DNV·GL

UTREDNING: REDUKSJON AV KLIMAGASSUTSLIPP FRA SKIPSFARTEN

REDUKSJON AV KLIMAGASSUTSLIPP FRA NORSK INNENRIKS SKIPSFART

Klima- og miljødepartementet

Report No.: 2016-0150
Date: 2016-03-18

Project name:	Utredning: reduksjon av klimagassutslipp fra skipsfarten	DNV GL AS Maritime Maritime Advisory
Report title:	REDUKSJON AV KLIMAGASSUTSLIPP FRA NORSK INNENRIKS SKIPSFART	P.O.Box 300 1322 Høvik
Customer:	Klima- og miljødepartementet	Norway Tel: +47 67 57 99 00
Customer contact:	Sveinung Oftedal	
Date of issue:	2016-03-18	
Project No.:	PP147566	
Organisation unit:	Maritime Adviosory	
Report No.:	2016-0150, Rev. 0	
Document No.:	1YCIYO3-1	

Applicable contract(s) governing the provision of this Report:

Formål:

Utredningen identifiserer reduksjonspotensialet for klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040. Dette er beregnet på grunnlag av tekniske analyser av sektoren, og vurderinger knyttet til gjennomførbare tiltaksmuligheter.

Prepared by:	Verified by:	Approved by:
Magnus S. Eide Principal Consultant	Håkon Hustad Principal Consultant	Terje Sverud Head of Section
Harald Gundersen, Lars Laugen, Magnus Lande, Eirik Nyhus, Synne Mossevig		

Copyright © DNV GL 2016. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV GL undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Distribution:

☒ Unrestricted distribution (internal and external)
☐ Unrestricted distribution within DNV GL Group
☐ Unrestricted distribution within DNV GL contracting party
☐ No distribution (confidential)

Keywords:
Innenriks skipsfart, CO_2 utslipp, drivstoff, tiltak

Innholdsfortegnelse

1 SAMMENDRAG 1
Bakgrunn 1
Modellering av tiltak for CO_2 reduksjon 1
Resultater 1

2 INTRODUKSJON 5

3 DAGENS UTSLIPP OG SKIPSTRAFIKK 7

4 METODE 11
4.1 Overordnet metodebeskrivelse 11
4.2 Modell for beregning av prissatte effekter av tiltak på skip i norske farvann 12
4.2.1 Utslippsberegningsmodul 14
4.2.2 Flåtevekstmodul 14
4.2.3 Tiltaksmodul 15

5 TILTAKSBESKRIVELSE 17
5.1 Drivstoffalternativer 17
5.1.1 Flytende naturgass – LNG 17
5.1.2 Biodrivstoff 17
5.1.3 Elektrisitet 19
5.2 Tekniske og operasjonelle reduksjonstiltak 20
5.2.1 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon 21
5.2.2 Motstandsreduserende bunnstoff 22
5.2.3 Luftboblesmøring 23
5.2.4 Kontraroterende propeller 24
5.2.5 Andre propulsjonstiltak 24
5.2.6 Frekvensstyrte motorer 25
5.2.7 Eksoskjeler på hjelpemotorer 26
5.2.8 Energieffektiv belysning 27
5.2.9 Drage (kite) 28
5.2.10 Seil og Flettner-rotorer 29
5.2.11 Solcellepanel 30
5.2.12 Batterihybridisering, m.v. 30
5.2.13 Trim- og dypgangsoptimering 31
5.2.14 Værruting 31
5.2.15 Seilasplanlegging 32
5.2.16 Dampsystem-optimering 33
5.2.17 Propellpolering 33

6 SCENARIER FOR PRIS PÅ DRIVSTOFF 35

7 RESULTATER – MULIGE UTSLIPPSREDUKSJONER MOT 2040 36
7.1 CO_2-utslipp fra innenriks skipsfart i 2040 – uten tiltak 36
7.2 Effekt av tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon alene 37
7.3 Muligheter for oppnåelse av nasjonale utslippsmål ved både alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak 38
7.3.1 Målsettingen for utslipp i 2040 40

7.3.2 Spenne utfallsrommet for effekter av tiltaksbruk 40
7.3.3 Realitetsorientert scenario for oppfyllelse av målsettingen 43

8 SAMFUNNSØKONOMISKE BETRAKTNINGER 50
8.1 Oppnådd utslippsreduksjon 50
8.2 Eksterne effekter 50
8.3 Sensitivitetsanalyse 55
8.3.1 NOx-reguleringer 55
8.3.2 Drivstoffpriser 55

9 ANDRE KLIMAGASSER 57
9.1 Andre gasser fra forbrenning av drivstoff 57
9.2 Utslipp av VOC fra frakt av petroleumslast 58

10 VURDERINGER KNYTTET TIL UTFALLET AV COP 21 59
10.1 Generelt 59
10.2 Internasjonal skipsfart 59
10.3 Status for IMO-arbeidet 59
10.4 Implikasjoner av Parisavtalen 60
10.5 Anbefalinger 61

11 DISKUSJON 63
11.1 Usikkerhet 63
11.2 Mulig videre arbeid – nye tiltak 63
11.2.1 Hydrogen som drivstoff i skipsfarten 64
11.2.2 Tekniske og operasjonelle tiltak for CO2-reduksjon 64
11.2.3 Strukturelle tiltak 65

12 KONKLUSJONER 68

13 REFERANSER 71

1 SAMMENDRAG

Bakgrunn

Norske myndigheter har formulert ambisiøse målsettinger for reduserte klimagassutslipp, med en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990. Ikke-kvotepliktige sektorer i EU skal samlet sett redusere sine utslipp med 30 % sammenlignet med 2005, og Norge kan forvente å få et mål opp mot 40 % for disse sektorene. Transport er viktigste utslippskilde i ikke-kvotepliktig sektor. Det må derfor tas store reduksjoner i klimagassutslipp i transportsektoren, inkludert innenriks sjøfart. Regjeringen har gjort det klart at miljøvennlig skipsfart er et prioritert innsatsområde.

Denne studien er gjennomført på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet som et faglig grunnlag i oppfølgingen av de politiske målsettingene. Utredningen skal identifisere reduksjonspotensialet for klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040.

Modellering av tiltak for CO_2 reduksjon

En modell er tidligere etablert av DNV GL for å beregne utslippsreduksjoner og kostnadseffektivitet for ulike miljøvennlige drivstoff. Modellen er benyttet for skip i norske farvann frem mot 2040, og beregner utslipp og tilhørende kostnader knyttet til omlegging på skipsnivå, der endringer i flåtesammensetning over tid tas hensyn til.

Modellen er videreutviklet for å håndtere både omlegging til alternative drivstoff og ulike tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon. I den oppdaterte modellen er 17 tekniske og operasjonelle tiltak implementert. I tillegg er de følgende alternative drivstoff modellert:

- LNG
- Innblanding av biodrivstoff (20 % biodiesel)
- 100 % biodrivstoff (biodiesel eller vegetabilsk olje)
- Elektrisk drift (batterier)

Resultater

Vi benytter modellen som er beskrevet til å regne på scenarier der forskjellige tiltak anvendes på flåten i forskjellig grad. Scenariene danner et bilde av muligheter og begrensninger ved ulik tiltaksbruk for å redusere klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040. Ut fra den politiske målsettingen om 40 % lavere utslipp i 2030 sammenliknet med 1990, har DNV GL utledet at utslippene i 2040 må være 50 % lavere inn i 2015 (dagens situasjon). Scenariene er valgt for å belyse et sett grunnleggende spørsmål som denne rapporten tar sikte på å besvare:

CO2-utslipp fra innenriks skipsfart i 2040 – uten tiltak

Hva vil utslippene bli dersom flåten er som i dag (teknologisk og operasjonelt, men flåtevekst hensyntatt), og hva er effekten av allerede vedtatt regelverk for CO_2-utslipp fra skip, dvs. EEDI- kravet for nye skip?

Utslippet fra innenriks skipstrafikk i dag er 3,4 millioner tonn (Mt) CO_2. Fremskrevet til 2040, i tråd med forventet flåtevekst, beregnes utslippet til 5,2 Mt CO_2; gitt at flåten er som i dag med tanke på drivstofftyper, teknologi og operasjonell praksis. Dersom vi tar hensyn til at nybygg innen en rekke skipstyper frem mot 2040 må oppfylle krav til energieffektivitet, de såkalte EEDI-kravene, finner vi at utslippet i 2040 er 4,7 Mt CO_2.

Resultatene viser at utslippet av CO_2 ventes å øke betydelig frem mot 2040 dersom flåtevekst legges til grunn uten at miljøvennlig drivstoff eller ny teknologi kommer til, annet enn det som følger av EEDI-kravene. Økningen fra 2015 til 2040 er beregnet til 38 % når EEDI tas med, mot 52 % dersom EEDI ikke tas med. EEDI i seg selv reduserer altså utslippet med omkring 10 % sammenlignet med hva situasjonen ellers ville vært i 2040. Veksten i utslippene frem til 2040 bremses altså noe, men utslippene reduseres ikke sammenlignet med dagens nivå.

Effekt av tekniske og operasjonelle tiltak for CO2 reduksjon

Hva kan oppnås ved tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon alene?

Om alle de 17 tekniske og operasjonelle tiltakene inkludert i vår modell implementeres på alle skip der det er vurdert som teknisk mulig – nye som gamle – er utslippet i 2040 beregnet til 3,7 Mt CO_2. Dette er en reduksjon på 21 % sammenlignet med baseline, eller en økning på omtrent 11 % sammenlignet med dagens utslipp. Merk at tiltaksbruken her ikke omfatter alternative drivstoff.

Muligheter for oppnåelse av nasjonale utslippsmål ved både alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak

Hvordan kan alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon sammen bidra til å oppnå utslippsreduksjoner som er i samsvar med nasjonale målsettinger?

Et mer realitetsorientert scenario er konstruert for å;

a. Nå målsetning om 50 % utslippsreduksjon i 2040 i forhold til dagens nivå

b. Begrense kostnadene

c. Velge gjennomførbare, realistisk løsninger

Dette scenariet innebærer anvendelse av et alternativt drivstoff på alle nybygde skip som går mer enn 80 % av tiden i norske farvann. Skip med mindre av tiden i norske farvann går på tradisjonelt oljebasert drivstoff (MGO/HFO). Samtidig antas det årlig at 1 % av de eksisterende skipene bytter til alternativt drivstoff, slik at 28 % av den seilende flåten (2750 skip) opererer med alternativt drivstoff i 2040. Hvilket alternativt drivstoff DNV GL antar at blir benyttet varierer med skipstype;

- Lasteskip og fiskefartøy benytter hovedsakelig 20 % innblanding av biodrivstoff i tradisjonelt oljebasert drivstoff
- Passasjerskip under en viss størrelse (inkludert ferjene) benytter elektrisk fremdrift
- Offshoreskip benytter LNG

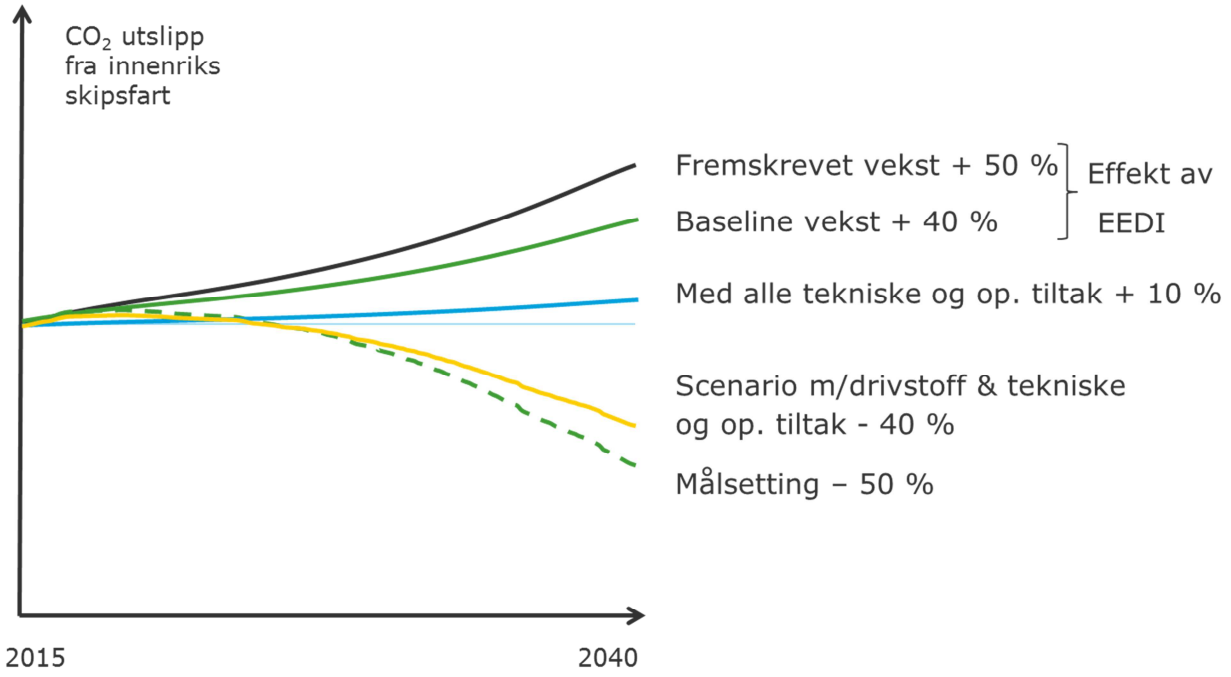
I tillegg antar vi at alle tilgjengelige tekniske og operasjonelle tiltak anvendes på skip uavhengig av tid i norsk farvann.

Dette scenariet gir et utslipp av CO_2 som er 40 % lavere enn dagens nivå, eller 60 % lavere enn i 2040 uten alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak utover regelverket. Scenariet vil med andre ord ikke bringe utslippene helt ned til målsettingen, dvs. 50 % under dagens nivå. Et noe mer omfattende opptak av alternative drivstoff og/eller tekniske/operasjonelle tiltak vil måtte tas i bruk for å nå et slikt nivå.

Det realitetsorienterte scenariet synes å kunne gi store utslippskutt på en relativt kostnadseffektiv måte. Dette vil også kunne være teknisk gjennomførbart, forutsatt tilstrekkelig tilgang på de ulike drivstoffalternativene. Det kreves imidlertid omfattende grep for faktisk å ta i bruk eksisterende

løsninger, samt utvikle nye løsninger. Merk at denne studien ikke har vurdert hvilke virkemidler som er nødvendige for å realisere potensialene som er identifisert.

Resultatene er sammenfattet i figuren nedenfor;



Figur 1-1: Sammenfatning av hovedresultatene fra studien.

Samfunnsøkonomiske betraktninger

Hva er den samfunnsøkonomiske implikasjonen av å nå utslippsmålet for innenriks utslipp gjennom alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak?

Det synes å finnes mulige scenarioer for tiltaksbruk som langt på vei oppfyller den nasjonale målsettingen om reduksjon av CO_2 fra innenriks skipsfart. DNV GL har analysert hva den samlede samfunnsøkonomiske implikasjonen for et realitetsorientert scenario for kombinasjon av alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak. Ettersom kostnadene av scenariet vil variere betydelig med valgt scenario for drivstoffpriser, har vi tatt utgangspunkt i et «middel pris»-scenario, og belyser effekten av endrede betingelser/priser.

Resultatet viser at kostnadseffektiviteten i scenariet vil være 170 NOK per tonn redusert CO_2. Det vil si at prisen for å nå målsettingen om 50 % utslippsreduksjon i 2040 er 170 NOK per tonn redusert. Dette er imidlertid kun inkludert kostnader som er internalisert hos rederen, dvs. investeringskostnad, samt drift og vedlikeholdskostnader. For å finne samfunnsøkonomisk lønnsomhet må alle effekter av tiltakene tas i betraktning – også eksterne effekter.

Modellen estimerer også reduksjoner i NO_x, SO_x og PM. Disse verdsettes ved hjelp av verdsettingsfaktorer. Når de prissatte effektene tas med i analysen, ser vi at de eksterne effektene har stor innvirkning på resultatet. Når de eksterne prissatte effektene tas høyde for, blir tiltakene, samfunnsøkonomisk sett, lønnsomme. Tiltak som har en samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet som er lavere eller lik null defineres som samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Resultatet viser at den samfunnsøkonomiske kostnadseffektiviteten i scenariet vil være -385 NOK per tonn redusert CO_2. Totalt sett, alle tiltak sett under ett, er tiltakene i scenariet samfunnsøkonomisk lønnsomme – for hver krone som investeres i reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipsfart vil samfunnet få den tilbake. Med renter. Robustheten i denne konklusjonen er etterprøvd ved å undersøke sensitiviteten av resultatet langs to akser; nivået på NOx-baseline (Tier II eller Tier III), og effekten av valgt drivstoffpris. Resultatet viser at konklusjonen om samfunnsøkonomisk lønnsomhet holder seg under alle de undersøkte forhold.

2 INTRODUKSJON

Skipsfarten bidrar betydelig til luftforurensning og klimagassutslipp, både nasjonalt og internasjonalt. Utslipp av blant annet SO_x, NO_x og partikler bidrar til helse- og miljøskader, mens CO_2-utslipp er den viktigste klimagassen fra skipsfarten.

Skipsfarten har de senere årene blitt underlagt et strengere regime med regler som begrenser utslipp til luft av forurensende stoffer. De viktigste reglene knytter seg til IMOs MARPOL-konvensjon, men også regionale aktører som EU stiller krav som påvirker næringen. Det er ventet at skipsfarten blir underlagt ytterligere internasjonale krav om utslippsreduksjon i årene som kommer. Spesielt gjelder dette for klimagassutslipp, der det i dag ikke er samsvar mellom utslippskravene og de vedtatte politiske målsettingene (2-gradersmålet).

Om klimagasser skriver Regjeringen i Stortingsmelding nr. 13 (2014-2015) «Ny utslippsforpliktelse for 2030 – en felles løsning med EU», at Norge vil påta seg en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990.

For sektorene som er en del av EUs kvotehandelssystem vil dette innebære en samlet utslippsreduksjon på 43 % sammenlignet med 2005. Ikke-kvotepliktige sektorer i EU skal samlet sett redusere sine utslipp med 30 % sammenlignet med 2005, og Norge kan forvente å få et mål opp mot 40 % for disse sektorene[1]. I Norge er transportsektoren, inkludert innenriks sjøfart og fiske, en av de viktigste utslippskildene i ikke-kvotepliktig sektor. Det kreves derfor store utslippsreduksjoner i denne sektoren fram mot 2030. Regjeringen har i samme stortingsmelding uttalt at miljøvennlig skipsfart er et prioritert innsatsområde, og at den skal føre en offensiv og helhetlig politikk for en mer klima- og miljøvennlig sjøtransport. Gjennom regjeringens maritime strategi og Stortingets behandling av Innst. 78 S fra energi- og miljøkomiteen i desember 2015 er det videre gitt føringer for tilrettelegging og anvendelse av nullutslippsteknologi i ferjesektoren, samt ny utslippsreduserende teknologi generelt i nærskipsfarten.

Denne studien er bestilt av Klima- og miljødepartementet som et faglig grunnlag i oppfølgingen av de politiske målsettingene. Utredningen skal identifisere reduksjonspotensialet for klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040.

Studien bygger videre på tidligere arbeider utført for Klima- og miljødepartementet (DNV GL, 2015), som vurderer tiltak og virkemidler for å legge til rette for at mer miljøvennlig drivstoff tas i bruk i skipsfartsnæringen i Norge. Studien fant at reduksjon av CO_2-utslipp i 2040 til nivåer under 2015-nivå ved hjelp av aktuelle alternative drivstoff forutsetter en vesentlig grad av omlegging til nullutslippsløsninger, dvs. biodrivstoff og elektrisitet. Videre viste studien at flere tiltak vil være kostnadseffektive.

Analysen fra 2015 dekket omlegging til alternative drivstoff, og så ikke nærmere på tekniske tiltak (slik som energioptimalisering og renseteknologi) for reduksjon av CO_2 og andre avgasser. Heller ikke operasjonelle tiltak ble dekket. Kombinasjonsløsninger og synergieffekter ble heller ikke dekket, f.eks. kombinasjonen av hybridelektrisk fremdrift og LNG eller renseteknologi. Det fulle potensialet for utslippsreduksjon ble følgelig ikke undersøkt.

I denne studien er formålet å presentere et mer helthetlig bilde av potensialene for CO_2-reduksjon i innenriks skipsfart, gjennom å undersøke tekniske og operasjonelle tiltak for reduksjon av CO_2 i sammenheng med opptak av alternative drivstoff. Merk at studien ikke vurderer bruken av virkemidler for å realisere potensialene som identifiseres.

[1] http://www.ntp.dep.no/Nasjonale+transportplaner/2018-2029/Plangrunnlag/_attachment/1215451/binary/1093521?_ts=15323e2abb8

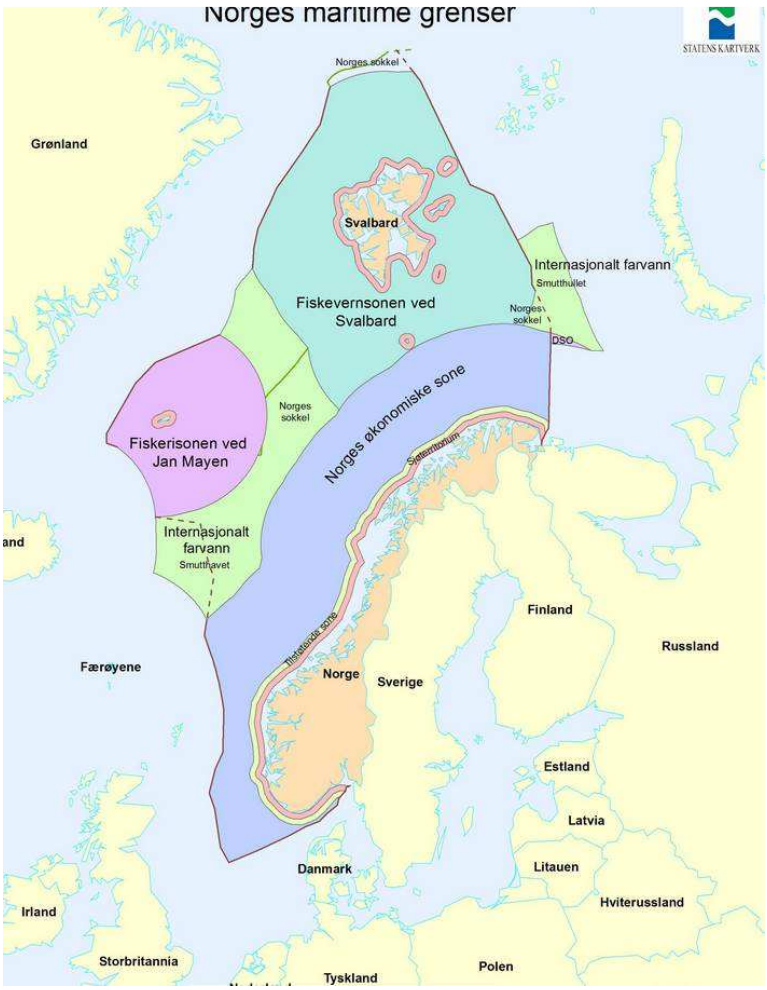
Rapporten er strukturert som følger:

- Kapittel 3 gir en bakgrunn for modelleringen av tiltak gjennom en statusbeskrivelse av dagens utslipp og trafikk i norske farvann.
- Kapittel 4 beskriver metoden som er utviklet og anvendt i denne studien.
- Kapittel 5 beskriver det mest sentrale inputen til modellen, nemlig tiltakene som er modellert og studert, både drivstoffalternativer og tekniske og operasjonelle tiltak for reduksjon av CO_2.
- Kapittel 6 beskriver scenarier for drivstoffpriser, som er en kritisk parameter i studien.
- Kapittel 7 presenterer resultanter av modellkjøringene, som beskriver mulige utslippsreduksjoner for CO_2 mot 2040.
- Samfunnsøkonomiske betraktinger og beregninger knyttet til utslippsreduksjonene er presentert i kapittel 8.
- Kapittel 9 gir et overblikk over andre relevante klimagassutslipp fra skipsfarten.
- Kapittel 10 presenterer vurderinger knyttet til utfallet av klimaavtalen utarbeidet under COP 21.
- Kapittel 11 presenterer avslutningsvis en diskusjon rundt usikkerhet, og mulig videre arbeid.
- Kapittel 12 presenterer konklusjoner for studien.

3 DAGENS UTSLIPP OG SKIPSTRAFIKK

Utredningen skal identifisere reduksjonspotensialet for klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040. Som et utgangspunkt er det viktig å forstå hva som kjennetegner trafikken i norske farvann, spesielt innenriks skipsfart. Drivstofforbruk og utslipp fra skip i norske farvann i 2013 er tidligere beregnet av DNV GL (2014). Selv om trafikkbildet endres fra år til år, venter vi at de hovedlinjene som er beskrevet ut fra 2013 tall også kan antas representative for dagens utslipp, og dermed danne et godt utgangspunkt for å modellere effekt av reduksjonstiltak på flåten mot 2040.

For skipene i norske farvann er det hentet frem data for 2013 fra AIS (Automatic Identification System) om skips identitet og tidsbestemte posisjoner. Norske farvann er definert som norsk økonomisk sone (NØS), fiskerivernssonene rundt Svalbard og Jan Mayen, samt Smutthavet og Smutthullet som illustrert i Figur 3-1. Dette gir en detaljert oversikt over aktiviteten til alle skip over en viss størrelse. Informasjonen fra AIS er sammenstilt med fartøysdatabaser der annen skipspesifikk informasjon fremkommer, slik som fartøystype, installert maskinerieffekt og tonnasje.



Figur 3-1: Norske farvann (skravert).

Totalt 6 700 ulike fartøy trafikkerte i norske farvann i 2013 i følge AIS-dataene. Merk at mobile rigger ikke er inkludert i denne analysen. Stykkgodsskip utgjør den største gruppen med nesten 1 600 skip og er dominert av mindre skip under 5 000 gross tonn (GT) i nasjonal fart. De større skipene er olje-,

kjemikalie- og gasstankere, samt bulkskip og konteinerskip. Disse utgjør ca. 2 300 skip – hovedsakelig i internasjonal fart. Inkludert ro-ro og kjøle/fryseskip så var det totalt ca. 4 100 lasteskip innom NØS i løpet av 2013.

Passasjerskip er en sammensatt gruppe skip bestående av nesten 500 enkeltfartøy, som spenner fra ferger og hurtigbåter i nasjonal fart til større cruiseskip i internasjonal fart. Offshoreskipene utgjør omtrent 600 fartøy.

Nesten 1 000 fiskefartøyer er registret i norske farvann i 2013. Dette er større fartøy med AIS-sendere som også har registrert data i de internasjonale skipsdatabasene. Det finnes ytterligere om lag 5 000 norske fiskefartøy under 11 meter. Disse bidrar til omtrent 20 % av drivstofforbruk og utslipp fra fiskeflåten, men er ikke del av AIS-materialet. I tillegg er det 700 skip som er registrert i gruppen «andre aktiviteter». Dette inkluderer blant annet brønnbåter i oppdrettsnæringen, taubåter og kystvaktskip. Norsk-flaggede skip utgjør bare 20 % av antall skip observert. Disse bidrar imidlertid med nær halvparten av det totale drivstofforbruket i norske farvann.

DNV GL (2014) har produsert detaljerte, aktivitetsbaserte beregninger for skipenes drivstofforbruk og utslipp av blant annet CO_2, SO_X og NO_X. Beregningene er gjort ved at AIS-informasjon om skipenes operasjonsmønster kobles sammen med tekniske data knyttet til det enkelte skip, slik som motorstørrelse og drivstofftype. Denne nedenfra-og-opp metodikken, der det enkelte skips bevegelser og spesifikke parametere er lagt til grunn og siden aggregert opp til nasjonalt nivå, gjør oss i stand til å tegne et svært detaljert bilde av maritime aktiviteter i norske farvann. Dette arbeidet har gitt ny og ikke tidligere tilgjengelig informasjon om hvordan trafikken fordeler seg på forskjellige trafikktyper, se Figur 3-2.

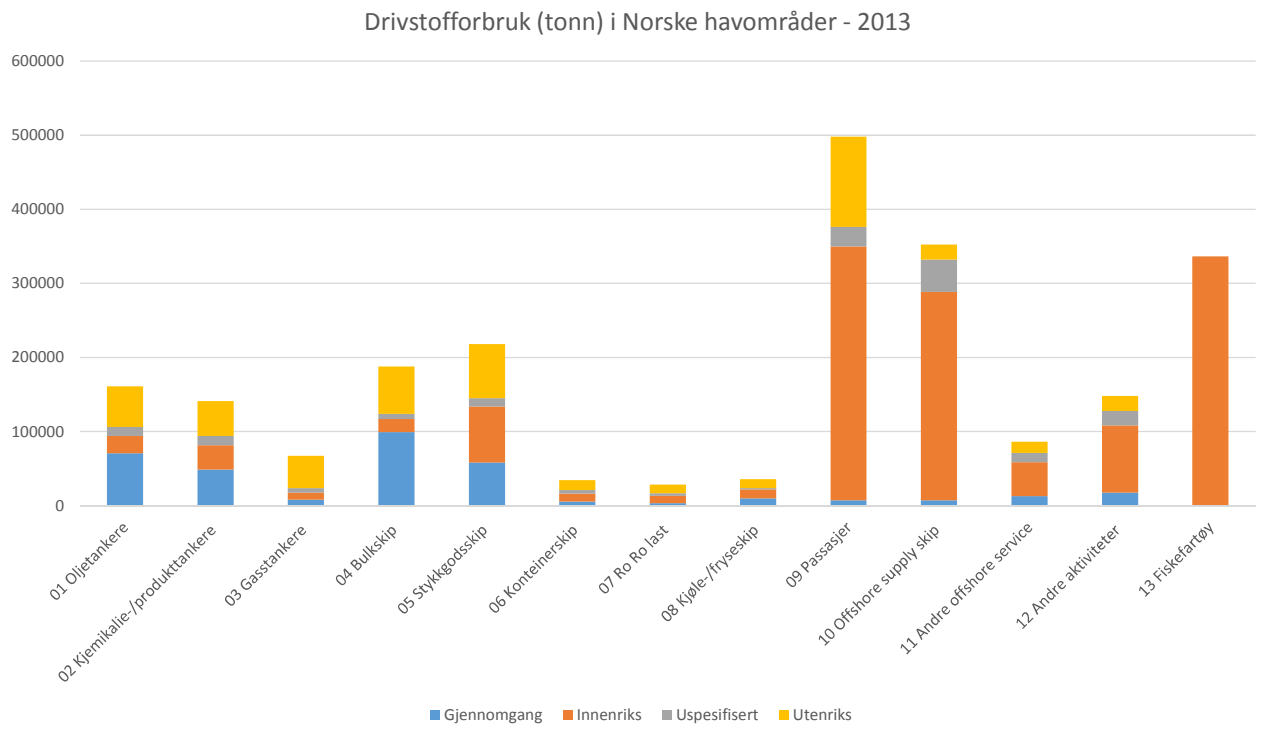
- **Innenrikstrafikk:** Trafikk mellom norske havner og offshoreinstallasjoner.
- **Internasjonal trafikk**: Trafikk fra/til norske havner og offshoreinstallasjoner til/fra havner utenfor norsk farvann.
- **Gjennomgangstrafikk**: Trafikk gjennom norske farvann som ikke anløper norsk havn eller offshoreinstallasjon.

Figur 3-2: Illustrasjon av de forskjellige trafikktypene.

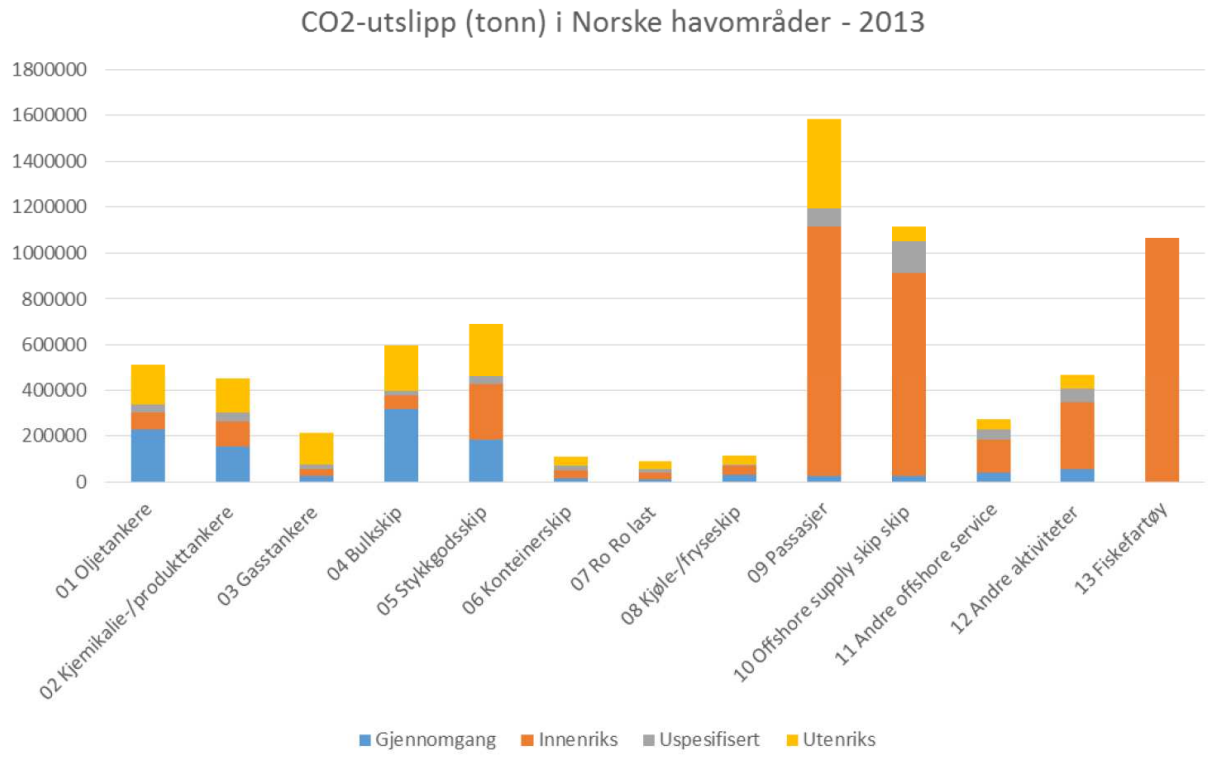
Metodene som er anvendt er ytterligere beskrevet i DNV GL (2014). I det følgende gis en overordnet beskrivelse av drivstofforbruket i norske farvann.

Totalt drivstofforbruk fra alle typer trafikk er beregnet til 2,3 millioner tonn. Dette gir omtrent 7 millioner tonn CO_2-utslipp. Resultatene viser at noe over halvparten (55 %) av forbruket kan tilskrives innenrikstrafikk. Drivstofforbruk og utslipp fra innenrikstrafikken domineres av tre skipstyper; passasjerskip (inkludert ferger), offshoreskip og fiskefartøy (Figur 3-3 og 2-4), representert ved et relativt lite antall skip med mye operasjonstid i norske farvann.

Norsk-flaggede skip står for nær 70 % av drivstoffbruken i innenrikstrafikk. Bahamas, Malta og Panama følger med bidrag på under 4 % hver.



Figur 3-3: Drivstofforbruk i norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og trafikktyper.



Figur 3-4: CO_2-utslipp i norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og trafikktyper.

Utenrikstrafikk bidrar til 22 % av totalt drivstofforbruk i norske farvann. Utenrikstrafikken domineres av lasteskipene, herunder tankskip (råolje og oljeprodukt, kjemikalie og gass), bulkskip og stykkgodsskip, samt passasjerskip. Dette er i hovedsak større skip. Norsk-flaggede skip bidrar med drøyt 20 % av utslippet i utenrikstrafikk. Bahamas-flaggede skip følger med 12 %, deretter en lang liste med mindre bidrag, med flagg fra Malta, Danmark og Panama på topp. Bidragene til drivstoffbruk kommer fra et stort antall større skip, hver med lite tid i norske farvann og få anløp i norske havner.

Gjennomgangstrafikk bidrar til 16 % av totalt drivstofforbruk i norske farvann. Gjennomgangstrafikken domineres av tankskip (råolje/produkt/kjemikalie), bulkskip og stykkgodsskip. Omtrent 160 000 tonn drivstoff (7 %) er beregnet forbrukt i havn. Av dette er mesteparten knyttet til bruk av skipets hjelpemaskineri ved havneligge i de 32 største havnene. Av dette står offshore supply skip for 41 %, og passasjerskip for 15 %. Lasteskip står samlet sett for 25 %.

4 METODE

4.1 Overordnet metodebeskrivelse

I denne rapporten utføres en analyse av nytte og kostnader ved tiltak for å redusere CO_2-utslipp fra innenriks skipsfart i Norge, og analysen er strukturert rundt et fåtall sentrale spørsmål:

1. Hva vil utslippene bli dersom flåten er som i dag (teknologisk og operasjonelt, men flåtevekst hensyntatt), og hva er effekten av allerede vedtatt regelverk for CO2-utslipp fra skip, dvs. EEDI-kravet for nye skip?
2. Hva kan oppnås ved tekniske og operasjonelle tiltak for CO2-reduksjon alene?
3. Hvordan kan alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak for CO2-reduksjon sammen bidra til å oppnå utslippsreduksjoner som er i samsvar med nasjonale målsettinger?
4. Hva er den samfunnsøkonomiske implikasjonen av å nå utslippsmålet for innenriks utslipp?

Studien kan betegnes som en mulighetsstudie. Den samfunnsøkonomiske analysen ivaretar både prissatte og ikke-prissatte konsekvenser.

De prissatte effektene vurderes i en modell for prissatt nytte og kostnader, målt i 2015-kroner. I denne studien er tiltak definert som endringer man kan gjøre på et skip for å redusere utslipp av klimagasser under drift. I samfunnsøkonomiske analyser vurderes vanligvis tiltak hver for seg og som alternativer. I denne analysen vil det være lite hensiktsmessig å vurdere tiltakene hver for seg fordi ikke alle tiltak passer for alle skip. Den mest kostnadseffektive[2] kombinasjonen av tiltak beregnes ved bruk av en modell for de prissatte virkningene. Modellen er beskrevet i Kapittel 4.2. I modellen gjøres en kostnadseffektivitetsanalyse for hver av skipstypene, gitt de tiltakene som er ansett som teknisk mulige for skipstypen.

Effektene som ikke kan måles i kroner, de ikke-prissatte effektene, vil også vurderes. For ikke-prissatte virkninger vurderes fordeler og ulemper ved et tiltak. Grunnen til at virkningene ikke kan prissettes kan bunne i at verdien er knyttet til goder og ressurser som vil ha verdi i fremtiden, og som er svært vanskelig å måle verdien av i dag. Formålet med analysen er å bringe frem kunnskap om undersøkelsesområdet og vise hvordan ulike tiltak vil kunne påvirke samfunnet. Analysen skal inngå i en samlet anbefaling.

Prissatte og ikke-prissatte konsekvenser vurderes i sammenheng i en samfunnsøkonomisk analyse. Sammenstillingen er en systematisk sammenligning og vurdering av fordeler og ulemper ved de ulike tiltakene. Dersom fordelene for samfunnet er større enn ulempene er det en fordel for samfunnet å gjennomføre tiltaket.

I analysen i denne rapporten er det ikke vurdert hvilke virkemidler som kan brukes for å utløse eventuelle tiltak. Det er derfor heller ikke heller tatt hensyn til kostnader ved bruk av virkemidler og/eller skattefinansieringskostnad for finansiering av tiltakene.

[2] Når kun prissatte effekter er vurdert

4.2 Modell for beregning av prissatte effekter av tiltak på skip i norske farvann

Modellen som anvendes for å beregne utslippsreduksjoner og kostnadseffektivitet for tiltak på skip i norske farvann baserer seg på en tidligere utviklet modell, som refereres til som MACC[3]–modellen. Denne modellen er brukt i en rekke tidligere studier for verdensflåten (Eide et al., 2011; Eide et al. 2013), men var sist oppdatert og anvendt i studien *Vurdering av tiltak og virkemidler for mer miljøvennlige drivstoff i skipsfartsnæringen,* som DNV GL gjennomførte for Klima- og miljødepartementet (DNV GL, 2015). Modellen beregner ulike utslipp og tilhørende kostnader knyttet til tiltak på skipsnivå, der endringer i flåtesammensetning over tid tas hensyn til.

Hovedforskjellen mellom modellen brukt av DNV GL (2015) og modellen anvendt i denne studien, er at den oppdaterte modellen kan regne på tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon, i tillegg til alternative drivstoff.

I modellen utvikles et gitt flåtesegment iterativt ved at enkeltskip legges til og fjernes fra segmentet. Et baseline kostnads- og utslippsnivå bestemmes ved hjelp av en aktivitetsbasert tilnærming, mens tilsvarende verdier for kostnader og utslipp beregnes for hvert enkelt tiltak som benyttes i studien.

Modellen opererer altså med to ulike kostnads- og utslippsnivåer som sammenlignes og danner grunnlaget for kostnadseffektivitetsberegningene:

1. Fremskrevet utslipp: Dagens utslipps- og kostnadsbilde fremskrives til 2040 i tråd med forventet flåtevekst.
2. Baseline (Nullalternativ): Dagens utslipps- og kostnadsbilde fremskrives i tråd med forventet flåtevekst, men en generell energieffektivisering av flåten over tid er hensyntatt gjennom modellering av gjeldende EEDI-regelverk (beskrevet i Kapittel 4.2.2).
3. Tiltak: Utslipp og kostnader avhenger av tiltaksopptak (inkludert drivstoffvalg) og drivstoffpriser.

Kostnadene, besparelsene og potensiell utslippsreduksjon beregnes for alle utslippsreduserende tiltak for flåten i et gitt år. Kostnaden er regnet som merkostnad sammenliknet med en referanseløsning uten tiltaket. Modellen holder rede på antallet skip som bygges og skrapes, og summerer opp kapital- og operasjonelle kostnader knyttet til implementering av tiltak, og sammenligner med baseline-scenariet.

Som mål for kostnadseffektiviteten til tiltaket/kombinasjonen av flere tiltak, benyttes enheten «marginal reduksjonskostnad». Begrepet forstås som kostnaden for å redusere en ytterligere enhet, og kan uttrykkes ved hjelp følgende formel for kostnadseffektivitet:

$$Kostnadseffektivitet = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta E} \qquad (1)$$

hvor:

ΔE Forventet utslippsreduksjon, sammenlignet med baselinescenariet, som følge av tiltak gjennom levetiden til skipet [tonn CO_2 redusert]

ΔC Investeringskostnaden, sammenlignet med baselinescenariet, ved å implementere og operere tiltaket på skipet [NOK]

[3] MACC – Marginal Abatement Cost Curve.

ΔB Operasjonelle kostnader/besparelser, sammenlignet med baselinescenariet, knyttet til tiltaket over levetiden til skipet [NOK]

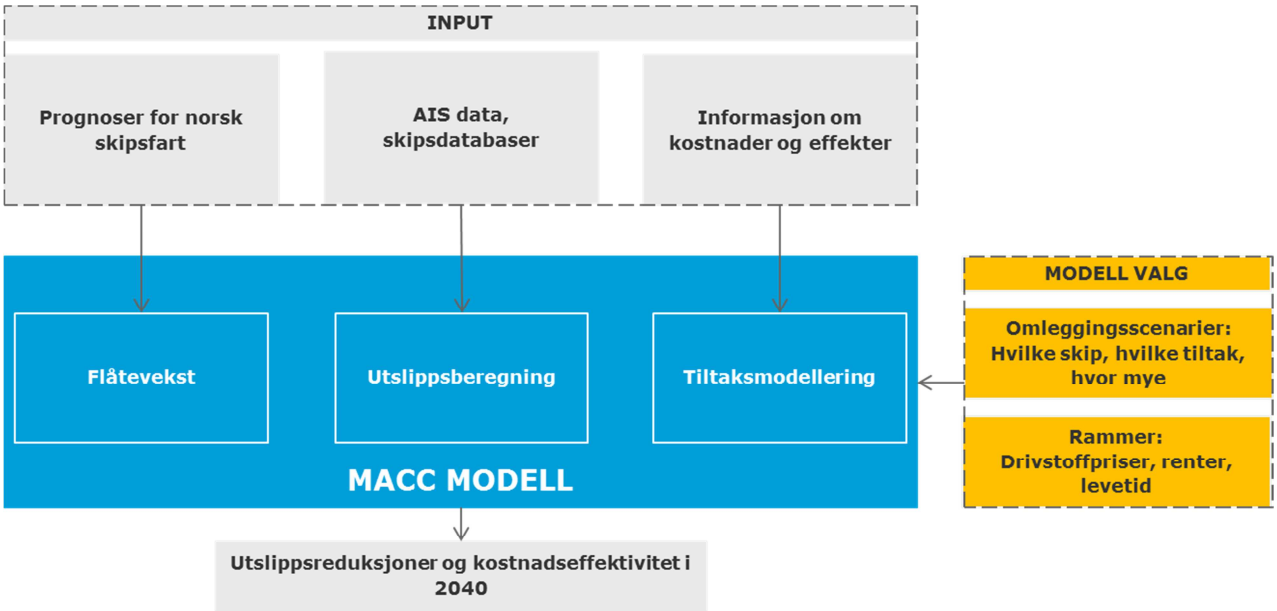
Besparelser knyttet til tiltaket trekkes fra kostnaden knyttet til installasjon og operasjon, for så å deles på forventet reduksjon over levetiden til tiltaket. Både kostnader og besparelser beregnes årlig over levetiden til fartøyet, og diskonteres i henhold til nåverdiprinsippet[4].

Marginalkostnadskurver (MACC-kurver) er benyttet for å illustrere tiltakenes kostnadseffektivitet og reduksjonsbidrag i rapporten må forstås som aggregerte verdier basert på hvert enkelt tiltaks effekt på det aktuelle skipssegmentet (17 EE tiltak x 273 segmenter = 4641 tiltakskombinasjoner). I utgangspunktet danner hver enkelt av disse 4641 kombinasjonene én søyle i en MACC-kurve. For å bedre lesbarheten og være i stand til å trekke konklusjoner er det imidlertid nødvendig å aggregere opp enkeltverdier og representere dem på fartøy- og tiltaksnivå. Dette er gjort ved å lage et vektet gjennomsnitt der hver enkelt kostnadseffektivitet er vektet med den tilsvarende CO_2-reduksjonen. I tråd med oppdragsgivers ønske om å belyse reduksjoner fra norsk innenriks skipsfart, er det besluttet å vekte tiltakenes kostnadseffektivitet mot de resulterende reduksjoner i innenriks CO_2-utslipp, og ikke reduksjoner som oppnås i andre trafikktyper i norske farvann og/eller utenfor norske farvann.

Figur 4-1 viser de sentrale modulene som inngår i modellen:

- Flåtevekstmodulen
- Utslippsberegningsmodulen
- Tiltaksmodulen

Figuren viser også sentrale input-kilder til de forskjellige modulene. Kapitlene som følger beskriver hver av de tre hovedmodulene i modellen.



Figur 4-1: Oversikt over DNV GLs MACC modell.

[4] Det er benyttet 4% diskonteringsrente for samfunnsøkonomiske beregninger. Basisår for alle kostnader og besparelser er 2015.

4.2.1 Utslippsberegningsmodul

Modellen baserer seg på den aktivitetsbaserte utslippsanalysen fra forstudien 'Sammenstilling av grunnlagsdata om dagens skipstrafikk og drivstofforbruk' (DNV GL, 2014) som beregner drivstofforbruk og utslipp fra alle skip i norske farvann i 2013. Disse beregningene danner et fremskrevet nivå for CO_2-utslipp.

Hvert skip blir modellert slik at det tilhører en av 13 skipstyper (tankskip, bulkskip, fiskefartøy, etc.), som hver er delt inn i 7 størrelseskategorier, totalt 91 unike segmenter. Videre er skipene delt inn i 3 segmenter avhengig av hvor mye av tiden i løpet av året de tilbringer i norske farvann; 0-20%, 20-80% og 80-100%. Totalt 273[5] segmenter danner derfor grunnlaget for resultatene der hvert segment kjennetegnes ved følgende attributter:

1. Skipstype (13 fartøyskategorier)
2. Størrelseskategori (7 størrelseskategorier)
3. Andel tid i norske farvann (3 aktivitetskategorier)

Et gjennomsnittlig skip (definert som et skip med en hovedmotorstørrelse lik det numeriske gjennomsnittet for skipene i et gitt segment) er brukt til å representere alle skipene i hvert segment for modellering av tiltak. Karakteristikkene til gjennomsnittsskipet inkluderer typiske verdier for andel av tid i forskjellige trafikktyper (innenriksfart, utenriks etc.), drivstoff, alder, antall motorer, motorkraft, fremdriftssystem, etc.

4.2.2 Flåtevekstmodul

Modellen er konstruert slik at den bruker flåtevekstrater og opphuggingsrater for å estimere antall skip i operasjon for et gitt år i et gitt skipssegment. En årlig opphuggingsrate og en årlig flåtevekstrate er gitt som en andel av den eksiterende flåten per segment for hele modelleringsperioden. Antall skip i et segment i påfølgende år er gitt ved å legge til nye skip til fjorårets flåte og ved å trekke fra skip som er hugget opp. Modellen tildeler byggeår til hvert skip, og gir dermed muligheten til å lage en aldersdistribusjon for flåten for ethvert fremtidig år.

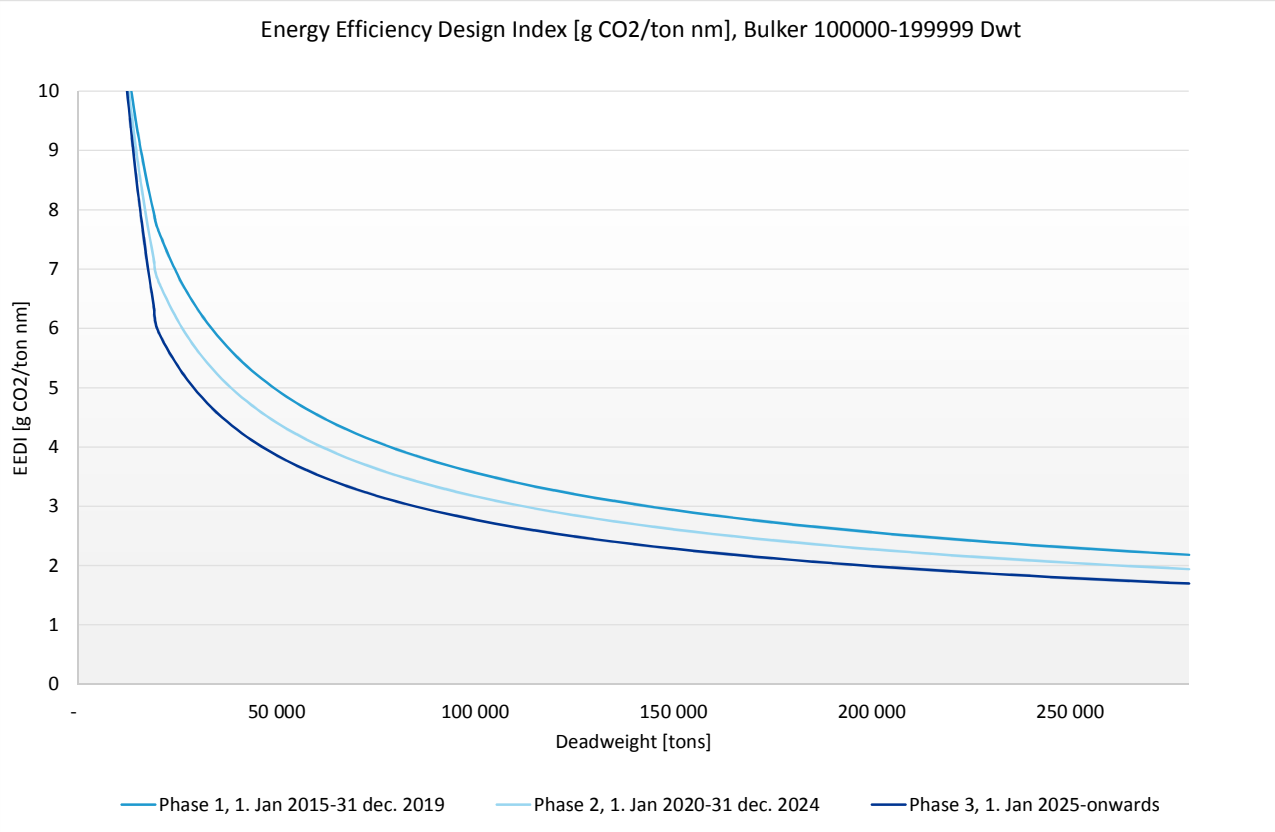
I denne utredningen er modellen tilpasset for å beregne veksten i skipstrafikk i norske farvann.

Vi anvender samme vekst som DNV GL (2015). Som utgangspunkt for beregning av flåtevekst benyttes prognoser for sjøtransport i norske farvann, utarbeidet høsten 2014 for Kystverket i Sjøsikkerhetsanalysen. Den omfattende studien beregnet vekst i utseilt distanse i norske farvann for alle hovedskipstypene frem mot 2040, og baserer seg bl.a. på detaljerte prognoser for varestrøm fra Transportøkonomisk Institutt (TØI).

Modellen håndterer generelle forbedringer i skipenes energieffektivitet over tid ved å ta hensyn til dagens EEDI-regelverk. Dette er gyldig for alle nybygg større enn 400GT, bygd etter 01.01.2015, innenfor relevante skipskategorier[6]. Dette innebærer at flere av de største bidragsyterne til utslipp i norske farvann (offshore-/fiskefartøy og mindre ferger) ikke omfattes av den påkrevde og lovfestede effektivitetsforbedringen. Figur 4-2 er et eksempel på hvordan EEDI-verdiene (y-aksen) for en gitt fartøysgruppe er avhengig av skipets størrelse (x-aksen) og byggetidspunkt (relevant kurve).

[5] 273 = 13 x 7 x 3

[6] EEDI – kravene er gjeldende for skip av typen bulkskip, gasstankere, oljetankere, konteinerskip, stykkgodsskip, kjøle- og fryseskip, RoRo frakte- og passasjerskip, og cruiseskip.



Figur 4-2: Eksempel på EEDI-krav for et bulkskip av størrelsen 100 000 – 199 999 dwt, for periodene 2015-2019, 2020-2024 og 2025 og fremover.

Som en følge av at baseline justeres for EEDI-forbedringen i det aktuelle året man ønsker å vurdere, regnes alle tiltaksreduksjoner (både knyttet til valg av drivstoff og energieffektivisering) i modellen relativt til besparelsene som følger av EEDI-kravene, og må anses som reduksjoner man oppnår utover aktuelt EEDI-krav.

4.2.3 Tiltaksmodul

Modellen simulerer implementering av tiltak, både på nybygg og på eksisterende skip, og beregner kostnader og utslippsreduksjoner knyttet til tiltakene. Både kostnader og utslippsreduksjoner kan aggregeres på ønskelig nivå (f.eks. per skipstype).

I denne utredningen er følgende drivstoffalternativer modellert:

- LNG (biogass beskrives også)
- Innblanding av biodrivstoff (20 % biodiesel)
- 100 % biodrivstoff (biodiesel eller vegetabilsk olje)
- Elektrisk drift (batterier)

I tillegg modelleres det 17 tekniske og operasjonelle tiltak for reduksjon av CO2 relevante for skip med operasjon i norske farvann, se Tabell 5-1.

Tiltakene defineres med en effekt (drivstoffreduksjon/utslippsreduksjon) og en kostnad (investeringskostnad, driftskostnad og eventuell implisitt kostnad for oppfølging og ettersyn). Kostnaden

er regnet som merkostnad sammenliknet med en referanseløsning uten tiltaket. Effekt og kostnad er definert per skipssegment (størrelse og skipstype), og tillater en dynamisk utvikling over tid, men er i denne studien holdt konstant. Tiltakene som modelleres beskrives i detalj i Kapittel 5.

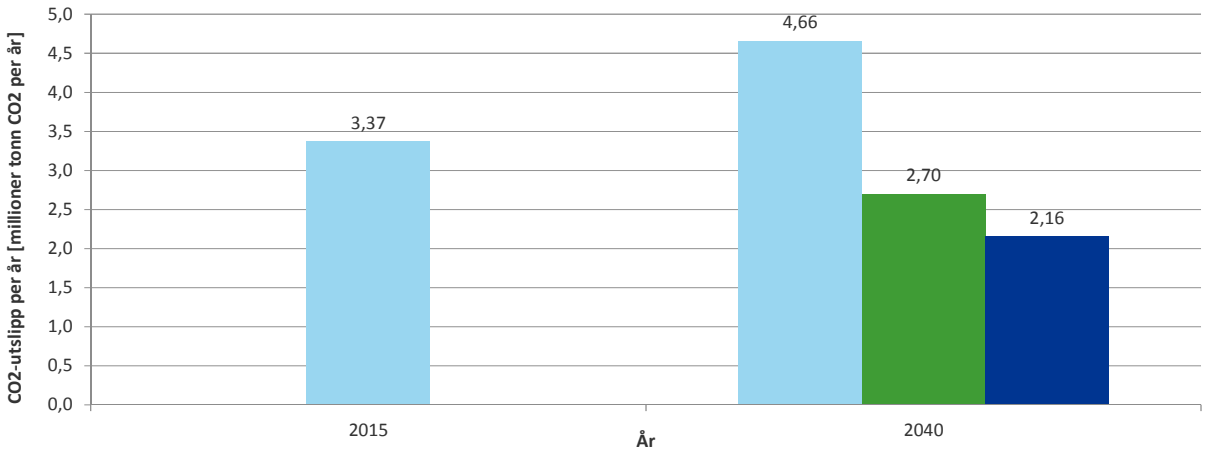
Opptak av tiltak gjøres etter følgende steg:

1 Drivstofftiltak: Modellen velger først et drivstoffalternativ for hvert segment. Kun ett drivstoff kan velges per segment.

2 Tekniske og operasjonelle tiltak: Reduksjonseffekten fra tekniske og operasjonelle tiltak beregnes ut ifra utslippsnivået en har med valgt drivstoffalternativ. Tekniske og operasjonelle tiltak settes på, én etter én sekvensielt, i en forhåndsbestemt rekkefølge basert på kostnadseffektivitet. I prinsippet kan derfor et segment implementere alle tiltakene, men tekniske begrensninger ved fartøy/tiltak, gjør at dette sjelden inntreffer. Rekkefølgen på tiltak angis manuelt basert på tidligere lignende arbeid og erfaringer fra lignende lønnsomhetsanalyser for de aktuelle tiltakene.

Hvilke skip som anvender hvilke tiltak kan styres som bruker-input eller automatiseres. Merk at modellen beregner utslipp og kostnader i femårsintervaller. Dette betyr at endringer innenfor flåtevekst, priser og utslippsreduksjoner ikke kan endres hyppigere enn hvert femte år. Det anses imidlertid ikke som en svakhet, da datagrunnlaget ikke foreligger på et mer finmasket format.

Resultatet av en kjøring av modellen illustreres i Figur 4-4 nedenfor. Modellen baserer seg på at det settes en varierende grad av tiltak (avhengig av opptaksscenario) på baseline (markert med **lyseblått** i Figur 4-3). Baseline for 2015 kommer direkte fra Utslippsmodulen (avsnitt 4.2.1), mens baseline for 2040 fremkommer etter at Flåtevekstmodulen er applisert (avsnitt 4.2.2) og EEDI-krav er hensyntatt. Deretter velgers først hvilke drivstofftiltak som skal implementeres, og et nytt utslippsnivå beregnes (markert med **grønt** i figuren). Deretter velges ytterligere tekniske og operasjonelle tiltak for reduksjon av CO_2 og det beregnes et nytt utslippsnivå (markert med **mørkeblått**). For alle tiltak som appliseres regnes også kostnadseffektiviteten, som beskrevet i avsnitt 4.1.



Figur 4-3: Baseline for CO_2-utslipp i 2015, samt eksempel på baseline og effekter av ulike tiltak på innenriks skipsfart i 2040. Blå søyle er baseline, grønn søyle inkluderer drivstofftiltak, blå søyle inkluderer drivstofftiltak samt tekniske og operasjonelle tiltak.

5 TILTAKSBESKRIVELSE

5.1 Drivstoffalternativer

Dette kapittelet beskriver tiltakene som analyseres gjennom modellen omtalt i Kapittel 4.2. Disse tiltakene er utførlig beskrevet av DNV GL (2015). Følgelig presenteres disse svært kortfattet her.

5.1.1 Flytende naturgass – LNG

Flytende naturgass, Liquified Natural Gas (LNG), er fossil naturgass som er nedkjølt og kondensert til flytende form. Nedkjøling og kondensering er kostbart, og LNG produseres hovedsakelig for å muliggjøre transport av gass der investering i gassrør ikke egner seg, samt for lagring og oppbevaring.

Avhengig av LNG-løsning (med dagens teknologi), kan klimagassutslippene fra LNG-drift være fra litt høyere til om lag 25 % lavere enn konvensjonell dieseldrift. Det samlede klimagassutslippet for LNG påvirkes av at det også kan være utslipp av uforbrent metan (CH_4) i eksosgassen, som er en kraftig klimagass. Med forventet teknologiutvikling antar DNV GL 15 % reduksjon som en rimelig snittverdi for perioden frem mot 2040. Bruk av LNG gir betydelig reduksjon (90 %) i NO_x-utslipp. For enkelte LNG-løsninger (høytrykksmotorer) kreves imidlertid tilleggsteknologi (EGR) for å oppnå vesentlig NO_x-reduksjon. Utslipp av SO_x og partikler/black carbon blir tilnærmet eliminert. I et livssyklusperspektiv kan det også være betydelige utslipp i prosessen med utvinning, lagring og transport. Disse utslippene er viktige å kontrollere for å sikre miljøgevinsten ved bruk av LNG.

Det er i dag en betydelig merinvestering å installere en LNG-motor og tilhørende drivstoffsystemer, sammenlignet med en tradisjonell diesel-løsning. Merinvesteringen på et skip er typisk i størrelsesorden 20 %. Ombyggingskostnader for eksisterende skip kan være betydelig dyrere en merkostnaden for LNG-løsning ved nybygging. I operasjon vil LNG-drift kunne være billigere enn oljebasert drivstoff, avhengig av olje- og gassprisene. Slik kan den økte investeringen betale seg tilbake over noen år. Med dagens oljeprissituasjon er LNG imidlertid mindre attraktivt.

Det er få tekniske begrensninger knyttet til hvilke skip som kan anvende LNG, så lenge en har muligheter for å inkludere LNG-tank i designet. Bruken begrenses blant annet av tilgjengelighet på bunkringsinfrastruktur, og prisene i dagens marked for LNG levert til skip. Bunkringsinfrastruktur er til dels på plass i Norge, og er også under oppbygning andre steder i verden. Det er imidlertid langt igjen til en fullverdig, global infrastruktur på linje med diesel er på plass.

5.1.2 Biodrivstoff

Biodrivstoff er en fornybar energibærer som utvinnes fra biogent materiale og fremstilles av et vidt spekter av organiske materialer som;

- Spiselig avling (f.eks. raps og mais)
- Ikke-spiselig avling (marginale avling som ikke konkurrerer med matproduksjon)
- Slam, trevirke og kompost
- Matavfall/fett
- Alger (eksperimentell produksjon)

Det er i hovedsak tre former for biodrivstoff som vurderes som aktuelle for skipsfarten.

Biodiesel har mye av de samme egenskapene som fossil diesel. Fossil diesel med lavinnblanding (ca. 20 %) av biodiesel kan brukes med små eller ingen tilpasninger i de fleste av dagens dieselmotorer. Høyinnblanding eller bruk av ren biodiesel krever normalt noen justeringer og tilpasninger av dieselmotoren, men dette er i mindre grad nødvendig ved bruk av nyere typer syntetisk fornybar diesel, jf. den type biodiesel som nylig er tatt i bruk på ferjer for Ruter og Fjord1 (se nærmere beskrivelse under).

Vegetabilsk olje er mer tyktflytende og har egenskaper som ligner mer på tyngre fossile produkter enn vanlig diesel. Ved bruk av vegetabilske oljer, slipper man omforming som er energikrevende og kostbar. Vegetabilske oljer egner seg imidlertid ikke til innblanding, men kan anvendes 100 % i dieselmotorer med mindre modifikasjoner av motor og drivstoffsystemer.

Biogass kan nedkjøles og kondenseres til flytende form på samme måte som naturgass, og anvendes i skip ved de samme tekniske løsningene som er tilgjengelige for LNG-drift.

Biodrivstoff tilskrives et langt lavere klimagassutslipp enn fossile drivstoff siden CO_2 fra forbrenning av biologisk materiale i utgangspunktet ikke medfører en økning av CO_2-mengden i atmosfæren på samme måte som CO_2 fra fossile energikilder; det regnes som del av det CO_2 som ellers ville vært i omløp. I et livssyklusperspektiv vil imidlertid produksjon og transport av biodrivstoff kunne medføre utslipp av fossilt CO_2. I denne studien inkluderes imidlertid ikke disse utslippene. Dette er på linje med Klimakur 2020.

Det er videre en debatt vedrørende de reelle utslippsreduksjonene en oppnår ved bruk av forskjellig typer biodrivstoff i et livssyklusperspektiv. EU har imidlertid introdusert bærekraftskriterier for biodrivstoff, som også gjelder for Norge. Disse skal sikre livssyklus-utslipp fra biodrivstoff som er betydelig lavere enn fossile alternativer og er implementert i Produktforskriftens kapittel 3 i Norge. En antagelse om at biodrivstoff i skipsfarten vil måtte oppfylle EUs kriterier, vil gi betydelige globale CO_2 utslippsreduksjoner, men ikke nullutslipp. Vi legger til grunn at biodrivstoff til skipsfart oppfyller bærekraftskriteriene, og at disse utformes og etterprøves på en tilfredsstillende måte, slik at tiltaket gir en reell klimaeffekt.

Alle former for biodrivstoff fører til at utslipp av SO_x blir tilnærmet eliminert. Ved bruk av biodiesel og vegetabilsk olje har en tradisjonelt regnet med NO_x-utslipp tilsvarende fossilt drivstoff. Analyser er nødvendig for å bekrefte NO_x-utslippene fra nyere produkter, slik som syntetisk fornybar diesel (HVO), der leverandører hevder reduserte utslipp av NO_x. Biogass kan, på samme måte som LNG, redusere NO_x-utslipp. Ved innblanding i fossilt drivstoff antas utslippsreduksjonen proporsjonal med innblandingsprosenten.

Det legges i DNV GLs modell ingen begrensinger i det tekniske potensialet for bruk av biodrivstoff. Alle forbrenningsmotorer på skip kan i prinsippet anvende biodrivstoff. Bruken begrenses imidlertid av tilgang og pris på biodrivstoff.

Ved bruk av biodrivstoff inntil 20 % innblanding antar vi at det ikke medfører merkostnader i form av tekniske modifikasjoner. Ved 100 % biodrivstoff, antar vi at det vil være nødvendig med mindre modifikasjoner på motor og drivstoffsystemer. Merinvesteringen er for sikkerhets skyld antatt i størrelsesorden 5 % av motorkostnaden (for eksisterende skip er kostnaden høyrere enn for nybygg). DNV GL ser det imidlertid som mer sannsynlig at en i praksis, frem mot 2040, ikke trenger å regne med økte investeringskostnader ved bruk av biodiesel.

Merk at marine drivstoff leveres etter ISO 8217; Specifications for Marine Fuels. Innblanding av biodrivstoff tillates ikke i henhold til denne standarden og man må vurdere om dette er en reell barriere

og om man muligens må igangsette et arbeid knyttet til en ISO standard for marine drivstoff med innblandet biodrivstoff.

Det bemerkes også at utviklingen av går svært fort. Andregenerasjons biodiesel (syntetisk biodiesel) kan produseres av avfallsprodukter fra jord- og skogbruk og mat. Relativt nytt på markedet er en syntetisk biodiesel med betegnelsen HVO (Hydrogenert Vegetabilsk Olje). Produktet er i henhold til CEN TS 15940-spesifikasjonen for parafindieselolje. Dette er derfor et annet produkt med en annen fremstillingsmåte, som av leverandører omtales som en fornybar diesel med svært like egenskaper som vanlig fossil diesel. Denne syntetiske fornybare dieselen hevdes å ha gode egenskaper med henblikk på surhet, lagring og temperaturtoleranse, sammenliknet med fossil diesel. Alle motorfabrikantene er ennå ikke ferdig med uttesting av de nyere produktene, men for produkter under CEN TS 15940-spesifikasjonen vil antakelig drivstoffet kunne benyttes på mange marine dieselmotorer med små eller ingen tekniske tilpasninger av maskineri og drivstoffsystem. Bruk av biodiesel har lave investeringskostnader, men prisen på drivstoffet er noe høyere enn for marin gassolje. Siste generasjons biodiesel ligger 20 – 40 % høyere i pris, avhengig av prisen på marin gassolje.

5.1.3 Elektrisitet

Bruk av elektrisitet som energibærer på skip kan i hovedsak skje på to måter; elektrisk drift med batterier og bruk av landstrøm ved havneligge.

Ved full elektrifisering lades batterier om bord i skipet mens skipet ligger til kai. Batteriene leverer så den energi som kreves til fremdrift og forbruk ombord. Fullelektrifisering av skip begrenser seg med dagens batteriteknologi til et fåtall segmenter; typisk ferger og lasteskip i faste ruter, med relativt korte overfarter og muligheter for hyppig lading. Dette skyldes at energimengden som kreves av de fleste skip overstiger det som kan leveres fra et batteri uten at batteriets vekt og volum overstiger hva som med rimelighet kan antas å være akseptabelt. I tillegg vil det ligge begrensinger knyttet til behov for infrastruktur på landsiden. I noen tilfeller vil det være aktuelt med delvis elektrifisering med ladbare (plug-in) hybride løsninger. Her vil batterier med strøm fra land kunne dekke en vesentlig andel av energibruken (evt. i deler av operasjonen der skadelige lokalutslipp er særlig problematisk), mens diesel- eller gassmotorer dekker det resterende behovet med enten fossilt eller fornybart drivstoff. Batteriene om bord muliggjør også mer optimal drift av forbrenningsmotoren.

Det understrekes at modellen av forenklingshensyn kun regner på fullelektrisk drift når det gjelder elektrisitet som drivstoff. I virkeligheten vil både fullelektriske og delelektriske løsninger (plug-in hybrider) være aktuelle for norsk skipsfart, avhengig av skipstype og operasjonsmønster.

Om bord vil utslipp fra fullelektriske skip være eliminert. I et livssyklusperspektiv vil imidlertid produksjon av elektrisitet medføre utslipp. I denne studien inkluderes imidlertid ikke disse utslippene.

Fullelektrifisering krever betydelige investeringer både om bord og på landsiden. For eksempel er typiske merkostnader for en batteriferje i dag 10-30 millioner kroner (ny ferje), med ytterligere behov for investeringer på 20-40 millioner kroner på land. Lave elektrisitetspriser gjør imidlertid at investeringen kan betale seg over tid.

Ved bruk av landstrøm vil skipet motta kraft fra land så lenge det ligger til kai, og dekke behovet for energi om bord i skipet så lenge det ligger til kai, blant annet til belysning, varme, kjøling, lastepumper mm. Når skipet forlater kaien går det for vanlig maskineri. Landstrøm er ikke modellert i denne rapporten.

Batterihybridisering der batterier kombineres og lades med dieselmotorer om bord (ikke lading fra land) representerer ikke et *drivstoffalternativ*, men kan gi vesentlig drivstoffbesparelse (og utslippsreduksjon) under drift av skipet. Effekten avhenger av anvendelsestype og operasjonsprofil. Dette tiltaket er beskrevet i gjennomgangen av energieffektiviserende tiltak i Kapittel 5.2.12.

5.2 Tekniske og operasjonelle reduksjonstiltak

De følgende 17 tekniske og operasjonelle tiltakene er implementert i vår modell og beskrevet nedenfor. Kapittel 5.2.1 til 5.2.12 omhandler tekniske tiltak. Kapittel 5.2.13 til 5.2.17 omhandler operasjonelle tiltak.

Tabell 5-1: Liste over tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon.

Kategori	Navn på tiltak
Tekniske tiltak	Varmegjenvinning med elektrisitetsproduksjon
	Motstandsreduserende bunnstoff
	Luftboblesmøring
	Kontraroterende propeller
	Andre propulsjonstiltak
	Frekvensstyrte motorer
	Eksoskjeler på hjelpemotorer
	Energieffektiv belysning
	Drage (kite)
	Seil og Flettner-rotor
	Solcellepanel
	Batterihybridisering
Operasjonelle tiltak	Trim - og dypgangsoptimering
	Værruting
	Seilasplanlegging
	Dampsystem-optimering
	Propellpolering

Av hensyn til bruk av tid og ressurser har det vært nødvendig for denne studien å ta utgangspunkt i tallmaterialet for tiltak som er opparbeidet av DNV GL igjennom tidligere studier. Utgangspunktet for beskrivelsen av de tekniske og operasjonelle tiltakene som er implementert i denne modellen er følgelig en studie gjennomført av DNV GL for verdensflåten i 2009 og som ble dokumentet av DNV (2009) og publisert av Eide et al. (2011).

Tallmaterialet har vært gjennomgått og til dels oppdatert i 2015 og 2016. Disse oppdateringene dreier seg om mindre justeringer av kostnadene og reduksjonseffektene, og gjenspeiler endringer i teknologiutviklingen og flåten teknologien anvendes på. Endringene er basert på relevant, ny prosjekterfaring, via for eksempel DNV GLs arbeid med Næringslivets NO_x-fond.

Det opprinnelige tallmaterialet inneholdt ikke tallfesting av tiltakenes kostnader og effekter applisert på offshore skip og fiskefartøy. Vi har derfor utvidet tallmaterialet til å dekke også disse skipstypene, som er viktige i norsk sammenheng. Merk at skipskategorien «Andre aktiviteter» dekker en så diversifisert

samling av skip, inkludert kystvaktfartøy, taubåter, brønn-og-forbåter, at vi ikke har tallfestet tiltakene for disse skipene. Unntaket er batterihybridisering, ettersom dette ble gjort som en del av studien DNV GL (2015).

Videre har vi i denne studien måttet gjøre en konvertering av det oppdaterte tallgrunnlaget til et format som er egnet for bruk i den modellen som anvendes. Dette er fordi flåtemodellen som ligger til grunn i utslippsberegningsmodulen (Kapittel 4.2.1) benytter en annen segmentering av flåten enn flåtemodellen som ligger til grunn for studien der tallene først ble anvendt (Eide et al. 2011).

Merk at for alternative drivstoff er kostnadene ved installasjon av utstyr differensiert mellom nybygg og eksisterende skip. For noen tiltak, eksempelvis LNG er denne forskjellen signifikant. For tekniske og operasjonelle tiltak har vi ikke skilt i kostnadene til installering. Dette er en forenkling, ettersom det i en del tilfeller vil være billigere å installere tiltak på nye skip. Levetidskostnaden for et tiltak er likevel forskjellig for nybygg og eksisterende skip, ettersom vi for eksisterende skip begrenser tiltakets levetid til en antatt gjenværende levetid for skipet. Denne levetiden er beregnet som differansen mellom skipets alder og antatt levetid på 30 år. Gjenværende alder er beregnet som et gjennomsnitt for alle skipene i innenfor en skipstype.

Det kan for øvrig bemerkes at inndelingen i alternative kategoriseringer av tiltakene i mange tilfelle kan være hensiktsmessig. For eksempel kan tekniske tiltak for oversiktens skyld deles inn etter måten de reduserer energiforbruk på:

- Tiltak som reduserer energibruk til **fremdrift** av skipet:
    - Mer energieffektiv teknologi på utsiden av skipet, slik som propeller, ror, skrogform, bunnstoff, luftboblesmøring, m.v. (redusert motstand, mer effektive strømningsforhold, m.v.)
    - Energieffektive løsninger for maskineri, energioverføring og fremdriftslinje inne i skipet, slik som batterihybridisering, kombinasjoner av mekanisk og dieselelektrisk fremdrift, effektive gir-løsninger, variabel turtallsdrift på dieselgeneratorer, mv.
    - Utnytting av eksterne energikilder, slik som vind
- Tiltak som reduserer energibruk til **konsumenter og hjelpesystemer** om bord på skipet:
    - Energieffektiv teknologi for utstyr om bord, slik som pumper, vinsjer, motorer, kompressorer, separatorer, kjøle/varmeanlegg, belysning og hotelldrift/sanitær, m.v.
    - Systemer for energigjenvinning (både varmeenergi og mekanisk energi)
    - Utnytting av eksterne energikilder, slik som vind og sol

Merk at flere av tiltakene nevnt i kategoriseringen ovenfor ikke er dekket i denne rapporten. Se Kapittel 11.2 for en grundigere diskusjon rundt dette.

5.2.1 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon

Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon er inkludert i modellen som gjenvinning av termisk energi fra forbrenningsmotorenes eksos for omdannelse til elektrisk energi. Eventuell restvarme fra denne prosessen kan så sendes videre til bruk for diverse oppvarmingsformål (for eksempel varmt vann og dampproduksjon). Et slikt varmegjenvinningssystem består av en eksosgasskjele (eller i kombinasjon med oljefyrt kjel), en kraftturbin (KT) og / eller en dampturbin (DT), med en generator.

Potensialet for drivstoffbesparelser fra denne formen for varmegjenvinning kan være veldig variabelt, og er avhengig av både størrelsene, antallet og bruken av motorene ombord.

5.2.1.1 Generelle antagelser

Det er antatt at teknologien kan brukes på alle typer skip uavhengig av størrelse og type, selv om det i dag ser ut til å være en praktisk og kommersiell nedre grense på samlet hovedmotorstørrelser på 10 MW.

Den samlede hovedmotorstørrelsen avgjør hvilken type varmegjenvinningssystem som blir anvendt i modellen, og er estimert basert på hva fartøytypen har basert på IHS Fairplays database.

Tabell 5-2 - Varmegjenvinning - teknologi og potensiell sparing.

Kraft hovedmotor	Antatt system som er anvendelig	Antatt % forbedring av hovedmotorens virkningsgrad	Antatt årlig operasjonell kostnad
> 25,000 kW	Kombinert DT og JT	8 % (opp til 11 %)	NOK 250 000
< 25,000 kW	DT	5 % (opp til 8 %)	NOK 170 000
< 15,000 kW	KT	3 % (opp til 5 %)	NOK 80 000

Effekten av tiltaket antas å være konstant ettersom fartøyene er antatt å være i drift med en tilstrekkelig høy motorbelastning for effektiv strømproduksjon vha kraft/dampturbin. Dersom motorene går på redusert belastning (for eksempel 40 % last i stedet for 80 %), så vil normalt ikke motorene gi fra seg nok varmeenergi i eksosen til turbinproduksjon av strøm.

5.2.1.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Installasjonen av denne formen for varmegjenvinning om bord kan øke energiutnyttelsen fra hovedmotoren med mer enn 10 % sammenliknet med standardkonfigurasjonen på dagens skip, og er anslått til å øke til 15 % innen 2020. Den økte utnyttelsen er modellert til å resultere i en lignende nedgang i det totale drivstofforbruket for skipenes hovedmotorer og dermed tilsvarende utslipp. Merk at den virkelige drivstoffbesparelsen ville vært i form av tilsvarende redusert drift på hjelpemotorene for strømproduksjon (for fartøy som ikke benytter seg av akselgeneratorer på hovedmotorene).

5.2.1.3 Kostnad

De totale utstyrs- og installasjonskostnadene for dette tiltaket er estimert til å ligge fra 40 MNOK til 80 MNOK per skip, fra de minste til de største systemene. I denne kostnaden ligger det en rekke elementer som er mer eller mindre uavhengig av skipsstørrelsen, men også elementer som er modellert som lineære kostnadselement med skipets størrelse.

Tiltaket krever noe årlig vedlikehold, hovedsakelig for kjele og dampturbin. Dette for å maksimere ytelsen til varmegjenvinningssystemet. Disse kostnadene er estimert slik vist i Tabell 5-2.

5.2.2 Motstandsreduserende bunnstoff

Flere forsøk på kommersielle skip og i laboratorier har vist at utvalgte og avanserte bunnstoff er i stand til å redusere den totale skipsmotstanden med opp til 8 %, sammenliknet med konvensjonelle bunnstoff Dette gjelder både for silikonbaserte og selvpolerende varianter. Poenget med disse bunnstoffene er at de reduserer friksjonsmotstanden et skipsskrog har gjennom vann, som så reduserer den nødvendige motorkraften og tilhørende drivstofforbruk, for fremdrift.

5.2.2.1 Generelle antagelser

Besparelsene ved bruk av avanserte bunnstoff er vanskelig å måle nøyaktig, men det er innen industrien generelt liten tvil om at besparelser er mulig å oppnå ved å bruke de rette produktene av høy kvalitet. Kombinasjon av god tilstandskontroll av skroget ved inspeksjon og eventuelt vedlikehold bidrar til at reelle besparelser kan oppnås.

5.2.2.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Skip blir vanligvis påført nytt bunnstoff hvert femte år, og ved da å bruke bunnstoff med høyere ytelse kan skrogmotstand reduseres sammenliknet med dagens standard. Reduksjonspotensialet vil være høyere for fyldige skip som bulkskip og tankskip kontra slanke skip slik som konteinerskip.

Tiltaket har i modellen en estimert motstandsreduserende effekt for alle skipstyper fra 1,5 – 2 % og opp til 2,5 – 4 %, modellert som en proporsjonal effekt på hovedmotorenes drivstofforbruk. Den endelige effekten vil være avhengig av både skipstype, størrelse, form, operasjonsprofil, osv.

5.2.2.3 Kostnad

Tiltaket er modellert med en kapitalkostnad (merkostnad sammenliknet med konvensjonelt bunnstoff) som slår inn hvert femte år når skipet er i tørrdokk, og som en funksjon av brutto tonnasje per skip (NOK 850 000 – NOK 4 500 000).

Den ekstra driftskostnaden mellom dokkinger for skip med bunnstoff med høy ytelse sammenlignet med et standard bunnstoff antas å være neglisjerbart.

5.2.3 Luftboblesmøring

Tiltaket omfatter injeksjon av luftbobler langs skrogets bunnflate for å forbedre skipets hydrodynamiske egenskaper via minsket friksjonsmotstand. Et slikt system er ment å skape en «luftpute» på størst mulig del av den flate bunnen av skipet.

Per i dag er ikke dette et veldig modent tiltak, men leverandørene av slike systemer hevder potensialer på 15 – 40 % reduksjon av den totale friksjonsmotstanden. Denne motstanden utgjør ca. 50 – 70 % av den totale motstanden for de fleste skip. Potensielle nedsider ved dette tiltaket er eventuelle negative effekter på styringsstabilitet og vanninnstrømningen til propellen. Avhengig av utformingen, kan et slikt system kreve «beskyttede» propeller eller andre midler for å unngå at luft strømmer til propellen.

5.2.3.1 Potensiale for utslippsreduksjon

Det maksimale reduksjonspotensialet oppnås for skip hvor friksjonsmotstand dominerer, dvs skip med store flate bunner og med lange overfarter. Reduksjonspotensialet for oljetankere, kjemikalie-/prod.tankere og bulkskip har blitt vurdert i størrelsesorden 7 – 10 %, mens for andre skipssegmenter er det vurdert i størrelsesorden 3 – 5 %. Denne effekten er modellert som redusert drivstofforbruk på hovedmotoren på grunn av redusert skrogmotstand.

5.2.3.2 Kostnad

Luftboblesystemet krever installasjon av blant annet ekstra pumper og rør, i tillegg til endringer i skrogformen for å oppnå optimal effekt. Kostnadene er beregnet til 2-3 % av nybyggskostnadene for hvert skipssegment og -størrelse. Tiltaket krever også noe bruk av energi for å fungere (jf. produksjon av luftbobler, m.v.), noe som modellen reflekterer med en estimert driftskostnad på 85 000 NOK per år for alle skipstyper og størrelser.

5.2.4 Kontraroterende propeller

Kontraroterende propeller, også kjent til som koaksial-kontraroterende propeller, er en variant der propellene (eller bladene) er montert på en felles aksel, men roterer i motsatte retninger. Kontraroterende-propeller er i dag vanlige i enkelte marine fremdriftssystemer, som for eksempel på store hurtiggående båter med planende skrog. To propeller er da anordnet slik at den ene følger bak den andre, og kraften overføres fra motoren(e)s høye turtall via tannhjulsoverføring til propellakselen.

5.2.4.1 Generelle antagelser

Tiltaket har bare blitt installert med tvilling-akselløsning, og kostnadene er dermed basert på dette.

Reduksjonspotensialet er antatt å være likt for alle relevante skipstyper. Ikke-relevante skipstyper representerer skipstyper som typisk har propeller med kontrollerbar pitch. Kontraroterende-propeller er ikke teknisk mulig per i dag med denne løsningen.

Typiske skipstyper som dermed ikke er modellert for dette tiltaket er;

- alle offshore- og fiskefartøy
- alle skip under 5 000 GT i kategoriene oljetanker, kjemikalie./prod.tankere, gasstankere, bulkskip og stykkgodsskip
- alle skip under 10 000 GT i kategoriene konteiner, ro-ro last og kjøle/fryseskip
- alle skip under 25 000 GT i kategorien passasjerskip

5.2.4.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Utslippsreduksjonspotensialet har blitt anslått til 7 %, basert på en forbedring av propulsjonsvirkningsgraden, og er antatt å være ganske stabilt, basert på reduksjon av drivstofforbruk på hovedmotoren(e).

5.2.4.3 Kostnad

Installasjonskostnaden for en tvilling-akslet kontraroterende-propell er estimert til å være omtrent det dobbelte av prisen for en standard enkel propell. Den ekstra kostnaden for dette tiltaket er derfor modellert etter kostnaden for en standard enkel propell. Kostnaden for propeller på de minste skipene (basert på størrelsen på hovedmotor) er anslått til MNOK 2,5 per skip og øker lineært med størrelsen på hovedmotoren på NOK 130 per kW installert effekt.

Driftskostnadene vil være høyere enn for en standardpropell, da dette er en ny og mer komplisert teknologi. De ekstra driftskostnadene er estimert til NOK 170 000 – NOK 250 000 avhengig av skipets størrelse.

5.2.5 Andre propulsjonstiltak

Per i dag eksisterer det mange ulike design for diverse kanaler, dyser, ror, eller finner; både på, foran og aktenfor propellen. Hensikten er å forbedre innstrømningen av vann til propellen, eller for å utnytte rotasjonsenergien bak propellen, og dermed forbedre den totale propulsjonsvirkningsgraden. For eksempel så er systemer foran propellen mentr å forbedre innstrømningen, og vil som så være mer effektiv på skip med en høy blokk-koeffisient (fyldige skip som oljetankere).

Når en propell opptrer bak et skrog, blir en del av energien tapt i rotasjonen som propellen gir til vannstrømmen bak seg. Den totale propulsjonsvirkningsgraden kan dermed forbedres ved å bevare denne rotasjonsenergien ved å sette opp rotasjoner foran propellen med for eksempel finner. Alternativt

kan man utnytte mer av denne rotasjonsenergien ved å installere finner eller «Grim vanes» bak propellen. Andre eksempler på tiltak som faller under denne tiltakskategorien er «Propeller boss cap fin (PBCF)», «Mewis duct», «PROMAS ror», osv.

5.2.5.1 Generelle antagelser

De fleste innretningene har vist seg å forbedre propellens virkningsgrad i tester både i fullskala og i kavitasjonslaboratorier. Alle skipssegmenter har noe å tjene på en eller annen variant av disse innretningene, og derfor har dette tiltaket blitt modellert for alle skipssegmenter. De forskjellige innretningene er mange og vil variere mye, og det vil dermed ikke være modellert eksplisitt hvilken variant/teknologi som er «installert» for hvert skipssegment eller -størrelse. De forskjellige skipssegmenter er heller ventet å ha en variant som er egnet for seg, hvor de forskjellige ytelsene og prisene ikke er antatt å variere betydelig.

5.2.5.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Utslippsreduksjonen er estimert til å være i størrelsesorden 1-7 % for eksisterende skip, med høyere potensial på mindre bulk- og tankskip og lavere for konteiner-skip, samt skip som allerede har dyser, som store trålere og ankerhåndteringsskip.

Basert på tall fra blant annet den forholdsvis nye og mye testede er «Kappel»-propellen så oppgis det at slike innretninger vil kunne spare mellom 3-5 %. Imidlertid har fullskalatester på to bulkskip vist besparelser på opptil 15 % både i lastet tilstand og ballasttilstand. Konservativ har 2-4 % reduksjon av nødvendig energi til fremdrift blitt brukt i modellen.

5.2.5.3 Kostnad

Disse innretningene kan installeres i løpet av en normal tørrdokking, og har en estimert fast kostnad på NOK 150 000 pluss NOK 50 per kW installert hovedmotor (totalt NOK 170 000 – NOK 3 000 000 per skip).

Når enheten(e) er installert vil det ikke være noen ekstra driftskostnader sammenlignet med drift uten.

5.2.6 Frekvensstyrte motorer

Skipsmaskinerier har vanligvis mange forskjellige hjelpesystemer som er i drift under operasjon. Eksempler på dette er sjøvann- og ferskvannspumper, kjøle- og smøresystemer, vifter, kompressorer, osv. Disse er typisk designet for å kunne hjelpe maskineriene ved maksimal last, og for ekstreme omgivelser (luft- og sjøtemperatur). Slikt utstyr er dermed overdimensjonert for de aller fleste skips normale operasjon. Behovet for hjelpesystemenes fulle kapasitet er normalt til stede i 25 % - 45 % av driftstiden, men kan være høyere for utvalgte skipstyper og tilfeller.

Tradisjonelle elektriske motorer, som typisk representerer energiforbrukeren i de fleste store hjelpesystemer, kan ikke variere motorbelastningene basert på de faktiske behovene, og motoren blir derfor kjørt på unødig høy belastning mesteparten av tiden. Frekvensstyrte motorer vil kun regulere frekvensen for å tilpasse motorbelastningen til det faktiske behovet til enhver tid, noe som vil gjøre at den totale energien som forbrukes av elektriske motorer kan reduseres betydelig. Denne teknologien kan anvendes for alle elektriske motorer ombord, men vil normalt bli brukt til motorer over en viss størrelse på grunn av kost-nytte årsaker.

5.2.6.1 Generelle antagelser

Det forutsettes at motorer med frekvensomformere kan installeres for alle elektriske motorer om bord i alle skip i hvert segment, og at det ikke er noen begrensninger på type og størrelser av slike motorer.

Modellen estimerer reduksjonspotensiale fra anvendelse av frekvensstyring på hjelpesystemer for skipets maskineri (antas å representerer den vesentligste anvendelsen), og ser ikke på annen anvendelse om bord. For enkelte segmenter kan imidlertid frekvensstyring av motorer ha en vesentlig reduksjonseffekt også for utstyr som benyttes i lastehåndtering og annet om bord, for eksempel vinsjer og kjøle-/frysemaskineri.

5.2.6.2 Potensiale for utslippsreduksjon

En frekvensomformer vil få de elektriske motorene i ulike hjelpesystemer om bord til å kjøre på del-last i stedet for på / av slik tilfellet er i dag, og potensielt føre til en reduksjon på ca. 10 % av det totale forbruket til hjelpemotorene.

Effekten antas ikke å øke over tid, da dette er forholdsvis standard utstyr som har vært tilgjengelig for landbaserte applikasjoner i mange år.

5.2.6.3 Kostnad

Estimerte ekstrakostnader for å installere frekvensstyrte elektriske motorer sammenlignet med tradisjonelle motorer er satt til NOK 2 000 per kW installert hjelpemotorkraft ombord.

Det forutsettes at installasjonskostnadene vil halveres innen 2030 på grunn av økt etterspørsel, mer moderne teknologi og flere produsenter.

Det benyttes et anslag på NOK 40 000 i ekstra driftskostnader per år for vedlikehold av dette mer avanserte utstyret.

5.2.7 Eksoskjeler på hjelpemotorer

Eksosgasskjeler brukes til vanlig på store forbrenningsmotorer for gjenvinning av varme fra eksosen, uten at dette anses som et tiltak i denne studien (bortsett fra i avanserte anvendelser med produksjon av elektrisitet, se over). Denne varmen benyttes blant annet til å genere damp og / eller varmtvann, i stedet for å bruke elektrisitet eller oljefyring for den samme varmeproduksjonen. I dag er det stort sett kun hovedmotorene som har slike eksoskjeler installert.

Avhengig av systemdesign, operasjonsprofil og varmebehov, kan installasjon av eksoskjeler på hjelpemotorsystemet i et skip forbedre effektiviteten av dette systemet med opp til 20 %, noe som kan bidra til lavere totalt drivstofforbruk.

5.2.7.1 Generelle antagelser

For skip som ikke er utstyrt med akselgenerator, vil en eller flere hjelpemotorer være operasjonell(e) i alle moduser (sjøgående og i havn). Overflødig varme fra eksosen kan da utnyttes. For skip utstyrt med akselgenerator, vil hjelpemotoren(e) normalt kun være i drift i havn. Overflødig varme er da bare tilgjengelig i havn.

Hjelpemotorer kjøres vanligvis med 70 – 80 % belastning. Den gjennomsnittlige belastningen antas derfor å være ca. 600 – 650kW for et konvensjonelt skip med 2 – 3 hjelpemotorer.

5.2.7.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet har blitt anslått til 5 % for dampproduksjon på skip som har oljefyrte kjeler og/eller store hjelpemaskinerier installert, og 1 % på skip uten en oljekjel og/eller kun små hjelpemaskinerier installert. Effekten av tiltaket vil komme enten i form av redusert drivstofforbruk på hjelpemotoren på grunn av lavere behov for strøm til oppvarming. Alternativt kan effekten komme som redusert oljeforbruk på en oljefyrt kjel i tilfeller av utilstrekkelig produksjon av damp fra hovedmotorens

eksoskjel. For å forenkle effekten av tiltaket blir besparelsene modellert som prosent reduksjon av hjelpemotorens drivstofforbruk.

5.2.7.3 Kostnad

Installasjonskostnaden for en eksoskjele tilpasset en hjelpemotor er anslått til NOK 400 000 – NOK 650 000, avhengig av størrelsen på motoren.

Den ekstra driftskostnaden for vedlikehold er anslått til NOK 85 000 per år, uavhengig av størrelse og er antatt uendret frem til 2030.

5.2.8 Energieffektiv belysning

Bruk av energieffektiv belysning utvikles kontinuerlig ettersom fokuset på energi og miljø økes, og industrien får øynene opp for at et slikt tiltak kan være lønnsomt. Tiltaket omfatter typisk lavenergi halogenlamper, lysrør og LED (Light Emitting Diode) i kombinasjon med elektronisk styrte systemer for dimming, automatisk avslåing, osv. Denne teknologien har i begrenset grad blitt brukt til skipsindustrien, der standard utforming i dag ikke inkluderer lavenergibelysning.

5.2.8.1 Generelle antagelser

Den totale energien som brukes til belysning på et vanlig handelsskip kan anslås til 5 % av den totale elektriske kraften til konsumenter (ikke fremdrift av skipet) som forbrukes (se Tabell 5-3), og antas å være høyere for cruise og passasjerskip (> 10 %).

5.2.8.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Utslippsreduksjonspotensialet er estimert til 3 % av det totale drivstofforbruket på hjelpemotorene på normale handelsskip.

Den estimerte belastningen fra lysanlegg ombord i et normalt skip er tatt fra den elektriske belastningslisten for et Multi Purpose Cargo (MPC) skip som kan bli sett på som representativ for vanlige skip, som beskrevet i Tabell 5-3 under.

Tabell 5-3 – Kraftbalansen for hjelpeutstyr for et eksempelskip.

Utstyr	kW	% av total
AC	65	2 %
Blåser	180	4 %
Baugpropell	903	22 %
Kompressor	115.2	3 %
Kontainere	7.5	0,2 %
Kran	354	9 %
Vifte	440	11 %
Bysse	98	2 %
Varmeapparat	30	1 %
Lys	213	5 %
Nautisk utstyr	8	0, 2 %
Pumpe	1 334	32 %
Separator	56	1 %
Vinsj	289	7 %
Verksted utstyr	22	1 %
Total	**4 114**	**100 %**

* Det bemerkes at mange skip ikke vil ha en baugpropell

5.2.8.3 Kostnad

Den ekstra installasjonskostnaden er anslått til NOK 850 000 sammenliknet med tradisjonelle lysanlegg på vanlige handelsskip, og MNOK 1,7 – MNOK 8 på passasjer- og cruiseskip. Siden de fleste energibesparende lysanleggene har lik eller lengre levetid enn vanlige lysanlegg, blir de ekstra driftskostnadene satt til null.

5.2.9 Drage (kite)

En kite fungerer via vindkraft som overføres til skipet og resulterer i lavere behov for motorkraft til forflytting av skipet. Systemet fungerer best for skip over 30 meter og i hastigheter under 16 knop. Et eksempel på et skip med kite er MV "Beluga" hvor en testinstallasjon har vært brukt siden 2008.

5.2.9.1 Generelle antagelser

Tiltaket er kun ansett som teknisk mulig for skip med god plass på dekk til en slik installasjon, noe som medfører at tiltaket ikke er modellert som teknisk mulig på følgende skipstyper; konteiner, passasjer, ro-ro last, offshore supply skip, andre offshore service, og fiskefartøy.

5.2.9.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Kiten vil under normale forhold generere en trekkraft på skipet som kan oversettes til en tilsvarende motorkraft generert. I Tabell 5-4 er det presentert en oversikt over de forskjellige kite-størrelsene anvendt i modellen, og den tilsvarende kraften de genererer.

Tabell 5-4 - Oversikt av kite-størrelser og kraft generert.

Størrelse på kite [m^2]	Generert kraft [kW]
160	600
320	1200
640	2500
1280	4900
2500	9600
5 000*	19 200

* Antatt utilgjengelig frem til 2020

Jo større skipene er, jo større kite kan de bruke. For eksempel er det for tankskip antatt at kun VLCCer kan bruke en 5 000 m^2 kite.

En annen viktig faktor er hvilken andel av tiden tiltaket gir en energibesparende effekt. På grunn av skiftende vær og vind, samt andre begrensninger ved systemet, er det antatt at kite bare kan benyttes med full effekt 20 % (små skip) og 30 % (store skip) av tiden. Generelt er kiter mest aktuelt på lange internasjonale overfarter, der de større skipene dominerer og vindforholdene kan være gunstige og stabile.

5.2.9.3 Kostnad

De viktigste kostnadselementene for kite er innkjøp, installasjon og driftskostnader, og disse forventes å øke med størrelsen på kiten (Tabell 5-5).

Tabell 5-5 oversikt over kostnader og størrelser på kiter

Størrelse av kite [m^2]	Innkjøpskostnad [1 000 $]	Installasjonskostnad [% av inst. kost]	Operasjonell kostnad [% inst. kost per år]
160	280	7,5 %	4 %
320	480	7,5 %	6 %
640	920	7,5 %	8 %
1 280	1 755	7,5 %	10 %
2 500	2 590	7,5 %	12 %
5 000*	3 430	7,5 %	14 %

* Antatt ikke å være tilgjengelig før 2020

5.2.10 Seil og Flettner-rotorer

Seil og Flettner-rotorer representerer et tiltak i form av faste installasjoner på skip, enten som fleksible seil, stive seil, turbo-seil eller Flettner-rotorer. Felles for disse er at de kan nyttiggjøre vinden som fremdrift og dermed erstatte noe av fremdriftskraften som ellers vil produseres av forbrenningsmotorer. Alle disse alternativene vil ha fordeler og ulemper, og må velges ut fra passende skipstype, operasjonsmønster og størrelse. Besparelsene fra dette tiltaket vil også være svært avhengige av vindforholdene der skipet opererer.

Tiltaket er modellert som «faste master med seil», og er brukt som eksempel på de overnevnte teknologiene.

5.2.10.1 Generelle antagelser

Tiltaket er kun ansett som teknisk mulig for skip med god plass på dekk, noe som medfører at tiltaket ikke er modellert som teknisk mulig på følgende skipstyper; konteiner, passasjer, bulkskip, offshore supply skip, andre offshore service og fiskefartøy.

Stabilitetsforandringer på grunn av den høye plasseringen av ekstra vekt og kraft fra seilene antas ikke å være et problem for skipene som inngår i denne modellen.

Prisene nedenfor er basert på at skipene ikke trenger endringer i design for å passe mastene.

5.2.10.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Mastene og seilene som brukes i denne analysen antas å ha et potensiale på ca. 710 kW per installert mast, som vil resultere i en ekstra skyvekraft og redusert kraftbehov fra hovedmotoren(e). Effekten av hver mast antas å øke til 1 200 kW i 2020 og derfra holde et konstant nivå.

Antall master som kan installeres per skip vil avhenge av størrelsen på skipet og er modellert i henhold til Tabell 5-6.

Tabell 5-6 – Antall master installert på skip basert på gross tonn.

Gross tonn	Antall master
< 4 000	1
4 000-19 999	2
20 000-49 999	4
>= 50 000	6

Effekten av mastene vil variere med skiftende vær og vind, og vil derfor ikke være 100 % effektiv hele tiden. Det antas at seilene vil ha effekt i 15 % av tiden.

5.2.10.3 Kostnad

Prisen per mast (inkludert installasjon) forventes å avta avhengig av hvor mange master det er installert om bord. Følgelig vil kapitalkostnadene som er involvert variere fra MNOK 1,5 – MNOK 2,5 per mast, avhengig av antall master installert. Kostnaden for installasjon antas å være konstant over tidsperioden i modellen.

Driftskostnadene per år for mastene er beregnet til å være rundt 10 % av installasjonskostnaden.

5.2.11 Solcellepanel

Utnyttelse av solenergi på skip er per i dag ikke et vanlig tiltak på kommersielle skip, men har vært anvendt i noen tilfeller de siste årene. Dette har i hovedsak vært forsøk med solcellepanel på ro-ro skip. Sammenliknet med landbaserte installasjoner krever slike solcellepaneler spesiell tilpasning for å fungere optimalt på skip i et eksponert marint miljø.

5.2.11.1 Generelle antagelser

Dette tiltaket er kun modellert som teknisk mulig for skip som ikke er særlig avhengig av dekksplassen sin, noe som medfører at modellen utelukker følgende skipstyper; konteiner, offshore supply skip, andre offshore service, fiskefartøy og mindre skip innen skipstypene passasjer, stykkgodsskip, bulkskip, oljetankere, kjemikalie/produkttankere og gasstankere.

Det er forventet at teknologien til solcellepanel vil bli mindre kostbar med tiden, men det er ikke sannsynlig at panelene blir vesentlig mer effektive eller mindre plasskrevende med det første.

Livstiden til en solpanelinstallasjon er satt til 10 år.

5.2.11.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Solcellepanelene på skip er antatt å produsere 40-50 kW, og brukt for å supplere dieselgeneratorenes (hjelpemaskineriets) elektrisitetsproduksjon, og dermed redusere kraften som kreves fra disse enhetene (0,5 - 2 % av hjelpemotorenes drivstofforbruk). Solcellepanelene kan naturlig nok produsere energi både til sjøs og i havn, men kun i dagslys. Solcellepaneler er derfor innstilt til å produsere strøm 50 % av tiden. Det bemerkes at denne prosentandelen er høy, men solcellepaneler produserer kraft også i skydekke, men ikke på full kapasitet.

5.2.11.3 Kostnad

Dagens utstyrs- og installasjonskostnad for solpanel på skip er betydelige og estimert til rett over 11 MNOK for en 40 kW installasjon. Dog er denne kostnaden forventet å avta over tid basert på erfaringer fra landbaserte installasjoner. Ingen operasjonskostnader er modellert for dette tiltaket, da de er forventet å være neglisjerbare.

5.2.12 Batterihybridisering, m.v.

Batterihybridisering er beskrevet i DNV GL (2015), og beskrives derfor bare i korthet her.

Hybridløsninger er særlig egnet der det er store svingninger i effektuttak, der batteribanken kan stå for effekttoppene mens motorene hele tiden opererer jevnt innenfor optimalt område.

Batterihybridisering er forventet å ha et bredt bruksområde, men antas særlig relevant for ferger, offshore fartøy og slepebåter. Hybridisering med batterier kan gjøres på skip med både diesel, LNG og

biodrivstoff. Batterihybridisering er også interessant der batterier (ladet fra skipets motorer) kan erstatte bruk av hjelpemotorer i deler av operasjonen, for eksempel i havn.

En relativt begrenset merinvestering i batterier om bord vil ofte kunne svare seg økonomisk ved redusert drivstofforbruk. Forbruk og utslipp reduseres typisk med 15 % for de nevnte fartøyskategoriene. Hybridisering stiller ingen krav til ladeinfrastruktur på land.

Andre typer optimalisering av maskinerikonfigurasjon, fremdriftslinje og kraftoverføring kan også gi drivstoffbesparende effekter, slik som variabel turtallsdrift (med likestrømsdistribusjon) og hybridløsninger mellom mekanisk og diesel/gasselektrisk fremdrift. Disse er ikke inkludert i modellen, men kan for enkelhets skyld vurderes på samme måte som batterihybridisering hva angår reduksjon av effekt.

5.2.13 Trim- og dypgangsoptimering

Trimmen og / eller dypgangen til et skip påvirker dets motstand og dermed dets drivstofforbruk. Per i dag er det begrenset hvor mye det er tatt hensyn til optimal trim og dypgang ved lasting og ballastering av skip. Ved å vite hvilke kombinasjoner av dypgang, trim og hastighet som gir minimal motstand, så kan man aktivt planlegge lasting, samt styre ballasteringen, mot optimal trim og dypgang for maksimal reduksjon av drivstofforbruk og utslipp.

5.2.13.1 Potensiale for utslippsreduksjon

Optimalisert trim og dypgang er estimert til å kunne redusere drivstofforbruket på hovedmotor med 0,5 – 2 % for de aller fleste skipstyper. For skip som ofte går i del-last (f.eks. container, ro-ro, osv.) kan effekten være opp til 5 %. Disse tallene er basert på fullskalaforsøk og detaljerte beregninger utført på en rekke forskjellige skip i forskjellige ruter.

Fyldige skip, der motstand fra viskøs friksjon er høyere enn bølgefriksjon (f.eks. tankskip og bulkskip), vil generelt ha en mindre reduksjon ved å optimalisere trim og dypgang, dette er tilsvarende for skip med begrenset mulighet for ballastering. I tillegg spiller operasjonsprofilen til de forskjellige skipstypene en rolle. For eksempel så kan effekten av trim- og dypgang optimering spises opp av, for eksempel, veldig lite tid i overfart hvor man faktisk har noe å tjene på en slik optimering.

5.2.13.2 Kostnad

For å være i stand til å optimalisere trim og dypgang er diverse utstyr nødvendig (f.eks. et bedre dataprogram for lastplanlegging, eller et dedikert dataprogram for trim- og dypgangsoptimering), og i tillegg må mannskapet få trening i bruk av slikt utstyr. Installasjonen av slike systemer og opplæring av mannskap er estimert til NOK 200 000 per skip. Når utstyret er installert er det ingen ekstra driftskostnad.

5.2.14 Værruting

Været (vind og bølger) vil sammen med havstrømmene påvirke kraften som trengs for å drive et skip ved en gitt hastighet. Derfor er det viktig å ta disse faktorene i betraktning både under planlegging og gjennomføring av reise, for å prøve å minimere den negative påvirkningen været kan ha på forbruket.

Jo lengre reisene er, jo mer fleksibilitet til veivalg har skipet for å unngå uønskede værforhold. Lengre reiser inkluderer oftest tid brukt i åpent farvann, der påvirkning fra været gjør værruting viktig. Derfor kan det største potensialet realiseres i interkontinental handel og for større skip.

5.2.14.1 Potensiale for utslippsreduksjon

Alle skip kan potensielt installere systemer for værruting, og derfor er det antatt at hele flåten kan installere tiltaket. Men for eksisterende skip har noen skipssegmenter (f.eks. store konteiner- og ro-ro skip) til en viss grad allerede implementert værruting, og har derfor lavere potensial for utslippsreduksjon. I tillegg antas det at mulighetene for værruting for drivstoffbesparing på passasjerskip ikke er betydelig nok til å ta med i modellen. Alt dette antas også å være tilfellet for nye skip som kommer inn i tjeneste i denne perioden.

Reduksjonspotensialet er estimert til mellom 0 – 1 % avhengig av skipsstørrelse og type, samt typisk operasjonsmønster for de ulike skipssegmentene. Effekten av tiltaket vil komme i form av redusert drivstofforbruk på fremdriftsmaskineriet, basert på redusert motstand fra bølge og vind.

Værruting kan også gi en fordel med mindre slitasje og værskader, men dette har ikke blitt inkludert i denne studien.

5.2.14.2 Kostnad

For å forbedre værruting må et nytt system installeres om bord. Dette systemet antas ikke å bli standard i fremtiden, og er modellert med en premie for den gjeldende tidsperioden i modellen. Systemet er estimert til å koste NOK 125 000 per skip installert, og i tillegg er et årsabonnement på NOK 25 000 per skip modellert for å holde programvaren oppdatert samt sikre den nyeste informasjon om været.

5.2.15 Seilasplanlegging

Seilasplanlegging som et tiltak omfatter planlegging og gjennomføring av individuelle seilaser fra havn til havn. Drivstofforbruket på en individuell seilas er sterkt relatert til hastighet, motorbelastning og bruk av autopilot (relatert til bruken av roret). Nye prosjekter, der DNV GL har bistått klienter med å redusere drivstofforbruket, har vist et potensiale for forbedring ved systematisk å seile skipene på mer økonomiske hastigheter, jevn belastning på motorene og optimale ror-utslag (minimert med hensyn på den motstanden ror-utslag representerer).

5.2.15.1 Potensiale for utslippsreduksjon

God seilasplanlegging har størst betydning for skip med lange seilaser, og kan øke skipets fleksibilitet med tanke på valg av ruter og innstillinger. Skip som går i linjefart (f.eks. konteiner- og ro-ro skip) vil ha stramme tidsskjemaer som begrenser muligheten for drivstoffoptimalisert seilasplanlegging.

Reduksjonspotensialet for dette tiltaket er estimert til 1,5 – 3,5 % av drivstofforbruk på fremdriftsmaskineriet, avhengig av skipets størrelse og type, lavere og mer konstant fart, samtidig som skipet fremdeles møter ankomsttid ved reisemålet.

5.2.15.2 Kostnader

Seilasplanlegging fordrer noe ekstra-utstyr (i utgangspunktet kun maskinvare og programvare) installert, som ikke antas å bli standard i løpet av tidsperioden, og derfor er installasjonskostnaden modellert som konstant. Installasjon av nødvendige systemer, inkludert opplæring av mannskapet er anslått til NOK 85 000 per skip. I tillegg er årlige opplærings- og programvareoppgraderinger estimert til NOK 40 000 per skip.

5.2.16 Dampsystem-optimering

Erfaring har vist at det er et potensiale for forbedring av operasjonen av kjelen(e) og dampproduksjon generelt. Med forbedringer menes reduksjon av energibehovet for produksjon av damp, og eksempler på dette er forbedrede rutiner for tankrengjøring, generell reduksjon av dampforbruk (inklusiv reduksjon av lekkasjer), overvåking og justering av ytelsen til kjelen, optimal bruk av dampen (f.eks. jevn oppvarming av oljelast) og effektiv bruk av lastepumper.

5.2.16.1 Generelle antagelser

Dette tiltaket er kun gyldig for oljetankere og kjemikalie-/produkttankere, da dette er de eneste skipstypene modellert med oljefyrte kjeler. Andre skipstyper har produksjon av damp og således et potensiale, men de har ofte ikke egne dedikerte oljefyrte kjeler. Det vanlige er å ha en kombinasjonskjel, dog vil det være lite bruk av den oljefyrte delen. Varmebehovet er således i stor grad dekket av varmen fra eksosen for de andre skipstypene.

Tiltaket har generelt blitt implementert på større skip, og derfor er fremtidspotensialet størst for de mindre skipene.

5.2.16.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet for kjeleforbruket er vurdert til å være i området 10 – 20 %, med større prosentvise reduksjonspotensialer for mindre skip. Effekten av tiltaket er vurdert å være uendret for nye skip, da dette er et operativt tiltak og det forutsettes at nye tankskip vil ha samme operasjonsmønster som eksisterende skip. Effekten kommer i form av redusert drivstofforbruk på kjelen(e) basert på et lavere dampforbruk, samt en mer effektiv produksjon.

5.2.16.3 Kostnad

Tiltaket innebærer endring av rutiner, opplæring av mannskap og noe ekstra årlig vedlikehold for å få utnyttet det fulle reduksjonspotensialet. Kostnaden for disse tiltakene er estimert til NOK 170 000 per skip per år.

5.2.17 Propellpolering

Tilstanden til propellens overflate påvirker virkningsgraden til propellen. Propellens overflate blir over tid mindre jevn på grunn av belastning, kavitasjonsskader og algevekst. Sistnevnte kan enkelt unngås ved vanlig og jevnlig propellpolering.

5.2.17.1 Generelle antagelser

Dette tiltaket er i snitt (for alle skip) antatt å ha best effekt dersom det gjennomføres to ganger årlig. Tidligere prosjekter har vist optimal balanse mellom pris og effekt for dette antallet poleringer per år. Påvirkning fra temperatur og tid til stille-ligge er ikke tatt hensyn til i dette tiltaket.

5.2.17.2 Potensiale for utslippsreduksjon

Ved regelmessig polering av propellen har tester vist at forbruket kan reduseres med 0,5 – 1,5 %, der virkningen avtar med størrelsen på det aktuelle skipet.

Effekten av tiltaket kommer fra forbedret propulsjonsvirkningsgrad, som igjen minker krafttap fra fremdriftsmaskineriet. Dette reduksjonspotensialet er modellert som drivstoffbesparelse på hovedmotoren(e).

5.2.17.3 Kostnad

Kostnaden av propellpolering to ganger årlig er estimert til NOK 70 000 per skip, uten at eventuelle ekstra driftskostnader er inkludert. Kostnaden antar at en dykker utfører arbeidet på propellen mens skipet ligger til kai og laster/losser.

6 SCENARIER FOR PRIS PÅ DRIVSTOFF

Det er stor usikkerhet rundt fremtidige drivstoffpriser. Studien vil derfor bruke prisscenarier for konvensjonelle og alternative drivstoff innenfor omleggingsscenariene.

Da vi anvender de samme pris-scenariene som i DNV GL (2015), viser vi til denne rapporten for en beskrivelse av grunnlaget for de fremkomne scenariene.

Alle priser i dette dokumentet oppgis per tonn MGO-ekvivalent. Med dette menes at alle priser er justert for energiinnhold, slik at prisene skal være sammenlignbare. Prisene er for leveranse i norske havner.

I de følgende kapitlene vil modellen anvendes med de følgende 4 prisscenariene i Tabell 6-1. Kort oppsummert kan de fire scenariene beskrives slik;

- S1: Billig olje, billige alternativer.
- S2: Billig olje, dyre alternativer.
- S3: Dyr olje, billige alternativer.
- S4: Dyr olje, dyre alternativer.

Merk at billig olje innebærer en pris på 40 USD/fat, mens dyr olje innebærer en pris på 100 USD/fat. Dagens prisnivå er altså svært nær det lave scenariet.

Tabell 6-1: Valgte prisscenarier (NOK per tonn MGO ekvivalent).

	S1	**S2**	**S3**	**S4**
HFO	2200	2200	4400	4400
MGO	4700	4700	7000	7000
LNG	3700	4700	4400	7000
Biodiesel[7]	2500	5800	4600	8400
Vegetabilsk olje	2000	4700	4400	7700
Biogass	19800	30700	19800	30700
Elektrisitet[8]	5900	10700	5900	10700

[7] Prisen relaterer til 100% biodiesel. Tiltaket som modelleres er 20 % innblanding. Samlet pris på drivstoffet er da et vektet gjennomsnitt av MGO og biodiselel.

[8] NB: utnyttelse av energien i el-motor vil ligge nær 100%, mens konkurrentene som konverteres i en forbrenningsmotor ligger under 50%.

7 RESULTATER – MULIGE UTSLIPPSREDUKSJONER MOT 2040

Vi benytter modellen som er beskrevet i Kapittel 4.2 til å regne på scenarier der forskjellige tiltak anvendes på flåten i forskjellig grad. Scenariene danner et bilde av muligheter og begrensninger ved ulik tiltaksbruk for å redusere klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040.

Scenariene vi setter opp er valgt for å belyse de grunnleggende spørsmålene som denne rapporten tar sikte på å besvare;

1. Hva vil utslippene bli dersom flåten er som i dag (teknologisk og operasjonelt, men flåtevekst hensyntatt), og hva er effekten av allerede vedtatt regelverk for CO_2-utslipp fra skip, dvs. EEDI-kravet for nye skip?
2. Hva kan oppnås ved tekniske og operasjonelle tiltak for CO2-reduksjon alene?
3. Hvordan kan alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon sammen bidra til å oppnå utslippsreduksjoner som er i samsvar med nasjonale målsettinger?
4. Hva er den samfunnsøkonomiske implikasjonen av å nå utslippsmålet for innenriks utslipp?

For å svare på disse spørsmålene må modellen kjøres en rekke ganger, med forskjellige valg. I de følgende delkapitlene besvares spørsmålene etter tur.

7.1 CO_2-utslipp fra innenriks skipsfart i 2040 – uten tiltak

Hva vil utslippene bli dersom flåten er som i dag (teknologisk og operasjonelt, men flåtevekst hensyntatt), og hva er effekten av allerede vedtatt regelverk for CO_2-utslipp fra skip, dvs. EEDI- kravet for nye skip?

Fra modellen vet vi at utslippet fra innenriks skipstrafikk i dag er 3,4 millioner tonn (Mt) CO_2. Fremskrevet til 2040, i tråd med forventet flåtevekst, beregnes utslippet til 5,2 Mt CO_2; gitt at flåten er som i dag med tanke på drivstofftyper, teknologi og operasjonell praksis.

Dersom vi tar hensyn til at skipene som bygges mot 2040 må oppfylle krav til energieffektivitet, de såkalte EEDI-kravene, finner vi at utslippet i 2040 er 4,7 Mt CO_2. Dette representerer baseline-utslippet (eller nullalternativet) i analysene våre. Baseline her omfatter altså den reduksjonseffekt en uansett kan forvente fra flåtefornyelse uten særskilte tiltak, utover simpelthen å være i henhold til internasjonale krav for energieffektivitet. I det følgende er det alltid regnet med at EEDI ligger i bunn (dersom det ikke spesifikt nevnes annet). Resultatene er oppsummert i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Utslipp fra innenriks skipsfart– uten tiltak.

	CO_2 utslipp (Mt)
2015	3,4
2040 (fremskrevet)	5,2
2040 (baseline – EEDI inkludert)	4,7

Resultatene viser at utslippet av CO_2 ventes å øke betydelig frem mot 2040 dersom flåtevekst legges til grunn uten at miljøvennlig drivstoff eller ny teknologi kommer til, annet enn det som følger av EEDI-kravene. Økningen fra 2015 til 2040 er beregnet til 38 % når EEDI tas med, mot 52 % dersom EEDI ikke

tas med. EEDI i seg selv reduserer altså utslippet med omkring 10 % sammenlignet med hva situasjonen ellers ville vært i 2040. Veksten i utslippene frem til 2040 bremses altså noe, men utslippene reduseres ikke sammenlignet med dagens nivå. Effekten av EEDI synes noe lavere for norsk innenriks utslipp, sammenlignet med studier gjort for verdensflåten. Bazari og Longva (2011) viste at effekten av EEDI kan redusere utslippet fra verdensflåten med ca. 30 % fra baseline (Bazari og Longva, 2011). Forskjellen skyldes i hovedsak at innenriks utslipp i Norge har store bidrag fra skipstyper som ikke omfattes av EEDI-regelverket, herunder offshore, ferger og fiske.

7.2 Effekt av tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon alene

Hva kan oppnås ved tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon alene?

For å belyse dette spørsmålet gjøres en kjøring av modellen der vi implementerer alle tilgjengelige tekniske og operasjonelle tiltak på alle skipene i flåten. Tiltakene er vurdert som aktuelle ut fra teknisk gjennomførbarhet (men ikke nødvendigvis realistiske av den grunn); både skip som seiler i dag, og skipene som bygges frem til 2040.

Vi finner da at utslippet i 2040, om hele porteføljen tiltak implementeres på alle skip – nye som gamle – er 3,7 Mt CO_2. Dette er en reduksjon på 21 % sammenlignet med baseline, eller en økning på omtrent 11 % sammenlignet med dagens utslipp. Merk at tiltaksbruken ikke omfatter alternative drivstoff.

Vi finner videre at 53 % av den oppnådde reduksjonen ved et slikt tiltaksomfang er kostnadseffektiv, gitt høy oljepris. Gitt lav oljepris er 43 % av den oppnådde reduksjonen kostnadseffektiv. «Kostnadseffektiv» i denne sammenheng innebærer at levetidskostnaden for tiltaket er mindre enn null. Kostnadseffektivt (før eksternaliteter er inkludert) kan altså utslippet reduseres ca. 10 % fra baseline i 2040 ved tekniske og operasjonelle tiltak. Da er i tilfelle utslippet 24 % høyere enn i dag.

Resultatene er oppsummert i Tabell 7-2.

Tabell 7-2: Utslipp fra innenriks skipsfart- med tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon alene.

	CO_2 utslipp (Mt)	Endring fra baseline
2040 (baseline – EEDI inkludert)	4,7	-
2040 alle skip har alle operasjonelle og tekniske tiltak	3,7	-21 %
2040 med kostnadseffektive tiltak på alle skip	ca. 4,2[9]	-10 %

En nærmere analyse av resultatene viser også at operasjonelle tiltak i snitt kommer godt ut kostnadsmessig. Batterihybridisering er også kostnadseffektivt, jevnt over. Deretter er det få tiltak som *i snitt* er kost-effektivt. Det betyr imidlertid ikke at de ikke kan være kost-effektive på deler av flåten.

[9] Vi bruker omtrentlige tall ettersom det er noe variasjon avhengig av drivstoffpris.

Merk for øvrig at kostnadseffektivitet i seg selv ikke innebærer at en kan anta at tiltaket blir implementert uten videre, ettersom det er mange barrierer – av bl.a. teknisk, økonomisk og organisatorisk karakter som hindrer bruk (Acciaro et al., 2012).

Resultatene viser at utslippet av CO_2 ventes å øke, selv med full utnyttelse av de modellerte tekniske og operasjonelle tiltakene. Vi kan i beste fall få stabilisert utslippene litt over dagens nivå, men vi er langt unna å nå utslippsnivåer som er i overenstemmelse med utslippsmålene.

Et relatert spørsmål er hva som kan oppnås ved overgang til alternative drivstoff alene, noe som ble besvart i DNV GL (2015). Studien fant at reduksjon av CO_2-utslipp i 2040 til nivåer under 2015-nivå ved hjelp av aktuelle alternative drivstoff er mulig, forutsatt en vesentlig grad av omlegging til nullutslippsløsninger, dvs. biodrivstoff og elektrisitet. Videre fant en at flere tiltak vil være kostnadseffektive.

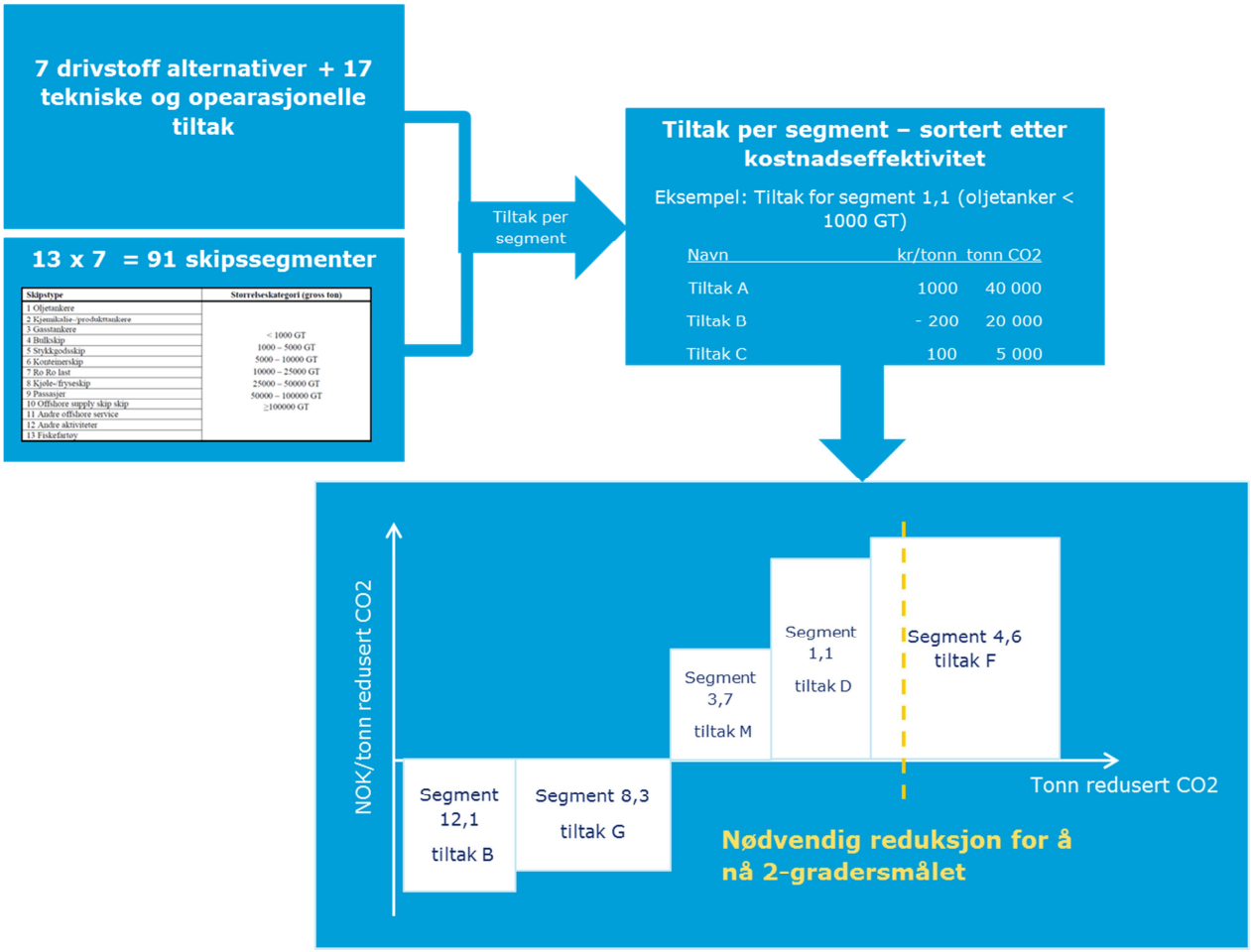
7.3 Muligheter for oppnåelse av nasjonale utslippsmål ved både alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak

Hvordan kan alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon sammen bidra til å oppnå utslippsreduksjoner som er i samsvar med nasjonale målsettinger?

Det er ikke opplagt hvilke scenarier for anvendelse av tiltak (alternativt drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak) som skal konstrueres for å besvare dette spørsmålet. Et svært stort antall scenarier, som i praksis er uhåndterlig, kan i prinsippet konstrueres ved å variere de tre mest relevante parameterne i modellen;

- Hvilke skipssegmenter som får tildelt et tiltak
- Hvilke tiltak som anvendes
- Hvilke drivstoffpriser som anvendes

I prinsippet kunne vi tenke oss en strengt formell fremgangsmåte der en regner på effekt og kostnad av alle mulige kombinasjoner, som danner en «meny» av mulige anvendelser av tiltak. En kunne videre velge å implementere de mest kostnadseffektive tiltakene etter tur, helt til utslippsmålet en har satt seg er nådd. Denne fremgangsmåten er illustrert Figur 7-1, og vil i prinsippet generere den mest kostnadseffektive sammensetningen av tiltak.



Figur 7-1: Illustrasjon av teoretisk fremgangsmåte for å konstruere scenario for måloppnåelse mest mulig kostnadseffektivt.

Det er imidlertid flere forhold som gjør at denne metoden ikke er hensiktsmessig. For det første er det over 5000 ulike kombinasjonsmuligheter av drivstofftyper, tekniske/operasjonelle tiltak og skipssegmenter. Videre er det nødvendig å forstå hvordan drivstoffvalg er fundamentalt for hele beregningen. Ethvert tiltak vil påvirke hvordan andre tiltak vil komme til anvendelse og fungere. For drivstoff er denne effekten fundamental; alle påfølgende tiltak må regnes med den CO_2-faktoren som drivstoffet har (for eksempel null for nullutslippsdrivstoff), samt den drivstoffprisen som drivstoffet har. Dette påvirker i stor grad hva effekten og kostnaden ved senere tiltak er.

Man kan også fort gjøre seg avhengig av å treffe «riktig» drivstoffvalg for i det hele tatt å nå det utslippsmålet man setter seg. Skulle man for eksempel velge MGO eller LNG for flåten, er det ikke trolig at man ved tekniske og operasjonelle tiltak i det hele tatt er i stand til å nå utslippsmålet (se også kapittel 7.3.2).

At mange drivstoffalternativer er svært sensitive for valg av drivstoffprisscenario, gjør at metoden ovenfor er sårbar for antagelsene som ligger til grunn, og dette gjør at vi ønsker å anvende en mer robust, alternativ metode. Den anvendte metoden følger disse stegene, og er beskrevet i de følgende kapitlene:

1. Vi genererer en «meny» med mulige kombinasjoner av tiltak, drivstoff og skipssegmenter. Denne er ikke komplett, ettersom variasjonsmulighetene er svært mange, men menyen spenner utfallsrommet, og gir oss nok informasjon til å ta informerte valg.
2. Vi velger fra menyen for å finne tiltak som til sammen gir oss et scenario som oppfyller tre krav;
    a. Nå målsetning om utslippsreduksjon
    b. Begrense kostnadene
    c. Velge gjennomførbare, realistisk løsninger

7.3.1 Målsettingen for utslipp i 2040

Vi legger til grunn en (ikke bekreftet) politisk målsetning om 40 % utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990 for innenriks skipsfart. Merk at denne målsetningen gjelder for det totale utslippet for ikke-kvotepliktig sektor, og at det ikke er noen uttalte målsetninger spesifikt for transportsektoren og/eller innenriks skipsfart per dags dato. Vårt utgangspunkt for utslippsberegninger er imidlertid dagens utslipp, så vi trenger å forstå hvordan utslippet mellom 1990 og i dag har endret seg, slik at målsettingen kan formuleres relativt til dagens utslipp. Tall fra SSB viser at klimagassutslipp fra innenriks sjøfart og fiske ikke har økt mellom 1990 og 2014[10]. Merk at dette står i kontrast til internasjonal skipsfart, som er beregnet å ha økt med omkring 50 % mellom 1990 og 2010 (Buhaug et al. 2009).

Vi kan derfor forstå en målsetting om å redusere utslipp til et gitt nivå sammenlignet med 1990 som å være ekvivalent med å sammenligne med dagens nivå, slik at for 2030 kan vi si at utslippet må være redusert med 40 % fra dagens nivå.

Videre viser rapporter fra FN at globale utslipp i 2050 må være redusert med minst 60 % sammenlignet med dagens nivå[11], dersom 2-gradersmålet skal nås.

For 2040 legger vi derfor til grunn at norsk innenriks skipsfart bør ligge omkring 50 % under dagens nivå.

7.3.2 Spenne utfallsrommet for effekter av tiltaksbruk

For å etablere en «meny» som spenner utfallsrommet for effekter av tiltaksbruk har vi kjørt 58 separate scenarier for kombinasjoner av alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak igjennom modellen. Utfallet av kjøringene genererer en informasjonsmengde som i sin helhet er for stor til å bli gjengitt. Den fulle informasjonsmengden er da heller ikke særlig relevant. I det følgende sammenfatter vi hovedresultatene av de 58 modellkjøringene. I sammenfatningen viser vi:

- Effekten av fire ulike alternative drivstoff på alle skip (der teknisk gjennomførbart)
- Det videre isolerte bidraget fra alle tekniske/operasjonelle tiltak med det gitte drivstoffet (der teknisk gjennomførbart)
- Den samlede faktiske reduksjonen fra kombinasjonen av det gitte drivstoffet og de tekniske/operasjonelle tiltakene ift. baseline for 2040 og ift. dagens situasjon

[10] http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-klimagasser-fra-transport/
[11] UN Environment Programme. Bridging the Emissions Gap: A UNEP Synthesis Report. UN Environment Programme, Nairobi, Kenya, 56 (2011).

- Samlet kostnadseffektivitet med de ulike drivstoffalternativene og tekniske/operasjonelle tiltak, analysert for ulike prisscenarioer for drivstoff.

Scenariene bør ikke forstås som sannsynlige eller realistiske utviklingsbaner, men som rammer for en diskusjon rundt realistiske og ønskelige utviklingsbaner.

Tabell 7-3 viser resultatet fra et sett scenarier der alle skip får tiltak av forskjellig karakter.

Tabell 7-3: CO_2-utslipp fra innenriks skipsfart i 2040, gitt at alle skip har et bestemt alternativt drivstoff, så langt det anses teknisk mulig. Videre har alle skip alle tekniske og operasjonelle tiltak, så langt det anses teknisk mulig.

	CO_2 reduksjon fra baseline 2040 (4,7 Mt CO2)			**CO_2 red. fra dagens nivå (3,4 Mt)**	**Kostnadseffektivitet (over 4 scenarier for drivstoffpriser)**
Anvendt drivstoff	Fra drivstoff	Fra T&O tiltak	Samlet	Samlet	
LNG	17 %	22 %	34 %	9 %	Omtrent halvparten av potensialet er kostnadseffektivt i beste fall. I verste fall er ingen LNG løsninger kostnadseffektive; men da er til gjengjeld T&O tiltakene nesten utelukkende kostnadseffektive.
Bio 100%	100 %	-	100 %	100 %	Varierer fra ca. -200, til 0 og 50, til 100 NOK/tonn CO2. T&O tiltakene blir irrelevante som CO_2 tiltak.
Bio 20%	21 %	22 %	38 %	15 %	Varierer fra ca. -100 til 400 NOK/tonn CO_2. T&O tiltakene omtrent som for LNG
Elektrisk drift	42 %	26 %	57 %	41 %	Varierer fra ca. 0, til 200, til 400 og til 500 NOK/tonn CO_2. T&O tiltakene på resten av skipene har kostnadseffektivitet som for diesel (kapittel 7.2).

Fra Tabell 7-3 ser vi at for 100 % biodrivstoff vil utslippet av CO_2 elimineres, noe som er en naturlig følge av antagelsene som ligger til grunn, inkludert at dette er teknisk gjennomførbart for alle skip. Tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon i dette scenariet blir overflødig fra et utslippsperspektiv, ettersom CO_2-utslippet fra biodrivstoff er regnet som null om bord på skipet. Dette er rett nok en forenklet fremstilling som er en følge av modellens oppsett. Det er i virkeligheten hensiktsmessig å implementere slike tiltak ettersom de i de fleste tilfeller reduserer energibruken om bord, og dermed også driftskostnader. For fullelektrifisering vil redusert energibruk også redusere investeringsbehovet ettersom nødvendig batteristørrelse blir redusert. Grunnen til at utslippene ikke

reduseres 100 % ved elektrisk drift er at drivstoffet er ansett som teknisk gjennomførbart kun for deler av flåten.

Dessuten er det viktig å huske at vi bruker en forutsetning om at biodrivstoff er et nullutslippsalternativ. Dette er hensiktsmessig i et sektorperspektiv, men i et livsløpsperspektiv er ikke dette riktig, ettersom det knytter seg utslipp til produksjon av råvarer, prosessering og transport. Redusert energibehov vil redusere forbruket av biodrivstoff og derfor også CO_2 utslippene i livsløpet.

I Tabell 7-4 viser vi scenarier som tilsvarer det som er gjennomgått over, men her er drivstofftiltakene begrenset til de skipene som er mer enn 80 % av tiden i norske farvann (tekniske og operasjonelle tiltak begrenses ikke).

Tabell 7-4: CO_2-utslipp fra innenriks skipsfart i 2040, gitt at alle skip med minst 80 % av tiden i norske farvann har et bestemt alternativt drivstoff, så langt det anses teknisk mulig. Videre har alle skip alle tekniske og operasjonelle tiltak, så langt det anses teknisk mulig.

	CO_2 reduksjon fra baseline 2040 (4,7 Mt CO_2)			**CO_2 red. fra dagens nivå (3,4 Mt)**	**Kostnadseffektivitet (over 4 scenarier for drivstoffpriser)**
Anvendt drivstoff	Fra drivstoff	Fra T&O tiltak	Samlet		
LNG	11 %	14 %	23 %	- 6 % *	Alt er kostnadseffektivt i beste fall. Ingenting i verste fall. T&O tiltakene nesten utelukkende kostnadseffektive i så fall.
Bio 100%	72 %	-	72 %	62 %	Varierer fra ca. -200, til 0 og 50, til 100 NOK/tonn CO_2.
Bio 20%	15 %	15 %	28 %	0 %	Varierer fra ca. -100 til 400 NOK/tonn CO_2. T&O tiltakene omtrent som for LNG
Elektrisk drift	43 %	13 %	49 %	30 %	Varierer fra ca. 0, til 200, til 400 og til 500 NOK/tonn CO_2. T&O tiltakene på resten av skipene har kostnadseffektivitet som for diesel (Kapittel 7.2).

*) Utslippet ligger m.a.o. 6 % over dagens nivå.

Tabell 7-4 viser at mye av potensialet for utslippsreduksjon kan utløses ved å fokusere på de skipene som bidrar mest til innenriks utslipp. Resultatet for 100 % biodrivstoff viser tydelig hvordan bidraget til innenriks utslipp fordeler seg mellom skip som er mer enn 80 % av tiden i norske farvann, og skip som er mindre av tiden her. 72 % av utslippet skyldes de som er mer enn 80 % av tiden. Ved kun å implementere tiltak på de skipene som er i norske farvann mer enn 80 % av tiden, er det altså ikke mulig å redusere mer enn 72 % fra 2040-baseline, eller 62 % under dagens nivå (gitt at trafikkfordelingen ikke endrer seg).

7.3.3 Realitetsorientert scenario for oppfyllelse av målsettingen

Med bakgrunn i diskusjonen ovenfor ønsker vi altså å konstruere et scenario som oppfyller tre krav;

d. Nå målsetning om 50 % utslippsreduksjon i 2040 i forhold til dagens nivå

e. Begrense kostnadene

f. Velge gjennomførbare, realistisk løsninger

Utfallsrommet for effekter av tiltaksbruk som vist i Kapittel 7.3.2 forteller mye av den samme historien som DNV GL (2015) fant; nullutslippsløsninger må anvendes i stort monn for å få til utslippsreduksjoner i overenstemmelse med målsettingene. Vi går derfor videre med det realitetsorienterte scenariet som brukt av DNV GL (2015) som et utgangspunkt.

Det realitetsorienterte kombinasjonsscenariet innebærer anvendelse av et alternativt drivstoff på alle nybygde skip som går mer enn 80 % av tiden i norske farvann. Skip med mindre av tiden i norske farvann går på tradisjonelt oljebasert drivstoff (MGO/HFO). Samtidig antas det årlig at 1 % av de eksisterende skipene bytter til alternativt drivstoff, slik at 28 % av den seilende flåten (2750 skip) opererer med alternativt drivstoff i 2040.

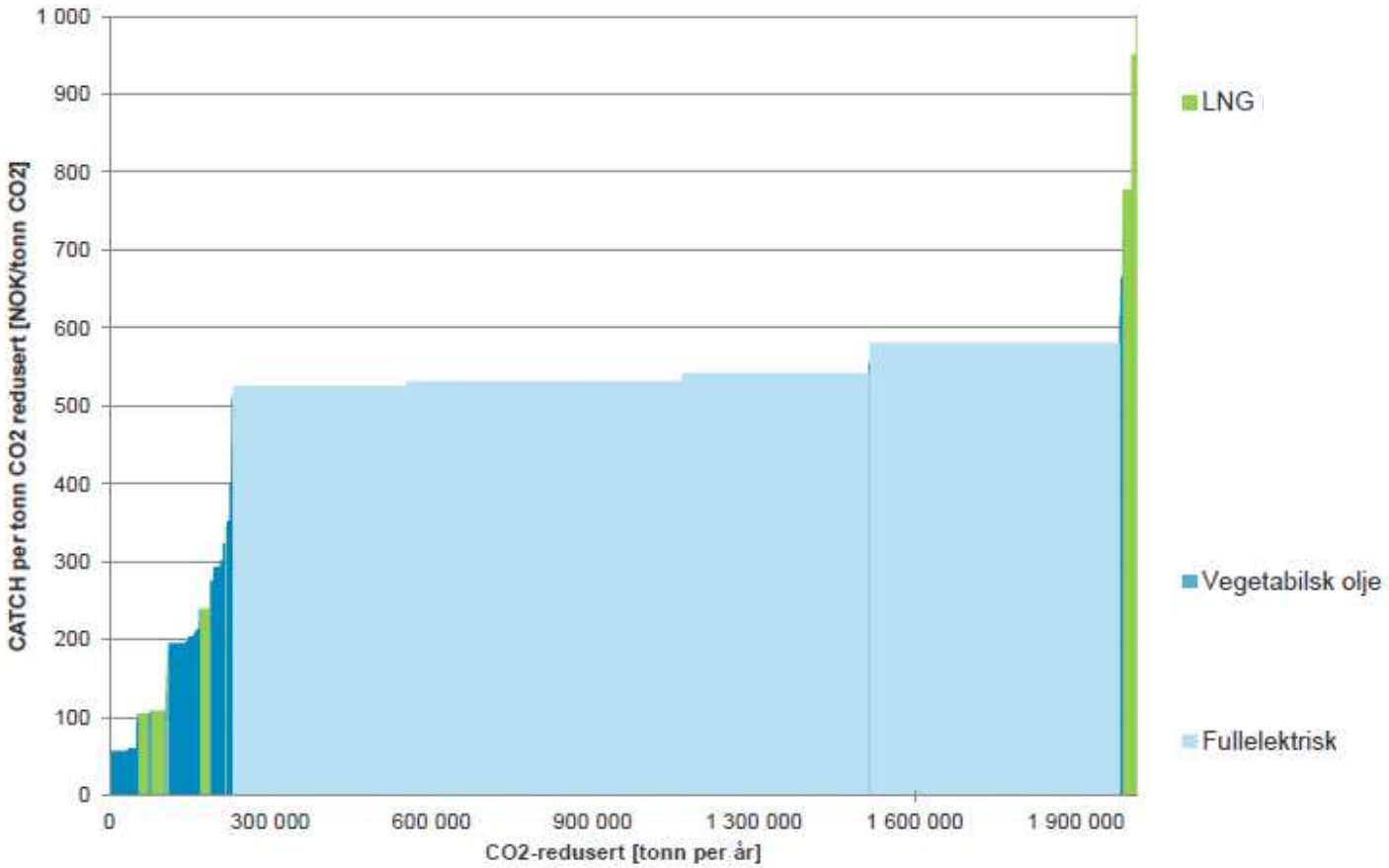
Hvilket alternative drivstoff som benyttes varierer med skipstype;

- Lasteskip og fiskefartøy benytter 20 % innblanding av biodrivstoff i tradisjonelt oljebasert drivstoff
- Passasjerskip (inkludert ferjene) benytter elektrisk fremdrift
- Offshoreskip benytter LNG

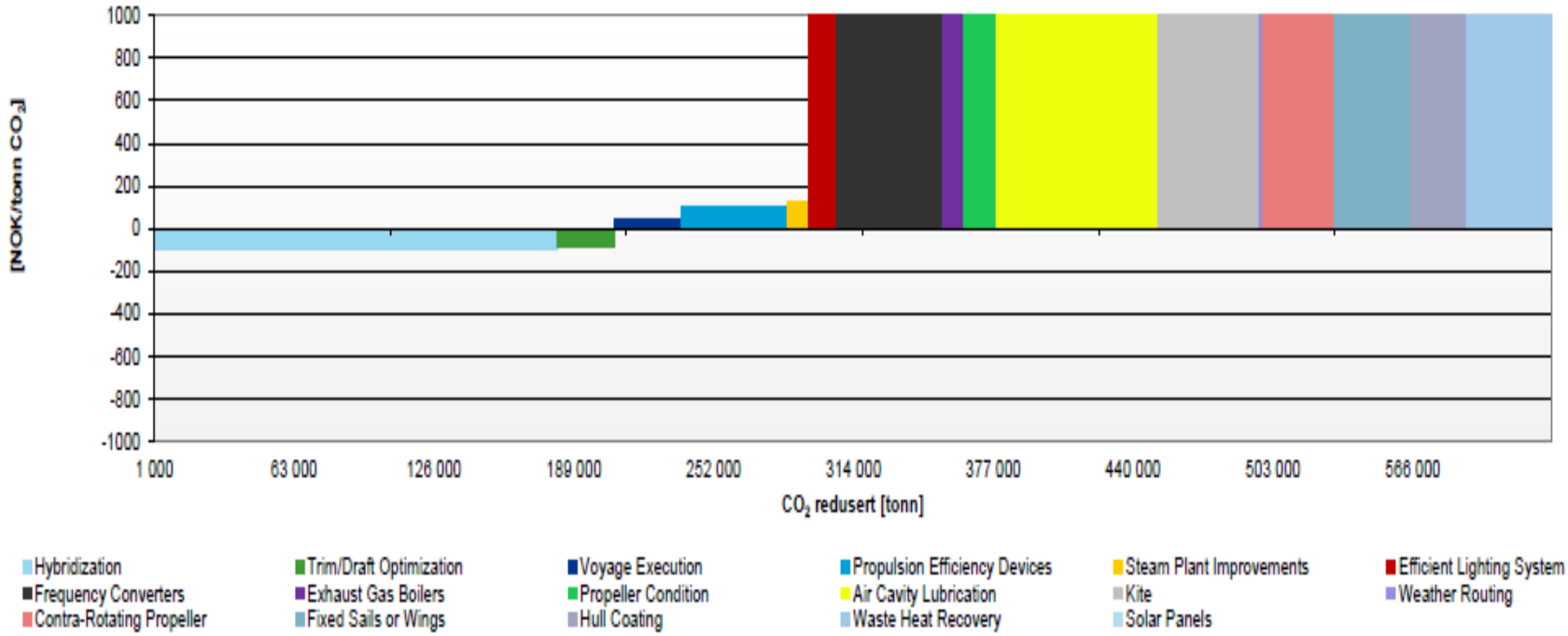
For elektrisitet som drivstoff (ved bruk av batterier) håndterer modellen av forenklingshensyn kun fullelektrisk drift. Scenariet velger passasjerskip (fortrinnsvis ferjer) som den mest aktuelle skipstypen for elektrifisering i Norge. Dette innebærer imidlertid at alle passasjerskip under en viss størrelse (25 000 GT) regnes med fullelektrisk drift. På den ene siden er ikke dette nødvendigvis «realistisk» og vil isolert sett for passasjerskip overestimere mulighetene for CO2-reduksjoner frem mot 2040. På den annen side er ingen andre skipstyper regnet med elektrisk drift i dette scenarioet, selv om elektrifisering i deler av driften (for eksempel i havn og ved inn- og utseiling) vil kunne være høyst aktuelt for en rekke skipstyper, inkludert lasteskipene. DNV GL anser derfor i sum de betydelige CO2-reduksjonene fra elektrisitet som drivstoff som realitetsorientere.

I tillegg antar vi at alle tilgjengelige tekniske og operasjonelle tiltak anvendes på alle skip uavhengig av tid i norsk farvann.

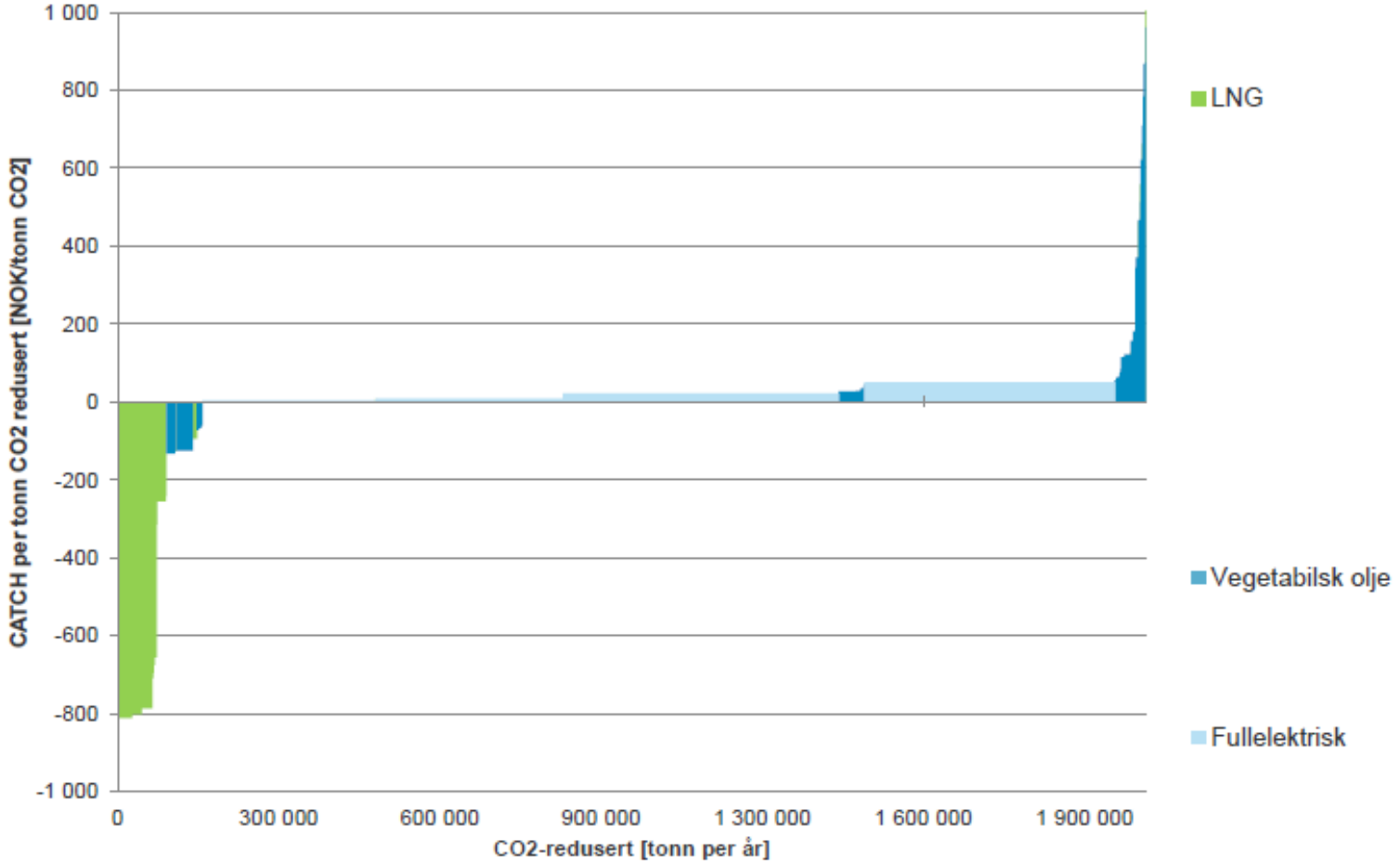
Figurene under viser marginalkostnadskurver for det realitetsorienterte scenarioet i 2040. Vi viser ikke alle fire prisscenariene, men velger ut *best case* og *worst case* scenariene. Tabell 7-5 oppsummerer reduksjonseffektene fra tiltaksbruken i scenariet.



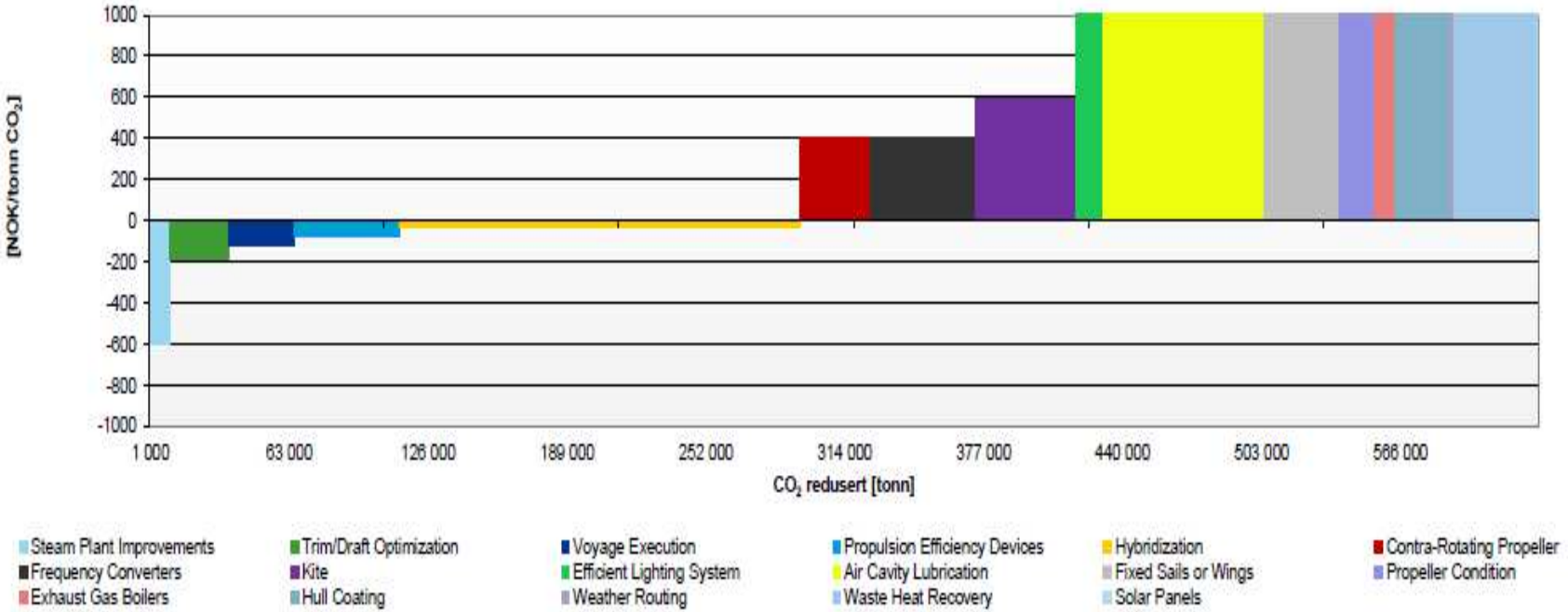
Figur 7-2: Marginalkostnadskurve 2040 for drivstoffalternativene anvendt i det realitetsorienterte scenariet, med *worst case* drivstoffpriser (prisscenario 2). Merk at vertikal akse er kuttet ved 1000 NOK/tonn CO_2.



Figur 7-3: Marginalkostnadskurve 2040 for tekniske og operasjonelle tiltak, anvendt i det realitetsorienterte scenariet, med *worst case* drivstoffpriser (prisscenario 2). Merk at vertikal akse er kuttet ved 1000 NOK/tonn CO_2.



Figur 7-4: Marginalkostnadskurve 2040 for drivstoffalternativene anvendt i det realitetsorienterte scenariet, med *best case* drivstoffpriser (prisscenario 3). Merk at vertikal akse er kuttet ved 1000 NOK/tonn CO_2.



Figur 7-5: Marginalkostnadskurve 2040 for tekniske og operasjonelle tiltak, anvendt i det realitetsorienterte scenariet, med *best case* drivstoffpriser (prisscenario 3). Merk at vertikal akse er kuttet ved 1000 NOK/tonn CO_2. Merk også at fargekodingen ikke er den samme som i figur Figur 7-3.

Tabell 7-5: Realitetsorientert scenario 2040.

	CO_2 reduksjon fra baseline **Baseline 2040 er 4,7 Mt CO_2.**			**CO_2 red. fra dagens nivå**	**Kostnadseffektivitet (over 4 scenarier)**
Anvendt drivstoff	Fra drivstoff	Fra T&O tiltak	Samlet		
Lasteskip og fiskefartøy benytter 20 % innblanding av biodrivstoff i tradisjonelt oljebasert drivstoff Passasjerskip (inkludert ferjer) benytter elektrisk fremdrift Offshoreskip benytter LNG	44 %	24 %	60 %	40 %	Kostnadseffektiviteten av LNG og biodrivstoff varierer betydelig, som beskrevet i Kapittel 7.3.2. Reduksjonspotensialet domineres imidlertid av elektrifisering, som varierer fra ca. 0, til 200, til 400 og til 500 NOK/tonn CO_2. Potensialet utgjort av T&O tiltakene er mellom 80 og 90 % kostnadseffektivt.

Vi ser fra Tabell 7-5 at dette scenariet ikke bringer utslippene helt ned til målsettingen, dvs. 50 % under dagens nivå. Et mer omfattende opptak av alternative drivstoff og/eller tekniske/operasjonelle tiltak vil måtte tas i bruk for å nå et slikt nivå. Ut ifra modellkjøringene som er gjort (jf. også Kapittel 7.3.2), kan et mer omfattende opptak kan gjennomføres på flere måter, for eksempel:

- Øke fra 20 % biodrivstoff til 100 % på lasteskip og/eller fiskefartøy
- Inkludere flere skip, med mindre seilingstid i norske farvann

Vi kan også legge til tiltak som ikke er regnet på i gjennomgangen over, f.eks. anvendelse av biogass i stedet for LNG på offshoreflåten.

Vi kan også tenke oss sterkere operasjonelle tiltak – herunder er fartsreduksjon nærliggende (se for øvrig Kapittel 11.2.3). Vi vet også at modellen ikke er komplett med tanke på tilgjengelige og aktuelle tiltak som er inkludert. Det er ikke usannsynlig at ytterligere 10 prosentpoeng er mulig med nye tiltak (se Kapittel 11.2). Merk imidlertid at vi allerede har modellert inn en vesentlig energieffektiviserings-gevinst på mange skip som følge av EEDI-kravene. Disse gevinstene må nødvendigvis være realisert gjennom implementering av fysiske tiltak. Selv om vi ikke kjenner akkurat hvilke tiltak dette vil være, kan det omfatte både tiltak som er inkludert i vår modell, og tiltak utenfor. Det er for eksempel nærliggende å anta at ytterligere reduksjoner kan hentes fra kontinuerlig og gradvis forbedring i

skrogformer, samt ytterligere effektivisering av motorer og fremdriftslinje. Dette er generelle tiltak som ikke er inkludert i vår modell.

Det er også verdt å merke seg at scenariet som presenteres her innebærer at mye av utslippet reduseres gjennom elektrifisering av passasjerskipene. Dette er mulig ettersom vi ser på innenriks skipsfart, der mye av bidraget kommer fra skip i kystnær trafikk som derfor kan benytte elektriske løsninger. Dersom en ønsker å redusere utslippene knyttet til utenrikstrafikken eller gjennomgangstrafikken i norske farvann vil det være nødvendig å ta en større del av utslippsreduksjonen gjennom bruk av LNG eller biodrivstoff. Dette vil antagelig også være tilfelle for skipstrafikk i andre farvann, og internasjonal skipstrafikk generelt.

Vi har også regnet på resultatene for det realitetsorienterte scenariet for 2030. Baseline i 2030 blir 4,0 mt CO_2 mot 4,7 mt CO_2 i 2040. Målsettingen om utslippsreduksjon er 40 % reduksjon sammenlignet med i dag, slik tidligere beskrevet. I Tabell 7-6 oppsummerer vi utslippsreduksjonene som oppnås i det realitetsorienterte scenariet.

Tabell 7-6: Realitetsorientert scenario 2030.

CO_2 reduksjon fra baseline **Baseline 2030 er 4,0 Mt CO2.**			**CO_2 red. fra dagens nivå**
Fra drivstoff	Fra T&O tiltak	Samlet	
30 %	21 %	45 %	35 %

Vi ser at målet om 40 % reduksjon nesten oppnås med dette scenariet. Som for 2040 må vi altså spe på med noe flere tiltak for å nå målet. Utslippsreduksjonen øker i takt med at nye skip kommer til i flåten, og disse skipene har lavere utslipp enn de skipene som fases ut.

Det realitetsorienterte kombinasjonsscenariet innebærer biodrivstoff på tradisjonelle lasteskip og fiskefartøy, LNG på offshoresegmentet og elektrisk drift av fergeflåten, noe som synes å kunne gi store utslippskutt på en relativt kostnadseffektiv måte – gitt de riktige rammebetingelsene. Dette vil også kunne være teknisk gjennomførbart, forutsatt tilstrekkelig tilgang på de ulike drivstoffalternativene. Merk at scenariet ikke er et resultat av en formell optimaliseringsmetode, men et utvalg av det som etter DNV GLs beste skjønn kan være en aktuell sammensetning av parametere og tiltaksbruk. Andre kombinasjonsscenarier kan også være aktuelle. Konklusjonen er imidlertid fortsatt at vi vurderer det som mulig å nå målet til en moderat kostnad, men at dette krever omfattende grep for faktisk å ta i bruk eksisterende løsninger, samt utvikle nye løsninger.

8 SAMFUNNSØKONOMISKE BETRAKTNINGER

Vi har i det foregående kapittelet beskrevet et scenario som langt på vei oppfyller den nasjonale målsettingen om reduksjon av CO_2 fra innenriks skipsfart. I det følgende søker vi å besvare hva den samlede samfunnsøkonomiske implikasjonen for dette scenariet er.

Det foregående kapittelet beskriver også kostnadene knyttet til scenariet, i form av NOK per tonn CO_2 redusert. Dette er imidlertid kun inkludert kostnader som er internalisert hos rederen, dvs. investeringskostnad, samt drift og vedlikeholdskostnader. For å finne samfunnsøkonomisk lønnsomhet må alle effekter av tiltakene tas i betraktning – også eksterne effekter.

I det følgende vil de eksterne effektene kartlegges og prissettes så langt dette lar seg gjøre. Ikke-prissatte effekter vurderes opp mot de prissatte effektene, og en samlet samfunnsøkonomisk vurdering presenteres.

8.1 Oppnådd utslippsreduksjon

Som vi ser av resultatet i Kapittel 7.3.3 vil kostnadene av scenarioet variere betydelig med valgt scenario for drivstoffpriser. I det følgende tar vi utgangspunkt i et «middel»-scenario, men belyser effekten av endrede betingelser/priser.

Resultatet viser at kostnaden vil være 170 NOK per tonn redusert CO_2. Som mål på kostnadseffektivitet bruker vi NOK per tonn CO_2 redusert. Jo lavere denne verdien er, jo mer kostnadseffektivt er tiltaket. Tabell 8-1 viser de oppnådde reduksjonene i CO_2 utslipp, og de tilhørende årlige kostnadene frem mot 2040 (gjennomsnitt over alle årene). Merk at 170 NOK/tonn CO_2 er en verdi som er et omtrentlig «middels»-estimat for de fire prisscenarioene (ikke et rent gjennomsnitt).

Tabell 8-1: Oppnådd CO_2 reduksjon og assosiert kostnad i 2040 – uten ekstern kostnader.

Parameter	Tonn og NOK per år	Kostnadseffektivitet (NOK/tonn CO_2)
CO_2 (tonn per år)	2 650 000	170
Netto kostnad; Investering, samt drift og vedlikeholdskostnader (NOK per år)	450 500 000	

8.2 Eksterne effekter

Det er i hovedsak identifisert tre eksterne effekter av tiltakene, disse er:

1. Reduksjoner i luftforurensing: NO_x, SO_x, PM
2. Reduksjon i støy ved bruk av landstrøm, samt hybride og elektriske skip
3. Negativ effekt på grunnforhold ved at det må bygges ut nett til ladeinfrastruktur for skip

Reduksjoner i luftforurensing er kartlagt og verdsettingsfaktorer er brukt for å prissette disse. Det har ikke latt seg gjøre å kvantifisere omfanget av reduksjon i støy, heller ikke den negative effekten på grunnforhold som følge av utbygging.

8.2.1 Konsekvens for NOx, SOx, PM etc. (prissatte eksterne effekter)

Som beskrevet over settes det sammen et realistisk scenario basert på to graders-målet, kostnadseffektivitetshensyn og om scenariet er realistisk ut fra et teknisk perspektiv. Modellen som er benyttet til å modellere flåten og tiltakene fremover i tid gir resultater for totalt antall tonn CO_2 som blir redusert, totalkostnaden for tiltakene, samt kostnadseffektiviteten. Modellen gir også mengder for reduksjoner i NO_x, SO_x og PM. Disse verdsettes ved hjelp av verdsettingsfaktorer.

For å finne verdsettingsfaktorer benyttes det forskjellige metoder for å finne samfunnets betalingsvillighet. Eksempler på dette er:

- skadekostnadsmetoden - skadevirkninger identifiseres, kvantifiseres og prissettes
- tiltakskostnader – kostnader ved å redusere miljøpåvirkningen opp til et visst utslippsmål

I denne studien brukes tiltakskostnader for å vurdere investeringer og drift av tiltak. Vi ønsker å sammenligne disse kostnadene med skadekostnaden av utslipp for å gjøre vurderinger rundt om utgiftssiden er høyere eller lavere enn inntektssiden (sparte miljøkostnader). Derfor benyttes verdsettingsfaktorer som er basert på skadekostnader og ikke tiltakskostnader. Tabell 8-2 viser de anvendte verdsettingsfaktorene.

Det finnes flere verdsettingsfaktorer for NO_x, avhengig av hvor utslipp skjer. Utslipp i nærheten av boligområder er verdsatt høyere, dvs. har større skadekostnad, enn utslipp i andre områder. I DNV GLs tiltaks-modellen skilles det ikke på om utslipp skjer i bynære områder eller ikke, vi har derfor valgt å legge oss på et konservativt nivå ved å kun bruke den laveste verdsettingsfaktoren for NO_x, selv om det også vil forekomme utslippsreduksjoner i bynære områder. Et konservativt nivå tilsier at de sparte skadekostnadene er høyere enn vi legger til grunn, i så fall er tiltakene rimeligere enn først antatt.

Det er store sprik i forskjellige verdsettinger av SO_x, den beste kilden til en generell skadekostnad for SO_x er en rapport fra Statens forurensningstilsyn, utgitt i 2005. Vi har derfor valgt å bruke denne satsen, inflasjonsjustert til 2015 kroner.

For utslipp av partikler skilles det også mellom hvor disse utslippene skjer. Vi vet at 7 % av utslipp skjer i havn (DNV GL, 2015) og vi antar at dette er i områder med mer enn 15 000 innbyggere. Vi har ikke inkludert utslipp knyttet til inn- og utseiling fra havn, som en kan anta skjer i bynære eller befolkningstette strøk. Vi anser derfor dette anslaget som et konservativt estimat. Et konservativt nivå tilsier at de sparte skadekostnadene er høyere enn vi legger til grunn, i så fall er tiltakene rimeligere enn først antatt.

Tabell 8-2: Verdsettingsfaktorer for NO_x, SO_x og PM (inflasjonsjustert med konsumprisindeksen).

	Skadekostnad (NOK per kg utslipp)	Kilde
NO_x	54 (skadekostnader, andre områder)	SWECO (2010)
SO_x	18,5	Statens Forurensningstilsyn (2005)
PM	478 for tettsteder med mer enn 15 000 innbyggere 0 for resten	SWECO (2010)

Resultatene for de prissatte effektene er vist i Tabell 8-3. Vi ser at når vi verdsetter utslippene som er kartlagt i studien finner vi at dette gir opphav til betydelige beløp, spesielt for NO_x-utslipp. En viktig forutsetning for dette resultatet er at det er lagt til grunn en antagelse om en innfasing av skip som tilfredsstiller tier III[12], slik at halvparten av skipene (i gjennomsnitt frem mot 2040) til fredstiller NOx Tier III kravet. Den andre halvparten av skipene tilfredsstiller NOx Tier II kravet.

Tabell 8-3: Oversikt over prissatte eksterne effekter.

Utslippsparameter	Redusert antall (kg per år)	Verdi (MNOK per år)
NO_x	39 600 000	1 347
SO_x	4 400 000	81
PM	1 300 000, hvorav 91 000 er i tettsteder	43
Total prissatt verdi av reduserte utslipp		**1 472**

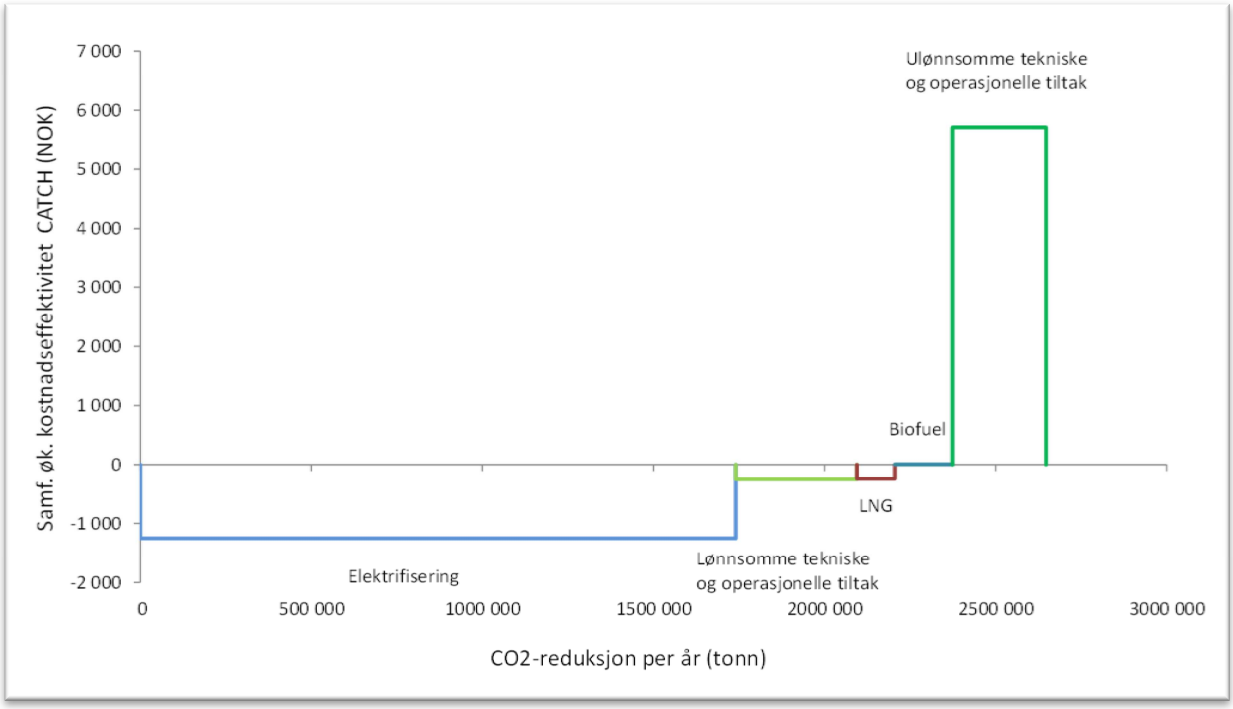
Verdien av de eksterne effektene legges til de bedriftsøkonomiske kostnadene. Siden de prissatte eksterne effektene er reduksjoner i skadekostnader trekkes verdiene fra det bedriftsøkonomiske resultatet. Tabell 8-4 viser den samlede samfunnsøkonomiske kostnadseffektiviteten til det realitetsorienterte scenariet. Når de prissatte effektene tas med i analysen ser vi at de eksterne effektene har stor innvirkning på resultatet. Når de eksterne prissatte effektene tas høyde for blir tiltakene, samfunnsøkonomisk sett, lønnsomme[13]. Kostnaden per tonn CO_2 kunne vært nesten 400 NOK høyere (570 NOK per tonn CO_2) og prosjektet ville likevel tilfredsstille kravet om samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Totalt sett, alle tiltak sett under ett, er tiltakene lønnsomme.

[12] Det er ikke et globalt krav til Tier III i dag.
[13] Tiltak som har en samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet som er lavere eller lik null defineres som samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Tabell 8-4: Samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet.

Parameter	Tonn og NOK per år	NOK/tonn CO_2
CO_2 (tonn per år)	2 650 000	170
Netto kostnader (NOK per år)	450 500 000	
Netto kostnader inkludert prissatte eksterne effekter (NOK per år)	-1 021 300 000	-385

Når vi ser nærmere på samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet for hver teknologigruppe (elektrifisering, LNG, biofuel, tekniske og operasjonelle tiltak) ser vi at mange av tiltakene er lønnsomme hver for seg. Det er også en liten andel CO_2-reduksjoner hvor man er nødt til å benytte svært dyre tiltak for å oppnå det totale antall reduksjoner som må til for å nå togradersmålet. Dette er illustrert i Figur 8-1. Hvis alle samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltak gjennomføres, oppnås omtrent 80 % av CO_2-reduksjonene. Dersom biofuel også tas med, som har en samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet svært nærme null, oppnås 90 % av CO_2-reduksjonene. I det realitetsorienterte scenariet ville dette tilsvare en gjennomsnittlig samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet på -970 NOK per tonn CO_2.



Figur 8-1: Marginalkostnadskurve med samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet per hovedgruppe av tiltak.

90 % av reduksjonene tilsvarer omtrent 2,4 millioner tonn CO_2. Til sammenligning fant Miljødirektoratet i Klimakur 2020 at det innen 2020 vil være 3 millioner tonn CO_2 som er lønnsomme å redusere. Klimakur 2020 dekker hele Norges utslipp av CO_2, blant annet fra transport, industri, petroleum og jordbruk, men

finner altså relativt sett et langt mindre kostnadseffektivt[14] potensial for CO_2-reduksjoner. Selv om det er lagt noe forskjellige antagelser til grunn i Klimakur 2020 og i denne analysen, indikerer vår analyse at det kan være et stort potensiale for lønnsomme kutt i CO_2 innen skipsfarten sammenlignet med andre sektorer.

8.2.2 Ikke-prissatte effekter

8.2.2.1 Støy

Kostnaden fra plager relatert til støy inkluderes i den samfunnsøkonomiske kostnaden. Dette er imidlertid mer vanlig for andre sektorer, eksempelvis veitrafikk, og det er gjort lite for å undersøke samlet støybelastning fra skipsfarten i Norge. I hovedsak kan denne effekten antas å være tilknyttet tiden skipene ligger til havn. Det vil da være støy fra bl.a. motorer og vifter, samt fra håndtering av last. Det vil også være støy knyttet til inn og utseiling fra havn. Denne støyen vil bli redusert ved elektrifisering av flåten, samt ved bruk av landstrøm. Det finnes lite kunnskap om hvilke områder og hvor mye støy som kommer fra skip. Derfor har det ikke latt seg gjøre å tallfeste dette.

8.2.2.2 Klima- og miljøeffekter av utbygging av infrastruktur

Ved elektrifisering av flåten vil dette medføre utbygging av kraftnettet. Dette kan i mange tilfeller innebære inngrep i naturen der utbygging foregår. Som eksempel nevnes at nye transformatorstasjoner i noen tilfeller bruker isolasjonsgassen SF6. SF6 er omtrent 23 000 ganger mer miljøskadelig enn CO_2. En nærmere analyse av slike effekter vil kreve en detaljert studie av omtrent 100 ferjesamband, samt et stort antall havner, noe det ikke er rom for i denne studien. Også andre tiltak, slik som LNG, innebærer en utbygging av infrastruktur på land.

8.2.2.3 Næringseffekter

En omlegging til mer miljøvennlig drivstoff i skipsfarten vil kunne medføre betydelige næringseffekter i form av økt omsetning for norske verft og utstyrsleverandører. DNV GL (2015) presenterte en beregning av disse effektene i et omleggingsscenario med alternative drivstoff. Med ytterligere tiltak i form av tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon vil investeringene ventelig øke, og ringvirkningene for norske verft og utstyrsleverandører vil øke. Denne tilleggseffekten er ikke tallfestet. Vi tar derfor utgangspunkt i tallene for næringseffekter presentert av DNV GL (2015), men betrakter disse som et konservativt estimat. Effekten ble beregnet til en økning i årlig omsetning på omkring 1 % (varierte avhengig av scenario). I dag omsetter maritime utstyrsleverandører og verft for 95,6 mrd NOK årlig. Næringseffektene av en nasjonal omlegging vil antageligvis være fallende over tid, men de største næringseffektene vil være tilknyttet økt konkurranseevne i det globale markedet. Denne effekten er ikke prissatt.

En omlegging til mer miljøvennlig drivstoff i skipsfartsnæringen vil altså kunne medføre betydelige næringseffekter i form av økt omsetning for norske verft og utstyrsleverandører. Omsetningsveksten kan imidlertid ikke i seg selv vurderes som en samfunnsøkonomisk gevinst fordi det også vil medføre økt bruk av ressurser som kunne vært benyttet andre steder i økonomien (DNV GL 2015).

[14] Lønnsomt, samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet lavere eller lik null.

8.3 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitet/robusthet av det samfunnsøkonomiske resultatet undersøkes langs to akser; nivået på NOx-baseline (Tier II eller Tier III), og effekten av valgt drivstoffpris. Dette diskuteres i Kapittel 8.3.1 og Kapittel 8.3.2.

8.3.1 NOx-reguleringer

I dag er det et globalt krav at alle skip kjøllagt fra og med 01.01.2011 skal tilfredsstille Tier II for NO_x utslipp. For ECA-områdene i USA og Karibien er kravene enda strengere og her skal alle skip kjøllagt fra og med 01.01.2016 tilfredsstille Tier III. Dette tilsvarer en reduksjon av NOx på omtrent 76 % sammenlignet med Tier II. Det var fremmet forslag i IMO om at det skulle innføres et krav om Tier III fra 01.01.2016 som vil omfatte deler av Norge, men landene ble ikke enige om dette. Det nye forslaget er et krav om Tier III for skip kjøllagt fra og med 01.01.2021. Dette er ikke bestemt og er derfor ikke en del av nullalternativet i denne analysen. Kravene er ikke retroaktive, det vil si at skip kjøllagt før 01.01.2011 og 01.01.2016 ikke er påvirket av disse NOx-kravene.

Dersom det i nullalternativet legges til grunn at alle skip fra og med 2016 tom 2040 tilfredsstiller Tier III blir lønnsomheten redusert. Grunnen til dette er at nullalternativet flytter seg – dermed er det ikke mulig å redusere like mye NO_x som hvis kun Tier II legges til grunn. Forutsetningen om at alle skip skal tilfredsstille Tier III fra og med 2016 er særdeles strengt og lite realistisk. Tabellen under viser utfall avhengig av forskjellige forutsetninger for NOx-reguleringer. Med en streng antagelse om at alle skip har Tier III fra og med 2016 vil tiltakene likevel være samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Tabell 8-5: Samfunnsøkonomiske kostnader og kostnadseffektivitet effekter for varierende implementering av Tier III teknologi for NOx reduksjon i baseline.

	Samfunnsøkonomisk kostnad (NOK per år)	Samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet (NOK/tonn CO_2)
Alle skip Tier II	-1 830 000 000	-684
50/50 Tier II/Tier III	-1 040 000 000	-385
Alle skip Tier III	-250 000 000	-87

8.3.2 Drivstoffpriser

I modellen brukes fire forskjellige drivstoffscenarier. Disse er nærmere beskrevet i Kapittel 6. Prisscenario S2 er benyttet for å vise hvordan analysen påvirkes av prisscenariet som er minst gunstig for miljøteknologi (*worst case;* billig olje, dyre alternativer). Prisscenario S3 er benyttet for å vise hvordan analysen påvirkes av prisscenariet som er mest gunstig for miljøteknologi (*best case;* dyr olje, billige alternativer). I tabellen under vises resultatene av sensitivitetsanalysen. Selv i prisscenariet som er minst gunstig for miljøteknologi er resultatet at tiltakene vil være samfunnsøkonomisk lønnsomme. Dette resultatet er dermed robust, gitt de antagelsene som er gjort i prisscenariene.

Samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet for drivstoffpris-scenarier. Basert på 50/50 Tier II og Tier III.

	Kostnadseffektivitet – kun interne kostnader (NOK/tonn CO_2)	Samfunnsøkonomisk kostnad (NOK per år)	Samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet (NOK/tonn CO_2)
Prisscenario S3	-200	-1 990 000 000	-755
Middelverdi for alle scenarier	170	-1 040 000 000	-385
Prisscenario S2	400	-450 000 000	-155

9 ANDRE KLIMAGASSER

9.1 Andre gasser fra forbrenning av drivstoff

Skipsfarten er kilde til utslipp av en rekke gasser og partikler i tillegg til CO_2 (se f.eks. Eyring et al. 2010 for en nærmere beskrivelse). Flere av disse påvirker klimaet i varierende grad, og omtales ofte samlet som kortlivede klimadrivere. Denne betegnelsen skyldes at gassene som slippes ut i atmosfæren påvirker energibalansen (og dermed temperaturen) over en relativt kort periode før de vaskes ut av atmosfæren eller omdannes til andre former. Skalaen for påvirkning varierer fra dager og uker til noen få (ca. 15) år. Dette til forskjell fra CO_2 som påvirker energibalansen i omkring 100 år når det først er sluppet ut i atmosfæren. Mekanismene for klimapåvirkning er kompliserte og ikke ensartede, i den forstand at utslippskomponentene på ulike måter, alene og i interaksjon med andre gasser, har noe å si for hvordan stråling og varmeenergi reflekteres og absorberes i atmosfæren. De kortlivede klimadriverne kan ha både avkjølende og oppvarmende effekter, alt ettersom hvilke avgasser og atmosfæriske mekanismer det er snakk om.

Når vi snakker om menneskeskapte klimaendringer, er effekten fra CO_2 som global klimagass knyttet til tilførsel av CO_2 fra ikke-fornybare kilder. Dette er annerledes for kortlivede klimadrivere, der også prosesser med fornybare kilder, som f.eks. forbrenning, kan danne produkter som gir en potent klimaeffekt i et kortere tidsperspektiv.

Selv om CO_2 er dominerende for skipsfartens klimapåvirkning over tid (Eyring et al. 2010), er også utslipp av kortlivede klimadrivere som SOx, sot/black carbon (BC) og NOx[15] ansett som viktige i et klimaperspektiv. SO_x og NO_x regnes å ha den største påvirkningen totalt sett etter CO2, mens BC er viet oppmerksomhet spesielt i arktiske strøk. Også eventuelle utslipp av metan fra gassmotorer vil bidra. Metan er for øvrig en svært potent kortlivet klimagass. Svært forenklet kan en si at SO_x og NO_x fra skip stort sett har en kortsiktig avkjølende effekt i atmosfæren. BC og metan virker oppvarmende.

Tiltak for å redusere kortlivede klimagasser kan deles i tre kategoriser;

- Drivstoffreduserende tiltak som f.eks. de tekniske og operasjonelle tiltakene diskutert i denne rapporten
- Alternative drivstoff
- Spesifikke rense- eller reduksjonstiltak mot en gitt komponent

Drivstoffreduserende tiltak implementeres i hovedsak for å redusere kostnader eller redusere CO_2 utslipp. Tiltakene reduserer imidlertid også alle andre forbrenningsavgasser, ettersom drivstofforbruket reduseres. Eide et al. (2013) så på indirekte virkninger av drivstoffreduserende tiltak, og fant at den tilhørende reduksjonen av SO_x og NO_x var proporsjonal med reduksjonen i drivstofforbruk. Ettersom disse utslippene i utgangspunktet kjøler klimaet, motvirker dette i betydelig grad effekten av CO_2 reduksjonen, i hvert fall på kort sikt. Effekten er mindre når kravene til NO_x og SO_x er strengere.

Effekten av alternative drivstoff vil i større grad variere. Bruk av visse drivstoff gir økning i noen gasser og partikler, mens andre gir en reduksjon. For eksempel vil naturgass eliminere utslipp av partikler, sot og SOx, samt redusere NO_x effektivt, men potensielt øke utslipp av metan. Biodiesel vil eliminere utslipp av SOx, men kan ha utslipp av både sot/BC og NOx. Dette er diskutert i større detalj i DNV GL (2015).

Spesifikke rense-/reduksjonstiltak mot gitte kortlivede klimadrivere, slik som SO_x og sot/BC, dreier seg for eksempel om bruk av eksosrenseteknologi og filtre. Corbett et al. (2010) har sett eksplisitt på tiltak

[15] NO_x er ikke i seg selv klimadrivende, men påvirker konsentrasjonene av klimagassene ozon (O3) og metan (CH4).

for reduksjon av BC fra Arktisk skipsfart. Det er imidlertid vanskelig å trekke slutninger fra dette arbeidet som er relevant for skipsfarten i Norske farvann, ettersom klimapåvirkningen fra kortlivede klimadrivere er sterkt avhengig av hvor utslippet skjer (Ødemark et al. 2012).

En spesifikk studie av tiltak for kortlivede klimadrivere faller utenfor rammene av denne studien.

9.2 Utslipp av VOC fra frakt av petroleumslast

I tillegg til utslipp av CO_2 og andre avgasser og partikler fra forbrenningsmotorer på skip, er det et betydelig utslipp av flyktige organiske forbindelser (VOC) som avdamper fra lasteoperasjon og frakt av råolje og petroleumsprodukter på skip. DNV (2013) har gjennomgått utslippene av VOC, og finner at utslippene skjer i alle faser av håndteringen av olje. For skipsfartens del er størstedelen av utslippet knyttet til ombordlasting av olje (anslagsvis 70 %), fulgt av utslipp under seiling (27 %) og når oljen losses (3 %). Merk at disse anslagene må anses som usikre, og at de gjelder uten tiltak for reduksjon.

På norsk sokkel er kun utslippet under lasting offshore regulert. Ifølge Miljødirektoratet (2013) er utslippene fra avdamping fra skipslaster under frakt ikke med i det nasjonale utslippsregnskapet, og det foreligger derfor ikke offisielle utslippstall. Miljødirektoratet anslår med hjelp av enkle beregninger at utslippet ser ut til å være i størrelsesorden 4 000 tonn nmVOC[16] per år. Hvis man videre legger til grunn at metanutslippene utgjør i størrelsesorden 10 prosent av nmVOC-utslippene, vil disse utgjøre ca. 400 tonn per år. For skip som går til terminaler i utlandet, vil en del av utslippene skje utenfor norsk farvann.

En rekke teknologier er tilgjengelig for å redusere VOC utslippene (DNV, 2013). I hovedsak fokuserer tiltakene på å redusere utslippet under lasting av olje ettersom disse utslippene er regulert, der det i hovedsak dreier seg om oppsamling av VOC og tilbakeføring til last, men også metoder for å unngå at VOC dannes. I hvilken grad dagens regelverk og tilnærming for håndtering av VOC-utslipp fra lasteoperasjoner for olje i Norge kan medføre en forskyvning av VOC-utslippene til andre deler av verdikjeden, er omdiskutert.

Selv om utslipp av VOC under transport av oljelaster typisk anses som liten sammenliknet med utslippene som skjer under ombordlasting offshore, kan dette representere et betydelig utslipp som i dag ikke er regulert. Det er imidlertid teknologi tilgjengelig og under utvikling som muliggjør oppsamling av VOC og bruk av denne som drivstoff i fremdriftsmaskineri. Denne teknologien har potensialet til å eliminere VOC utslippet under frakt for LNG-drevne tankskip, og samtidig redusere forbruket av bunkret drivstoff (LNG) med over 40 %.

[16] nmVOC – non methane VOC

10 VURDERINGER KNYTTET TIL UTFALLET AV COP 21

10.1 Generelt

COP 21 / CMP 11 i Paris avsluttet 12. desember 2015 med enighet om en internasjonal klimaavtale. Avtalen er strukturert som et juridisk bindende instrument, men bygger på et fundament av frivillige nasjonale forpliktelser til utslippsreduksjoner. Disse forpliktelsene er strukturert gjennom såkalte INDC'er (Intended Nationally Determined Contributions). Paris-avtalen forplikter partene til å arbeide for å holde global gjennomsnittlig oppvarming godt under 2 °C, med en ambisjon om å begrense denne til 1,5 °C. Avtalens ambisjoner til tross, det er en vitenskapelig konsensus at summen av nåværende INDC'er ikke er tilstrekkelig til å nå disse målene. Avtalen inneholder derfor også mekanismer som etablerer en 5-årlig revisjonssyklus av INDC'er, hvor det forventes et økende ambisjonsnivå. Avtalen har ikke definert sanksjoner i tilfelle brudd på forpliktelsene, men legger til rette for etablering av en mekanisme for overvåking og rapportering.

Kun et fåtall nasjoner har inkludert nasjonal skipsfart i sine INDC'er; disse inkluderer bl.a. Marshall Islands og Norge. Marshall Islands er det eneste landet som har etablert konkrete mål, dog for transportsektoren som helhet og ikke eksplisitt for skipsfarten.

I den fremforhandlede avtalen er hverken internasjonal transport eller skipsfart inkludert.

10.2 Internasjonal skipsfart

Internasjonal skipsfart, sammen med internasjonal luftfart, har vært holdt utenfor de konkrete nasjonale utslippsreduksjonsforpliktelser som ligger i Kyotoavtalen. Dette skyldtes i all hovedsak at det var og er særdeles krevende å etablere enighet rundt mekanismer for allokering av utslipp fra skip og fly til nasjonale utslippsbudsjetter og forpliktelser, spesielt sett i lys av prinsippene denne avtalen etablerte for felles, men differensierte forpliktelser mellom i-land og u-land (CBDR, «Common, But Differentiated Responsibilities»). Kyotoavtalen gjorde det dog samtidig klart at IMO (FNs maritime organ) har en forpliktelse til å arbeide for utslippsreduksjoner fra internasjonal skipsfart. Denne situasjonen har forblitt uendret i de etterfølgende rundene i klimaforhandlingene.

Parisavtalen, ved å nevne hverken internasjonal transport eller skipsfart, er således rent prinsipielt en opprettholdelse av status quo i en COP/CMP sammenheng, frem til Kyotoavtalen utløper. Ansvaret for det internasjonale arbeidet med utslippsreduksjoner fra skip ligger således fortsatt hos IMO. At Parisavtalen allikevel kan ha stor betydning for arbeidet med skipsfartens CO2 utslipp skyldes endringene i den underliggende politiske dynamikken denne avtalen representerer.

10.3 Status for IMO-arbeidet

I IMO har arbeidet med reduksjon av skipsfartens CO2-utslipp vært krevende. Kyotoavtalens Annex I land (i praksis de fleste industrialiserte land per 1997) har hatt som prinsipielt utgangspunkt at enhver avtale eller regulering må være forankret i IMO's prinsipp om likebehandling av flaggstater. Ikke-Annex I land (u-land per 1997) har på sin side hatt som primærstandpunkt at alle former for CO2 forhandlinger må foregå i regi av UNFCCC, og har subsidiært også krevd at Kyotoavtalens prinsipp om felles, men differensierte forpliktelser (CBDR), må gjøres gjeldende i IMO. Det har vist seg så krevende å fremforhandle en løsning som forener disse synspunktene at arbeidet med å etablere en handels- eller avgiftsmekanisme (MBM, «Market Based Mechanism») er blitt lagt til side og erstattet av utvikling av

mer tekniske reguleringer. Disse ble vedtatt i 2011 og inneholder krav til energieffektivitet for nye skip (EEDI, «Energy Efficiency Design Index») og krav til skip i operasjon (SEEMP, «Ship Energy Efficiency Management Plan»).

I de etterfølgende år har det videre vært foreslått forskjellige mekanismer for reduksjon av CO2 utslipp , se f.eks. DNV GL (2016). Arbeidet har ledet frem til konkrete forslag om å inkludere overvåking og rapportering av drivstofforbruk og energieffektivitet i MARPOL, som et første skritt i retning av mer robuste reduksjonsmekanismer.

I denne sammenheng er det av sentral betydning at CBDR har blitt ilagt gradvis mindre vekt under de siste forhandlingsmøter i IMO. Flere sentrale ikke-Annex I land, som eksempelvis Kina og Marshall Islands, er i økende grad konstruktive i sin tilnærming til forhandlingene og ser ut til å søke gode løsninger. Parisavtalen er forventet å ytterligere forsterke denne prosessen.

10.4 Implikasjoner av Parisavtalen

En nøkkelobservasjon rundt Parisavtalens fravær av tekst for skipsfart er at dette på ingen måte må tolkes dithen at fokuset på skipsfartens utslipp er redusert. Situasjonene er snarere at man ved å etablere en konkret avtale i Paris har svekket de politiske barrierer som har stått i veien for en enighet i IMO. Ved å bli enige i Paris forventes det at utviklingslandene generelt vil ha mindre interesse av å vektlegge CBDR som en formell forutsetning under forhandlinger i IMO, også fordi dette ikke lenger medfører en risiko for egne posisjoner under klimaforhandlingene.

Videre bør det fremheves at Parisavtalen vektlegger robust og transparent rapportering av nasjonale utslipp. Selv om detaljene er gjenstand for fremtidige forhandlinger er det grunn til å anta at dette vil redusere de politiske motsetningene og fremskynde det pågående IMO-arbeidet med mekanismer for overvåking og rapportering av drivstofforbruk og energieffektivitet.

De overnevnte momenter til tross; det er nødvendig å understreke at Parisavtalen fortsatt inneholder differensiering som et sentralt prinsipp. I den grad IMO på et senere tidspunkt gjenopptar arbeidet med etablering av en markedsbasert mekanisme (MBM) vil det derfor være rimelig å anta at det vil oppstå behov for å inkludere en mekanisme som kan ivareta u-landenes interesse på dette punktet.

I forhold til finansiering av Klimafondet (GCF, «Green Climate Fund») er det verdt å merke seg at avtalen inneholder en forpliktelse fra utviklede land til å bidra med 100 milliarder USD p.a. innledningsvis, økende fra 2025. Det har under tidligere forhandlingsrunder vært pekt på skipsfart og luftfart som kilder til delvis finansiering av fondet. Parisavtalen inneholder ikke tekst som direkte reflekterer dette, men har en generell referanse til finansieringskilder utover de nasjonale forpliktelser. Det er ikke urealistisk å anta at dette vil bli gjenstand for diskusjoner under klimaforhandlinger også i fremtiden, spesielt dersom IMO etablerer en markedsbasert mekanisme.

I forhold til klimaavtalens ambisjoner er det viktig å fremheve at det ligger forventninger til alle land om snarest mulig å nå sine maksimale utslippsnivå, for deretter å redusere mest mulig. Dette vil være krevende for å nå 2-gradersmålet, og ekstremt krevende om 1,5 grader skal overholdes. En reell implikasjon er at alle industrisektorer vil forventes å gjennomføre store utslippskutt, inklusiv skipsfarten. Det kan derfor med stor grad av sannsynlighet forventes at medlemsland i IMO vil ta initiativ til etableringen av konkrete utslippsmål for skipsfarten. Det er allerede kommet forslag fra Tyskland til MEPC69 på hvordan en slik prosess skal gjennomføres, dog uten konkrete forslag til utslippsmål.

Det bør i denne sammenheng påpekes at absolutte utslippsreduksjoner for skipsfarten vil være særdeles krevende, da prognoser basert på forventet vekst i internasjonal handel (ref; «Third IMO GHG Study»)

viser at kjent teknologi i beste fall vil kunne bidra til en stabilisering på nåværende utslippsnivå. Det kan derfor forventes at kjøp av utslippskvoter fra andre sektorer («carbon offsets») vil bli en del av diskusjonen, og at etablering av konkrete utslippsmål derved vil kobles tett til diskusjonen rundt markedsbaserte mekanismer.

Avslutningsvis bør det fremheves at Parisavtalen, til tross for sine svakheter og uavklarte områder, representerer et fundamentalt politisk gjennombrudd i internasjonal klimapolitikk. Manglende tekst om skipsfarten til tross, Parisavtalen vil ha politiske ringvirkninger også i IMO. Det er rimelig å anta at man vil se dette gjenspeilet i resultatene fra IMO-møtene allerede i 2016 i form av hurtigere fremdrift på det eksisterende regelarbeidet, så vel som gjennom nye klimapolitiske initiativ for skipsfarten.

10.5 Anbefalinger

Anbefalingene er strukturert i to elementer; internasjonalt arbeid og nasjonale virkemidler.

I forhold til nasjonale virkemidler har Norge, gjennom sin publiserte INDC, forpliktet seg til reduksjoner i innenlands transportsektor, herunder innenriks skipsfart. En rekke tiltak er allerede etablert i Norge for å redusere sektorens CO2-utslipp. Allikevel, for å nå de ambisiøse utslippsreduksjoner Parisavtalen representerer vil det være nødvendig å gå utover disse tiltakene, slik som diskutert andre steder i denne rapporten.

Omfanget av virkemidler vil selvfølgelig avhenge av nasjonale reduksjonsambisjoner og utslippsbaner, men i forhold til myndighetenes mulighet til å etablere initielle tiltak fremstår spesielt muligheten til å inkludere strengere miljøkrav i konsesjonsbetingelser til ferjesamband som interessant. Hordaland fylkeskommune alene vil utlyse et betydelig antall samband i nær fremtid som vil kunne utløse et behov for i underkant av tjue nye ferjer fra 2017 og fremover. Strenge miljøkrav i konsesjonsbetingelsene til disse ferjene vil kunne føre til et større innslag av lav- eller nullutslippsteknologi. Det bør påpekes at dette også vil kunne ha en gunstig effekt på både teknologiutvikling og sysselsetting i deler av norsk verfts- og leverandørindustri som er hardt rammet av nåværende lave aktivitetsnivå.

Et annet potensielt innenriks satsingsområde vil være å vurdere egnede tiltak for innfasing av lav- eller nullutslippsteknologi i relevante deler av nærskipsfartflåten. Dette vil åpenbart være mer krevende, da denne trafikken i motsetning til ferjesamband ikke er underlagt konsesjonsbetingelser. Det kan her være på sin plass å vurdere insentiver i form av finansieringsmekanismer som vil fremskynde flåtefornyelse, og som kan bidra til å flytte godstransport fra land til sjø. I denne sammenhengen kan det være av interesse å vurdere næringens erfaringer med NOx-fondet, og om denne kan gi basis for en lignende mekanisme for CO2 reduksjoner.

Anbefalingene over til tross, dette er virkemidler som alene ikke vil være tilstrekkelige til å nå sektorens sannsynlige utslippsreduksjonsmål. Virkemidlene må derfor vurderes i sammenheng med resultatene beskrevet i Kapittel 7 når den totale tiltakspakken analyseres.

I forhold til internasjonale tiltak er det verdt å erindre at skipsfartens CO2-utslipp allerede før Parisavtalen var gjenstand for stor oppmerksomhet i IMO. Avtalen vil føre til at aktivitetsnivået blir ytterligere høynet på de neste møtene i MEPC, og at det er reelle forventninger om et styrket regelverk. Som beskrevet over kan det og forventes ytterligere klimapolitiske initiativ, spesielt rundt hva som vil være et passende ambisjonsnivå for utslippsreduksjoner. Norge bør fortsette å spille en ledende rolle på begge disse områdene.

På regelverksiden har Norge vært blant pådriverne for å etablere en mekanisme for overvåking og rapportering av drivstofforbruk/CO2-utslipp og energieffektivitet. Arbeidet er godt i rute, og det

anbefales at man som et kortsiktig tiltak fortsetter linjen Norge så langt har hatt i forhandlingene. Et kortsiktig hovedmål bør være å etablere en enighet om nødvendige regeltillegg til MARPOL Annex VI i løpet av 2016, slik at overvåking og rapportering av drivstofforbruk og energieffektivitet kan starte senest i 2018.

I relasjon til klimapolitiske mål og det langsiktige arbeidet i IMO ville det være i tråd med Norges tradisjonelle rolle å foreslå konkrete ambisjoner for skipsfartens langsiktige utslippsprofil. Dette vil nødvendigvis være tett knyttet opp mot en diskusjon av tiltak, som eksempelvis markedsbaserte mekanismer, og forslag vil derfor kunne oppfattes som kontroversielle og politisk krevende. Allikevel, den politiske dynamikken skapt av Parisavtalen gir et mulighetenes vindu for å etablere egnede tiltak i regi av IMO. For å etablere mål og tiltak hurtigst mulig bør det også vurderes om det er mulig å etablere felles innspill sammen med nøkkelaktører blant utviklingslandene, som eksempelvis Kina og Brasil. Pragmatisk samarbeid over de tradisjonelle blokkgrensene har tidligere vist seg å ha betydelig politisk kraft i IMO, og kan også i de kommende diskusjonene være et effektivt middel for å oppnå gode resultater.

11 DISKUSJON

11.1 Usikkerhet

Usikkerheten forbundet med en mulighetsstudie av den typen som er gjennomført her er nødvendigvis betydelig. Dels fordi tidsperspektivet er svært langt, men også fordi problemstillingen som belyses er av en slik kompleksitet at en lang rekke faktorer, som alle har usikkerhet knyttet til seg, sammen leder til resultatene som eventuelt viser at målene om utslippsreduksjon kan nås.

De viktigste usikkerhetsmomentene knyttet til de forhold som er håndtert i modellen er;

- Drivstoffpriser
- Effekter på utslipp, kostnader og kostnadsutvikling fra modellerte teknologier/løsninger
- Usikkerhet i framskrivninger av utslipp
- Endringer i seilingsmønsteret/sammensetning av flåten
- Tiltak som ikke er håndtert

Usikkerheten i drivstoffprisene er svært stor, men er til gjengjeld håndtert gjennom en scenariotilnærming. Tilnærmingen synliggjør om ikke annet denne usikkerheten betydelig. Når det gjelder usikkerhet knyttet til kostnader og effekter av tiltak er ikke dette håndtert. Tidligere studier (Eide et al. 2011; 2013) indikerer imidlertid at denne usikkerheten har mindre å si for utfallet (enn f.eks. drivstoffpriser). Videre er det betydelig usikkerhet i baseline-estimatet for utslippet. For verdensflåten er det gjennomført scenariostudier for utslippsveksten som gir stor spredning i fremtidige utslipp. Lignende studier er ikke gjennomført for norske innenriks utslipp, men det er grunn til å tro at usikkerheten her også er betydelig. Dette henger også sammen med mulige endringer i seilingsmønsteret og sammensetningen av flåten som er antatt uendret. Til sist er det en del tiltak som kunne vært modellert, men som ikke er inkludert i modellen. Dette er videre diskutert i kapittel 11.2.

Samlet sett er det altså en god del usikkerhet i mange ledd. Det er imidlertid viktig å bemerke at vi ikke vurderer utsikkerheten i de overordnede konklusjonene for å være spesielt stor, ettersom vi mener konklusjonene står seg rimelig godt også under endrede forutsetninger, samt at vi har vært konservative i våre antagelser. Resultatene forteller oss noe om retningen vi bør innordne oss etter – gitt den informasjonen vi i dag sitter på. På denne måten kan en innrette virkemidlene best mulig. Alternativet er å håpe på, eller spekulere i at verden endrer seg – det kan jo f.eks. hende at teknologiutviklingen leder til nye løsninger som løser problemet, eller at veksten i trafikk og utslipp går ned grunnet markedssituasjonen. Det er imidlertid ikke tilrådelig å basere seg på et slikt scenario for de beslutningene som man må ta i dag.

11.2 Mulig videre arbeid – nye tiltak

Listen over tiltak som er inkludert i denne studien er ikke uttømmende. Det er med andre ord tiltak, både på drivstoffsiden og tekniske/operasjonelle tilpasninger som enten er, eller kan tenkes å bli tilgjengelige for skipsfarten de neste årene. Det er imidlertid vår vurdering at de tiltakene som er inkludert gir et godt grunnlag for å besvare de overordnede spørsmålene som denne rapporten adresserer.

I det følgende gis en kort beskrivelse av noen tiltak som det kan være aktuelt å inkludere i en oppfølging av denne rapporten.

11.2.1 Hydrogen som drivstoff i skipsfarten

Hydrogen (H2) er en ren energibærer som muliggjør reelle nullutslippsløsninger (for alle utslippskomponenter) om bord. Hydrogen kan produseres fra en rekke forskjellige energikilder. Ved produksjon av hydrogen fra fornybar energi (f.eks. sol, vind eller vannkraft), kan nullutslipp for hele energikjeden fra produksjon til sluttbruk oppnås. Hydrogen er velegnet for lagring og transport av fornybar energi. I landbasert transport lagres hydrogen vanligvis som komprimert gass. Hydrogen kan også transporteres som nedkjølt væske i tankbiler, og lagres i metallstrukturer (metallhydrid).

Både for skip og i biler/landtransport er det mest aktuelt å bruke hydrogen i brenselceller som omformer energien til elektrisitet. Det eneste utslippet er da vann. Forbrenningsmotorer kan også anvendes for forbrenning av hydrogen, men gir lavere virkningsgrad samt utslipp av forbrenningsprodukter (f.eks. NOx). Forbrenning av hydrogen genererer høye temperaturer og gir dermed også utfordringer relatert til materialvalg.

Hydrogen og batterier er komplementære energibærere. Direkte bruk av batterier vil typisk være mer energieffektivt enn hydrogen, siden hydrogenproduksjon innebærer flere taps-ledd, men dette bør vurderes i sammenheng med produksjonsleddet. Hydrogen har fordeler sammenliknet med batterier med tanke på rekkevidde, vekt, egnethet for langtidslagring og lading/påfyllings-hastighet. Dette gjør hydrogen interessant, blant annet for laging av fornybar energi med varierende tilgjengelighet (typisk sol og vindkraft).

I dag brukes hydrogen i kjøretøy (biler og lastebiler). Store aktører investerer tungt i teknologi og infrastruktur, som ventes å gi hydrogenkjøretøy en langt mer fremtredende posisjon i transportsektoren om noen år. Med unntak av et fåtall demonstrasjonsprosjekter er ikke hydrogen anvendt i maritime applikasjoner i dag. Teknologien mangler tilstrekkelig kvalifisering og uttesting for maritime forhold og applikasjoner. Utfordringer inkluderer vurdering av sikkerhet knyttet til lagring ombord, kostnader, oppskalering, behov for infrastruktur på land, samt mangler ved/usikkerhet rundt eksisterende regelverk. Det foregår relevant regelverksutvikling internasjonalt, blant annet i FNs Sjøfartsorganisasjon (IMO), og dette har bidratt til å redusere de formelle barrierene relatert til regelverk og godkjenning. Siste utgave av IGF-koden Part A dekker hydrogen (ikke trådt i kraft). DNV GL har også utviklet et klasseregelverk for bruk av brenselceller i skip (Fuel Cell Installations" Pt.6 Chapter 23). Det er imidlertid behov for videreutvikling av dagens regelverk for å dekke alle relevante aspekter for lagring og bruk av hydrogen på skip.

Hydrogen er et element som kan muliggjøre både elektrifisering og reelle nullutslippsløsninger i verdikjedeperspektiv for maritim sektor. Hybridløsninger der bruk av hydrogen og batteri kan optimeres med hensyn til overordnet effektivitet, vekt og kostnader forventes å være en del av dette bildet. Grunnet umodenheten og mangel på data er hydrogen utfordrende å inkludere som tiltak i vår modell, og arbeidet som vil kreves for å inkludere tiltaket på en god måte faller utenfor prosjektets rammer. Introduksjon av hydrogen i maritim sektor betinger at barrierer med hensyn til sikkerhet, regelverk og godkjenninger ryddes av veien. Dette vil kreve gjennomføring av test/pilotprosjekter der teknologien prøves ut i maritime omgivelser og der det samtidig gjennomføres nødvendige sikkerhetsstudier, uttesting og regelverksutvikling.

11.2.2 Tekniske og operasjonelle tiltak for CO2-reduksjon

Tiltakene som er behandlet i denne modellen representerer majoriteten av de relevante og betydningsfulle tiltak man kan gjennomføre i dag og som har positiv effekt på skips energieffektivitet.

Tiltak som ikke er inkludert er eksempelvis variabel turtallsdrift i dieselelektriske systemer (med likestrømsdistribusjon/»DC Grid») og hybridløsninger mellom mekanisk og diesel/gasselektrisk fremdrift.

Disse representerer typer av optimalisering av maskinerikonfigurasjon, fremdriftslinje og kraftoverføring som kan også gi drivstoffbesparelse. Disse er ikke inkludert i modellen, men kan for enkelhets skyld vurderes på samme måte som batterihybridisering hva angår reduksjon av effekt. For eksempel kan variabel turtallsdrift i dieselelektriske systemer resultere i 20 – 30 % drivstoffreduksjon, gitt de rette operasjonskarakteristika. Systemet er også, gjennom elektrosystemet om bord, satt opp på en måte som er egnet for kombinasjon med batterier. Dette kan gi ytterligere besparelser.

På ombyggingssiden er endring av skrog et tiltak som kan ha stort reduksjonspotensiale. Skip bygget for en helt annen operasjonsprofil enn hva det har per i dag vil kunne tjene mye på for eksempel ombygging til en optimert bulb. Dette er et tiltak som allerede er gjennomført på mange av de store linjefartskipene som i dag har senket hastighet betydelig sammenliknet med deres designhastighet.

11.2.3 Strukturelle tiltak

Avslutningsvis nevner vi en kategori tiltak som ikke er inkludert, ettersom de fordrer en grunnleggende endring i måten flåten opererer på i dag. Premisset for analysen i denne rapporten er at operasjonen av skipene følger dagens mønster, slik at AIS-grunnlaget for utslippsregnskapet kan anses som representativt i årene som kommer.

Det eksisterer imidlertid tiltak som kan kutte utslippene betydelig, men som ikke er håndtert i modellrammeverket i denne rapporten.

11.2.3.1 Reduksjon av fart

Fartsreduksjon er et svært effektivt som tiltak for å redusere utslipp fra internasjonal skipsfart. Dette tiltaket anses som den viktigste årsaken til nedgangen i klimagassutslipp fra internasjonal skipsfart de senere år. Drivkraften for utbredelsen av tiltaket innen internasjonal skipsfart henger sammen med prisen på bunkersolje. Inntil for kort tid siden har denne økt.

Den konkrete effekten for reduksjon av klimagassutslipp som resultat av fartsreduksjon kan beregnes for et enkelt isolert skip. Forholdet mellom fart og forbruk er et presist uttrykk, men vil variere for type skip og skrogutforming. Forholdet kan grovt utrykkes ved at energibehovet er en funksjon av fart i tredje potens. Det vil si at en fartsreduksjon på 10 % vil gi en energibesparelse på ca. 25 %, mens en fartsreduksjon på 20 % vil gi en energibesparelse på ca. 50 %.

Dette forholdet gjelder for et enkeltskip. Konsekvensen av en fartsreduksjon medfører også en tilsvarende reduksjon av det leverte transportarbeidet til skipet, samt en forsinkelse på det leverte transportarbeidet. For å kompensere for reduksjonen av det leverte transportarbeidet kan det det være nødvendig å benytte større skip og/eller benytte flere skip. Dette er også en trend man har sett den siste tiden innen internasjonal skipsfart. Erfaring tilsier likevel at det totale utslippet fra en skipsflåte vil reduseres vesentlig selv om? om man kompenserer for det reduserte transportarbeidet ved å utnytte en større flåte. Eksempelet nedenfor illustrerer forholdet mellom utslipp av klimagasser for en varierende skipsflåte som utfører det samme transportarbeidet (beregninger utført av DNV GL).

Tabell 11-1: Reduksjon av klimagasser som en konsekvens av redusert fart og økning av flåtestørrelse, men opprettholdt transportkapasitet for en samlet flåte.

Flåtestørrelse	Fart (knop)	Reduksjon av CO_2 (%)
11 stk VLCC	15.3 knop	-
12 stk VLCC	13.8 knop	- 21 %
15 stk VLCC	10.7 knop	- 47 %

Kostnadene man erfarer som en konsekvens av redusert fart og flere skip er vanskelig å kvantifisere. For å øke kompleksiteten ytterligere, er eierskapet, derav også kostnadene, fragmentert samt at kostnadene er avhengige av variabler som rentenivå, bunkerspriser og skipskostnader. Generelt kan en si at en reduksjon av fart kombinert med en tilsvarende økning av flåten vil medføre lavere kostnader til drivstoff, mens kapitalkostnader (CAPEX), andre variable kostnader (OPEX) samt kostnader knyttet til last (Inventory) vil øke.

I forbindelse med en fartsreduksjon vil det være en tilsvarende forsinkelse i varens leveringstid. I tilfellet beskrevet over vil det total transportarbeidet være det samme per år ettersom man kompenserer lavere fart med en større flåte, men transporten for hvert enkelt skip vil kreve mer tid. De samfunnsmessige kostnadene i forbindelse med forsinkelse på en enkelt vare er imidlertid vanskelig å beregne og vil variere med type vare og størrelsen på forsinkelsen, alt fra neglisjerbar til signifikant. Innenfor dette området må det gjøres flere studier på type vare, fart og segment for å kunne anslå kostnadene.

Generelt viser beregninger DNV GL har gjort at det er kostnadseffektivt å operere en større flåte med lavere fart, men å fastsette den optimale størrelsen på flåten er tidsbestemt avhengig av variasjonen av de nevnte variablene. De totale CO_2 utslippene vil uansett være vesentlig lavere når en opererer en større flåte med lavere fart enn en mindre flåte med høyere fart.

Til tross for en relativt stor utbredelse av dette tiltaket eksisterer det barrierer både til omfanget, hvilken flåte, og graden, hvor stor reduksjon, tiltaket har. Dette handler både om det fragmenterte eierskapet til kostnadene og eierskapet til konsekvensene. Generelt sett ser man at eier av varen ønsker høyere fart, mens operatør av skipet ønsker lavere fart. Derfor er det vanlig med reguleringer i kontraktsforholdet som avgjør hvilken minimumfart som skal benyttes. I noen tilfeller der vareeier er den samme som betaler utgifter til drivstoff kan det være manglende insentiver hos operatør av skipet til å redusere kostnader til drivstoff generelt. En systematisk stimulering til innføring av tiltaket krever derfor at det gjøres videre studier på konsekvenser og mulige metoder for å innføre tiltaket.

11.2.3.2 Bruk av større skip

Bruk av større skip vil gi lavere utslipp målt per tonn-kilometer. Dette fordrer imidlertid at utnyttelsesgraden på skipene ikke synker, og fordrer igjen at logistikken kan tilpasses en annen struktur, slik at last kan konsolideres. Dette er ikke lett å gjennomføre, og heller ikke lett å kostnads estimere. Men igjen er det en klar trend innen noen segmenter i internasjonal skipsfart at skipene har blitt bygget større. Større skip kan også gi en høyere kostnadseffektivitet som følge av «economy of scale».

I likhet med utfordringene forbundet med å optimalisere størrelsen på en flåte som skal utføre et gitt transportarbeid er det flere utfordringer forbundet med å velge den optimale størrelsen på et skip. Det finnes også klare begrensninger som store nok havner, kapasitet i havn og begrensninger til maksimal dypgang.

11.2.3.3 Overføring av gods fra vei til sjø

Overføring av gods fra vei til sjø beskrives ofte som et godt miljø og klimatiltak ettersom varefrakt på skip er mer effektivt, målt per tonn-kilometer. En effektiv overføring av gods vil imidlertid øke etterspørselen etter skipsfartstjenester, og dermed utslippene fra sektoren. Likevel er dette et tiltak for reduksjon av samlede nasjonale utslipp. Tiltaket er imidlertid ikke vurdert i denne rapporten.

12 KONKLUSJONER

Norske myndigheter har formulert ambisiøse målsettinger for reduserte klimagassutslipp, med en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990. Ikke-kvotepliktige sektorer i EU skal samlet sett redusere sine utslipp med 30 % sammenlignet med 2005, og Norge kan forvente å få et mål opp mot 40 % for disse sektorene. Transport er viktigste utslippskilde i ikke-kvotepliktig sektor. Det må derfor tas store reduksjoner i klimagassutslipp i transportsektoren, inkludert innenriks sjøfart. Regjeringen har gjort det klart at miljøvennlig skipsfart er et prioritert innsatsområde.

Denne studien er gjennomført på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet som et faglig grunnlag i oppfølgingen av de politiske målsettingene. Utredningen skal identifisere reduksjonspotensialet for klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040.

En modell er tidligere etablert av DNV GL for å beregne utslippsreduksjoner og kostnadseffektivitet for ulike miljøvennlige drivstoff. Modellen er benyttet for skip i norske farvann frem mot 2040, og beregner utslipp og tilhørende kostnader knyttet til omlegging på skipsnivå, der endringer i flåtesammensetning over tid tas hensyn til.

Modellen er videreutviklet for å håndtere både omlegging til alternative drivstoff og ulike tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon. I den oppdaterte modellen er 17 tekniske og operasjonelle tiltak implementert. I tillegg er de følgende alternative drivstoff modellert:

- LNG
- Innblanding av biodrivstoff (20 % biodiesel)
- 100 % biodrivstoff (biodiesel eller vegetabilsk olje)
- Elektrisk drift (batterier)

Vi benytter modellen som er beskrevet til å regne på scenarier der forskjellige tiltak anvendes på flåten i forskjellig grad. Scenariene danner et bilde av muligheter og begrensninger ved ulik tiltaksbruk for å redusere klimagassutslipp i innenriks skipsfart frem mot 2040. Ut fra den politiske målsettingen om 40 % lavere utslipp i 2030 sammenliknet med 1990, har DNV GL utledet at utslippene i 2040 må være 50 % lavere inn i 2015 (dagens situasjon). Scenariene er valgt for å belyse et sett grunnleggende spørsmål som denne rapporten tar sikte på å besvare:

Hva vil utslippene bli dersom flåten er som i dag (teknologisk og operasjonelt, men flåtevekst hensyntatt), og hva er effekten av allerede vedtatt regelverk for CO_2-utslipp fra skip, dvs. EEDI- kravet for nye skip?

Utslippet fra innenriks skipstrafikk i dag er 3,4 millioner tonn (Mt) CO_2. Fremskrevet til 2040, i tråd med forventet flåtevekst, beregnes utslippet til 5,2 Mt CO_2; gitt at flåten er som i dag med tanke på drivstofftyper, teknologi og operasjonell praksis. Dersom vi tar hensyn til at nybygg innen en rekke skipstyper frem mot 2040 må oppfylle krav til energieffektivitet, de såkalte EEDI-kravene, finner vi at utslippet i 2040 er 4,7 Mt CO_2.

Resultatene viser at utslippet av CO_2 ventes å øke betydelig frem mot 2040 dersom flåtevekst legges til grunn uten at miljøvennlig drivstoff eller ny teknologi kommer til, annet enn det som følger av EEDI-kravene. Økningen fra 2015 til 2040 er beregnet til 38 % når EEDI tas med, mot 52 % dersom EEDI ikke tas med. EEDI i seg selv reduserer altså utslippet med omkring 10 % sammenlignet med hva situasjonen ellers ville vært i 2040. Veksten i utslippene frem til 2040 bremses altså noe, men utslippene reduseres ikke sammenlignet med dagens nivå.

Hva kan oppnås ved tekniske og operasjonelle tiltak for CO_2-reduksjon alene?

Om alle de 17 tekniske og operasjonelle tiltakene inkludert i vår modell implementeres på alle skip der det er vurdert som teknisk mulig – nye som gamle – er utslippet i 2040 beregnet til 3,7 Mt CO_2. Dette er en reduksjon på 21 % sammenlignet med baseline, eller en økning på omtrent 11 % sammenlignet med dagens utslipp. Merk at tiltaksbruken her ikke omfatter alternative drivstoff.

Hvordan kan alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak for CO_2 reduksjon sammen bidra til å oppnå utslippsreduksjoner som er i samsvar med nasjonale målsettinger?

Et mer realitetsorientert scenario er konstruert for å;

a. Nå målsetning om 50 % utslippsreduksjon i 2040 i forhold til dagens nivå
b. Begrense kostnadene
c. Velge gjennomførbare, realistisk løsninger

Dette scenariet innebærer anvendelse av et alternativt drivstoff på alle nybygde skip som går mer enn 80 % av tiden i norske farvann. Skip med mindre av tiden i norske farvann går på tradisjonelt oljebasert drivstoff (MGO/HFO). Samtidig antas det årlig at 1 % av de eksisterende skipene bytter til alternativt drivstoff, slik at 28 % av den seilende flåten (2750 skip) opererer med alternativt drivstoff i 2040. Hvilket alternativt drivstoff DNV GL antar at blir benyttet varierer med skipstype;

- Lasteskip og fiskefartøy benytter hovedsakelig 20 % innblanding av biodrivstoff i tradisjonelt oljebasert drivstoff
- Passasjerskip under en viss størrelse (inkludert ferjene) benytter elektrisk fremdrift
- Offshoreskip benytter LNG

I tillegg antar vi at alle tilgjengelige tekniske og operasjonelle tiltak anvendes på skip uavhengig av tid i norsk farvann.

Dette scenariet gir et utslipp av CO_2 som er 40 % lavere enn dagens nivå, eller 60 % lavere enn i 2040 uten alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak utover regelverket. Scenariet vil med andre ord ikke bringe utslippene helt ned til målsettingen, dvs. 50 % under dagens nivå. Et noe mer omfattende opptak av alternative drivstoff og/eller tekniske/operasjonelle tiltak vil måtte tas i bruk for å nå et slikt nivå.

Det realitetsorienterte scenariet synes å kunne gi store utslippskutt på en relativt kostnadseffektiv måte. Dette vil også kunne være teknisk gjennomførbart, forutsatt tilstrekkelig tilgang på de ulike drivstoffalternativene. Det kreves imidlertid omfattende grep for faktisk å ta i bruk eksisterende løsninger, samt utvikle nye løsninger. Merk at denne studien ikke har vurdert hvilke virkemidler som er nødvendige for å realisere potensialene som er identifisert.

Hva er den samfunnsøkonomiske implikasjonen av å nå utslippsmålet for innenriks utslipp gjennom alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak?

Det synes å finnes mulige scenarioer for tiltaksbruk som langt på vei oppfyller den nasjonale målsettingen om reduksjon av CO_2 fra innenriks skipsfart. DNV GL har analysert hva den samlede samfunnsøkonomiske implikasjonen for et realitetsorientert scenario for kombinasjon av alternative drivstoff og tekniske/operasjonelle tiltak. Ettersom kostnadene av scenariet vil variere betydelig med valgt scenario for drivstoffpriser, har vi tatt utgangspunkt i et «middel pris»-scenario, og belyser effekten av endrede betingelser/priser.

Resultatet viser at kostnadseffektiviteten i scenariet vil være 170 NOK per tonn redusert CO_2. Dette er imidlertid kun inkludert kostnader som er internalisert hos rederen, dvs. investeringskostnad, samt drift og vedlikeholdskostnader. For å finne samfunnsøkonomisk lønnsomhet må alle effekter av tiltakene tas i betraktning – også eksterne effekter.

Modellen estimerer også reduksjoner i NO_x, SO_x og PM. Disse verdsettes ved hjelp av verdsettingsfaktorer. Når de prissatte effektene tas med i analysen, ser vi at de eksterne effektene har stor innvirkning på resultatet. Når de eksterne prissatte effektene tas høyde for, blir tiltakene, samfunnsøkonomisk sett, lønnsomme. Tiltak som har en samfunnsøkonomisk kostnadseffektivitet som er lavere eller lik null defineres som samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Resultatet viser at den samfunnsøkonomiske kostnadseffektiviteten i scenariet vil være -385 NOK per tonn redusert CO_2. Totalt sett, alle tiltak sett under ett, er tiltakene i scenariet samfunnsøkonomisk lønnsomme – for hver krone som investeres i reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipsfart vil samfunnet få den tilbake. Med renter. Robustheten i denne konklusjonen er etterprøvd ved å undersøke sensitiviteten av resultatet langs to akser; nivået på NOx-baseline (Tier II eller Tier III), og effekten av valgt drivstoffpris. Resultatet viser at konklusjonen om samfunnsøkonomisk lønnsomhet holder seg under alle de undersøkte forhold.

13 REFERANSER

Acciaro et al. 2012. The energy Efficiency gap in Maritime Transport, the 5th International Conference on Maritime Transport, Barcelona, Spain, 27-29 June, 2012.

Bazari & Longva 2011. Estimated CO2 emissions reduction from introduction of mandatory technical and operational energy efficiency measures for ships. MEPC 63/INF.2.

Buhaug et al 2009. Second IMO GHG study 2009; MEPC 59/INF.10. International Maritime Organization (IMO) London, UK, April, 2009.

Corbett et al. 2011. An assessment of technologies for reducing regional short-lived climate forcers emitted by ships with implications for Arctic shipping Carbon Management (2010) 1(2), 207–225.

DNV 2009. Marginal Abatement Cost Curves - CO2 reduction potential for 2030. Report no 2009-2028.

DNV 2013. Review of VOC in shipping. Report no. 2013-0107.

DNV GL, 2014. Sammenstilling av grunnlagsdata om dagen skipstrafikk og drivstofforbruk. DNV GL Report No.: 2014-1667.

DNV GL, 2015. Vurdering av tiltak og virkemidler for mer miljøvennlige drivstoff i skipsfartsnæringen. Report No.: 2015-0086.

DNV GL, 2016. Evaluation of reduction mechanisms discussed at IMO. Report no. 2016-0197.

Eide et al., 2011. Future cost scenarios for reduction of ship CO2 emissions. Maritime Policy & Management, 38:1, 11-37.

Eide et al., 2013. CO2 abatement potential towards 2050 for shipping, including alternative fuels. Carbon Management Vol 4, Iss 3, 275-289.

Eyring et al. 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping, Atmospheric Environment, 4735-4771, 2010.

Miljødirektoratet 2013. Foreløpig Sektorrapport - Underlagsrapport til Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere. M90/2013.

SFT, 2005. Marginale miljøkostnader ved luftforurensning - Skadekostnader og tiltakskostnader. TA-2100/2005, ISBN 82-7655-259-5.

SWECO, 2010. Verdien av tid, sikkerhet og miljø i transportsektoren: Luftforurensning.

Ødemark et al. 2012. Short-lived climate forcers from current shipping and petroleum activities in the Arctic. Atmos. Chem. Phys., 12, 1979–1993, 2012.

About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil and gas, and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our 16,000 professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.