

TILTAKSANALYSE

Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk

Miljødirektoratet

Rapportnr.: 2019-0939

Dato: 2019-12-11



Prosjektnavn:	Tiltaksanalyse	DNV GL AS Maritime
Rapporttittel:	Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk	Environment Advisory
Oppdragsgiver:	Miljødirektoratet, Postboks 5672 Sluppen 7485 Trondheim Norway	Veritasveien 1 1363 Høvik Norway
Kontaktperson:	Frank Melum	
Dato:	2019-12-11	
Prosjektnr.:	10167314	
Org. enhet:	Environment Advisory	
Rapportnr.:	2019-0939	

Oppdragsbeskrivelse:

Regjeringen har gitt Miljødirektoratet og seks andre etater i oppdrag å gjennomføre en utredning med helhetlige forslag til tiltak og virkemidler for å oppfylle nye klimamål i 2030 etter modell av "Klimakur". I forbindelse med Klimakur-oppgaven, har DNV GL fått i oppdrag å levere en oppdatert tiltaksanalyse for skipsfarten, beskrevet i denne rapporten.

Utført av:

Magnus Eid
Sjefskonsulent

Verifisert av:

Håkon Hustad
Sjefskonsulent

Godkjent av:

Terje Sverud
Head of Section

Nikolai Rivedal
Jon Hovem Leonhardsen
Øyvind Sekkesæter
Henrik Helgesen

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (Åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden; (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ☒ ÅPEN. Fri distribusjon, intent og eksternt.
- ☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.
- ☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. Distribution within DNV GL according to applicable contract.*
- ☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

*Distribusjonsliste:

Nøkkelord:

Klimagasser, CO2, tiltaksanalyse, skipsfart.

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	2018-10-28	First issue	-	-	-

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	1
2	INTRODUKSJON	3
2.1	Bakgrunn	3
2.2	Fremgangsmåte	3
3	MODELLBESKRIVELSE	6
4	INNGANGSDATA	9
4.1	Innenriks utslipp i 2018	9
4.2	Referansebane for innenriks CO ₂ -utslipp mot 2030	11
4.3	Tekniske og operasjonelle energieffektiviseringstiltak	14
4.4	Alternative drivstoff og energibærere	15
4.5	Landstrøm	20
4.6	Fartsreduksjon	21
4.7	Drivstoffpriser	25
4.8	Utslippsfaktorer for NO _x	27
5	BARRIERER KNYTTET TIL INNFØRING AV TILTAK.....	28
6	UTVELGELSE AV TILTAKSPAKKE FOR ANALYSE.....	30
6.1	Analyse av enkelttiltak	30
6.2	Utvelgelse av tiltakspakke	37
7	RESULTATER FRA ANALYSE AV TILTAKSPAKKEN	40
8	REFERANSER	43
	APPENDIX A: JUSTERING AV VEKSTRATER.....	45
	APPENDIX B: GRUNNLAGSDATA 2018	48

1 SAMMENDRAG

Regjeringen har gitt Miljødirektoratet og seks andre etater i oppdrag å gjennomføre en utredning med helhetlige forslag til tiltak og virkemidler for å oppfylle nye klimamål i 2030 etter modell av "Klimakur". Det skal utredes ulike tiltak og virkemidler som kan utløse minst 50% reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp i 2030 sammenlignet med 2005. I forbindelse med Klimakur-oppgaven, har DNV GL fått i oppdrag å levere en oppdatert tiltaksanalyse for skipsfarten, beskrevet i denne rapporten.

DNV GL har anvendt en modell som beregner utslippsreduksjoner og kostnader knyttet til tiltak på skipene i flåten mot 2030, i forhold til en beregnet referansebane. Både modell og forutsetninger er oppdatert i forhold til foregående studier. Det introduseres også nye tiltak (for eksempel fartsreduksjon) og alternative drivstoff (for eksempel ammoniakk). Tiltakene som analyseres utgjør en samlet *tiltaks pakke*, der overlapp mellom tiltak i pakken er hensyntatt, og ingen gjensidig utelukkende tiltak er anvendt. I analysen kartlegger vi både de samfunnsøkonomiske og de bedriftsøkonomiske kostnadene ved tiltakspakken. Den overordnede prioriteringen for utvelgelsen av tiltakspakke er tredelt:

1. Tiltakspakken må redusere innenriks CO₂-utslipp i 2030 med 50 % fra nivået i 2018.
2. Tiltakene må i så stor grad som mulig være realistisk gjennomførbare, med tanke på teknologisk modenhet, tilgjengelighet av drivstoff, og andre barrierer.
3. Tiltakene må ha lavest mulig samfunnsøkonomisk tiltakskostnad.

Som et tilleggsmoment legger vi vekt på å sette sammen en diversifisert tiltakspakke, i den forstand at en ikke ønsker å gjøre seg avhengig av teknologiutvikling eller kostnadsutvikling knyttet til en enkelt løsning. Dette anser vi også for å være den mest robuste strategien for å nå utslippsmålet, gitt stor usikkerhet i modning, kostnader, drivstofftilgang og priser. Det er trolig slik at forskjellige løsninger vil finne sin plass i flåten, gjennom markedsmekanismer og gjennom myndighetspåvirkning. En bred satsing på et tidlig stadium gjør det også mulig å endre kurs underveis, avhengig av hvordan utviklingen blir.

Tiltakene som er analysert inkluderer teknisk-operasjonelle tiltak (energieffektiviseringstiltak) og alternative drivstoff. Alternative drivstoff omfatter LNG, hel- og delelektrifisering (plug-in hybridisering), hydrogen, ammoniakk, innblanding av biodiesel (HVO) i MGO og innblanding av biogass (LBG) i LNG.

Summen av disse vurderingene vil resultere i en tiltakspakke som ikke må oppfattes som den eneste tilgjengelige, eller nødvendigvis den optimale. Det vil finnes andre tiltakspakker – selv om de forblir ubeskrevet i denne rapporten – som vil kunne oppfylle alle de tre punktene ovenfor. Tiltakspakken er et scenario der vi for perioden 2018-2030 på de ulike skipssegmentene *gradvis* faser inn utvalgte tiltak som sammen oppfyller de tre punktene over. Effekten av tiltakspakken regnes i forhold til en referansebane for utslipp. Denne referansebanen er oppdatert i forhold til tidligere studier. Forrige referansebane gav ca. 14 % økning i utslipp fra 2018 til 2030. Ny referansebane gir 9 % reduksjon. Forskjellen skyldes hovedsakelig redusert vekstprognose, samt både antatt og kjent høyere opptak av batterielektrifisering (jf. fergesektoren) og LNG.

Med et beregnet innenriks utslipp på 4,2 Mt CO₂ i 2018 basert på AIS-data, gir målsettingen om 50 % reduksjon i 2030 et maksimalt utslipp på 2,1 Mt CO₂ i 2030. Referansebanen gir et utslipp i 2030 på 3,9

Mt CO₂, og det er følgelig behov for å identifisere tiltak som ytterligere reduserer utslippet i 2030 med 1,8 Mt CO₂ – eller 46 % av utslippet i referansebanen¹.

Den valgte pakken resulterer i en utslippsreduksjon på ca. 1 Mt CO₂ utover referansebanen i 2030, før opptak av biodrivstoff eller bruk av landstrøm er regnet inn. Dette er ca. 0,8 Mt mindre enn det som skal til for å nå målsettingen om 50 % reduksjon. Med 50 % innblanding av HVO i MGO og LBG i LNG for alt drivstoff som forbrukes av skip med mer enn 80 % av operasjonstiden i norske farvann oppnås en utslippsreduksjon på 1.7 Mt. Utover innblanding av biodrivstoff kommer de største bidragene fra ammoniakk på lasteskip, hydrogen på hurtigbåter, elektrifisering av ferger og plug-in hybridisering av offshoreskip.

I tillegg kan det kuttes inntil ca. 0,5 Mt CO₂ i 2030 ved bruk av landstrøm. Mesteparten av dette er trolig knyttet til havneutslipp som kan knyttes til reiser mellom to norske havner, men dette er ikke undersøkt nærmere. Dette potensialet gjør at innblandingen av biodrivstoff kan bli noe lavere, eventuelt at innfasingen av andre tiltak kan reduseres noe.

Den resulterende samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden som resultat av pakken varierer betydelig mellom tiltakene. Gjennomsnittlig vektet tiltakskost for hele pakken er 3400 NOK/tonn CO₂, uten biodrivstoff. Med 50 % biodrivstoff er gjennomsnittlig vektet tiltakskostnad noe lavere; 3000 NOK/tonn CO₂.

I gjennomsnitt er de dyreste tiltakene plug-in hybridisering og forsterket satsning på energieffektivisering, men det er store variasjoner mellom skipstypene her. Vi bemerker at den høye kostnaden har sterk sammenheng med at store, rimeligere energieffektiviseringsgevinster allerede er inkludert i referansebanen. For at plug-in hybridisering skal gi betydelige utslippsreduksjoner utover fergeflåten krever det store batterier – større enn det som i dag vanligvis benyttes for energieffektivisering – men dette er teknologi som er tilgjengelig i dag. Både hydrogen- og ammoniakkdrift har noe lavere tiltakskostnad enn plug in-hybridisering, Men dette er umodne teknologier uten tilgjengelig infrastruktur, og vi antar at innfasing i større skala kan skje først fra 2025. På grunn av den korte tidshorisonten, vil tiltak på eksisterende skip også være nødvendig for å nå reduksjonsmålet, selv om det blir faset inn nybygg med nullutslippsteknologier. Dette er også med på å øke kostnadene, siden ombygging av eksisterende skip for lav- og nullutslipp er dyrere enn tiltak på nybygg.

I sum presenterer vi en pakke som på ingen måte er enkel å gjennomføre. Den må betraktes som svært ambisiøs og krevende, men ikke umulig. Tidsrommet for gjennomføring er knapt og det foreligger både tekniske, økonomiske og praktiske barrierer, noe som tilsier at en kraftig forsterket virkemiddelbruk må på plass raskt skal det være noen som helst mulighet for å nå målsetningen.

¹ Denne målsettingen kan tolkes annerledes dersom innenriks utslipp beregnes med utgangspunkt i solgt drivstoff, som er nær det beregnede utslippet fra skip med mer enn 80% av tiden i norske farvann. CO₂ utslipp i 2018 er da 2,8 Mt CO₂. Målet i 2050 blir 1,4 Mt CO₂. Referansebaneutslippet i 2030 blir 2,3 Mt CO₂. Behovet for ytterligere utslipp er da 0,9 Mt CO₂.

2 INTRODUKSJON

I dette kapitlet beskriver vi kort bakgrunn og overordnet fremgangsmåte benyttet i studiet.

2.1 Bakgrunn

Miljødirektoratet utarbeider oppdatert kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling i Norge, på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet. Potensialet for utslippsreduksjoner fra innenriks skipsfart som tidligere er presentert i Miljødirektoratets rapporter *Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030* (M-386) og *Beregningsteknisk grunnlag for Meld. St. 41, Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid* (M782), er basert på en utredning gjennomført av DNV GL på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet i 2015 (DNV GL, 2015a). Den gang utviklet DNV GL en modell for å beregne utslippsreduksjoner og kostnader ved ulike CO₂-utslippsreducerende tiltak. Formålet med analysen i 2015 var å kartlegge potensialet for overgang til mer miljøvennlig drivstoff og teknologi i skipsfartsnæringen.

I 2016 ble tiltaksdatabasen utvidet til å inkludere tekniske og operasjonelle tiltak, også denne gang på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet (DNV GL, 2016a), og Miljødirektoratets rapport har senere blitt oppdatert i tråd med dette. På oppdrag fra Miljødirektoratet utførte DNV GL i 2017/2018 oppdaterte tiltaksanalyser av miljøvennlig drivstoff og teknologi i skipsfartsnæringen, basert på ny og oppdatert informasjon om de tilgjengelige tiltakene, der bl.a. hydrogen som drivstoff ble inkludert (DNV GL, 2018a).

Regjeringen har gitt Miljødirektoratet og seks andre etater i oppdrag å gjennomføre en utredning med helhetlige forslag til tiltak og virkemidler for å oppfylle nye klimamål i 2030 etter modell av "Klimakur". Det skal utredes ulike tiltak og virkemidler som kan utløse minst 50% reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp i 2030 sammenlignet med 2005.

I forbindelse med Klimakur-oppgaven fra Regjeringen, har DNV GL fått i oppdrag å levere en oppdatert tiltaksanalyse for skipsfarten, beskrevet i denne rapporten. Både modell og forutsentninger er oppdatert i forhold til foregående studier. Det introduseres også nye tiltak og alternative drivstoff (for eksempel fartsreduksjon og ammoniakk).

Studien resulterer i to hovedleveranser til Miljødirektoratet:

- a) Rapport med metodebeskrivelse, forutsetninger/antagelser og inputdata, samt sammendrag av resultater.
- b) Separat Excelark med detaljerte resultater.

2.2 Fremgangsmåte

I denne studien beregnes innenriks utslippsreduksjoner og kostnader for tiltak på skip i norske farvann fram mot 2030. Tiltakene som analyseres utgjør en samlet *tiltaks pakke*, i tråd med fremgangsmåten i tidligere analyser (DNV GL (2016a, 2018a)). Dette innebærer at overlapp mellom tiltak i pakken er hensyntatt, og ingen gjensidig utelukkende tiltak er anvendt².

DNV GL har utviklet en modell som beregner utslippsreduksjoner og kostnader knyttet til tiltak på skipene i flåten. Utslipps- og kostnadsbaner analyseres her frem mot 2030, men modellen kan regne frem til 2050 og kan derfor brukes for et utvidet tidsperspektiv i fremtidige studier. Modellen som

² Dette betyr for eksempel at man ikke gjør beregninger for batterihibridisering (teknisk-operasjonelt energieffektiviseringstiltak) på fartøy der man allerede har del- eller helelektrifisering (modellert som alternativt drivstoff). Et annet eksempel er omlegging til biogass (LBG), som ikke regnes med noen tiltakskostnad for fartøy som allerede er modellert med investeringskostnad til fossil LNG (identisk teknologi).



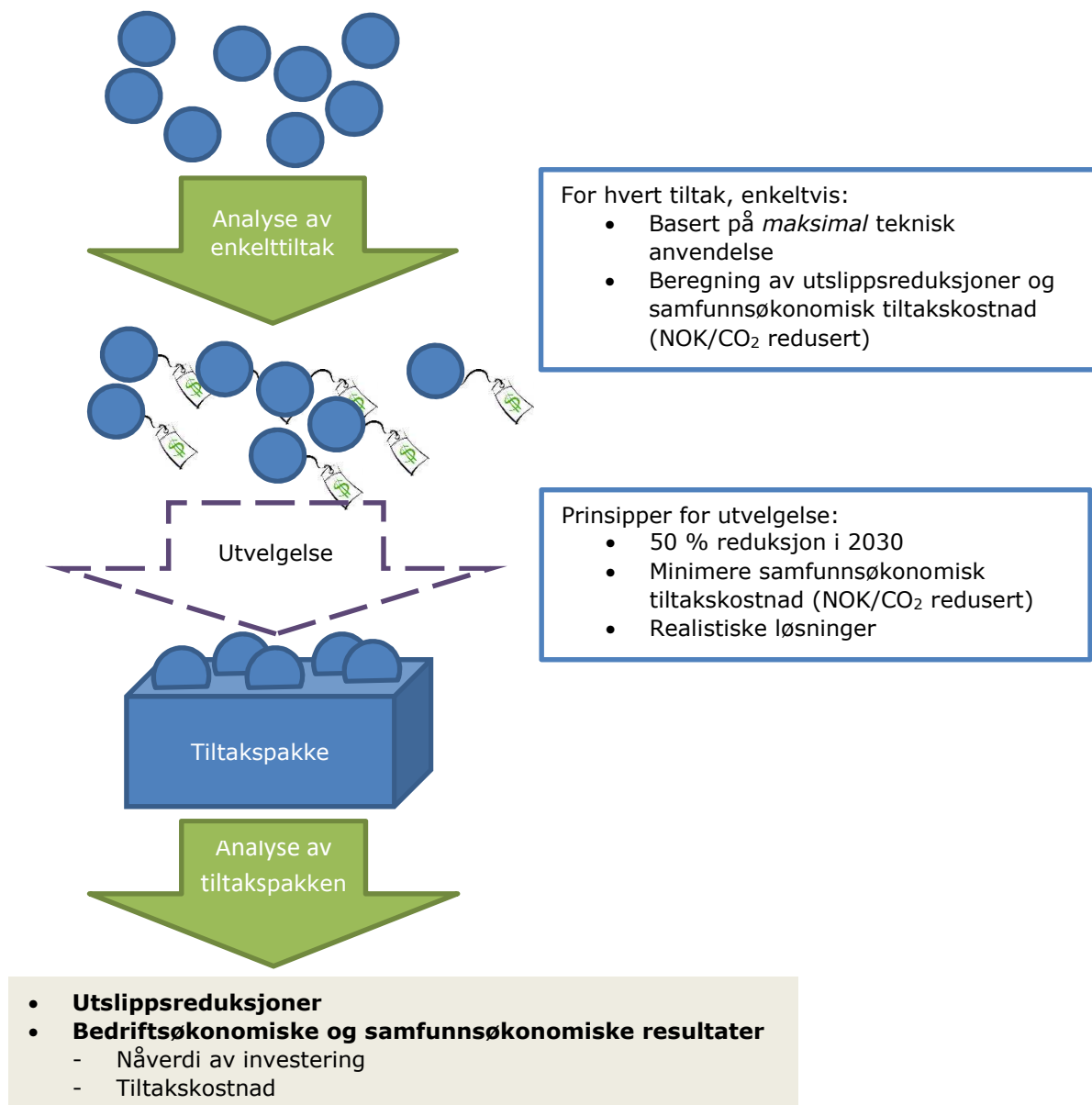
anvendes i dette studiet representerer en betydelig oppgradering av tidligere modeller, og dette er beskrevet nærmere i Kapittel 3. Fremgangsmåten for å beregne utslippsreduksjoner og kostnader for tiltakene i tiltakspakken er illustrert i Figur 1.

Modellen kjøres i to omganger: Først brukes modellen til en *analyse av enkelttiltak for å kartlegge det rent tekniske potensialet* og beregner utslippsreduksjon og tiltakskostnad fra hvert enkelt tiltak, aggregert til flåtenivå. Dette er beskrevet i Kapittel 6.1. Basert på dette gjøres en nærmere utvelgelse av tiltak til en tiltakspakke. Deretter brukes modellen en andre gang for å analysere *konsekvenser av den valgte tiltakspakken*, beskrevet i Kapittel 7.

Utvelgelse av tiltakspakken gjøres altså med utgangspunkt i den første modellkjøringen, som gir individuelle tiltakskostnader for alle tiltakene. Den overordnede prioriteringen for utvelgelsen av tiltakspakken er som følger:

- a) Tiltakspakken må redusere innenriks CO₂-utslipp i 2030 med 50 % fra dagens nivå (2018). Målsettingen er i tråd med den overordnede ambisjonen for ikke-kvotepliktige utslipp gitt i Klimakur-oppgavet, men også med Regjeringens ambisjon for innenriks sjøfart og fiske slik den er formulert i Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart (Klima- og miljødepartementet, 2019).
- b) Tiltakene må i så stor grad som mulig være realistisk gjennomførbare, med tanke på teknologisk modenhet, tilgjengelighet av drivstoff, og andre barrierer.
- c) Tiltakene må ha lavest mulig samfunnsøkonomisk tiltakskostnad.

Resultatene presenteres i Kapittel 7 i form av en overordnet beskrivelse av tiltakspakken samt hovedresultater knyttet til de enkelte tiltak som inngår. Detaljerte resultater for enkelttiltakene rapporteres til Miljødirektoratet i en separat Excel-fil.



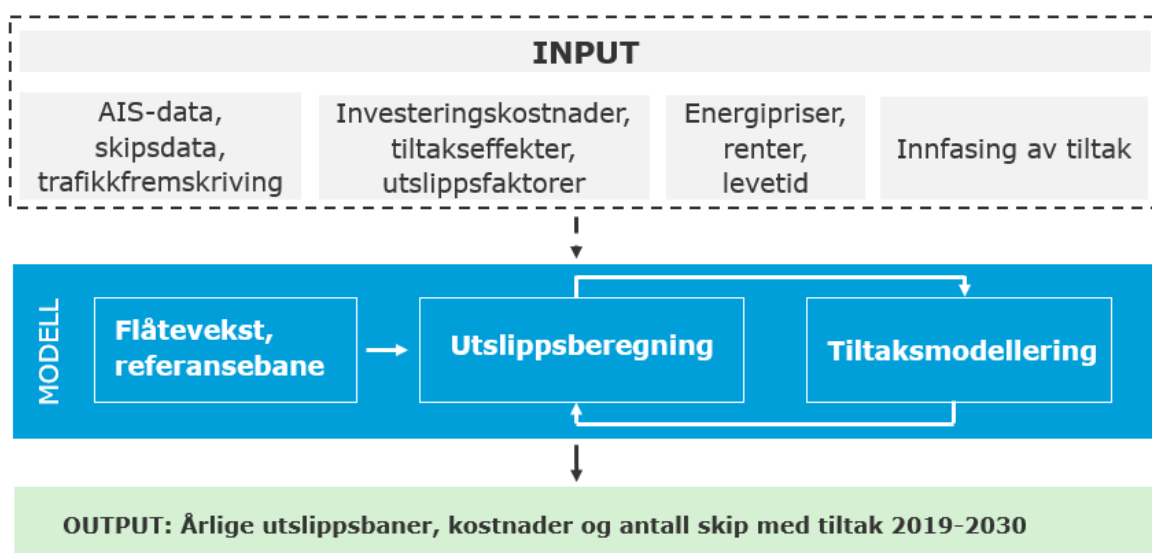
Figur 1: Illustrasjon av fremgangsmåte benyttet i denne studien. Blå sirkler illustrerer enkelttiltak, f.eks. LNG eller hydrogen. Grønne piler representerer modellkjøringer (fra DNV GL, 2018a).

3 MODELLBESKRIVELSE

For å beregne utslippsreduksjon og tiltakskostnader for både enkelttiltak og tiltakspakker, anvender vi en modell som er spesifikt tilpasset analyser av tiltak på skip som har bidrag til norske innenriks utslipp. Varianter av denne modellen er brukt i en rekke tidligere studier for både verdensflåten og skip i norske farvann.

Modellen ble i første omgang utviklet for verdensflåten av Eide et al. (2011), og forbedret og utvidet i flere runder. En egen versjon av modellen er tilrettelagt for analyse av innenriks utslipp i norske farvann (DNV GL, 2015a). Denne versjonen har blitt videreutviklet og utvidet i flere runder (DNV GL, 2016a), (DNV GL, 2018a). I dette prosjektet anvendes en ny versjon av modellen for innenriks utslipp i norske farvann, basert på siste generasjons modell for verdensflåten (DNV GL, 2019b).

I forhold til siste analyse for norske farvann (DNV GL, 2018a) er modellen blitt oppdatert med flere tiltak og høyere detaljeringsgrad i beregningene. Prinsippene for modellen er likevel gjenkjennelige fra tidligere varianter, og er skissert i Figur 2.



Figur 2: Oversikt over modellen.

Modellen omfatter i hovedsak tre moduler:

1. **Flåtesammensetning og flåtevekst:** Fra AIS-data identifiseres alle skip observert i norske farvann i 2018. Hvert av disse skipene representeres i modellen med en beskrivelse av tekniske data slik som hovedmotorstørrelse og skipsstørrelse, samt operasjonelle data slik som beregnet totalt drivstofforbruk, innenriks drivstofforbruk, utseilt distanse, forbruk i norske havner, andel tid i norske farvann gjennom året, etc.

Hvert enkelt skip plasseres også i en *skipskategori*. Vi anvender en kategorisering i tråd med Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart (KLD, 2019). Innenfor de ulike skipskategoriene er skipene videre gruppert etter hvor stor andel av drivstofforbruket deres som er knyttet til innenriks trafikk. Kategoriseringen brukes til å systematisere analysen og styre tiltaksbruken i modellen, men beregninger av tiltaksbruk gjøres på enkeltskipsnivå. Dette er annerledes fra tidligere modeller, der analysen ble gjort på gjennomsnittsskip pr segment.

Videre simulerer modellen flåtevekst. I modellen utvikles en gitt skipssegment iterativt over tid ved at enkeltskip legges til og fjernes slik at det totale transportarbeidet følger vekstprognosen for det aktuelle segmentet. Prognosene er oppdatert fra tidligere analyser (se Kapittel 4.2.1).

2. **Utslippsberegning:** En referansebane for utslipp bestemmes ved hjelp av en aktivitetsbasert tilnærming. Dagens utslippsbilde fremskrives først til 2030 i tråd med forventet flåtevekst, men inkluderer også drivstoff og teknologier som vil tas i bruk i flåten uten bruk av ytterligere virkemidler (se Kapittel 4.2.2).
3. **Tiltaksmodellering:** For å beregne effekter av å innføre tiltak utover de som inngår i referansebanen kan modellen simulere innføring av tiltak på enkeltskip i flåten. Tiltakene er beskrevet i Kapittel 4. I modellen kan det velges hvor mange skip innen et skipssegment som får et tiltak, hvilke år tiltaket innføres og om tiltaket innføres på nybygg og/eller eksisterende skip. Kostnadene, besparelsene og potensiell utslippsreduksjon beregnes for alle utslippsreduserende tiltak for flåten i et gitt år. Tiltakene lar seg modellere år for år, med muligheter for årlige endringer i drivstoffpriser og investeringskostnader. Kostnaden er regnet som *merkostnad* sammenliknet med en referanseløsning uten tiltaket. Modellen holder rede på tiltak implementert på nybygg og eksisterende skip, samt investerings- og operasjonelle kostnader og utslippsreduksjoner knyttet til implementering av tiltak. Resultater kan presenteres for hele flåten, eller på segmentnivå.

Merkostnadene, endringer i operasjonelle kostnader og potensiell utslippsreduksjon beregnes i tiltaksmodulen for alle utslippsreduserende tiltak for flåten i et gitt år. Beregningen gir følgende resultater per tiltak for perioden 2019-2030:

- Merinvesteringer per år
- Antall skip med tiltaket, totalt
- Tiltakskostnad (NOK/tonn CO₂)
- Nåverdi av investering

Beregningene gjøres med både samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk perspektiv. Det bedriftsøkonomiske perspektivet reflekterer de kostnader og besparelser som et rederi vil se når det investeres i tiltak. Det samfunnsøkonomiske perspektivet reflekterer investeringens virkning for samfunnet som helhet (se DNV GL (2018) for en nærmere beskrivelse av dette).

I Tabell 1 er det forklart hvilke modellvalg som er gjort i henholdsvis samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk tilnærming. Det er viktig å merke seg at kun *innenriks* utslipp telles med, siden målet for utslippsreduksjon omfatter kun innenriks utslipp. Imidlertid telles *alt* drivstofforbruk med i beregningen av de operasjonelle kostnadene/besparelsene, siden man ved beregning av lønnsomheten for en investering må ta utgangspunkt også i den aktiviteten et gitt skip har utenom innenriksfart.

Beregningene utføres forøvrig i tråd med foregående analyse (DNV GL, 2018a).

Tabell 1: Modellvalgene knyttet til samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk tilnærming.

Inputparameter	Samfunnsøkonomisk beregning	Bedriftsøkonomisk beregning
Levetid	Teknisk levetid ligger til grunn for begge tilnærminger	
Investeringskostnad	Investeringskostnaden er den samme i begge tilnærminger. Kun investeringskostnader ombord på skipet er inkludert. Kostnaden er regnet som <i>merkostnad</i> sammenliknet med en referanseløsning uten tiltaket	
Drivstoffpriser	Avgifter ikke inkludert MVA er ikke inkludert	Avgifter inkludert MVA er ikke inkludert
Verdsetting av eksterne effekter*	NOx-utslipp, uavhengig av farvann/trafikktype; 22 NOK/kg NOx	-
Drivstoffbruk/operasjonelle kostnader som inkluderes	Alt drivstofforbruk for skipene som får tiltak, uavhengig av farvann/trafikktype	
Utslipp som inkluderes	Kun innenriks utslipp (fra skip i trafikk mellom norske havner)	
Rente	4 %	9,5%

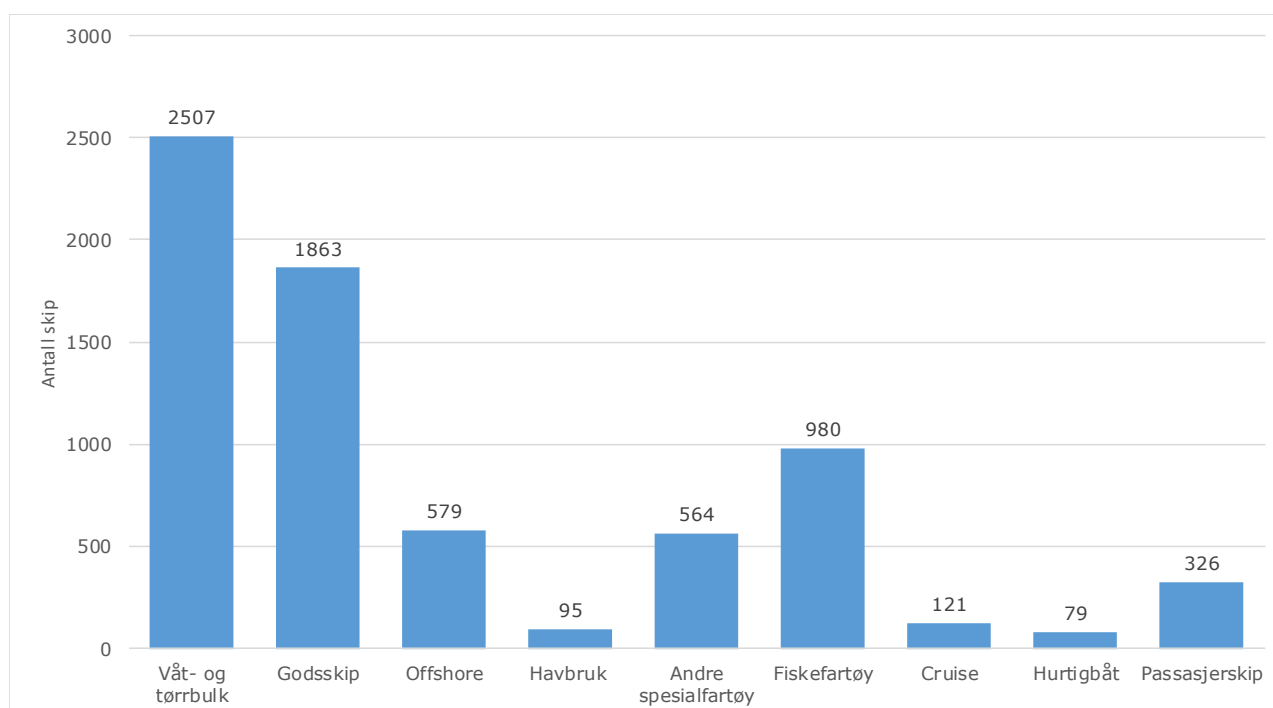
* I denne studien inkluderer vi kun skadekostnadene knyttet til utslipp av NOx, ettersom DNV GL (2015a) tydelig demonstrerte at denne kostnaden langt overstiger de andre faktorene. Kilder for benyttede verdsettingsfaktorer og begrunnelse for valg av rente er beskrevet i DNV GL 2018a.

4 INNGANGSDATA

4.1 Innenriks utslipp i 2018

DNV GL har som grunnlag for analysen evaluert skipstrafikken i norske farvann og beregnet innenriks CO₂-utslipp for basisåret 2018. Dette er gjort ut fra en aktivitetsbasert tilnærming basert på AIS-data og skipsspesifikk informasjon. Ettersom beregningsmetoden for utslipp vil være noe upresis for enkelte segmenter, er det viktig å presisere at de presenterte tallene ikke er ment å være et presist utslippsregnskap, men som et grunnlag for tiltaksanalysen.

7114 skip seilte i norske farvann i 2018, og er fordelt på skips kategorier i Figur 3. Sammenliknet med AIS-data fra 2017 gir dette en økning på 586 skip (DNV GL, 2019a). De største bidragsyterne til differansen er på kategorinivå; fiskefartøy, andre spesialfartøy og våt- og tørrbulkskip.

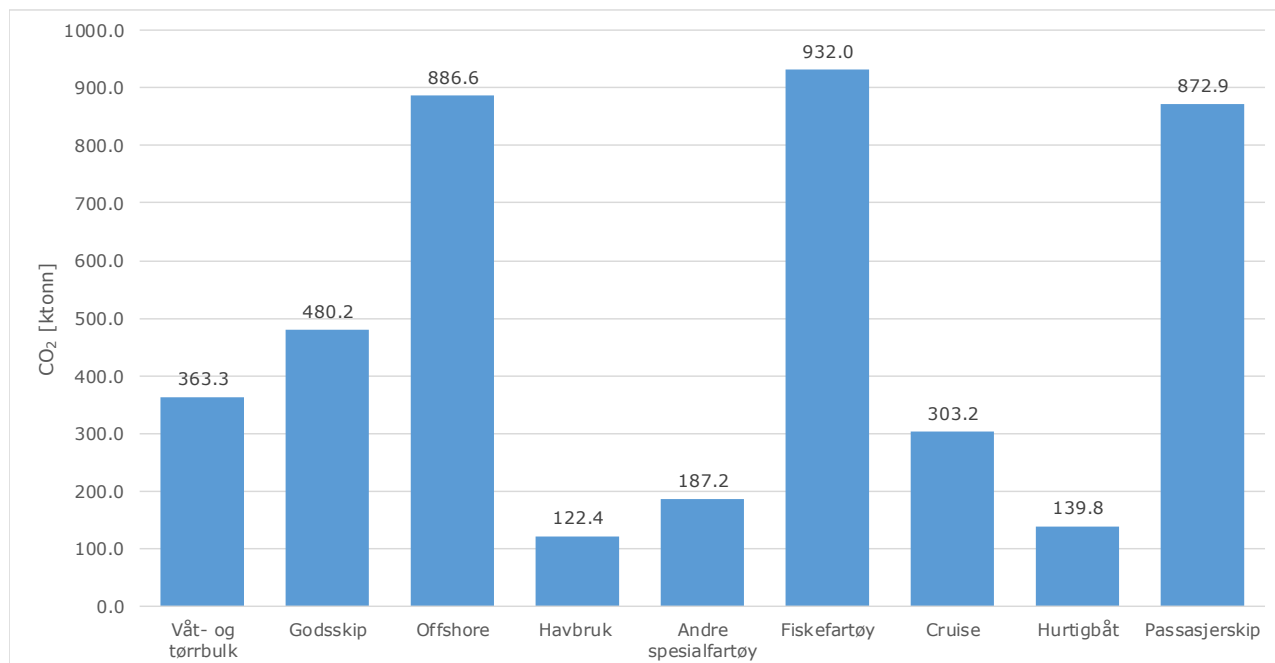


Figur 3: Antall skip i norsk økonomisk sone observert med AIS-data 2018, per fartøyskategori.

Innenriks utslipp er definert som utslipp mellom to destinasjoner i norsk økonomisk sone. Innenriks utslipp av CO₂ til sjøs er beregnet til 4288 kilotonn i 2018. Her er det tatt hensyn til drivstoffet de enkelte skip opererer med. I tillegg kommer utslipp i havn (ca. 510 havner) som utgjorde 1229 kilotonn, men dette utslippet kan ikke i sin helhet tilskrives innenriks fart. Innenriks utslipp til sjøs er presentert etter kategori i Figur 4.

I underlaget til handlingsplanen for grønn skipsfart ble innenriks utslipp i 2017 estimert til 4980 kilotonn, inkludert havneutslipp. På kategorinivå finnes de største forskjellene mellom 2017- og 2018-utslippenene innen fartøyskategoriene fiskefartøy og offshore. Det er knyttet usikkerhet til hvor mye av forskjellene som kommer av reell økning, og av metode- og kategoriseringsforskjeller. Antall skip i norske farvann og innenriks CO₂-utslipp er oppsummert i Appendix B.

I den videre analysen av tiltak vil innenriks utslipp av CO₂ til sjøs (4288 kilotonn i 2018) brukes som referansenivå for alle tiltak utenom landstrøm. For landstrøm vil tiltaket beregnes med utgangspunkt i utslipp i havn (1229 kilotonn).



Figur 4: Innenriks CO₂-utslipp i 2018, per fartøyskategori, basert på AIS (uten havneutslipp).

Innenriks utslipp til sjøs og i havn i 2018 kom fra skip registrert under 71 forskjellige flagg. Tabell 2 gir en oversikt over utslippene fra skip med norsk flagg (NOR og NIS) og skip med andre flagg. Tabellen viser at majoriteten av utslippet skyldes utenlandskflaggede skip.

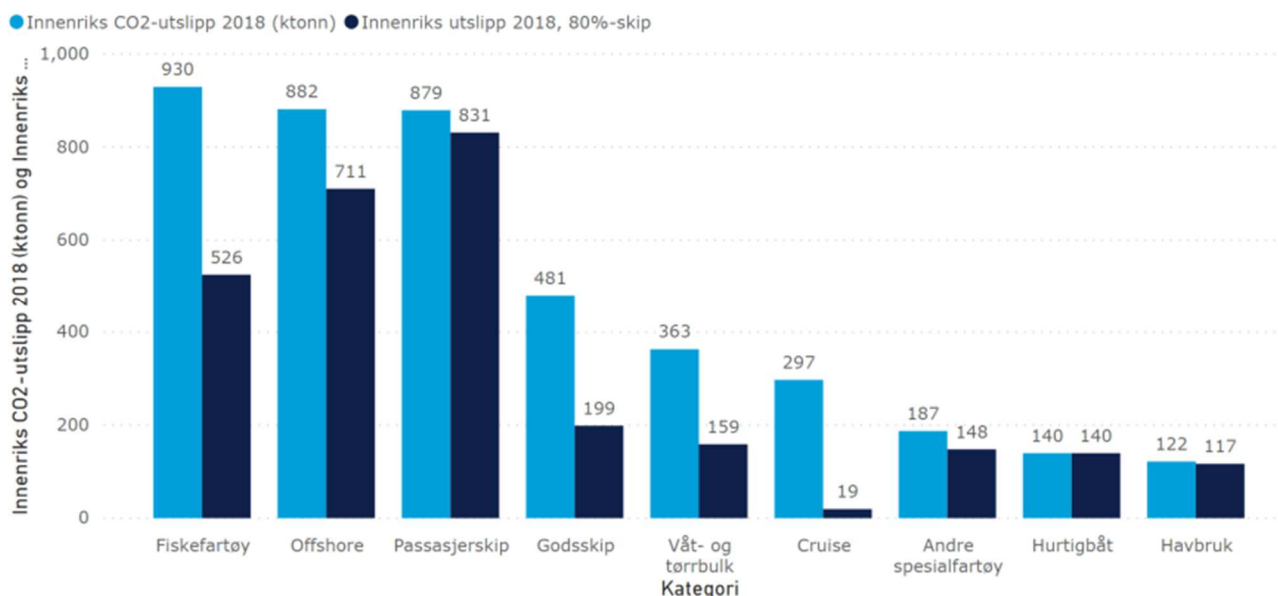
Tabell 2: Utslipp og antall skip i 2018 fordelt på skipets flagg.

	Norsk flagg (NOR/NIS)	Annet flagg	Andel norsk
Utslipp innenriks (ktonn CO₂)	1518	2820	35%
Utslipp havn (ktonn CO₂)	371	901	29%
Antall skip	1137	2529	31%

Tidligere studier har vist at innenriks utslipp har størst bidrag fra et mindre antall skip som tilbringer mesteparten av sin tid i norske farvann gjennom året. Figur 5 viser innenriks utslipp av CO₂ fra skip med mer enn 80% i norske farvann, sammenlignet med de totale utslippene. Ca. 1300 skip er i dette segmentet. Det er tydelig at for mange av segmentene domineres utslippene av de skipene som i hovedsak er i norske farvann igjennom året. Unntakene synes å være fiskefartøy, godsskip, våt- og tørrbolkskip samt cruise- og hurtigbåter. I sum utgjør utslippet fra disse skipene ca. 70% av samlede innenriks utslipp. Dersom vi kun inkluderer skip som er i norske farvann 90 % av tiden eller mer, finner vi at disse står for nær 60 % av samlede innenriks utslipp.

At innenriks utslipp domineres av et fåtall skip gjør det mulig å oppnå god effekt av tiltak på relativt få skip, og med tiltakskostnader som er lavere enn om tiltakene ble satt på skip med svært lave bidrag til

innenriks utslipp. Disse skipene vil også være lettere å påvirke gjennom virkemiddelbruk fra norske myndigheters hold.



Figur 5: Innenriks utslipp fra skip med 80% operasjon i norske farvann, per kategori 2018.

4.2 Referansebane for innenriks CO₂-utslipp mot 2030

Referansebanen beskriver den forventede endringen i utslipp av CO₂ frem mot 2030, gitt at det ikke iverksettes ytterligere tiltak utover det som følger av allerede fattede vedtak. Vi har beregnet referansebanen i to steg. Først beregnes endring i aktivitet for flåten. Derneft modellerer vi innfasing av drivstoff og teknologier som vi vet eller med betydelig grad av sikkerhet antar vil komme. Disse to stegene er nærmere beskrevet i det følgende.

4.2.1 Aktivitetsvekst

Vekst i aktivitet og utslipp er i forrige studie for MDIR (DNV GL, 2018a), såvel som i forutgående studier, basert på prognoser utarbeidet av DNV GL på vegne av Kystverket (DNV GL, 2014a).

Ettersom disse prognosene baserer seg på informasjon som er opp mot 10 år gammel, er det gjennomført en viss oppdatering av forutsetningene i denne studien. Det er ikke utført nye detaljanalyser eller modellering i dette arbeidet, men vekstratene er blitt justert for fartøystyper der vi enkelt har kunnet identifisere nyere informasjon som gir støtte for en oppdatering.

Vurderingene som ligger til grunn for oppdateringene er beskrevet i Appendix A. Tabell 3 nedenfor oppsummerer tidligere benyttede vekstrater (brukt i DNV GL, 2018a) og de nye og justerte vekstratene som er benyttet i denne studien.

Tabell 3: Vekst i aktivitet mellom 2019 og 2030.

Fartøystype	Tidligere benyttet årlig vekstrate (DNV GL, 2018a)	Justert årlig vekstrate, benyttet i denne studien
Lasteskip	2,2%	2,2%
Offshore	-1,6%	-1,6%
Fiskefartøy	-0,4%	-0,25%
Passasjerskip	0,7%	0 %*
Cruise	3,1%	0,8%

*) For ferger justeres aktiviteten på sambandsnivå der vi har kjennskap til vedtatte endringer (se detaljer i Appendix A).

4.2.2 Tiltak i referansebanen

Referansebanen skal ta høyde for drivstoff og teknologier som vil tas i bruk i flåten frem mot 2030 uten bruk av virkemidler utover det som allerede er bestemt. Vi ser to hoveddrivkrefter for slikt tiltaksopptak:

1. Nasjonale offentlige krav og virkemidler, særlig miljøkrav i ferge-/hurtigbåtanbud og for Kystruten Bergen-Kirkenes.
2. Internasjonalt regelverk (utslipps- og energieffektiviseringskrav fra IMO) og kommersielle hensyn (kostnadsreduksjoner).

4.2.2.1 Ferger

Ferger opererer i all hovedsak på kontrakt for det offentlige (statlig eller fylkeskommunalt). Kontraktene har lang løpetid, typisk rundt 10 år. Vi har allerede i dag god kjennskap til teknologiløsningene som vil fases inn i fergesektoren frem mot 2030, gjennom inngåtte kontrakter der vi har informasjon om utfallet (elektrifiseringsgrad, sammensetning av energibærere eller tillatt maksimalt CO₂-utslipp). Disse kontraktene legges til grunn for referansebanen. For de statlige kontraktene på riksveg (i regi av Statens vegvesen) omfatter dette *alle* kontraktene, ettersom nullutslippsløsninger på disse garanteres gjennom statsbudsjettet. For fylkesveg er rundt 30 kontrakter lagt inn i referansebanen.

Vi registrerer at det er politisk vilje og ambisjon om ytterligere implementering av null- og lavutslippsløsninger i denne sektoren, men faktisk implementering vil avhenge av fortsatt investeringsvilje, støtteordninger og en rekke andre hensyn, og er således ikke sikre. Samband som ikke ligger inne med gitt kontrakt i referansebanen, vil analyseres i tiltakspakken for ytterligere reduksjoner (utover referansebanen).

4.2.2.2 Kystruten

Kystruten mellom Bergen og Kirkenes trafikkeres i dag av 11 skip tilhørende Hurtigruten. I ny kontrakt med staten, som gjelder fra 2021 til 2030, deles trafikken mellom skip fra Hurtigruten og Havila Kystruten. I kontrakten mellom disse og staten legges det en øvre begrensning på det tillatte utslippet på hele Kystruten. Det er offentlig kjent at både Hurtigruten og Havila planlegger å imøtekomme dette kravet gjennom bruk av LNG som drivstoff samt energibesparingstiltak, herunder batterihybridisering. I

vår referansebane legger vi disse teknologiene til grunn, og bruker det kontraktsfestede maksimalutslippet som referansebane (162000 tonn CO₂-ekvivalenter pr år).

4.2.2.3 Energieffektiviseringskrav og kommersielle hensyn for øvrige skip

For skip som ikke går på statlige kontrakter, drives opptak av teknologier og drivstoff av regelverk og kommersielle hensyn.

For lasteskip over en gitt størrelse gjelder internasjonale energieffektiviseringskrav (EEDI-krav fra IMO). Vi legger dagens vedtatte krav til grunn for referansebanen. Riktignok vil det trolig komme skjerpede krav fra IMO på bakgrunn av GHG-strategien vedtatt i april 2018, men det er høyst usikkert når og i hvilken form dette vil komme.

For øvrige skipstyper, bruker vi modellen til å applisere energieffektiviseringstiltak dersom disse er bedriftsøkonomisk lønnsomme med en investeringshorisont på 5 år.

For alle fartøy gjelder også skjerpede krav knyttet til utslipp av SO_x og NO_x som vil påvirke valg av løsninger. Kombinasjonen av NO_x tier III-krav i Nordsjøen for nye skip fra 2021, og gjeldende/kommende svovelkrav (0,1 % i Nordsjøen/0,5% globalt fra 2020) legger viktige føringer for teknologi og drivstoffvalg som også påvirker CO₂-utslipp. I hovedsak ser vi dette som en driver for opptak av LNG. Tabell 4 viser antagelse om implementering av LNG i referansebanen som legges til grunn. Antagelsene er løselig basert på ordrebokstatus (DNV GL, 2019a), og en samlet vurdering av teknisk egnethet og kommersielle hensyn for de forskjellige segmentene, også sett i lys av krav og regler. Vi skal huske på at de internasjonale kravene kommer i tillegg til særnorske innretninger som CO₂-avgift, NO_x-avgift og særkrav slik som for eksempel for cruiseskip i verdensarvfjordene. I tillegg foreligger det allerede incentivordninger i Norge for opptak av lavutslippsteknologi, gjennom Enova og NO_x-fondet. En samlet vurdering av slike forhold ligger til grunn for antakelsene i modellen.

Tabell 4: Antatt opptak av LNG i referansebanen, som andel av nybygg pr år i 2020 og 2030. Vi antar lineær vekst for årene imellom.

	2020	2030
Lasteskip	10 %	50 %
Cruiseskip	30 %	70 %
Fiskefartøy	10 %	10 %
Offshore	10 %	50 %
Øvrige segmenter	0 %	0%

4.2.3 Referansebanen i 2030

Tabell 5 viser det resulterende CO₂-utslippet i 2030, sammenlignet med utslippet i 2018. Vi ser at utslippet samlet sett er 9 % lavere i 2030 enn i 2018. Figuren viser også at det er stor variasjon mellom segmentene, fra ca. 20 % vekst for godsskip og havbruksskip, til nær 50 % reduksjon i utslippet fra passasjerskip.

For passasjerskipsegmentet skyldes nedgangen i utslipp i hovedsak innføring av null og lavutslippsskip i fergesektoren (53 skip), samt de nye skipene i Kystrutekontrakten (11 skip), som vist i Tabell 6.

I de andre segmentene er det innføring av LNG som i noen grad senker utslippet, med ca. 400 LNG-drevne skip i 2030. I tillegg kommer energieffektiviseringstiltak.

Tabell 5: Modellberegnet CO₂-utslipp per segment i 2018 og 2030, i referansebanen.

	Innenriks CO ₂ -utslipp 2018 (ktonn)	Innenriks CO ₂ -utslipp 2030 (ktonn)	Endring CO ₂ - utslipp
Andre spesialfartøy	190	170	-7%
Cruise	300	320	8%
Fiskefartøy	930	880	-6%
Godsskip	480	580	20%
Havbruk	120	150	21%
Hurtigbåt	140	140	0%
Offshore	880	790	-10%
Passasjerskip	880	450	-49%
Våt- og tørrbulk	360	410	12%
Totalt	4280	3880	-9%

Tabell 6: Antall skip som utfører innenriks trafikk, inndelt etter drivstoff og segment i 2030, i referansebanen.

	Batterielektrisk ³	HFO+scrubber	Hydrogen	LNG	MGO	Totalt
Andre spesialfartøy	-	-	-	8	262	270
Cruise	-	38	-	40	76	154
Fiskefartøy	-	1	-	-	822	823
Godsskip	-	1	-	213	1012	1226
Havbruk	-	-	-	-	130	130
Hurtigbåt	-	-	-	-	78	79
Offshore	-	-	-	15	268	283
Passasjerskip	53	6	8	24	222	312
Våt- og tørrbulk	-	16	-	129	561	706
Totalt	53	62	8	429	3431	3983

4.3 Tekniske og operasjonelle energieffektiviseringstiltak

DNV GL har en database med energieffektiviseringstiltak tilgjengelig for skip. Denne inkluderer data på kostnader og reduksjonspotensialer for en rekke tekniske og operasjonelle energieffektiviseringstiltak for definerte skipssegmenter. Dataene er basert på litteratur, mer enn 30 prosjekter for enkelte rederi,

³ Batterielektrisk impliserer her ferjedrift hovedsakelig på batterier ladet fra land, men med noe restforbruk av MGO eller HVO, avhengig av gjeldende kontrakt for samband.



rapporterte data fra skip, DNV GLs studier og modelleringsaktiviteter. DNV GL (2018a) og underliggende rapporter beskriver disse tiltakene nærmere.

I denne analysen evaluerer vi ikke energieffektiviseringstiltak (EE) individuelt, ettersom det er vanskelig å ta tilstrekkelig høyde for samspillseffekter og mulige konflikter mellom tiltak. Vi har istedenfor gruppert tiltak i internt konsistente pakker av tiltak som følger:

- **Grunnleggende EE:** Inkluderer optimering av skrog/ror/propell osv, samt andre enkle tiltak for maskineri og lasthåndteringssystemer og avanserte operasjonelle tiltak. Det antas at nybygg, samt alle skip bygget etter 2015 har disse tiltakene installert allerede, selv om det trolig er variasjon mellom skipssegmentene.
- **Forsterket EE:** Denne pakken inkluderer ytterligere tiltak som kan forventes å nå teknisk modenhet innen fem år. Pakken inkluderer alle tiltak fra *Grunnleggende EE – pakken*, samt avanserte tiltak for maskinsystemer (f.eks. batterihybridisering, avansert spillvarmegjenvinning, og optimalisert bruk av hjelpemotorer).
- **Ytterligere forsterket EE:** Denne pakken inkluderer tiltak som kan forventes å nå teknisk modenhet innen ti år. Pakken inkluderer alle tiltak fra *Forsterket EE – pakken*, samt luftbubblesmøring av skrog, og bruk av vindkraft (e.g. seil, eller Flettner-rotor).

Fartsreduksjon er håndtert som egen tiltaksgruppe i Kapittel 4.6. Det er også mulig å redusere energibruk og utslipp gjennom logistikk-tiltak som bedrer flåteutnyttelsen, reduserer transportdistanser, minimerer ventetid, osv. Dette er tiltak der digitalisering fremheves som en muliggjørende teknologi, med potensialer for fremtidige forbedringer. Slike tiltak er ikke inkludert i denne studien.

4.4 Alternative drivstoff og energibærere

I denne studien analyserer vi de drivstoffalternativene (alternativer til konvensjonelt drivstoff) som vurderes mest relevante for bruk i Norge frem mot 2030. Dette inkluderer:

- LNG
- Elektrifisering (helt eller delvis med plug-in hybride løsninger)
- Hydrogen
- Ammoniakk
- Biodiesel (HVO)
- Biogass (LBG)

Med unntak av ammoniakk, er disse tiltakene beskrevet i foregående tiltaksanalyser (jf. for eksempel DNV GL (2018a)), og vi gir følgelig ingen ytterligere beskrivelse av disse i denne rapporten. Ammoniakk beskrives kort nedenfor.

Vi gjør imidlertid oppmerksom på at metoden for vurdering av teknisk-operasjonell egnethet av nullutslippsløsninger er oppdatert i forhold til forutgående studier. Ny metode er beskrevet i Kapittel 4.4.2.

Metoden for modellering av elektrifisering (plug-in hybrid) er også oppdatert. Ny metode er beskrevet i Kapittel 4.4.3.

Anvendte energipriser er beskrevet i Kapittel 4.7.

4.4.1 Ammoniakk

Ammoniakk (NH_3) er et drivstoffalternativ uten utslipp av klimagasser ved bruk ombord, og med mulighet for nullutslipp også i produksjonsfasen. I dag produseres ammoniakk hovedsakelig med naturgass som råvare, men det kan også produseres fra fornybar energi gjennom elektrolyse. Drivstoffet har de siste årene blitt løftet fram som et alternativt drivstoff for skip (f.eks. DNV GL, 2019b; OECD, 2018), men har for så vidt allerede en lang historie som drivstoff. Tidligere anvendelse omfatter blant annet bruk på busser på 1940 tallet⁴.

Ammoniakk kan være et nullutslippsalternativ på linje med hydrogen, men har betydelige fordeler sammenlignet med hydrogen; blant annet er ammoniakk flytende ved høyere temperaturer (-33°C versus -253°C). Ammoniakk er også mer enn 50 % mer energi-tett per volumenhet enn flytende hydrogen, og krever således mindre lagringsplass ombord.

Ammoniakk kan i prinsippet brukes i både forbrenningsmotorer og brenselceller. Det er i dag ingen marine motorer på markedet som kan anvende ammoniakk som drivstoff uten tekniske tilpasninger, men det foregår utviklingsarbeid som innen få år er ventet å gi motorer som kan brenne ammoniakk.⁵ Brenselceller på ammoniakk ligger lengre frem i tid. Blant utfordringene ved bruk av ammoniakk, er forbrenningsegenskapene og utslipp av NO_x . Ammoniakk er giftig og kan også være korrosivt. Det er i dag ingen bunkringsinfrastruktur tilgjengelig for ammoniakk som drivstoff for skip.

Kostnadene knyttet til bruk av ammoniakk ombord antas å være sammenlignbart med bruk av LPG, dvs. at kostnad for motoren er noe høyere enn for tradisjonell dieseldrift, samt merkostnader til lagringstanker. Kostnadene er imidlertid lavere enn for LNG.

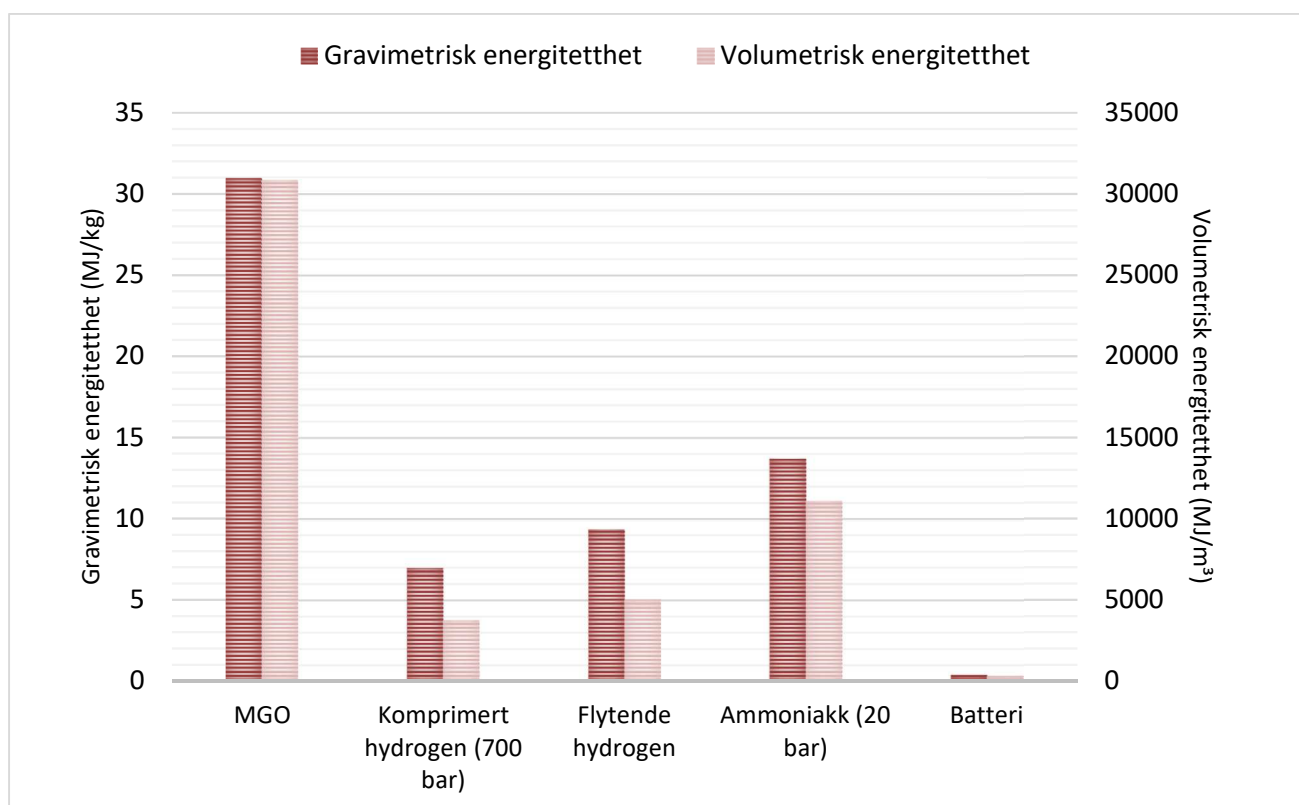
4.4.2 Teknisk-operasjonell egnethet om bord: elektrisitet, hydrogen og ammoniakk

Flere av energibærerne som er aktuelle for å realisere nullutslipp karakteriseres ved lav energitetthet, sammenlignet med konvensjonelt drivstoff (fossil diesel/MGO) og alternativer slik som LNG, LBG og biodiesel. Dette gjelder særskilt for batteri og i stor grad for hydrogen, men også for ammoniakk (DNV GL, 2019b,c). Disse energibærerne har i utgangspunktet lav energitetthet per masse og/eller per volum, og når en i tillegg tar hensyn til systemene som kreves for å lagre og benytte energibærerne om bord på skipet (tanker, forsyningssystem, brenselceller, battericeller), blir energitettheten ytterligere redusert sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, som vist i Figur 6.

Energitettheten for biodiesel, LNG og LBG er ikke vist i Figur 6. Biodiesel har imidlertid omtrent samme energitetthet og lagringsforutsetninger som fossil diesel, mens LNG/LBG har noe lavere volumetrisk energitetthet og trenger derfor større plass om bord sammenlignet med fossil diesel. For disse alternativene vurderes ikke volum og vekt som en begrensende faktor for teknisk egnethet, og de er derfor ikke inkludert i gjennomgangen i dette avsnittet.

⁴ <https://www.agmrc.org/renewable-energy/renewable-energy/ammonia-as-a-transportation-fuel/>

⁵ https://nh3fuelassociation.org/wp-content/uploads/2018/12/0900-Ammonia_vision-Rene-Sejer-Laursen-MAN.pdf

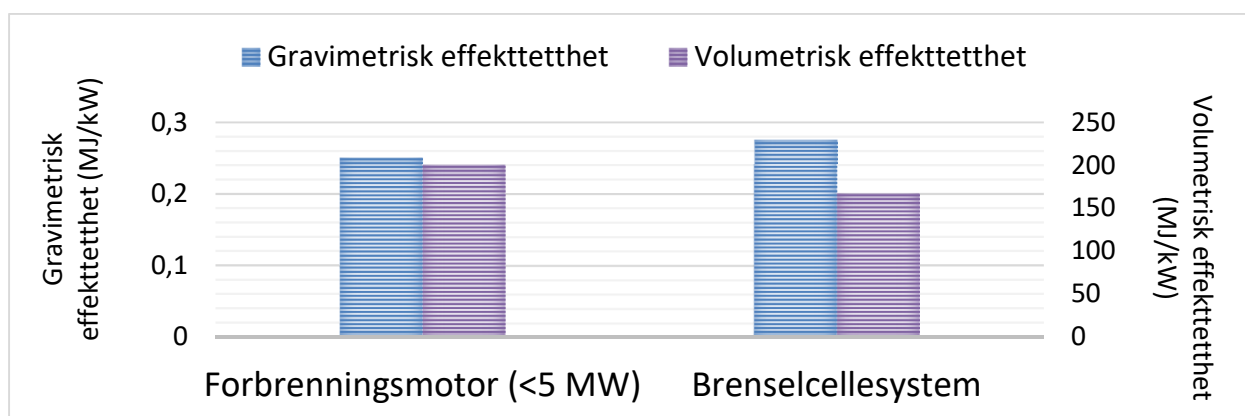


Figur 6: Gravimetrisk (per masse) og volumetrisk (per volum) energitetthet for batteri, hydrogen og ammoniakk, inkludert systemer for lagring og bruk om bord. Energitettheter er basert på data fra b.la. MariGreen (2018) og Sandia (2017).

Den lavere energitettheten til hydrogen, batteri og ammoniakk setter krav til plass- og vektkapasitet om bord for at skipene skal kunne fortsette med operasjon som i dag, men dette varierer selvsagt med energibehov og bunkringsintervaller. Hyppigere bunkring vil som regel være nødvendig for de fleste, sammenliknet med konvensjonelt drivstoff. Avhengig av skipstype, skipsstørrelse og operasjonsprofil (energiforbruk og hyppighet av havneanløp) vil disse alternativene være aktuelt for noen, men uaktuelt for andre.

Også energiomformere (maskineri med tilhørende systemer) krever plass- og vektkapasitet. Forskjellen mellom forbrenningsmotor og brenselcelle er vist i Figur 7. Angitte effekttettheter er basert på en litteraturstudie utført av SANDIA (2017), der det rapporteres at forbrenningsmotorer og brenselceller har forskjellige effekttettheter avhengig av størrelse og design. Brenselcellesystemer har typisk lavere installert effekt per volumenhet sammenliknet med konvensjonelle forbrenningsmotorer (under 5 MW i installert effekt). Effekttettheter i Figur 7 er basert på forbrenningsmotorer med under 5 MW i installert effekt, samt brenselcellesystemet Hydrogenics HD 180, med en installert effekt på 198 kW. Det bemerkes imidlertid at det rapporteres om forbedret effekttetthet for nye og innovative brenselcellekonsepter⁶.

⁶ <https://www.powercell.se/wordpress/wp-content/uploads/2018/12/powercell-ms100-datasheet-pdf.pdf>



Figur 7: Typisk gravimetrisk og volumetrisk effekttetthet for forbrenningsmotorer og brenselceller.

For å analysere i hvilken grad ulike drivstoffalternativer er anvendelige for referanseskipene i denne studien, benytter vi en prosedyre som vist i

Figur 8. Metoden er den samme som ble benyttet av DNV GL (2019e). De to stegene som inngår i prosedyren beskrives kort nedenfor. Merk at tilnærmingen kun anvendes på skip med mer enn 80 % av tiden gjennom året i norske farvann. Metoden anvendes heller ikke for ferger, hurtigbåter og skip på kystruta. For skip med mindre tid i norske farvann, vurderer vi det slik at det tekniske mulighetsrommet for drift på nullutslippsløsningene batteri, hydrogen og ammoniakk er svært begrenset. Slike løsninger er med andre ord ikke modellert for skip med under 80% av operasjonstiden gjennom året i norske farvann.

Steg 1: Dimensjonerende energibehov for skipet

Basert på AIS-data har vi detaljert informasjon om hver skipsbevegelse i 2018 i norske farvann, og beregner utseilt distanse og drivstofforbruk mellom hvert datapunkt. I tillegg har vi informasjon om hvilke havner skipene anløper, og når de anløper disse. Dermed kan vi estimere energiforbruket mellom havneanløp; *energiforbruk per tur*. Turene vil variere i distanse, varighet, fart og dermed energiforbruk. Vi velger et energibehov som er tilstrekkelig for å dekke 95% av alle turer for enkeltskip; dette blir da den *dimensjonerende energimengde*, altså den mengden energi som må kunne lagres av tankene/batteriet om bord.

Vi foretar med dette ingen direkte vurdering av hvor eller hvor ofte skipene bunkrer, men sikrer med tilnærmingen at energilagringen om bord er tilstrekkelig for gjennomføring av flere kortere turer uten å måtte bunkre. Hvor ofte hvert skip må bunkre avhenger av hvordan energiforbruket varierer mellom ulike turer.

Basert på den beregnede *dimensjonerende energimengden* for det enkelte skip, regner vi ut hvor mye dette tilsvarer i mengde hydrogen, ammoniakk og batterikapasitet, ved å ta hensyn til de ulike energibærernes energiinnhold, fremdriftssystemenes virkningsgrad, og valg av fremdriftssystem. Denne energimengden tas så videre i evalueringen av teknisk egnethet for skipet i steg 2.

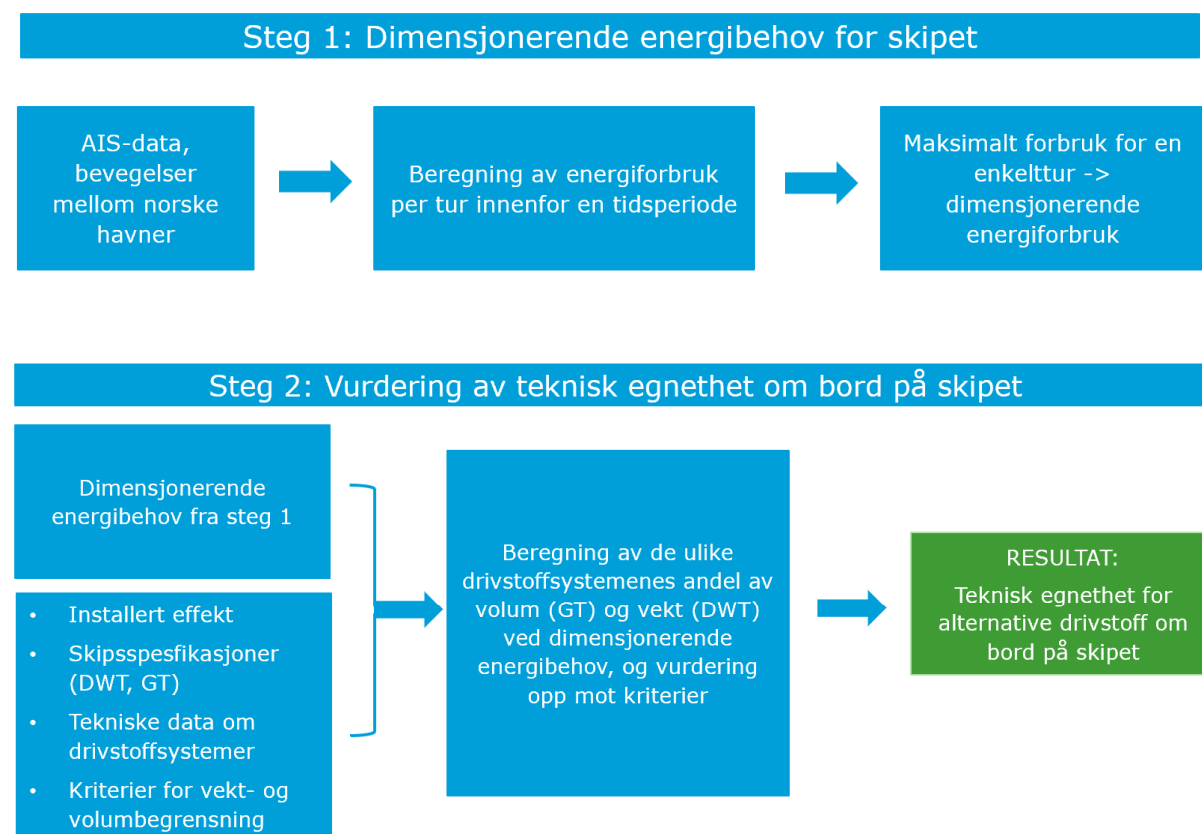
Steg 2: Vurdering av teknisk egnethet om bord på skipet

Bruttotonn (GT) og dødvekttonn (DWT) er mål på henholdsvis et skips interne volum og lastekapasitet (i tonn). Disse to målene blir brukt i modellen for å sette tekniske kriterier med tanke på vekt og volum ved hvert tiltak. Prinsippet er at skipene ikke kan anvende en nullutslippsløsning som forutsetter energilagring ombord utover en gitt andel av GT eller DWT.

Ved bruk av MGO finner vi at et typisk masse- og volumopptak (målt i tonn og kubikkmeter fra framdriftsmaskineri og drivstoff lagringssystem) som utgjør omkring 1-2 % av både DWT og GT for lasteskip – selv om det finnes betydelig variasjon. Med bakgrunn i dette ble tekniske kriterier for bruk av nullutslippsteknologi satt til maksimalt 5 % av DWT og 5 % av GT for lasteskip, og noe høyere for andre skipstyper. Merk at egnetheten av tiltaket er sensitivt for valg av denne parameteren, som vist i DNV GL (2019e) for lasteskip. Spesielt for hydrogen (flytende), hydrogen (komprimert) og til en mindre grad ammoniakk, øker andelen lasteskip som oppfyller tekniske krav betraktelig dersom man tillater et høyere vekt- og volumopptak.

De tekniske kriteriene innebærer at de fleste skip maksimalt kan bruke rundt 3 ganger så mye volum og masse på framdriftsmaskineri og drivstofflagring til sammen, som et alternativ der konvensjonelt drivstoff (MGO) blir brukt. Dette vil kunne påvirke muligheten for å ta last, og dermed påvirke lønnsomheten. Slike forhold er ikke vurdert i dette studiet.

Merk at tiltakene fartsreduksjon (Kapittel 4.6) og energieffektivisering (Kapittel 4.3) direkte påvirker egnetheten for nullutslippsløsningene, gjennom at lavere fart minker det dimensjonerende energibehovet. Ved lav fart er det med andre ord flere skip som kan benytte seg av alternativt drivstoff. Det samme vil gjelde for energieffektiviseringstiltak.



Figur 8: Skjematisk oversikt over prosedyre for analyse av teknisk-operasjonelle egnethet for nullutslippsteknologier om bord på enkeltskip.

4.4.3 Delelektrifisering (plug-in hybrid)

Plug in-hybride skip er skip som driftes delvis med batterier ladet fra land, i kombinasjon med en forbrenningsmotor. Dette reduserer utslipp av klimagasser, NOx og andre utslipp i et omfang som vil være avhengig av andelen elektrisk drift. Plug in-hybridisering er mulig både for nybygg og ved ombygging av eksisterende skip. Elektrifiseringen i den norske fergesektoren anvender i all hovedsak plug-in hybride løsninger, med høy (opp mot 100%) elektrifiseringsgrad.

Skip vil ha vesentlig varierende forutsetninger for delelektrifisering. For å modellere rammene for effekten av tiltaket beregner vi hvor mye plass/vekt som er tilgjengelig for batterier om bord, i tillegg til konvensjonelt fremdriftssystem og tank (dette blir da den øvre fysiske beskrankningen). Denne bestemmes på samme måte som for alternative drivstoff beskrevet i Kapittel 4.4.2. Den maksimale utslippsreduksjonen fra tiltaket oppnås dersom all tilgjengelig plass/vekt utnyttes.

Imidlertid vil investeringskostnaden direkte avhenge av batteriets størrelse, og økonomien i tiltaket avhenger av at investeringen kan tilbakebetales dersom strømprisen er lavere enn dieselpriisen. På grunn av den relativt høye investeringskostnaden kan det være hensiktsmessig å begrense batteriets størrelse, slik at økonomien i tiltaket bedres, på bekostning av utslippsreduksjonen. Vi modellerer derfor forskjellige grader av utnyttelse av den tilgjengelige plassen;

- Full utnyttelse (100 % av tilgjengelig plass til alternativ fremdriftsteknologi)
- Moderat utnyttelse (40 % av tilgjengelig plass til alternativ fremdriftsteknologi)

Hybridiseringsgraden, definert som andelen av årlig energibruk som dekkes av elektrisk energi fra batteri ladet fra land, vil være en funksjon av batteristørrelsen og energibehovet for det enkelte skip – inkludert fordelingen av energibehovet på enkeltturen (overfart mellom to havner). Hyppige havneanløp med mulighet for lading vil øke hybridiseringsgraden. For å bestemme hybridiseringsgrad for en gitt batteristørrelse for en tur, beregnes energibehovet for alle turen og hvor stor andel av dette behovet som kan dekkes av batterikapasiteten. Turene vil variere i energibehov, og hybridiseringsgraden estimeres ved å gå gjennom alle de årlige AIS-registrerte turene og beregne total andel elektrisk energiforbruk. Hvert enkeltskip i modellen har dermed en gitt maksimal teknisk mulig hybridiseringsgrad. Det er ikke gjort noen beregninger av ladeeffekter ved plug in-hybridisering. Mange av ferjene som driftes elektrisk har høye ladeeffekter (på det høyeste opp mot 10 MW) på grunn av kort tid til lading. Andre skip som plug in-hybridiseres vil imidlertid på grunn av lengre oppholdstid i havn kunne klare seg med betydelig lavere ladeeffekter. Effekten til lading kommer i tillegg til nødvendig effekt til å dekke havnebehov, omtalt i neste kapittel.

4.5 Landstrøm

Skip som ligger i havn benytter som regel dieseldrevne generatorer for å dekke nødvendig energibehov. Dette bidrar - i tillegg til klimagassutslipp - til lokal forurensning og støy. Landstrøm er imidlertid et utslippsfritt alternativ som benyttes der dette er tilgjengelig med tilstrekkelig kapasitet.

Landstrøm kan også benyttes til lading av batteribanker om bord, og på denne måten muliggjøre bunkring av strøm for annen operasjon enn havneligge. Dette vil normalt kreve andre kapasiteter både om bord og på land. Dette er imidlertid ikke inkludert i tiltaket *landstrøm* i denne studien.

Kostnader ombord

DNV GL (2015b) analyserte investeringskostnader knyttet til landstrømsystemer på land og om bord på skipene. I tillegg rapporterer WPCI (2015) et typisk forhold mellom investeringskostnader for nybygg og retrofit for å muliggjøre overgang til landstrøm ved havneligge. Dette legges til grunn for vår modellering.

For kostnader knyttet til bruk benyttes elektrisitetspris som gitt i Kapittel 4.7. I tråd med prinsippene for modellering av øvrige tiltak, inkluderes ikke kostnader for infrastruktur.

Effekt på utslipp

Effekten av å koble et skip til landstrøm er 100 % kutt i alle utslipp, så lenge skipet er tilkoblet. Effekten betinger nødvendigvis at et skip har utstyr ombord til å benytte landstrøm uten at det går utover driftssikkerhet om bord, samt at utstyret faktisk kan anvendes i de havnene skipet trafikkerer. Det er ikke gitt at en havn med anlegg for landstrøm, har tilstrekkelig kapasitet til å levere effektbehovet til alle typer skip, med varierende krav til strømforsyning. Skipets effektbehov og krav til strømkvalitet varierer ikke bare mellom skipstyper, men også mellom ulike operasjonelle situasjoner (lasting, lossing, venteligge, opplag osv.).

Selv om det finnes landstrømanlegg flere steder i Norge, har det frem til nå ikke vært bygget ut kapasitet for en reell overgang til landstrøm for de fleste. Enova har imidlertid siden 2016 gjennomført et stortilt støtteprogram for bygging av landstrømanlegg i norske havner, der havnene kan få dekket en stor del av kostnadene (helt opp til 90%). Dette har gitt en betydelig økning i antall landstrømanlegg de senere årene. DNV GL (2019d) identifiserer totalt 52 havner med landstrømanlegg som er ferdigstilt, under oppføring eller planlagte/finansierte. Det er stor variasjon i antall uttak, effekt, spenning osv. for hver enkelt havn, men det er stort sett lavspenning med spenning opp til 690V og effekt under 1 MW.

For å bestemme i hvilken grad skip med utstyr for landstrøm kan benytte seg av landstrøm i forskjellige havner, er det for dette studiet antatt en tilgjengelighetsfaktor (T) for ulike skipstyper i norske havner. Denne faktoren er definert (for ulike fartøysgrupper) som drivstofforbruket i havner med landstrømanlegg (bygd til internasjonal standard IEC/ISO/IEEE 80005-1/2/3) delt på totalt drivstofforbruk i norske havner. DNV GL's studie (2015b) gir årlig drivstofforbruk i havner der vi vet at landstrøm er tilgjengelig. I tillegg kan AIS-data benyttes til å estimere det totale drivstofforbruket i alle havner. Disse to kildene er blitt benyttet for å beregne en tilgjengelighetsfaktor på ca. 0,25, som gjelder alle skip som anløper norske havner. Det er viktig å merke seg at det kun vurderes skip som er av en størrelse og som krever landstrømsystemer utover det man kan betjene kun med en helt standard kobling (slik stort sett alle skip har) til det vanlige strømnettet (220/230 V). 0,25 anses å være et optimistisk anslag i og med at det ikke er hensyntatt samtidighet og tilgjengelighet i havn. Derfor er det valgt å justere dette tallet til et mer konservativt anslag 0,15.

Tilgjengelighetsfaktoren vil variere mellom ulike fartøystyper, ikke minst fordi ulike fartøystyper anløper ulike havner med ulik grad av landstrømutbygging. I modellen er det lagt til grunn justerte tilgjengelighetsfaktorer for hver skipstype, basert på en kvalitativ vurdering av faktisk tilgang ut ifra kunnskapen vi har om utbygde anlegg, og det registrerte omfanget av havneligge for ulike fartøystyper i forskjellige havner. Merk at dette kun er en grov approksimasjon.

Vi forutsetter videre at tilgjengelighetsfaktoren øker lineært til 100 % i 2030, som følge av utbygging. Dette er i tråd med antagelser for alternative drivstoff, der vi legger til grunn at infrastruktur gjøres tilgjengelig. Merk at vi ikke inkluderer elektrifisering av ferger og hurtigbåter som en del av dette tiltaket.

4.6 Fartsreduksjon

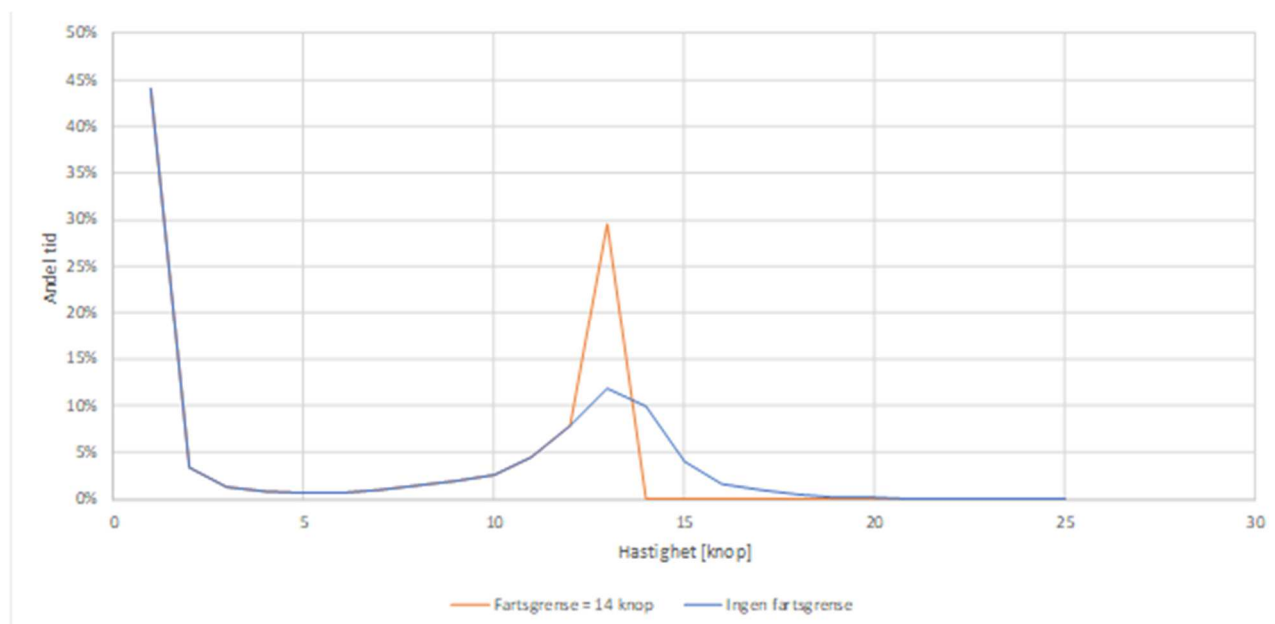
Som en tommelfingerregel kan man legge til grunn at drivstofforbruket for et skip er proporsjonalt med hastighet i tredje potens, som betyr at en hastighetsreduksjon på 10% gir 27% reduksjon i drivstofforbruk og utslipp (fra hovedmotor). Korrigert for økt transittid ved lavere hastighet er besparelsen 19%, og hastighetsreduksjon representerer dermed et betydelig potensiale som energibesparende tiltak. Nedenfor beskrives effekten av fartsreduksjon på klimagassutslipp slik det er modellert i denne studien, samt kostnadene knyttet til tiltaket. Fartsreduksjon er et meget komplekst

tiltak, både når det gjelder praktisk gjennomføring med tanke på hvordan det påvirker operasjon, erstatning av tapt transportkapasitet og - i siste instans – faktisk reduserte utslipp. Modellen legger til grunn en svært forenklet tilnærming for å angi reduksjonspotensiale, uten å gå nærmere inn på praktisk egnethet og detaljerte vurderinger av ulike typer følgeeffekter av fartsreduksjon.

4.6.1 Effekt på utslipp

Fartsreduksjon som tiltak kan komme på plass på ulike måter, for eksempel ved spesifikke fartsgrenser (overvåket f.eks. gjennom AIS), energieffektiviseringskrav, utslippsprising eller økonomiske incentiver som for eksempel gjennomført i California (Ahl, C et al, 2017).

Effekten av hastighetsreduksjon analyseres i denne studien ved å simulere *implementering av fartsgrenser*. I modellen vil en fartsgrense innebære at all registrert aktivitet i hastigheter høyere enn grensen nedjusteres til fartsgrensen, og en ny gjennomsnittshastighet beregnes basert på den justerte hastighetsprofilen. Hastighetsprofil med og uten fartsgrense er eksemplifisert i Figur 9. Deretter vil utslippsreduksjonene beregnes basert på reduksjonsfaktorer, gitt forskjellen på original og justert gjennomsnittshastighet. Disse reduksjonsfaktorene stammer fra analyse av rapportert forbruk ved ulike gjennomsnittshastigheter i noon-rapporter fra skip (24-timersintervaller). Metoden kan derfor underestimere utslippsreduksjonene noe, ettersom det er usikkert om gjennomsnittstilnærmingen fanger opp hele effekten av den eksponentielle sammenhengen mellom fart og utslipp.



Figur 9: Illustrativ hastighetsprofil med og uten fartsgrense.

Utslippsreduksjonspotensialet er beregnet ved å analysere CO₂-utslippene under ulike eksemplifiserte fartsgrenseregimer:

- 1) Flat 12-knopsgrænse for alle kategorier og størrelser.
- 2) Skip som driver persontransport (passasjerskip unntatt cruise), eller er spesielt utsatt for konkurranse fra veitransport (små godsskip) er unntatt fartsgrense. 12-knopsgrænse gjelder for resterende fartøy.
- 3) De samme skipene som i 2) er unntatt, men resterende fartøy er underlagt 10-knopsgrænse.

Tabell 7: Reduksjon i CO₂-utslipp i 2030, gitt ulike eksemplifiserte fartsgrenseregimer.

Fartsgrenseregime	Reduksjon totalt	Reduksjon utvalg
1) Alle skip, 12 knop	8,65% (335,5 ktonn CO ₂)	-
2) Utvalg*, 12 knop	4,5% (174,4 ktonn CO ₂)	6,1% (174,4 ktonn CO ₂)
3) Utvalg*, 10 knop	7,2% (279,9 ktonn CO ₂)	9,8% (279,9 ktonn CO ₂)

**Utvalget består av alle bortsett fra persontransport og kystgodsfartøy (under 5000 GT).*

Merk at modellen ikke vil erstatte tapt transportarbeidsbehov som oppstår som følge av lavere hastigheter, for eksempel at ny tonnasje må settes inn. Små og moderate fartsreduksjoner vil ikke nødvendigvis føre til flere nybygg, det vil heller kunne være snakk om operasjonelle og logistiske tilpasninger som kan demme opp for tapt transportkapasitet. For eksempel er det naturlig å anta at en fartsgrense ikke nødvendigvis vil ta ned gjennomsnittsfarten så mye, ved at skipene vil seile med jevnere hastighet (færre timer ved lav hastighet). Dette vil fortsatt ta ned utslippene, grunnet tredjepotens-forholdet mellom hastighet og drivstofforbruk. Igjen, denne typen vurderinger er kompliserte og ikke del av denne rapporten.

4.6.2 Kostnader ved hastighetsreduksjon

Hastighetsreduksjon som tiltak har et komplekst kostnadsbilde. Kostnadene vil variere avhengig av bl.a. skipstype og operasjonsmønster. Kostnaden vil også variere avhengig av om det vurderes fra et bedriftsøkonomisk eller samfunnsøkonomisk perspektiv. Eksempelvis må ikke en reder nødvendigvis opprettholde transportarbeidet. Transportarbeidsbehovet til samfunnet som helhet må derimot fortsatt møtes, og det vil dermed kunne oppstå kostnader uten tydelig bedriftsøkonomisk allokering.

Tiltaket er analysert i en rekke tidligere studier (f. eks. Lindstad og Eskeland (2015), DNV GL (2017c) og DNV GL (2018d)), og basert på dette gir vi nedenfor en kort gjennomgang av de viktigste kostnadskomponentene, uten å detaljere skille mellom det samfunnsøkonomiske og det bedriftsøkonomiske. Det vil i noen grad være overlapp og interaksjon mellom de forskjellige momentene som diskuteres. Merk at kostnadskomponentene diskutert nedenfor ikke er inkludert i modelleringen av tiltaket i denne rapporten. Imidlertid gis det en overordnet vurdering av kostnadsbildet for tiltaket basert på disse komponentene i slutten av kapittelet.

Seilas- og operasjonskostnader

Den mest åpenbare økonomiske konsekvensen er knyttet til kostnaden av drivstoff, som vil reduseres proporsjonalt med forbruket. Drivstoffkostnader kan utgjøre i størrelsesorden 50% av de totale seilas- og operasjonskostnadene til et skip, og synliggjør dermed en betydelig økonomisk gevinst ved hastighetsreduksjon. Samtidig vil ikke energibehovet til hjelpemotorene påvirkes av hastighet, og dette drivstofforbruket vil øke lineært med tid på sjøen. Lengre seilingstid for å utføre det samme transportarbeidet vil også medføre økte operasjonskostnader knyttet til mannskap, forsikring og vedlikehold.

Kapital- og varekostnader

I tillegg til seilas- og operasjonskostnader vil de totale kapitalkostnadene for skip påvirkes ved hastighetsreduksjon, ettersom nye skip må bygges og finansieres for å ta igjen tapt transportarbeid. Varekostnaden vil også øke, ettersom kapital bindes opp som last ombord på skipene over en lengre periode.

Inntjening

Inntjening er en annen faktor som kan påvirkes av hastighetsreduksjon, og vil være nært knyttet til ulike kostnadskomponenter. Redusert transportarbeid vil nødvendigvis lede til redusert inntjening for det enkelte skip, men også i tilfeller hvor transportarbeidet holdes uendret kan inntjeningen minke. Denne effekten avhenger av lastens verdi og hvor tidskritisk transporten er. Eksempelvis kan lasteeiers økte varekostnad som følge av økt seilastid overføres til reder i form av lavere fraktrater. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv kan det derfor argumenteres for at redusert inntjening i mange tilfeller kan anses som en refleksjon av andre kostnadskomponenter, og dermed en effekt som kan holdes utenfor kostnadsestimatene.

Indirekte kostnader

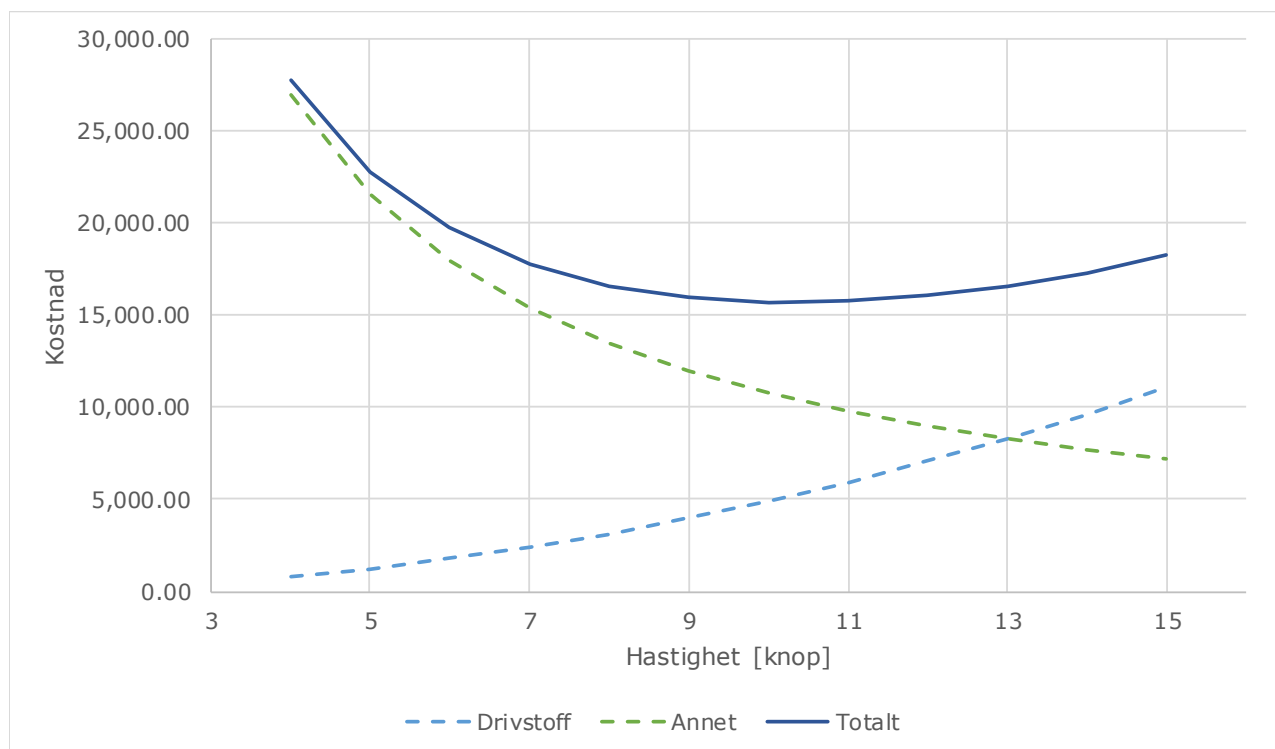
Det finnes også andre potensielle kostnader knyttet til fartsreduksjon, som er vanskeligere å tallfeste enn de som er nevnt over. Ett slikt eksempel er knyttet til konkurransen mellom sjøtransport og veitransport. For noen skipssegmenter, f.eks. mindre stykkgodsskip i kystfart, vil en reduksjon i fart føre til lengre transporttid sammenlignet med veitransport, og økt sannsynlighet for tapte markedsandeler. For andre segmenter, slik som ferger og passasjerskip i rutetrafikk, vil fartsreduksjon føre til behov for justering av rutetilbud og potensielt tappt attraktivitet.

Logistikkoptimering

Logistikkoptimalisering er potensielt et kraftig redskap i kombinasjon med hastighetsreduksjon, og kan styrke lønnsomheten i tiltaket betydelig. AIS-analyser av den globale handelsflåten i 2017 (DNV GL, 2018c), viste at mindre skipstyper (under 10 000 GT) lå i ro mellom 45% og 70% av tiden. En del av dette kommer av at skipene kommer tidlig frem til destinasjonen, og blir liggende å vente på tur. Dermed finnes det et teoretisk potensiale for hastighetsreduksjon uten at den totale seilastiden nødvendigvis øker, om man ved logistikkoptimering kan redusere ventetid i havn. Dette vil redusere kostnadene som øker ved lavere hastighet, for eksempel kostnader knyttet til mannskap, vedlikehold og forsikring, samt kapitalkostnader for både skip og last. Det er imidlertid uklart hvordan dette forholder seg i norske farvann, men mønstrene avviker trolig betydelig fra den globale flåten.

Samlet vurdering av tiltakskostnad ved hastighetsreduksjon

Samlet sett kan en forenklet si at kostnadskomponentene relatert til hastighetsreduksjon sorteres under to kategorier; drivstoffkostnader og andre kostnader. Drivstoffkostnadene følger en eksponentiell funksjon av hastighet, mens de andre kostnadene vil variere proporsjonalt med seilastid. Dette innebærer at de totale kostnadene kun vil reduseres med hastighetsreduksjon til et visst nivå, ettersom drivstoffkostnadene vil utgjøre en stadig mindre andel av totalen ved lavere hastigheter. Denne effekten er illustrert i Figur 10, som viser at de totale kostnadene reduseres ned til ca. 10 knop, før de øker ved ytterligere hastighetsreduksjon.



Figur 10: Illustrasjon av kostnadskomponenter som funksjon av hastighet (kostnadsaksen er indikativ og har ingen enhet).

Til tross for at forholdet mellom hastighets- og kostnadsreduksjon vil variere betydelig avhengig av opprinnelig snitthastighet, skipskarakteristikk og drivstoffpris, vil moderate hastighetsreduksjoner i de fleste tilfeller ha en liten kostnad.

Til tross for at vi her ikke tallfester indirekte kostnader ved hastighetsreduksjon, kan det likevel antas at tiltakskostnaden for moderate fartsgrenser som vist i Tabell 7 vil havne i Miljødirektoratets laveste kostnadskategori, under 500 kr/tonn CO₂-ekvivalent.

4.7 Drivstoffpriser

Alle prisprognoser brukt som input til modellen er gitt fra Miljødirektoratet (2019), med unntak av flytende hydrogen og ammoniakk. Basert på pris for komprimert hydrogen gitt av Miljødirektoratet, og en kartlegging⁷ av karakteristiske forhold mellom ammoniakk- og hydrogenpris (flytende og komprimert), har vi estimert prisen også på ammoniakk og flytende hydrogen.

Merk at kostnader for utbygging av drivstoff- og ladeinfrastruktur i havn ikke er eksplisitt beregnet i denne rapporten. Kostnadene for infrastruktur er implisitt inkludert gjennom prisen for drivstoff og strøm levert til skipet. DNV GL har i en studie for Kystverket tallfestet de spesifikke kostnadene knyttet til infrastruktur i havn, for landstrøm, ladestrøm, biodiesel og LNG (DNV GL, 2016c). I denne rapporten finnes det også en beskrivelse av bunkringsinfrastrukturen i dag.

Tabell 8 og Tabell 9 gir prisestimer for drivstoff og strøm til skip fram mot 2030.

⁷ Internt DNV GL litteraturstudie for kartlegging av endelig pris på hydrogen (komprimert og flytende), samt ammoniakk.

Tabell 8: Drivstoffpriser i samfunnsøkonomisk analyse (dvs. uten avgifter og mva). Priser er gitt i NOK pr. tonn drivstoff eller NOK pr. kWh (strøm).

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
H₂ (350 bar)	52000	51270	50550	49820	49090	48360	47640	46910	46180	45450	44730	44000
H₂ flyten de	61880	61011	60155	59286	58417	57548	56692	55823	54954	54086	53229	52360
NH₃ (20 bar)	8608	8487	8368	8247	8126	8006	7886	7765	7645	7524	7405	7284
MGO	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302	5302
LNG	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412	6412
LBG	14618	14853	15088	15324	15574	15824	16074	16324	16588	16853	17118	17382
Biodie sel	14026	14128	14385	14615	14769	15192	15423	15654	15897	16038	16167	16308
Strøm⁸	0,50	0,50	0,50	0,57	0,59	0,60	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,57

Tabell 9: Drivstoffpriser i bedriftsøkonomisk analyse (dvs. inkludert avgifter, men uten mva). Priser er gitt i NOK pr. tonn drivstoff eller NOK pr. kWh (strøm) og er antatt konstante fra og med 2030.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
H₂ (350 bar)	65000	64090	63180	62270	61360	60450	59550	58640	57730	56820	55910	55000
H₂ flyten de	77350	76267	75184	74101	73018	71936	70865	69782	68699	67616	66533	65450
NH₃ (20 bar)	10760	10609	10459	10308	10158	10007	9858	9707	9557	9406	9255	9105
MGO	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852	8852
LNG	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912	7912
LBG	14618	14853	15088	15324	15574	15824	16074	16324	16588	16853	17118	17382
Biodie sel	14026	14128	14385	14615	14769	15192	15423	15654	15897	16038	16167	16308
Strøm⁹	0,51	0,51	0,50	0,58	0,59	0,61	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58

⁸ Nettleiekomponent av strømpris er redusert med 50%.

⁹

Merk at det er stor usikkerhet knyttet til fremtidig pris på alternative drivstoffer. Flere av alternativene slik som for eksempel ammoniakk og hydrogen er ikke i bruk i dag, og det vil derfor knytte seg spesielt mye usikkerhet til fremtidige priser for disse. Tiltakskostnaden for disse alternativene er også sensitiv for endring i drivstoffpris. Dette ble analysert bl.a. av DNV GL (2019e), der drivstoffprisene ble endret med +/- 20% for å undersøke sensitiviteten på tiltakskostnaden for lasteskip. For biodiesel, ammoniakk, flytende biogass og hydrogen med gassmotor (flytende eller komprimert hydrogen), fant studien at en 20 % økning i drivstoffpris gav mellom 23 % og 46 % økning i tiltakskostnadene. På samme måte ble det vist at lavere drivstoffpris gav lavere tiltakskostnad. Også DNV GL (2018a) analyserte sensitiviteten knyttet til drivstoffpris.

Vi bemerker forøvrig at drivstoffprisene som anvendes her er vesentlig endret fra foregående tiltaksstudie (DNV GL, 2018a);

- MGO er betydelig dyrere (37%)
- Strøm noe dyrere (7%)
- Hydrogen omtrent uendret i dag, men med mye svakere prisreduksjon over perioden
- LNG noe dyrere (17%)
- Biodiesel mye dyrere (55%)
- LGB mye dyrere (200%).

4.8 Utslippsfaktorer for NOx

I de samfunnsøkonomiske beregningene av tiltakskostnad inngår endring i skadekostnad relatert til det enkelte tiltak. Disse skadekostnadene skyldes utslipp av NOx, SOx, og PM, samt andre faktorer som vanskelig lar seg tallfeste (inkludert støy). I denne studien inkluderer vi kun skadekostnadene knyttet til utslipp av NOx, ettersom DNV GL (2015a) tydelig demonstrerte at denne kostnaden langt overstiger de andre faktorene.

Drivstoffene som modelleres i denne studien er tilordnet forskjellige utslippsfaktorer for NOx, avhengig av forbrenningsegenskaper og antatt typisk motorteknologi for det gitte drivstoffet. Premisset bak gitte NOx-utslippsfaktorer er at hvert skip opererer slik at IMO-reglementet (utslippsgrenser iht. Tier I, II og III) akkurat er overholdt. Selv om NOx Tier III utslippskrav ikke er bindende i alle norske farvann, antas dette kravet i praksis overholdt langs hele norskekysten for nye skip etter 2021. Videre vil aktører fra 2025 måtte betale full avgift¹⁰ på utslipp av NOx, som gir ytterligere insentiv til å minimere utslippene. Utslippskravet i henhold til IMOs Tier-grenser vil være avhengig av turtall på framdriftsmaskineri, og således variere mellom skipene i flåten. Vi anvender imidlertid en flat utslippsfaktor på 2,5 g NOx/kWh som en forenkling for tier III. Dette fører til at skip med saktegående forbrenningsmotorer (typisk med HFO som drivstoff i dag) har et lavere NOx utslipp i modellen enn det Tier III regulering tillater, og motorer med høyere turtall for eksempel hurtigbåter, ferger eller offshorefartøy får et høyere utslipp i modellen.

For eksisterende skip i flåten angis et NOx-utslipp som korresponderer med gjeldende krav iht. byggeår (tier II fra 2011 og Tier I fra 2001).

Nettleiekomponent av strømpris er redusert med 50%.

¹⁰ <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/nox/>

Merk at modellen ikke opererer med kjølstrekkingsår (som regelverket refererer til), men leveranseår – som er det vi har lett tilgjengelig informasjon om. Dette medfører at vi i modellen tilordner en gitt Tier-grense tidligere enn det som egentlig vil være påkrevet, og på denne måten vil modellen i overgangsperioden mellom ulike tier-krav inkludere noen flere skip i de strengere krav-kategoriene enn det som faktisk vil være tilfellet.

5 BARRIERER KNYTTET TIL INNFORING AV TILTAK

For at tiltakene som betraktes i denne rapporten skal kunne innføres må en rekke barrierer løses. I dette kapittelet gis en overordnet innføring til barrierer knyttet til innføring av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp i skipsfarten. I det følgende kapittelet vil vi beskrive vurderingene som legges til grunn for å velge en tiltakspakke for videre analyse. Der legges denne barriereforståelsen til grunn.

Barrierer knyttet til innføring av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp i skipsfarten er beskrevet og analysert i en rekke tidligere studier (bl.a. Acciaro et al. (2013), DNV GL (2015a), DNV GL (2019b), DNV GL (2018b)).

I forbindelse med forarbeidene til mulige forhandlinger om et CO₂-fond for næringstransport utarbeidet DNV GL et notat for Miljødirektoratet våren 2018 (DNV GL memo nr. 119AY4BR-1/ GPH), med en diskusjon av barrierer knyttet til utvalgte drivstoff. Notatet diskuterte spesifikt elektrifisering (plug-in hybrid), LNG og hydrogen. Notatet benyttet seg av en kategorisering av barrierer først introdusert av Acciaro et al. (2013). Denne inndelingen er vist i Tabell 10.

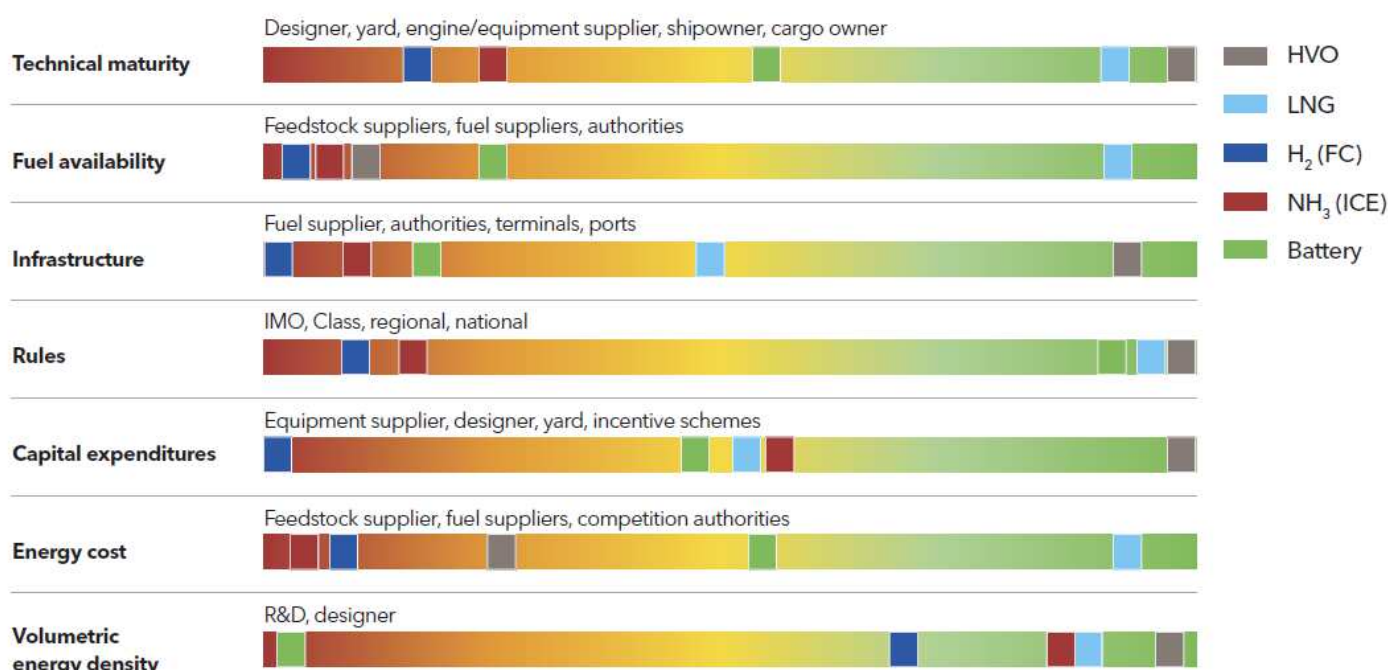
Tabell 10: Oppsummering og gruppering av barrierer, basert på Acciaro et al (2013).

Barriere	Beskrivelse
Manglende lønnsomhet, finansielle og økonomiske begrensninger	Investeringer i miljøteknologier og tiltak kan ikke rettferdiggjøres med en rimelig tilbakebetalingstid. Tilgang til kapital (typisk lån) for nødvendig investering (CAPEX), drivstoff- og vedlikeholdskostnader (OPEX).
Teknologisk usikkerhet	Teknologisk usikkerhet er typisk størst for ny teknologi. Ny teknologi kan kreve bruk av komponenter og utstyr med manglende relevant driftserfaring. Grad av teknologisk modenhet. Grad av kompleksitet mht. installasjon og drift. Utvikling av regelverk.
Sikkerhet og pålitelighet	Sikkerhet for mannskap, skipet eller dets operasjoner. Pålitelighet, dvs. risiko for at installerte tiltak påvirker drift av skipet (ability to sail). Ny uprøvd teknologi har ofte mer usikker pålitelighet. Utvikling av regelverk.
Markedsmessige begrensninger	Markedet for bruk av grønne teknologier eksisterer ikke eller gir kun begrensede fordeler. Suboptimal innretning på hvilke aktører som betaler hvilke kostnader og hvem som får gevinsten av en miljøinvestering (for eksempel fordeling mellom lasteier og rederi).
Organisatorisk	Informasjonstilgang / -bevissthet / -kvalitet. Hvordan barrierene oppfattes. Kunnskap. Institusjonelle barrierer, for eksempel innretning på anbudskonkurranser, skranker innen virkemiddelapparatet, osv.

DNV GL (2019b) beskriver status for barrierer knyttet til et utvalg alternative drivstoff på globalt nivå, med hovedvekt på de tre første barriere-kategoriene vist ovenfor. Resultatet er vist i Figur 11. Her fremkommer det tydelig at HVO (biodiesel) og LNG er de drivstoffene med de laveste barrierene, samlet sett. LNG har rett nok utfordringer knyttet til infrastruktur og investeringskostnad, og HVO har barrierer knyttet til produksjonsvolumer og kostnad på drivstoffet. Den avgjørende barrieren for bruk av batterier er knyttet til energitetthet som begrenser bruksområdet, samt infrastruktur. Hydrogen og ammoniakk har betydelige barrierer knyttet til nær sagt alle faktorer, inkludert teknisk modenhet og regelverk.

Disse resultatene er i stor grad representative også for norske forhold – med unntak av «Fuel availability» og «Infrastructure» for strøm til batterier, som er noe bedre utbygd i Norge enn ellers i verden. «Infrastructure» for LNG er også bedre i Norge enn globalt.

The Alternative Fuel Barrier Dashboard: Indicative status of key barriers for selected alternative fuels



Technical maturity – refers to technical maturity level for engine technology and systems.

Fuel availability – refers to today's availability of the fuel, future production plans and long-term availability.

Infrastructure – refers to available infrastructure for bunkering.

Rules – refers to rules and guidelines related to the design and safety requirements for the ship and onboard systems.

Capital expenditures (capex) – Cost above baseline (conventional fuel oil system) for LNG and carbon-neutral fuels, i.e. engine and fuel system cost.

Energy cost – reflects fuel competitiveness compared to MGO, taking into account conversion efficiency.

Volumetric energy density – refers to amount of energy stored per volume unit compared to MGO, taking into account the volume of the storage solution.

HVO, hydrotreated vegetable oil; LNG, liquefied natural gas; H₂ (FC), hydrogen in fuel cells; NH₃ (ICE), ammonia burned in internal combustion engines; Battery, full-electric with batteries

©DNV GL 2019

Figur 11: Status på nøkkelbarrierer på globalt nivå for et utvalg drivstoff (DNV GL, 2019b, deres figur 3).

DNV GLs tidligere barrierestudie (DNV GL, 2018b) omhandler tørrlastskip, men gir også innsikt som kan generaliseres til andre skipstyper. Også denne studien fremhever pris og tilgjengelighet på alternative

drivstoff som en hovedbarriere. Men studien vektlegger også andre barriereaspekter, slik som finansielle og økonomiske begrensninger og markedsmessige begrensninger.

En hovedbarriere identifisert i studien er manglende etterspørsel og lav lønnsomhet for grønne skip. Det påpekes at det stilles få eller ingen krav til utslippsreducerende løsninger fra lasteier, og at det ikke er betalingsvilje for lav- og nullutslippstransport hos lasteiere. Videre domineres segmentet av kortvarige kontrakter mellom lasteiere og rederi noe som vanskeliggjør investeringer. Det er heller ingen myndighetskrav og rammebetingelser som driver markedsetterspørsel i særlig grad i lasteskipsegmentet.

En annen barriere er lav investeringskapasitet og begrenset tilgang på kapital hos rederne. Studien peker også på at bruk av nye grønne løsninger kan innebære en krevende omstilling for rederiene, som krever nye måter å tenke og arbeide på, og at rederienes evne til omstilling er begrenset. Å ha de nødvendige arbeidsressursene til å få til dette parallelt med daglig drift er krevende, og da særlig for små rederier med få ansatte.

Det er også en viktig barriere at en stor del av fraktestartøyene opererer internasjonalt i tillegg til innenriks, slik at skipene i dette segmentet ikke bare påvirkes av norske forhold og rammebetingelser. De er avhengige av å kunne bunkre både i Norge og i utlandet, og det norske virkemiddelapparatet vil være mindre treffsikkert.

6 UTVELGELSE AV TILTAKSPAKKE FOR ANALYSE

I dette kapittelet beskriver vi hvordan vi kartlegger det rent tekniske potensialet for tiltakene beskrevet i det foregående kapittelet, og deretter velger ut en tiltakspakke som kan imøtekomme målet om 50% reduserte utslipp i 2030. Denne tiltakspakken blir så analysert i Kapittel 7.

6.1 Analyse av enkelttiltak

I denne delen av analysen ønsker vi å beregne det tekniske potensialet for de aktuelle tiltakene, uten å legge for mange føringer i veien. Det vil si at vi beregner effekten av å innføre tiltak enkeltvis, med den hensikt å se på den maksimale, isolerte effekten av ett og ett tiltak. Vi setter tiltakene kun på skip der det er teknisk mulig. Vi benytter på denne måten modellen for å regne på den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden til de ulike tiltakene enkeltvis, samt den oppnådde utslippsreduksjonen i 2030.

Resultatene fra denne analysen brukes for å sette sammen en pakke av tiltak som kan imøtekomme målsetningen. I det følgende gir vi en kort beskrivelse av hver enkel modellkjøring.

6.1.1 Tiltak på ferger og hurtigbåter

Hydrogen – fullt opptak på hurtigbåter

Det pågår i dag flere prosjekter i regi av fylkeskommunene for å realisere nullutslippshurtigbåter. Disse omfatter både batterielektrisk og hydrogenelektrisk drift, og løsningsrommet er preget av nye fartøysdesign med mer energieffektive skrog som muliggjør batterielektrisk drift også over relativt lange avstander, men også hydrogendrift (som er antatt best egnet for de mest energikrevende sambandene). Foreløpig er lite eller ingenting av dette kontraktsfestet (i motsetning til i fergesektoren), og vi antar derfor forenklet at slike tiltak er holdt utenfor referansebanen.

Vi har for enkelthet skyld kun modellert hydrogendrift på hurtigbåter, da kostnadene er usikre også for batterielektrisk drift, inkludert nye lavforbuds-konsepter. I dette ligger det ingen vurdering av at hydrogen er det eneste alternativet for hurtigbåter. I modellen ligger det 79 hurtigbåter i 2030. Hvis alle

disse blir bygget om eller erstattet av nullutslipps hurtigbåter, reduserer dette 140 tusen tonn CO₂ sammenlignet med referansebanen.

Batteri (plug-in hybrid) – tilnærmet fullelektrifisering av fergesektoren

Størstedelen av det potensielle utslippskuttet i ferjesektoren ligger allerede i referansebanen, der kjente kontrakter på fylkeskommunale samband er lagt inn. Stort sett er dette plug in-hybrid med høy elektrifiseringsgrad og noe MGO. I tillegg inneholder referansebanen nullutslipp på alle riksvegferjesamband innen 2030, for det meste batteridrift i kombinasjon med biodiesel, samt hydrogen på et fåtall. Med dette i referansebanen ligger utslippet rundt 180 000 tonn CO₂ i 2030. Ettersom stort sett alle kontrakter skiftes ut innen 2030, er det antatt et teknisk potensiale for å redusere dette med plug in-hybride ferjer – utslippet reduseres i modellen da med rundt 172 000 tonn (noe restforbruk på MGO etter elektrifisering). Dette omfatter da kun fylkeskommunale ferjesamband.

Det bemerkes at tilstrekkelig nettkapasitet for lading er en hovedbarriere for elektrifisering av ferger. Tilgjengelig nettkapasitet og kostnader for eventuell utbygging er svært varierende mellom ulike kaier og samband. Ved enkelte samband kan svært høye kostnader for eventuell nettoppgradering gjøre eksempelvis hydrogendrift mer aktuelt. Det samme kan gjelde for noen få samband der svært lange overfarter gjør batteridrift krevende. Siden disse lokale variasjonene ikke kan fanges i denne analysen, har vi forenklet kun modellert batteridrift på ferjer (med unntak av riksvegsambandene på hydrogen i referansebanen).

6.1.2 Tiltak på øvrige skip

LNG – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil modellen sette LNG-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 330 flere LNG-skip (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 32 000 tonn mindre CO₂-utslipp (0,8%), enn i referansebanen.

LNG – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette LNG-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann. I tillegg vil modellen bygge om deler av den eksisterende flåten til LNG-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2019 får tiltaket, med en opptrapping til 10% fra 2022 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til LNG.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 522 flere LNG-skip (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 119 000 tonn mindre CO₂-utslipp (3,1%) i 2030, enn i referansebanen.

LNG med 20% innblanding av LBG – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette LNG-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten til LNG-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2019 får tiltaket, med en opptrapping til 10% fra 2022 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til LNG. Alle skip med LNG-fremdrift vil ha en innblanding av LBG på 20%. Merk at LNG-skipene som tilordnes LBG-innblanding også omfatter skip som er tilordnet LNG i referansebanen. Siden



dette tiltaket impliserer at skipene som får tiltaket går på LNG med 20 % innblandet LBG hele levetiden, skiller det seg fra LBG-tiltaket som inkluderes i tiltakspakken i kapittel 6.2.2, der det blandes inn LBG i all LNG i flåten med en økende andel mot 2030.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 522 flere LNG skip med LBG innblandet (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 360 000 tonn mindre CO₂-utslipp (9,3%) i 2030, enn i referansebanen.

100% LBG – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette LBG-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten til LBG-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2019 får tiltaket, med en opptrapping til 10% fra 2022 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til LNG. Alle skip med LNG-fremdrift vil her utelukkende forbruke LBG. Merk at LNG-skipene som tilordnes LBG-innblanding også omfatter skip som er tilordnet LNG i referansebanen.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 522 flere LBG-skip (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 1 326 000 tonn mindre CO₂-utslipp (34,2%) i 2030, enn i referansebanen.

Ammoniakk – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil modellen sette ammoniakk-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet og hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann, fra og med 2025.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 132 flere ammoniakk-skip (99 færre LSFO/MGO-skip, 33 færre LNG-skip), og 182 000 tonn mindre CO₂-utslipp (4,7%), enn i referansebanen.

Ammoniakk – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette ammoniakk-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet og hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann, fra og med 2025. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten som er teknisk egnet til ammoniakk-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2025 får tiltaket, med en opptrapping til 10% fra 2029 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til ammoniakk.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 396 flere ammoniakk-skip (328 færre LSFO/MGO-skip, 66 færre LNG-skip), og 737 000 tonn mindre CO₂-utslipp (19 %), enn i referansebanen.

Hydrogen – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil modellen sette hydrogen-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet og hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann, fra og med 2025.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 120 flere hydrogen-skip (89 færre LSFO/MGO-skip, 31 færre LNG-skip), og 169 000 tonn mindre CO₂-utslipp (4,4%), enn i referansebanen. Av hydrogen-skipene benytter 100



komprimert hydrogen på forbrenningsmotor, åtte flytende hydrogen på brenselcelle, åtte flytende hydrogen på forbrenningsmotor og fire komprimert hydrogen på brenselcelle.

Hydrogen – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette hydrogen-fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet og hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann, fra og med 2025. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten som er teknisk egnet til ammoniakk-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2025 får tiltaket, med en opptrapping til 10% fra 2029 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til hydrogen.

Resultat

I 2030 resulterer tiltaket i 350 flere hydrogen-skip (292 færre LSFO/MGO-skip, 58 færre LNG-skip), og 661 000 tonn mindre CO₂-utslipp (17,1%), enn i referansebanen. Av de ombygde skipene får 129 komprimert og 68 flytende hydrogen på forbrenningsmotor, og 25 flytende og åtte komprimert hydrogen på brenselcelle.

Forsterket EE-pakke – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil alle nybygg få forsterket energieffektiviseringspakke sammenliknet med referansebanen.

Resultat

I 2030 har 330 skip blitt bygget med bedre energieffektivisering enn i referansebanen, med en reduksjon på 60 000 tonn (1,6%) CO₂ sammenliknet med referansebanen.

Ytterligere forbedret EE-pakke – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil alle nybygg få ytterligere forsterket energieffektiviseringspakke sammenliknet med referansebanen.

Resultat

I 2030 har 330 skip blitt bygget med bedre energieffektivisering enn i referansebanen, med en reduksjon på 76 000 tonn (2%) CO₂ sammenliknet med referansebanen.

Plug-in batterihibridisering – fullt opptak nybygg

I dette scenarioet vil modellen sette plug-in hybrid fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann. Tiltaket implementeres i to varianter;

- Full utnyttelse; der 100 % av fysisk tilgjengelig plass avsatt til fremdriftsløsninger ombord utnyttes til batterier i kombinasjon med konvensjonell tank og motor.
- Moderat utnyttelse; der 40 % av fysisk tilgjengelig plass avsatt til fremdriftsløsninger ombord utnyttes til batterier i kombinasjon med konvensjonell tank og motor.

Resultat full utnyttelse

I 2030 resulterer tiltaket i 145 flere plug-in hybride skip (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 86 000 tonn mindre CO₂-utslipp (2,2%), enn i referansebanen.

Resultat moderat utnyttelse

I 2030 resulterer tiltaket i 110 flere plug-in hybride skip (og tilsvarende færre LSFO/MGO-skip), og 57 000 tonn mindre CO₂-utslipp (1,5%), enn i referansebanen.

Plug-in batterihybridisering – fullt opptak nybygg og retrofit opptil 10% av flåten

I dette scenarioet vil modellen sette plug-in hybrid fremdrift på alle nybygg som er teknisk egnet hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten til plug-in hybrid fremdrift. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten som er teknisk egnet til ammoniakk-fremdrift. Inntil 1% av eksisterende flåte i 2019 får tiltaket, med en opptapping til 10% fra 2022 og ut. Dette gjelder for skip som opererer 80% eller mer i norske farvann. Skip eldre enn 15 år tilordnes ikke ombygging til plug-in hybrid. Tiltaket implementeres i to varianter;

- Full utnyttelse; der 100 % av fysisk tilgjengelig plass ombord utnyttes til batterier i kombinasjon med konvensjonell tank og motor.
- Moderat utnyttelse; der 40 % av fysisk tilgjengelig plass ombord utnyttes til batterier i kombinasjon med konvensjonell tank og motor.

Resultat full utnyttelse

I 2030 resulterer tiltaket i 241 flere plug-in-skip (38 færre LNG-skip, 203 færre LSFO/MGO-skip), og 434 000 tonn mindre CO₂-utslipp (11,2%), enn i referansebanen.

Resultat moderat utnyttelse

I 2030 resulterer tiltaket i 179 flere plug-in-skip (27 færre LNG-skip, 152 færre LSFO/MGO-skip), og 292 000 tonn mindre CO₂-utslipp (7,5%), enn i referansebanen.

Tabell 11 og Tabell 12 oppsummerer utslippsreduksjonene som oppnås ved enkeltvis innføring av tiltakene beskrevet ovenfor.

Innblanding av biodrivstoff

Biodrivstoff innblandet i MGO eller LNG vil gi en utslippsreduksjonen som er direkte relatert til innblandingsprosenten. Øvre grense for både innblanding av både LBG i LNG og HVO i MGO er 100 %.

Beregnet tiltakskostnader er ca. 2 670 NOK/tonn CO₂ for innblanding av LBG og ca. 2 720 NOK/tonn CO₂ for innblanding av HVO.

Tabell 11: Reduksjon av CO₂-utslipp (ktonn) per segment som følge av alternative drivstoff implementert som enkelttiltak. Merk at tiltakene til dels er overlappende eller gjensidig ekskluderende, slik at utslippsreduksjonene ikke kan summeres. Ferger og hurtigbåter er ikke inkludert.

	Ammoniakk nybygg	Ammoniakk nybygg og retrofit	Hydrogen nybygg	Hydrogen nybygg og retrofit	LNG nybygg	LNG nybygg og retrofit	LNG med 20% LBG	LNG med 100% LBG
Andre spesialfartøy	0	15	0	13	0	7	18	65
Cruise	25	25	25	25	1	1	8	34
Fiskefartøy	11	60	4	30	8	18	43	145
Godsskip	62	105	56	95	8	15	46	172
Havbruk	62	100	62	97	10	17	37	116
Offshore	0	211	0	205	0	56	145	501
Passasjerskip	1	2	1	1	0	1	40	199
Våt- og tørrbulk	21	38	21	22	4	5	23	94
Totalt	182	556	169	490	32	119	360	1326

Tabell 12: Reduksjon av CO₂-utslipp (ktonn) per segment som følge av plug-in hybridisering og forbedret energieffektivisering implementert som enkelttiltak. Merk at tiltakene til dels er overlappende eller gjensidig ekskluderende, slik at utslippsreduksjonene ikke kan summeres. Ferger og hurtigbåter er ikke inkludert.

	Plug-in (moderat utnyttelse) nybygg	Plug-in (moderat utnyttelse) nybygg og retrofit	Plug-in (full utnyttelse) nybygg	Plug-in (full utnyttelse) nybygg og retrofit	Forbedret EE-pakke nybygg	Ytterligere forbedret EE- pakke nybygg
Andre spesialfartøy	0	15	0	19	0	0
Cruise	0	0	0	0	3	5
Fiskefartøy	12	30	16	46	16	18
Godsskip	16	20	30	45	16	21
Havbruk	25	30	34	47	17	22
Offshore	4	195	4	263	1	1
Passasjerskip	0	0	1	2	1	1
Våt- og tørrbulk	0	0	1	11	6	8
Totalt	57	292	86	433	60	76

Tabell 13 viser samfunnsøkonomisk tiltakskostnad for nybygg med henholdsvis ammoniakk, hydrogen og LNG/LBG, per skipskategori som har fått tiltaket.

Tabell 13: Samfunnsøkonomisk tiltakskostnad (NOK/tonn CO₂) per segment som følge av alternative drivstoff implementert som enkelttiltak. Merk at tiltakene til dels er overlappende eller gjensidig ekskluderende, og at kostnadene vil endre seg når tiltakene settes sammen til en konsistent pakke.

	Ammoniakk nybygg	Ammoniakk nybygg og retrofit	Hydrogen nybygg	Hydrogen nybygg og retrofit	LNG nybygg	LNG nybygg og retrofit	LNG med 20% LBG	100% LBG
Andre spesialfartøy	-	4300	-	6400	-	6700	7700	4600
Cruise	2700	2700	2500	2500	2500	2500	2900	2700
Fiskefartøy	2400	2700	3700	3900	1200	3100	2700	2500
Godsskip	2300	2400	2400	2600	1100	1700	2400	2400
Havbruk	2100	2200	2100	2400	700	1500	1900	2100
Offshore	-	2500	-	2600	3400	5200	3900	3000
Passasjerskip	3300	4200	3200	5700	3400	2900	4900	3300
Våt- og tørrbulk	3000	2700	3300	3200	300	600	4700	4700
Vektet gjennomsnitt	2400	2500	2500	2800	900	3800	3700	3000

Tabell 14: Samfunnsøkonomisk tiltakskostnad (NOK/tonn CO₂) per segment som følge av plug-in hybridisering og forbedret energieffektivisering implementer som enkelttiltak.

	Plug-in (moderat utnyttelse) nybygg	Plug-in (moderat utnyttelse) nybygg og retrofit	Plug-in (full utnyttelse) nybygg	Plug-in (full utnyttelse) nybygg og retrofit	Forbedret EE- pakke nybygg	Ytterligere forbedret EE- pakke nybygg
Andre spesialfartøy	-	####	-	####	-	-
Cruise	-	-	-	-	200	2500
Fiskefartøy	1700	4000	3000	4400	900	4700
Godsskip	2900	2400	3200	1800	5000	15300
Havbruk	5900	5900	7200	7000	1400	4700
Offshore	13100	7600	####	8000	-2400	-300
Passasjerskip	-	-	3000	700	14100	55300
Våt- og tørrbulk	-	-	1300	1000	300	3900
Vektet gjennomsnitt	4700	6900	5200	6900	2000	7600

6.1.3 Landstrøm

Landstrøm behandles separat fra andre tiltak, ettersom reduksjonen fra tiltaket regnes som en del av havneutslippet, som holdes separat fra innenriks utslipp (se Kapittel 4.1). Merk at vi ikke inkluderer elektrifisering av ferger og hurtigbåter som en del av dette tiltaket. Effektene av landstrøm er analysert gjennom to forskjellige scenarioer, hvor det ene omfatter alle skip med havneutslipp, og det andre omfatter skip med havneutslipp og hvor 80% eller mer av seilastiden i norske farvann.

Modellen vil sette utrustning for landstrøm på alle nybygg omfattet av det respektive scenarioet. I tillegg vil modellen bygge om deler av flåten for landstrømmulighet. Retrofit-takten trappes opp fra 1% i 2018 til 10% fra 2022 og ut, som fra 2022 innebærer at maksimalt 10% av skipene innenfor hvert segment, og som er omfattet av scenarioet, kan bygges om hvert år. Skip eldre enn 15 år blir ikke tilordnet tiltaket. Tilgjengeligheten av landstrøm i havn økes gradvis til 100% i 2030 (se også Kapittel 4.4.3).

Resultatene vises i Tabell 15.

Tabell 15: Resultater for landstrøm i 2030, per segment.

	CO ₂ -reduksjon (ktonn), alle skip	Samfunns- økonomisk tiltakskostnad (NOK/tonn CO ₂), alle skip	CO ₂ -reduksjon (ktonn), 80%- skip	Samfunns- økonomisk Tiltakskostnad (NOK/tonn CO ₂), 80%-skip	Referanseutslipp i havn (ktonn)
Andre spesialfartøy	26	-340	23	-310	110
Cruise	26	-330	7	-250	48
Fiskefartøy	61	-400	38	-340	162
Godsskip	69	-380	18	-260	91
Havbruk	20	-330	18	-300	20
Hurtigbåt	-	-	-	-	6
Offshore	141	-340	111	-300	347
Passasjerskip	8	-430	3	-270	234
Våt- og tørrbulk	191	-330	108	-260	210
Totalt	543	-350	326	-290	1230

6.2 Utvelgelse av tiltakspakke

6.2.1 Prinsipper for utvelgelse av tiltak

Som beskrevet i Kapittel 2.2 er den overordnede prioriteringen for utvelgelsen av tiltakspakken som følger:

- a) Tiltakspakken må redusere innenriks CO₂-utslipp i 2030 med 50 % fra dagens nivå (2018).
- b) Tiltakene må i så stor grad som mulig være realistisk gjennomførbare, med tanke på teknologisk modenhet, tilgjengelighet av drivstoff, og andre barrierer.
- c) Tiltakene må ha lavest mulig samfunnsøkonomisk tiltakskostnad.

Summen av disse vurderingene vil resultere i en tiltakspakke som ikke må oppfattes som den eneste tilgjengelige, eller nødvendigvis den optimale. Det vil finnes andre tiltakspakker, selv om de forblir ubeskrevet i denne rapporten, som vil kunne oppfylle alle de tre punktene ovenfor. Valgene som gjøres for de enkelte skipssegmenter må ikke forstås som en utelukkelse av at andre tiltak kan være aktuelle.

Videre er det selvsagt rom for ulike tolkninger på flere punkter. I det følgende vil vi beskrive de viktigste antagelsene som legges til grunn.

Under punkt (a) tar vi som utgangspunkt at innenriks utslipp er beregnet til 4,2 Mt CO₂ i 2018 basert på AIS-data. Målsettingen om 50 % reduksjon i 2030 fordrer at utslippet ikke overstiger 2,1 Mt CO₂ i 2030. Referansebanen gir et utslipp i 2030 på 3,9 Mt CO₂. Det er følgelig behov for å identifisere tiltak som ytterligere reduserer utslippet i 2030 med 1,8 Mt CO₂ – eller 46 % av utslippet i referansebanen¹¹. Merk at ingen av enkelttiltakene vist i figurene ovenfor gir en slik reduksjon alene.

Punkt (b) innebærer vurderinger med betydelig rom for tolkning, spesielt knyttet til begrepet «realistisk gjennomførbart». Dette er et begrep uten en presis definisjon, og vi forsøker heller ikke å innføre noen slik. Vi vil imidlertid omtale noen overordnede momenter, som legges til grunn.

På generelt plan kan en for det første betrakte realismen i et scenario på forskjellige nivåer;

1. Politisk; er det vilje til å utvikle og innføre de nødvendige virkemidlene med tilstrekkelig hurtighet og kraft?
 - Vi gjør ingen vurderinger på dette nivået, og antar at det ikke ligger beskrankninger her.
2. Institusjonelt; har de relevante offentlige instanser nødvendig kompetanse og tilstrekkelig kapasitet til å utvikle og innføre de nødvendige virkemidlene i tilstrekkelig høy hastighet?
 - Vi gjør ingen spesifikk vurdering på dette nivået, men vil for de spesifikke tiltakene peke på typer av virkemidler (f.eks. direkte økonomisk støtte) som bør kunne treffe det aktuelle tiltaket innen det aktuelle skipssegmentet.
 - Gitt oppgavens størrelse og kompleksitet tror vi det vil være behov for nye og uprøvde virkemidler som kan være krevende å implementere.
 - Vi faser ikke inn tiltak før tidligst 2021, ettersom det vil ta tid å innføre virkemidler og for rederiene å respondere på disse.

¹¹ Merk at denne målsettingen kan tolkes annerledes dersom offisiell norsk utslippsstatistikk legges til grunn. Da beregnes innenriks utslipp med utgangspunkt i solgt drivstoff. Som en tilnærming til dette kan vi anta at vi legger til grunn kun utslippet fra skip med mer enn 80% av tiden i norske farvann, ettersom disse antas å bunkre i Norge. I så tilfelle bli målsettingen og tiltaksbruk annerledes. CO₂ utslipp i 2018 er da 2,8 Mt CO₂. Målet i 2050 blir 1,4 Mt CO₂. Referansebaneutslippet i 2030 blir 2,3 Mt CO₂. Behovet for ytterligere utslipp er da 0,9 Mt CO₂.

3. Industrielt; For at skipsrederne skal ta i bruk løsningene som ligger i pakken må et helt industrielt økosystem først sørge for at løsningene er praktisk og økonomisk gjennomførbare i tilstrekkelig stor skala. Dette beskrives i Kapittel 0.
- Vi tillater ikke bruk av tiltak før de kan antas tilgjengelig i markedet i større skala, slik som motorer klargjort for ammoniakk.
 - Vi forutsetter at leverandører og verft raskt kan levere skip med de nye løsningene, men gjør ingen spesifikk vurdering av faktisk tilgjengelig kapasitet.
 - Vi forutsetter at drivstoff (og elektrisitet) gjøres tilgjengelig. Vi tar hensyn til at en utbygging ikke kan skje «over natta», og lar innfasingen være gradvis, men tar ellers ingen hensyn til tilgjengelighet.
 - Vi begrenser anvendelsen av alternative drivstoff til de skipene som tilbringer mest tid i norske farvann (mer enn 80 % av tiden). Dette gjør vi fordi bruken av alternative drivstoff er betinget av at drivstoffet gjøres tilgjengelig i havnene der skipene anløper, og at norske myndigheter i svært liten grad kan påvirke hva som tilbys av drivstoff og ladeinfrastruktur i havner utenfor Norges grenser. Følgelig er det for skipene som i hovedsak frekventerer norske havner at det er mest hensiktsmessig å gjøre investeringer som tillater bruk av slike drivstoff.

Som et tilleggsmoment legger vi vekt på å sette sammen en diversifisert tiltakspakke, i den forstand at en ikke ønsker å gjøre seg avhengig av teknologiutvikling eller kostnadsutvikling knyttet til en enkelt løsning. Dette anser vi også for å være den mest robuste strategien for å nå utslippsmålet, gitt stor usikkerhet i modning, kostnader, drivstofftilgang og priser. Det er trolig slik at forskjellige løsninger vil finne sin plass i flåten, gjennom markedsmekanismer og gjennom myndighetspåvirkning. En bred satsing på et tidlig stadium gjør det også mulig å endre kurs underveis, avhengig av hvordan utviklingen blir.

I sum presenterer vi i kapittelet som følger en pakke som på ingen måte er enkel å gjennomføre. Den må betraktes som svært ambisiøs og krevende, men ikke umulig. Den vil uten tvil kreve at det på alle nivåene nevnt over arbeides med størst mulig tyngde og hastighet for å ha en mulighet for å lykkes, og det understrekes at tiden er svært knapp – gitt usikkerhet, risiko og treghet på alle tre nivåer beskrevet ovenfor.

6.2.2 Valgt pakke

Ferger og hurtigbåter

Disse segmentene er de med sterkest grad av myndighetsstyring, og dessuten størst spillerom når det gjelder nullutslippsløsninger. Vi velger derfor å være aggressive med innfasing av tiltak her.

For hurtigbåter appliserer vi hydrogen på alle hurtigbåter der kontrakten inngås fra 2023¹².

Hovedbarrierene er trolig høye kostnader og behov for kapital som kan begrense etterspørselen hos fylkeskommunene, samt svært begrenset tilgjengelighet på drivstoff inkludert bunkringsinfrastruktur. Det er også betydelige barrierer knyttet til teknisk modenhet på løsningene (inkludert behov for regelverksutvikling på hydrogen, for eksempel).

¹² Tidslinje for kontrakter for ferger og hurtigbåter er tilgjengelig fra Kollektivtrafikkforeningen på <https://kollektivtrafikk.no/markedsoversikt-sjo/>

Fergene elektrifiseres i så stor grad som mulig, hvilket innebærer, opp mot 95% hybridiseringsgrad for alle samband. Innfasingen følger planlagt kontraktsår.

Hovedbarrieren her er trolig høye kostnader og behov for kapital som kan begrense etterspørselen hos fylkeskommunene. Utbygging av tilstrekkelig nettkapasitet til alle kaier kan også være utfordrende.

Som beskrevet i kapittel 6.1.1, kan det være betydelig innslag at batteridrift også på hurtigbåter, og potensielt noe hydrogen på ferjer, og tilnærmingen her med hydrogen kun på hurtigbåter og batteridrift på ferjer er en forenkling.

Øvrige skip

Som resultatene i Kapittel 6.1 viser har alle tiltakene begrenset potensial for CO₂-reduksjon, med unntak av bio-alternativene som lar seg applisere på eksisterende motorteknologi. Etterspørselen etter bio-alternativer vil trolig være stor, også i andre samfunnssektorer, og det vil være betydelige barrierer knyttet til tilgjengelighet og pris.

For å begrense avhengigheten av bio-drivstoff tar vi som utgangspunkt at vi **appliserer ammoniakk eller hydrogen der vi kan**. Fra Kapittel 6.1 ser vi at ammoniakk stort sett er marginalt billigere, men pga. betydelig usikkerhetsfaktorer og behov for diversifisering ønsker vi å anvende begge to, og fordeler derfor bruken mellom skipsegmentene svært forenklet som følger;

- Hydrogen; offshore, cruise, passasjer, andre spesialskip
- Ammoniakk; godsskip, våt- og tørrbulk, havbruk.

Innfasingstakten er som beskrevet i Kapittel 6.1; alle nybygg som er teknisk egnet og hvor 80% eller mer av operasjonen foregår i norske farvann, fra og med 2025, samt at modellen vil ombygge deler av flåten som er teknisk egnet. Retrofit-takten trappes opp fra 1% i 2025 til 10% i 2029 og 2030

Hovedbarrierene for ammoniakk og hydrogen har mange likhetstrekk. Ingen av teknologiene er på markedet i dag, men er under utvikling. Det er heller foreløpig ikke regelverk på plass som sikrer effektiv og sikker implementering. Godkjenning vil medføre en omfattende og krevende prosess som må gjennomføres i nær dialog med flaggstaten. Det er ikke tilgjengelighet på drivstoff og bunkringsinfrastruktur, og meget høy pris på drivstoff er trolig en utfordring for begge alternativene. For eksisterende skip som skal bygges om, er barrierene på teknisk og økonomisk side ekstra store.

Dessuten er det en betydelig barriere knyttet til etterspørsel etter disse løsningene. I motsetning til ferge- og hurtigbåtsegmentene er det i de øvrige segmentene begrenset med direkte offentlig etterspørsel. Offshore og havbruksskip betjener imidlertid et marked som er strengt underlagt et offentlig regime med konsesjoner og andre tillatelser, samt en betydelig offentlig eierposisjon innen olje- og gassektoren, som kan tenkes å gi anledning til å legge føringer for innkjøp av maritime tjenester. Også fiskeflåten kan påvirkes kvotetildelinger osv., selv om det er usikkert i hvilken grad dette er egnet til å insentivere null- og lavutslippsløsninger.

For cruiseskip og lasteskip har det offentlige mindre markedsmessig involvering. For lasteskip kan det offentlige bruke innkjøpsmakt i noen grad, spesielt i segmenter med store leveranser til offentlige bygg og anleggsprosjekter. For cruiseskip mv. har myndighetene vist villighet til å pålegge strenge miljøkrav langs visse deler av kysten (verdensarvfjordene).

For de skipene som ikke kan anvende ammoniakk eller hydrogen, implementerer vi **delelektrifisering** i form av plug-in hybrid fremdrift på både nybygg og eksisterende skip fra 2021. Merk at dette særlig gjelder fiskeflåten, der vi velger å ikke anvende hydrogen og ammoniakk, selv om det strengt tatt vil

kunne være teknisk mulig. Vi anvender varianten som maksimerer utslippsreduksjonene, dvs. full utnyttelse av tilgjengelig plass til alternativ fremdriftsteknologi.

Hovedbarrierer for plug-in hybrid er manglende etterspørsel, samt høye kostnader knyttet til både investering og drift. For eksisterende skip som skal bygges om er de økonomiske barrierene større enn for nybygg. En attraktiv prisingsmodell for strøm fra land er nødvendig, med mindre det skal stilles myndighetskrav. Etterspørsel kan trolig genereres ved å etterspørre utslippsfri inn- og utseiling til havner, f.eks. knyttet til havne- og farledsavgifter. Vi appliserer den største mulige graden av hybridisering for å maksimere utslippsreduksjonen.

For de skip som ikke kan anvende hverken ammoniakk, hydrogen eller plug-in hybrid velger vi å anvende **LNG** på godsskip og våt- og tørrbulkskip fra 2021. LNG anvendes ikke primært som et eget tiltak, men for å skape åpningen for fremtidig bruk av LBG. Energibehov som ikke dekkes av hydrogen, ammoniakk, eller strøm må komme fra tradisjonelt drivstoff innblandet biodrivstoff dersom utslippsmålene skal nås. Graden av innblanding kan skaleres avhengig av behovet for utslippsreduksjon.

Hovedbarrierer for innføring av LNG knyttes i hovedsak til kostnader og behov for kapital. Det er også generelle barrierer knyttet til etterspørsel, selv om det også her er drahjelp å få fra regelverk knyttet til NOx og SOx (se Kapittel 4.2.2.3).

Innblanding av LBG i all LNG og av **HVO** i all MGO som selges i Norge tenkes innført som et omsetningskrav. Hovedbarrierene anses da å være begrenset tilgjengelighet og pris på drivstoff. Et innblandingskrav kan også medføre risiko for at skip i større grad enn i dag velger å ikke bunkre i Norge. Det anses ikke å være betydelige tekniske barrierer for LBG eller HVO (DNV GL, 2018e).

Vi setter også på **energieffektivisering**, i form av en «forbedret EE-pakke» på alle nybygg med seilingstid over 80 % i norske farvann, fra 2021.

Til slutt implementerer vi også **landstrøm** på alle skip, både nybygg og retrofit. Vi bemerker at vi ikke innfører fartsreduksjon som tiltak (se Kapittel 4.6), ettersom det er betydelige barrierer knyttet til virkemiddelutformingen for et slikt tiltak, og vi understreker at det trolig er behov for å identifisere praktisk anvendelige mekanismer for å oppnå tilsvarende effekt.

7 RESULTATER FRA ANALYSE AV TILTAKSPAKKEN

Tabell 16 viser den resulterende utslippsreduksjonen som resultat av pakken, både med og uten innblanding av biodrivstoff (HVO i MGO og LBG i LNG).

Tabellen viser at vi oppnår 1 024 000 tonn CO₂ utslippsreduksjon utover referansebanen i 2030 dersom biodrivstoff ikke tas i bruk. Målsettingen om 50 % reduksjon fra 2018 nivå krever utslippsreduksjoner på 1 800 000 tonn CO₂ fra referansebanen i 2030 (se Kapittel 6.2). Tabellen viser at vi med 50 % innblanding av HVO i MGO og LBG i LNG oppnår 1 709 000 tonn CO₂ reduksjon for alt drivstoff som forbrukes av skip med mer enn 80 % av operasjonstiden i norske farvann.

Vi ser at de største bidragene (utenom biodrivstoff) kommer fra ammoniakk på lasteskip, hydrogen på hurtigbåter, elektrifisering av ferger og plug-in hybridisering på offshoreskip.

Videre ser vi at de største bidragene (utenom biodrivstoff) kommer fra ammoniakk på lasteskip, hydrogen på hurtigbåter og elektrifisering av ferger.



Fra Tabell 15 fremkommer det at inntil 543 000 tonn CO₂ kan kuttes ved bruk av landstrøm. Mesteparten av dette kan trolig tilordnes havneutslipp som kan knyttes til reiser mellom to norske havner, men dette er ikke undersøkt nærmere.

Vi bemerker også at tiltakene i pakken vil medføre utslippskutt som ikke teller i det innenlandske regnskapet, men som like fullt bidrar til redusert klimaeffekt. Dette er fordi skipene tilbringer inntil 20 % av tiden utenfor norske farvann.

Tabell 17 viser den resulterende samfunnsøkonomiske kostnaden som resultat av pakken. I disse kostnadene er det kun innenriks CO₂-utslippsreduksjoner som regnes med. Vi ser betydelige variasjoner i tiltakskostnaden. Kun elektrifisering av ferger er beregnet til å være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Imidlertid er kun investeringskostnaden for batteri og tilhørende systemer om bord på skipet inkludert i beregningen. Investeringskostnaden for infrastruktur (nettoppgradering og ladesystemer) kan ofte være høyere enn kostnaden for batterisystem på skipet – når disse inkluderes kan tiltaket forventes å være samfunnsøkonomisk ulønnsomt, dog med en relativt lav tiltakskostnad sammenlignet med andre tiltak¹³. Gjennomsnittlig vektet tiltakskost for hele pakken er 3400 NOK/tonn CO₂, uten innblanding av biodrivstoff. Med 50 % biodrivstoff er gjennomsnittlig vektet tiltakskostnad noe lavere; 3000 NOK/tonn CO₂. Tabellen viser resultater for nybygg og eksisterende skip (retrofit) samlet, men ser fra resultatene at tiltakskostnaden for retrofit-tiltak er betydelig større enn for nybyggtiltak.

I gjennomsnitt er de dyreste tiltakene plug-in hybridisering og forbedret EE-pakke, men det er store variasjoner mellom skipstypene her. For plug-in hybridisering er det store variasjoner når det gjelder hvor stor andel av skipenes drift som kan dekkes elektrisk. Behovet for store batterier for å gi signifikante utslippsreduksjoner gir høye investeringskostnader som ikke spares inn av reduserte energikostnader. For hydrogen og ammoniakk er tiltakskostnaden noe jevnere fordelt mellom de ulike skipssegmentene.

Tiltakskostnaden som er beregnet for innføring av et tiltak på et skipssegment er å betrakte som et vektet gjennomsnitt av tiltak på alle de enkelte skipene som inngår i tiltaket. Særlig for tiltak der det er få skip inkludert, vil den beregnede kostnaden være usikker. Et annet usikkerhetsmoment er at tiltakene som modelleres i dag ikke er fullt utviklet og klare for markedet. Dermed er investeringskostnadene usikre; dette gjelder særlig investeringskostnadene for hydrogen- og ammoniakkdirft. Her er enhetskostnader fra litteraturen benyttet – den faktiske kostnaden for systemene vil være kjent først når disse blir tilgjengelige i markedet.

¹³ DNV GL har tidligere utarbeidet et notat for som viser detaljerte beregninger av merkestnader for elektrifisering av fylkeskommunale fergesamband, som underlag til regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart (Klima- og miljødepartementet, 2019)

Tabell 16: Reduksjon av CO₂-utslipp (ktonn) i 2030, per segment og per tiltak som inngår i pakken.

	Andre spesial-fartøy	Cruise	Fiske-fartøy	Gods-skip	Havbruk	Hurtig-båt	Offshore	Passasjer-skip	Våt- og tørrbulk	Totalt
Ammoniakk	-	-	-	72	108	-	-	-	24	204
Hydrogen	10	28	-	-	-	126	72	1	-	237
LNG	-	-	-	9	-	-	-	-	8	17
Plug-in hybrid	9	0	38	9	24	-	234	-	10	324
Batterielektrisk ferge	-	-	-	-	-	-	-	179	-	179
Forbedret EE-pakke	-	3	18	15	19	-	1	1	6	62
Totalt uten innblanding	19	31	56	105	151	126	308	181	48	1024
Biodiesel	51	4	215	38	15	6	146	29	38	542
Biogass	3	-	-	29	-	-	9	76	26	143
Totalt	74	36	272	172	153	132	457	246	114	1709

Tabell 17: Samfunnsøkonomisk tiltakskostnad (NOK/tonn CO₂) per segment og per tiltak som inngår i pakken.

	Andre spesial-fartøy	Cruise	Fiske-fartøy	Godsskip	Havbruk	Hurtig-båt	Offshore	Passasjerskip	Våt- og tørrbulk	Vektet gjennomsnitt
Ammoniakk				1700	1500				2100	1600
Hydrogen	6400	2000				2200	3500	1900*		2700
LNG				1100					1400	1200
Plug-in hybrid	18600	16100*	3500	5500	7100		7500		200	7000
Batterielektrisk ferge								-100		-100
Forbedret EE-pakke		-200	1600	6300	1700		-3000*	20300*	700	2800
Vektet gjennomsnitt uten innblanding	12200	1800	2900	2600	2400	2200	6500	0	1400	3300
Biodiesel	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470
Biogass	2400	-	-	2400	-	-	2400	2400	2400	2400
Vektet gjennomsnitt	5000	1900	2600	2600	2400	2200	5200	900	2000	

* CO₂-reduksjon ved/applikasjonen av tiltaket er lav, og det er dermed høyere usikkerhet i kostnadsberegningen.

8 REFERANSER

Ahl, C., Frey, E. & Steimetz, S., 2017. The effects of financial incentives on vessel speed reduction: Evidence from the Port of Long Beach Green Flag Incentive Program. Marit Econ Logist 19: 601. <https://doi.org/10.1057/mel.2016.12>

DNV GL, 2014a. Sjøsikkerhetsanalysen 2014. Prognoser for skipstrafikken mot 2040. Rapport til Kystverket. DNV GL Report No.: 2014-1271.

DNV GL, 2014b. Sammenstilling av grunnlagsdata om dagens skipstrafikk og drivstofforbruk. Rapport til Klima- og miljøverndepartementet. Rapportnummer: 2014-1667.

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

DNV GL, 2015b. Undersøkelse om markedsgrunnlaget for landstrøm: Landstrøm i norske havner. Rapportnummer 2015-1214.

DNV GL, 2016a. Reduksjon av klimagassutslipp fra norsk innenriks skipsfart, DNV GL Report 2016-0150.

DNV GL, 2016b. Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip. DNV GL rapport no. 2016-0511.

DNV GL, 2016c. Samfunnsøkonomisk vurdering av tilskudd til miljøtiltak i havner. DNV GL rapport no. 2016-1040.

DNV GL, 2016d. Realisering av null- og lavutslippsløsninger i anbudsprosesser for ferjesamband. Utarbeidet av DNV GL på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet. Report No.: 2016-0119.

DNV GL, 2016e. Hydrogen som energibærer på Vestlandet - Mulighetsstudie 2016. DNV GL Rapport nr.: 2016-0931.

DNV GL, 2017a. Low Carbon Shipping Towards 2050. Report No.: 2017-0205.

DNV GL, 2017b. Study on the Use of Fuel Cells in Shipping, rapport for European Maritime Safety Agency, Version 0.1.

DNV GL, 2017c. Navigating a low-carbon future. Rapport for Norges Rederiforbund, rapport no.: 2017-0205.

DNV GL, 2018a. Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk. Rapport for Miljødirektoratet, M-1027|2018, DNV GL Rapportnummer 2019-0939.

DNV GL, 2018b. Barrierer for lav- og nullutslippsløsninger for transport av tørrlast med skip. Rapport nr.: 2018-0126. Rapport til Klima- og miljødepartementet, Sjøfartsdirektoratet og Næringslivets NOx-fond.

DNV GL, 2018c. Maritime Forecast to 2050 – Energy transition outlook 2018. DNV GL publication available at dnvgl.com/eto.

DNV GL, 2018d. Effekt av hastighetsreduksjon for cruiseskip i verdensarvfjordene, rapport for Sjøfartsdirektoratet. Rapport nr.: 2018-0025, Rev. 1.

DNV GL, 2018e. Utredning av omsetningskrav for biodrivstoff i skipsfarten. Rapport for Sjøfartsdirektoratet. Rapport nr. 2018-0643.

DNV GL, 2019a. Barometer for grønn omstilling av skipsfarten. Rapportnummer 2019-0080. Rapport til Klima- og miljødepartementet som underlag til Handlingsplanen for grønn skipsfart.



DNV GL, 2019b. Maritime Forecast to 2050 – Energy transition outlook 2019. DNV GL publication available at dnvgl.com/eto.

DNV GL, 2019c. Comparison of alternative marine fuels. Rapport for SEALNG, DNV GL rep. no. 2019-0567.

DNV GL, 2019d. Evaluering av Enovas satsing på landstrøm. Rapport no. 2019-0114.

DNV GL, 2019e. Klimatiltak innen godstransport. Rapport for Samferdselsdepartementet fra DNV GL, TØI og Menon (under ferdigstillelse).

Eide, M. S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, Ø., Dalsøren, S. B., 2011. Future cost scenarios for reduction of ship CO₂ emissions, Maritime Policy & Management.

Klima- og miljødepartementet, 2019. Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart. Publikasjonskode: T-1567 B.

Lindstad, H.E., Eskeland, G.S, 2015. Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amount to substantial capital energy substitution. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 41, December 2015, Pages 244-256.

OECD (2018), 'Decarbonising maritime transport by 2035', OECD, 26 March 2018, accessed at www.itf-oecd.org.

WPCI, 2015. Onshore Power Supply - Investments. <http://wpci.iaphworldports.org/onshorepower-supply/cost/investments.html>, World Ports Climate Initiative

Zero (2019). Kartlegging av lademuligheter og landstrøm for Kystruta. http://zero.no/wp-content/uploads/2019/04/0319_zeronotat_kartlegging_av_lademuligheter_kystruta_forweb1-1.pdf , Publisert av Zero Emission Resource Organisation (ZERO).

APPENDIX A: JUSTERING AV VEKSTRATER

I dette appendix beskrives vurderingene som ligger til grunn for de oppdaterte vekstratene som er anvendt i denne studien.

Overordnet er fremgangsmåten som følger:

- 1) Gjennomgang av metode og datagrunnlag som er benyttet i de opprinnelige prognosene.
- 2) Vurdering av hvorvidt det foreligger nye data som avviker fra datagrunnlaget anvendt i opprinnelig prognose.
- 3) Dersom det foreligger nye data, justeres vekstratene basert på en skjønnsmessig vurdering som hensyntar metoden brukt i opprinnelig prognose.

I det følgende presenteres vurderingene for de enkelte skipssegmenter. Lasteskip er vurdert samlet med unntak av råolje- og gasstransport og offshore supply, mens kategoriene «Andre fartøystyper» og «Ukjente fartøystyper» ikke er evaluert.

Merk at vekstratene som anvendes i utgangspunktet er utarbeidet for den samlede aktiviteten i norske farvann, men antas representativ for norsk innenriks utslipp også.

Lasteskip (utenom råolje og gass)

DNV GLs nåværende prognoser for lasteskipstrafikken mot 2030 og 2040 (DNV GL, 2014a) tar utgangspunkt i Transportøkonomiske institutt (TØI) sine prognoser for godstransport (TØI, 2011a), justert for oppdaterte varestrømmer fra 2012. Til grunn for TØI prognosene ligger, i hovedsak, økonomisk utvikling og befolkningsfremskrivning. I grunnprognosene er det for godstransport på skip (eksklusive råolje og gass) beregnet en gjennomsnittlig vekstrate for transportarbeid på 1,2% mot 2050, og omtrent 1,27% mot 2030 (TØI, 2015). Basert på varestrømmene som ligger til grunn for disse prognosene beregnet DNV GL gjennomsnittlig vekstrate for utseilt distanse til 2% frem mot 2030, eksklusive råolje og gass.

TØI har senere oppjustert transportarbeidprognosene basert på fremskrivning av varestrømmene fra basisåret (2012) til 2016, og beregnet en gjennomsnittlig årlig vekstrate på omtrent 1,31% mot 2030, og 1,3% mot 2050 (TØI, 2017). For 2030 gir dette en økning på 3% sammenliknet med 2012-prognosene, som blant annet kommer av oppjusterte BNP-fremskrivninger fra 2020 og fremover. Ser man de relativt små forskjellene mellom gammel og ny prognose i sammenheng med den fundamentale usikkerheten knyttet til langtidsprognoser, endres ikke de årlige vekstratene for lasteskip eksklusive råolje- og gasstransport.

Råolje- og gasstransport

Transport av råolje og gass er håndtert separat i opprinnelige prognoser (DNV GL, 2014a). Her ble TØIs prognoser for varestrømmer knyttet til råolje og gass supplert med tall fra Kystverkets *Årsrapport 2013 for petroleumstransporter til/fra russiske havner i nord, utskipning Melkøya og nordøstpassasjen*. Disse kombinerte varestrømmene ble igjen fremskrevet basert på påbegynt og mulig feltutvikling i regionen.

Det er ikke funnet noen holdepunkter for at antagelsene som lå til grunn er vesentlig endret. Blant annet nådde LNG-produksjonen på Yamal sin fulle kapasitet på 16,5 Mt/år i desember 2018, som var en nøkkelantagelse for fremskrivning av gasstransport. Årlige vekstrater for råolje- og gasstransport står dermed uendret.

Offshore supply

Vekstraten for utseilt distanse innen offshore supply ble i DNV GLs nåværende prognoser (DNV GL, 2014a) beregnet ved å anta at alle fremskrevne varestrømmer (TØI, 2011a), som går til og fra oljefeltene, bortsett fra petroleumsprodukter, kan tilordnes denne skipstypen. Disse varestrømmene er basert på Oljedirektoratets prognoser for oljevirkksomhet, og med en underliggende forventning om gradvis nedtrapping av aktivitet på norsk sokkel, ble vekstratene for offshore supply- og andre offshore serviceskip beregnet til henholdsvis -1,6% og -1,7% mot 2030. Som et resultat av oljepriskollapsen har aktiviteten falt betydelig etter disse fremskrivningene, og utseilt distanse hadde mellom 2013 og 2018 en vekstrate på -3,8%. Det legges likevel til grunn at aktivitet på sokkelen har lange tidshorisonter tross markedsflyktuasjoner, og det er ikke funnet holdepunkter for å justere prognosene fra 2014 for perioden 2020-2030.

Fiskefartøy

Nåværende prognose for fiskefartøy er i hovedsak basert på tendensen mot en mindre, men mer effektiv, fiskeflåte. Det er estimert en vekstrate for utseilt distanse på -0,4% frem mot 2030, hvor effekten av større og mer effektive fartøy motvirker en antatt årlig flåtereduksjon på 1%. SINTEF Fiskeri og Havbruk har siden, på oppdrag fra Kystverket, utarbeidet en prognose for anløp fra fiskeflåten frem mot 2060 ved å tilpasse lineære statistiske modeller til sluttседdelstatistikk til og med 2017 (SINTEF, 2018). Ved å fremskrive utviklingen av parametere som tilgjengelige fiskeressurser, flåtesammensetning og flåten tekniske kapasitet, ble det beregnet en årlig anløpsvekstrate på ca. -0,45%. Verdt å merke seg er at region Svalbard, som i 2013 omfattet 18% av fiskeflåten utseilt distanse, ikke er inkludert i analysen. Vekst i utseilt distanse i Svalbard-regionen er estimert til 11% mot 2030, fundamentert på betraktninger rundt endrede bestander som følge av klimaendringer, og at endringer i flåtesammensetningen for Svalbard ikke har betydelig innvirkning (DNV GL, 2014b). Med utgangspunkt i SINTEFs prognoser, justert for prognosene for Svalbard, settes den årlige vekstraten til fiskeflåten til -0,25% frem mot 2030.

Passasjerskip (utenom Cruise)

Utseilt distanse for passasjerskip er i DNV GLs nåværende prognoser (DNV GL, 2014a) fremskrevet med utgangspunkt i TØIs *Grunnprognoser for persontransport 2010-2060* (TØI, 2011b). Grunnprognosene er basert på nasjonale og regionale persontransportmodeller, og fremskriver persontransportarbeid for blant annet sjøtransport. Dermed ble veksten i utseilt distanse frem mot 2030 satt lik TØIs prognose for persontransportarbeid for sjø på 13%, som tilsvarer en årlig vekstrate på 0,7%. TØI har senere oppdatert disse prognosene, og i *Grunnprognoser for persontransport 2016-2050* (TØI, 2017b) er det beregnet en nedgang på 8,3% frem mot 2030, som tilsvarer en årlig vekstrate på -0,62% fra 2016. Den forventede nedgangen forklares blant annet av store fergeavløsningsprosjekter som Rogfast og Ryfast på E39.

De nye dataene for TØI gir grunnlag for å justere prognosene anvendt i denne studien. Imidlertid har DNV GL tilgang til detaljert informasjon fra andre kilder om fremtidig vekst for de viktigste sub-kategoriene av passasjerskip, nemlig ferger og kystruta. Her sitter vi med detaljkjennskap til det enkelte samband og ruter, blant annet gjennom prosjekter for Statens vegvesen og fylkeskommunene. Kystrutens aktivitet er også beskrevet i forbindelse med den nylig inngåtte kontrakten for perioden 2020 til 2030. Vi legger denne kunnskapen til grunn, og jobber på sambandsnivå (skipsnivå) for å justere vekst. For øvrige passasjerskip settes vekst lik null.

Cruise

Fremskrevne vekstrater for cruiseskipflåten utseilt distanse er i DNV GLs nåværende prognoser (DNV GL, 2014a) basert på prognoser fra FN, Cruise Network Norway og Oslo Havn, og justert ned på grunn av usikkerhet knyttet til effektene av losplikt, NOx-avgift og strengere svovelutslippskrav. Årlig vekstrate



er estimert til 3,1% mot 2030. I TØI sine prognoser for cruisetrafikk mot 2060 pekes det på at mye av den globale veksten i cruisetrafikk vil skje i Asia, og at veksten i Norge må sees i sammenheng med øvrig vekst (TØI, 2018). Det legges også til grunn at veksten har flatet ut de siste årene, og at antall anløp vokser saktere enn antall turister ettersom skipene blir større. I hovedestimatet til TØI beregnes en årlig anløpsvekstrate mot 2030 på ca. 0,8%. Sett i sammenheng med strengere klima- og miljøkrav på populære cruisedestinasjoner, og svovelkravet som trer i kraft 01.01.2020, settes den årlige vekstraten for utseilt distanse ikke høyere enn TØIs anløpsprognose.

Referanser for Appendix A

- DNV GL. (2014a). *Prognoser for skipstrafikken mot 2040*. Oslo: DNV GL.
- DNV GL. (2014b). *Analyse av sannsynligheten for akutt oljeutslipp fra skipstrafikk for Svalbard og Jan Mayen*.
- SINTEF. (2018). *Oppdaterte anløpsprognoser for fiskefartøy frem til 2060*. Trondheim: SINTEF Ocean AS.
- TØI. (2011a). *Grunnprognoser for godstransport - NTP 2014-2023*. TØI-rapport 907/2007. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- TØI. (2011b). *Grunnprognoser for persontransport 2010-2060*. TØI-rapport 1122/2011. Transportøkonomisk institutt.
- TØI. (2015). *Grunnprognoser for godstransport til NTP 2018-2027*. TØI-rapport 1393/2015. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- TØI. (2017). *Fremskrivninger for godstransport i Norge, 2016-2050*. TØI-rapport 1555/2017. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- TØI. (2017b). *Fremskrivninger for persontransport i Norge 2016-2050*. TØI-rapport 1554/2017. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- TØI. (2018). *Cruisetrafikk til norske havner - Oversikt, historie og prognoser 2018-2060*. TØI-rapport 1651/2018. Oslo: Transportøkonomisk institutt.

APPENDIX B: GRUNNLAGSDATA 2018

Tabell 18: Grunnlagsdata fra AIS for referanseåret 2018.

Fartøyskategori	Antall skip i NØS	Innenriks CO ₂ -utslipp [ktonn]
Våt- og tørrbulk	2507	363
Godsskip	1863	480
Offshore	579	887
Andre spesialfartøy	564	187
Havbruk	95	122
Fiskefartøy	980	932
Hurtigbåt	79	140
Cruise	121	303
Passasjerskip	326	873





Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.