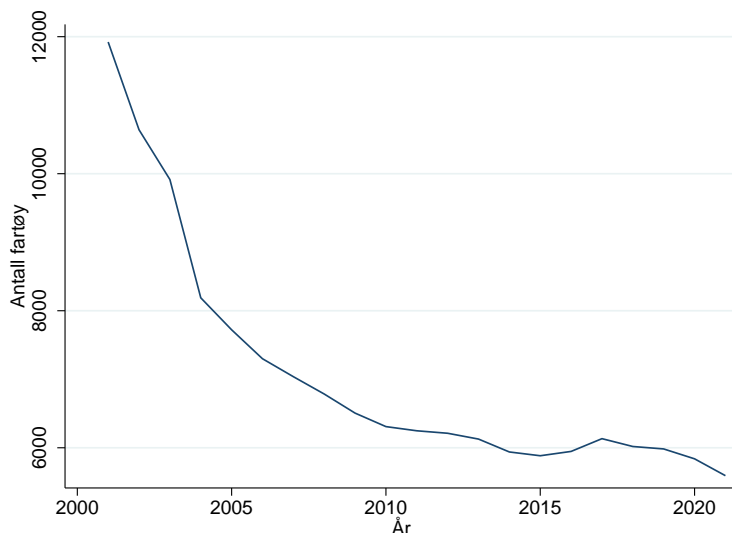
De ulike datasettene koples sammen basert på variabelen *FartøyID*, som er en unik identifikator for det enkelte fartøy i flåten. Den deskriptive analysen av sektoren danner grunnlaget for utformingen av FiSceMod.

2.1 Fiskeflåten

Fartøyspopulasjonen i FiSceMod kalibreres mot dagens fiskeflåte og benytter også historiske data om utskiftingen av fiskefartøy til å beregne forventet levetider til dagens fiskeflåte. I dette kapitlet gir vi derfor en overordnet beskrivelse av flåten, både med hensyn til antall fartøyer, fordelingen mellom ulike flåtegrupper og den dynamiske utviklingen til flåten.

2.1.1 Fartøybestand fra Merkeregisteret

Vi starter innledningsvis med en oversikt over fartøybestanden fra Merkeregisteret. Figur 2.1 omfatter alle fartøy, inklusiv *inaktive* fartøy (dvs. fartøy som ikke rapporterer fangstinntekt i inneværende år).

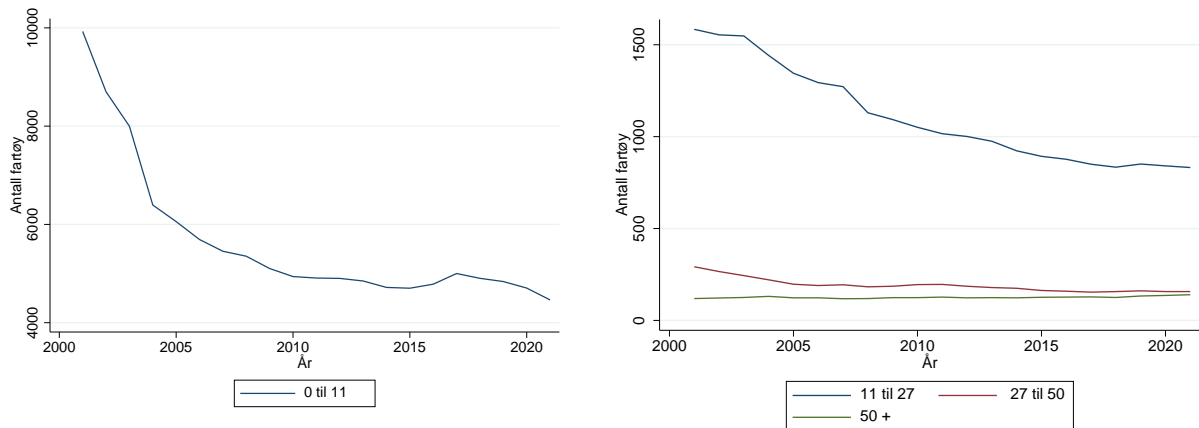


Figur 2.1: Fartøysbestanden i fiskeflåten 2001-2021. Kilde: Merkeregisteret.

Vi ser av figur 2.1 at strukturendringer i næringen har medført at flåten er blitt halvert mellom 2001 og 2015. Personlig kommunikasjon med Fiskeridirektoratet peker også på at innføringen av et gebyr for å være registrert i Merkeregisteret kan være medvirkende årsak til den store reduksjonen i antallet fartøy

i Merkeregisteret. Som følge av den store endringen i flåten mellom 2001 og 2015 benyttes kun data fra 2015-2021 til utformingen av parametere til FiSceMod (se kapittel 4 for en beskrivelse av dette).

I dag består fiskerinæringen av rundt 5 500 fartøy. Disse er heterogene og skiller seg både med tanke på utstyr- og redskapsvalg, samt på lengden til fartøyet. Største lengde til fartøyet er en sentral parameter i reguleringen av fiskerinæringen, og vi deler derfor fiskeflåten inn i lengdekategorier i figur 2.2. Her er den minste kategorien (0 til 11 meter største) dominerende i antall, og vi skiller den derfor ut i en egen figur. Figur 2.2 viser at reduksjonen i flåten mellom 2001 og 2015 i hovedsak kan knyttes til de minste fartøyene, mens antallet store fartøy langt på vei er konstant over tid.

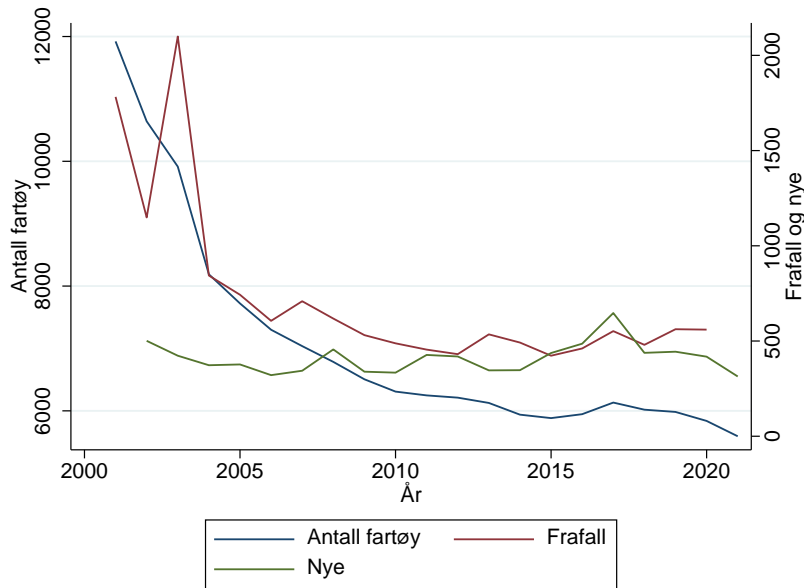


Figur 2.2: Flåtebestand, etter største lengde. Kilde: Merkeregisteret.

Basert på endringer i antall fartøyer som inngår i Merkeregisteret gir vi her en forenklet beskrivelse av endringen i fartøybestanden, dvs. årlig frafall av fartøy fra flåten og nye fartøy¹. Utviklingen av fartøy-populasjonen og forventende levetider til eksisterende dieselfartøy er en sentrale parameter i FiSceMod, som framskriver fiskeflåtens utvikling fram mot 2050.

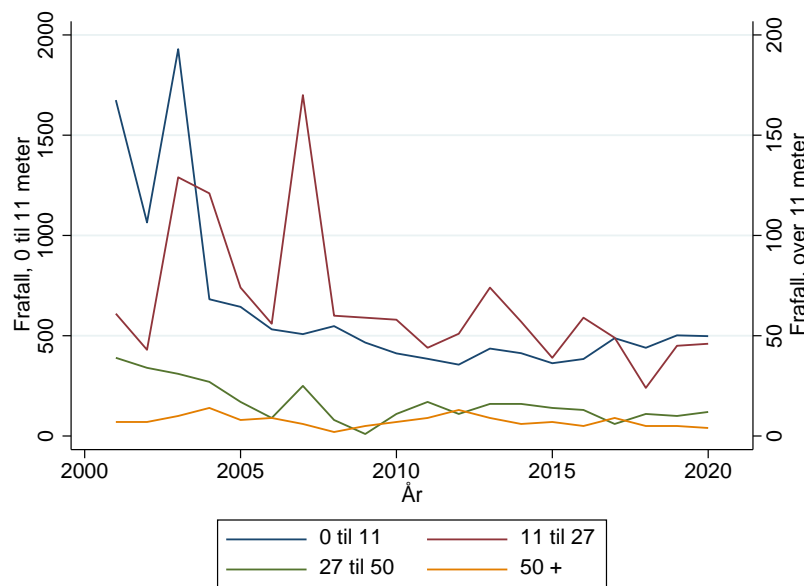
Figur 2.3 viser at i de senere årene er det i snitt 500 fartøy i året som går ut av Merkeregisteret. Disse erstattes i stor grad av nye fartøy. Som beskrevet i fotnoten kan endringer i antallet fartøyer i Merkeregisteret i noen grad skyldes kjøp og salg av fartøyer, og ikke reell utskifting av fartøyer.

¹ Dette kapitlet gir en sammenstilling av årlige data fra Merkeregisteret. En mulig feilkilde når man ser på endring i fartøybestanden fra ett år til det neste er at fartøy som eksempelvis er under eierskifte noen ganger ikke inngår i Merkeregisteret i en periode. Eksempelvis kan et fartøy finnes i registeret i 2015, ikke inngår i Merkeregisteret i 2016 for så å være tilbake i Merkeregisteret i 2017. En ren sammenlikning av årlige data vil da indikere at et fartøy forlater flåten i 2016, mens et nytt fartøy kommer inn i utvalget 2017 – til tross for at det er snakk om det samme fartøyet. I beregningen av fartøyenes overlevelsesrater til FiSceMod har vi kontrollert for denne målefeilen, mens målefeilen er ikke behandlet i dette kapitlet om generell deskriptiv statikk for flåten.



Figur 2.3: Frafall fra og nye fartøyer i Merkerregisteret mellom 2001 og 2021. Kilde: Merkerregisteret

Figur 2.4 dekomponerer antallet fartøyer som går ut av flåten ut fra største lengde. Den viser at frafallet fra flåten er betydelig for de minste fartøylene, mens få store fartøyer forlater flåten.



Figur 2.4: Frafall fra og nye fartøyer i Merkerregisteret mellom 2001 og 2021, etter største lengde. Kilde: Merkerregisteret

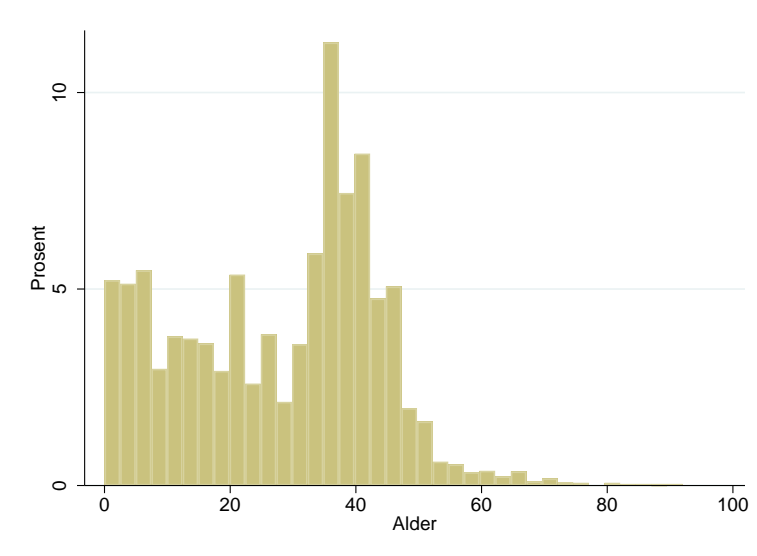
De foregående figurene viser at endringen i antall fartøyer er mest omfattende og volatil for fartøy med største lengde opp til 27 meter. I levetidsanalysene beskrevet i kapittel 4 velger vi derfor å skille mellom levetider til fartøy under 11 meter, mellom 11 og 21 meter og fartøy over 21 meter. Dette er begrunnet i at vår analyse i dette kapitlet tyder på en relativt homogen utvikling av fartøyspopulasjonen til de største fartøyene. De valgte gruppene er også i tråd med lengdeinndelingen av fartøygruppene i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. En levetidsanalyse svært datakrevende. Det er derfor

viktig å ikke velge for mange grupper til analysene ettersom datagrunnlaget til hver gruppeanalyse blir veldig tynt og estimatene mer usikre.

2.1.2 Aldersfordelingen

I tillegg til antall fartøy og inndelingen av fiskeflåten etter lengde- og fangstmuligheter er også alderen til fiskeflåten en viktig input til FiSceMod. Alderssammensetningen til flåten legger føringer på forventet innfasing av alternative drivstoff ettersom sannsynligheten for at et gammelt dieselfartøy fases ut av flåten er betydelig større enn at et nytt fartøy fases ut.

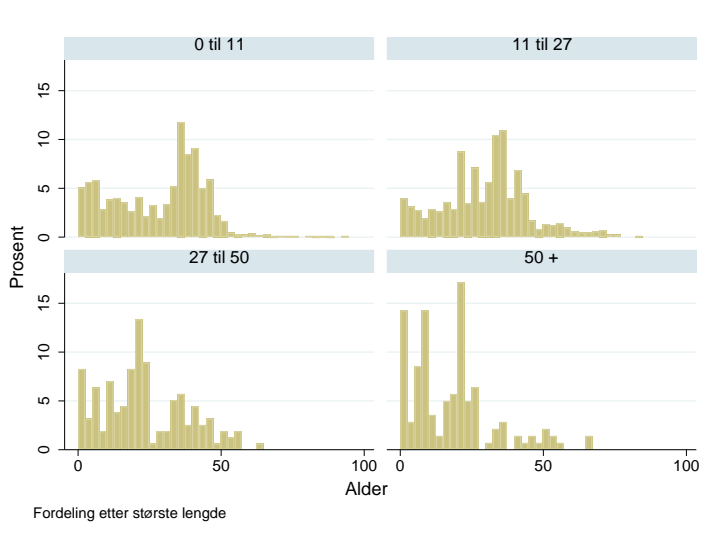
Vi starter derfor med en oversikt over aldersfordelingen til fiskeflåten i 2021. Figur 2.5 viser at gjennomsnittsalderen til flåten var 27 år mens median alder var 32 år. Merk at vi her ser på alle fartøy i Merkeregisteret, og *ikke* begrenser analysen til aktive fartøy (dvs. fartøy som rapporterer fangstinntekt).



Figur 2.5: Aldersfordelingen til fiskeflåten i 2021. Fartøy over 100 år utelatt for å forbedre visualiseringen. Kilde: Merkeregisteret

Det er stor variasjon i alder mellom de ulike flåtegruppene. For å vise dette deler vi utvalget inn i fire lengdegrupper. Det framgår av figur 2.6 og tabell 2.1 at de største fartøyene er betydelig yngre enn de minste fartøyene. Dette understreker betydningen av å skille mellom fartøy etter største lengde når det gjøres levetidsberegninger for fartøyene.

Grønne scenarier for fiskeflåten

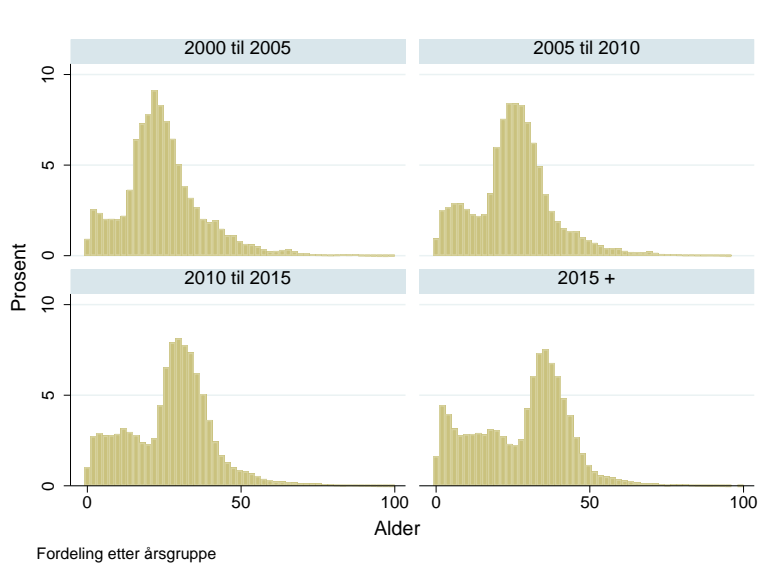


Figur 2.6: Aldersfordelingen til fiskeflåten i 2021, etter største lengde. Kilde: Merkeregisteret

Tabell 2.1: Deskriptiv statistikk for aldersfordelingen til fiskeflåten i 2021, etter største lengde. Kilde: Merkeregisteret

Største lengde	Gjennomsnitt	Median	Max
0 til 11	28,0	33,5	123,0
11 til 27	29,4	31,0	84,0
27 til 50	23,0	20,0	63,0
50 +	17,9	17,5	63,0

Det har vært store omstruktureringer av fiskeflåten de siste 20 årene. Dette har også medført at aldersfordelingen til flåten er blitt endret. Figur 2.7 viser at både gjennomsnittlig, median og maksimal alder i utvalget har økt over tid.



Figur 2.7: Aldersfordelingen til fiskeflåten mellom 2001 og 2021. Kilde: Merkeregisteret

Hvis vi studerer aldersfordelingen etter lengdegruppe ser vi at det er en tendens til at alderen på fartøyene øker i alle grupper, noe som kan gi et økt behov for utskifting av fartøy framover. Denne utviklingen er beskrevet av tabell 2.2.

Tabell 2.2: Oppsummerende statistikk om flåtens aldersfordeling, etter årstall og største lengde. Kilde: Merkeregisteret.

Periode	0 til 11 m	11 til 27 m	27 til 50 m	50 m +	Statistikk
2000 til 2005	23,8	29,2	21,4	14,2	Gj.snitt
	23,0	25,0	23,0	9,0	Median
	106,0	116,0	55,0	62,0	Max
2005 til 2010	25,3	28,4	21,4	14,0	Gj.snitt
	26,0	25,0	21,0	10,0	Median
	111,0	119,0	59,0	63,0	Max
2010 til 2015	27,2	28,4	22,0	16,7	Gj.snitt
	29,0	27,0	21,0	14,0	Median
	117,0	108,0	57,0	60,0	Max
2015 +	27,9	29,0	23,0	17,6	Gj.snitt
	32,0	30,0	19,0	17,0	Median
	123,0	109,0	63,0	66,0	Max

2.2 Populasjonen i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse

I det foregående kapitlet så vi at Merkeregisteret inneholdt mer enn 5 000 fiskefartøy i 2021. Populasjonen fra Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse dette året utgjør derimot et langt lavere antall fartøy. Dette skyldes at det settes et krav til fangstinntekt for fartøy som inngår i populasjonen til undersøkelsen.

I klassifiseringen av fartøyene er det hensiktsmessig å skille mellom

- Aktive og inaktive fartøy
- Fartøy som når krav til fangstinntekt

Aktive fartøy er her definert som fartøy som inngår i Merkeregisteret og som rapporterer fangst i Landings- og sluttseddelregisteret det samme året. Med fartøy som når krav til fangstinntekt menes her fartøy som hadde en total fangstinntekt som oversteg Fiskeridirektoratets kriterieverdier for å inkluderes i Lønnsomhetsundersøkelsen. Et eksempel på kriterieverdier fra den siste publikasjonen for Lønnsomhetsundersøkelsen (Fiskeridirektoratet, 2019) er gjengitt i tabell 2.3.

Tabell 2.3: Kriterier for fangstinntekt. Kilde: Fiskeridirektoratet (2019)

Største lengde	Minste fangstverdi (NOK)
0 – 9,9 m	635 000
10 – 10,9 m	1 056 000
11 – 14,9 m	1 592 000
15 m +	3 173 000

Vi har gjort en analyse av dataene fra Merkeregisteret og Landings- og sluttseddelregisteret for 2021 for å se nærmere på forskjellen mellom fartøy som er og ikke er inkludert i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse for 2021. Tabell 2.4 gir oppstilling av antall fiskefartøy i Merkeregisteret i 2021 og

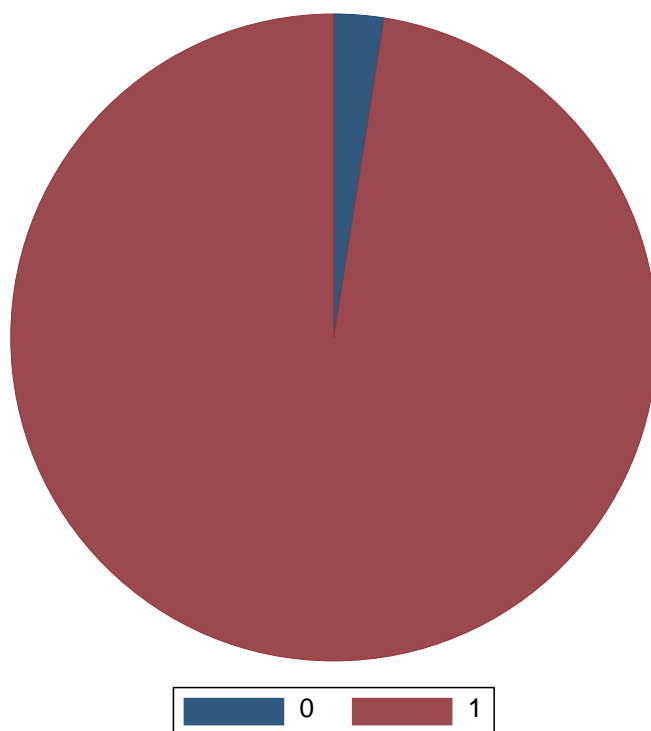
hvordan disse fordeler seg mellom aktive og inaktive fartøy og fartøy som møter og ikke møter kriteriet for fangstinntekt fra tabell 2.3.

Tabell 2.4: Fordeling av fartøyspopulasjonen (etter antall fartøyer) etter kriterier

Aktiv	Møter inntektskriteriet		Total
	Nei	Ja	
Nei	815	0	815
Ja	2 984	1 848	4 832
Total	3 799	1 848	5 647

I 2021 var det 5 647 fartøy i merkeregisteret. 4 832 av disse rapporterte fangstinntekt dette året. Av disse var det kun 1 848 fartøy som møtte inntektskriteriet til Lønnsomhetsundersøkelsen (2019).

Figur 2.8 viser fordeling av fangstmengde målt i rundvekt mellom fartøyene som møter og ikke møter inntektskriteriet til Lønnsomhetsundersøkelsen. Figuren viser at fartøyene som ikke møter kriteriet står for rundt 5 prosent av fangstvolumene, og vi kan derfor anta at deres totale energiforbruk og utslipp av klimagasser er neglisjerbare i et overordnet sektorperspektiv. FiSceMod benytter derfor populasjonen i Lønnsomhetsundersøkelsen som sin basispopulasjon.



Figur 2.8: Fordeling av rundvekt mellom fartøy som møter inntektskriteriet (kode=1) og ikke møter inntektskriteriet til Lønnsomhetsundersøkelsen (kode=0). Fartøy som rapporterer til Landing- og sluttседdelregisteret men ikke er registrert i Merkeregisteret er holdt utenom.

De foregående beregningene viser at populasjonen i Lønnsomhetsundersøkelsen gir et godt bilde på hoveddelen av aktiviteten til fiskeflåten og dermed på flåtens totale utslipp av klimagasser. En av styrkene til Lønnsomhetsundersøkelsen er at populasjonen segmenteres med utgangspunkt i opplysninger innhentet i forbindelse med kartleggingen av det enkelte fartøyets drift og fangstmuligheter,

hvor fartøygruppene er forsøkt tilpasset reguleringsgruppene i fiskerisektoren. Dette innebærer at flåten deles inn i (Fiskeridirektoratet, 2019):

- Hovedfiskeri: Bunnfiskerier og pelagiske fiskerier
- Kyst- og havfiske
- Fartøygrupper: Etter fangstmuligheter og største lengde

Det har vist seg vanskelig å gjenskape segmenteringen fra Lønnsomhetsundersøkelsen ved bruk av offentlig tilgjengelige data fra Fiskeridirektoratet; jf. kapittel 2.2.1. Vi har derfor valgt å benytte Fiskeridirektoratets egen sammenstilling av Lønnsomhetsundersøkelsen 2021 som utgangspunkt for segmenteringen i fartøyene i FiSceMod. Tabell 2.5 gir en beskrivelse av fartøygruppene i Lønnsomhetsundersøkelsen 2021, som også utgjør basispopulasjonen til FiSceMod.

Tabell 2.5: Egen sammenstilling og analyse av populasjonen til Lønnsomhetsundersøkelsen 2021. Kilde: Fiskeridirektoratet.

	Antall fartøy	Rundvekt (1000 tonn)	Energi per fangst (liter/kg)	Energiforbruk (1000 m ³)	Andel av total energiforbruk	Energiforbruk per fartøy (m ³ /år)
Total alle fartøy	1760	2 086	0,17	346	100%	197
1. Konv. kyst < 11 m	1051	81	0,08	7	2%	6
2. Konv. kyst 11-14,9 m	216	98	0,12	11	3%	53
3. Konv. kyst 15-20,9 m	74	95	0,12	12	3%	160
4. Konv. kyst 21 m	30	80	0,13	11	3%	353
5. Konv. hav	21	73	0,28	20	6%	970
6. Torsketrålere	37	326	0,43	141	41%	3 816
7. Kystreke-trålere	85	9	1,37	13	4%	150
9. Kystnotfartøy < 11 m	56	15	0,06	1	0%	15
10. Kystnot 11-21,35 m	55	81	0,07	6	2%	106
11. Kystnot (+SUK)	41	179	0,09	16	4%	380
12. Ringnotsnurpere	70	847	0,10	83	24%	1 184
13. Pelagiske trålere	16	197	0,09	18	5%	1 137
14. Havgående krabbe	8	6	1,31	8	2%	1 022

Merknad: Framstillingene av energiforbruk i denne tabellen baserer seg på Fiskeridirektoratets offentlige tilgjengelige statistikk for Lønnsomhetsundersøkelsen, mens FiSceMods beregninger av energiforbruket er basert på empiriske produktfunksjoner estimert ved bruk av data fra de årlige utvalgsundersøkelsene til Lønnsomhetsundersøkelsen. Det er derfor et mindre avvik mellom de to framstillingene av energiforbruket til flåten som følge av datagrunnlaget og valg av metodikk.

Fartøyene i de havgående fartøygruppene (blå i tabellen) er typisk vesentlig større enn kystfartøyene (de grønne). Dette avspeiler seg også i fangstvolumer og andeler av samlet energiforbruk. De 154 havgående fartøy, som utgjør 8% av samlet fartøyspopulasjonen i Lønnsomhetsundersøkelsen, representerer 78% av energiforbruket og dermed av CO₂-utslippet. De havgående fartøyene står for knapt 70% av samlet fangstvolum.

De 37 torsketrålere er i en klasse for seg selv med et gjennomsnittlig forbruk på 3 816 m³ marin diesel per år, hvilket til sammen gir 41% av samlet energiforbruk. Ser man bort fra kystreke-trålere og havgående krabbefartøy, som er litt spesielle og lander små mengder, har torsketrålerene også markant størst energiforbruk per kilogram fangst. Fordi de lander høyverdifik, er forskjellene mindre uttalt målt i forhold til fangstverdien.

2.2.1 Gjenskaping av populasjonen fra Lønnsomhetsundersøkelsen

FiSceMod består av to delmodeller. Mens flåtemodellen kan benytte tabell 2.5 direkte som inputdata krever infrastrukturmodellen at fartøyene i Landings- og sluttseddelregisteret skal klassifiseres på samme måte som i Lønnsomhetsundersøkelsen. Dette skyldes at infrastrukturmodellen knytter hvert enkelt fartøy opp mot geografiske lokasjoner for landing av fisk, noe som kun fremgår i Landings- og sluttseddelregisteret.

Til tross for god bistand fra Fiskeridirektoratet har det ikke vært mulig å gjøre en komplett segmentering av fartøyene i Landings- og sluttseddelregisteret i henhold til de 13 fartøygruppene i tabell 2.5. Vi beskriver derfor hvordan vi har gjenskapt populasjonen fra Lønnsomhetsundersøkelsen basert på andre datakilder, og hvor god korrespondansen mellom segmenteringen til den gjenskapte populasjonen og fartøysklassifiseringen i Lønnsomhetsundersøkelsens utvalgsundersøkelse er. Dette gjøres for å synliggjøre potensielle målefeil i beregningene av infrastrukturbehovet for alternative drivstoff i norske fiskerikommuner.

2.2.1.1 Alternativ klassifisering av fartøyene

Som utgangspunkt for å gjenskape populasjonen i Lønnsomhetsundersøkelsen benytter vi Fiskeridirektoratets klassifisering av fartøy etter *fangstmulighet*, som er levert av Fiskeridirektoratet etter en bestilling av prosjektet; jf. tabell 2.6.

Tabell 2.6: Fiskeridirektoratets klassifisering av fangstmuligheter

KODE	NAVN	BESKRIVELSE
01	Torskestrål inkl. trålere i andre bunnfiskerier	Fartøy med torskestråltillatelse (K06) eller seistråltillatelse (K15) og fartøy med rekestråltillatelse (K03) dersom fartøyene er 28 meter eller over. Fartøy som i tillegg til rekestråltillatelse har tillatelser som er spesifisert i egne grupper er ikke inkludert i denne gruppen.
02	Ringnot	Fartøy med ringnottillatelse (K01). Inkluderer også fartøy med andre tillatelser i tillegg til ringnottillatelsen (f. eks. pelagisk tråltillatelse (K05)).
03	Konvensjonelle havfiskefartøy	Fartøy med konvensjonell havfisketillatelse (D08).
04	Snurpere uten konsesjon (SUK)	Ringnotfartøy uten konsesjon (D03, D34) - kystfartøy.
05	Pelagisk trål	Fartøy med pelagisk tråltillatelse inkludert makrelltrål og NVG-trål (K05, K17, K18) og fartøy i størrelsen 28 meter eller over som har nordsjøtrålkonsesjon (K07).
06	Bunnfiskerier, kystfiskefartøy	"Rene" kystfiskefartøy innenfor bunnfiskeriene - fartøy som har konvensjonell kystfisketillatelse for fiske etter torsk, hyse og sei (D07 eller D30), men som ikke har pelagisk kystfisketillatelse (D01, D02, D15, D16, D14 eller D28). Fartøyene har heller ikke tillatelse for ringnotfartøy uten konsesjon (D03 eller D34). Fartøyene kan ha seinottillatelse (D05 eller D29) eller andre tillatelser. Fartøyene kan også ha seinottillatelse som eneste tillatelse.
07	Pelagiske fiskerier, kystfiskefartøy	"Rene" kystfiskefartøy innenfor pelagiske fiskerier - fartøy som har pelagisk kystfisketillatelse (D01, D02, D15, D16, D14 eller D28), men som ikke har konvensjonell kystfisketillatelse (D07 eller D30). Fartøyene kan ha seinottillatelse (D05 eller D29) eller andre tillatelser i tillegg. Fartøyene har ikke tillatelse for ringnotfartøy uten konsesjon (D03 eller D34).
08	Kombinerte kystfiskefartøy innen bunn- og pelagiske fiskerier	Kombinerte kystfiskefartøy innen både bunnfiskerier og pelagiske fiskerier. Fartøy som både har pelagisk kystfisketillatelse (D01, D02, D15, D16, D14 eller D28) og konvensjonell kystfisketillatelse (D07 eller D30). Fartøyene kan ha seinottillatelse (D05 eller D29) eller andre tillatelser i tillegg. Fartøyene har ikke tillatelse for ringnotfartøy uten konsesjon (D03 eller D34).
09	Rekestrål, kystfiskefartøy	Kystfiskefartøy med rekestråltillatelse (D13) og rekestråltillatelse (K03) dersom fartøyet er under 28 meter største lengde. Fartøy som i tillegg til rekestråltillatelse har tillatelser som er spesifisert i egne grupper er ikke inkludert i denne gruppen.
10	Andre havfiskefartøy med tillatelse	Fartøy som har andre havfisketillatelser enn torskestrål, seistrål, ringnot, konvensjonelle, pelagisk trål, rekestrål (K06, K15, K01, D08, K05, K17, K18, K03). Gruppen inkluderer bla. fartøy med fjernfisketillatelse (K19) og fartøy større eller lik 28 meter største lengde som har avgrenset nordsjøtråltillatelse, loddetråltillatelse, vassildtråltillatelse eller raudåtråltillatelse (K08, K09, K11, K22, K23, K24) og ikke har andre tillatelser som er spesifisert i egen gruppe.

KODE	NAVN	BESKRIVELSE
11	Andre kystfiskefartøy med tillatelse	Fartøy som har andre kystfisketillatelser enn konvensjonelle, pelagisk, SUK, reke. Fartøy mindre enn 28 meter største lengde som har nordsjøtråltillatelse, avgrenset nordsjøtråltillatelse, loddetråltillatelse, vassildtråltillatelse eller råddåtetillatelse (K08, K09, K11, K22, K23, K24) og ikke har andre tillatelser som er spesifisert i egen gruppe er inkludert i denne gruppen.
12	Andre fartøy	Her inngår fartøy som ikke har tillatelser i lukkede fiskerier samt fartøy som kun har vågehvaltillatelse (D11).

Denne inndelingen likner den som benyttes i Lønnsomhetsundersøkelsen, men det vil ikke være en eksakt korrespondanse mellom disse. Fiskeridirektoratet forklarer dette slik i en e-post:

«I forbindelse med gruppering av alle fartøy i merkeregisteret pr. 31.12. det enkelte år, ser vi kun på hvilke fisketillatelser fartøyene har og grupperer ut fra de «fangstmulighetene» fartøyene har. I forbindelse med lønnsomhetsundersøkelsen ser vi også på fartøyenes faktiske driftsmønster ved hjelp av data fra landings- og slutseddel-systemet. Grupperingen som blir gjort av populasjonen i lønnsomhetsundersøkelsen er derfor basert på hvilke «fangstmuligheter» fartøyene faktisk har benyttet seg av og det er fangstinntekten i det enkelte fiskeri og innen de enkelte redskapsgrupper som er avgjørende for innplassering. Gruppeinndelingen samsvarer ikke helt mellom lønnsomhetsundersøkelsen og den vi nå har gjort for alle fartøy i merkeregisteret, men i den grad den samsvarer vil det likevel kunne forekomme forskjeller i innplassering av enkeltfartøy da alle fangstmuligheter ikke nødvendigvis blir benyttet eller benyttes mindre enn andre fangstmuligheter fartøyet har.»

Med bakgrunn i Fiskeridirektoratets klassifisering av fangstmuligheter per fartøy lager vi en segmentering av fiskeflåten som i størst mulig grad samsvarer med kategoriene i Lønnsomhetsundersøkelsen. Klassifiseringen er også valgt på bakgrunn av preliminære studier av utvalgsundersøkelsene til Lønnsomhetsundersøkelsen. Tabell 2.7 gir en beskrivelse av den foreslåtte koplingen mellom fartøyklassifiseringen i Lønnsomhetsundersøkelsen og klassifiseringen i tabell 2.6.

Tabell 2.7: Kryssløpstabell for segmentering av fartøy i Fiskeridirektoratet lønnsomhetsundersøkelse (radvis) og Fiskeridirektoratets klassifisering av fangstmuligheter (kolonnevis).

	Kystfartøy	Konv havfiske	Kystreke-trål	Pelagisk trål	Ringnot	Torske-trål	Kystnot	Krabbe-fartøy	Andre fartøy
Torske-trål inkl. trålere i andre bunnfiskerier						X			
Ringnot					X				
Konvensjonelle havfiskefartøy		X							
Snurpere uten konsesjon (SUK)							X		
Pelagisk trål				X					
Bunnfiskerier, kystfiskefartøy	X								
Pelagiske fiskerier, kystfiskefartøy							X		
Kombinerte kystfiskefartøy innen bunn- og pelagiske fiskerier	X								
Reke-trål, kystfiskefartøy			X						
Andre havfiskefartøy med tillatelse								X	

	Kyst- fartøy	Konv havfiske	Kystreke- trål	Pelagisk trål	Ringnot	Torske- trål	Kystnot	Krabbe- fartøy	Andre fartøy
Andre kystfiskefartøy med tillatelse	X								
Andre fartøy									X

2.2.1.2 Korrespondanse mellom segmenteringen av infrastrukturmodellen og Lønnsomhetsundersøkelsen

I tråd med Lønnsomhetsundersøkelsen deles kategorien Kystfartøy inn i 4 lengdegrupper (under 11 meter, 11-15 meter, 15-21 meter, over 21 meter største lengde) og kategorien Kystnot inn i 3 lengdegrupper (Under 11 meter, 11-21 meter, over 21 meter største lengde). Tabell 2.8 beskriver korrespondansen mellom segmenteringen av fiskeflåten benyttet til infrastrukturanalysene og segmenteringen i utvalgsundersøkelsene til Lønnsomhetsundersøkelsen til Fiskeridirektoratet.

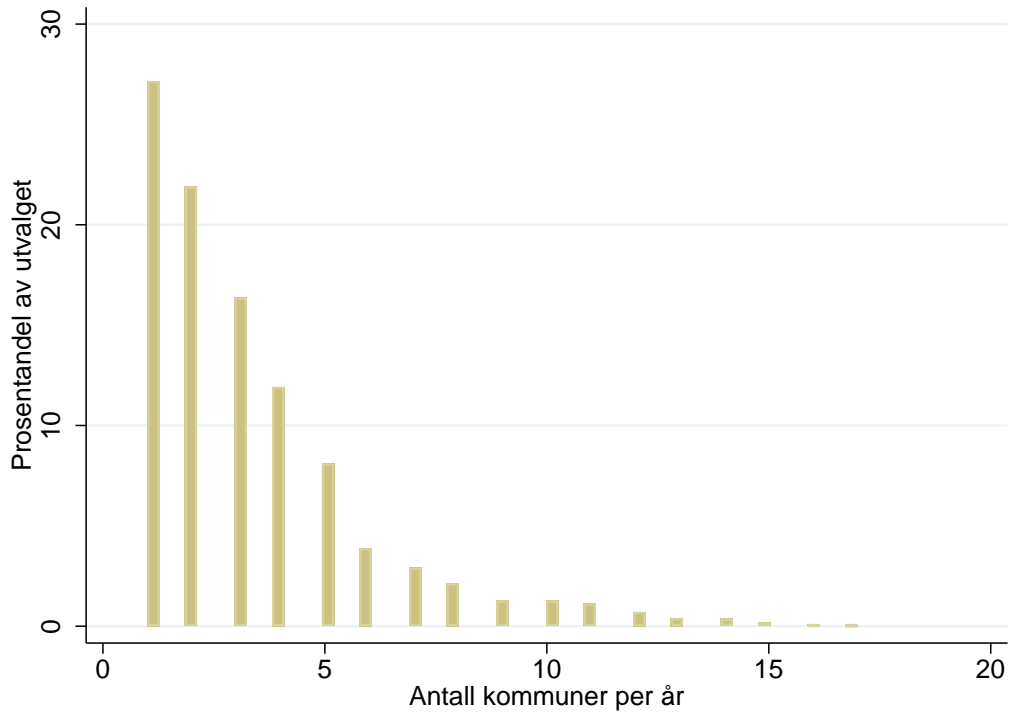
Tabell 2.8: Korrespondanse mellom klassifiseringer i Lønnsomhetsundersøkelsen (kolonnevis) og FiSceMods segmentering (radvis). Tabellen viser antall fartøyer i ulike kategorier.

	Konvensjonell hav	Konvensjonell kyst	Krabbe-fartøy	Kyst-not	Pelagisk trål	Reke-trål,hav	Reketrål, kyst	Ring-not	Torske trål
Kystfartøy 0-11	0	1 040	0	17	0	0	3	0	0
Kystfartøy 11-15	0	1 396	0	101	0	0	21	0	0
Kystfartøy 15-21	0	498	0	44	0	0	10	0	0
Kystfartøy 21-	0	531	0	485	0	0	5	0	2
Andre fartøy	10	357	14	5	0	0	150	17	38
Konvensjonelle hav	437	0	0	0	0	0	0	0	0
Krabbefartøy	0	0	16	0	5	0	3	0	19
Kystnot 0-11	0	44	0	94	0	0	9	0	0
Kystnot 11-21	0	23	0	99	0	0	45	0	0
Kystnot 21-	0	7	0	343	3	0	3	1	0
Kystreketrål	0	1	0	0	0	0	277	0	1
Pelagisk trål	0	1	0	5	297	0	29	0	12
Ringnot	0		0	0	0	0	0	1 252	0
Torsketrål	1	0	1	0	0	47	0	0	701

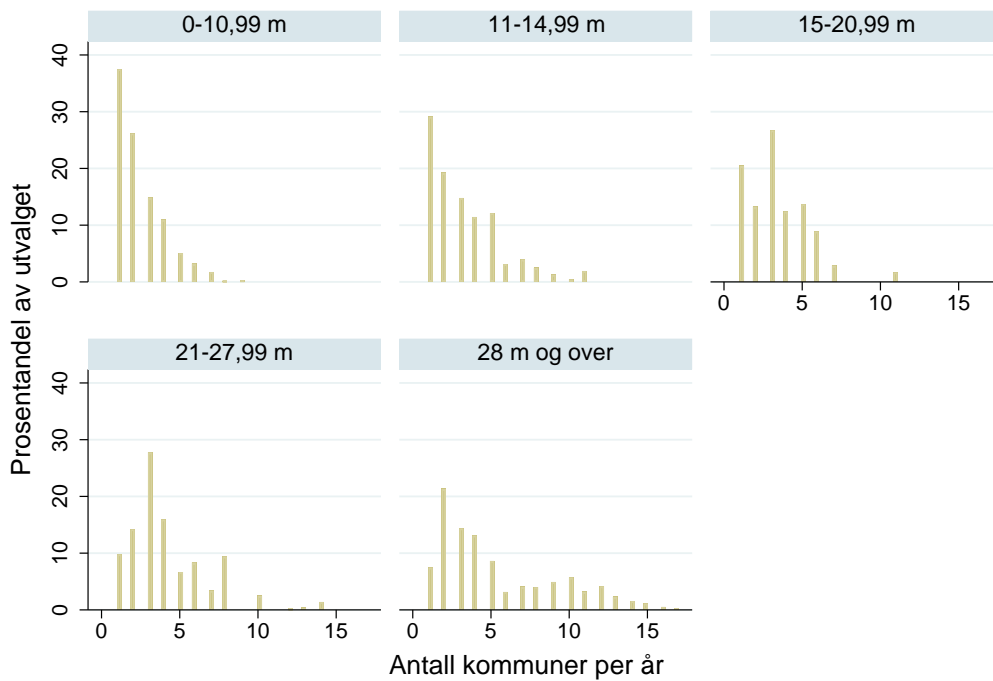
2.3 Landinger i norske fiskerikommuner

En sentral problemstilling når man diskuterer lokalisering av infrastruktur for alternative drivstoff er fartøyenes tilgang til alternative drivstoff på de lokasjonene hvor det landes fisk. Koplingen mellom det enkelte fiskefartøys fangst og valg av lokasjon for landing av fisk framgår av Landings- og sluttseddelregisteret. Det er i praksis to variabler som beskriver landing og levering av fisk i datasettet: *Mottaksstasjon* og *Landingskommune*, hvorav den førstnevnte ikke kvalitetssikres av Fiskeridirektoratet. Etter samtale med Fiskeridirektoratet har vi kommet fram til at landingskommune er den minste geografiske enheten dataene i Landings- og sluttseddelregisteret kan brytes ned på. Dette betyr at vi ikke er i stand til å analysere lokalisering av infrastruktur for den enkelte fiskerihavn, men vi mener allikevel at en beregning av lokalisering av infrastruktur på kommunenivå vil gi en tilstrekkelig god beskrivelse til å møte målet til dette forskningsprosjektet.

I FisceMod legger vi til grunn at fartøyene som «velges ut» til konvertering til alternativ drivstoff skal ha tilgang til infrastruktur for fylling av alternative drivstoff i alle fiskerikommuner som besøkes av fartøyene. Infrastrukturbehovet bestemmes dermed av fartøyenes landingsmønster. Figur 2.9 og figur 2.10 gir en overordnet beskrivelse av antall landingskommuner et fartøy besøkte i løpet av 2021. Den førstnevnte figuren gir sammenstilling for hele utvalget, mens den sistnevnte analyserer antall landingskommuner etter største lengde. Figurene viser at majoriteten av fartøyene besøker mer enn én kommune per år, og at de lengste fartøyene besøker flere kommuner i snitt per år enn de korteste fartøyene.



Figur 2.9: Antall landingskommuner per fartøy som møter inntektskriteriet i Lønnsomhetsundersøkelsen. Kilde: Landings- og sluttsedelregisteret 2021 og Merkeregisteret.



Figur 2.10: Antall landingskommuner per fartøy som møter inntektskriteriet i Lønnsomhetsundersøkelsen, etter største lengde. Kilde: Landings- og sluttsedelregisteret 2021 og Merkeregisteret.

3 Metodetilnærming og analyse

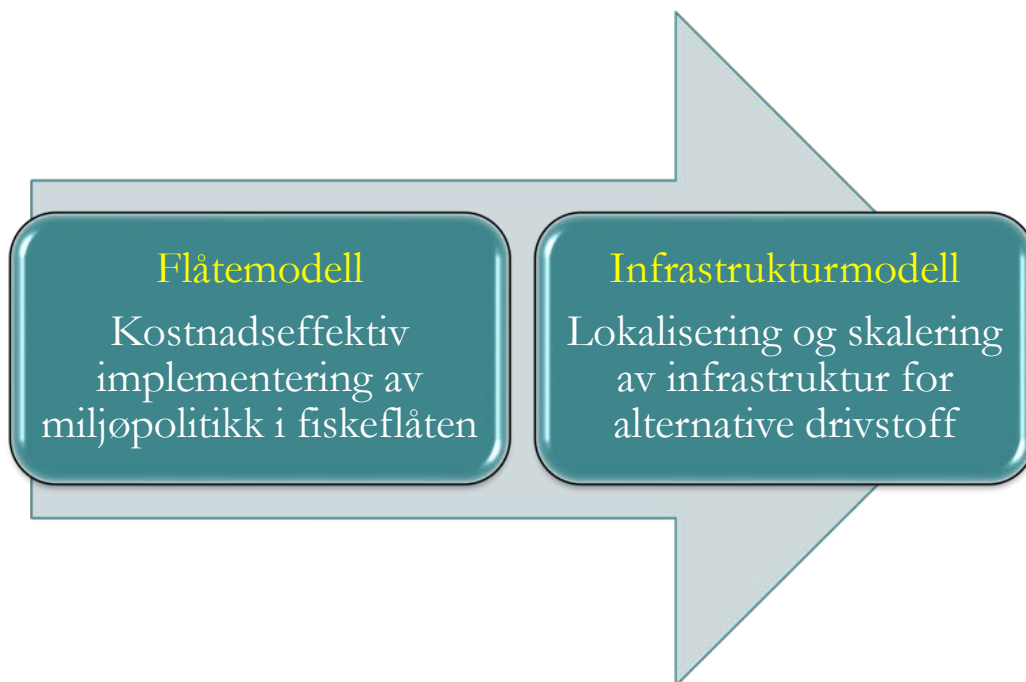
3.1 Problembeskrivelse

Arbeidspakke 3 i FHF-prosjektet *Utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag for reduksjon av CO₂-utslipp fra fiskeflåten på kort (2030) og lang sikt (2050)* har mål om å utvikle grønne scenarier for fiskeflåten, samt å diskutere det tilknyttede behovet for landbasert infrastruktur for alternative drivstoff. For å nå disse målene har vi i prosjektet utviklet en metodikk basert på operasjonsanalyse bestående av to separate modellsystemer:

1. **Flåtemodellen:** Beskriver nødvendig flåtefornying og utslippsreducerende tiltak i fiskeflåten for å nå et karbonbudsjett til lavest mulig tiltakskostnad
2. **Infrastrukturmodellen:** Planleggingsmodell for lokalisering og skalering av infrastruktur for alternative drivstoff

Modellene har ulik grad av aggregering: Flåtemodellen har ingen geografisk dimensjon mens infrastrukturproblemet tar utgangspunkt i forsyningen av alternative drivstoff i fiskerikommunene.

Modellene knyttes sammen ved at flåtemodellen benytter informasjon om kostnader ved tekniske og operasjonelle tiltak til å kutte utslipp av klimagasser til å beregne forventet framtidig utvikling av fiskeflåten. Resultatene fra denne kartleggingen benyttes deretter i infrastrukturmodellen til å velge ut behovet for og lokalisering av landbasert infrastruktur for bunkring av alternative drivstoff. Sammenhengen mellom de ulike delene av scenariomodellen FiSceMod illustreres av figur 3.1.



Figur 3.1: Sammenhengen mellom delene av modellsystemet FiSceMod.

Arbeidspakke 3 fokuserer på status for grønt skifte i fiskeflåten i 2030. Samtidig er det viktig å ta inn over seg at 2030 kun er en milepæl på veien mot Norge som et nullutslippssamfunn i 2050. Siden investeringer i kapital (dvs. fiskebåter og energisystemer) er langsiktige er det hensiktsmessig å velge en

lang tidshorisont for analysene (i vårt tilfelle 2050), men å legge vekt på utviklingen fram til 2030 i resultatrapporteringen. Tidsoppløsningen til FiScMod illustreres av figur 3.2. For å forenkle analysene forutsetter vi at nye beslutninger fattes hvert 5. år til og med 2050.



Figur 3.2: Modellens investeringshorisont.

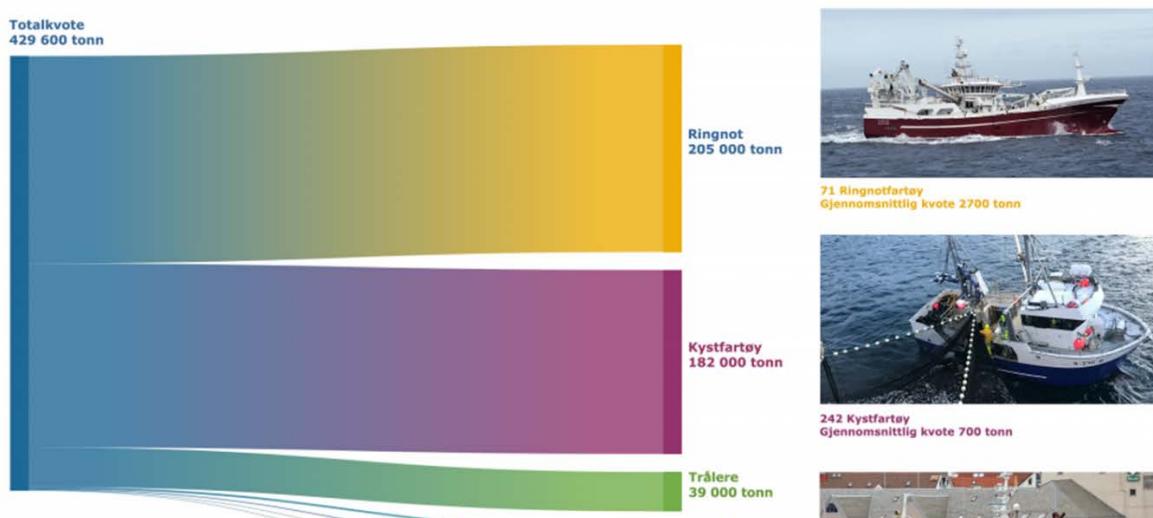
For å forklare valget av tidshorisont for modellen nærmere kan vi for eksempel se på infrastruktur for alternative drivstoff: Hvis vi *kun* baserer infrastrukturbehovet på eksisterende eller planlagte lav- og nullutslippsfartøy vil konklusjonen være at det er tilnærmet ingen behov for infrastruktur i 2030. En infrastrukturutvikler vil derimot spørre seg om hvordan man forventer at etterspørselen blir i framtiden, og hvor stor kapasiteten til infrastrukturen bør være i 2030 for å kunne håndtere en vekst i etterspørselen i de kommende årene. Resultatet med tanke på hva infrastrukturbehovet i 2030 kan forventes å være blir derfor veldig ulikt dersom man legger denne tankegangen til grunn. Vi mener at en langsiktig planlegging som tar hensyn til mulig nytte og kostnader ved investeringer i framtiden vil være det riktige perspektivet, og dette er følgelig det som benyttes i vår langsiktige analyser.

Vi gir nå generelle problembeskrivelse for infrastruktur- og flåteproblemet.

3.1.1 Beskrivelse av flåtemodellen

I FiScMod deles næringen inn i flere fartøygrupper, v , hvor hver fartøygruppe representeres av gjennomsnittlige fartøy. Fartøygruppene i modellen tilsvarer gruppene i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse, og basispopulasjonen i modellen er beskrevet av tabell 2.5.

Det antas som utgangspunkt en fast fordeling av fiskekvoter mellom fartøygruppene – som illustrert av figur 3.3 (som er kun ment som en visualisering av fordelingen mellom fartøygruppene og som ikke presenterer tall benyttet til kalibreringen av FiScMod) – beregnet basert på rapporterte fangstmengder for de ulike fartøygruppene i Lønnsomhetsundersøkelsen. Videre gjøres det antakelser (dvs. scenarier) om utviklingen av den totale fiskekvoten i hver periode t , dvs. hvert femte år mellom 2025 og 2050. Som basisscenario antar vi at fartøygruppene fiskekvoter er konstante over tid og lik kvoten i basisåret. Det legges som et premiss at gruppene i modellen skal ha tilstrekkelig samlet fangstkapasitet til å fange den totale kvoten som tildeles i hver av periodene som inngår i modellen.



Figur 3.3: Illustrasjon av fordeling av kvote mellom grupper. Kilde: Fiskeridirektoratet.

Flåtemodellen omfatter ulike teknologiløsninger e , herunder både konvensjonelle dieselfartøy, hybride dieselfartøy (med hydrogen) og alternative energibærere (metanol, ammoniakk og LNG). Disse løsningene er tilgjengelig for en fartøygruppe dersom teknologien er vurdert som *teknisk mulig* fra og med en bestemt tidsperiode t . For eksempel antar vi generelt at metanol blir kommersielt tilgjengelig for større fiskefartøy fra 2030, mens ammoniakk blir kommersielt tilgjengelig for større fiskefartøy fra 2040.

Flåtemodellen tar utgangspunkt i dagens flåte og framskriver dens utvikling fram mot 2050. Dette gjøres ved å dele hver flåtegruppe v inn etter aldersgruppe a , hvor aldersgruppene spenner fra 0 til 60 år og deles i 5-årige intervaller. Dvs. at den første aldersgruppen dekker fartøy med alder 0-4 år, den andre gruppen dekker fartøy med alder 5-9 år og så videre. Totalt er det 13 fartøygrupper gange 13 aldersgrupper i FiSceMod, noe som betyr at modellen totalt består av (13×13) 169 modellagenter (per energibærer) som skal fatte sine beslutninger i hver tidsperiode t fram mot 2050.

I hver periode t antas det at alle eksisterende fartøy som når forventet alder a i flåtegruppe v og teknologitype e kasseres. Disse må da erstattes med nye fartøy, noe som gir en mulighet for innføring av alternative drivstoff i fiskeflåten. Det antas også at konvensjonelle dieselfartøy kan ombygges for å ta i bruk enkelte alternative drivstoff (dvs. metanol og ammoniakk). I begge tilfeller påløpes investeringskostnader ved å ta i bruk utslippsreducerende teknologier.

Formålet til flåtemodellen er å identifisere måter å drive norske fiskerier på som gir de laveste (diskonterte) produksjonskostnadene for perioden 2020 til 2050. Det innebærer at modellen tar de valg om investeringer i nybygg eller ombygg av fartøy (dvs. investeringskostnader) samt bruk av energi- og andre innsatsfaktorer (dvs. driftskostnader) som minimerer kostnadene ved å fange totalkvotene i hver flåtegruppe v samtidig som sektoren overholder en totalkvote for utslipp av klimagasser. Utslippene av klimagasser avhenger direkte av omfanget av flåtegruppens energiinnsats og hvilken type energibærer e fartøyene benytter, noe som modelleres eksplisitt i FiSceMod.

Ressursbruk til fangst av fisk er i FiSceMod representert ved bruk av produktfunksjoner som er estimert ved hjelp av ikke-parametrisk regresjonsanalyse (såkalt konveks regresjon) anvendt på utvalgsundersøkelsene til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. Vi viser til kapittel 4.2 for en beskrivelse av dette modellverktøyet som er mye brukt til analyser innen fiskerikøkonomi. Vi modellerer produksjonen av fisk ved bruk av *fartøygruppespesifikke* produktfunksjoner bestående av *et* produkt (rundvekt fisk) og *tre* innsatsfaktorer (energiinnsats, arbeidsinnsats og fartøykapasitet målt ved Vessel Capacity Units (VCU)). Mengden energiinnsats og arbeidsinnsats bestemmes endogent av FiSceMod, mens VCU bestemmes basert på historisk fartøykapasitet innen den enkelte gruppe. Dette gjøres for å sikre overenstemmelse mellom reguleringen av fiskerisektoren og parameterne i FiSceMod.

Scenarioanalyser gjennomføres ved at det velges et karbonbudsjett i hver periode t som næringen må overholde. Det vil si at summen av beregnede utslipp fra alle fartøygrupper v og teknologigrupper e (jf. beskrivelse i forrige avsnitt) må være mindre eller lik karbonbudsjettet. Målet til flåtemodellen er å velge miksen av teknologier e per fartøygruppe v og tidsperiode t som gjør det mulig å oppfylle karbonbudsjettet og samtidig fange den normerte fiskekvoten til lavest mulig kostnad.

3.1.2 Beskrivelse av infrastrukturmodellen

Mens flåtemodellen behandler total årlig produksjon av fisk er det i analysen av infrastrukturbehovet mer relevant å se på energibehovet over en kortere periode, f.eks. på en dag eller en uke. Vi følger Berg mfl. (2023) og tar utgangspunkt i etterspørselen etter energi i en fiskerikommune – kartlagt ut fra landingsmønsteret til eksisterende fiskefartøyer fra Landings- og sluttseddelregisteret – i løpet av en uke i beregningene av lagerkapasitet for alternative drivstoff. Beregningene til Berg mfl. (2023) viser tydelig at storskala produksjon av alternative drivstoff med transport til fyllingsstasjon er økonomisk mer gunstig enn lokal produksjon av alternative drivstoff. Vi ser derfor bort fra lokal produksjon av drivstoff i

infrastrukturanalysen og fokuserer på dimensjonering av *bunkringsstasjoner* for alternative drivstoff. Dette innebærer også at det ikke er behov for å se på utvidelser av strømmettet i disse analysene.

I analysen av lokalisering av fyllinfrastruktur tar vi utgangspunkt i landingsmønsteret til eksisterende fiskefartøy i 2022 og vurderer behovet for lagring av drivstoff i fiskerikommunene forbundet med å «konvertere» et bestemt antall eksisterende fartøy fra ulike fartøysgrupper – dvs. antallet fartøy som velges av flåtemodellen i FiSceMod – om til fartøy som bruker alternative drivstoff. Formålet til infrastrukturproblemet er å minimere behovet for etablering av infrastruktur for alternative drivstoff. Det innebærer i praksis å investere i infrastruktur i kommuner hvor mange fartøyer har anledning til å dele på den, for å få færrest mulige investeringer totalt sett.

Viktige bibetingelser til infrastrukturproblemet er at antallet fartøy som velges ut til bruk av alternative drivstoff skal være identisk med beregningene til flåtemodellen og at det skal installeres infrastruktur i alle havner hvor et fartøy med alternative energibærere anløper. For å gjøre dette mulig har vi kartlagt alle anløp registrert i Landings- og sluttseddelregisteret for 2022. Vi bruker også Landings- og sluttseddelregisteret til å kartlegge dimensjonerende fangstmengder per havn og fartøy. Disse konverteres videre til energiforbruk ved å bruke rapportert energibehov per mengde fanget fisk i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. Dette gjør det mulig å estimere energibehovet for hver enkelt fiskerikommune og for fiskebåtene som anløper i disse havnene.

Kunnskapen om energimengder per havn og fiskefartøy benyttes deretter til å velge ut hvilke *eksisterende* fiskefartøy som ville gitt lavest mulige infrastrukturbehov, dersom et forhåndsdefinert antall konvensjonelle fartøyer skal konverteres til lav/nullutslippsfartøy. Løsningen til problemet gir informasjon både om optimal lokalisering og kapasitet til landbasert infrastruktur under forutsetningene om at landingsmønsteret til fartøyene forblir uendret.

3.1.3 Kort om plassering i den vitenskapelige litteraturen

FiSceMod kombinerer elementer fra mange tidligere tiltaksanalyser. Overordnet har flåtemodellen flere likheter med fartøymodellen til Eide mfl. (2011), som kjennetegnes ved at den beskriver klimagassutslipp og tiltak innen den maritime flåten ved bruk av et eksempelfartøy innen hver aktuell fartøykategori. Denne modellen er tilpasset til innenriks skipstrafikk i DNV GL (2019) og er benyttet til tiltaksanalyse i KLIMAKUR (Miljødirektoratet, 2020). I motsetning til Eide mfl. (2011) gir FiSceMod en langt mer detaljert beskrivelse av fartøygruppene i fiskerisektoren, og den gir også en aldersinndeling av fartøyene i fiskeflåten.

FiSceMod benytter levetidsanalyse til å beskrive utskiftningen av fiskefartøyene i flåten. Dette er en metodikk som er mye brukt innen transportanalyse, bl.a. til å analysere den dynamiske utviklingen av bilparken. Eksempel på bruk av denne metodikken finnes bl.a. i Fridstrøm mfl. (2016) og Thorne mfl. (2021).

Et annet element i FiSceMod er bruken av produktfunksjoner til å beskrive ressursinnsatsen innen fangst av fisk. Denne typen analyse – kalt produksjonsanalyse eller produktivitets- og effektivitetsanalyse – er nylig benyttet av Roll mfl. (2022) til å analysere effekten av en drivstoffbeskatning for norske fiskerier. I FiSceMod benyttes forhåndsestimerte *produktfunksjoner* som input til det overordnede flåteproblemet, og modellen tillater et samspill mellom flåtegruppene når det gjelder implementeringen av utslippsreducerende tiltak slik at sektoren kan møte sine utslippskrav til lavest mulig kostnad. En produksjonsmodell med mulighet for ressursallokering mellom ulike grupper kalles gjerne en nettverksteknologi (*network technology*) i litteraturen om produktivitetsanalyse (se Färe og Grosskopf, 2000).

I tillegg til å beskrive allokeringen *mellom* grupper beskriver FiSceMod også utviklingen til flåten *over tid*. Dette gjør modellen til et dynamisk optimeringsproblem, med likhet til f.eks. modellen til Bostian mfl. (2018) som studerer allokering av ressurser mellom tidsperioder.

I det følgende gir vi en matematisk beskrivelse av modellapparatet.

3.2 Notasjon

Sett

\mathcal{V}	Settet av fartøygrupper
\mathcal{E}	Settet av energibærere. Subsettene \mathcal{E}^F , \mathcal{E}^H og \mathcal{E}^{ZE} omfatter hhv. energityper som anvender fossilt drivstoff, hybrid framdrift og alternative energityper som muliggjør nullutslippsdrift.
\mathcal{K}	Settet av hyperplan som inngår i konveks regresjon
\mathcal{T}	Settet av investeringsperioder
\mathcal{A}	Settet av aldersgrupper. Settene \mathcal{T} og \mathcal{A} definerer til sammen kohorter av fiskefartøy.
\mathcal{F}	Settet av eksisterende fiskerfartøy (til infrastrukturmodell)
\mathcal{P}	Settet av landingskommuner (til infrastrukturmodell)
\mathcal{G}	Settet som definerer teknologimuligheter: $\mathcal{G} = \{\mathcal{V} \times \mathcal{E} \times \mathcal{T} : (\mathcal{V} \times \mathcal{E} \times \mathcal{T}) \text{ er mulig} \}$

Parametere

W_{vet}^F	Pris på fossile drivstoff i gruppe v med drivstoff av type e i tidsperiode t
W_{vet}^G	Pris på grønne drivstoff i gruppe v med drivstoff av type e i tidsperiode t
W_{vet}^{ZE}	Pris på alternative drivstoff i gruppe v av type e i tidsperiode t
W_{vt}^L	Pris per årsverk i gruppe v og tidsperiode t
C_{vet}^{NB}	Investeringskostnader for fartøy i gruppe v med drivstoff av type e i tidsperiode t
C_{vet}^{RB}	Kostnad ved retrofit av fartøy i gruppe v med drivstoff av type e i tidsperiode t
α	Andel reduksjon i konvensjonelt drivstofforbruk ved hybridisering
Q_{vt}	Total biomassekvote for fartøygruppe v i tidsperiode t
Q_v^{MAX}	Maksimalkvote per fartøy i fartøygruppe v
Q_v^0	Dagens totale fiskekvote tildelt fartøygruppe v
Q_{vta}^C	Fartøyskapasitet (VCU) til et fiskefartøy i gruppe v med alder a i tidsperiode t
Q_p^I	Forventet ukentlig energibehov per fartøy i landingskommune p

N_v^0	Dagens flåtestørrelse i fartøygruppe v
N_{vt}^I	Estimert størrelse på flåte som anvender alternative drivstoff i fartøygruppe v i periode t
Z_{vk}^0	Konstantledd i produktfunksjon, for fartøygruppe v og hyperplan k
Z_{vk}^E	Gradient av produktfunksjon i energibruk, for fartøygruppe v og hyperplan k
Z_{vk}^L	Gradient av produktfunksjon i årsverk, for fartøygruppe v og hyperplan k
Z_{vk}^C	Gradient av produktfunksjon i fartøykapasitet (VCU), for fartøygruppe v og hyperplan k
S_{va}	Andelen av eksisterende fartøy i gruppe v med alder a som er i flåten i neste periode
B_t	Maksimalt tillatte utslipp av klimagasser i tidsperiode t
E_{eta}	Utslippsfaktor for drivstoff av type e i tidsperiode t for et fartøy med alder a
E_v^I	Gjennomsnittlig utslippsfaktor for fartøygruppe v
$\mathbb{1}_{fp}$	Indikatorfunksjon som er 1 hvis fartøy f anløper i landingskommune p , 0 ellers

Variabler

x_{veta}	Totalt energibruk (MGO-ekvivalent) for gruppe v med alder a og type e i tidsperiode t
x_{veta}^F	Fossilt energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
x_{veta}^G	Grønt energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
x_{veta}^{ZE}	Alternativ energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
x_{veta}^{H-F}	Hybrid fossilt energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
x_{veta}^{H-G}	Hybrid grønt energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
x_{veta}^{H-ZE}	Hybrid alternativt energibruk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
l_{veta}	Totalt årsverk for gruppe v med alder a og energitype e i tidsperiode t
y_{veta}	Total fangstkapasitet i gruppe v med alder a og drivstoff av type e i tidsperiode t
n_{veta}	Antall fartøy i gruppe v med drivstoff av type e og alder a i tidsperiode t
n_{veta}^{RB}	Antall ombygde fartøy i gruppe v med drivstoff av type e og alder a i tidsperiode t
λ_{vft}	Binærvariabel som er 1 hvis fartøy f i fartøygruppe v velges av infrastrukturmodellen i tidsperiode t , og 0 ellers

3.3 Flåtemodellen

Flåtemodellen består av en målfunksjon og tilhørende bibetingelser.

3.3.1 Målfunksjonen

Målet til flåtemodellen er å minimere de samlede kostnadene knyttet til et grønt skifte i fiskeflåten. Dette gjøres ved å minimere målfunksjonen i (1):

$$\begin{aligned}
& \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}^F} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \mathcal{A}} (W_{vet}^F x_{veta}^F + W_{vet}^G x_{veta}^G) \\
& + \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}^H} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \mathcal{A}} (W_{vet}^F x_{veta}^{H_F} + W_{vet}^G x_{veta}^{H_G} + W_{vet}^{ZE} x_{veta}^{H_{ZE}}) \\
& + \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}^{ZE}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \mathcal{A}} W_{vet}^{ZE} x_{veta}^{ZE} + \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \mathcal{A}} W_{vt}^L l_{veta} \\
& + \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \{1\}} C_{vet}^{NB} n_{veta} + \sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}^{ZE}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{a \in \mathcal{A} \setminus \{1\}} C_{vet}^{RB} n_{veta}
\end{aligned} \tag{1}$$

Det første leddet utgjør kostnadene knyttet til drivstofforbruk til fiskefartøy som anvender konvensjonelle drivstoff, dvs. diesel- og gassfartøy. Vi antar at det samlede energiforbruket til fartøyene fordeles mellom fossilt (toppskrift F) og grønne (toppskrift G) drivstoff. Dette gjør det mulig å optimere graden av innblanding av bio- og grønne e-drivstoff i det konvensjonelle drivstoffet.

Det andre leddet utgjør samlede drivstoffkostnader til hybridfartøy. Disse fordeler seg mellom forbruk av alternativ energibærer og konvensjonelt drivstoff. I likhet med fiskefartøy som kun anvender konvensjonelle drivstoff antar vi her at graden av innblanding av bio- og e-drivstoff velges av modellen. Hybridfartøyene kan derfor oppnå status som nullutslippsfartøy gjennom innblanding.

Det tredje leddet definerer energikostnader for alternative drivstoff, mens det fjerde leddet definerer andre driftskostnader enn energikostnader. Vi anvender antall årsverk per fartøy til å måle ressursbruken, men benytter priser per årsverk som reflekterer totale driftskostnadene i norske fiskerier utenom energikostnader i beregningen av sekkeposten *andre driftskostnader*.

De to siste leddene i målfunksjonen er kapitalkostnader for fiskefartøy. Det femte leddet definerer kapitalkostnader ved anskaffelse av nybygg, mens det siste leddet definerer kostnadene ved å ombygge eksisterende dieselfartøy til nullutslippsfartøy gjennom ombygging til bruk av metanol eller ammoniakk.

3.3.2 Bibetingelser

Den første bibetingelsen til flåtemodellen, gjengitt av restriksjon 2, pålegger at det totale energiforbruket for operasjoner med fiskefartøy som er designet for bruk av fossile drivstoff utgjøres av summen av fossil og grønn energi. Det innebærer at det er mulig å blande inn opptil 100% bio- eller e-drivstoff i det fossile drivstoffet, noe som muliggjør nullutslipp også for den eksisterende fiskeflåten.

$$x_{veta} = x_{veta}^F + x_{veta}^G, \quad v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}^F, t \in \mathcal{T}, a \in \mathcal{A} \tag{2}$$

For hybridfartøy som anvender hydrogen antas det at forbruket av hydrogen er en konstant andel α av det totale energiforbruket til fartøyet, noe som defineres av restriksjon 3.

$$\alpha x_{veta} = x_{veta}^{H,ZE}, \quad v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}^H, t \in \mathcal{T}, a \in \mathcal{A} \quad (3)$$

Det resterende forbruket er konvensjonelt drivstoff, som deles mellom fossil og grønn diesel for å modellere graden av innblanding av bio- og grønne e-drivstoff. Dette forholdet er definert av restriksjon 4.

$$(1 - \alpha)x_{veta} = x_{veta}^{H,F} + x_{veta}^{H,G}, \quad v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}^H, t \in \mathcal{T}, a \in \mathcal{A} \quad (4)$$

Det fjerde settet av bibetingelser sier at flåtens fangstkapasitet må være tilstrekkelig til å fiske hver enkelt fartøygruppes kvote i hver tidsperiode fram mot 2050, noe som er definert av restriksjon 5.

$$\sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{a \in \mathcal{A}} y_{veta} \geq Q_{vt}, \quad v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} \quad (5)$$

Det femte settet av bibetingelser – definert av restriksjon 6 – garanterer at et fiskefartøy ikke kan lande mer enn den enkelte fartøygruppes maksimalkvote. Disse bibetingelsene sikrer dermed at modellen tar hensyn til gjeldende regler for fiskekvoter. Restriksjon 6 virker også som en såkalt Big-M-betingelse som sikrer at det ikke er mulig å fange fiske dersom antallet fartøy i en fartøygruppe, med gitt energibærer og for gitt kohort, er 0.

$$y_{veta} \leq Q_v^{MAX} n_{veta}, \quad v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}, t \in \mathcal{T}, a \in \mathcal{A} \quad (6)$$

Det sjette settet av bibetingelser – definert av restriksjon 7 – sikrer at gjennomsnittlig mengde fisk fanget per fartøy i en fartøygruppe er lik dagens gjennomsnittlig fangstmengde i hver av de påfølgende tidsperiodene. Denne betingelsen benyttes også til å ta hensyn til næringens kvoteregulering. Dersom disse bibetingelsene fjernes eller løses opp vil det medføre at modellen vil implementere strukturendringer i næringen ettersom det per i dag er utnyttede skalafordeler i fangst av fisk som følge av gjeldende reguleringer².

$$\sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{a \in \mathcal{A}} y_{veta} \leq \frac{Q_v^0}{N_v^0} \sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{a \in \mathcal{A}} n_{veta}, \quad v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} \quad (7)$$

² Det er mulig å implementere en forventet trend for flåtestrukturering ved å multiplisere dagens gjennomsnittlig fangstmengde med en faktor som gradvis øker over tid (f.eks. vil en 20% økning av dagens kvoter i 2050 innebære en faktor på 1.2 i 2050). Vi ser bort fra slike flåtestrukturscenarier i denne rapporten.

Helt sentralt i analysen er beregningen av ressursinnsats og flåtestørrelse som kreves for å fange den normerte fiskekvoten til hver enkelt fartøygruppe. Vi baserer disse beregningene på mikroøkonomisk produksjonsanalyse, gjennom å anvende empiriske produktfunksjoner for hver av fartøygruppene. Produktfunksjonene er beregnet ved konveks regresjon (Convex Nonparametric Least Squares, forkortet CNLS) anvendt på utvalgsundersøkelsene til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. Produktfunksjonene er definert av restriksjon 8. Videre informasjon om den ikke-parametriske regresjonsmodellen CNLS er gitt i kapittel 4. Merk at energi- og arbeidsinnsats er variabler i modellen, mens fartøykapasitet (VCU) er satt lik dagens fartøykapasitet og/eller framskrevet kapasitet basert på dagens fartøystørrelser. Grunnen er at fartøyspesifikasjoner er et viktig kriterium i reguleringen av norske fiskerier. Merk at produktfunksjonene er estimert per fartøy, men ganges i restriksjon 8 opp med antall fartøyer i flåten for å beregne total produksjon per flåte- og aldersgruppe.

$$\begin{aligned} y_{veta} &\leq Z_{vk}^0 n_{veta} + Z_{vk}^E x_{veta} & v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}, k \in \mathcal{K}, t \in \mathcal{T}, \\ &+ Z_{vk}^L l_{veta} + Z_{vk}^C Q_{vta}^C n_{veta}, & a \in \mathcal{A} \end{aligned} \quad (8)$$

Det åttende settet av bibetingelser – definert av restriksjon 9 – sikrer at flåtestørrelsen alltid er null for energityper som ikke er teknisk mulig å implementere i en fartøygruppe i en bestemt tidsperiode. Dette sikrer også at produksjonen og energibruken vil være null for disse segmentene.

$$n_{veta} = 0, \quad (v, e, t) \notin G \quad (9)$$

De neste bibetingelsene sikrer konservering av fiskefartøy over tid. Det betyr at antall fartøy i flåten i en periode også vil være i flåten i neste periode, fratrukket de fartøyene som går ut av flåten grunnet salg til utlandet eller skraping. Til å beregne det sistnevnte benytter vi parameteren S_{va} – den såkalte hazard-funksjonen – som gir et empirisk mål på andelen av eksisterende fartøy i gruppe v med alder a som forventes å være tilbake i flåten i neste periode (i FiScMod betyr det om 5 år). I den første perioden (dvs. basisåret) settes variabelen n_{ve1a} lik populasjonen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse og alle endringer i flåten beregnes ut fra dette utgangspunktet.

Restriksjon 10 beskriver konservering av fartøy med konvensjonell dieseldrift. Siden det er mulig å bygge om eksisterende dieselfartøy til bruk av metanol eller ammoniakk trekkes n_{veta}^{RB} fra den eksisterende flåten ved eventuell ombygging av fartøyene.

$$n_{ve,t+1,a+1} = \left(n_{veta} - \sum_{e \in \mathcal{E}^{ZE}} n_{veta}^{RB} \right) S_{va}, \quad \begin{aligned} v \in \mathcal{V}, e \in \{Diesel\}, \\ t \in \mathcal{T}/\{T\}, a \in \mathcal{A} \end{aligned} \quad (10)$$

Restriksjon 11 beskriver tilsvarende konservering av fartøy med alternative drivstoff.

$$n_{ve,t+1,a+1} = (n_{veta} + n_{veta}^{RB}) S_{va}, \quad \begin{aligned} v \in \mathcal{V}, e \in \mathcal{E}^{ZE}, \\ t \in \mathcal{T}/\{T\}, a \in \mathcal{A} \end{aligned} \quad (11)$$

For de øvrige energitypene antas det ingen mulighet for ombygging av fartøyene, og konserveringsbetingelsene blir da enklere, som vist av restriksjon 12:

$$\begin{aligned} n_{ve,t+1,a+1} &= n_{veta} S_{va}, & v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} / \{T\}, a \in \mathcal{A} \\ & & e \in \mathcal{E}^F \setminus \{Diesel\} \cup \mathcal{E}^H, \end{aligned} \quad (12)$$

Til sist definerer vi karbonbudsjettet. Dette sikrer at modellen finner kostnadseffektive løsninger for grønt skifte i fiskeflåten som er kompatible med Norges (forventede) klima- og miljøpolitikk fram mot 2050.

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{a \in \mathcal{A}} E_{eta} (x_{veta}^F + x_{veta}^{H.F}) \leq B_t, \quad t \in \mathcal{T} \quad (13)$$

3.4 Infrastrukturmodellen

Dette kapitlet diskuterer modellering av behovet for fyllinfrastruktur for alternative drivstoff som følge av energibehovet som estimeres av flåtemodellen i FiScMod.

3.4.1 Målfunksjon

Målet til infrastrukturanalysen er å identifisere de lavest mulige infrastrukturkostnader forenelig med det grønne skiftet, gjennom å velge ut de fartøy og landingskommuner som kunne hatt de teoretisk sett laveste infrastrukturkostnadene dersom de ble byttet ut med fartøyer som anvender alternative drivstoff. Denne utvelgelsen gjøres ved å benytte binærvariabelen λ_{vft} til seleksjon av fartøyer. Denne variabelen beregner i praksis antall fartøyer som «tar i bruk» alternative drivstoff. Ved å gange antallet fartøy opp med ukentlig energibehov per fartøy og havn Q_p^I får vi et estimat på det ukentlige drivstoffbehovet. Merk at bruken av indikatormatrisen $\mathbb{1}_{vfp}$ impliserer at det skal tilbys infrastruktur i *alle* havner besøkt av de utvalgte fartøyene. Q_p^I beskriver forventede ukentlig energibehov per fartøy i landingskommune p , og målet til infrastrukturmodellen er å minimere det totale behovet for fylling av energi i land:

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} \sum_{f \in \mathcal{F}} \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{t \in \mathcal{T}} Q_p^I \mathbb{1}_{vfp} \lambda_{vft} \quad (14)$$

3.4.2 Bibetingelser

Den første av bibetingelsene sier at antall fartøyer valgt i infrastrukturmodellen skal være identisk med antall fartøyer med alternative energibærere i flåtemodellen (gitt ved parameteren N_{vt}^I).

$$\sum_{f \in \mathcal{F}} \lambda_{vft} \geq N_{vt}^I, \quad v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T} \quad (15)$$

Den andre bibetingelsen sikrer at dersom et fartøy f er valgt i periode t , så vil det også velges i de følgende periodene. Hensikten er å modellere at infrastrukturen ikke skal bygges ned over tid, men bygges kumulativt.

$$\lambda_{vf,t+1} \geq \lambda_{vft}, \quad v \in \mathcal{V}, f \in \mathcal{F}, t + 1 \in \mathcal{T} \quad (16)$$

4 Modellparametere og implementering

For å kunne implementere FiSceMod kreves en rekke parametere, dvs. informasjon om dagens fiskeflåte og om framtidige energibærere og fartøyteknologier. Dette kapitlet gir en oversikt over de datakildene som er benyttet og hvordan parameterne er utledet.

4.1 Basispopulasjonen i flåtemodellen i FiSceMod

Som beskrevet i kapittel 2.2 utgjør populasjonen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse basispopulasjonen i FiSceMod. Totalt inngår det 13 fartøygrupper (med indeks v i modellbeskrivelsen i kapittel 3) i modellen, slik det ble beskrevet av tabell 2.5. Basispopulasjonen innen de 13 fartøygruppene deles videre inn i aldersgrupper (med indeks a i modellbeskrivelsen i kapittel 3) basert på data fra utvalgsundersøkelsen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse for 2021³. Totalt behandler FiSceMod 13 aldersgrupper, noe som betyr at FiSceMod omfatter (13×13) 169 modellagenter (per energibærer) totalt. Tabell 4.1 gir en oversikt over fordelingen av basispopulasjon mellom de 169 agentene (for energigruppen *dieselfartøyer*).

Tabell 4.1: Antall fartøy i basispopulasjonen til FiSceMod, etter fartøy- og aldersgruppe.

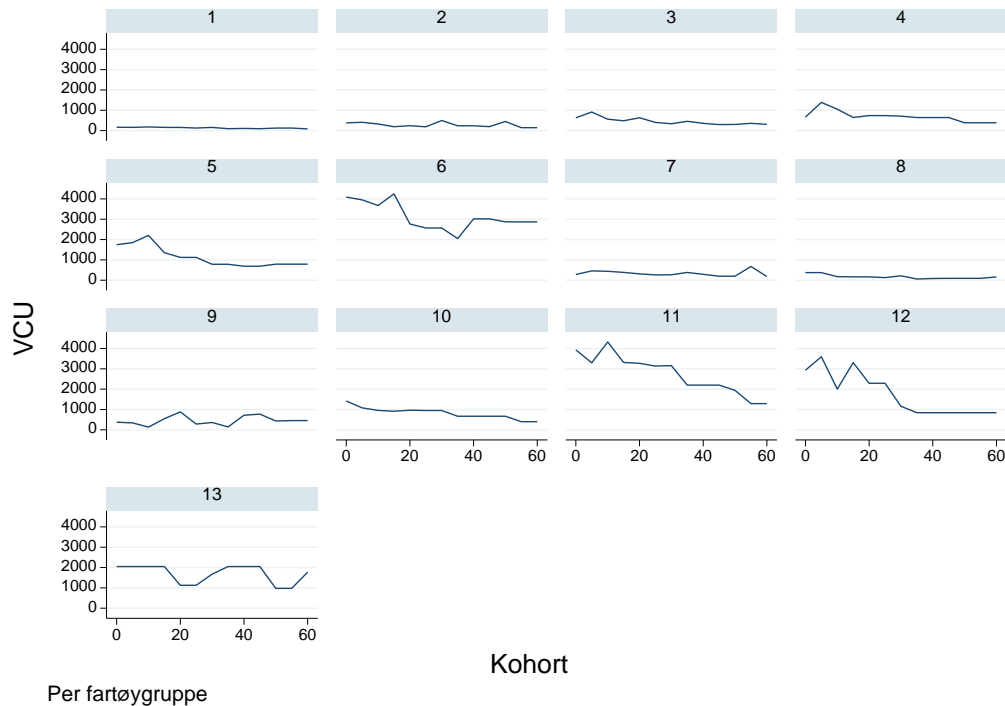
Fartøy- og aldersgrupper	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	98	145	119	73	99	114	78	186	83	41	10	0	5
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	24	12	13	10	48	33	25	27	18	1	4	1	0
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	8	2	4	6	7	3	17	4	12	6	2	1	2
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	1	3	4	7	6	0	1	3	0	0	5	0	0
5. konvensjonell havgående fartøy	6	3	1	2	4	0	2	0	2	0	1	0	0
6. Torsketrålere	5	14	2	1	11	2	0	2	0	0	0	0	0
7. Kystreke-trålere	4	8	6	15	11	6	6	12	9	2	0	4	2
9. Kystnotfartøy < 11 m	4	0	6	9	12	6	3	4	6	3	0	0	3
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	1	9	3	4	15	2	8	9	1	1	1	1	0
11. Kystnotfartøy (+SUK)	5	5	8	9	5	2	0	6	0	0	0	1	0
12. Ringnotsnurpere	3	18	4	11	18	9	2	1	0	0	2	2	0
13. Pelagiske trålere	1	0	2	2	9	0	1	1	0	0	0	0	0
14. Havgående krabbefartøy	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	2

Andre viktige parametere som beskriver fartøypopulasjonen er gjennomsnittlig fartøystørrelse (målt i form av Vessel Capacity Units eller VCU) og maksimalkvoter per fartøygruppe.

VCU er beregnet ved å kople informasjon om fartøyet bredde, lengde og motorkraft fra Merkeregisteret med grunnlagsdataene til utvalgsundersøkelsen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse 2019-2021, for derigjennom å utlede forventet gjennomsnittlig VCU per fartøy- og aldersgruppe. Figur 4.1 gir et overblikk over gjennomsnittlig VCU etter fartøy- og aldersgruppe. Den viser at nye fartøy er betydelig større enn eldre fartøy i noen av fartøygruppene. Spesielt gjelder det torsketrål (gruppe 6), ringnot (gruppe 11) og pelagisk trål (gruppe 12).

³ Vi har sammenliknet aldersfordelingen fra utvalgsundersøkelsene med aldersfordelingen i Merkeregisteret og finner at dette gir et godt samsvar for de fartøygruppene vi har tittet nærmere på. Vi har derfor valgt å bruke utvalgsundersøkelsen til Lønnsomhetsundersøkelsen til å beregne aldersfordelingen siden den gir en entydig inndeling av fiskefartøyene i ulike fartøygrupper.

FiSceMod bruker gjennomsnittlig fartøykapasitet per fartøy- og aldersgruppe i basispopulasjonen. For framskriving av fartøykapasitet tar FiSceMod utgangspunkt i gjennomsnittlig VCU for nye fartøy (dvs. fartøy som har alder lik 0 år i dagens Lønnsomhetsundersøkelse) og antar at denne fartøystørrelsen også vil gjelde alle nybygde fartøy fra og med 2025 og fram mot 2050.



Figur 4.1: Gjennomsnittlig VCU per fartøy- og aldersgruppe. Kilde: Lønnsomhetsundersøkelsen 2019-2021 og Merkeregisteret.

Maksimalkvotene per fiskefartøy per fartøygruppe er utledet fra grunnlagsdataene til utvalgsundersøkelsen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse 2019-2021, og er satt lik maksimumet av rapporterte kvoter per fartøy per gruppe i undersøkelsen i løpet av denne perioden. En oversikt over maksimalkvotene per fartøygruppe er gitt av tabell 4.2.

Tabell 4.2: Beregnet maksimalkvote per fartøystype. Rundvekt fisk, målt i tonn.

Fartøygruppe	Maksimalproduksjon
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	1 644,57
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	2 870,77
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	8 224,48
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	5 774,60
5. konvensjonell havgående fartøy	5 749,16
6. Torsketrålere	12 808,50
7. Kystreke-trålere	923,20
9. Kystnotfartøy < 11 m	760,15
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	3 698,41
11. Kystnotfartøy (+SUK)	8 054,25
12. Ringnotsnurpere	34 994,00
13. Pelagiske trålere	29 844,70
14. Havgående krabbefartøy	892,45

4.2 Produktfunksjoner for fartøygruppene

I likhet med mange andre studier (se f.eks. Roll mfl., 2022 for en studie om effekter av karbonbeskatning av fiskerinæringen) benytter FiSceMod økonomisk *produksjonsanalyse* aka produktivitets- og effektivitetsanalyse til å beskrive ressursbruk og produksjon innen norske fiskerier. Det har tradisjonelt vært to dominerende metoder til bruk for estimering av produktfunksjoner innen produktivitets- og effektivitetsanalyse: Data Envelopment Analysis (Charnes mfl., 1978) og Stochastic Frontier Analysis (Aigner mfl., 1977; Meeusen og van den Broeck, 1977). I senere år har også en ny metode kalt Convex Non-parametric Least Squares eller CNLS aka konveks regresjon (Kuosmanen, 2008) blitt populær. Den kombinerer styrkene til Data Envelopment Analysis og Stochastic Frontier Analysis ved å *a*) tillate estimeringen av en ikke-parametrisk produktfunksjon (et fortrinn i Data Envelopment Analysis) samtidig som at *b*) den empiriske analysen er i stand til å ta hensyn til stokastiske variasjoner i data (et fortrinn i Stochastic Frontier Analysis). En stor fordel for implementeringen av produktfunksjoner i FiSceMod er at konveks regresjon gjør det mulig å estimere en ikke-lineær produktfunksjon ved bruk av lineær programmering. På denne måten slipper vi unna ikke-lineær programmering, noe som ville vært en nødvendighet ved bruk av såkalte fleksible funksjonsformer i en (parametrisk) modell basert på Stochastic Frontier Analysis. Bruk av lineær programmering forenkler modellen betydelig.

La y være kvantumet fisk mens x er en vektor med innsatsfaktorer (som her ikke er sammenfallende med definisjonen av energiinnsatsen i flåtemodellen). La indeksene i og t vise til hhv. fartøy og tidsperiode, mens ε er et restledd. CNLS-estimatoren til produktfunksjonen er da gitt i likning 17.

$$\begin{aligned}
 & \min_{\alpha, \beta, \varphi, \varepsilon} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \varepsilon_{i,t}^2 \\
 & \text{s. t.} \\
 & y_{i,t} = \varphi_{i,t} + \varepsilon_{i,t}, \forall i, t \\
 & \varphi_{i,t} = \alpha_{i,t} + \beta'_{i,t} x_{i,t}, \forall i, t \\
 & \varphi_{i,t} \leq \alpha_{h,s} + \beta'_{h,s} x_{i,t}, \forall i, t, h, s \\
 & \beta_{i,t} \geq 0, \forall i, t
 \end{aligned} \tag{17}$$

Likning 17 (konveks regresjon) krever at de empirisk estimerte produktfunksjonene skal overholde standard antakelser (dvs. aksiomer) innen økonomisk teori. Konkret innebærer det at produktfunksjonen er *monoton* (dvs. en økning i ressursbruken kan gi muligheter til å øke produksjonen av fisk) og *konkav* (dvs. at grenseproduktiviteten til innsatsfaktorene er fallende). Målet til estimatoren i 17 er å finne en produktfunksjon som gir best mulig tilpassing til dataene til en fartøygruppe, samtidig som den er i overenstemmelse med standardantakelsene fra økonomisk teori.

En ulempe ved å bruke konveks regresjon i FiSceMod framgår av modellen i 17: Beregningsmodellen for konveks regresjon forutsetter estimeringen av ett hyperplan (dvs. $\alpha_{i,t} + \beta'_{i,t} x_{i,t}$) per individuelle fartøy og tidsperiode som benyttes til estimeringen av produktfunksjonen. For enkelte fartøygrupper kan det være over 300 enheter per fartøygruppe i utvalgene som benyttes til empirisk estimering av produktfunksjonene. Siden de estimerte hyperplanene benyttes direkte i FiSceMod per fartøy- og aldersgruppe (jf. restriksjon 8) kan dette medføre at antallet bibetingelser i FiSceMod blir veldig høyt og at løsnings-tiden (dvs. tiden det tar for en kommersiell solver å finne kostnadsminimumet til flåtemodellen) derfor blir betydelig.

Keshvari (2018) diskuterer mulighetene for å redusere antall estimerte hyperplan i konveks regresjon. Han gjør dette gjennom å velge antall hyperplan i modellen *a priori*, og benytter ikke-lineær Mixed Integer Programming (MIP) til å finne parameterne som best beskriver produktfunksjonen basert på empiriske data. Denne metoden (kalt Segmented Concave Least Squares) gjør det mulig å estimere produktfunksjonene med et langt lavere antall hyperplan enn standardmetoden for konveks regresjon.

Innen rammene av denne studien har vi utviklet et alternativt opplegg til Keshvaris (2018) metode, ved å utvikle en optimeringsmodell som estimerer det minste antallet hyperplan som er nødvendig for å gjenskape en produktfunksjon estimert ved hjelp av konveks regresjon. Dette gjør vi ved å anvende den nye MIP-modellen vår definert av likning 18. Den velger ut det minste antallet hyperplan estimert i likning 17 som er tilstrekkelig for å gi de eksakt samme estimatene av produksjon og ressursinnsats som den opprinnelige produktfunksjonen estimert ved hjelp av konveks regresjon (dvs. likning 17).

$$\begin{aligned}
 & \min_{K, \lambda} K \\
 & \text{s. t.} \\
 & (\hat{\alpha}_{h,s} + \hat{\beta}'_{h,s} \mathbf{x}_{i,t}) \lambda_{iths} \leq \hat{\varphi}_{i,t}, \forall i, t \\
 & \sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H \lambda_{iths} = 1, \forall i, t \\
 & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \lambda_{iths} \leq I \theta_{hs}, \forall h, s \\
 & \sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H \theta_{hs} = K
 \end{aligned} \tag{18}$$

hvor $\hat{\varphi}_{i,t} = \hat{\alpha}_{i,t} + \hat{\beta}'_{i,t} \mathbf{x}_{i,t}$ og λ_{iths} er en binærvariabel som tar verdien 1 dersom enhet i i periode t benchmarkes mot hyperplanen til enhet h i periode s , og 0 ellers. Restriksjonene tilsier at hver enhet kun skal benchmarkes mot *en* annen enhet, at en enhet i i periode t kun kan benchmarkes mot utvalgte hyperplan (dvs. enheter), og at antall utvalgte hyperplan er K . Målet til optimeringsproblemet er å finne det minste antallet hyperplan som behøves for å gjenskape resultatene fra konveks regresjon.

Vi kan oppsummere de foregående avsnittene i beskrivelse av en algoritme til estimering av produktfunksjonene:

- Benytt likning 17 til å beregne konveks regresjon for et utvalg. Dette gir *ett* estimert hyperplan per individuell enhet i utvalget benyttet til beregning av produktfunksjonen.
- Benytt likning 18 til å velge ut det minste antallet hyperplan fra de estimerte hyperplanene i konveks regresjon (dvs. steg a) som kreves for å gjenskape produktfunksjonen estimert ved konveks regresjon.

Bruk av den foreslåtte algoritmen reduserer antall hyperplan til bruk til estimering av produktfunksjoner i FiSceMod betydelig. Validering av dette modellopplegget viser at den reduserte modellen funnet ved å løse likning 18 gir helt identiske resultater som den opprinnelige estimeringen ved konveks regresjon, også for såkalte *out-of-sample* prediksjoner.

Vi estimerer individuelle produktfunksjoner for alle 13 fartøygrupper i FiSceMod basert på grunnlagsdataene til utvalgsundersøkelsene i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse for perioden 2015-2021. Årsaken til å benytte en lengre tidsserie er å sikre et tilstrekkelig antall observasjoner til estimeringen av konveks regresjon (dvs. for å sikre tilstrekkelige frihetsgrader for de empiriske estimeringene, og på den måten imøtegå *dimensjonalitetens forbannelse* som er iboende i alle ikke-parametriske statistiske modeller). Før estimeringene fjernes ev. uteliggere fra utvalgene. Denne operasjonen er gjort i henhold til innspill fra Kristin Helen Roll ved Universitetet i Sørøst-Norge.

De økonomiske produksjonsmodellene beskriver fangst av fisk ved hjelp av *et* output (rundvekt) og *tre* innsatsfaktorer (energiinnsats, antall årsverk og VCU). Metodikken gir en beskrivelse av hvilke muligheter det er for å subsidiere mellom innsatsfaktorene i produksjonen av gitte mengder fisk, noe som for eksempel kan tolkes som muligheten til å redusere energibruket gjennom operasjonelle tiltak (Roll mfl., 2022). Dette er en styrke siden liknende studier har vist at det kan være store kostnadsgevinster ved å

vurdere operasjonelle tiltak i tillegg til tekniske tiltak for utslippsreduksjon ved fartøysoperasjoner (Havre mfl., 2022).

Vi forutsetter ingen generell teknologisk vekst for produktfunksjonene, men antar en generell energi-effektivisering av nye fartøy, relativt til eksisterende fartøy. Effektiviseringstrenden beskrives av tabell 4.3.

Tabell 4.3: Antakelser om energieffektivisering av nye fartøy. Kilde: Innspill fra Sintef Ocean.

År	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Multiplikator	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	0,82	0,80

4.3 Teknologisk modenhet for alternative drivstoff

Noen av de viktigste forutsetningene i FiScMod gjelder teknologisk modenhet og kostnader knyttet til bruk av alternative drivstoff. I dette kapitlet gir vi en oversikt over forventet mulighet for bruk av ulike energibærere i hver av fartøygruppene. Vår klassifisering baserer seg på input fra Sintef Ocean og deres arbeid i AP1.

Klassifiseringen av teknologistatus i FiScMod er gjengitt i tabell 4.4. Den beskriver når en energitype kan tas i bruk innen de ulike fartøygruppene: Årstallene i tabellen beskriver det første året når en fartøygruppe antas å ta i bruk en bestemt teknologi, mens blanke rader indikerer at en teknologi ikke blir tilgjengelig i en fartøygruppe i perioden 2020-2050.

De generelle trekkene er at de største fartøyene har mest fleksibilitet med tanke på å oppnå utslippsreduksjon gjennom å ta i bruk alternative energibærere. Dette skyldes at metanol og ammoniakk forutsettes å oppnå teknologisk modenhet for disse fartøygruppene i hhv 2030 og 2040. Vi antar også at eksisterende dieselfartøy kan ombygges til bruk for metanol eller ammoniakk 5 år etter at teknologien blir moden for nybygg.

De minste fartøyene i gruppene 1, 2 og 9 antas å ha mulighet til å ta i bruk hybridfartøy med hydrogen allerede fra 2025. I tråd med Jafarzadeh mfl. (2021) vurderer vi at løsninger basert på ren batteriframdrift ikke er relevant for noen av fartøygruppene som følge av at slike løsninger ikke vil gi tilstrekkelig rekkevidde for en typisk arbeidsøkt. FiScMod benytter derimot en generell effektiviseringstrend for nye fartøy for å ta hensyn til energireduserende tiltak som f.eks. bruk av batterier til lastutjevning; jf. tabell 4.3.

Innen alle fartøygrupper antas det at nullutslipp kan oppnås gjennom 100% innblanding av bio- eller e-drivstoff. Dette gjelder både fartøy som benytter diesel og gass. FiScMod legger til grunn at bio-drivstoff vil være en knapp ressurs i framtiden, og at e-drivstoff vil brukes til innblanding i senere perioder.

Tabell 4.4: Årstill ulike energibærere blir tilgjengelige for de ulike fartøygruppene i FiSceMod. Blanke rader indikerer at teknologien ikke kan tas i bruk i perioden 2020-2050.

Fartøygruppe	Konv. Diesel	Grønn diesel	LNG	Grønn gass	Metanol Nybygg	Metanol Retrofit	Ammon. Nybygg	Ammon. Retrofit	Hydrog. (hybrid)
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	2020	2020	2050	2050					2025
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	2020	2020	2050	2050					2025
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	2020	2020	2040	2040					
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	2020	2020	2030	2030	2030	2035	2040	2045	
5. konvensjonell havgående fartøy	2020	2020	2030	2030	2030	2035	2040	2045	
6. Torsketrålere	2020	2020	2030	2030	2030	2035	2040	2045	
7. Kystreketrålere	2020	2020	2050	2050	2030	2035	2040	2045	
9. Kystnotfartøy < 11 m	2020	2020	2050	2050					2025
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	2020	2020	2050	2050					
11. Kystnotfartøy (+SUK)	2020	2020	2030	2030	2030	2035	2040	2045	
12. Ringnotsnurpere	2020	2020	2020	2020	2030	2035	2040	2045	
13. Pelagiske trålere	2020	2020	2020	2020	2030	2035	2040	2045	
14. Havgående krabbefartøy	2020	2020	2030	2030	2030	2035	2040	2045	

4.4 Energipriser

Innen rammen av dette prosjektet er det gjort et omfattende arbeid med å samle inn og bearbeide data om framskrivning av energipriser fram mot 2050. Framtidig prisutvikling på energi er generelt forbundet med stor usikkerhet, som enda blir forsterket, når det gjelder nye alternative energibærere basert fornybar energi, som er nødvendig for en langsiktig omstilling av fiskeflåten til klimanøytralitet, jf. Avsnitt 5.1. Likevel vil det være noen tekno-økonomiske sammenhenger som vil gi sammenhenger mellom framtidige priser på de ulike typer av drivstoff

Stort sett all energiforbruk i fiskeflåten er i dag fossil marin diesel (MGO). Den teknisk sett enkleste omstilling av fiskeflåten er å erstatte fossil diesel med HVO (bio-diesel)⁴, enten 100% eller som iblanding.

Marin dieselolje (MGO) og bio-diesel

Grønn diesel er dyrere å fremstille enn vanlig diesel, da 'feedstock' er vegetabilsk olje, som er dyrere enn fossil olje, og fortsatt forventes å være det i framtiden. En vesentlig fordel ved HVO er, at nåværende motorteknologi i eksisterende fartøy kan benyttes uten kostnader til nye motorer eller justering av eksisterende motorer. Det vil si ekstra CAPEX er 0 sammenlignet med fossil MGO. Hvis CO₂-avgiften i Scenario C og D over tid økes tilstrekkelig til å dekke prisdifferansen mellom MGO, vil det være lønnsomt for drivstoffleverandørene å erstatte fossil MGO med 100% bio-diesel. Hvis ikke vi har en CO₂-avgift (Scenario A og B) vil biodiesel-andelen i et gitt år kunne tilpasses så reduksjonskravet for dette året blir

⁴ HVO = hydrogenisert vegetabilsk olje. I motsetning til FAME, som også ofte kalles biodiesel, er HVO så likt fossil diesel at det ikke kreves noen form for tilpasning av motorer til MGO. Med HVO unngår man også de ulempene med FAME ved lave temperaturer, som særlig kan være en utfordring i arktiske strøk. I denne sammenhengen vil vi for enkeltheten benytte betegnelsen bio-diesel for all drivstoff, som er biobasert, og som kan erstatte marin diesel.

nådd. bestemt av modellen ut fra loftet på fiskesektorens utslipp og prisen på andre tilgjengelige alternative drivstoffer. Vi antar at bruk bio-diesel skjer med innblanding med samme prosentdel i hele fiskeflåten bruk av MGO, slik at transport- og lager-kostnadene ikke endres ved delvis bruk av bio-diesel. Innblanding av HVO kan ses som en 'fall-back' strategi i modellen, som velges hvis ikke andre drivstoffer er billigere enn den innblandede diesel.

Prisen på bio-drivstoff er to-tre ganger dyrere enn tilsvarende fossil drivstoff og over de seneste tre årene er prisen nesten fordoblet. I forbindelse med politisk vedtak av innføringen av omsetningskrav for biodrivstoff i innenriks sjøfart og fiske ble det foretatt en konsekvensutredning (Miljødirektoratet, 2022). Konsekvensvurderingen har en framskriving av prisen på biodiesel til 2030 som er benyttet her.

LNG og bio-LNG

LNG (Liquid Natural Gas) er et alternativ til diesel, som har den klimafordelen at CO₂-utslippet per energienhet er cirka 25% lavere enn for MGO. Tar man høyde for utslipp av metan ved bruk, reduseres klimafordelen til ca. 15%, fordi klimaeffekten fra metan er minst 30 ganger så sterk som for CO₂. For de relativt få fartøyene som skiftes ut innen 2030 kan LNG gi en viss utslippsreduksjon, men fram mot 2050 skal klimabelastningen reduseres langt mere enn hva som kan klares ved overgang til LNG. Men LNG kan uten videre erstattes av LBG (Liquid Bio Gas) på samme måten som MGO kan erstattes av bio-diesel.

E-drivstoff

En vesentlig risiko ved overgang til biodrivstoff er at flere og flere analyser⁵ peker på, at biomasse på sikt blir en så knapp resurs globalt sett, at det ikke blir mulig å erstatte transportsektorens bruk av fossil drivstoff i dag med tilsvarende mengder energi fra biodrivstoff.

Derfor er den generelle antakelsen vi gjør at på sikt erstattes bio-drivstoff med syntetiske drivstoff, kalt e-drivstoff (e for 'elektro'), hvor energien kommer fra hydrogen, som er produsert ved elektrolyse av vann med strøm basert på fornybar energi.

e-hydrogen

For bruk i fiskeflåten har hydrogen (H₂) en betydelig ulempe, nemlig at energitettheten per volumenheter er lav, selv i flytende form, som krever nedkjøling til minus 240 grader Celsius. Når man medregner tanken, skal man bruke cirka fire ganger så mye plass i lastrommet til hydrogen i forhold til MGO (Intereg, 2020). Hydrogen har i dag bare få utviklingsorienterte anvendelser som drivstoff i maritim sektor. I 2023 ble verdens første ferje for passasjerer og biler med hydrogen og brenselcelle tatt i bruk i Norge og den første hydrogen-drevne elverprammen forventes i bruk i høsten 2023 på Seinen og Rhinen⁶.

e-LNG

Hydrogen kan relativt enkelt konverteres til metan (CH₄) ved å tilsette CO₂. Metan kan lagres flytende som LNG ved minus 170 grader Celsius, hvilket er mere håndterbart enn hydrogen og har en bedre energidensitet. LNG-fartøy er i økning som andel av nye fraktskip fordi prisen på fossil LNG vært en del lavere enn på MGO, og fordi gass gir mindre luftforurensing. Innen fiskerisektoren har enkelte større fiskefartøy blitt tatt i bruk i den norske fiskeflåten, så teknologien er gjennomprøvet så største tekniske utfordring er det økte tankvolumet.

⁵ For utdyping henvises til Klimarådet (2022) kapittel 3.

⁶ <https://blog.ballard.com/marine/first-hydrogen-powered-vessels-marine#:~:text=The%20MF%20Hydra%20is%20the,%2DSkipavik%2DNesvik%20in%20Norway.>

e-metanol

Hydrogen kan også konverteres til metanol med bare litt større kostnader i forhold metan fra hydrogen. Metanol har den fordel at det er flytende ved temperaturer opp til 65 grader Celsius. Energitettheten er noenlunde som for LNG, når man medregner tanken. Metanol er et nytt drivstoff innenfor maritim sektor, men metanol-motorer eller dual-fuel motorer, som kan benytte både metanol og MGO, markedsføres nå av førende skipsmotorprodusenter. Maersk har i september 2023 fått levert verdens første containerskip med dual-fuel motor. I tillegg til at bærekraftig metanol er dyrt er det en stor utfordring at tilbudet av metanol på nåværende tidspunkt er ubetydelig.

e-diesel

Tilsvarende kan hydrogen kan også konverteres til tungere hydrokarboner som motsvarer fossil MGO med samme høye energitetthet, men produksjonskostnadene er høyere enn for metanol.

Produksjon av både e-LNG, e-metanol og e-diesel innebærer at hydrogen kombineres med karbon fra CO₂. Etter hvert som forbrenning av fossile energikilder gradvis fases ut mot 2050, må CO₂ fås enten ved karbonfangst fra punktkilder som skorsteiner fra biomasse-basert energiproduksjon (BECC) eller direkte fra luften (DAC). Som nevnt forventes biomasse å bli en knapp resurs i fremtiden og det samme gjelder derfor for muligheten for fangst av CO₂ fra forbrenningen. Både BECC og, især, DAC, er kostbart og gir et betydelig kostnadstillegg i produksjonen av karbon-baserte e-drivstoffer. Videre er DAC ikke en ferdigutviklet teknologi, så det er veldig usikkert hva et tonn fanget CO₂ direkte fra luften vil koste på sikt, når teknologien vil kunne skaleres opp til storskalaproduksjon.

e-ammoniakk

Både av hensyn til å unngå CO₂-utslipp og kostnadshensyn er det attraktivt å konvertere hydrogen til et flytende drivstoff uten å ha behov for å tilsette karbon. Derfor er ammoniakk (NH₃) i de senere årene kommet i fokus som mulig klimanøytral drivstoff til erstatning av de eksisterende fossile drivstoffene i den maritime sektor. På nåværende tidspunkt er det ingen fartøy som går på ammoniakk, men selv om teknologien enda ikke er klar til kommersiell anvendelse, anses teknologien som lovende.

Framskrivning av internasjonale priser på grønn drivstoff

For alle e-drivstoff er kostnaden til hydrogen og dermed strøm en meget vesentlig andel. Ulike kilder har vesentlig avvikende antakelser om prisutviklingen på sentrale områder som produksjonsprisen på grønn strøm og kapitalkostnadene til konvertering til hydrogen. Deler av forskjellene kan henføres til at de er produsert på ulike tidspunkter og derfor har ikke samme grunnlag fra seneste etableringer av elproduksjon fra sol og vind.

Innbyrdes konsistente framskrivninger for de enkelte drivstoffer må derfor baseres på de samme kilde for å sikre konsistente antakelser på tvers av drivstoffer med hensyn til produksjonskostnader og tilgjengelighet av grønn strøm og energitap ved konvertering til hydrogen. I tillegg er det lagt vekt på at framskrivningen er fra de seneste årene og en sentral internasjonal organisasjon på området.

Grunnlaget for framskriving av internasjonale energipriser målt i USD per GJ er:

- For fossil MGO antar vi uendret pris svarende til dagens situasjon fram til 2050. Dagens situasjon) er basert på MABUX Bunker index, som viser cirka 13 USD / GJ i gjennomsnitt for hele 2021.
- For grønn strøm bruker vi et uvektet gjennomsnitt av 'Solar PV', 'Wind onshore' and 'Wind offshore' IEA(2021) p. 201, som gir tall 'levelised costs' for 2020, 2030 og 2050 for forskjellige deler av verden, inklusiv Europa, som naturligvis er benyttet her.
- For de e-drivstoffer som analyseres i denne rapporten anvendes IEA(2022) p. 103. Denne kilden presenterer produksjonspriser ('levelised costs') i 2021, 2030 og 2050 for e-drivstoffene:

e-hydrogen, e-ammoniakk, e-LNG og e-parafin (jet-fuel). Vi antar at sistnevnte samsvarer med produksjonsprisene på e-diesel parafin og at e-metanol følger gjennomsnittet av e-metan og e-parafin. IEA(2022) angir produksjonspriser for karbon-baserte e-drivstoffer under forutsetning av både punktkilde (PS) og DAC for karbonfangst. Som nevnt ovenfor har det betydelig innflytelse på prisen, av størrelsesorden en tredjedel av samlet produksjonspris for DAC, og betraktelig mindre for PS. Prisen på DAC forventes å bli redusert betraktelig fram mot 2050.

CO ₂ -fangst	2022	2030	2050
Punktkilde (PS)	30 USD / ton		
Direkte fra luften (DAC)	125 – 335 USD / ton	75 – 180 USD / ton	60 – 140 USD / ton

Vi antar at prisen på karbon-fangst svarer til PS i 2022, og at denne prisen vil være den samme i 2030. I slutten av perioden, hvor verden gjerne skulle ha blitt CO₂-nøytral, vil biogen CO₂ fra punktkilder være en knapp resurs, så prisen bestemmes av DAC i 2050.

- For biodiesel bruker vi som nevnt ovenfor priser for dagens situasjon og fram til 2030 fra Miljødirektoratet (2022). For biometanol brukes IRENA (2022) p. 85 for dagens situasjon og antar at prisforskjellen mellom bio-LNG og bio-metanol samsvarer med den mindre prisforskjellen på 3 USD/GJ /10%) mellom e-metanol og e-metan. Begge disse drivstoff-prisene antas uendrede fram til 2030.

Når vi ser på den globale markedssituasjon fra etterspørselssiden antar vi at bio-drivstoff og e-drivstoff av samme type er perfekte substitutter, det vil si at de har samme verdi. Vi bruker derfor bare én pris i FiScMod for 'grønn diesel', 'grønn metanol' og 'grønn LNG' uansett om det er bio- eller e-drivstoff. I de første årene, hvor biodrivstoff er billigst vil det bli etterspurt og det tilsvarende e-drivstoffet vil ikke bli produsert så lenge det er biodrivstoff nok til å forsyne markedet. Etter hvert vil økt etterspørsel etter grønn drivstoff presse opp prisen tilstrekkelig til at det vil kunne betale seg å produsere e-drivstoffet. Vi antar at det ikke er noen begrensninger på produksjonen av grønn strøm til den forutsatte prisen. Derfor antar vi at e-drivstoff-prisen i 2050 bestemmer prisen på det grønne drivstoffet, og at prisen i 2030 er bestemt av bio-drivstoffet.

Drivstoffpristillegg i norske havner

Prisene som vi har tatt fram som beskrevet i avsnittet ovenfor gjelder for det internasjonale markedet. For norske fiskefartøyer skal man i tillegg regne med distribusjonskostnader, først og fremst i form av transport- og logistikk-kostnader, inklusiv lagring og salg i havnene.

For MGO er den antatte internasjonale prisen som nevnt ovenfor cirka 13 USD / ton i 2021, som svarer til cirka 4,0 NOK per liter. Til sammenlikning gir opplysningene fra lønnsomhetsundersøkelsen i 2021 en gjennomsnittlig drivstoffpris per liter MGO på 5,3 NOK per liter. Vi ønsker at konvertere alle internasjonale priser til priser som er konsistente med prisdata i Lønnsomhetsundersøkelsen. Vi har lagt til grunn at de angitte drivstoffkostnader er etter refusjon av CO₂-avgiften og at differansen på 1,30 NOK per liter MGO kan henføres til distribusjonskostnader. Ut fra størrelsen av prisdifferansen virker denne antakelsen umiddelbart plausibel. Vi legger til grunn at denne prisdifferansen på 1,30 NOK per liter MGO skal også skal tillegges alle internasjonale drivstoffpriser som 1,30 NOK per liter MGO-ekvivalent, dvs. for samme energimengde. Dette er formodentlig et underestimat pga. den vanskeligere oppbevaring av i hvert fald noen av de alternative drivstoffene.

Tabell 4.5 rapporter antatte gjennomsnittlige energipriser uten CO₂-avgift i perioden 2020-2050. Tabellen viser at innblanding av grønn diesel eller gass vil gi en betydelig økning i drivstoffkostnadene, noe som gir et insentiv til innfasing av alternative energibærere som kan gi reduserte drivstoffkostnader på sikt. Dette gjelder spesielt langsiktige priser på ammoniakk og hydrogen.

Tabell 4.5: 5-årige energipriser i 2021-kroner per liter MGO-ekvivalent. Priser er kun oppgitt i perioder hvor drivstoffene er forventet å være teknologiske moden til bruk i fiskerinæringen.

Kilde: Egne beregninger basert på IEA(2022) og lønnsomhetsundersøkelsen 2021.

Energityper	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Konvensjonell diesel	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31
Grønn diesel	18,85	27,3	26,30	20,59	16,18	12,78	10,16
Konvensjonell LNG	4,35	4,70	5,19	5,22	5,25	5,28	5,31
Grønn LNG	11,85	11,85	11,85	11,22	10,64	10,08	9,56
Metanol			12,78	11,97	11,22	10,51	9,86
Ammoniakk					6,76	6,42	6,10
Hydrogen		10,05	6,02	5,65	5,30	4,99	4,69

Mens tabell 4.5 beskriver gjennomsnittlige drivstoffpriser for fiskerinæringen kan energiprisene per fartøygruppe avvike fra disse i FiSceMod. Dette skyldes at vår bearbeiding av grunnlagsdataen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse avdekket til dels betydelige forskjeller mellom drivstoffkostnadene til fartøygruppene med lavere rapporterte kostnader per liter MGO.

Personlig kommunikasjon med Fiskeridirektoratet tyder på at dette er reelle forskjeller, f.eks. som følge av variasjoner i geografisk lokalisering av fiskeriaktiviteten bunkringshavn på tvers av fartøygruppene, hvor større fartøy typisk bunkrer i større havner med stor omsetning. Det er velkjent fra veitransporten at fjernere beliggende fyllestasjoner med lavere omsetning har høyere priser. Videre er det plausibelt at større fartøy har bedre mulighet for og mengderabatter uansett havnens drivstoffomsetning. Vi legger til grunn at disse forskjellene vil være vedvarende og gjelde alle energityper. Multiplikatorer – relativt til gjennomsnittlig drivstoffpris – per fartøygruppe er gjengitt i tabell 4.6.

Tabell 4.6: Multiplikatorer for drivstoffpris i Tabell 4.5, per fartøygruppe.

Fartøygruppe	Multiplikator
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	1,6
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	
7. Kystrekestrålere	1,2
9. Kystnotfartøy < 11 m	
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	
5. konvensjonell havgående fartøy	
11. Kystnotfartøy (+SUK)	1
12. Ringnotsnurpere	
13. Pelagiske trålere	
14. Havgående krabbefartøy	
6. Torsketrålere	0,95

4.5 Andre driftskostnader

I FiSceMod skilles det mellom kostnader til *energi* og *andre driftskostnader*, hvor andre driftskostnader relateres til antall årsverk benyttet i produksjonen. Med *andre driftskostnader* mener vi her summen av de følgende variablene fra utvalgsundersøkelsen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse: Arbeidsgodtgjørelse; Proviand; Sosiale kostnader; Pensjonstrek; Produktavgift; Lagsavgift; Strukturavgift; Kontrollavgift; Fiskeriforskningsavgift; Agn, is, salt og emballasje; Vedlikehold fartøy; Vedlikehold redskap; Forsikring fartøy; Andre forsikringer; Andre kostnader. Vi tar utgangspunktet i utvalgsundersøk-

elsen for 2021 i beregningen av andre driftskostnader per fartøygruppe. Resultatet fra kartleggingen vår presenteres av tabell 4.7, som synliggjør at det er store forskjeller i nivået på andre driftskostnader (utenom energikostnader) per årsverk mellom fartøygruppene.

Tabell 4.7: Enhetspris per årsverk i 2021-kroner, etter fartøygruppe.

Fartøygruppe	NOK/årsverk
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	918 320
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	1 400 000
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	1 800 000
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	2 700 000
5. konvensjonell havgående fartøy	3 700 000
6. Torsketrålere	4 700 000
7. Kystrekekrålere	1 800 000
9. Kystnotfartøy < 11 m	930 043
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	1 600 000
11. Kystnotfartøy (+SUK)	2 800 000
12. Ringnotsnurpere	4 300 000
13. Pelagiske trålere	4 600 000
14. Havgående krabbefartøy	1 900 000

4.6 Priser på nybygg og ombygg av fartøy

I tillegg til driftskostnader tar FiScMod hensyn til kapitalkostnader knyttet til nybygg og ombygg av fiskefartøy. Innenfor hver fartøykategori vil kapitalkostnaden for nye fartøy normal være større enn for de gamle, som de erstatter, fordi fartøyene har blitt større og fått mer motorkraft og avansert utstyr over tid. Videre vil nye drivstofftyper også gi anledning til endringer. Det vil si at vi, at vi i prinsippet for hver av de 13 fartøykategorier (01 – 14, ingen fartøykategori 8) får fem CAPEX, én for hver energibærer: MGO, LNG, metanol, ammoniakk og hydrogen. Det vil si i alt 65 CAPEX verdier, men noen av disse blir ikke brukt, da ikke alle fartøykategorier kan bruke alle drivstoffer

I de følgende avsnittene redegjør vi for CAPEX-beregningene i to steg:

- CAPEX for nye MGO-fartøy
- CAPEX-tillegg for de øvrige drivstoffene i forhold til MGO.

Kapitalkostnadene for et nytt fartøy antas å være konstant over tid. Dette innebærer, at teknologisk utvikling i modellen bare skjer gjennom energieffektivisering over tid, jf. Tabell 4.3, og når de ulike typer av grønn drivstoff blir tilgjengelig, jf. Tabell 4.4.

CAPEX for nye MGO-fartøy

Utgangspunktet for beregningene er egen sammenstilling av rapporterte opplysninger om fiskefartøy som er høyst tre år gamle fra utvalgsundersøkelsene til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse for perioden 2018-2021. Dermed har vi data om størrelse og motorkraft samt verdi og avskrivninger for fartøyet for 114 fiskefartøy, som er nybygd i årene 2016-2021, svarende til de seks prosent nyeste fartøyene i populasjonen. Vi estimerer den inflasjonskorrigerte nyprisen i 2021 for hvert fartøy som

$$P = (\text{Verdi} + \text{alder} \times \text{avskrivning}) \times \text{Priskorr} ,$$

hvor 'Priskorr' er justering med KPIJAE-prisindekset fra Statistisk Sentralbyrå.

Vi antar da, at prisen P_i for et nytt fartøy i kategori 'i' i 2021 kan beskrives som en funksjon av fangstkapasitetsindikatoren VCU, som vi tilpasser til Taylor-utviklingen:

$$P_i = P_i(\text{VCU}_i) = a \text{VCU}_i^2 + b \text{VCU}_i + c_i$$

$$\text{VCU} = \text{Lengde(m)} \times \text{bredde(m)} + 0,45 \times \text{Motorkraft(kw)}$$

Med OLS-regresjon får vi følgende parametere og statistiske signifikansnivåer:

Parameter	R ² adj. = 0,978	(t-stat)
<i>a</i>	= 1,626E-05	(-11)
<i>b</i>	= 0,1733	(27)
<i>c</i> ₀₁ – <i>c</i> ₁₁	= - 22,8	(-6)
<i>c</i> ₁₂ – <i>c</i> ₁₃	= - 105,1	(-12)

← t-verdi for H₀: *c*₀₁ – *c*₁₁ = *c*₁₂ – *c*₁₃

Funksjonen av VCU forklarer stort sett hele variasjonen i fartøysprisene. Vi bruker derfor denne funksjonen til å beregne nypris for representative fartøyer i hver kategori, hvor vurdering av lengde, bredde og motorkraft for hver fartøyskategori baseres på de 114 fartøyene som er nybygd i årene 2016 – 2021. De beregnede nyprisene for MGO-fartøy i hver kategori er vist i Tabell 4.8 sammen med de forutsatte lengde, bredde, motorkraft og beregnet VCU. Videre er vist Tankkapasitet og tonnasje, som brukes i neste avsnitt.

Tabell 4.8: Nypris i 2021 for nye fartøy i hver kategori samt beregningsforutsetninger.

Kilde: Egne beregninger basert på Lønnsomhetsundersøkelsene 2018 – 2021.

	Tankkap. (m ³)	Tonnasje GT	Lengde (m)	Bredde (m)	Motorkraft (HK)	VCU	Nypris (mill. NOK)
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	1	40	9	4	393	164	5
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	15	100	15	6	569	285	25
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	55	250	25	8	834	482	57
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	100	400	28	9	1 005	573	71
5. konvensjonell havgående fartøy	300	1.900	54	13	2 182	1 459	196
6. Torsketrålere	750	4.400	78	17	7 340	3 761	399
7. Kystretrålere	15	100	13	6	450	229	16
9. Kystnotfartøy < 11 m	15	100	15	7	600	306	29
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	15	100	15	7	600	306	29
11. Kystnotfartøy (+SUK)	250	900	44	10	2 141	1 172	158
12. Ringnotsnurpere	600	3.200	75	16	6 157	3 224	285
13. Pelagiske trålere	350	2.000	65	14	4 500	2 420	219
14. Havgående krabbefartøy	300	1.900	54	13	2 182	1 459	196

CAPEX-tillegg for de øvrige drivstoffene i forhold til MGO

Kapitalkostnadstillegget for de øvrige drivstoffer oppdeles i tre komponenter:

- a) Tilpasset motor
- b) Større drivstofftank
- c) Utvidelse av fartøy

a) Tilpasset motor

Fartøyets motor er en tungtveiende del av de samlede kostnader til et nybygd fartøy, og motorens pris avhenger av typen av drivstoff. Som mange andre tilsvarende analyser antar vi at motorkostnadene vokser lineært med motoreffekten målt i kW og bruker nøkkeltall for de ulike drivstoffene fra Korberg et al. (2021) Tabell 3 for 4-takt-motorer, som er den motorteknologien som anvendes i fiskefartøy. For hver fartøyskategori skaleres kostnaden med motorkraften fra Tabell 4.8 med omregning fra HK til kW med 1,341 HK/kW. Resultatene framgår av tabell 4.13.

Tabell 4.9: Kapitalkostnader for motorer for nybygg og ombygg av fiskefartøy, etter energibærer. Millioner 2021-kroner. Kilde: Egne beregninger basert på Tabell 4.8 og Korberg et al. (2021) Table 3.

	Diesel	LNG	Metanol	Ammoniakk	Hydrogen
Kostnadsfaktor (EUR per kW)	2 478	4 852	2 736	3 820	4 852
mill. NOK					
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	1	1	1	1	1
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	1	1	2	2	2
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	2	2	2	3	3
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	2	2	3	4	4
5. konvensjonell havgående fartøy	4	4	6	8	8
6. Torsketrålere	14	15	21	27	27
7. Kystreke-trålere	1	1	1	2	2
9. Kystnotfartøy < 11 m	1	1	2	2	2
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	1	1	2	2	2
11. Kystnotfartøy (+SUK)	4	4	6	8	8
12. Ringnotsnurpere	11	13	18	22	22
13. Pelagiske trålere	8	9	13	16	16
14. Havgående krabbefartøy	4	4	6	8	8

Note: Grå tall betyr at kombinasjonen av drivstoff og fartøykategori ikke er inkludert i FiScMod.

b) Større drivstofftank

MGO har som nevnt større energitetthet sammenliknet med alle alternative drivstoff. I tillegg skal noen oppbevares under trykk og eller ved meget lave temperaturer for å være flytende. Begge disse faktorene gjør at kostnadene til tanken som skal oppbevare drivstoffet om bord på fartøyet er forskjellig for ulike drivstoff. Parallelt med ovenstående tilgang anvender vi enhetskostnader per kWh (Korberg et al., 2021 tabell 4) og antatt tankvolum for konvensjonelle dieselfartøy fra tabell 4.8 til å beregne tankkostnader for alle fartøykategorier og drivstoffer. Resultatene framgår av tabell 4.10.

Tabell 4.10: Kapitalkostnader for drivstofftank for nybygg og ombygg av fiskefartøy, etter energibærer. Millioner 2021-kroner. Kilde: Egne beregninger basert på Tabell 4.8 og Korberg et al. (2021) Table 4.

	Diesel	LNG	Metanol	Ammoniakk	Hydrogen
Kostnadsfaktor (NOK per kWh)	0,72	9,70	1,24	2,99	17,65
mill. NOK					
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	0	0	0	0	0
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	0	0	0	1	3
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	0	1	2	5	10
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	1	1	3	10	18
5. konvensjonell havgående fartøy	2	4	9	29	53
6. Torsketrålere	5	9	23	73	133
7. Kystreke-trålere	0	0	0	1	3
9. Kystnotfartøy < 11 m	0	0	0	1	3
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	0	0	0	1	3
11. Kystnotfartøy (+SUK)	2	3	8	24	44
12. Ringnotsnurpere	4	7	18	59	107
13. Pelagiske trålere	3	4	11	34	62
14. Havgående krabbefartøy	2	4	9	29	53

Note: Grå tall betyr at kombinasjonen av drivstoff og fartøykategori ikke er inkludert i FiScMod.

c) Utvidelse av fartøy

På fartøy som frakter gods er fartøyet optimert med henblikk å kunne ha store mengder gods om bord i forhold til fartøyets bruttotonnasje. En enkel måte å kompensere for den større drivstofftank er å redusere lastromsvolumen tilsvarende den ekstra volumen som den større drivstofftank opptar. Dette gir en beskjeden reduksjon av lasteevnen på et fraktskip. Se f.eks. Lagemann mfl. (2022) for en diskusjon av tapt lagringsplass ved bruk av alternative energibærere.

Fiskefartøy er derimot optimert til å fange fisk effektivt og å oppbevare fangsten skånsomt og kalt på vei tilbake til landingsplassen. Forholdet mellom tankvolum og lastromskapasiteten er derfor langt større enn for fraktskip. For drivstoff som krever større tankvolum må man ta høyde for dette i redesign av fartøyets størrelse.

Lerøy Havfisk (2023) har under *Green Shipping Programme* i samarbeid med andre partnere analysert mulighetene for ammoniakkdrift. Målet med pilotprosjektet har vært "å utvikle spesifikasjoner for et nybygg av torsketralere (fartøykategori 6) som har mulighet til å bruke ammoniakk som drivstoff samtidig som nybygget har sammenlignbar ytelse som de konvensjonelle moderne trålerne i Lerøy Havfisk sin flåte". Vi har brukt vurderingene av behovet for fartøyutvidelse fra dette prosjektet til en første grov generalisering av konsekvensene av behovet for økt tankvolum til endret fartøystørrelse. Metoden har i korte trekk vært å konvertere det økte tankvolum til et behov for økt VCU i fire trin:

1. Først beregnes om konversjonsfaktor fra økt tankvolum til endring i VCU basert på de endrede dimensjoner (lengde x bredde) for torsketraleren fra Lerøy Havfisk (2023). I beregningen av VCU-faktoren foretas også en mindre justering av behovet for motorkraft som følge av det marginalt større fartøy.
2. Deretter beregnes behovet for endret tankvolum for hver kombinasjon av fartøykategori og drivstoff under antakelse om uendret energimengde i tanken. Dette baseres på tankvolumet for hver fartøykategori (Tabell X) og tankvolumet per kWh for hver drivstofftype fra Interreg-report (2020), Annex 9.4. Merk at tankvolum er det samlede volumet til tanken og ikke bare drivstoff.
3. I tredje trinn beregnes endring i VCU basert på faktoren fra trinn 1 og behovet for endret tankvolum fra trinn 2.
4. Endelig anvendes $P_i(\text{VCU}_i)$ -formlen til å beregne prisøkningen for det større fartøy fra det høyere VCU (fra trinn 3) sammenliknet med prisen for det konvensjonelle diesel-fartøy fra samme fartøykategori.

Resultatene framgår av tabell 4.11. Tabellen har for referanse også angitt tankvolum-forøkelsen for de ulike drivstofftypene relativt til tankvolum-forøkelsen for ammoniakk (= 1).

Tabell 4.11: Kapitalkostnader for drivstofftanke for nybygg og ombygg av fiskerfartøy, etter energibærer. Millioner 2021-kroner. Kilde: Egne beregninger basert på Tabell 4.8 og Lerøy Havfisk (2023) s. 31.

	Diesel	LNG	Metanol	Ammoniakk	Hydrogen
Tankvolum utvidelsesfaktor i f.t. ammoniakk	-	0,47	0,59	1,00	1,96
mill. NOK					
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	0	0	0	0	0
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	0	0	0	1	3
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	0	1	2	5	10
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	1	1	3	10	18
5. konvensjonell havgående fartøy	2	4	9	29	53
6. Torsketrålere	5	9	23	73	133
7. Kystreke-trålere	0	0	0	1	3
9. Kystnotfartøy < 11 m	0	0	0	1	3
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	0	0	0	1	3
11. Kystnotfartøy (+SUK)	2	3	8	24	44
12. Ringnotsnurpere	4	7	18	59	107
13. Pelagiske trålere	3	4	11	34	62
14. Havgående krabbefartøy	2	4	9	29	53

Note: Grå tall betyr at kombinasjonen av drivstoff og fartøykategori ikke er inkludert i FiScMod.

Samlet nypris for et fartøy kan da beregnes som prisen på MGO-fartøyet (tabell 4.12) pluss de tre prisøkninger i forhold til MGO-fartøy fra tabell 4.9, tabell 4.10 og tabell 4.11. Resultatene framgår av tabell 4.12 nedenfor. Vi har her ikke tatt med kombinasjoner av fartøykategori og drivstoff som ikke inngår i FiScMod.

Tabell 4.12: Kapitalkostnader for nybygg og ombygg av fiskerfartøy, etter energibærer. Millioner 2021-kroner. Blanke rader indikerer at teknologien ikke er teknologisk tilgjengelig for en fartøygruppe innen 2050.

	Diesel	LNG	Metanol Nybygg	Metanol Ombygg	Ammon. Nybygg	Ammon. Retrofit	Hydrogen
1. Konvensjonell kystfartøy < 11 m	5	6	5				10
2. konvensjonell kystfartøy 11-14,9 m	25	28	25				30
3. Konvensjonell kystfartøy 15-20,9 m	57	65	58				
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	71	86	74	10	82	16	
5. konvensjonell havgående fartøy	196	238	201	24	228	41	
6. Torsketrålere	399	492	415	41	447	69	
7. Kystreke-trålere	16	19	36	4	18	5	
9. Kystnotfartøy < 11 m	29	32	30				33
10. Kystnotfartøy 11-21,35 m	29	32	30				
11. Kystnotfartøy (+SUK)	158	194	159	21	185	35	
12. Ringnotsnurpere	285	363	298	38	331	64	
13. Pelagiske trålere	219	269	240	28	253	47	
14. Havgående krabbefartøy	196	238	211	24	228	41	

Priser forbundet med ombygging av eksisterende dieselfartøy til bruk av metanol eller ammoniakk benytter priser på motor og tank til å estimere merkostnadene. Dette gir en redusert lastekapasitet som har en kostnad i form av flere turer for å fange samme mengde fisk. Denne omkostningen ser vi bort fra, og estimatet for ombygging vil derfor undervurdere de samlede kostnader som følge av ombyggingen.

Merkostnaden for hybrid dieselfartøy ('Hydrogen' i tabellen) baserer seg utelukkende på estimerte merkostnader for hybrid hydrogenfartøy beskrevet i Jafarzadeh mfl. (2021). Denne rapporten finner at

merkostnadene ved bygging av det hybride hydrogenfartøyet er en av de mest sentrale kostnadsdriverne forbundet med å ta i bruk hydrogen i kystfiskeflåten.

4.7 Empiriske overlevelsesrater

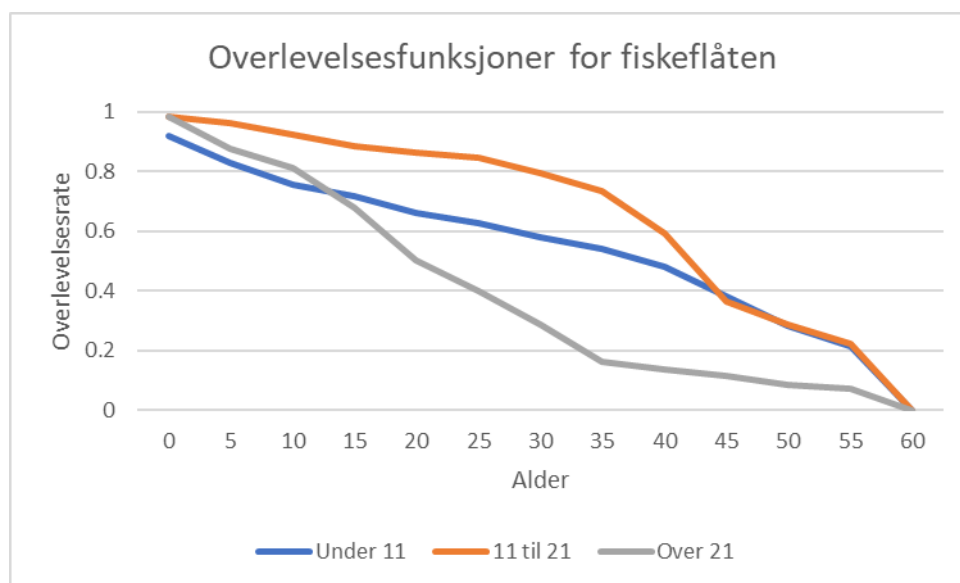
FiSceMod modellerer den dynamiske utviklingen av fiskeflåten fram mot 2050. Det innebærer at man må anslå hvor mange fartøy som går ut av flåten per år. Vi følger litteraturen om levetidsanalyse for kjøretøy (se Greene og Leard (2023) for en detaljert beskrivelse av litteraturen og se Thorne mfl. (2021) for en anvendelse på den norske bilparken) og beregner «overlevelsesrater» definert som forholdet mellom antall fartøy som har alderen a i år t (og som var $a-1$ år i år $t-1$), relativt til antallet fartøy som hadde alderen $a-1$ året før (dvs. i år $t-1$). Dette gir et uttrykk for betingede sannsynligheter for at fartøyet blir ett år eldre, gitt at det allerede har nådd enn bestemt alder. På engelsk omtales dette som *hazard rates*. I praksis beregner vi årlige overlevelsesrater for fiskefartøy per aldersgruppe for årene 2015 til 2021, men bruker det uvektede gjennomsnittet av disse ratene per aldersgruppe til videre modellering. Det betyr at vi antar at overlevelsesraten ligger fast over tid.

Det ville vært ideelt å beregne overlevelsesrater for hver enkelt fartøygruppe, f.eks. delt inn etter kyst/havfiske og fangstmuligheter. En utfordring med dette er at siden flåten består av få fartøy blir datagrunnlaget veldig tynt til å beregne overlevelsesratene. Basert på de foregående studiene av fiskeflåten i kapittel 2.1 velger vi å beregne overlevelsesrater for tre fartøystyper:

- a) Fartøy med største lengde under 11 meter
- b) Fartøy med største lengde mellom 11 og 21 meter
- c) Fartøy med største lengde over 21 meter

En potensiell feilkilde ved estimering av levetider for fartøy basert på Merkeregisteret er at fartøy kan falle ut av registeret f.eks. dersom fartøyet er under salg. For å kontrollere for denne mulige feilkilden identifiserer vi for hvert enkelt unike fartøy eventuelle huller i tidsserien og tetter disse før estimeringen av overlevelsesfunksjonene.

Vi kan utlede den overordnede overlevelsesfunksjonen (survival function) til de tre fartøykategoriene ved å multiplisere de årlige overlevelsesratene (hazard function). Overlevelsesfunksjonene til de tre fartøykategoriene er beskrevet av Figur 4.2. Den viser andelen av fartøyene i en kohort som når en bestemt alder. Det fremgår av figuren at det antas en overlevelsesrate på null for fartøy på 60 år, dvs. at FiSceMod antar at ingen fiskefartøy i kommersiell drift blir over 60 år gamle. Figuren viser også betydelige forskjeller i levetider for fartøy under og over 21 meter, hvor over 50 prosent av fartøyene under 21 meter blir eldre enn 35 år mens kun under 20 prosent av de lengste fartøyene blir over 35 år.



Figur 4.2: Overlevelsesrater implementert i FiScMod. Kilde: Merkeregisteret.

4.8 Parametere til infrastrukturmodellen

Infrastrukturmodellen baserer seg på resultatene fra flåtemodellen til å identifisere antall fartøy som skal ta i bruk alternative drivstoff samt beregning av gjennomsnittlig energietterspørsel per tonn fisk fanget i de ulike fartøygruppene. Energetterspørselen per tonn ganges deretter med et forventet antall tonn landet per fiskerikommune per uke for å estimere den samlede ukentlige energietterspørselen i fiskerikommunen.

Vi benytter Landings- og sluttseddelregisteret for 2021 til å estimere gjennomsnittlige tonn landet i en kommune per uke som en funksjon av antall fartøy som anløper kommunen. Resultatene fra analysen er vist av tabell 4.13. De viser at effekten av et ekstra fiskefartøy som anløper gjennom året for gjennomsnittlig ukentlig tonnmenge er statistisk signifikant, og at forklaringskraften til regresjonsmodellen er god. Regresjonsanalysen indikerer at *et ekstra* fartøy som anløper gir en gjennomsnittlig økning i ukentlig mengde fisk som landes på 14.1 tonn. Ved å gange dette tallet opp med antall fartøy som anløper kommunen kan vi beregne det gjennomsnittlige behovet til energilagring per kommune.

Tabell 4.13: Regresjonsanalyse av antall tonn landet per fiskerikommune relativt til antall fartøy som lander fisk i kommunen i løpet av året. Kilde: Landings- og sluttseddelregisteret 2021.

	Tonn per uke
Antall fartøy per kommune	14.118*** (0.901)
<i>N</i>	133
<i>R</i> ²	0.651

Dimensjonering av fylleinfrastruktur bør i utgangspunktet ikke ta utgangspunkt i gjennomsnittlige energibehov, men i *dimensjonerende* energibehov over året. For å ta hensyn til dette og for å tillate heterogenitet mellom fiskerikommunene beregner vi forholdet mellom det maksimale energibehovet per uke og kommune fra Landings- og sluttseddelregisteret og den tilsvarende gjennomsnittlige energimengden per uke basert på regresjonsmodellen i tabell 4.13. FiScMods infrastrukturmodell ganger gjennomsnittlig energibehov (beregnet ved metodikk i tabell 4.13) med forholdet mellom maksimal og gjennomsnittlig energimengde for å estimere dimensjonerende energibehov per fiskerikommune.

5 Scenarier

Vi gir i dette kapitlet en oversikt over våre 4 hovedscenarier om miljøpolitikk for fiskeflåten og hvilke resultater disse får for innfasing av alternative drivstoff i fiskeflåten.

5.1 Beskrivelse av scenarioene

Vi formulerer 4 scenarier basert på to forskjellige strategier for framtidig klimapolitikk for fiskerisektoren og med et høyt og et lavt ambisjonsnivå for begge strategiene.

- Den første strategien ser på reduksjonskrav for flåtens samlede CO₂-utslipp uten spesifikke virkemidler til å nå reduksjonsmålet. Modellen gir da det økonomisk optimale valget av drivstoffteknologi med dette kravet som bi-betingelse. Dette gir en implisitt pris på CO₂-reduksjonene i fiskeflåten. Dette kan tolkes som at sektoren blir regulert gjennom et system med klimakvoter, dvs. at det er et tak på hvor mye den kan slippe ut per år.
- Den andre strategien tar utgangspunkt i en generell CO₂-avgift for hele økonomien. Det økonomiske og politiske argumentet for å la det grønne skiftet være drevet av en generell CO₂-avgift er at den resulterende CO₂-reduksjonen oppnås til lavest mulig samfunnsøkonomiske kostnader, fordi reduksjonene skjer i de sektorer hvor det er billigst å kutte utslippene. Dette scenarioet baseres altså på en eksplisitt pris på CO₂ slik at reduksjoner skjer der hvor tiltakskostnadene per tonn CO₂ er lavere enn CO₂-avgiften.

Norge har ikke et selvstendig mål for reduksjon av klimagassutslippet fra fiskeflåten, men det er en forventning til at den maritime sektoren skal bidra til å nå de generelle målene. "Grønnere og smartere – morgendagens maritime næring" har et 2030-mål for innenriks sjøfart og fiske:

"Regjeringen har en ambisjon om å halvere utslippene fra innenriks sjøfart og fiske innen 2030 sammenlignet med 2005, herunder å stimulere til lav- og nullutslippsløsninger i alle fartøykategorier." [s. 77]

Dette målet er noenlunde i samsvar med hva Norge har forpliktet seg til i Parisavtalen for alle nasjonale klimagassutslipp og avtalen med EU på 50% reduksjon for ikke-kvotesektoren som del av EU-kommisjonens strategi 'Fit-for-55'. På lengere sikt er Norges vedtatte mål at samlet nasjonal utslipp skal kuttes med mellom 90 og 95 prosent i 2050 ('lavutslippssamfunn'). EU har her en målsetning om netto-null utslipp i 2050 i overensstemmelse med IPCC's vurdering av hva som er nødvendig på globalt nivå for å nå Parisavtalens mål for å begrense den globale temperaturøkningen.

Den Internasjonale Maritime Organisasjon IMO har formulert nye reduksjonsmål og milepæler for sjøfarten i sin 2023 klimagass-strategi (draft), hvorav det her er relevant å fremheve:

- Ambisjonsnivå: Å nå netto-null i 2050 for klimagassutslipp for internasjonal skipsfart
- Milepæler 2030: Minst 20% og streve etter 30% reduksjon sammenliknet med 2008
- Milepæler 2040: Minst 70% og streve etter 80% reduksjon sammenliknet med 2008

Vi bruker de norske målene og ambisjonene fra IMO til å sette opp to scenarier, henholdsvis Scenario A og Scenario B for reduksjonskrav til klimagassutslipp fra fiskeflåten. Dagens situasjon, det vil i praksis si 2020/2021, brukes som referanseår for alle prosentreduksjoner i begge scenariene, fordi det ikke er vesentlige forskjeller i forhold til de nevnte referanseårene 2005 og 2008 for henholdsvis regjeringens meldingen og IMO.

Tabell 5.1: Beskrivelse av scenariene A-D

SCENARIO	TYPE	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	Utslippsreduksjon (%)	0%	25%	50%	60%	70%	80%	90%
B	Utslippsreduksjon (%)	0%	10%	25%	50%	75%	90%	100%
C	CO ₂ -avgift (NOK)	952	1 317	2 230	2 230	2 230	2 230	2 230
D	CO ₂ -avgift (NOK)	1 470	1 918	2 990	4 664	7 277	8 971	11 060

Det framgår av Tabell 5.1 at det norske ambisjonsnivået gir en raskere reduksjonsprofil i starten, men at IMO-strategien til gjengjeld reduserer til null i 2050. I lyset av det tiltakende behovet for raskere klimagassreduksjoner i blant annet senest IPPC-rapporter er det er mulig at den norske ambisjonen for 'null-utslippssamfunn', blir skjerpet til 100% og/eller framrykket i tid til før 2050. Dette innebærer ikke nødvendigvis at hele fiskeflåten må gå i null, fordi en del av netto-null må forventes å være negative utledninger i form av CO₂-opptak i skog eller *Carbon Capture and Storage* og fiskeflåten samlet sett bare står for knappe 2% av Norges nasjonale utslipp i dag (Thompson og Thompson, 2021, s. 7).

For framskrivning av CO₂-avgiften tar vi i Scenario C utgangspunkt i Regjeringsutmeldingen i Hurdalsplattformen, som sier at 'CO₂-avgiften skal gradvis økes til om lag 2000 kr frem mot 2030' målt i prisnivå 2020 og som dermed bekrefter Klimaplan 2030. I klimameldingen anslås det at den planlagte økningen av CO₂-avgiften frem mot 2030, sammen med andre virkemidler, vil være tilstrekkelig til å nå ambisjonen om å redusere utslippene i ikke-kvotepliktig sektor med 45 pst. frem mot 2030. I praksis brukes Finansdepartementets karbonprisbane for ikke-kvotepliktig sektor. Karbonprisen er i denne banen er uendret fra 2030 til 2050.

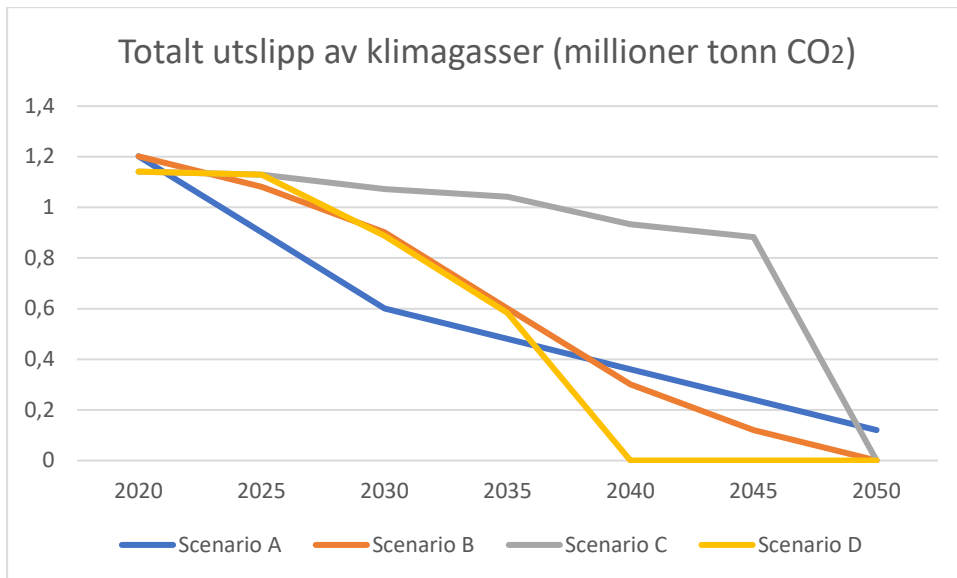
Det er stor usikkerhet om hvilken karbonpris som faktisk må til for å nå klimamålene. Finansdepartementet anbefaler derfor at samfunnsøkonomiske analyser gjennomfører følsomhetsanalyser som får frem resultatet ved bruk av en prisbane med utgangspunkt i det FNs klimapanel anslår må til for å begrense oppvarming til 1,5 grader (median-anslag) som høy prisbane. På den bakgrunnen er det Scenario D brukt en CO₂-avgift som svarer til Finansdepartementets høye karbonprisbane.

Scenarioanalysene gjennomføres under en rekke overordnede forutsetninger om sektorens utvikling:

- Sektorens og fartøygruppens totalkvoter for fisk forblir uendret
- Det skjer ingen omfattende strukturendringer i flåten. Dette pålegges ved at gjennomsnittlig fangst per fartøy i hver av fartøygruppene ikke kan overstige dagens fangst per fartøy.
- Den gjennomsnittlige størrelsen til nye fartøy (målt i VCU) forblir lik gjennomsnittlig fartøy-størrelse for nye fartøyer i 2020 i hver av fartøygruppene
- Nye fartøy blir mer energieffektive over tid, med et effektiviseringspotensial på opptil 20 prosent i 2050, relativt til i 2020. Dette tar hensyn til generell effektivisering av flåten, f.eks. ved bedre skrogdesign eller bruk av batterier til lastutjevning.
- Alternative energibærere kan kun tas i bruk i en fartøygruppe dersom dette er vurdert som teknisk mulig, jf. kapittel 4.1.
- Ombygging av eksisterende dieselfartøy til bruk av metanol og ammoniakk er mulig først 5 år etter at drivstoffene er vurdert som teknisk mulig for nybygg.

5.2 Konsekvenser for sektorens klimagassutslipp

I dette kapitlet ser vi på forventet endring i sektorens klimagassutslipp fram mot 2050 under de forutsetningene som ble beskrevet i kapittel 5.1 og gitt parameterne beskrevet i kapittel 4.



Figur 5.1: Utviklingen til fiskerisektorens klimagassutslipp (millioner tonn CO₂) i scenariene A-D.

Figur 5.1 beskriver estimert utvikling i CO₂-utslippet til fiskerisektoren fra dagens nivå på rundt 1,2 millioner tonn CO₂. De beregnede utslippene i FiSceMod er kalibrert på bakgrunn av Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse, og en sammenlikning mot Thomson og Thomson (2021) viser at utgangsnivået virker rimelig sammenliknet med andre kartlegginger av utslippene i sektoren basert på Lønnsomhetsundersøkelsen. Merk at utslippene i basisåret er beregnet av FiSceMod som et ledd i modellens kostnadsberegninger, og er ikke basert på rapportert innsatsfaktorbruk i basisåret. Dette er fordi vi ønsker å sammenlikne kostnadsminimumet over tid, heller enn å anta normert energibruk i basisåret som skal sammenliknes med optimert energibruk i påfølgende år.

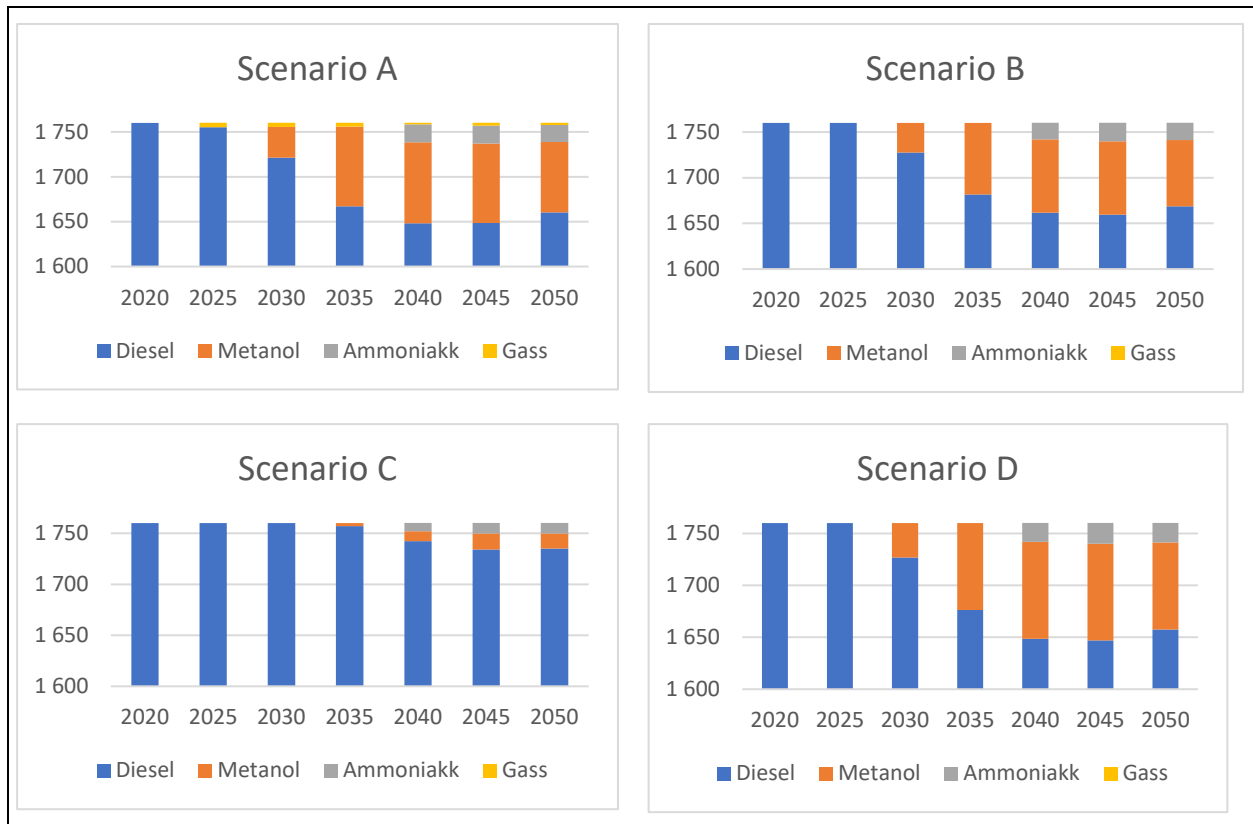
I 3 av 4 scenarier blir fiskerisektoren klimanøytral innen 2050. I scenario A er derimot utslippstaket til næringen i 2050 satt som 10 prosent av de samlede utslippene i 2020, noe som innebærer at sektoren ikke har insentiver til å bli klimanøytral innen 2050. Det mest ambisiøse scenariet – Scenario D – oppnår denne statusen allerede i 2040 som følge av en raskt økende pris på klimagassutslipp. Implikasjonen av funnene som presenteres av figur 5.1 er at fiskerisektoren vil være i stand til å møte økende forventninger til klimagassutslppsreduksjon dersom den teknologiske utviklingen som forutsetter i våre analyser kan realiseres i framtiden.

Et litt overraskende funn er at Scenario C anslår at sektoren går fra å ha forholdsvis høye klimagassutslipp i 2045 til å bli karbonnøytral i 2050. Årsaken til denne omveltningen er at den forventede prisen på grønn diesel er anslått til å falle under prisen på fossil MGO (inkludert CO₂-avgift) i dette året; jf. kapittel 4.4. FiSceMod behandler disse to drivstoffene som perfekte substitutter, og det vil derfor være lønnsomt for fiskerisektoren med 100% innblanding av e-drivstoff i 2050 gitt denne prisutviklingen. I 2045 er prisforholdet i favør av fossilt drivstoff. Resultat er derfor svært følsomt for den betydelige usikkerheten som knytter seg til framtidig prisutvikling på både grønne og fossile drivstoff.

5.3 Konsekvenser for flåteutviklingen og flåtens drivstofforbruk

En sentral problemstilling i dette prosjektet er hvorvidt strengere klimapolitikk medfører innfasing av alternative drivstoff i fiskerinæringen. FiSceMod vurderer bruken av flere lav- og nullutslippsteknologier i fiskerinæringen gjennom nybygg (herunder gass, hydrogen-hybrid, metanol og ammoniakk) og ombygg (herunder metanol og ammoniakk).

5.3.1 Fiskeflåten



Figur 5.2: Forventet utvikling i antall fartøyer i fiskeflåten i scenariene A-D.

En oversikt over den totale flåten og dens estimerte utvikling i scenariene A-D er gitt av figur 5.2. Denne gjenspeiler forutsetningen vår om at det ikke skjer noen større strukturendringer i flåten i analyseperioden og dermed at det totale antallet fartøyer i populasjonen forblir konstant over tid. Dette til tross for at modellen estimerer utrangering/salg og nyanskaffelser av fartøyer hvert 5. år fram mot 2050.

Det er viktig å merke seg at skalaen til de vertikale aksene til Figur 5.2 starter på 1600 fartøyer. Grunnen til dette er at stolpediagrammene blir tilnærmet uleselige dersom vi setter en lavere nedre grense. Årsaken er at alle scenariene anslår at konvensjonelle dieselfartøyer vil være dominerende i hele analyseperioden. En viktig årsak til dette er at FiSceMod benytter faste overlevelsesrater til å estimere utskiftningen av fiskefartøyer. Som følge av relativt lang forventet levetid for fiskefartøyer – spesielt for mindre fartøyer – tar det lang tid å skifte ut de eksisterende fartøyene i flåten.

En forutsetning for at konvensjonelle fiskefartøyer vil forbli dominerende er allikevel at bio- og e-diesel vil være tilgjengelige i framtiden, slik våre beregninger forutsetter. I scenariene A og D er det på det meste 114 fartøyer som anvender alternative drivstoffer, mens det største antallet fartøyer med alternative drivstoff er 26 i Scenario C.

Det er interessant å merke seg forskjellene mellom scenarioene A og B. I Scenario A kreves det at utslippene skal halveres i 2030, mens Scenario B kun krever 25% reduksjon av utslippene i 2030. Dette medfører innfasing av noen få gassfartøyer og en noe raskere innfasing av metanol i Scenario A, men forskjellene mellom antall fartøyer som tar i bruk alternative drivstoff er ikke veldig stor mellom de to scenarioene.

Det er viktig å merke seg at det hybride brenselcellefartøyet ikke blir valgt i noen av scenariene. Forklaringen på dette er trolig at hybridfartøyet antas å gi en betydelig økning i kapitalkostnader til

nybygg sammenliknet med et konvensjonelt fartøy, samtidig som deler av energiforbruket til fartøyet allikevel er nødt til å dekkes inn gjennom kjøp av diesel.

Tabell 5.2: Beregnet antall fartøy som anvender alternative drivstoff i Scenario A, etter fartøygruppe og år.

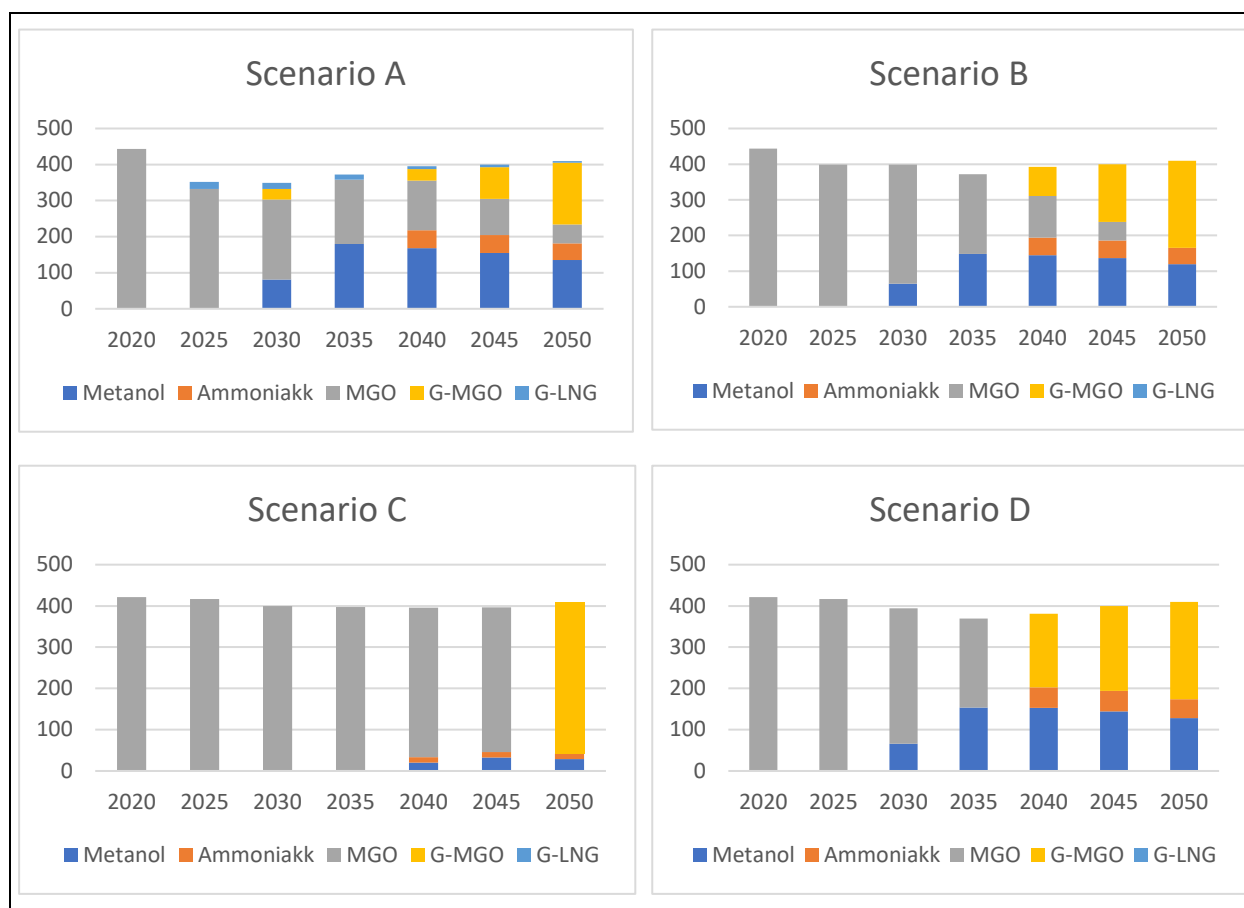
Fartøygruppe	Drivstoff	2025	2030	2035	2040	2045	2050
4. konvensjonell kystfartøy 21+ m	Metanol		4	12	11	10	9
5. konvensjonell havgående fartøy	Metanol		3	6	6	5	5
6. Torskeetrålere	Metanol		4	18	17	14	12
6. Torskeetrålere	Ammoniakk				7	7	6
7. Kystrekeetrålere	Metanol			10	10	9	9
7. Kystrekeetrålere	Ammoniakk				10	10	10
11. Kystnotfartøy (+SUK)	Metanol		7	13	19	24	22
12. Ringnotsnurpere	LNG	1	1	1	1	1	1
12. Ringnotsnurpere	Metanol		12	25	23	21	19
13. Pelagiske trålere	LNG	4	4	3	3	2	2
13. Pelagiske trålere	Metanol		3	4	4	3	3
13. Pelagiske trålere	Ammoniakk				3	3	3
14. Havgående krabbefartøy	Metanol		1	1	1	1	

Tabell 5.2 gir en nærmere beskrivelse av den beregnede innfasingen av fartøy som anvender alternative drivstoff i Scenario A. Antallet fartøy som anvender metanol estimeres til å bli størst i gruppene ringnotsnurpere, kystnotfartøy og torskeetrålere, mens ammoniakk vurderes å bli størst i gruppen kystrekeetrålere. Gass tas i bruk i gruppene ringnotsnurpere og pelagisk trål, men kun for et begrenset antall fartøy. Som vist av Figur 5.2 velges gassfartøy bare i scenario A, noe som tyder på at gass kun vil være en relevant energibærer i tilfeller der sektoren pålegges en hurtig reduksjon i utslipp relativt til dagens nivå.

Majoriteten av fartøyene som benytter alternative drivstoff kommer inn i flåten som nybygg. I Scenario A er det totalt 19 eksisterende dieselfartøy som bygges om for å kunne ta i bruk alternative drivstoff. Dette gjelder 9 torskeetrålere og 10 kystrekeetrålere. Alle de ombygde fartøyene tar i bruk metanol i år 2035.

5.3.2 De norske fiskeriers energiforbruk

Figur 5.3 viser beregnet energiforbruk (i million liter MGO-ekvivalent) i scenariene A-D. Den viser tydelig at FiSceMod i hovedsak ikke legger til grunn innfasing av grønne teknologier før i 2030. Det eneste unntaket er Scenario A hvor det investeres i 5 gassfartøy i perioden 2025-2030 (jf. tabell 5.2).



Figur 5.3: Beregnet energiforbruk (millioner liter MGO-ekvivalent) i scenariene A-D.

I Scenario A blir den raske innføringen av krav til utslippskutt møtt med en energieffektivisering av flåten gjennom operasjonelle tiltak i 2025. Slike utslippskutt kan modellen oppnå på flere måter: I FiScMod representeres hver fartøy- og aldersgruppe med en produktfunksjon estimert basert på data fra utvalgsundersøkelsen til Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse. En standard antakelse i økonomisk produksjonsteori er at det i noen grad kan være muligheter til å substituere mellom innsatsfaktorer i produksjonen av et gode. Graden av substitusjonsmuligheter vil avhenge av den enkelte produksjonen som analyseres, noe som må bestemmes på bakgrunn av empiriske data slik vi har gjort i dette prosjektet. Bytteforholdet mellom energi- og arbeidskraftinnsats er interessant da det kan tolkes som et mål på utslippsreduksjoner forbundet med tilpassing av fartøyenes seilingshastighet. Modellen kan også allokere fiskekvoter mellom ulike kohorter og energityper innad i en fartøygruppe, noe som f.eks. gjør det mulig med samfisking ved bruk av mer energieffektive fartøy og utnytting av skalafordeler i fangst av fisk (innenfor gjeldende maksimalkvoter per fartøy, noe som er pålagt som en bibetingelse til FiScMod). Dette kan bidra til en for optimistisk vurdering av energieffektiviseringspotensialet forbundet med operasjonelle tiltak dersom et rigid system for fiskekvoter forhindrer at slike mekanismer for effektivisering av energiforbruket til sektoren tas i bruk.

Det er viktig å bemerke at FiScMod vurderer energieffektiviseringstiltak i første rekke som relevante å ta i bruk i påvente av innfasingen av alternative energibærere i scenariene hvor sektoren møter et absolutt tak på sine klimagassutslipp (jf. scenariene A og B i Figur 5.3). I scenariene hvor næringen møter en karbonavgift framstår energieffektiviseringen som relativt begrenset. Dette gjelder spesielt i Scenario C hvor karbonprisen går mot en CO₂-avgift på ca 2 000 kr/tonnet i 2030. Som vist av figur 5.1 vil denne avgiften gi kun mindre reduksjoner i sektorens totale utslipp fram til prisen på grønn diesel forventes å falle under prisen på fossilt diesel (inkludert CO₂-avgift) i 2050.

Alle de 4 scenariene peker på metanol, ammoniakk og grønn diesel (bio- eller e-diesel) som de viktigste tekniske virkemidlene i dekarboniseringen av fiskeflåten. Metanol antas å bli tilgjengelig for nybygg allerede i 2030 og for ombygg av eksisterende dieselfartøy til dual fuel i 2035. Våre beregninger viser at den største innfasingen av metanol vil være i perioden 2035-2039. Ammoniakk antas å modne senere, og blir derfor i begrenset grad tatt i bruk i våre beregninger. Alle beregninger viser at innblanding av bio- og e-diesel vil være et sentralt virkemiddel for å nå en klimanøytral sektor i 2050.

5.4 Tiltakskostnader

Tiltakskostnader rapporteres normalt i form av kroner per tonn CO₂. For å beregne tiltakskostnader i scenariene A og B summerer vi nåverdien til alle årlige merkostnader forbundet med å overholde sektorens utslippskrav, relativt til sektorens årlige kostnadsminimering i fravær av et utslippskrav. Deretter deler vi disse diskonterte merkostnadene på antall tonn CO₂ spart i perioden 2020 til 2050 som følge av miljøreguleringen. Dette gir beregnede tiltakskostnader på 2 272 NOK/tonn i Scenario A og 1 971 NOK/tonn i Scenario B. Begge disse anslagene er i størrelsesorden lik myndighetenes referansepris på 2 000 NOK/tonn i 2030, noe som tyder på at klima- og miljøkravene antatt i de to scenariene A og B kan være samfunnsøkonomisk lønnsomme.

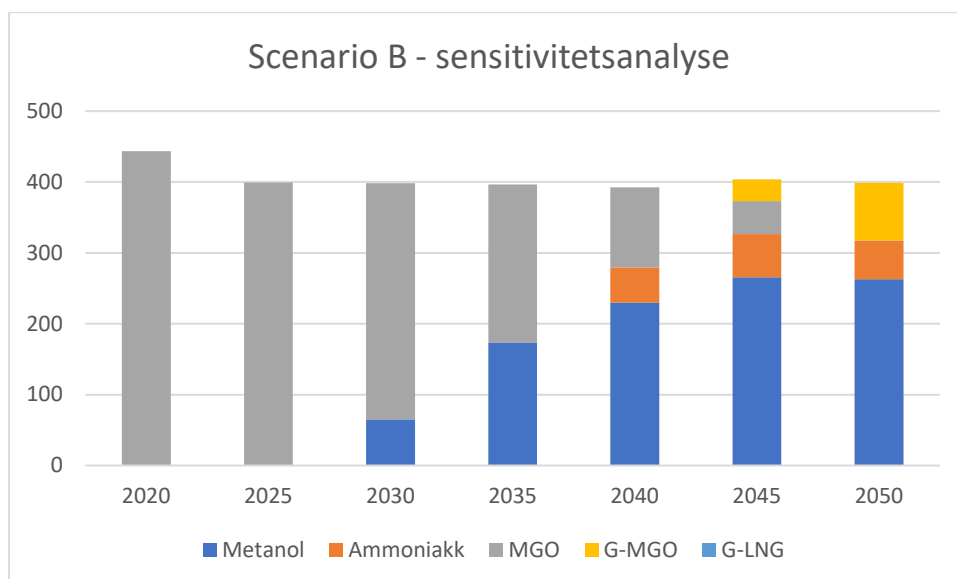
5.5 Sensitivitetsanalyse

Resultatene som presenteres i de foregående kapitlene fremkommer som en konsekvens av parametrene som benyttes i FiScMod. Siden det er stor grad av usikkerhet knyttet til framtidige priser ønsker vi i dette delkapitlet å belyse i hvilken grad konklusjonene endrer seg dersom sentrale parameterverdier endres. Dette kalles ofte en sensitivitetsanalyse på fagspråket.

5.5.1 Prisen på grønn diesel og gass

Resultatene fra scenarioanalysen peker på tilgangen til bio- og e-drivstoff som et sentralt teknisk virkemiddel til å møte økende krav til utslippskutt i fiskerisektoren. Vi ønsker derfor å gjøre en sensitivitetstest hvor tilgangen til disse drivstoffene forventes å være mer knapp i fremtiden (sammenliknet med andre drivstoff). Dette modellerer vi ved å doble prisen på grønn diesel og gass, relativt til de forutsatte energikostnadene beskrevet i kapittel 4.4. Resultatene fra denne analysen rapporteres av figur 5.4, som viser at metanol blir den dominerende energibæreren etter 2040 i dette tilfellet. Dette til tross for at kun rundt 160 av fartøyene i flåten beregnes til å ta i bruk alternative drivstoffer, noe som understreker hvor heterogene de ulike fartøyene er mtp. størrelse og energiforbruk. En konsekvens av den økte prisen på bio- og e-drivstoff er at tiltakskostnadene øker til 2 489 NOK/tonn CO₂ og dermed ligger over myndighetenes referansepris på CO₂ i 2030. Utviklingen av totale og relative energipriser vil med andre ord spille en viktig rolle for i hvilken grad utslippsreduksjoner innen fiskerisektoren vil vurderes som samfunnsøkonomisk lønnsomme eller ikke.

Det er viktig å presisere at det vil teknisk sett være en sammenheng mellom prisene på grønn diesel og gass og metanol, noe som vil bety at dersom de to førstnevnte blir dyrere vil også grønn metanol øke i pris. Denne testen må derfor først og fremst sees som en vurdering av konsekvenser dersom prisdifferansen mellom grønn metanol og diesel er undervurdert.



Figur 5.4: Beregnet energiforbruk (millioner liter MGO-ekvivalent) i Scenario B under forutsetning om en doblett pris på grønn diesel og gass.

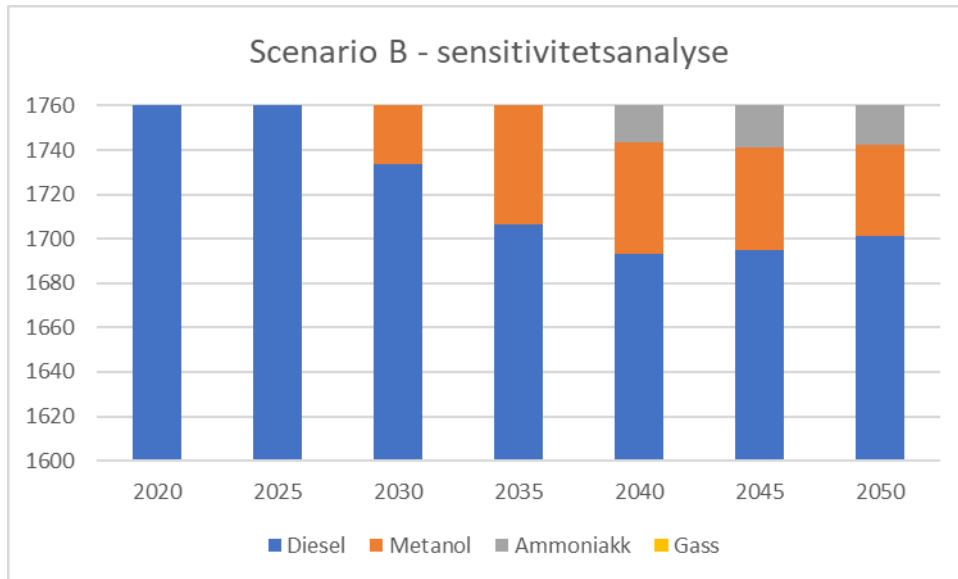
5.5.2 Kommersialisering av alternative drivstoff

I den neste sensitivitetsanalysen vurderer vi konsekvensene av at alternative drivstoff ikke blir teknisk tilgjengelige før 2050, noe som betyr at fiskerinæringen kun kan benytte grønn diesel som et virkemiddel til å redusere utslippene. En analyse for Scenario B viser at tiltakskostnadene øker fra 1 971 NOK/tonn til 2 383 NOK/tonn, dvs. at fraværet av alternative drivstoff gir en betydelig økning i sektorens tiltakskostnader.

5.5.3 Kapitalkostnader for alternative energibærere

Etter innspill fra Miljødirektoratet gjennomfører vi en sensitivitetstest hvor økningen i kapitalkostnader (relativt til konvensjonelle dieselfartøy) settes til 10% for metanol og 20% for ammoniakk. Figur 5.5 viser forventet utvikling i fiskeflåten i Scenario B i beregningene med forhøyede kapitalkostnader. En sammenlikning mot Figur 5.2 viser at den skisserte økningen i kapitalkostnader gir en mer begrenset innfasing av fartøy som benytter alternative energibærere i Scenario B: I det opprinnelige Scenario B er det anslått å være 100 fartøy som tar i bruk metanol og ammoniakk i 2040, mens tilsvarende antall er 69 i alternativberegningen hvor kapitalkostnadene er satt høyere.

Tiltakskostnadene i Scenario B er beregnet til 2 177 NOK/tonn når vi legger til grunn høyere kapitalkostnader. Dette er en betydelig økning sammenliknet med den opprinnelige beregningen på 1 971 NOK/tonn i Scenario B, men er allikevel i nærheten av myndighetenes referansepris på 2 000 NOK/tonn i 2030.



Figur 5.5: Forventet utvikling i antall fartøy i fiskeflåten i scenario B ved forhøyede kapitalkostnader for metanol- og ammoniakkfartøy.

5.6 Behovet for landbasert infrastruktur for alternative drivstoff til fiskerisektoren

AP3 har som oppdrag å vurdere behovet for landbasert infrastruktur for alternative drivstoff til fiskerisektoren innen 2030. Våre scenarioanalyser tyder på at dette behovet vil være begrenset innenfor rammene av den forventede utviklingen i klima- og miljøkrav til sektoren. Det er i første rekke metanol og/eller ammoniakk som blir vurdert som viktige alternative drivstoff, og disse er forventet å bli teknisk modne først i perioden etter 2030.

Et viktig spørsmål er hvilke merkostnader infrastruktur for bunkring vil gi, og om et eventuelt kostnads-påslag kan bli så vesentlig at det får betydning for nivået til drivstoffkostnadene og derigjennom resultatene til flåtemodellen. Svanberg mfl. (2018) diskuterer denne problemstillingen for metanol, som er det dominerende alternative drivstoffet i våre beregninger. Deres studie peker på at bunkring av metanol kun vil kreve modifisering av eksisterende infrastruktur for marine drivstoff, og at tanker som i dag benyttes til lagring av marint diesel enkelt kan tilpasses for lagring av metanol. De konkluderer derfor at etablering av fyllinfrastruktur for metanol i mindre grad vil være en barriere for innfasingen av drivstoffet sammenliknet med andre alternative drivstoff. Dette gjelder også for grønn diesel som er et såkalt «drop in»-drivstoff, dvs. et drivstoff som kan tas i bruk av konvensjonelle fiskefartøy uten å endre motoren eller energisystemet ombord. Siden resultatene til flåtemodellen peker på metanol og grønn diesel som de viktigste tekniske virkemidlene til en grønn omstilling av fiskeflåten konkluderer vi at resultatene fra scenarioanalysene i liten grad i liten grad vil være påvirket av kostnader til infrastruktur-utbygging.

Selv om våre beregninger tyder på at etableringen av fyllinfrastruktur ikke vil bli en barriere for det grønne skiftet i fiskeflåten ønsker vi allikevel å avslutningsvis gjøre en vurdering av behovet for fyllinfrastruktur for metanol i 2030 under forutsetningen av at dagens landingsmønster forblir uendret. Infrastrukturmodellen til FiSceMod kopler eksisterende fartøy mot anløp i norske fiskerikommuner og analyserer hva som vil være det lavest mulige behovet for fyllinfrastruktur dersom

- Et bestemt antall eksisterende fartøy i de forskjellige fartøygruppene (som beregnet i flåtemodellen) skal ta i bruk metanol

- b) De eksisterende fartøyenes anløpsmønster i norske havner forblir likt anløpsmønsteret fra Landings- og sluttseddelregisteret 2022.

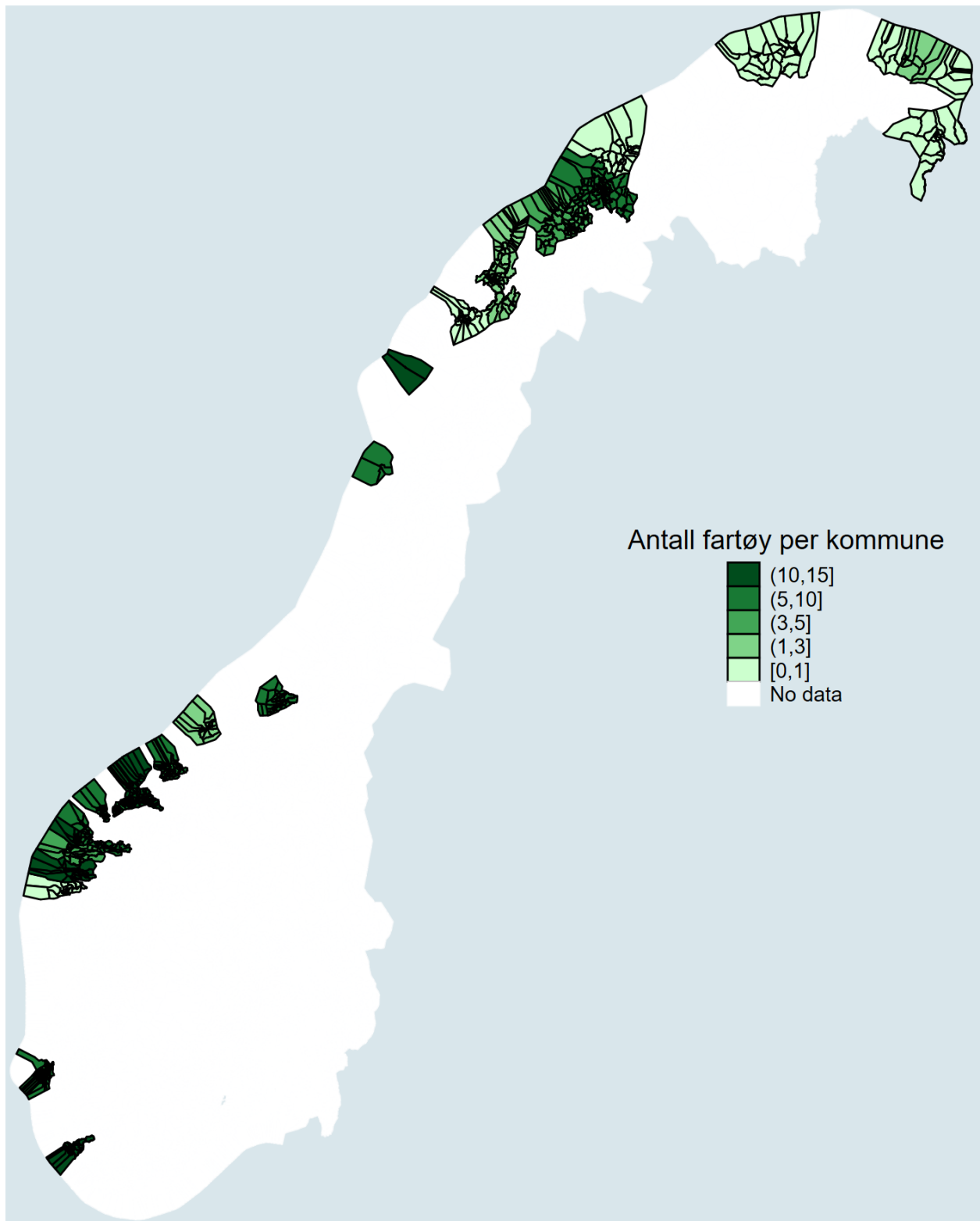
I likhet med Berg mfl. (2023) legger vi til grunn et fyllekonsept der et bunkringsanlegg for metanol mottar leveranser av drivstoff en gang per uke. Målet til infrastrukturmodellen er å velge ut fartøy fra den eksisterende flåten som «skal ta i bruk alternative drivstoff» og som har et landingsmønster som gjør at bunkringsbehovet i utvalgte fiskerikommuner og dermed kostnadene ved tilpassing av infrastrukturen til fylling av metanol blir lavest mulig for fiskerinæringen som helhet.

Det kan være flere aktuelle målfunksjoner for infrastrukturen. Et formål kan være å estimere de lavest mulige kostnadene forbundet med å etablere infrastrukturen, men det krever typisk en god del mer data om aktuelle fyllekonsepter. For eksempel kan transportkostnader utgjøre en vesentlig del av kostnader ved leveranse av drivstoff, og strategisk lokalisering av fylleanlegg i havner som ligger nært produksjonsanlegg kan være en viktig faktor. Dette er per i dag ikke kjent, noe som gjør det vanskelig å gi gode anslag på kostnadene knyttet til produksjon og distribusjon av drivstoff til fiskerihavnene.

En annen aktuell målfunksjon er å minimere antallet fyllelokasjoner, men dette kan gå på bekostning av målet om å identifisere de laveste kostnadene ved etablering av infrastrukturen. Våre beregninger viser at det minste mulige antallet utvalgte fiskerikommuner til betjening av etterspørselen etter metanol fra flåtemodellens beregninger for Scenario A er 34 kommuner (fordelt på 91 fartøy som tar i bruk metanol i dette scenarioet i løpet av perioden 2030-2050).

I vår hovedanvendelse av flåtemodellen har vi som målsetning å velge ut fartøy som samlet sett gir det laveste behovet for lagring av energi (og derigjennom fordrer de laveste utbyggingskostnadene) i fiskerikommunene. Vi anvender resultatene om antall fartøy som tar i bruk metanol i Scenario A (jf. tabell 5.2) til å beregne infrastrukturbehovet, og benytter også gjennomsnittlig beregnet drivstofforbruk per fartøygruppe fra flåtemodellen til å estimere det ukentlige fyllebehovet til bruk i infrastrukturmodellberegningene.

Figur 5.6 presenterer resultatene fra FiSceMods infrastrukturmodell basert på resultatene fra anvendelse av flåtemodellen til analyse av Scenario A. I tråd med formålet til arbeidspakke 3 viser kartet strategisk lokalisering av fyllepunkter for metanol i 2030. Fiskerikommuner som er valgt ut til etablering av fylleinfrastruktur vises med grønn farge, mens fargetonen viser hvor mange fartøy som anløper per kommune. Mørk grønnfarge betyr at et større antall fartøy anløper kommunen, mens lys grønnfarge innebærer at få fartøy anløper kommunen.



Figur 5.6: Lokalisering av fyllinfrastruktur for metanol i 2030. Kilde: FiSceMods infrastrukturmodell

6 Oppsummering og diskusjon

6.1 Oppsummering

Vi har i dette forskningsprosjektet utviklet modellverktøyet FiScMod til bruk for tiltaksanalyse av fiskerinæringen. Verktøyet beskriver næringen gjennom bruk av 169 modellagenter (dvs. fartøy- og aldersgrupper) og framskriver fiskeflåten fram mot 2050 basert på minimering av fiskernes drifts- og investeringskostnader. Modellen inneholder også en egen modul for beregning av skalering og lokalisering av infrastruktur for alternative drivstoff basert på resultatene fra scenarioanalysen.

Vi anvender FiScMod til å analysere 4 aktuelle scenarier om framtidig klimaregulering av fiskeflåten, enten i form av en avgift på klimagassutslipp eller som et kvotetak på sektorens utslipp. Resultatene viser overordnet at fiskerisektoren vil være i stand til å møte økende forventninger til klimagassutslippsreduksjon dersom den teknologiske utviklingen som forutsetter i våre analyser kan realiseres i framtiden. Våre estimer av tiltakskostnader tyder på at fiskerinæringen vil kunne omstille seg til å bli karbonnøytral innen 2050, og at tiltakskostnadene per tonn CO₂ vil være i størrelsesorden lik myndighetenes foreslåtte pris på karbonutslipp i 2030.

6.2 Diskusjon

Våre beregninger viser at utslippskvoter og/eller en høy avgift på klimagassutslipp vil medføre at alternative drivstoff tas i bruk i fiskeflåten. Derimot vil en moderat karbonbeskatning (dvs. 2 000 kr/tonnet fra 2030) i liten grad gi insentiver til utslippsreduksjoner. Dette styrker funnene til Roll mfl. (2022) som konkluderer med at drivstoffbeskatning vil ha liten innvirkning på praksisen innen fiskeri og dermed i begrenset grad endre sektorens klimagassutslipp. Våre funn viser at konklusjonene til Roll mfl. (2022) kun er gyldig for lave til moderate avgifter på konvensjonelt drivstoff.

Fiskerinæringen er heterogen, og et fåtall store fartøy står for størstedelen av utslippene. Våre beregninger viser at det i første rekke er disse fartøyene som kan utnytte alternative energibærere: I alle de analyserte scenarioene er det på det meste litt over 100 fartøy som anslås å ta i bruk alternative drivstoff av en fartøypopulasjon på nærmere 1800 fiskefartøy som brukes i beregningene.

I alle scenarioene som analyseres framstår metanol, ammoniakk og innblanding av grønn diesel som de viktigste teknologiske virkemidlene til å kutte utslipp i fiskeflåten. Gass og hydrogen (til bruk i hybridfartøy) spiller en neglisjerbar rolle i det grønne skiftet av fiskeflåten ifølge våre beregninger. Samtidig er det viktig å påpeke at det vil være de relative prisene til drivstoffene som bestemmer hvilke av de aktuelle energibærerne som tas i bruk i framtiden. Selv om energiprisene i FiScMod er basert på internasjonale framskrivinger er det stor usikkerhet heftet ved disse estimatene.

Priser på alternative drivstoff er betydelige i dag, noe som innebærer at FiScMod kun velger fossilt diesel til bruk i flåten i de nærmeste årene. Over tid forventes prisene på alternative drivstoff å falle samtidig som kravene til å kutte sektorens utslipp vil øke. Dette har vi modellert gjennom en økende CO₂-avgift eller gradvis strengere utslippskvoter. Våre sensitivitetstester viser at både relative priser på drivstoff og fartøystyper er avgjørende for FiScMods valg av fiskeflåtens grønne utvikling. Usikkerheten rundt relative priser mellom ulike alternative grønne løsninger i framtiden innebærer at våre analyser ikke kan gi et konkret svar på hvordan det grønne skiftet i fiskeflåten kommer til å se ut. Allikevel tilbyr FiScMod et konsistent rammeverk til å analysere alternative scenarier for fiskerisektoren. Etter hvert som framtidige priser på grønne drivstoffer blir mindre usikre vil modellens scenarioanalyser kunne gi et klarere bilde av hvilke energibærere som er lurt å satse på og hvor rask deres innfasing i fiskeflåten kan bli.

6.3 Feilkilder/forbehold

FiScMod baserer scenarioanalysene kun på drifts- og investeringskostnader for fartøysoperasjoner, og tar ikke hensyn til kostnader ved etablering av landbasert infrastruktur for alternative drivstoff i beregningene av deres innfasing. Dette kan medføre at modellen velger flere typer drivstoff og en større innfasing av alternative drivstoff enn det som er optimalt dersom man ser på fartøy- og infrastrukturkostnader samlet. Samtidig viser sensitivitetsanalyser i kapittel 5.5 at dersom alternative drivstoffer ikke er tilgjengelige vil det øke fiskerinæringens tiltakskostnader betydelig. Det er derfor grunn til å tro at selv om FiScMod skulle utvides til å simultant minimere kostnader for fiskeflåten og etablering av fylleinfrastruktur ville de overordnede valgene av fartøy og energityper presentert i denne rapporten endres i liten grad. Svanberg mfl. (2018) peker også på at etablering av infrastruktur for bunkring av metanol – som fremstår blant de viktigste alternative energibærerne i FiScMods scenarioanalyser – i langt mindre grad utgjør en barriere sammenliknet med infrastruktur for andre alternative energibærere.

En annen svakhet ved infrastrukturmodellen er at den baserer seg på data fra Landings- og sluttseddelregisteret og Merkeregisteret. Det har ikke vært mulig å gjenskape fartøyklassifiseringen i Lønnsomhetsundersøkelsen fra Merkeregisteret, noe som forventes å gi noen avvik knyttet til klassifiseringen av fartøy til bruk i infrastrukturmodellen.

6.4 Videre forskning

FiScMod er et nybrottsarbeid og denne rapporten presenterer første versjon av tiltaksanalyseverktøyet. Det vil arbeides for at modellen oppdateres og utvides med bedre data og flere utslippsreducerende tiltak i videre forskningsprosjekter. Modellen kan også brukes til å studere strukturendringer i fiskeflåten og kvotehandling mellom fartøygrupper og deres betydning for sektorens samlede utslipp. Disse problemstillingene tas ikke opp i denne rapporten som behandler dagens kvoteregulering av næringen som uforandret fram mot 2050.

Referanser

- Aigner, D., Knox Lovell, C. A. og P.Schmidt (1977) Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6, 21–37.
- Berg, V.M., Borgmo, A.K. og S.S. Opheim (2023) Strategic planning for optimal zero-emission passenger vessel services. Masteroppgave, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet.
- Bostian, M., Färe.,R., Grosskopf, S., Lundgren, T. og W.L. Weber (2018) Time substitution for environmental performance: The case of Swedish manufacturing. *Empirical economics*, 54, 129-152.
- Charnes, A., Cooper, W.W. og Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- DNV GL (2019) Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk. Rapport 2019-0939. DNV GL, Høvik.
- Eide, M.S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, Ø. og S.B. Dalsøren (2011) Future cost scenarios for reduction of ship CO₂. *Maritime Policy & Management*, 38, 11-37.
- Finansdepartementet (2021): Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser.
- Fiskeridirektoratet (2017) Lønnsomhetsundersøkelse for fiskeflåten 2019. Fiskeridirektoratet, Bergen.
- Fridstrøm, L. Østli, V. og K.W. Johansen (2016) A stock-flow cohort model of the national car fleet. *European Transport Research Review*, 8, 22.
- Färe, R. Grosskopf, S. og G. Whittaker (2000) Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34, 35-49.
- Jafarzadeh, Z., Ladestein, J., Zenith, F., Ødegård, A., Sundeseth, K., Ortiz, M.M. og R. Høyli (2021) Elektrifisering av kystfiskeflåten ved bruk av batterier og brenselceller. Rapport 2021: 00632. Sintef Ocean, Trondheim.
- Greene, D.L. og B. Leard (2023) Statistical estimation of trends in scrappage and survival of U.S. light-duty vehicles. University of Tennessee, Knoxville.
- Havre, H.F., Lien, U., Ness, M.M., Fagerholt, K. og K.L. Rødseth (2022) Cost-effective planning and abatement costs of battery electric passenger vessel services. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 113, 103495.
- IMO (2023): 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.
- IEA (2022): Global Hydrogen Review.
- IEA (2021): Net Zero by 2050 (4th edition).
- Interreg-report (2020): Comparative Report for Alternative Ship Propulsion.
- IRENA (2021): Innovation Outlook – Renewable Methanol 2021.
- Keshvari, A. (2018) Segmented concave least squares: A nonparametric piecewise linear regression. *European Journal of Operational Research*, 266, 585-594.
- Klimarådet (2022): Statusrapport 2022.

- Korberg, A.D., Brynolf, S., Grahn, M. og I.R. Skov (2021) Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110861.
- Kuosmanen, T. (2008) Representation theorem for convex nonparametric least squares. *The Econometrics Journal*, 11, 308-325.
- Lagemann, B., Lindstad, E., Fagerholt, K., Rialland, A. og S.O. Erikstad (2022) Optimal ship lifetime fuel and power system selection. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103145.
- Lerøy Havfisk (2023): GSP Pilot Ammoniakk-drevet tråler.
- Meeusen, W. og J. van Den Broeck (1977) Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18, 435-444.
- Miljødirektoratet (2020) KLIMAKUR 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030. Miljødirektoratet, Oslo.
- Regjeringen (2020): Grønnere og smartere – morgendagens maritime næring. Meld. St. 10 (2020–2021)
- Regjeringen (2021): Hurdalplattformen – For en regjering utgått fra Arbeiderpartiet og Centerpartiet. 2021 – 2025.
- Roll, K.H., Asche, F. og T. Bjørndal (2022) The effect of introducing fuel tax to the Norwegian fishery industry. *Marine Policy*, 135, 104829.
- Svanberg, M., Ellis, J., Lundgren, J. og I Landälv (2018) Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1217-1228.
- Thompson, S. og T. Thompson (2021) Sluttrapport: Klimaveikart for fiskeflåten. Stakeholder, Oslo.
- Thorne, R., Lopez, F.A., Figenbaum, E., Fridstrøm og D.B. Müller (2021) Estimating stocks and flows of electric passenger vehicle batteries in the Norwegian fleet from 2011 to 2030. *Journal of Industrial Ecology*, 25, 1529-1542.

TØI er et anvendt forskningsinstitutt som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet driver forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, bøker, seminarer, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
0349 Oslo
Norge

E-post: toi@toi.no

Kontoradresse:

Forskningsparken
Gautstadalléen 21

Hjemmeside: www.toi.no

