

KARTLEGGING AV TEKNOLOGISTATUS

Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip

Enova SF

Rapportnr.: 2016-0511, Rev. 1

Dokumentnr.: 1ZMV979-4

Dato: 2017-04-07



Prosjektnavn: Kartlegging av teknologistatus DNV GL AS Maritime
Rapporttittel: Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip Shipping Advisory
Oppdragsgiver: Enova SF, Postboks 5700 Sluppen P.O.Box 300
7473 TRONDHEIM 1322 Høvik
Norway Norway
Tel: +47 67 57 99 00

Kontaktperson:

Dato: 2017-04-07
Prosjektnr.: PP152807
Org. enhet: Shipping Advisory
Rapportnr.: 2016-0511, Rev. 1

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

DNV GL har på oppdrag fra Enova kartlagt tiltak for energieffektivisering av skip. Formålet med rapporten er å gjøre Enova bedre i stand til å vurdere ulike teknologiers potensial for energieffektivisering og selektere hvilke teknologier som bør kunne omfattes av Enovas støtteprogram.

Utført av:



Eivind Dale
Senior Principal Consultant

Verifisert av:



Håkon Hustad
Principal Consultant

Godkjent av:



Knut Ljungberg
Head of Section

Harald Gundersen
Consultant

Magnus S. Eide
Principal Consultant

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2017. 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:

- Fri distribusjon (internt og eksternt)
 Fri distribusjon innen DNV GL
 Fri distribusjon innen det DNV GL-selskap som er kontraktspart
 Ingen distribusjon (konfidensiell)

Nøkkelord:

Maritim
Energieffektivisering
Skipsfart
Teknologikartlegging

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	2016-12-22	First issue			
1	2017-04-07	Variabel AC-distribusjon inkludert	Eivind Dale	Magnus Lande/ Sverre Eriksen	Knut Ljungberg

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	3
2	INTRODUKSJON	6
3	TEKNOLOGIBESKRIVELSER	7
3.1	Metode	9
3.2	Maskineri	11
3.3	Nye og mer effektive skrog, propell- og rorløsninger	34
3.4	Konsumenter	47
3.5	Utnyttelse av vind- og solenergi	52
3.6	Tekniske løsninger for optimalisering av operasjonen	54
3.7	Umodne eller usikre teknologier/tiltak	70
4	SKIPSSEGMENTER MED STØRST POTENSIALE FOR ENERGIEFFEKTIVISERING	77
4.1	Metode	77
4.2	Beskrivelse av dagens trafikk og utslipp	77
4.3	Potensiale for nybygg	80
4.4	Utvelgelse av skipssegmenter	83
5	ANALYSE	85
5.1	Eksterne og markedsmessige forhold	86
5.2	Potensialet for tiltaksbruk på utvalgte referanseskipstyper	90
5.3	Potensiale for energieffektivisering for utvalgte teknologier	124
6	MULIG MARKEDSENDRING GJENNOM STØTTE FRA VIRKEMIDDELAPPARATET.....	136
7	REFERANSER	139
	APPENDIX A - ANTALL SKIP	142
	APPENDIX B – LØNNSOMHET OG REDUKSJON PER SEGMENT	143

1 SAMMENDRAG

DNV GL har på oppdrag fra Enova kartlagt teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip. Formålet med rapporten er å gjøre Enova bedre i stand til å vurdere ulike teknologiers/tiltaks potensial for energieffektivisering og selektere hvilke som bør kunne omfattes av Enovas støtteprogram.

Rapporten beskriver inngående teknologier og tiltak for energieffektivisering på skip. Til sammen 33 tiltak er beskrevet, gruppert i de følgende kategorier;

- Maskineri
- Nye og mer effektive skrog, propell- og rørløsninger
- Konsumenter
- Utnyttelse av vind- og solenergi
- Tekniske løsninger for optimalisering av operasjon

Teknologi-/tiltaksbeskrivelsene inkluderer en introduksjon til prinsippene bak teknologien/tiltaket samt reduksjons- og kostnadsestimater.

I tillegg beskriver rapporten teknologier/tiltak som vurderes som relativt umodne for maritim anvendelse i dag, men som antas kan bli svært relevante i et 5 års perspektiv. Tre nye teknologier/tiltak vurderes som spesielt relevante.

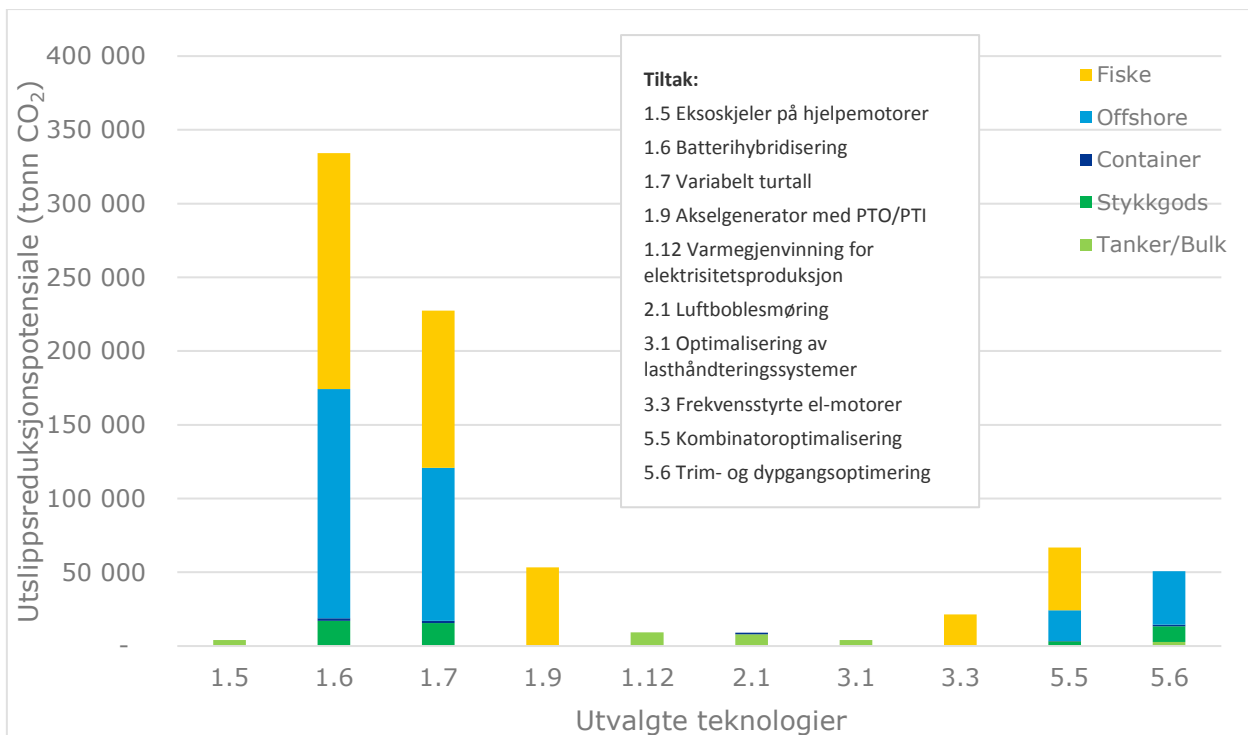
Rapporten beskriver videre skipstrafikken i norske farvann, og bidragene til drivstofforbruk og utslipp av CO₂ fra forskjellige skipssegmenter. Disse bidragene er dominert av fiskefartøy, passasjerskip og offshorefartøy, og med betydelige bidrag fra lasteskip. Oppdragsgiver har spesifisert at ferjer, cruise-skip og hurtigbåter/mindre passasjerfartøy ikke skal omfattes av denne studien.

Første del av analysen fremhever de viktigste teknologiene/tiltakene, dvs. de med størst potensiale for energieffektivisering, vurdert for et sett referanseskip. Resultatene fra disse vurderingene er deretter generalisert for hvert av skipssegmentene, slik at det gir et bilde av det samlede potensialet for flåten i norske farvann.

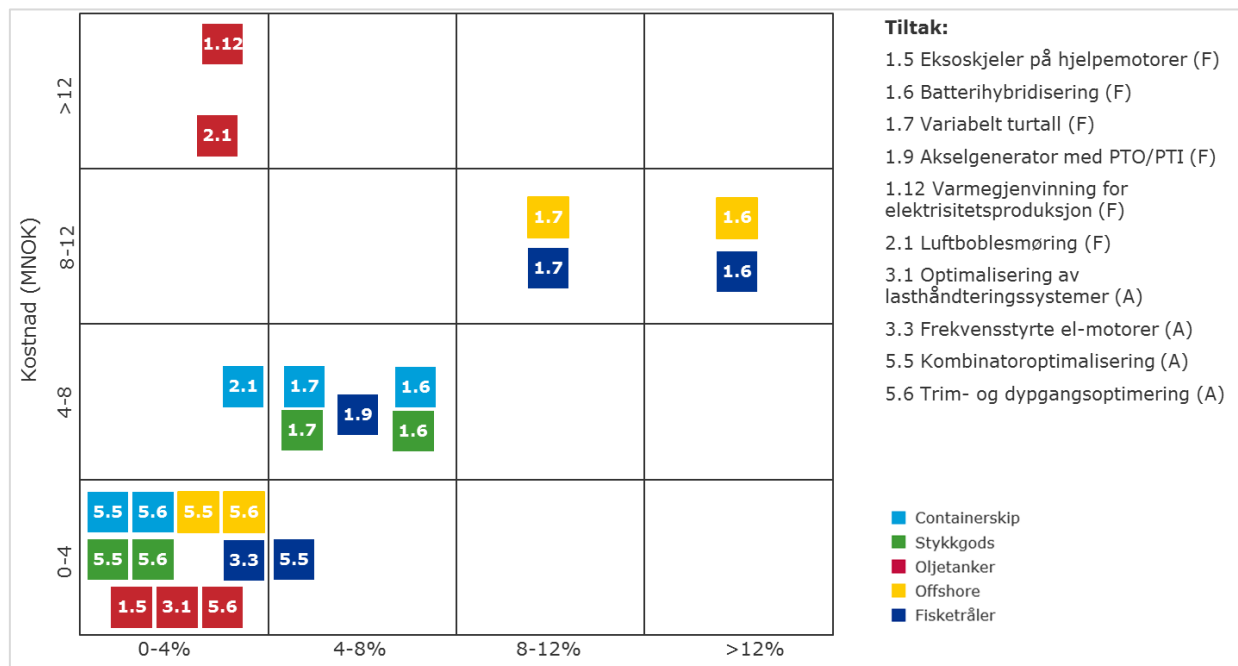
Videre belyser rapporten hvilke teknologier som er mest lovende, når flere skipssegmenter vurderes samlet. Det trekkes frem teknologier som gir et særlig stort potensiale for utslippsreduksjon, og som samtidig ikke er i utstrakt bruk i dag. Videre diskuteres de sentrale grunnene, eller barrierene, som hindrer en videre utbredelse av tiltakene.

Analysene viser at det er et betydelig potensiale for energieffektivisering og utslippreduksjoner. Arbeidet har identifisert 10 teknologier/tiltak som har særlig stort potensiale og som ikke er i utstrakt bruk i dag. Potensialet innen de betydeligste skipsegmentene i norske farvann er vist i Figur 1-1 nedenfor. Merk at figuren gir et grovt anslag på det samlede potensiale for utslippsreduksjon i norsk innenriks skipsfart. Tallet impliserer videre en 100 % implementering i dagens flåte, uten hensyn til kostnader, tidshorisont, utskiftninger i flåten eller andre praktiske hensyn. Dette er ikke ment som et presist anslag, men som et grunnlag for å sammenligne hvordan de fremhevede teknologiene/tiltakene kan påvirke utslippet fra flåten i norks innenriksfart

I Figur 1-2 er teknologiene/tiltakene vurdert i forhold til skipssegmentene og typisk investeringsomfang.



Figur 1-1 Potensiale og kostnadsnivå for utvalgte teknologier for energieffektivisering og utslippsreduksjoner



Figur 1-2 Potensiale og kostnadsnivå for utvalgte teknologier/tiltak for energieffektivisering og utslippsreduksjoner (plassering av tiltakene er indikativ og vil kunne variere)

Blant disse teknologiene/tiltakene peker det seg ut fire effektive og egnede teknologier. Disse krever imidlertid betydelige investeringer, og den bedriftsøkonomiske lønnsomheten er svært usikker. Sammen med andre forhold representerer dette betydningsfulle barrierer for å ta løsningene i bruk (se Figur 1-3). For slike teknologier vurderer vi at offentlige insitamenter og/eller støtte fra virkemiddelapparatet vil kunne utgjøre en forskjell av betydning for valg av løsning. Med en effektiv og riktig tilpasset ordning vil etter vårt syn en slik støtte over tid kunne føre til varige markedsendringer.

Tiltak	Barrierer								
	Investeringsomfang	Delte incentiver - drivstoff	Kontraktuell forutsigbarhet	Teknologiens modenhet	Pålitelighet	Lav oljepris	Kapitaltilgang	Amnehåndsverdi	Samlet barrieregrad
Batterihybridisering	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	●
Variabelt turtall	✓	✓	✓			✓	✓		○
Luftboblesmøring	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	●
Akselgenerator med PTO/PTI	✓	✓	✓			✓			○

● Høye barrierer
○ Ingen barrierer

Figur 1-3 Teknologier med betydelige barrierer for å bli tatt i bruk

I den neste 5 årene vil også nye teknologier/tiltak kunne bli svært relevante, spesielt trekkes frem ladbar batterihybrid, batteridrift (fullelektrisk drift) og brenselcelle/hydrogen. Også her vil virkemiddelapparatet kunne bidra til et raskere og varig teknologioptak i markedet, både gjennom støtte til teknologiutvikling og til implementering i nybygg og eventuelle ombygginger.

Rapporten er utformet slik at den kan støtte opp under vurderinger knyttet til Enovas støtteprogram som omhandler løsninger med tilstrekkelig energieffektiviseringspotensial, innen ulike fartøyssegment med tilhørende operasjonsprofiler. Rapporten vil også fungere som et oppslagsverk for energieffektiviserings-tiltak på skip, herunder deres egnethet, effekter og kostnader.

Utvalget som er gjort i hvert trinn av analysen i denne rapporten har muliggjort en detaljert beskrivelse og diskusjon av et mindre utvalg teknologier/tiltak på bekostning av den fulle bredden av disse teknologiene/tiltakene. Dette er gjort av ressursmessig og praktiske hensyn. Utvalget er gjort på bakgrunn av de spesifikke utvelgelseskriteriene formulert i hvert kapittel av rapporten, og er basert på de tilgjengelige faktiske opplysningene om tiltakene og bruken av disse. Utvalget må sees i lys av prosjektets overordnede formål, og de utvalgte teknologiene/tiltakene må ikke anses som en fasit over de «best egnede» eller «beste» eller «viktigste» mulighetene på generell basis. Utvalget av de fremhevede teknologiene må heller ikke forstås dithen at andre tiltak ikke kan være av interesse for Enova og til nytte for redere.

2 INTRODUKSJON

Enova inngikk vinteren 2016 avtale med DNV GL om konsulentoppdrag for utredningen: «Kartlegging av potensial og teknologistatus innen maritim sektor». Formålet med studien har vært å gjøre Enova bedre i stand til å vurdere ulike teknologiers potensial for energieffektivisering og selekere hvilke teknologier/tiltak som bør kunne omfattes av Enovas støtteprogram.

Transport av varer på skip er kjent som en svært energieffektiv (og dermed miljøvennlig) transportform, samtidig som hvert enkelt skip kan slippe ut betydelige mengder lokalforurensning og klimagasser. Dette henger sammen med at hvert enkelt skip er utstyrt med et stort og energikrevende maskineri, samtidig som transportkapasiteten er høy. Alle tiltak som gjøres for å redusere energibruken til skipet vil derfor ha relativt stor positiv effekt på utslipp. Tidligere analyser (DNV GL, 2014-2016) viser at utslipp av CO₂ fra skipstrafikk i norske og internasjonale farvann ventes å øke betydelig frem mot 2040, og at en reduksjon av utslipp til nivåer som er i tråd med nasjonale og internasjonale forpliktelser vil være utfordrende. En slik reduksjon vil kreve en mer energieffektiv skipsflåte som også opereres mer energioptimalt, samt en omfattende omlegging til alternative drivstoff i skipsfarten.

Det er et stort mangfold av muligheter for å bedre energieffektiviteten, både på nye skip og på eksisterende. Disse teknologiene/tiltakene er av både operasjonell og teknisk karakter, og innebærer alt fra små tilpasninger i måten et skip opereres på, til store, kapitalkrevende ombygninger. Løsningene er i større eller mindre grad i bruk på skip i dag – ofte vil det være betydelige skiller mellom skipssegmenter. For at Enova effektivt skal kunne bidra til å øke energieffektiviteten til skip i norske farvann, er det avgjørende å etablere en oversikt over mulighetsrommet for tiltak.

Denne rapporten beskriver energieffektiviseringsteknologier og tiltak med maritim anvendelse (kapittel 3). Videre beskrives skipstrafikken i norske farvann (kapittel 4), og bidragene til drivstofforbruk og utslipp av CO₂ fra forskjellige skipssegmenter. På denne bakgrunn trekkes det frem seks referanseskip som langt på vei kan representere variasjonen i flåten. Disse skipene brukes så i en analyse av tilgjengelige energieffektiviseringsløsninger.

Analyse av energieffektiviseringspotensialer er dokumentert i kapittel 5. Første del av analysen fremhever de teknologiene/tiltakene med størst potensiale for energieffektivisering, vurdert for hvert referanseskip (kapittel 5.2).

Videre belyser rapporten hvilke teknologier/tiltak som er mest lovende, når flere skipssegmenter vurderes samlet (kapittel 5.3). Det trekkes frem teknologier som har et særlig stort potensiale for utslippsreduksjon, og som samtidig ikke er i utstrakt bruk i dag. Videre diskuteres de sentrale grunnene, eller barrierene, som hindrer en videre utbredelse av tiltakene.

Kapittel 6 diskuterer hvordan bruk av virkemiddelapparatet kan bidra til varig markedsendring i lys av de foregående kapitlene.

Referanser er listet i Kapittel 7, mens Appendix A og B ligger bakerst i rapporten.

3 TEKNOLOGIBESKRIVELSER

Det påfølgende kapittelet dokumenterer og beskriver energieffektiviseringsteknologier og -løsninger med maritimt anvendelse, som anses som relevante. Beskrivelsene er forsøkt organisert på et hensiktsmessig overordnet nivå, men samtidig detaljert nok til å gi nødvendig forståelse av prinsippene bak enkeltteknologier og tilstrekkelig presise reduksjons- og kostnadsestimater. For enkelte teknologier/tiltak har det vært nødvendig å benytte relativt generelle beskrivelser og grovmaskede estimater på reduksjons-/kostnadstall. Dette kan skyldes begrenset utbredelse i markedet og dermed lite erfaringstall, eller store variasjoner på tvers av skipstyper, størrelsessegmenter og drift. Det er imidlertid forsøkt å beskrive tiltakene på en enhetlig og uniform måte for å forenkle forståelsen og bedre lesbarheten/anvendelsen av dette kapittelet.

I tabellen under (Tabell 3-1) listes de 33 enkeltteknologiene/-tiltakene som er beskrevet og evaluert i rapporten. Tiltakene og gjennomgangen av dem er delt inn i grupper og dimensjoner som er vesentlig for videre identifisering av tiltakenes potensial for det norske maritime trafikkbildet. Følgende kategorier er benyttet:

1. **Teknologigruppe:** Angir, på et overordnet nivå, hovedsystem/-mekanisme for oppnådd effekt om bord på et skip. I tilfeller der enkelte teknologier eller tiltak kan sortere under flere teknologigrupper er teknologiene plassert i gruppen der den vil ha størst potensial.
2. **Teknologinavn:** Teknologiens/tiltakets navn. For å gjøre navngivingen så beskrivende som mulig kan teknologinavnet i noen tilfeller avvike noe fra andre kilders/leverandørers omtale av den samme teknologien.
3. **Nybygg/Eksisterende:** Angir hvor vidt teknologien/tiltaket har størst relevans for nybygde skip (N), eksisterende skip (E), eller begge (N/E). Merk at dette er en grov inndeling da enkelte teknologier/tiltak kan ha retrofit-anvendelse i spesifikke segmenter, men ikke i alle.
4. **Effekt avhengig av bruksmåte:** Angir hvor avhengig potensialet/effekten av teknologien er av driftsmåte og oppfølging fra personell ombord. Mens enkelte teknologier vil ha stabil effekt uavhengig av driftsmønster, bruk og menneskelig involvering (f.eks.: LED-belysning), vil effekten av andre teknologier og tiltak være avhengig av hvordan skipet og teknologien driftes og følges opp (f.eks.: trim- og dypgangsoptimering) . Inndeling som er benyttet for å illustrere disse forskjellene er henholdsvis: svært avhengig (S), medium avhengig (M), lite avhengig (L) og ikke avhengig (I).
5. **Teknologi/Operativ:** Angir om et tiltak kan anses som et teknologisk- eller et operativt tiltak. Tekniske tiltak vil som regel innebære at enkelte komponenter installeres eller at det gjøres fysiske forandringer på skipet. Operasjonelle tiltak innebærer andre effektiviseringsprosesser som ikke krever større installasjoner eller endringer av komponenter.

I tillegg til de nevnte 33 teknologiene/tiltakene som er tilgjengelige for det maritime markedet i dag, er det i kapittel 3.7 tatt med teknologier/tiltak som enda er umodne og/eller usikre for maritim anvendelse. Det gis en oversikt over teknologier/tiltak som vi vurderer vil kunne bli modne og relevante i et 5 års perspektiv, deriblant beskrives nærmere 3 nye teknologier som anses som spesielt relevante med høyt potensiale.

Tabell 3-1: Aktuelle teknologier beskrevet og vurdert i rapporten

Teknologigruppe	Teknologinavn	Nybygg / Eksisterende	Effekt avhengig av bruksmåte	Teknologi / Operativ
Maskineri	Optimalisering av hjelpesystemer	N/E	I	T
	Elektronisk auto-tuning	N/E	L	T
	De-rating av hovedmaskineri	N/E	L	T
	Monitorering og testing av motorytelse	E	S	O
	Eksoskjeler på hjelpemotorer	N/E	I	T
	Batterihibridisering	N/E	L	T
	Variabelt turtall	N	L	T
	Forbedret motorlast på hjelpemotorer	E	M	O
	Akselgenerator med PTO/PTI	N	I	T
	Landstrøm	N/E	I	T
	Optimalisering av dampsystem	E	S	O
	Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon	N	L	T
Nye og mer effektive skrog, propell- og rorløsninger	Luftboblesmøring	N	L	T
	Skrogvask	E	L	O
	Motstandsreducerende bunnstoff	N/E	L	T
	Skrogformoptimalisering	N	I	T
	Ombygging av eksisterende skrog	E	I	T
	Propulsjonsforbedrende tiltak (PIDs)	N/E	I	T
	Propellpolering	E	L	O
	Bytte eller ombygging av propell	(N)/E	I	T
Konsumenter	Optimalisering av lasthåndteringssystemer	N/E	M	O
	Energieffektiv belysning	N/E	I	T
	Frekvensstyrte el-motorer	N/E	I	T
Utnyttelse av vind- og solenergi	Seil	N	M	T
	Kite	N/E	S	T
	Solcellepanel	N/E	I	T
Tekniske løsninger for optimalisering av operasjonen	Automatisk fortøyingssystem	N/E	L	T
	Bruk av autopilot	N/E	M	O
	Effektive DP-operasjoner	N/E	L	O
	Fartsreduksjon og bruk av økonomifart	N/E	M	O
	Kombinatoroptimalisering	N/E	L	O
	Trim- og dyppgangsoptimering	N/E	S	O
	Værruting	N/E	M	O


3.1 Metode

I prosessen med å identifisere relevante teknologier/tiltak har DNV GL benyttet et bredt utvalg erfarings- og informasjonskilder. Dette er gjort i den hensikt å sikre at det gis et mest mulig riktig bilde av *spennet* i dagens aktuelle løsninger, at man ikke utelater enkelte mindre åpenbare teknologiløsninger, og at man vurderer fremtidens teknologier under samme forutsetninger. Det gjøres oppmerksom på at teknologibeskrivelsene vil være preget av det maritime teknologimiljøet i DNV GL og vil kunne avvike fra andre aktørers oppfatning av dagens teknologistatus. Imidlertid representerer DNV GL et stort og sammensatt fagmiljø, og vi er trygge på at rapporten gir et godt virkelighetsbilde og svarer utfyllende på oppgaven innen de rammene som er gitt.

Hvilke teknologier man kan forvente vil «slå igjennom» i årene fremover er vanskelig å si med sikkerhet. I utarbeidelsen av rapporten har vi forsøkt å se fremover, se til andre innovative næringer som ligger langt fremme teknologisk, og vurdere det opp mot generelt teknologioptak i maritim bransje. Likevel vil nok ikke listen være helt komplett, og tallmaterialet må ses på som anslag basert på nåværende kjennskap og forutsetninger.

Teknologiscreeningen og identifiseringen er gjennomført i tre faser med ulike erfarings- og informasjonskilder, med tilhørende styrker og svakheter:

1. Erfaringer og materiale fra en rekke teknologievalueringsstudier gjennomført av DNV GL (i hovedsak forretningsenhetene Maritime Advisory og Research & Innovation, samt fra ulike samarbeidsprosjekter med akademia og forskningsmiljøer)
 - a. Styrker
 - i. Utfyllende og objektive beskrivelser og vurderinger av god kvalitet
 - b. Svakheter:
 - i. Baserer seg på tidligere arbeid slik at teknologier kan være utdatert og/eller mindre relevante for Enovas oppdragsbeskrivelse
2. Innhenting av informasjon fra næringen (utstyrsløseleverandører, andre klasseselskaper og rederier). Det er gjennomført intervjuer og gjennomgått produktbeskrivelser.
 - a. Styrker:
 - i. «Siste nytt» fra den maritime næringen
 - b. Svakheter:
 - i. Overestimerer ofte effekten av teknologiene
 - ii. Subjektive beskrivelser sammenlignet med nøytrale rapporter og kilder
 - iii. Beskrivelsene kan bære preg av overordnede beskrivelse i frykt for å dele bedriftshemmelighet og andre selskapssensitive opplysninger
3. Teknologi-workshoper i DNV GL med utvalgte eksperter fra ulike fagområder (skipsmaskineri, hydrodynamikk, miljøteknologi, batterier, energieffektivisering m.m)
 - a. Styrker:
 - i. Eksperter innenfor hver disiplin med detaljkunnskap innenfor sitt område
 - b. Svakheter:
 - i. Mindre kommersielt fokus – vanskelig å oppdrive kostnadstall



Etter denne gjennomgangen fremstår listen over dagens teknologier relativt komplett, gitt oppdragets forutsetninger og premisser. Samtidig har man, ved å kombinere materiale fra alle tre faser, vært i stand til å belyse de viktigste elementene (reduksjonspotensiale og kostnader) Enova har etterspurt i oppdragsbeskrivelsen, med gode kilder og metoder. Det kan argumenteres for at enkelte teknologier burde vært fremhevet fremfor å inngå i en samlegruppe, og at enkelte teknologier hadde fortjent større plass. I dette kapittelet har det imidlertid blitt lagt vekt på at alle teknologiene skal forsøkes behandlet og beskrevet på samme objektive grunnlag uten å fremheve enkeltteknologier. Sistnevnte vil i større grad gjøres i analysekapittelet, der det ses på potensialer og spesielt aktuelle teknologier for enkelte skipssegmenter.

De identifiserte teknologiene/tiltakene ble deretter evaluert under følgende rammeverk, utarbeidet i samråd med Enova:

1. **Beskrivelse av teknologi/tiltak:** Overordnet beskrivelse av teknologien/tiltaket og dens/dets prinsipper for energibesparelse.
2. **Generelle antagelser og anvendbarhet:** Underliggende antagelser vesentlig for beskrivelsen av teknologien, samt teknologiens relevans innen ulike segmenter. Drøfter også relevans for nybygg og eksisterende skip.
3. **Potensiale for utslippsreduksjon:** Forventede reduksjoner i energiforbruk som følge av installasjon og implementering av teknologien.
4. **Kostnad:** Forventede kostnader som følge av installasjon og implementering av teknologien. Inkluderer også eventuelle kontantstrømdringer, både positive og negative, der det er relevant (kan være økt/reduert vedlikehold, teknologiens driftskostnader etc).
5. **Kilder og referanser:** Angir hvilke kilder og referanser som er benyttet i fastsettelsen av tallgrunnlaget for energireduksjoner og kostnader. Komplette kildeliste følger imidlertid avslutningsvis i rapporten.

3.2 Maskineri

3.2.1 Optimalisering av hjelpesystemer

3.2.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Optimalisering av et skips hjelpesystemer mot skipsspesifikke operasjonelle profiler kan lede til betydelig redusert energiforbruk. Hjelpesystemer er ofte utformet for å støtte motorer og andre primærsystemer (kjøling, sirkulering, ventilasjon, komprimert luft osv) under ekstreme omgivelsesverdier, ofte ved 100% belastning, noe som sjelden eller aldri forekommer. Erfaring viser at slike systemer støtter motorer og systemer ved belastninger fra 80% og nedover. Under dagens forutsetninger for mange skipstyper, med bruk av «slow steaming» og/eller lange perioder med lav motorutnyttelse, opereres hjelpesystemene for motorer og systemer som har belastninger under 50%.

Potensialet i tiltak ligger i å oppnå hjelpesystemene trekker energi for kondisjonen de er designet/optimalisert for, altså som om de skulle støttet systemer på 100% belastning for ekstreme omgivelsesverdier, selv om operasjonspunktet for motorer osv. er betydelig lavere.

Videre kan varig operasjon på lave belastning medvirke til akselerert slitasje, og øke energiforbruket samt behovet for og omkostninger fra vedlikehold.

3.2.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er relevant for alle skip med energikrevende hjelpesystemer for maskineri, uavhengig av skipets type og alder. Tiltak kan omfatte ulike grader av optimalisering av energibruk og energiproduksjon i skipets hjelpesystemer. Gjennom simulering og optimalisering kan potensialet for å spare energi og drivstoff på disse systemene bli realisert gjennom tiltak slik som:

- Turtalls(hastighets)regulering av pumper og vifter
- Kontrollstrategier for kjølevannsanlegg
- Utskifting til nye mer effektive varmevekslere
- Justert romventilasjon og bedre kontrollstrategier for ventilering
- Re-design av rør og instrumenter
- Smartere utnyttelse av varmegjenvinning fra både høy- og lav-temperatur-kretser og eksosgassanlegg
- Smartere sensorer og kraftstyringssystemer som kontrollerer distribusjon og forbruk av energi

Som beskrevet over, kan optimalisering av hjelpesystemer representere et bredt spekter av tiltak. Kostnadene og reduksjonspotensialet for dette tiltaket er svært avhengig av om det er snakk om nybygg eller retrofit, «størrelsen» på avviket mellom faktisk operasjon og designoperasjon, samt eksisterende kompleksitet i designet og utformingen i hjelpesystemet.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid, forutsatt at skipets driftsmønster og overordnede operasjon er bevart.

3.2.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er anslått til 1-5% av skipets totale drivstofforbruk.



3.2.1.4 Kostnad

Kostnaden for gjennomføring av tiltak er anslått til 0,1-1,5 MNOK. Dette representerer et spenn fra enkle systemforbedringer, til kontroll av kjølevannsanlegg og videre til re-design av rørsystem for kjøling og damp, inkludert smarte energiautomasjonssystemer.

3.2.1.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra DNV GLs online energieffektiviseringsverktøy for eksisterende skip (DNV GL, 2016c).

3.2.2 Elektronisk auto-tuning

3.2.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

God innsikt i en motors tilstand og ytelse representerer et stort potensiale for optimalisering av virkningsgrad og bruk. Videre vil slik innsikt kunne bidra med viktig og verdifull data som kan legges til grunn for verifisering og videre tuning etter optimalisering. Med den nyeste teknologien motorleverandørene tilbyr, kan dette håndteres mer eller mindre automatisk og kreve lite manuell oppfølging.

I dag er vedlikehold, periodisk testing av ytelse og tuning av marine motorer (i hovedsak for fremdrift eller strømproduksjon), en del av det daglige arbeidet/prosedureverket om bord de fleste skip. Testing gjøres vanligvis på månedlig basis hvor parametere som nivå og balanse på sylindetrykk og eksostemperatur sjekkes mot definerte referanseverdier. Disse testene utføres riktignok ofte med forholdvis enkle, ikke-kalibrerte verktøy, som gir unøyaktige tallverdier og resultatene presenteres i et forenklet format. Dette kan erfaringsmessig medføre at endringer i motorinnstillinger gjort basert på slike forenklede tester kan medføre tilsvarende eller til og med dårligere resultater etter tuning, sammenliknet med førtilstanden.

Forbedret balanse mellom sylindernes kompresjons- og maksimale forbrenningstrykk, som ligger nærmere de nominelle verdiene, er en av hovedhensiktene med elektronisk auto-tuning som tiltak. Sylindernes trykkbalanse er en viktig parameter å måle samt forbedre motorens tilstand mot, og har i alle tilfeller direkte påvirkning på forbrenningens renhet og tilstanden til motoren. Maksimal virkningsgrad er et annet viktig formål med auto-tuning. Dette gjøres ved å maksimere forholdet mellom maksimalt forbrenningstrykk (P_{max}) over kompresjonstrykket (P_{comp}), og herunder den midlere effektive trykk (P_{mep}), innenfor akseptable grenser. Nivåene av P_{max} , P_{max}/P_{comp} og P_{max}/P_{mep} , er meget sterkt korrelert til motorens virkningsgrad. Økt virkningsgrad fører videre til redusert drivstofforbruk og en renere motor med mindre sotdannelse i sylindrene og turbolader, og dermed også reduserte vedlikeholdskostnader.


Auto-tuning har også den fordelen at det representerer viktig sikkerhetsfunksjon som kontrollerer og unngår for høyt sylindetrykk, temperaturstigning, og/eller forholdet P_{max}/P_{comp} .

Optimalisering av en motor for å øke virkningsgraden resulterer imidlertid vanligvis i økte NOx-utslipp, og begrenser derfor muligheten for optimalisering av NOx-utslippene.

3.2.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Elektronisk auto-tuning er mest utbredt for skip med to-takts motorer (typisk store lavturtalls fremdriftsmotorer), uavhengig av alder.

Per 2016 er det fortsatt vanlig med manuell ytelses- og tilstandstesting av motoren, herunder korrigerende av resultatene, sammenligning med «som ny», og tuning av motorer for optimalisert P_{max} / P_{comp} (virkningsgrad) inkludert verifisering av effekten. Imidlertid er elektronisk auto-tuning i ferd med å bli standard-løsning, og det eneste reelle alternativet for nybygde to-taktsmotorer. Majoriteten av de store to-takts-motorene levert fra om med 2016 vil ha en variant av et slikt system installert. For fire-taktsmotorer venter man fremdeles på at teknologien skal bli moden og tilgjengelig. Dagens auto-tuning systemer måler vanligvis sylindetrykkene, justerer timingen av drivstoffinnsprøytning, samt balanserer og optimaliserer parametere som P_{max} og P_{comp} .



Ettermontering av auto-tuning på eksisterende fartøy er også i ferd med å bli mer vanlig, og er tilgjengelig for to-takts-motorer med både mekanisk og elektronisk styrte innsprøytningspumper og eksosventiler.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.2.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er beregnet til 1-4% av skipets totale drivstofforbruk.

3.2.2.4 Kostnad

Kostnaden for auto-tuning er anslått til 20-60 kNOK per sylinder, avhengig av om det gjelder nybygg eller ettermontering, samt motortype (typisk fra 8 til 16 sylindre, eller mer).

3.2.2.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (IMO, 2016) og eksterne publikasjoner (Karlsson, 2013).

3.2.3 De-rating av maskineri

3.2.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Hovedmotorene (for fremdrift) om bord på eksisterende skip er som regel designet og optimalisert for én bestemt fartøyshastighet og belastning/turtall på motoren. Begge deler er gjort for å oppnå maksimal motorvirkningsgrad og minimalt drivstofforbruk. Innføringen av såkalt «slow steaming» i skipsfarten har drastisk redusert den faktiske overfartshastigheten fra design-nivåer i mange skipssegmenter, og har medført at hovedmotoren opererer utenfor sitt optimerte belastningsnivå. De-rating av motoren gir muligheten til å senke skipets maksimale designhastighet og motorbelastning, angitt som maksimal kontinuerlige rating (MCR), og optimalisere lastpunktet ved den nye overfartshastigheten som det nye designlast-punktet. Dette gir høyere virkningsgrad i form av redusert spesifikt brennstofforbruk (SFOC), målt i gram drivstoff per kilowatt-time (g/kWh).

Hovedprinsippet bak den drivstoffbesparende-effekten fra de-rating av en motor kommer fra maksimering av sylindernes maksimale sylindetrykk (P_{max}) i forhold til sine midlere effektive trykk (MEP) og kompresjonstrykk (P_{comp}). Økning av dette forholdet er direkte korrelert med motorens virkningsgrad, og er et forhold som øker (til dels direkte) jo mindre effekt man maksimalt velger å hente ut av en motor. En de-rated motor kan også bli ytterligere tunet for å optimalisere virkningsgraden ved flere og lavere belastningspunkter enn det nye designpunktet, ved bruk av andre teknikker enn nevnt over. Dette kan igjen bli supplert med redusert kapasitet på hjelpesystemer (for eksempel kjøling), eller ved installasjon av frekvensomformere på pumper, etc. De-rating kan dermed omfatte og lede til betydelige besparelser dersom dagens operasjon foregår på lavere belastning enn hva skipet er designet for.


3.2.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er egnet for alle skipstyper og aldre hvor skipets overfartshastighet ligger 10-15% under designhastighet, og en tilsvarende reduksjon i skipets toppfart kan godtas av skipseier/operatør.

De-rating av hovedmotoren, permanent eller midlertidig, kan utføres med forskjellige metoder som varierer både i kostnader, fleksibilitet og nødvendig ressursbruk. Tiltaket er spesielt relevant i dagens «slow steaming»-markeder, men mange rederier med forhåpninger om bedre markedsforhold og billigere drivstoff er nølende til å redusere skipets makshastighet. Metoder for fleksibel og reversibel de-rating eksisterer allerede i dag, og kan fremstå svært attraktive da muligheten eksisterer for å øke hastigheten på nytt dersom markedsforutsetningene endres. Metoder og teknikker for de-rating omfatter for eksempel:

- Installere mellomlegg mellom krysshodet og stempelstang for å redusere slaglengde
- Kutte ut én eller flere turboladere, enten med faste eller fleksible flenser
- Kutte ut eller deaktivere sylindre
- Ulike justeringsmetoder/innstillinger av motor, inkl. såkalte «slow steaming kits» (også for ettermontering)

De-rating av en motor vil også ha en innvirkning på turboladere og motorens NO_x-utslipp, og vil kreve en vurdering av motorleverandører og relevante myndigheter. Nye vurderinger av torsjonssvingninger er også vanligvis nødvendig for dette tiltaket. For noen mekanisk-styrte motorer kan det kreves egne NO_x-reduserende tiltak som det er verdt å merke seg at vil virke motsatt av de-ratingsens økning av motorens virkningsgrad.



De-rating av motoren åpner også opp for et gunstig propellbytte da motorens turtall synker, og man kan optimalisere propellegenskapene for å forbedre propellvirkningsgraden ved lavere turtall.

De-rating utføres vanligvis under dokking, og det forventes ca. 7 - 10 dager i dokk, avhengig av teknikk og metode man velger for de-rating. Hovedutfordringene er ofte maskinering av sylindrer og levering av nødvendig utstyr i tid for dokking.

Før de-rating er det vanlig at enten motorleverandører eller konsulentselskaper utfører motorspesifikke studier for å estimere potensialet for de-rating, samt identifisere «det nye» optimale belastningspunktet. En slik studie tar også gjerne for seg ny «matching» av turbolader(e), vibrasjon- og torsjonsberegninger, samt effekten av en ny optimal propell.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid forutsatt at skipets driftsmønster og overordnet operasjon er bevart.

3.2.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er anslått til 2-10% av hovedmotorens totale drivstofforbruk.

3.2.3.4 Kostnad

Kostnaden for gjennomføring er anslått til 0,5-25 MNOK, avhengig av utgangspunkt, metode og omfang av de-rating.

Det å kutte ut en turbolader med permanente flenser representerer som en referanse den nedre enden av kostnadsskalaen, mens de-rating via mer komplekse tiltak er anslått til rundt 7,5 MNOK for 5-7 sylindrede motorer. For de største motorene er det anslått om lag 15 MNOK. Dersom man også hensyntar montering av ny optimal propell kan man forvente kostnader på om lag 25 MNOK, altså i den øvre delen av kostnadsskalaen.

Hvilken metode for de-rating som er mest kostnadseffektiv avhenger vanligvis av skipets nåværende overfarstshastighet sammenlignet med den opprinnelige designhastigheten skipet ble optimert for, samt motortype og størrelse.

3.2.3.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra publikasjoner av MAN (MAN PrimeServ, 2013), DNV GLs online energieffektiviseringsverktøy for eksisterende skip (DNV GL, 2016c), og eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (IMO, 2016).

3.2.4 Monitorering og testing av motorytelse

3.2.4.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Verdifull innsikt i en motors tilstand og ytelse representerer et stort potensiale for optimalisering av virkningsgrad og bruk. Videre vil slik innsikt kunne bidra med viktig og verdifull data som kan legges til grunn for verifisering og videre tuning etter optimalisering. Med den nyeste teknologien motorleverandørene tilbyr kan slik innsikt, optimalisering og verifikasjon håndteres mer eller mindre automatisk og kreve lite manuell oppfølging.

I dag er vedlikehold, periodisk testing av ytelse og tuning av marine motorer (i hovedsak for fremdrift eller strømproduksjon), en del av det daglige arbeidet/prosedyreverket om bord de fleste skip. Testing gjøres vanligvis på månedlig basis hvor parametere som nivå og balanse på sylindetrykk og eksostemperatur sjekkes mot definerte referanseverdier. Disse testene utføres riktignok ofte med forholdvis enkle, ikke-kalibrerte verktøy, som gir unøyaktige tallverdier og resultatene presenteres i et forenklet format. Dette kan erfaringsmessig medføre at endringer i motorinnstillinger gjort basert på slike forenklete tester kan medføre tilsvarende eller til og med dårligere resultater etter tuning, sammenliknet med førtilstanden.

Forbedret balanse mellom sylindernes kompresjons- og maksimale forbrenningstrykk, som ligger nærmere de nominelle verdiene, er en av hovedhensiktene med elektronisk auto-tuning som tiltak. Sylindernes trykkbalanse er en viktig parameter å måle samt forbedre motorens tilstand mot, og har i alle tilfeller direkte påvirkning på forbrenningens renhet og tilstanden til motoren. Maksimal virkningsgrad er et annet viktig formål med auto-tuning. Dette gjøres ved å maksimere forholdet mellom maksimalt forbrenningstrykk (P_{max}) over kompresjonstrykket (P_{comp}), og herunder den midlere effektive trykk (P_{mep}), innenfor akseptable grenser. Nivåene av P_{max} , P_{max}/P_{comp} og P_{max}/P_{mep} , er meget sterkt korrelert til motorens virkningsgrad. Økt virkningsgrad fører videre til redusert drivstofforbruk og en renere motor med mindre sotdannelse i sylindrene og turbolader, og dermed også reduserte vedlikeholdskostnader.

Tiltaket omfatter verktøyet som brukes for måling av sylindetrykkene. Den anbefalte nødvendige minimumskvaliteten bør være en elektronisk «sylinder-forbrennings-analysator». Analysatoren skal gi brukeren en full oversikt over hele forbrenningssyklusen og sylindetrykkets utvikling presentert i både absolutte tall og grafer, med mulighet for å zoome inn/ut og sammenligne flere sylindere parallelt.

3.2.4.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Det antas at de fleste skip og motortyper, i alle aldre, har et potensiale for optimalisering og forbedring av motorens virkningsgrad. Denne antagelsen gjelder for både to- og fire-takts motorer, mekaniske- så vel som elektronisk styrte motorer. Selv om ulike drivstoff benyttes, vil prinsippet være aktuelt og god effekt vil kunne forventes.

Potensialet for redusert drivstofforbruk i dette tiltaket er todelt, der den første delen gjelder selve testingen av motorens tilstand og ytelse med nøyaktige verktøy og metoder, under sammenlignbare forhold med en før-/ettertilstand. Den andre delen er knyttet til tuning av motoren i tråd med anbefalinger og potensial estimert under testingen, for så å realisere/verifisere resultatene gjennom en tilsvarende re-testing.

Teknisk levetid for tiltaket settes lik perioden man praktiserer månedlig testing og monitorering.

3.2.4.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er beregnet til 1-4% av skipets totale drivstofforbruk.

Endringene i motorens innstillinger for å optimalisere med hensyn på virkningsgrad varierer fra tilfelle til tilfelle, og motortype til motortype, men en av de mest vanlige justeringene man gjør er å stille tidspunktet for drivstoffinnsprøyting i forhold til stampelets posisjon. Når det gjelder absolutt reduksjon av drivstofforbruket er det åpenbart at de større to-takts-motorene har det største absolutte reduksjonspotensial.

3.2.4.4 Kostnad

Kostnaden for tiltaket, i form av en ny elektronisk «sylinder-forbrennings-analysator» er anslått til 40-100 kNOK.

Variable kostnader vil tilkomme i form av utdanning/trening av ansatte, etablering av ny metodikk og nødvendig rammeverk, prosedyrer, selve utføring av jobben hver måned, etablering og/eller anskaffelse av relevant analyseverktøy.

3.2.4.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016) og eksterne publikasjoner (Karlsson, 2013).

3.2.5 Eksoskjeler på hjelpemotorer

3.2.5.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Eksosgasskjeler er vanlig på store forbrenningsmotorer for gjenvinning av varme fra eksosen. Varmen benyttes blant annet til å generere damp og/eller varmtvann, fremfor å bruke elektrisitet eller oljefyring til tilsvarende varmeproduksjon. I dag er det i primært hovedmotorene som har slike eksoskjeler installert.

Avhengig av systemdesign, operasjonsprofil og varmebehov, kan installasjon av eksoskjeler på hjelpemotorene i et skip (generer strøm om bord) forbedre effektiviteten i dette systemet opp mot 20%, som videre kan bidra til lavere totalt drivstofforbruk på skipet

Effekten av tiltaket vil komme enten i form av redusert drivstofforbruk på hjelpemotoren på grunn av lavere behov for strøm til oppvarming. Alternativt kan effekten komme som redusert oljeforbruk på en oljefyrt kjel i tilfeller av utilstrekkelig produksjon av damp fra hovedmotorens eksoskjel. For å forenkle effekten av tiltaket angis besparelsene som prosent reduksjon av hjelpemotorens drivstofforbruk.

3.2.5.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

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

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

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.2.5.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet anslås til 5% av hjelpemotorforbruket på skip som har oljefyrte kjeler og/eller store hjelpemotorer installert. Videre anslås potensialet til 1% på skip uten oljekjel og/eller kun små hjelpemotorer installert.

3.2.5.4 Kostnad

Estimerte kostnader for å installere en eksoskjele tilpasset en hjelpemotor anslås til 0,4-0,6 MNOK, avhengig av størrelsen på motoren.

3.2.5.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra publikasjoner av Alfa Laval (Alfa Laval, 2016) og IMO (IMO, 2016).

Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.2.6 Batterihybridisering (ikke plug-in)

3.2.6.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Forenklet innebærer bruk av batterihybridisering at man:

1. Genererer overskuddskraft på den mest mulig energieffektive måten om bord. Dette gjøres som regel under seiling ved å drifte hovedmaksineret på relativt optimal motorlast
2. Lader batteriet med den genererte overskuddskraften
3. Lader ut batteriet ved å benytter den lagrede overskuddskraften i batteriet som erstatning, eller støtte for operasjoner der konvensjonelt maskineri om bord ikke er designet eller justert til å håndtere operasjonen effektivt

Batterihybridløsninger er særlig egnet der det er store svingninger i effektuttak, der batteribanken kan stå for effekttoppene mens motorene opererer jevnt innenfor optimalt lastområde. Batteriet lades av skipets motorer når kraftproduksjonen overstiger behovet. For noen skipstyper er det aktuelt å lade batterier i én operasjonsmodus, og benytte denne kraften helt eller delvis som erstatning for dieselmotorer i en annen modus. Batterier kan også redusere omfang av reservekraft på konvensjonelt maskineri som holdes i gang av sikkerhetshensyn (jf. «spinning reserve» under DP-operasjon for offshore-skip).

3.2.6.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Batterihybridisering er forventet å ha et bredt bruksområde og kan brukes på alle typer skip uavhengig av størrelse og type. Det ses på som særlig relevant og effektivt for følgende fartøystyper, som kjennetegnes av variert og kraftekrevende operasjonsmønster, hvor batteriløsningen kan bidra til fremdriftsstøtte og optimalisering av motorlast på hovedmaskineri:

- Passasjerfartøy og ferger
- Offshorefartøy
- Fiskefartøy
- Slepebåter

Samtidig vil småskala batteriløsninger være høyst relevant også for andre fartøytyper med betydelig kraftbehov i havn, der batteripakken (helt eller delvis) kan erstatte bruk av hjelpemotorer i deler av operasjonen. Dette kan være fartøy med utstrakt bruk av kraner, vinsjer, pumper og kraftekrevende kjøle- og varmesystemer som brukes i forbindelse med laste- og losseoperasjoner, eller annen kraftekrevende lastehåndtering om bord.

Hybridisering med batterier kan installeres og brukes på skip med både diesel, LNG og biodrivstoff og stiller i utgangspunktet ingen krav til ladeinfrastruktur på land. Kombinasjon av maritime batterier med landstrøm og ladestrøm i havn representerer imidlertid et ytterligere potensiale for effektivisering og utslippreduksjon.

Tiltaket kan ettermonteres på eksisterende skip gitt at skipet har grunnleggende elektrisk infrastruktur på plass. Mer omfattende tilpasninger kreves imidlertid for skip med dieselmekanisk fremdrift. Eksisterende liketrømsanlegg (DC grid) om bord letter etterinnstallering av batterier.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til 10 år med dagens teknologi. Det gjøres imidlertid oppmerksom på at hvert enkelt anlegg kan dimensjoneres for både kortere og lengre levetider avhengig av batteripakkens størrelse relativt til energibehovet. Lengre levetid kan oppnås ved «overdimensjonering» av

batteripakken, og omvendt. Det antas videre at tilstøtende kraftelektronikk kan beholdes ut skipets levetid.

3.2.6.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Forbruk og utslipp reduseres anslagsvis med 5-25 % for større installasjoner for de nevnte fartøyskategoriene, der batteriløsningen bidrar til fremdriftsstøtte og optimaliserer driften av hovedmaskineriet. Fartøy med varierende kraftbehov, mye lavlastoperasjon og stor andel av operasjonen med krav til kraftredundans, er antatt å kunne forvente de største besparelsene. Videre kan en forvente mindre reduksjoner av størrelsen 1-10% for konsepter der batteriet utelukkende brukes som støtte for hjelpemaskineriet.

Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.2.6.4 Kostnad

En relativt begrenset merinvestering i batterier om bord vil ofte kunne svare seg økonomisk ved redusert drivstofforbruk.

De totale utstyrs- og installasjonskostnadene er estimert til å ligge mellom 5-15 MNOK per skip for større batteripakker som bidrar til fremdriftsformål. Per i dag kan man forvente enhetskostnader i området 7,000-13,000 NOK/kWh for selve batteriløsningen dersom man antar at skipet planlegges og bygges med konseptet i nybyggsfasen, eller allerede er relativt tilrettelagt for hybridisering i tilfelle ombygging (for eksempel at skipet allerede benytter dieselektrisk fremdrift der eksisterende generatorer, elmotorer, propeller osv kan benyttes). Tar en med kostnader til ombygging for dieselektrisk framdrift og andre tilpasninger, er kostnadene gjerne betydelig høyere enn dette.

Tiltaket i seg selv krever ingen ekstra vedlikehold, men kan bidra til mindre vedlikehold på maskineriet om bord grunnet forbedret maskindrift og reduserte gangtimer på enkelte motorer, og dermed lengre vedlikeholdsintervaller.

For eksisterende skip anslås det at selve innstallasjonen vil være mer kostnadskrevende, men dette er svært konseptavhengig og vil kunne variere betydelig fra prosjekt til prosjekt.

3.2.6.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra utslippsdata og målinger gjort om bord på hybridskipet Viking Lady (offshore supply-fartøy). Disse indikerer omlag 15% reduksjon av det totale drivstofforbruket ved aktiv bruk av hybridløsningen for relevante operasjoner (DNV GL, 2015c).

Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

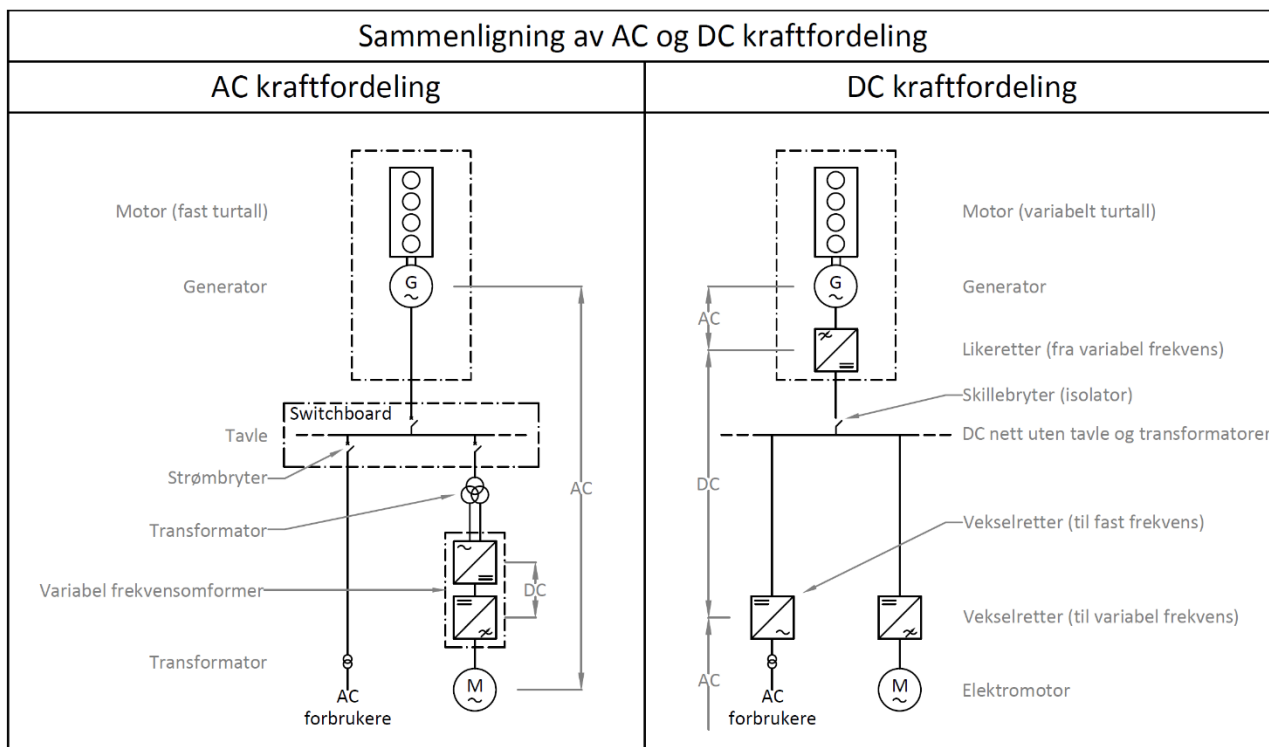
3.2.7 Variabelt turtall

3.2.7.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

El-systemer om bord på moderne offshore- og fiskefartøy med dieselelektriske fremdriftssystemer, karakteriseres gjerne av generatorsett koblet til ulike strømfordelingstavler som videre fordeler strømmen gjennom et vekselstrømsnett, vanligvis til 50 eller 60 Hz-distribusjon. I et tradisjonelt vekselstrømsnett (AC) med fast frekvens, illustrert i Figur 3-1, må motorene og generatorene gå med fast turtall selv om motorpådraget varierer, for å levere standard frekvens (50/60 Hz) til AC-nettet med fast frekvens.

DC-distribusjon

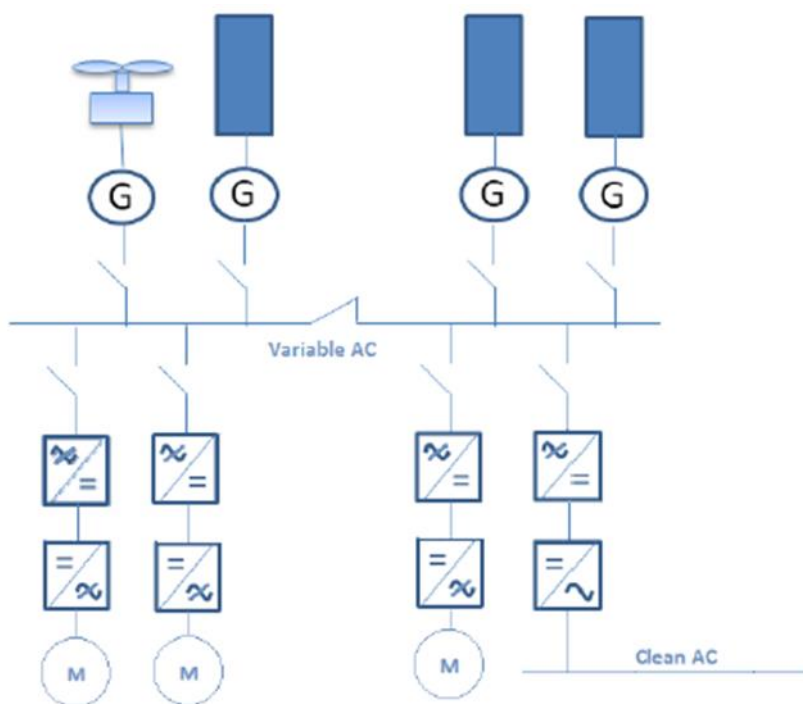
Et dieselelektrisk system kan imidlertid bli mer energieffektivt når turtallet kan variere med motorpådrag, først og fremst ved lav motorlast der spesifikt forbruk er betydelig lavere når turtallet senkes. For å gjøre dieselelektriske systemer mer fleksible og energieffektive er det utviklet ulike konsepter som faciliterer variabelt turtall på produsentene i maskinerioppsett. I motsetning til i et AC-nett med fast frekvens, kan motorer og generatorer i et likestrømsnett (DC) operere på variabelt turtall og last, da en likeretter sørger for at foretrukket spenning leveres til DC-nettet. Dette kan generere store besparelser, spesielt på lave motorlaster og operasjoner med varierende kraftbehov. En annen fordel med DC-nett, er at strømsystemet er egnet for introduksjon av batterier.



Figur 3-1: Sammenligning av AC- og DC-distribusjon om bord på et skip

Variabel AC-distribusjon

I tillegg til DC-distribusjon finnes det en variabel variant av AC-distribusjon bl.a. benyttet på fiskefartøy, med mye av de samme egenskapene og potensialet som DC-distribusjon. Variabel AC sørger dermed og for mulighet for variabelt og optimal turtall (belastning) på forbrenningsmotorene. I stedet for at dette muliggjøres med en likeretter rett etter generatorene som på DC, sendes det variabel AC strøm ut på tavlen(e) og går inn på likeretteren sammen med en vekselretter rett foran forbrukerne. Viktig er det da at alle generatorene som er koplet på tavlen er synkronisert i sin turtallsvariasjon.



Figur 3-23: Eksempel på variabel AC-distribusjon set-up

Av figuren over ser man at sammenliknet med et dieselektrisk system med konvensjonell låst AC-distribusjon er alt egentlig likt bortsett fra at man i tillegg må ha en likeretter og vekselretter foran alle forbrukerne som ikke kan opereres direkte på variabel frekvens. I et variabelt AC-nett kan man også tilknytte batterier, det må da settes inn en omformer mellom batteriet og AC-nettet.

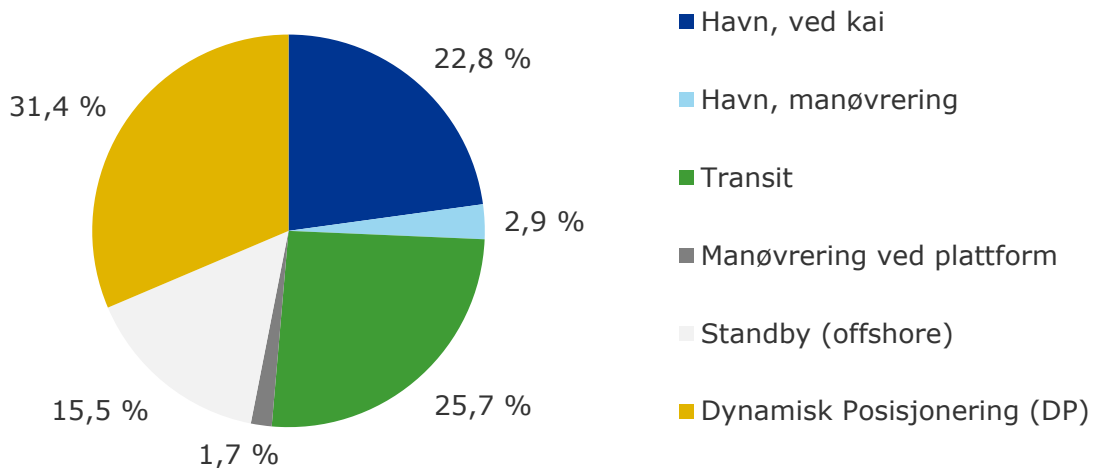
3.2.7.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Konsepter og varianter av variabel AC og DC (likestrømsnett) for variabelt turtall forventes å være aktuelt som del av dieselektriske systemer, for alle skip med installert effekt mindre enn 20,000 kW. For den norske flåten vil det mest sannsynlig være ulike typer offshorefartøy samt større fiskefartøy som er mest aktuelle for teknologien, da disse allerede bygges/kan bygges med dieselektriske systemer og løsninger. Det forventes imidlertid at variabelt turtall vil kunne tilbys til andre segmenter i nær fremtid.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

Det antas videre at det aktuelle referanseskipet for tiltaket (en PSV med operasjon i norske farvann) vil ha en operasjonsprofil som vist i Figur Figur 3-, der hver operasjonsmodus har et tilhørende forbruk og motorlast.

Operasjonsprofil for PSV i NØS [% av total tid]



Figur 3-3: Operasjonsprofil for PSV med operasjon i norske farvann /2/

3.2.7.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Basert på anslag fra ABB og Siemens (via DC-nett) vil man kunne oppnå besparelser i området 10%-20% for fartøy med store deler av operasjonen på lav, eller varierende motorlast. Et potensiale som antas å være likt for de to variantene variabelt AC-nett og DC-nett.

DNV GL har gjennomført analyser hvor det sammenlignes drift på hhv. fast og variabelt turtall, og det identifiseres et reduksjonspotensiale 5-15% for lave motorlaste (<50% av MCR), mens effekten avtar og fremstår som marginale ved operasjon nærmere designlast (~85% av MCR).

For DC-distribusjon kan det også forventes en generell forbedring i virkningsgrad i det elektriske systemet i form av at man kan forenkle hovedtavlen og unngå transformatorer med tilhørende overføringstap. Dette representerer også vekt- (~20%) og plassbesparelser (~30%). For variabel AC forventes det ikke slike forbedringer på vekt og plass.

For begge varianter er det en annen fordel fra variert frekvens, nemlig at vibrasjon og støy kan bli betydelig redusert samt bidra til et jevnere driftsmiljø og økt komfort for passasjerer og mannskap.

3.2.7.4 Kostnad

Foreløpig er verken variabel AC eller DC-distribusjon og variabel turtallsdrift så vanlig i dieselelektriske systemer på skip, så det er begrenset med grunnlag for å etablere kostnadsestimat. DNV GL anslår imidlertid investeringskostnader i området 7-12 MNOK for komplette systemer inkludert installasjon, og noenlunde like priser for variabel AC og DC-distribusjon.

3.2.7.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er i hovedsak hentet fra systemleverandører (ABB, 2011) (Siemens, 2014) (Stadt, 2010), men også fra datainnhenting og beregninger DNV GL har gjort i forbindelse med prosjektgjennomføring av variabelt turtall.

Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.2.8 Forbedret motorlast på hjelpemotorer

3.2.8.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Teknologien omfatter forbedret motorbelastning på hjelpemotorer som primært benyttes til kraftproduksjon til hotellbelastning og andre konsumenter om bord (annet enn fremdrift). Herunder belysning, ventilasjon, kjøling og varme, pumper og kompressorer, osv. Dagens skip tenderer mot å kjøre flere hjelpemotorer enn hva som faktisk er behovet om bord. Dette skyldes et ønske om redundans. En slik margin kan være velbegrunnet under manøvrering eller andre lignende operasjoner hvor tap av kraftproduksjon kan være svært kritisk. Under normal overfart i rolig vær er det derimot ikke ansett som kritisk å oppleve en slik «black-out». Det kan imidlertid også skyldes mangel på effektivitetstankegang hos mannskapet. Avlest kW-belastning på strømtavlen kan også være en ekstra bidragsyter til «feil» og uønsket belastning på hjelpemotorene, da generell slitasje av motorene gjør at maks kW-produksjon faktisk kan være lavere enn det motorene er spesifisert som. Det antatte belastningsnivået blir dermed høyere på motorene. Dette er helt normalt og kan i mange tilfeller lett løses via overhaling av turboladerne. Begge deler representerer problemer som bidrar til økt drivstofforbruk.

Oppsummert resulterer dette i lav motorbelastning og virkningsgrad, som igjen fører til en økning i det totale drivstofforbruket og unødvendig slitasje og vedlikeholdsbehov. For å redusere drivstofforbruket på hjelpemotorene ved å øke den gjennomsnittlige motorbelastningen, må antallet hjelpemotorer i bruk dermed minimeres til enhver tid. Dette kan enkelt defineres og inkluderes i skipets prosedyrer for drift av hjelpemotor. En slik definisjon kan utvikles basert på målt kWh-produksjon og –behov for hver av skipets driftsmoder. Reduksjonen av antall hjelpemotorer vil også redusere det totale antall gangtimer på motoren, slitasje per time, smørljeforbruket og selve vedlikeholdsarbeidet. Den gjennomsnittlige motorbelastningen kan derfor fungere som en god indikator for mannskapets dyktighet, så fremt det ikke bidrar til å svekke sikkerheten. En risikobasert tilnærming er derfor tilrådelig ved utviklingen av slike prosedyrer.

3.2.8.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er ansett som gjeldende for alle skipstyper og aldre, utrustet med kraftproduserende hjelpemotorer.

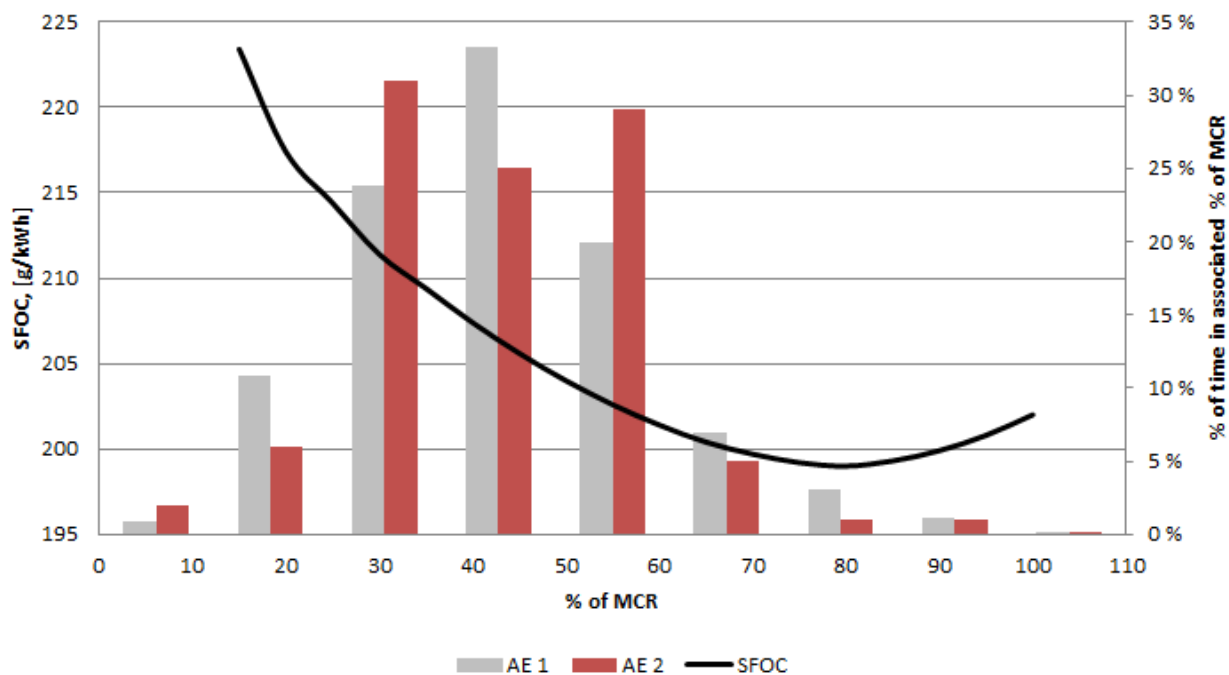
Tradisjonelle hjelpemotorer som brukes til elektrisk kraftproduksjon kan, for skip med klassisk diesel-mekanisk fremdrift, utgjøre inntil 15% av det totale drivstofforbruket. Det eksisterer per i dag flere ulike motorkonfigurasjoner. Mest utbredt er to eller tre hjelpemotorer for diesel-mekaniske skip, og fire til seks hjelpemotorer for diesel-elektriske skip (her genererer motorene kraft til både fremdrift og øvrige behov, så betegnelsen «hjelpemotor» kan bli litt misvisende). Hjelpemotorenes ytelse og virkningsgrad følger stort sett de samme prinsippene som store, saktegående to-takts-motorer, selv om de ofte er fire-takts-motorer og har best virkningsgrad ved høyere belastninger (70-90% belastning).

Teknisk levetid for tiltaket settes lik perioden man praktiserer tiltaket ombord.

3.2.8.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er anslått til 0-20 % av det samlede hjelpemotorforbruket.

Grunnlaget for spart drivstoff, via mer optimal belastningen på hjelpemotorene og ved å minimalisere antall i bruk samtidig, kan sees av eksemplet under (hentet fra et reelt prosjekt). I dette konkrete eksemplet ser man at det er mulig å redusere motorenes spesifikke forbruk mellom ca. 5-15 g/kWh for laster over 50% av deres operative tid. Dette utgjør ca. 2,5-7 % reduksjon av det totale hjelpemotorforbruket for nevnte eksempel.



Figur 3-2: Illustrasjon for å synliggjøre effekten av redusert last på hjelpemaskineri. Tid brukt på ulike belastninger kan leses på høyre akse, mens spesifikt forbruk kan leses på venstre akse.

3.2.8.4 Kostnad

Det følger ingen direkte kostnader knyttet til tiltaket, annet enn eventuelle kostnader knyttet til opplæring av mannskap, produksjon av retningslinjer eller programvareverktøy for å måle resultatene.

3.2.8.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne publikasjoner (Kongsberg Maritime, 2014) samt eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter (DNV GL, 2014-2016).

3.2.9 Akselgenerator med PTO/PTI

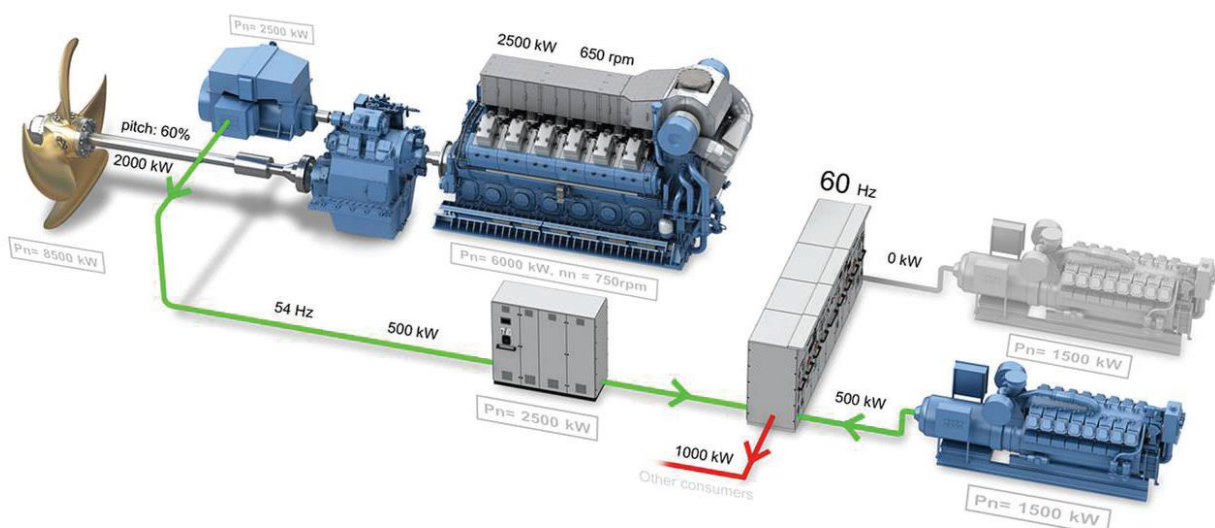
3.2.9.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Som alternativ til hjelpemotorer, kan elektrisk kraft genereres ved hjelp av en akselgenerator som omdanner mekanisk energi fra hovedmotorens motoraksling til elektrisk energi. Besparelsen oppnås ved at det spesifikke drivstofforbruket (g/kWh) normalt er betydelig lavere på hovedmaskineriet enn på hjelpemaskineriet, og dermed bør anvendes i størst mulig grad. Akselgeneratorer representerer ikke noen ny teknologi på skip

Imidlertid finnes det mer avanserte former, der akselgeneratorer kan opereres i ulike moder, henholdsvis «power take-off» (PTO) og «power tak-in»:

- PTO: Hovedmotoren generer overskuddskraft på akslingen som omdannes til elektrisk energi og distribueres til strømfordelingstavlen. Dette gjør at motoren og propellen kan operere med variabelt turtall selv om frekvensen og spenningen fra akselgeneratoren holdes fast. PTO brukes gjerne som helt eller delvis erstatning for hjelpemotorer i tilfeller der hovedmaskineriet kan opereres med jevn belastning over tid og produsere nødvendig kraft til nettet.
- PTI: Akselgeneratoren opereres som en egen motor og bidra med ekstra propulsjonskraft parallelt med hovedmotoren. Dette kan være fordelaktig i kraftkrevende operasjoner som hovedmaskineriet ikke alene er designet for å håndtere.

Bruk av akselgenerator med PTO/PTI er svært relevant for fartøy som ikke drives rent dielelektrisk og som tilbringer deler av tiden i operasjoner hvor det kreves et langt høyere kraftbehov enn øvrig drift. Ved å installere og tilrettelegge for utstrakt bruk av PTI i designfasen, kan man redusere størrelsen på hovedmaskineriet samtidig som man effektivt oppfyller eventuelle krav til redundans og manøvreringsikkerhet. Videre vil man gjennom bruk av PTO kunne redusere antall generatorer og tiden de opereres ved at hovedmotoren kjøres jevnere og genererer nødvendig strøm til strømfordelingstavlen.



Figur 3-3: Akselgeneratoroppsett med PTO-/PTI-funksjonalitet / 1/

3.2.9.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Akselgenerator med PTO/PTI anses som relevant for offshoreskip av typen Anchor Handling Tug Supply (AHTS) og andre offshore spesialskip (OCV) som tidvis driver kraftkrevende operasjoner, samt shuttle-tankere, større fiskefartøy og passasjerskip/cruise-fartøy med betydelig kraftbehov.

For øvrig er konvensjonelle akselgeneratorer i prinsippet aktuelt for et bredt spekter av fartøy med helt- eller delvis mekanisk fremdrift, og stort behov for elektrisitetsproduksjon.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.2.9.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Forbruk og utslipp reduseres anslagsvis med 5-15 % for akselgeneratorer med PTO-/PTI-funksjonalitet for de aktuelle skipstypene, der akselgeneratoren bidrar til fremdriftsstøtte og samtidig bidrar til å erstatte hjelpemaskineriets strømproduksjon. Videre kan en forvente mindre reduksjoner i størrelsesorden 1-5 % for konvensjonelle konsepter der akselgeneratoren utelukkende bidrar til å erstatte hjelpemaskineriets strømproduksjon.

3.2.9.4 Kostnad

Kostnadene knyttet til akselgeneratorer med PTO/PTI er estimert til:

Fartøykategori	Kostnad [MNOK]
AHTS	10-25
Andre offshorefartøy	10-20
Fiskefartøy	5-10

3.2.9.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra publikasjoner av Rolls Royce (Rolls-Royce, 2015) og Wärtsilä (Wärtsilä, 2016), samt verifiserte reduksjoner fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

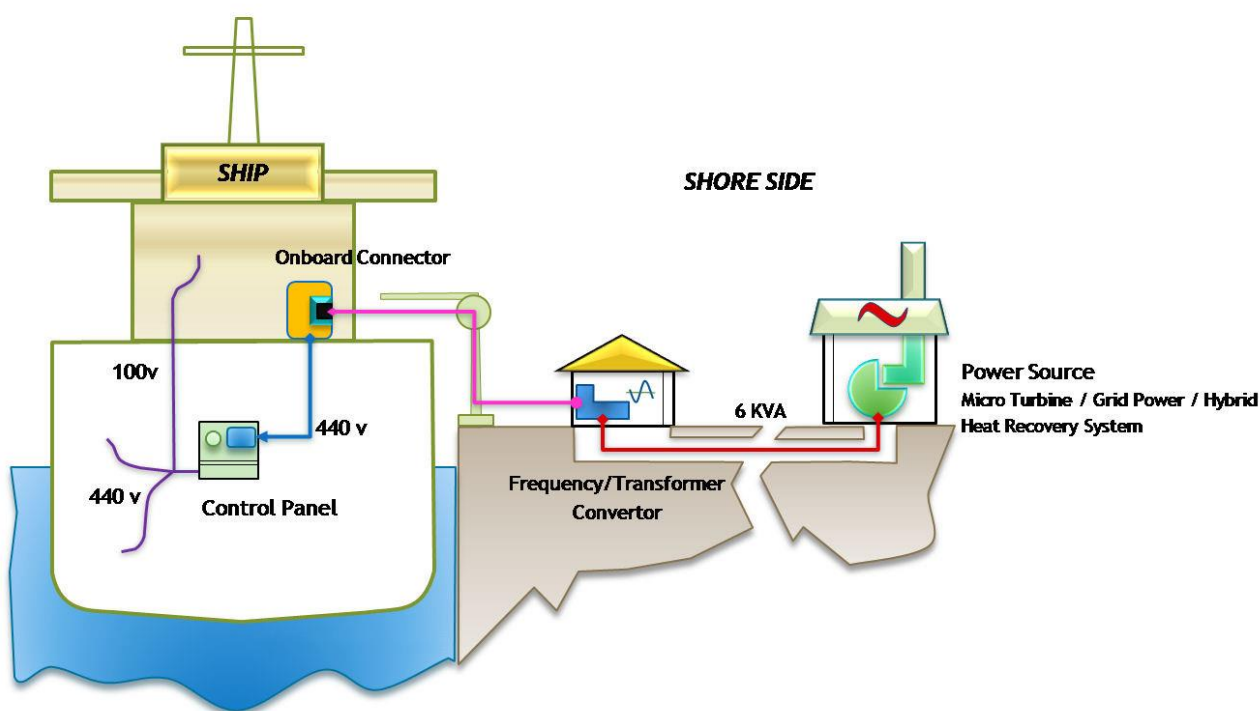
Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet.

3.2.10 Landstrøm (om bord på skip)

3.2.10.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Under havneligge er det vanlig at fartøy stenger ned driften av hovedmaskineriet og benytter seg utelukkende av hjelpemaskineriet til å produsere nødvendig kraft for å forsyne aktuelle laste-/lossesystemer og hoteldriften om bord. For de fleste skipstyper er imidlertid gjennomsnittsforbruket i havn betydelig mindre enn hva hjelpemaskineriet er dimensjonert for, og må dermed opereres på uforholdsmessig lav last- langt utenfor designpunkt.

Bruk av landstrøm (Figur 3-4) fasiliterer helt- eller delvis erstatning av generatorkraft i havn ved å koble seg til det elektriske forsyningsnettet fra land under havneligge. Dette krever relativt små investeringer om bord da moderne skip i stor grad er utrustet og designet for elektriske systemintegrasjoner og elektrisk drevne konsumenter. Imidlertid er havnene i varierende grad satt opp for å levere den strømkapasitet og -kvalitet som skipene trenger.




Figur 3-4: Landstrømsystem for hhv. skip- og landside

3.2.10.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Landstrøm er i prinsippet aktuelt for alle fartøy med behov for generatorkraft i havn. Fartøy som opererer havner og kaianlegg hvor det per i dag ikke er planlagt eller lagt til rette for landstrøm, i hovedsak små havner med lite trafikk, er naturlig mindre aktuelle for opptak av teknologien. Desto mer aktuelt er det for fartøy som benytter seg av større havner hvor det allerede er tilrettelagt/planlagt for utstrakt bruk av landstrøm.

Mange skip som bygges i dag (hovedsaklig innenfor offshore-, fiske- og havbruksfartøy) er allerede utrustet med landstrømskobling. Ofte er dette systemer arrangert for å ta landstrøm med spenning 440V og frekvens 60Hz. Det kan derfor være behov for å utvide spenningsområdet med variable spenninger



mellom 380V og 690V og utvide frekvensområdet mellom 50Hz og 60Hz, samtidig som systemet kan fasilitere parallellkjøring med skipets øvrige strømsystemer.

Tiltaket kan ettermonteres på eksisterende skip gitt at skipet har grunnleggende elektrisk infrastruktur på plass.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.2.10.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Basert på verifiserte verdier i NOx-fondet og beregninger gjort på ulike skipstyper og operasjonsprofiler vil man kunne oppnå besparelser mellom 3% og 12% av totalforbruket gjennom et år, for systemer der landstrøm brukes som fullverdig erstatning for generatorkraft.

For skip som er i varig opplag eller gjennomfører større og tidkrevende reparasjonsarbeider ved verksted/dokk vil imidlertid besparelsene kunne være større.

Potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.2.10.4 Kostnad

Kostnader knyttet til skipsutstyr og installasjon av utstyr for å ha fleksibel og robust oppkoblingsmuliighet til landstrømsanlegg forventes å ligge mellom 0,2 MNOK til 1,2 MNOK avhengig av anleggets dimensjonering, og mulighetene for å variere spenning- og frekvensområde ved behov.

For eksisterende skip anslås det en ytterligere installasjonskostnad. For nyere skip vil denne imidlertid være relativt beskjeden.

3.2.10.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra erfaringer gjort i NOx-fondet (NOx-fondet, 2016) samt eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.2.11 Optimalisering av dampsystem

3.2.11.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Erfaring har vist at det er et forbedringspotensial knyttet til drift av dampsystemer, i form av forbedret bruk og vedlikehold av hele kjele- og dampsystemet.

Tiltaket innebærer ulike tiltak slik som oppdatering av prosedyrer for operasjon/bruk av dampsystemet om bord, installasjon/bruk av nyere sensorer og annet måleutstyr, små oppgraderinger som ny isolasjon for å hindre lekkasje i damp-rør på dekk, opplæring av mannskap, ekstra vedlikehold for å redusere dampforbruk og -lekkasjer, samt optimalisering av selve dampproduksjon. Konkrete eksempler kan være måten man gjør tankrengjøring på, innføring av generell overvåking av hele dampsystemet, overvåking og tuning av kjelens ytelse, optimal sekvensiering av last-oppvarming etc. For kjele-ytelsen spiller flere viktige aspekter inn, men følgende parametere er spesielt sentrale; kontroll og justering av overskytende luft på kjelen, fødevannstemperatur, tanktrykk, og ambient lufttemperatur og -fuktighet. For minimering av damp-lekkasjer anbefales som et minimum regelmessig vedlikehold på dampventiler av plate-varianten.

Potensialet fra tiltaket er todelt, både i form av redusert drivstofforbruk på grunn av mindre dampbehov, og i form av mer effektiv produksjon av damp.

3.2.11.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er antatt å ha størst relevans for skip i kategorien råolje- og produkttankere, uavhengig av alder. Disse skipstypene er som oftest utstyrt med store oljefyrte kjeler, hvor lasthåndtering og lossing kan representere svært dampkrevende operasjoner. I disse tilfellene spiller blant annet ytelsen til kjelen og kondensatoren, samt «hot well»-tankens temperaturer, en vesentlig rolle. Tiltaket antas videre å ha høyere relevans for større skip, og mindre for mindre skip.

3.2.11.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet for oljebruk på kjelen er anslått til å være i området 10-30% av kjelens totale forbruk, med større reduksjoner per prosentandel på mindre skip kontra større skip. Da tiltaket anses som operasjonelt, og det er antatt at nye skip vil ha det samme operasjonsmønster som eksisterende skip, blir reduksjonspotensialet vurdert til å være likt for nybygg og eksisterende skip.

Teknisk levetid for tiltaket settes lik perioden man praktiserer tiltaket ombord.

3.2.11.4 Kostnad

Kostnaden for dette tiltak er anslått til 0,15 MNOK per skip per år.

3.2.11.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne publikasjoner (IMO, 2016) og (Smith, et al., 2014).

3.2.12 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon

3.2.12.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon (WHR) innebærer at det gjenvinnes termisk energi fra forbrenningsmotorenes eksos for videre omdannelse til elektrisk energi. Eventuell restvarme fra denne prosessen kan så sendes videre til bruk for ulike oppvarmingsformål (for eksempel varmt vann og dampproduksjon). Et slikt varmegjenvinningssystem består av en eksosgasskjele (evt. i kombinasjon med en oljefyrt kjele), en kraftturbin (KT) og/eller en dampturbin (DT), med en tilkoblet generator.

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

3.2.12.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Teknologien kan i prinsippet brukes på alle typer skip uavhengig av størrelse og type, selv om det i dag ser ut til å være en praktisk og kommersiell nedre grense på en samlet hovedmotorstørrelse på 10.000 kW. Den samlede hovedmotorstørrelsen avgjør hvilken type varmegjenvinningssystem som er aktuell i tråd med

Tabell 3-2.

Effekten av tiltaket antas å være konstant ettersom fartøyene er forventet å være i drift med en tilstrekkelig høy motorbelastning for effektiv strømproduksjon ved hjelp av kraft/dampturbin. Dersom motorene går på redusert belastning (for eksempel 40% fremfor 80% belastning), vil normalt ikke motorene gi fra seg nok termisk energi fra eksosen til å fasilitere turbinproduksjon av strøm.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.2.12.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Installasjonen av denne formen for varmegjenvinning om bord kan øke energiutnyttelsen fra hovedmotoren med mer enn 10% sammenliknet med standardkonfigurasjonen på dagens skip. Denne størrelsen er anslått til å øke til 15% innen 2020. Merk at den virkelige drivstoffbesparelsen ville vært i form av tilsvarende redusert drift på hjelpemotorene for strømproduksjon (for fartøy som ikke benytter seg av akselgeneratorer på hovedmotorene).

3.2.12.4 Kostnad


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

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

Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Varmegjenvinning - teknologi og potensielle besparelser

Kraft hovedmotor [kW]	Antatt system som er anvendelig	Antatt % forbedring av hovedmotorens virkningsgrad	Antatt årlig operasjonell kostnad [kNOK]
--------------------------	------------------------------------	----------------------------------------------------------	------------------------------------------------



> 25.000 kW	Kombinert DT og KT	8 % (opp til 11 %)	250 kNOK
< 25.000 kW	DT	5 % (opp til 8 %)	170 kNOK
< 15.000 kW	KT	3 % (opp til 5 %)	80 kNOK

3.2.12.5 Kilder og referanser

Kostnader er basert på estimer fra MAN Diesel (MAN Diesel & Turbo, 2014) og innhentet i forbindelse med et internt utviklingsprosjekt i DNV GL (DNV GL, 2012-2013), mens energireduksjoner baserer seg på anslag fra MAN Diesel og nylige vitenskaplige artikler skrevet om WHR-systemer for marine formål (Baldi F. and Gabrielli C., 2015).

3.3 Nye og mer effektive skrog, propell- og rorløsninger

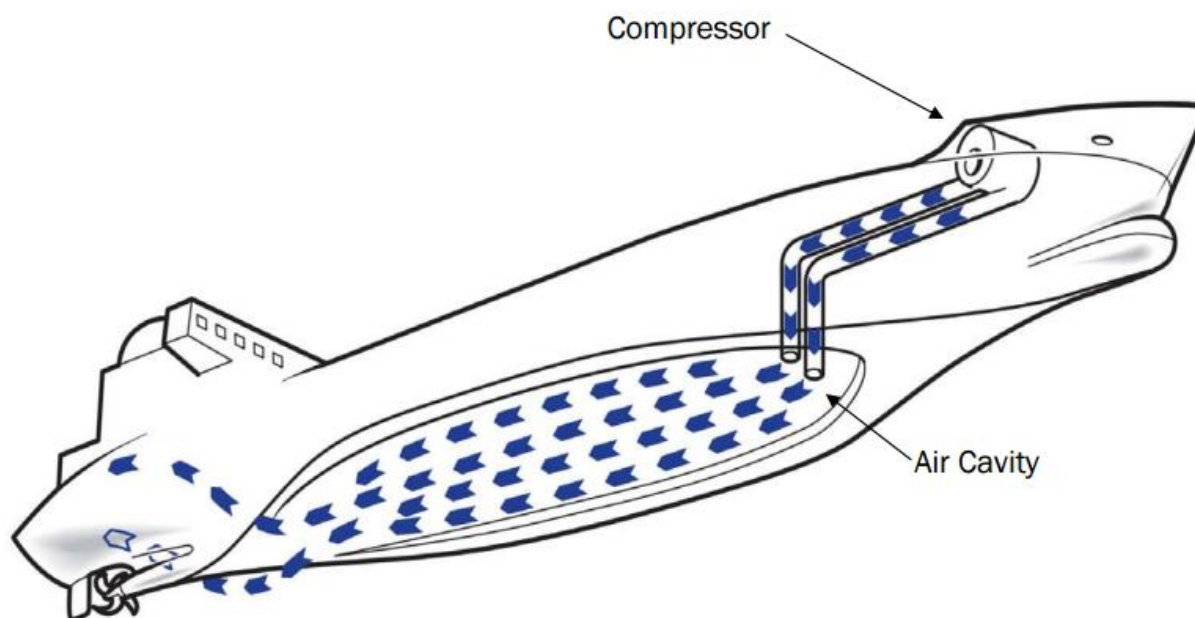
3.3.1 Luftboblesmøring

3.3.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

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

Kompressorer og pumper sender luften langs skroget og reduserer dermed friksjonen mellom skroget og vannet. Dette medfører at skipets totale motstand reduseres, som igjen betyr at den nødvendige energien til å flytte skipet framover gjennom vannet reduseres (Figur 3-5).

Luftboblesystemet krever installasjon av blant annet ekstra pumper og rør, i tillegg til potensielle endringer i skrogformen for å oppnå optimal effekt, samt tilgjengelig elektrisk kraft for luftkompressoren(e).




Figur 3-5: Illustrasjon av luftboblesmøringskonseptet

3.3.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Luftboblesmøring er en teknologi begynner å bevege seg ut av en lengre periode med skepsis og lite investering. Utbredelsen i skipsfarten har begynt å skyte fart og er i dag levert av flere leverandører samt innstallert på både cruise, container, ropax, bulk og gasskip. De teoretiske reduksjonene er anslått til alt fra 1-15% av den totale friksjonsmotstanden. Denne motstanden utgjør omlag 50-70% av den totale motstanden for de fleste skip. Tiltaket er aktuelt for nybygg selv om en retrofit av eksisterende skip i teorien er mulig. Tiltakets levetid settes til skipets levetid da det i utgangspunktet kun omfatter vedlikehold av kompressorer og luftsystemet. Mens de mest anerkjente installasjonene har oppnådd besparelser i rekkevidden 1-5% total besparelse i drivstoff.

Innstillinger på systemet og skipets operasjonsprofil har vist seg å være meget avgjørende, noe som tilsier at tiltaket foreløpig trenger en stor grad av skreddersøm og vil kunne ha store variasjoner i effekt.



I tråd med Figur 5-25, viser tiltaket størst bidrag i innenrikstrafikken for stykkgodsskip, men kan også gi betydelig besparelser i tank- og bulk-segmentet. Samlet vil man kunne oppnå effekter i størrelsesorden 15,000 tonn CO₂ ved 100% opptak av teknologien for referanseskipsegmentene i innenriks skipsfart.

Nedsider og skepsis ved teknologien har lenge vært potensielle negative effekter på styringsstabilitet og vanninnstrømning til propellen, men har så langt ikke blitt rapportert som store hindre. Avhengig av utformingen, kan et slikt system kreve «beskyttede» propeller eller andre midler for å unngå at luft strømmer til propellen og reduserer dens effekt. Ved høyere hastigheter vil det være vanskelig å opprettholde en jevn strøm med luftbobler, noe som kan føre til at den totale motstanden kan øke. Det maksimale reduksjonspotensialet oppnås for skip hvor friksjonsmotstand dominerer, det vil si skip med store flate bunner, lange overfarer, liten dypgang og ikke for høy hastighet. Dette innebærer i all hovedsak bulk-, gass-, cruise- og containerskip.

3.3.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Systemleverandør av teknologien hevder man kan oppnå en totalreduksjon opptil 10 %. Den oppnåelige reduksjonen for skip med noe variert drift anslås til 3-5 %.

3.3.1.4 Kostnad

Kostnadene er estimert til 2-3 % av nybyggskostnadene for hvert skipssegment og -størrelse. Teknologien krever også noe bruk av energi for å fungere i form av kompressorer drevet av hjelpemaskineri (jf. produksjon av luftbobler).

3.3.1.5 Kilder og referanser

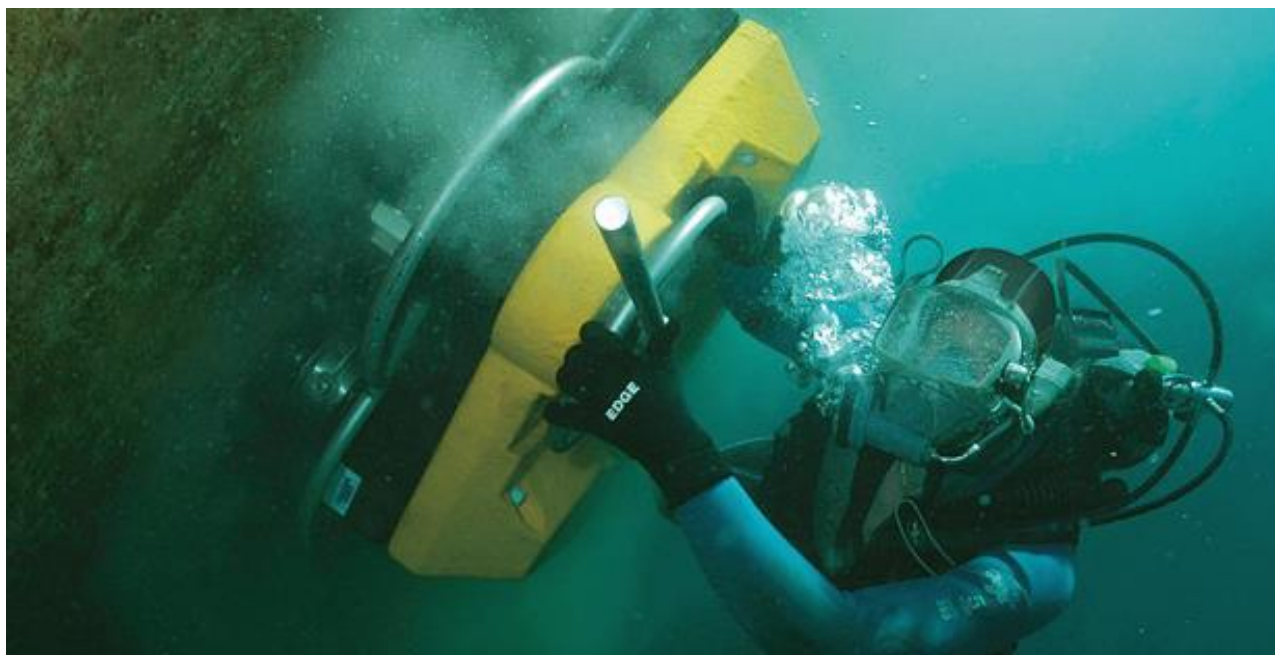
Energireduksjoner er hentet fra publikasjoner av Silverstream Technologies (Silverstream Technologies, 2016) og Maersk (Imarest, 2015). Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.3.2 Skrogvask

3.3.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Formålet med skrogvask er, på tilsvarende måte som propellpolering, å fjerne begroing, for å minimere skrogets motstand i vannet. En opphopning av begroing virker negativt på drivstofforbruket. Begroing, særlig i tilfellet av harde skall eller tilsmussing som rur, kan i tillegg forårsake turbulens, kavitasjon og støy, som kan påvirke ytelsen til sonarer, hastighetslogger og andre skrogmonterte sensorer.

Riktig og grundig rengjøring fjerner begroing, men vil ikke fjerne eller skade bunnstoffet. Det er imidlertid restriksjoner på hvilke havner man kan utføre skrogvask i, på grunn av frykt for spredning av organismer og algevekster.



Figur 3-6: Dykker som utfører skrogvask ved hjelp av roterende børster

3.3.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Rengjøringen av skroget kan enten utføres av en dykker eller av et fjernstyrt fartøy (ROV) som styres fra land. Skrogvask er relevant for alle skip. Avhengig av graden og type begroing som skal fjernes, kan en dykker vanligvis rengjøre 200-400 m² per time på flate overflater (mindre effektiv i baug/akter), mens en ROV fjerner mellom 800-1000 m². Operasjonen kan utføres innenfor normal operasjon når skipet ligger til ro (bunkring, anker, venting, etc.). Drivstoffreduksjonen vil være avhengig av hvilken grad av begroing skroget har, samt hvor stor andel skipet har ved større hastigheter.

Den faktiske effekten (tekniske levetid) av tiltaket er antatt å vare inntil 2,5 år i nordiske farvann. Mer regelmessig skrogvask vil gi bedre og mer kontinuerlig effekt.

3.3.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Avhengig av hvilken grad av begroing skroget har vil man kunne forvente en reduksjon på 1-5% av det totale drivstofforbruket på hovedmaskineriet. Reduksjonen ville være avhengig av i hvilke farvann skipet ferdes i, og hvordan operasjonsprofilen er utformet.



3.3.2.4 Kostnad

Kostnaden for skrogvask vil være avhengig av om man benytter seg av en dykker eller ROV, i tillegg til størrelsen på skipsskroget. Det er anslått at den totale kostnaden vil ligge i området 50-500 kNOK.

3.3.2.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra publikasjoner av CleanHull (Clean Hull). Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.3.3 Motstandsreducerende bunnstoff

3.3.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Ved å benytte et motstandsreducerende bunnstoff vil skipsskrogets motstand gjennom vannet reduseres, noe som igjen fører til redusert bruk av motorkraft og drivstofforbruk. Bunnstoffet påføres skroget når skipet ligger i tørrdokk, vanligvis ved femårsintervaller.

3.3.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Påføring av bunnstoff gjelder for alle skipstyper, uavhengig av alder. Reduksjonspotensialet vil være høyere for fyldige skip, som bulkskip og tankskip. For eksisterende skip er det generelt antatt at potentialet er høyest for eldre skip. For disse skipene er det forutsatt at skroget sandblåses først for å oppnå full effekt. Tiltaket må utføres hvert femte år for å oppnå ønsket effekt.

3.3.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

De eksakte besparelsene ved å bruke et avansert bunnstoff kan være vanskelig å måle opp mot konvensjonelle løsninger, selv om det er liten tvil om at besparelsene er betydelige. Flere forsøk på kommersielle skip og i laboratorier har vist at kvalitetsproduktene er i stand til å redusere den totale motstanden inntil 8%, sammenliknet med konvensjonelle bunnstoff. Dette gjelder både for silikonbaserte- og selvpolerende bunnstoff.

Basert på erfaringer og leverandørens data anslås det at drivstoffreduksjonen er i størrelsesorden 1-4% på hovedmotorens drivstofforbruk, og varierer med fartøyets størrelse, segment, driftsprofil og handelsområder.

3.3.3.4 Kostnad

Tiltaket vil ha en kapitalkostnad hvert femte år når skipet er i tørrdokk. Kostnaden for bunnstoffet er avhengig av fartøyets størrelse og segment, og vil variere i pris på grunnlag av hvilket produkt man velger. En pris i området fra 0,3-4 MNOK må påregnes.

3.3.3.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra publikasjoner av FathomFocus (Fathom Focus, 2013), Hullwiper (GAC Hullwiper, u.d.), IMO (IMO, 2016) og (Smith, et al., 2014).

3.3.4 Skrogformoptimalisering

3.3.4.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Skroget er en vital del av fartøyet og har en betydelig innflytelse på et skips operasjon og kostnader. Skrogformoptimalisering er en prosess som innebærer endring av et skips skrog for å forbedre skrogets ytelse. Optimaliseringen søker å finne den beste løsningen med et ubegrenset antall variabler. Minimering av skrogsotstand vil føre til lavere drivstofforbruk på hovedmaskineriet.

Noe forenklet har den som bestiller skip tre alternativer ved bygging av et nytt fartøy: godta et standard design, endre et eksisterende design, eller utvikle et helt nytt design. De to siste alternativene innebærer optimalisering for spesifikke driftsforhold, modifisering av for- og akterskipets design samt optimalisering av selve skroget.

Mens hoveddimensjonene generelt sett er optimalisert ved skipsverftet er det betydelig variasjon i graden av skrogform- og propelloptimalisering. Skipsverft har en tendens til å optimalisere skrogformen rundt en gitt operasjonshastighet og dypgang, men vier mindre oppmerksomhet til ballastkondisjonen eller delvis lastede kondisjoner. Ved å ta hensyn til flere last- og operasjonskondisjoner vil man få et skrog som er bedre rustet for de forholdene skipet faktisk vil møte.

3.3.4.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Skrogformoptimalisering kan gjøres på alle skipstyper, men potensialet for drivstoffbesparelse øker for fartøy der forventede driftsprofil avviker fra driftsprofilen lagt til grunn for standard design. En omfattende serie med modellforsøk og CFD-analyser (Computational Fluid Dynamics) er nødvendig for å optimalisere skrogformen. CFD-analyser omfatter ofte tre eller flere iterasjoner per lastkondisjon og bør utføres ved flere dypganger og trimkondisjoner.

Tiltaket er naturlig nok kun gjeldende for nybygg og det antas at tiltaket er gyldig i hele skipets levetid. Dette forutsatt videre at skipet beholder samme operasjonsprofil det er designet for. Ombygging av eksisterende skrog omtales i eget kapittel.

3.3.4.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er avhengig av fartøyets størrelse, segment, driftsprofil og område den skal operere i. Reduksjoner mellom 4-8% av hovedmotorens drivstofforbruk er sannsynlig dersom driftsprofilen lagt til grunn for standarddesign avviker betydelig fra skipets forventede driftsprofil.

3.3.4.4 Kostnad

Ved valg av skrogformoptimalisering er det økonomisk fordelaktig å inkludere søsterskip i CFD-analysene, for å redusere kostnadene for flåten. Kostnaden for en full CFD-analyse hvor det identifiseres en optimal skrogform for et bestemt fartøy vil være i størrelsesorden 1-5 MNOK. Kostnaden varierer med antall lastkondisjoner det skal gjennomføres analyser for. I tillegg kan det komme modifikasjonskostnader knyttet til endringer av strukturer og utrustning som følge av skrogendringene.

3.3.4.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra Maritime Research Institute Netherlands (Maritime Research Institute Netherlands, 2016) og eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.3.5 Ombygging av eksisterende skrog

3.3.5.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

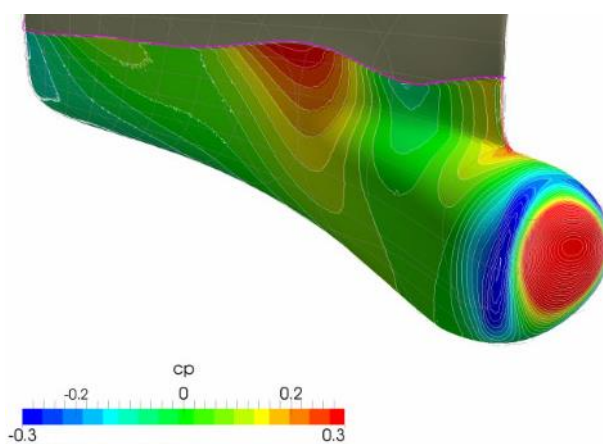
Den reelle operasjonsprofilen for mange fartøy avviker vesentlig fra hastigheten og dypgangen fartøyet ble designet for. Følgelig er fartøyets skrogprofil ikke optimalisert for den faktiske operasjonsprofilen, og man opplever et høyere drivstofforbruk enn nødvendig. For eksisterende fartøy, hvor det er begrensninger på hvor mye skroget kan forandres, kan eksempelvis ettermontering/endring av bulb føre til betydelige drivstoffbesparelser.

3.3.5.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er gjelder primært for tank-, LNG-, bulk- og containerskip som opererer en stor del av tiden utenfor optimale forhold, dvs. ved andre hastigheter og dypganger enn det bulben ble optimalisert for da fartøyet var nytt. Den tekniske levetiden ved en endring av skroget er antatt til å være 15 år, basert på skipets gjenværende levealder.

Det er også mulig å optimalisere posisjonen av slingrekjølen og utformingen av eventuelle thrustertuneller. Det største potensialet for besparelse er for fartøy opp til 50,000 DWT. Baugpropelltunneler forårsaker betydelig motstand og optimalisering av disse kan ha en betydelig innvirkning. Dersom thrustertuneller blir redesignet anbefales det imidlertid å utføre en «grid alignment».

Noen fartøyer har også «fenderlister» langs skrogsiden. Under enkelte forhold skaper disse betydelig økt motstand og er derfor interessante å re-designe for å kunne redusere drivstofforbruket.



Figur 3-7: Modifikasjoner av eksisterende skrog

3.3.5.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er avhengig av skipstype, størrelse og avvik fra designhastighet. Følgende reduksjonspotensial på hovedmotorens drivstofforbruk kan forventes:

- **Ny bulb:** 3-5%. Avhengig av forskjellen mellom dimensjonerende hastighet og gjennomsnittshastigheten: 3% dersom $> 80\%$ av designhastigheten og 5% med $< 75\%$ av designhastigheten. Med andre ord; jo lenger unna den opprinnelige designhastigheten man opererer, jo større vil besparelsen være.
- **Thrustertunnel-optimalisering:** 0,5-1%
- **Slingrekjøloptimalisering:** 0,25-1%

3.3.5.4 Kostnad

For endring av bulben antas det en kostnad på 1 MNOK i faste kostnader for optimalisering, ingeniørarbeid og godkjenning. Ved endring av bulb på flere søsterskip så vil prisen reduseres. Ytterligere materialkostnader er i størrelsesordenen 0,25-0,7 MNOK avhengig av mengde. De øvrige ettermonteringskostnadene anslås som følger:

- Thrustertunnel-optimalisering: 0,1 MNOK + detaljdesign og dokkingkostnader
- Slingrekjø- optimalisering: 0,1 MNOK + detaljdesign og dokkingkostnader

3.3.5.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra interne tjenester og prosjekter i DNV GL (DNV GL, 2016a), samt eksterne publikasjoner (Force Technology).

3.3.6 Propulsjonsforbedrende tiltak (PIDs)

3.3.6.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Det eksisterer et mangfold av design og forbedringskonsepter for kanaler, dyser, ror, finner eller andre modifikasjoner – både på, foran og aktenfor propellen(e). De overordnede prinsippene bak de ulike konseptene er å forbedre innstrømningen av vann til propellen, bedre utnyttelsen av rotasjonsenergien i vannet bak propellen og forbedre vannstrømmen rundt skroget, for dermed å øke den totale propulsjonsvirkningsgraden.

Noe forenklet er systemer montert foran propellen designet for å forbedre innstrømningen av vann til propellen. Dette vil gjøre slike tiltak mest effektive på skip med en høy blokk-koeffisient (fyldige skip som for eksempel oljetankere).

Dersom en propell opptre bak et skrog, blir en stor del av energien tapt i rotasjonsenergien som propellen avgir til vannstrømmen bak seg. Den totale propulsjonsvirkningsgraden kan dermed forbedres ved å bevare denne rotasjonsenergien ved å generere rotasjoner foran propellen med for eksempel finner. Alternativt kan man utnytte mer av den «tapte» rotasjonsenergien i vannstrømmen ved å installere finner eller «Grim vanes» bak propellen. Andre eksempler på tiltak som faller under denne tiltakskategorien er «Propeller Boss Cap Fin (PBCF)», «Mewis duct», «PROMAS-ror» og lignende.

3.3.6.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Det er antatt at alle aktuelle skipssegmenter vil oppnå forbedret propulsjonsgrad ved å installere en PID-variant skreddersydd og optimalisert for sin drift. Effektene vil imidlertid kunne variere og det anbefales CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av skipet for ulike kondisjoner for å sikre at man velger en hensiktsmessig løsning. Slike analyser gir også gode indikasjoner på effekter og eventuelle bi-effekter ved hvert av konseptene. Alternativt kan man dokumentere forbedret propulsjonsgrad i form av fullskalatester og/eller i kavitasjonslaboratorier- riktignok med større usikkerhet.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.3.6.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Utslippsreduksjonen er estimert til 1-8 %, med høyest potensial på mindre bulk- og tankskip og tilsvarende lavest potensial for konteinerskip, samt skip som allerede har dyser installert (store trålere og offshorefartøy).

3.3.6.4 Kostnad

Selv om det er store konseptmessige variasjoner blant PID-teknologiene er det estimert en kostnad på 1-7 MNOK per skip avhengig av konsept og skipets størrelse.

3.3.6.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra erfaringer gjort i NOx-fondet (NOx-fondet, 2016) samt eksterne eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter (DNV GL, 2014-2016).

3.3.7 Propellpolering

3.3.7.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Tiltaket relaterer seg til tilstanden på propellens overflate. Ruheten på propellens overflate er av stor betydning for propellens effektivitet, og dermed drivstofforbruket. Overflaten av en propell blir, over tid, mindre glatt på grunn av begroing og kavitasjonsskader, og vil bli gradvis mindre effektiv. Dette kan imidlertid unngås ved jevnlig polering av propellen hvor organisk materiale fjernes, og den glatte overflaten gjenkapes. Forbedret effektivitet på propellen medfører mindre energitap noe som igjen fører til reduksjon av drivstoffkostnadene.

Polering av propell gjennomføres av en dykker mens skipet ligger ved kai. Den kan også poleres i tørrdokk, men et skip er sjeldent i tørrdokk hyppigere enn hvert femte år. Hvilket farvann skipet opererer i vil også ha innvirkning på effekten av tiltaket. Farvann med stor grad av begroing og algevekst vil gi relativt høyere besparelser sammenlignet med områder med mindre algevekst. Fartøy som ligger mye i ro vil også generelt oppnå høyere reduksjoner enn mer mobile skip, på grunn av større begroings hastighet. Det er imidlertid restriksjoner på hvilke havner man kan utføre propellpolering i, på grunn av frykt for spredning av organismer og algevekster.

3.3.7.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Propellpolering kan benyttes på alle skip og fartøy i alle aldersgrupper. Det anbefales å utføre dette tiltaket to ganger årlig i nordiske farvann, for å oppnå ønsket effekt. Halvtårsintervaller har vist seg å være en relativt optimal balanse mellom pris og effekt.



Figur 3-8: Dykker som utfører propellpolering under et havneligge

3.3.7.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet avhenger av type skip, størrelse, operasjonsprofil og handelsområder. Ved å polere propellen to ganger i året vil man kunne forvente en reduksjon på 3-4% av hovedmotorens drivstofforbruk.

3.3.7.4 Kostnad

Kostnaden for propellpolering er kun drevet av kostnaden for å ha en dykker i vannet. Dette vil selvsagt variere i ulike deler av verden, men en total kostnad mellom 40–80 kNOK må påregnes. Evt. nedetid på skipet på grunn av arbeidet er ikke tatt hensyn til i kostnadsberegningen.

3.3.7.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra eksterne publikasjoner (Wilkinson, 1994), mens kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter (DNV GL, 2014-2016).

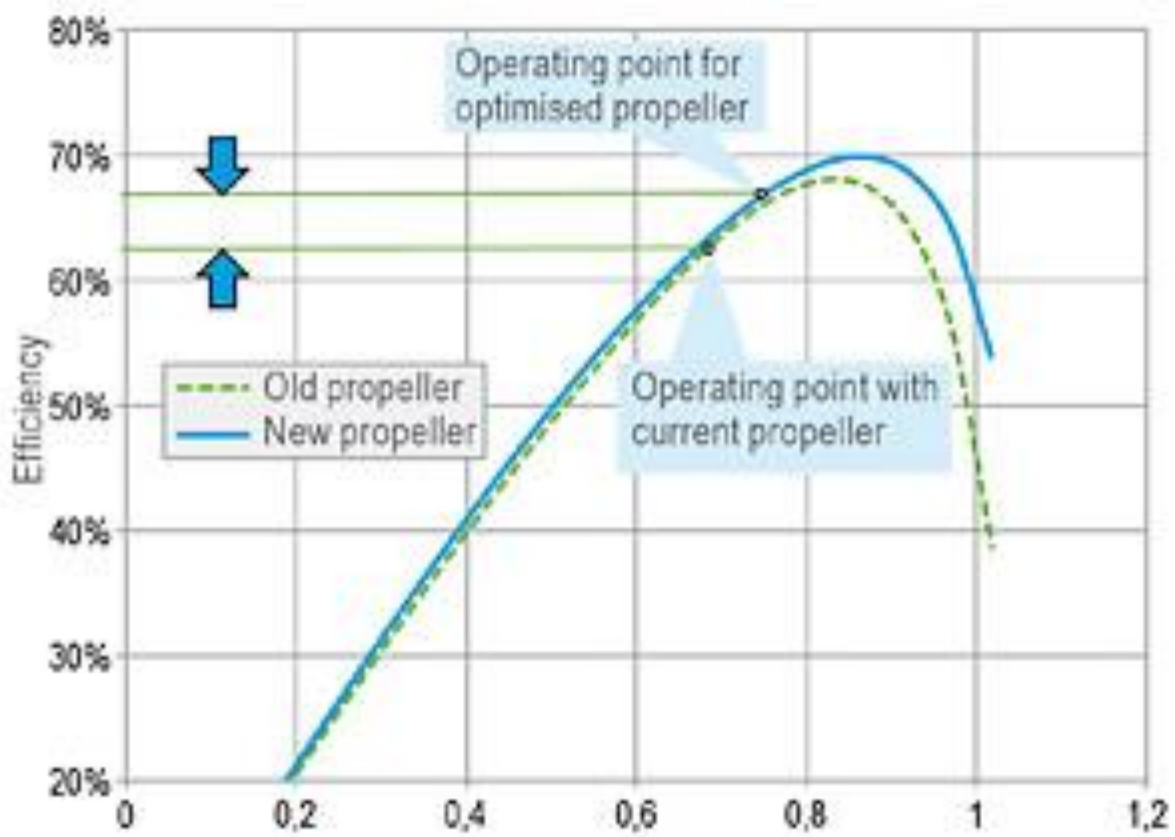
3.3.8 Bytte/ombygging av propell

3.3.8.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Fartøy optimeres og designes for en bestemt hastighet eller operasjonsprofil. Denne operasjonsprofilen endres ofte over tid basert på økonomiske konjunkturer eller ønsker fra charterer/lasteier. Dette medfører at propellen ikke nødvendigvis er optimert for den nye hastigheten/operasjonen. I dag ser man typisk at opprinnelige propeller ble designet for høyere hastigheter enn det fartøyene opereres på i dag. Bytte til en propell som er bedre tilpasset faktisk operasjon kan redusere både støy, kavitasjon, slitasje og ikke minst drivstofforbruk. I noen tilfeller kan bytte til vridbar propell (såkalte Controlable Pitch-propeller, eller CP-propeller) være aktuelt.

3.3.8.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Bytte eller ombygging av propell er egnet for alle skipstyper i alle aldre. Det vil være mest besparelse for fartøy som avviker mye fra sin opprinnelige designhastighet, spesielt containersegmentet og andre større fartøy. Ved å bytte propell vil man oppnå maksimal effektivitet på propellen for den nye operasjonsprofilen. For å finne den optimale propellen (type og størrelse) for et fartøy utføres det en såkalt «Computational Fluid Dynamics» (CFD)- analyse. Denne analysen sammenligner flere ulike propelldesign og størrelser, avdekker problemer med kavitasjon, i tillegg til samhandlingen mellom skipets rør og den nye propellen. Levetiden til en ny propell er anslått til 15 år.



Figur 3-9: Eksempel på propellkurver for «gammel» og «ny» propell

3.3.8.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Dette tiltaket kombineres ofte med andre mindre tiltak på maskineriet, og det totale reduksjonspotensialet vil være i størrelsesordenen 2-5% på hovedmotorens drivstofforbruk.



3.3.8.4 Kostnad

Kostnaden for tiltaket, inkludert en full CFD- analyse, design og montering ligger mellom 4–20 MNOK, avhengig av størrelse på propell.

3.3.8.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra DNV GL ECO Retrofit-tjeneste (DNV GL, 2016b) og DNV GLs online energieffektiviseringsverktøy for eksisterende skip (DNV GL, 2016c).

3.4 Konsumenter

3.4.1 Optimalisering av lasthåndteringssystemer

3.4.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Optimalisering av lasthåndteringssystemer og lasteoperasjoner som tiltak er aktuelt for flere skipstyper og deres respektive aktuelle systemer. En rekke tekniske og operasjonelle tilpasninger kan være aktuelle (avhengig av skipstype og last), med et potensial for forbedring sammenliknet dagens referansesituasjon. Lasthåndteringssystemer og lasteoperasjoner som er mest relevante i denne sammenhengen er:

- Lossing av olje via dampturbindrevne lastepumper
- Oppvarming av last ombord i olje- og produkttankere
- Vasking av lastetanker
- Kranoperasjoner på skip med lastekraner
- Stabling av containere på containerskip
- Bruk av sideporter, heiser og ramper til stykkgoods
- Kjøling/frysing av last i spesialrom eller i containere

3.4.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket gjelder skip med aktuelle lastesystemer og mulighet for beskrevne tiltak (uavhengig av alder), med mindre annet er nevnt i antagelsene for de forskjellige lasthåndteringssystem. De forskjellige variantene av tiltaksbruk kan omhandle (men er ikke begrenset til):

- Lossing av olje via dampturbindrevne lastepumper
 - Lossing av råolje-last er svært energikrevende og drives av komplekse maskinerisystemer som involverer mange mennesker og prosesser på skipet. I dag kan man gjennom skipsspesifikke modellbaserte datasimuleringer og -optimeringer evaluere og forbedre ytelsen og driften av lossesystemer basert på faktiske målinger fra tidligere losseoperasjoner. Resultatene fra slike simuleringer og optimeringer kan gi nye strategier for å oppnå besparelser i form av redusert drivstoff på oljekjelen. Forbedringen kan oppnås gjennom endrede (evt kombinasjoner av endringer) innstillinger på oljekjelens tanktrykk, temperaturen på kjelens fødevann, og liknende.
 - Tiltak er anvendbart på råoljetankere med dampturbiner som kraftoverføring til skipets lossepumper, uavhengig av alder. Slike systemer er i hovedsak installert på skip av størrelsen Aframax eller større, både på bøyelastere og tradisjonelle tankskip. Kvaliteten på resultatene fra simuleringer og optimering vil være svært avhengig av kvaliteten på simuleringen og datamodellen, de målte data fra fartøyet samt mannskapets tolkning og utførelse.
- Oppvarming av last ombord i olje- og produkttankere
 - Optimal styring og opprettholdelse av lastens temperatur under seilas, samt sikring av at lasten oppnår nødvendig temperatur under lossing, er et område med potensiale for energieffektivisering. Som for lossing av råolje kan skipsspesifikke målinger og modellbaserte datasimuleringer og -optimeringer evaluere og forbedre ytelsen til denne operasjonen.

- Tiltak er anvendbart og relevant for olje- og produkttankere i alle aldre som ikke allerede har utført slike målinger, simuleringer og optimeringer.
- Stabling av containere på containerskip
 - Evnen til å frakte så mange containere som mulig av relevant type, størrelse og vekt er en vesentlig egenskap for et containerskip. I løpet av de siste årene har en rekke fremskritt blitt gjort med hensyn til utformingen av systemer som sikrer optimal håndtering og stabling av containere, og dermed bedrer utnyttelsen av lastekapasiteten. Dette omfatter celle-guides, surrebroer, lukedekslar o.l. som bestemmer antallet containere som er mulig å stable. Containerkapasiteten på eksisterende fartøy kan videre økes ved å re-evaluere container-fordelingsmulighetene i forbindelse med støtte- og sursesystem, optimere i forhold til operasjonsspesifikke laster, re-evaluere tidligere erfaringsbaserte praksiser, samt bruke nyeste tilgjengelige teknologi.
- I tillegg vil optimalisering av låsthåndteringsoperasjoner slik som vasking av lastetanker og kranoperasjoner kunne representere reduksjonspotensialer. Dette kan realiseres ved redusert bruk av pumpekraft (drivstoff) og varme (energi / drivstoff) til vasking, og ettermontering av batterier og bremseladesystem for kraner (reduisert drivstoff på hjelpemotorene).

Teknisk levetid for tiltak settes lik perioden man praktiserer tiltaket ombord.

3.4.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Avhengig av utgangspunkt, dvs. hvor god lastehåndteringen var før optimalisering, er potensialet for drivstoffreduksjon under for den spesifikke lasteoperasjonen antatt til 5-15%, avhengig av konseptvalg og operasjonsprofil.

3.4.1.4 Kostnad

Avhengig av system som optimeres vil behovet for analyser og ny teknologi variere, men den totale kostnaden for slike prosjekter antas å være i størrelsesorden 0,1-0,25 MNOK for analyse og operasjonsoptimering, mens tekniske modifikasjoner og ny teknologi kan, avhengig av omfanget, økt til flere millioner NOK (for eksempel bruk av batterier)

3.4.1.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne publikasjoner og vitenskapelige rapporter (Stefanatos, 2012) (Ovrum, 2011) (Georgopoulou, 2011) (Dimopoulos G. G., 2010) (Dimopoulos G. G., 2011).

3.4.2 Energieffektiv belysning

3.4.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Bruk av energieffektiv belysning har kun i begrenset grad blitt benyttet innenfor den maritime næringen, der standard utforming i dag ikke inkluderer lavenergi-armaturer. Det er imidlertid i ferd med å bli mer vanlig, ettersom aktørene ser lønnsomheten og fordelene med slike tiltak.

Installasjon av energieffektiv belysning omfatter typisk lavenergi halogenlamper, lysrør og LED-pærer (Light Emitting Diode) i kombinasjon med elektroniske styringssystemer for dimming med automatiske av- og på-muligheter. Besparelsene oppnås ved at man unngår varmetapet fra konvensjonell belysning, samt automatisk kan redusere og styre belysningen ved behov.

3.4.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Den totale energien som brukes til belysning på et vanlig handelsskip anslås til om lag 5% av den totale elektriske kraften til skipets konsumenter produsert på hjelpemotorer (altså sett bort ifra_kraft til fremdrift av skipet) (se Tabell 3-3), men antas å være betydelig høyere for større cruise- og passasjerskip (>10%).

Tiltaket kan med enkle grep ettermonteres på eksisterende skip ved å erstatte konvensjonell lysarmatur.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid, da det utelukkende er defekte lyspærer som må byttes ved jevne mellomrom (forventes lengre driftsintervaller enn for konvensjonelle lyspærer), mens systemoppsettet (inkl. lysskinner og kabling) kan bevares gjennom skipets levetid.

3.4.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er estimert til om lag 1-3% av det totale drivstofforbruket på hjelpemotorene. Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

Det estimerte kraftbehovet fra lysanlegg og andre konsumenter ombord (Tabell 3-3) er hentet fra den elektriske kraftbalansen på et frakteskip (for variert cargo), og antas relativt representativ for skip generelt.

Tabell 3-3: Elektrisk kraftbalanse for hjelpeutstyr for et Multi Purpose Cargo-skip

Utstyr	kW	% av total
A/C	65	2 %
Luftblåser	180	4 %
Baugpropell	903	22 %
Kompressor	115	3 %
Kontainere	8	0,2 %
Kraner	354	9 %
Vifter	440	11 %
Bysse	98	2 %
Varmeapparater	30	1 %
Lys	213	5 %
Nautisk utstyr	8	0,2 %
Pumper	1 334	32 %
Separatorer	56	1 %
Vinsjer	289	7 %
Verkstedutstyr	22	1 %
Total	4 114	100 %

*Merk at mange skip ikke nødvendigvis er utrustet med baugpropell

3.4.2.4 Kostnad

Merkostnaden knyttet til innkjøp og installasjon estimeres til 0,2-0,8 MNOK for offshore-, fiske- og mindre bil- og passasjerferger, mens man kan forvente kostnader mellom 1,0 til 2,0 MNOK for større cruise- og passasjerfartøy.

For eksisterende skip anslås det en ytterligere installasjonskostnad på 0,2 MNOK avhengig av omfang.

Ettersom de fleste energibesparende lysanleggene har minst like lang, eller betydelig lengre levetid enn konvensjonelle lysanlegg, estimeres det ingen ekstra driftskostnader til tiltaket.

3.4.2.5 Kilder og referanser

Utslipsreduksjoner og kostnader er hentet fra erfaringer gjort i NOx-fondet (NOx-fondet, 2016) samt eksterne eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter (DNV GL, 2014-2016).

3.4.3 Frekvensstyrte el-motorer

3.4.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Om bord på skip er det som regel et bredt spekter av hjelpesystemer som er i drift under operasjon. Eksempler på dette er sjøvann- og ferskvannspumper, kjøle- og smøresystemer, vifter, kompressorer, osv. Disse er ofte designet for å kunne møte det maksimale behovet under ekstreme påkjenninger i form av laster og eksterne effekter (for eksempel ytterpunkter for luft- og sjøtemperatur). Behovet for hjelpesystemenes fulle kapasitet er normalt til stede i 15-35% av driftstiden, men kan være høyere for utvalgte skipstyper og tilfeller. Utstyr er dermed kraftig overdimensjonert i situasjoner med normal drift og operasjon.

Tradisjonelle elektriske motorer, som representerer energiforbrukeren i mange av hjelpesystemene, kan ikke variere motorbelastningene med de faktiske behovene, og blir derfor operert på unødig høy belastning store deler av tiden. Frekvensstyrte motorer vil imidlertid muliggjøre variabel frekvens for å tilpasse motorbelastningen til det faktiske behovet til enhver tid. Dette vil redusere den totale energien som forbrukes av elektriske motorer betydelig. Teknologien kan i prinsippet anvendes for alle elektriske motorer ombord, men vil normalt anvendes på motorer over en viss størrelse (av kost-nytte årsaker).

3.4.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Det antas at motorer med frekvensomformere kan installeres for alle elektriske motorer i hjelpesystemer om bord, på tvers av størrelser og skipssegmenter. I utgangspunktet antas det at teknologien omfatter frekvensstyring på hjelpesystemer for skipets maskineri, selv om det for enkelte skipssegmenter (offshore-, fiske- og fórfartøy og havbruksbåter) kan oppnås vesentlige reduksjoner også for utstyr som benyttes i lastehåndtering og annet om bord, for eksempel vinsjer og kjøle-/frysemaskineri.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid/gjenværende levetid.

3.4.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

En frekvensomformer vil muliggjøre variabel last på de elektriske motorene i ulike hjelpesystemer slik at man unngår diskret av-/på-last slik konvensjonelle systemer er designet. Besparelser er estimert til reduksjoner mellom 2-10% av det totale forbruket til hjelpemotorene.

3.4.3.4 Kostnad

Estimerte merkostnader for å installere frekvensstyrte elektriske motorer sammenlignet med tradisjonelle motorer anslås til 750-1500 NOK/kW installert hjelpemotorkraft ombord.

Det anslås et tillegg på 30 kNOK/år i ekstra driftskostnader for vedlikehold av utstyret.

3.4.3.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra publikasjoner av ABB (ABB, 2016) samt verifiserte reduksjoner fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

Kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet.

3.5 Utnyttelse av vind- og solenergi

3.5.1 Seil

3.5.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Seil representerer et tiltak i form av faste installasjoner på skipsdekket, enten som fleksible seil, stive seil, eller såkalte turbo-seil. Felles for disse er at de kan nyttiggjøre seg vinden til fremdrift og dermed erstatte deler av den maskindrevne fremdriftskraften som ellers ville vært produsert av konvensjonelle forbrenningsmotorer.

Et stort antall konsepter og teknologier er tilgjengelig på markedet i dag, men ingen av systemene er testet ut i fullskala på kommersielle skip. Et fåtall av systemene er testet i vindtunnel, eller ved hjelp av CFD-analyse. Tiltaket er fullt mulig å realisere, men har av økonomiske årsaker vært ansett som lite lønnsomme med dagens drivstoffpriser. Alle alternativene vil ha fordeler og ulemper, og må velges ut fra passende skipstype, operasjonsmønster og størrelse.

3.5.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Tiltaket er kun ansett som teknisk mulig for skip med god plass og lite aktivitet på dekk. Følgende skipstyper anses derfor som uegnet; konteiner-, passasjer-, offshore supply-, andre offshore service- og fiskefartøy. Det antas at tiltaket vil ha en levetid på 15 år da seilene vil få en del slitasje over tid.

Stabilitetsforandringer på grunn av den høye plasseringen av ekstra vekt og kraft fra seilene antas ikke å være et problem for skipstypene tilstakstypen en mest relevant for. Ved å optimalisere seilene under designfasen av skipet vil man oppnå best plassering og størst besparelser, men det anses likevel som mulig å installere tiltaket på eksisterende skip. Ved installasjon i nybyggfasen vil det også kunne gjøres justeringer på propelldesignet for å optimalisere den for assistanse av seil.

3.5.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Besparelsene fra tiltaket vil være svært avhengig av vindforholdene skipet opereres i. Det er per i dag ingen nyere kommersielle skip som har installert systemet; anslagene baseres derfor på teoretiske studier og CFD-analyser under relativt ideelle forhold. Enkelte leverandører av dette tiltaket hevder en besparelse oppunder 30% i fullskala, men det antas at den reelle besparelsen vil ligge mellom 1-10%.

3.5.1.4 Kostnad

Kostnadsestimatene varierer fra leverandør til leverandør og det er stor usikkerhet rundt anslagene. Det estimeres en kostnad mellom 4-6 MNOK per seil installert på skipet.

3.5.1.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra artikler og produktbeskrivelser fra Baird Maritime (Baird Maritime, 2010), Eco Marine Power (Eco Marine Power, 2015) og Lloyd's Register (Lloyd's Register, 2015).

3.5.2 Kite

3.5.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

En kite fungerer ved at vindkraft fanges i kiten og fungerer som en trekraft på skipet. Dette resulterer i et lavere behov for motorkraft til å flytte skipet gjennom vannet. Kiten er koblet fast i baugområdet på skipet og utplasseres i stor høyde under operasjon på sjøen (trekkes inn ved høydebegrensninger, slik som broer). En eller flere slike kiter kan anvendes samtidig. Systemet består av en kite laget av et robust tekstil, et slepetau, et ut- og inntauingssystem, samt et kontrollsystem for automatisert drift. Ettersom vindhastigheten reduseres nær vannoverflaten opereres kiter i store høyder for å dra nytte av høyere vindhastigheter.

3.5.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Systemet er best egnet for skip over 30 meter og for hastigheter under 16 knop. Skipet MV Beluga er et eksempel på et seilende skip hvor en testinstallasjon har vært brukt siden 2008. Flere nye konsepter er under utvikling og det antas at man vil se flere skip installert med lignende konsepter i årene som kommer. Tiltaket kan benyttes på både eksisterende og nye skip og det forventes en levetid på 10 år.

På grunn av varierende vindforhold skipet utsettes for, samt andre operasjonelle begrensninger ved kitesystemet, er det antatt at det kun kan benyttes mellom 20% og 30% av tiden for små og store skip. Kiten antas å oppnå best resultater for skip som trafikkerer lange internasjonale ruter.

3.5.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet avhenger av fartøystørrelse, segment, driftsprofil og området skipet trafikkerer. Det forventede reduksjonspotensialet ligger i området 1 - 5% av drivstofforbruket til fremdrift.

3.5.2.4 Kostnad

Estimerte kostnader knyttet til kitesystemet forventes å øke med størrelsen (m²) som vist Tabell 3-4.

Tabell 3-4: Estimerte kostnader ved ulike kitestørrelser

Størrelse [m ²]	Kostnad [MNOK]
160	2,5
320	4,0
640	8,0
1 280	15,0
2 500	22,0
5 000	30,0

3.5.2.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra artikler og produktbeskrivelser hentet fra Lloyd's Register (Lloyd's Register, 2015), Skysails (Skysails, 2016) og Beyond the Sea (Beyond the Sea, 2016).

3.5.3 Solcellepanel

3.5.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Solcellepaneler er enheter som konverterer energien fra sollys til elektrisitet. Energien som genereres fra disse kan lagres i batterier og benyttes til å supplere dieselgeneratorer og dermed redusere effektbehovet fra disse enhetene. Solcellepaneler på skip har begrenset utbredelse i dag, selv om enkelte skip har installert mindre anlegg de siste årene.

3.5.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Solcellepaneler er aktuelt for alle typer av fartøy. For å produsere tilstrekkelige strømmengder er det nødvendig med relativt store installasjonsflater. Potensialet er derfor størst for skip med mye tilgjengelig dekkplass. For at solcellepaneler skal kunne benyttes om bord må de bygges ekstra robuste og bestandige sammenlignet med stasjonære landbaserte installasjoner. Dette skyldes det tøffe miljøet skipet er utsatt for under operasjon, fra vær og vind, fuktighet, vibrasjoner, korrosjon m.v.

Solcellepaneler om bord vil bestå av flere mindre moduler koblet sammen for å utgjøre et større system. Solcellepaneler beskrives gjerne ved irradiansen (innstrålingstettheten) som antall watt per kvadratmeter (W/m^2) ved 25 grader celsius.

Solcellepaneler kan produsere energi ved dagslys både til sjøs og i havn. Det gjøres oppmerksom på at solcellepaneler også produserer strøm i overskyet vær, men med redusert kapasitet.

Tiltaket er relevant både for eksisterende skip og ved installasjon på nybygg. Likevel er det nærliggende å tro at man kun vil se dette tiltaket på nybygg i tiden fremover. Det antas at levetiden på panelene er 20 år.

3.5.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Estimert reduksjonspotensial for solcellepaneler er 0,5 – 2% av hjelpemotorenes drivstofforbruk.

3.5.3.4 Kostnad

Kostnadene knyttet til solcellepaneler er forventet å falle de nærmeste årene. Det er imidlertid mindre sannsynlig at de vil bli betydelig mer effektive eller mindre plasskrevende. Kostnaden for solcellemoduler i seg selv har falt betydelig de siste årene. Teknologien koster i dag omlag 5 NOK/Watt installert kapasitet. Solcellesystemer krever også utstyr utover cellemodulene. Dette inkluderer kabler, frekvensomformere og andre monteringer. Anslagsvis vil et system for maritim bruk koste mellom 25-30 NOK/Watt, som tilsvarer 3,5-4,5 MNOK for en installasjon på 150 kW. Denne verdien er forventet å avta over tid, basert på utviklingstakten for landbaserte installasjoner.

3.5.3.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra artikler og produktbeskrivelser hentet fra Pv Magazine (Pv magazine, 2016), Ship & Bunker (Ship & Bunker, 2016) og IMO (IMO, 2016).

3.6 Tekniske løsninger for optimalisering av operasjonen

3.6.1 Automatisk fortøyningssystem

3.6.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Automatisk fortøyningssystem er basert på magnetflater som holder fartøy og kaianlegg sammen, og erstatter dermed konvensjonelle trosser eller konstant motorpådrag for å holde fartøyet stabilt. Enhetene skipet kobler seg på kan beveges vertikalt og horisontalt, og samtidig inn og ut fra kaia slik at

tilkoblingen ikke er avhengig av dypgangen til skipet, gitt at den er innenfor grensene for dypgangs- og tidevannvariasjon satt ved installasjonen.

Magnetflatene fungerer som sugeplater som, når skipet nærmer seg, tar tak i skroget og styrer skipet inn til kaia hvor skipet holdes stabilt i ro. Systemet blir overvåket, kontrollert og posisjonert via en hydraulisk robotmekanisk kobling, og styres fra skipet, havnekapteinen eller los.

Det automatiske fortøyningsystemet krever mindre plass ved kaia enn tradisjonelle løsninger slik at flere skip kan legges tettere og betjenes samtidig. Drivstofforbruket reduseres ved at skipet bruker mindre energi på å posisjonere seg for kailigge, og/eller unngår unødvendig pådrag for å holde posisjonen ved kai. Det automatiske fortøyningsystemet er imidlertid ingen substitusjon for fendere.

3.6.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Automatisk fordøyingsystem passer typisk til bilferger i fast rute mellom et fåtall havner. I tillegg har det også blitt installert automatiske fortøyningsystemer for de største klassene av containerskip og bulkskip.

Utover noe utstyr og tilpasninger om bord på skipet, vil mestaparten av installasjonen foreligge på kai. Teknisk levetid for det automatiske fortøyningsystemet anslås til 15 år. For å sikre seg mot skader og slitasje bør skroget ha en anbefalt ståltykkelse over 10 millimeter. Skrog som ikke er laget av stål vil også kunne installere automatisk fordøyingsystem, men dette må da utredes og hensyntas i designet.



Figur 3-10: Illustrasjon av tilkoblingsenhet som kan møte skrogvinkelen til skipet

3.6.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Det er anslått at et automatisk fortøyningsystem kan redusere drivstoffet med opptil 15 % av hovedmotorens forbruk på enkelte strekninger, der ferger bruker en stor andel av tiden på å posisjonere seg og ha skyvkraft mot kaien. For containerskip og bulkskip er besparelsene betydelig mindre.



3.6.1.4 Kostnad

Kostnaden for et automatisk fortøyningssystem er avhengig av hvor mange enheter man trenger. For et skip som går mellom to kaier vil det være nødvendig med minst to enheter til totalt mellom 0,4-0,8 MNOK for installasjon av fortøyningssystemet. For eksisterende skip anslås det en ytterligere installasjonskostnad på 0,2 MNOK avhengig av omfang.

For vedlikehold av systemer er det estimert en kostnad på 1-5 % av installasjonskostnaden, avhengig av bruk, lokasjon og værforhold.

3.6.1.5 Kilder og referanser

Beskrivelser er hentet fra Cavotec for MoorMaster (Cavotec, 2014) og Teknisk Ukeblad (Teknisk ukeblad, 2005). Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne rådgivningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016).

3.6.2 Bruk av autopilot

3.6.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

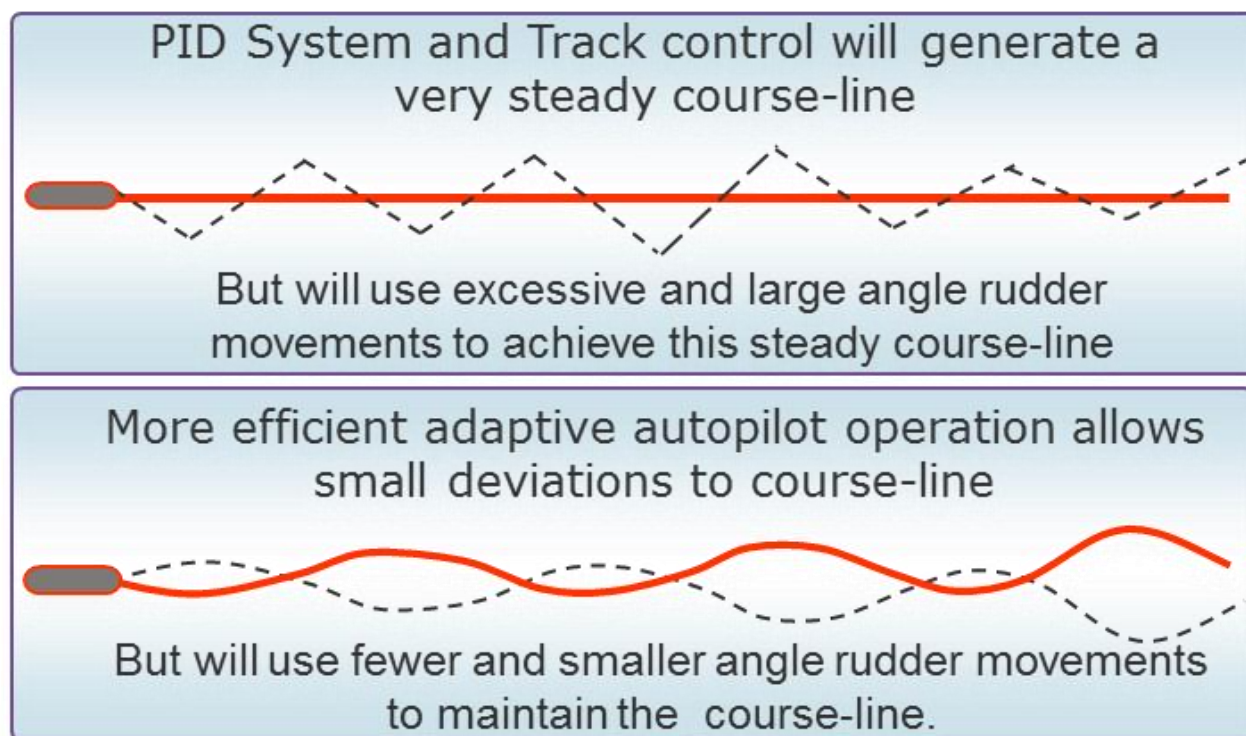
Autopilot omfatter bruk av et automatisk system for å styre roret på fartøyet. Dette gjøres for å jevne ut de store bevegelsene roret bruker for å holde stø kurs. Effektive og tilpasningsdyktige autopilot-operasjoner tillater små avvik til kurslinjen, men vil bruke færre og mindre store rorbevegelser for å opprettholde kurs. Dette reduserer rorbevegelser og reduserer dermed drivstofforbruket. Selv om autopilot er standard på dagens skip, er det et reduksjonspotensiale i optimalisert bruk av slike systemer.

3.6.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Bruk av autopilot er aktuelt for alle skipstyper og skipsaldre.

For optimal tilpasning og bruk av autopilot må prosedyrer implementeres, herunder anbefaling om optimalt antall ror-bevegelser og vinkler for ulike sjøforhold. Optimalisering av autopilot gjøres relativt raskt, forutsatt at autopiloten allerede er installert. Mannskapet må imidlertid være godt kjent med konseptet for å oppnå potensialet for besparelse.

Tiltaket er i seg selv like gyldig for nybygg som for eksisterende skip. Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets (gjenværende) levetid.



Figur 3-11: Illustrasjon av hvordan mer optimalisert autopilot kan jevne ut de store bevegelsene til roret

3.6.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Det estimerte reduksjonspotensialet er 0,25 – 1,5% av hovedmotorens forbruk, ved optimale autopilot- og rorinnstillinger. Dette samme potensialet vil være realiserbart ved anvendelse på eksisterende skip.



3.6.2.4 Kostnad

Det er ikke knyttet noen direkte kostnader ved implementering av tiltaket, men kostnader knyttet til opplæring, trening og bevisstgjøring kan forekomme avhengig av mannskapets erfaring med lignende konsepter.

3.6.2.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra eksterne publikasjoner fra Marine Insight (Marine Insight, 2016) og Fathom (Fathom, 2013).

3.6.3 Effektive DP-operasjoner

3.6.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Enkelte skip opererer med såkalt dynamisk posisjonering (DP) som betyr at skipene har dedikerte systemer for å holde seg stabilt på samme geografiske punkt med minimal påvirkning fra eksterne krefter som vind, bølger og strøm. DP-systemer utgjør dermed en viktig del av offshore-skipenes operasjon. IMO, flaggstater, klasseselskap og befraktere stiller strenge krav til dets utstyr, ytelse, redundans, samt systemtesting og opplæring av offiserer. Mens sikkerhetsaspekter ved systemene har stort fokus, er energieffektivitet imidlertid lite prioritert. Det er derfor et stort potensiale for at DP-operasjoner kan gjøres mer energieffektivt, både med tekniske tiltak og optimalisering av operasjon. Sistnevnte beskrives i dette avsnittet, men en rekke av de øvrige beskrevne tekniske tiltakene i denne rapporten har særlig potensiale for effektivisering nettopp i DP-operasjon.


Energieffektivisering av DP-operasjonen innebærer enten å forbedre selve driften når et skip er i DP-modus, eller redusere tiden skipet opererer i DP. Forbedring av DP-operasjon gjennomføres blant annet gjennom å identifisere og etablere en felles tilnærming/forståelse for hva DP-drift innebærer, inkludert alle variasjoner av DP-drift på tvers av en reders/operatørs segmenter. Deretter må optimal operasjon identifiseres, beskrives og implementeres. Standardisert tilnærming til optimal DP-drift, samt tydelig forventningsstyring for hele flåten via klare instruksjoner for hvordan man implementerer slike prosedyrer om bord, er essensielt for suksessen av tiltaket.

3.6.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Effektiv DP-operasjon er anvendbart for skip med dedikerte DP-systemer i alle aldre. Systemene som muliggjør DP-operasjon kan variere mye i funksjon og egenskap avhengig av skipets alder og type. I tillegg kan systemene variere mellom de forskjellige produsentene. De mest essensielle funksjonene i slike systemer vil dog være standardisert for samtlige skip. På grunn av kompleksiteten, og viktigheten av å holde stabil posisjon, er kapabiliteter, spesifikasjoner og funksjonaliteter av DP-systemer strengt kontrollert.

For implementering av effektiv DP-operasjon burde det utvikles selskapsspesifikke retningslinjer for hvordan man oppnår energieffektiv DP-operasjon. Slike retningslinjer bør understreke viktigheten av å standardisere DP-drift for hele flåten, og som et minimum resultere i en gjennomarbeidet prosedyre mannskapet skal følge. En slik prosedyre kan, avhengig av type operasjon, operasjonsmoduser, konfigurasjon, osv., beskrive følgende;

- Utarbeide retningslinjer for hvilke DP-moder som skal anvendes og hvordan de skal utformes. Deretter et rammeverk for når man skal bruke hver mode for å maksimere energieffektiviteten
- Åpen/lukket «bus-tie»: Avhengig av utstyrsklasse, (se IMO MSC / Circ. 645) bør åpne-/lukkede bus-tie-operasjoner vurderes dersom operasjonen kan gjennomføres på en mer effektiv måte. Dette innebærer å slå av elementer i DP-systemet hvis ikke det er absolutt nødvendig/påkrevd.
- Drifting som alternativ til DP-operasjon dersom forholdene tillater det. Dette gjelder hovedsakelig for konstruksjonsfartøy.
- Ankring som alternativ til DP-operasjon dersom forholdene tillater det. Begrenses riktignok til områder hvor vanndybden tillater ankring.
- Optimalisering av sensitiviteten eller presisjonen på DP-systemet (på engelsk, «gain»): Standardisering og økt fokusering på utnyttelse av presisjonsinnstillinger kan realisere energibesparelser med et akseptabelt tap av posisjon.

- 
- Bruk av «avslappet» DP-modus. Såkalt «Grønn» DP er et eksempel som kan anvendes som en mer energieffektiv operasjonsmodus i operasjoner hvor det kreves en mindre grad av posisjonsnøyaktighet, men DP-modus fremdeles kreves (feks. ved venting ved rigg/plattform)
 - Utnyttning av manuell kontroll i klart definerte scenarier: I visse scenarier kan bruk av manuell kontroll brukes for å oppnå en reduksjon i forbruket, sammenlignet med vanlig drift i DP-modus. For eksempel, bruk av fremdriftskraft for å opprettholde posisjonen i stedet for og operere i DP (seiling langsomt opp mot vinden, slik at skipet langsomt opprettholder posisjon uten bruk av thrustere)

Teknisk levetid for tiltaket settes lik perioden man praktiserer tiltaket ombord.

3.6.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Det antatte reduksjonspotensialet representerer 1% av det totale skipsforbruket, og 5% av forbruket i DP.

3.6.3.4 Kostnad

Det er ingen direkte kostnader knyttet til effektiv DP-operasjon. Men det kan være kostnader knyttet til opplæring av mannskap, etablering av prosedyrer eller implementering av programvareverktøy (for å spore resultatene av tiltaket).

3.6.3.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra eksterne publikasjoner fra IMO (IMO, 1994) og Kongsberg (Kongsberg Maritime, 2015).

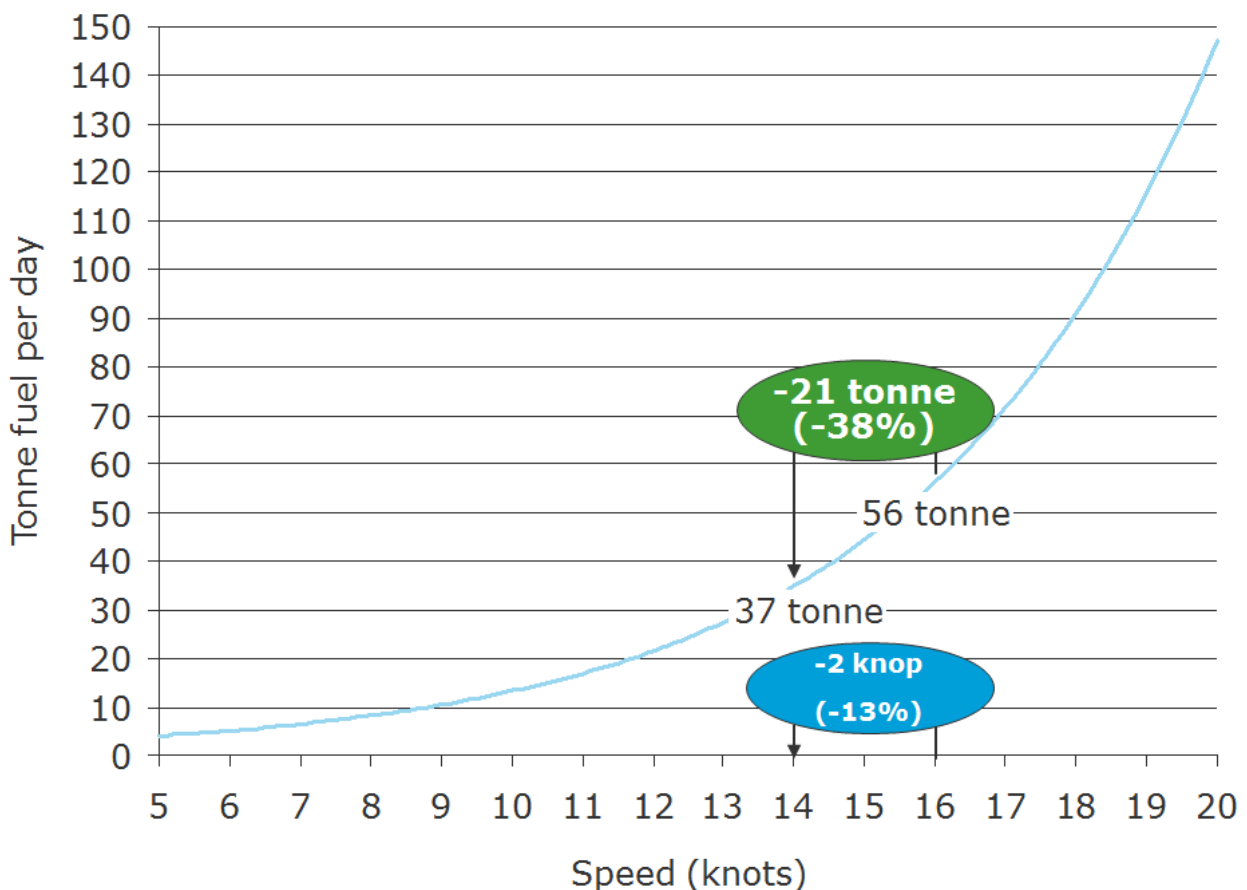
3.6.4 Fartsreduksjon og bruk av økonomifart

3.6.4.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Fartsreduksjon og bruk av økonomifart som energieffektiviserende tiltak omfatter ulike aspekter av justering av og planlegging for optimal fart, samt belastning og turtall på fremdriftsmotoren(e).

Mengden drivstoff et skip bruker til fremdrift er proporsjonal med energien som kreves for å overvinne motstanden skipet møter når det pløyer gjennom vannet ved en gitt hastighet. Forholdet mellom dette drivstofforbruket og farten til skipet er som regel et eksponentielt forhold. Som en tommelfingerregel kan man anta at drivstofforbruket (proporsjonalt med nødvendig motorkraft og motstanden) følger tredje potens av farten. Det vil si at en 10% hastighetsreduksjon reduserer motstanden og drivstofforbruket med 27%.

For å vurdere den totale drivstoffbesparelsen basert på en komplett seilas må man ta hensyn til den ekstra tiden det tar å seile en gitt avstand på grunn av lavere hastighet. Ved å ta dette i betraktning gir en nedgang i hastighet på 10% en total drivstoffbesparelse på ca. 19% for en gitt seilas. Som et eksempel ble en hastighetsreduksjon på 13% for et 56 000 DWT stykkgodsskip spart nesten 40% av det daglige forbruket.



Figur 3-12: Eksempel på drivstoffbesparelser ved å redusere hastigheten fra 16 til 14 knop.

3.6.4.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

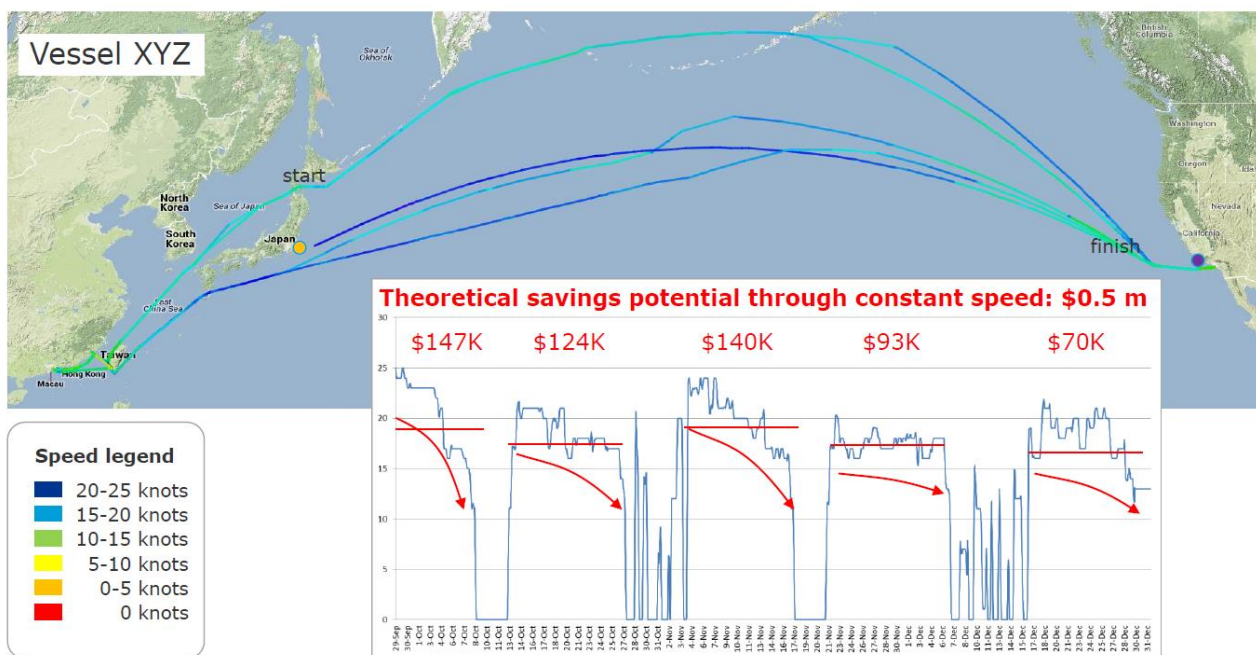
Tiltaket er aktuelt for alle skip i alle aldre.

Økonomifart

Med basis i det eksponentielle forholdet mellom forbruk og fart, vil vanligvis et fartøy som seiler med variabel hastighet over samme distanse og varighet bruke mer drivstoff sammenlignet med mer konstant hastighet. Dette gjelder for alle typer skip med unntak av noen få diesel-elektriske. Det finnes dog eksempler hvor diesel-elektriske fartøy har kombinasjoner av motorstørrelser, antall motorer og spesifikt drivstofforbruk som gjør seiling med variabel hastighet fordelaktig.

Optimale hastigheter med hensyn på energieffektivitet kan imidlertid ofte være utfordrende på grunn av krav fra skips- eller lasteieier. Konsekvensen av å håndheve en hastighet strengt, enten det gjelder variabel eller konstant hastighet, kan også være selvmotvirkende. Et eksempel på dette er "kjempe mot bølger" i tøffe værforhold og unødvendig redusere farten fordi havstrømmer og vind er så gunstig at farten blir «for høy».


Bedre planlegging, bedre bruk av fartøysspesifikk kunnskap, værmeldinger og kommunikasjon mellom befракter, havnen og skipet kan forbedre hastighetsprofilen til en seilas, og dermed redusere det totale drivstofforbruket.



Figur 3-13: Eksempler på ulike fartsprofiler og tilhørende forbruk for den samme seilasen.

Fartsreduksjon (slow steaming/økonomifart)

Ved å redusere hastigheten med 10% kan det totale drivstofforbruket reduseres oppmot 20%, for en gitt seilas. Såkalt «slow steaming» eller fartsreduksjon er en kjent praksis hvor man reduserer hastigheten betydelig, for å redusere drivstofforbruket. Denne praksisen har vært vanlig i etterkant av finanskrisen i 2009 og begrenser seg vanligvis ikke bare til deler av en seilas, men gjerne for hele kontrakter og flåter av skip. En langsiktig hastighetsreduksjon er et strategisk virkemiddel sammenlignet med dag-til-dag-



justering av farten avhengig av forventet ankomsttid (ETA), vær, strøm etc. Det kan oppnås svært betydelige besparelser ved å redusere farten ettersom forbruket øker eksponentielt med hastigheten.

«Slow steaming» er relevant for alle skipstyper, men har størst reduksjonspotensial for skip med lange seilaser. Som et permanent tiltak over lengre perioder er det viktig å merke seg at det vil påføres økt slitasje på motorene på grunn av lave belastninger. Endringer i planlegging og utførelse av vedlikehold må gjøres i slike tilfeller da motorene ikke er designet for slik drift over tid. Ved betydelig lavere belastning, dvs. 20 - 50% av maksimal belastning, kan det på den andre siden være aktuelt med økt innsparingspotensial fra ulike tiltak for å tilpasse utstyr og maskineri til ny og lavere fart (se tidligere tiltaksbeskrivelser).

Teknisk levetid for tiltaket settes lik perioden man praktiserer tiltaket ombord.

3.6.4.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er antatt mellom 5-30% besparelse av total drivstofforbruk. Fartsreduksjon er svært avhengig av hvilken hastighet et skip opererte med før det reduserte farten, samt hvor mye handlingsrom operatøren av skipet har for å optimere hastighetsprofilen.

3.6.4.4 Kostnad

Det er ikke antatt noen direkte kostnader knyttet til fartsreduksjon, men en fartsreduksjon kan påvirke de totale inntektene grunnet økt seilingstid og mindre utført transportarbeid per tid (tonn cargo x utseilt distanse per tid)

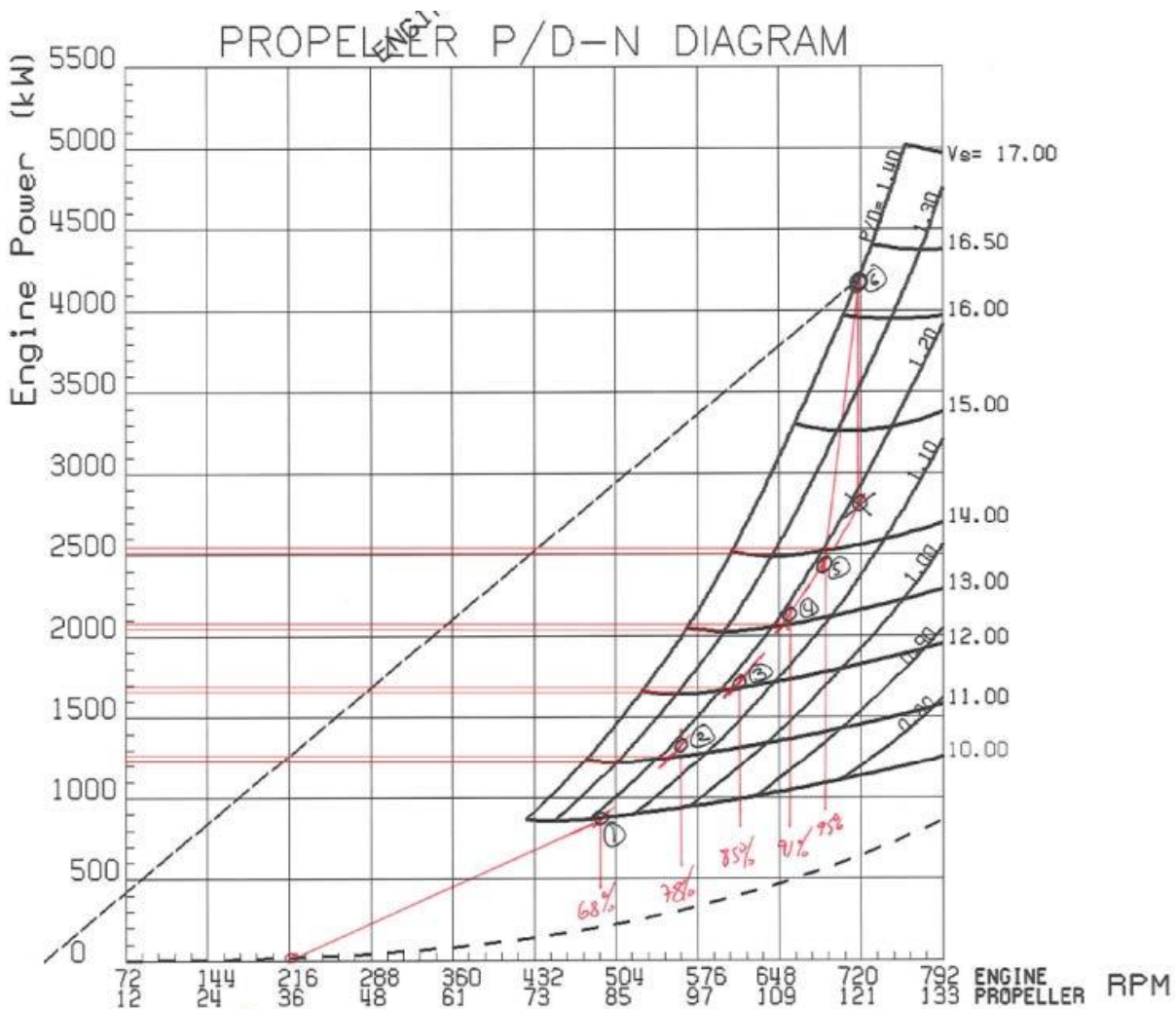
3.6.4.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra eksterne publikasjoner fra hentet fra DNV GLs online energieffektiviseringsverktøy for eksisterende skip (DNV GL, 2016c), samt eksterne publikasjoner (Marine Insight, 2012) (Meyer et.al, 2012) (Kongsberg Maritime, 2014) (J Faber, 2012) (IMO, 2016).

3.6.5 Kombinatoroptimalisering

3.6.5.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

For propeller med vridbare propellblader kan man, ved hjelp av en kombinatorkurve, optimere propellbladenes vinkel (pitch) for å øke propellens effekt i ulike driftsmodus. Kombinatorkurver tar hensyn til motorens effekt, fremdriftseffektivitet, kavitasjonmønster ved forskjellige forhold og fartøyets operasjon. Ved å øke effekten på propellen, reduseres samtidig drivstofforbruket til fremdrift.



Figur 3-14: Eksempel på en kombinatorkurve

3.6.5.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Kombinatoroptimalisering er kun aktuelt for fartøy med vridbare propeller (såkalte Controllable Pitch-propeller, eller CP-propeller) uavhengig av skipstype og alder.

Følgende elementer bør være med i et prosedyreverk, for å forbedre fremdriftsytelsen ved å bruke kombinatorkurver:

- Evaluere eksisterende kombinatorkurver, dersom det foreligger, og sørge for at kurver for ulike driftsformer utarbeides.

- Kjøre simuleringer og utvikle nye kurver dersom det er grunn til å tro at de eksisterende kurvene ikke er optimalisert for fartøyets drift
- Evaluere og dokumentere effekten av optimal bruk og utnyttelse av kombinatorkurvene
- Trene mannskapet i å estimere forventet skipshastighet og skyvekraft
- Skip med akselgenerator som må seile på fast turtall når denne er koblet inn (som i utgangspunktet begrenser bruken av kombinatorkurven) endrer kun propellbladvinkelen for å oppnå fartsendringer, uavhengig av kombinatorkurven. Dog ligger det en mulighet til ytterligere besparelser ved å tillate opp til 5% variasjon i frekvensen på elektrisiteten slik at man kan endre turtallet og bladvinkelen til en litt større vinkel i henhold til kombinatorkurven. Dette er per i dag ikke standard prosedyre for slike skip.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til skipets levetid forutsatt at skipet opereres på samme måte.

3.6.5.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Potensialet bestemmes i stor grad av hvor dårlig utgangspunktet er samt hvor passende operasjonsprofilen er. En vribar propell vil gi god effekt til operasjonsprofiler med både behov for liten hastighet og stor thrust, og stor hastighet med moderat thrust. Men for fartøy med akselgenerator vil det være begrensninger for hvor langt ned i turtall hovedmotoren kan gå før strømproduksjonen faller ut. Her kan det være aktuelt å vurdere økt bruk av hjelpemaskineri for strømproduksjon. Det vil dermed være store variasjoner i reduksjonen med alt fra 0.25–5% av det totale drivstofforbruket.

3.6.5.4 Kostnad

Det er ikke antatt noen direkte kostnader knyttet til kombinatoroptimalisering.

3.6.5.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner er hentet fra et prosjekt hvor DNV GL utarbeidet en energieffektiviseringshåndbok for de største offshorerederiene i Norge (DNV GL, 2012), samt eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter (DNV GL, 2014-2016).

3.6.6 Trim- og dypgangsoptimering

3.6.6.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Trim og dypgang påvirker et skips motstand gjennom vannet og dermed nødvendig motorkraft. I dag tas det, i begrenset grad, hensyn til optimal trim og dypgang ved lasting og ballastering av skip. Ved å kjenne til hvilke kombinasjoner av dypgang, trim og hastighet som minimerer motstanden, kan man aktivt planlegge lasting og styre ballasteringen mot optimal trim og dypgang, for å redusere forbruk.

For å være i stand til å optimalisere trim og dypgang er det flere verktøy som kan benyttes:

- Trimtabeller der mannskapet selv må beregne optimal trim og dypgang
- Selvlærende trim- og dypgangsprogrammer som bruker historiske seilingsdata til å presentere optimal trim- og dypgang
- Avanserte dataprogrammer som regner ut optimal trim- og dypgang ved hjelp av CFD-modeller før seilasen gjennomføres.

For å være i stand til å optimalisere trim og dypgang er det imidlertid også nødvendig å ha et godt dataprogram for lastplanlegging, samtidig som mannskapet har trening og god kjennskapet til utstyret.

3.6.6.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Trim- og dypgangsoptimering er aktuelt for alle skipstyper og skipsaldre. Enkelte skip har mindre fleksibilitet og et begrenset mulighetsrom hva gjelder trim. Dette gjelder spesielt cruiseskip, som er designet for passasjerkomfort og har fasiliteter for passasjerene som krever spesielle trimkondisjoner. Videre vil fylldige skip, der motstand fra viskøs friksjon er høyere enn bølgefriksjon (f.eks. tankskip og bulkskip), generelt ha en mindre reduksjonspotensialer. Dette er tilsvarende for skip med begrenset mulighet for ballastering.

I tillegg spiller operasjonsprofilen for de ulike skipstypene en vesentlig rolle. Skip med vesentlig andel tid i transitt vil eksempelvis har større potensialer enn tilsvarende skip med mye manøvrering og stasjonær operasjon.

Tiltaket kan ettermonteres for eksisterende skip. For trimtabeller anslås teknisk levetid for tiltaket til skipets levetid, da statiske trimtabeller og dynamiske trimtabeller vil være gyldige forutsatt at skipet opereres på samme måte. Selvlærende systemer er som regel lisensbasert, og teknisk levetid for disse anslås derfor mellom 1 måned og 1 år avhengig av leverandør og lisensavtale.

3.6.6.3 Potensiale for utslippsreduksjon

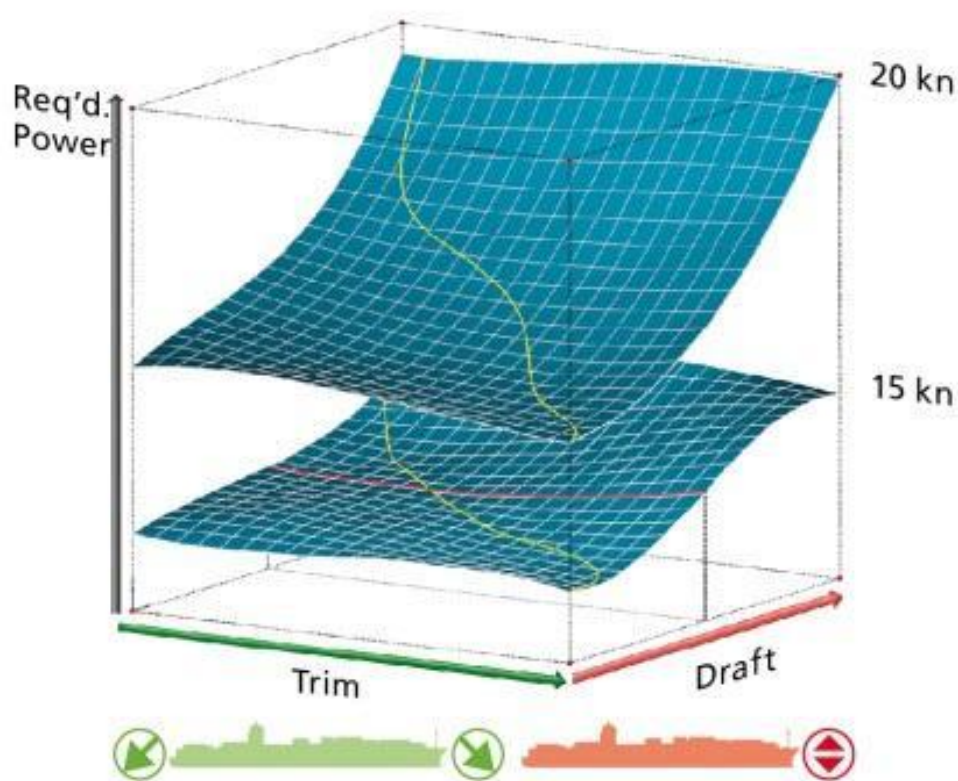
Optimalisert trim og dypgang er estimert til å kunne redusere drivstofforbruket på hovedmotor med 0,5 – 2 % for de aller fleste skipstyper. For skip som ofte går i del-last (f.eks. container, ro-ro, osv.) kan effekten være opp til 5 %. Disse estimatene er hentet fra fullskalaforsøk og detaljerte beregninger utført på en rekke forskjellige skip i forskjellige ruter. For PSVer er det verifisert en besparelse på 4 %, hvor man har sammenlignet to søsterskip som opererer med og uten optimal trim. Dette potensialet vil være tilsvarende for nybygg og eksisterende skip.

Tabell 3-5: Reduksjonspotensialer for ulike skipstyper

Skipstype	Besparelse på hovedmotor
Tankskip og bulkskip	1–3%
Ro-Ro	2–4%

Containerskip og bilskip	3-5%
Offshore	2-4%

Required Power (constant speed surfaces)



Figur 3-15 Illustrasjon av detaljert trimoptimeringsprogram


3.6.6.4 Kostnad

Trimtabeller

Kostnaden for trimtabeller avhenger av hvor mange kombinasjoner av dypgang, trim og hastighet man begrenser trimtabellen til. Gitt gode tegninger av skipet og en detaljert operasjonsprofil estimeres 20 kombinasjoner til ca. 100 kNOK. 20 kombinasjoner er vanligvis tilstrekkelig for bulkskip, tankskip og passasjerskip.

Ferger som har en begrenset mulighet til å endre trim, og som ofte seiler med én gitt dypgang og to ulike hastigheter, trenger gjerne 10-12 kombinasjoner. Slike tabeller estimeres mellom 50-70 kNOK.

Containerfartøy som har varierende mengde last ombord vil trenge flere kombinasjoner, ofte inntil 40 kondisjoner. Dette anslås til ca. 160 kNOK.



Kostnadene gitt over forutsetter at man kan levere geometrien og operasjonsprofilen for skipet. Dersom man ikke kan levere dette før trimoptimaliseringen, koster det opptil 70 000 NOK å utarbeide geometrien for skipet og 10 000 NOK for å utarbeide operasjonsprofilen.

Selvlærende systemer

Selvlærende trim- og dyppgangssystemer bruker automatiske sensorer som logger historisk seilingsinformasjon og drivstofforbruk for å finne den optimale trim- og dyppgangen. Kostnaden for selvlærende systemer vil variere avhengig av hvilke sensorer og utstyr skipet allerede er utrustet med, eller installerer i forbindelse med trimsystemet. Det estimeres kostnader for om lag 250 kNOK per skip for slike selvlærende systemer.

Avanserte CFD-modeller

Prisen for CFD-modeller kan variere dersom man implementerer det på flere like søsterskip (da man genererer én CFD-modell per søsterklasse). En CFD-modell for fire søsterskip anslås til 150 kNOK per skip.

Alle kostnader vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.6.6.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra ECO Assistant (DNV GL, 2015a) og et samarbeidsprosjekt mellom DNV GL og eksterne selskaper (DNV GL, 2015b). Kostnader er også innhentet fra Marorka (Marorka, 2016).

3.6.7 Værruting

3.6.7.1 Beskrivelse av tiltak/tiltak

Vind og bølger vil sammen med havstrømmer påvirke kraften som trengs for å drive et skip fremover i vannet ved en gitt hastighet. Det er derfor viktig å ta disse faktorene i betraktning, både under planlegging og gjennomføring av en reise, for å prøve å minimere den negative påvirkningen været kan ha på forbruket.

Gevinsten fra tiltaket vil komme i form av redusert drivstofforbruk ved å unngå eksponering mot vind, bølger og strømmer og dermed redusert motstand i vannet. Man vil også kunne erfare redusert materialtretthet og mindre værskader på skroget.

Valget av det mest drivstoffeffektive rutealternativet må riktignok veies opp mot den sikreste og raskeste ruta, samt eventuelle føringer fra lasteeier/skipsreder.

3.6.7.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Jo lengre reisene er, jo større fleksibilitet i rutevalg har skipet for å unngå uønskede værforhold. Lengre reiser inkluderer ofte mye tid i åpent farvann, der påvirkning fra været gjør værruting spesielt viktig. Det største potensialet kan derfor realiseres i interkontinental handel, for større skip.

Alle skip kan potensielt installere systemer for værruting. For eksisterende skip har imidlertid enkelte skipssegmenter (store container- og ro-ro skip) til en viss grad allerede implementert værruting, og har derfor lavere potensial for utslippsreduksjon. I tillegg antas det at mulighetene for værruting for passasjerskip ikke er betydelig nok til å kunne kvantifiseres.

Værrutingsinstallasjoner er ofte lisensbasert. Teknisk levetid for tiltaket anslås derfor mellom 1 måned og 1 år avhengig av leverandør og lisensavtale.

3.6.7.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er estimert til 0 – 5% avhengig av skipsstørrelse og type, samt typisk operasjonsmønster. Effekten av tiltaket vil komme i form av redusert drivstofforbruk på fremdriftsmaskineriet. Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.6.7.4 Kostnad

Kostnaden knyttet til de mest avanserte systemer med mulighet for optimering basert på store mengder værdata, hvor beregningene gjøres på land med påfølgende oversendelse av optimalt rutevalg, estimeres til om lag 30 kNOK/år. Systemene kan installeres som enkeltstående software på skipets eksisterende datasystemer.

3.6.7.5 Kilder og referanser

Energireduksjoner og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016) samt informasjon fra Navtor (Navtor, 2016), leverandør av ruteoptimaliseringssystemer.

3.7 Umodne eller usikre teknologier/tiltak

I dette delkapitlet gis en oversikt over teknologier/tiltak som vi vurderer som relativt umodne for maritim anvendelse i dag, men som antas kan bli svært relevante i et 5 års perspektiv. Flere av disse er tilgjengelige i dag og derfor beskrevet i de foregående delkapitlene, men vi har også tatt med tre nye teknologier som anses som spesielt relevante og som er nærmere beskrevet nedenfor.

De aktuelle teknologiene/tiltakene i et 5 års perspektiv er:

- Batterihybridisering (ikke plug-in) (beskrevet i kapittel 3.2.6)
- Luftboblesmøring (beskrevet i kapittel 3.3.1)
- Seil (beskrevet i kapittel 3.5.1)
- Kite (beskrevet i kapittel 3.5.2)
- Solcellepanel (beskrevet i kapittel 3.5.3)
- Automatisk fortøyningsystem (beskrevet i kapittel 3.6.1)
- Ladbar batterihybrid (beskrevet i kapittel 3.7.1)
- Batteridrift (fullelektrisk drift) (beskrevet i kapittel 3.7.2)
- Brenselcelle/hydrogen (beskrevet i kapittel 3.7.3)

I tillegg har vi til slutt i kapittel 3.7.4 nevnt noen teknologier som ikke er beskrevet nærmere fordi vi har vurdert at de har begrenset potensial for trafikk i norske farvann, det er teknologier som allerede kan sies å være bransjestandard i viktige segmenter eller teknologier som per i dag anses som usikre for maritim anvendelse.

3.7.1 Ladbar batterihybrid

3.7.1.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Ladbar hybrid er forenklet beskrevet et hybridisert skip med mulighet for landstrømtilkobling. Den store forskjellen fra et vanlig hybrid skip er at den ladbare varianten er designet som ladbar på grunn av spesifikke energikrevende operasjoner hvor batteriet er hovedenergikilde, eller havneoperasjoner som landstrøm uten batterisupport ikke kan takle.

For førstnevnte lades batteriene typisk i havn ved bruk av landstrøm eller under vanlig seilas av forbrenningsmotorene. Deretter benyttes batteriet alene eller sammen med forbrenningsmotorene til operasjon/fremdrift. Effekten vil både kunne være energieffektivisering og redusert luftforurensing f.eks i bynære strøk ved inn- og utseiling til/fra havn.

For sistnevnte lades batteriene under vanlig seilas av forbrenningsmotorene, for så å muliggjøre bruk av landstrøm og batterier i havn. Tiltaket gjelder hovedsakelig for skip med så energikrevende havneoperasjoner at havnene ikke klarer å tilføre nok og stabil energi gjennom landstrøm uten hjelp fra skipets forbrenningsmotorer. Et eksempel på dette er energikrevende kran- eller pumpeoperasjoner.

I tillegg kan batteriene forbedre skipets responsivitet, oppetid og sikkerhet på bakgrunn av økt redunans og umiddelbar tilgjengelig kraft. Batteriene kan ellers benyttes på samme måte som for ikke-ladbare hybride skip eller skip med ren batteridrift.

Per i dag er det ikke mange ladbare hybridiserte skip, men det er forventet at dette vil kunne øke kraftig i Norge, sammen med utbyggingen av standardiserte landstrømanlegg.

3.7.1.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Ladbar batterihybridisering er forventet å ha et bredt bruksområde og kan brukes på alle typer skip uavhengig av størrelse og type, men det ses på som særlig relevant og effektivt for fartøystyper som kjennetegnes av variert og kraftekrevende operasjon, hvor batteriløsningen sammen med lademuligheten muliggjør total avløsning av forbrenningsmotorene i seilas eller i havn.

Hybridisering med batterier kan installeres og brukes på skip med både diesel, LNG og biodrivstoff og stiller normalt krav til ladeinfrastruktur på land.

Tiltaket kan ettermonteres på eksisterende skip gitt at skipet har grunnleggende elektrisk infrastruktur på plass.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til 10 år med dagens teknologi. Det gjøres imidlertid oppmerksom på at hvert enkelt anlegg kan dimensjoneres for både kortere og lengre levetider avhengig av batteripakkens størrelse relativt til energibehovet. Lengre levetid kan oppnås ved «overdimensjonering» av batteripakken, mens kortere levetid erfares dersom man «underdimensjonerer» batteripakken. Det antas videre at tilstøtende kraftelektronikk kan beholdes ut skipets levetid.

3.7.1.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Forbruk og utslipp reduseres anslagsvis med 5-25 % for større installasjoner for de nevnte fartøyskategoriene, der batteriløsningen bidrar til fremdriftsstøtte og optimaliserer driften av hovedmaskineriet. Videre kan forvente mindre reduksjoner av størrelsen 1-10% for konsepter der batteriet utelukkende brukes som støtte for hjelpemaskineriet.

Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.7.1.4 Kostnad

En relativt begrenset merinvestering i batterier om bord vil ofte kunne svare seg økonomisk ved redusert drivstofforbruk.

De totale utstyrs- og installasjonskostnadene er estimert til å ligge mellom 5-15 MNOK per skip for større batteripakker som bidrar til fremdriftsformål. Per i dag kan man forvente enhetskostnader i området 7,000-10,000 NOK/kWh for batteriløsningen dersom man antar at skipet planlegges og bygges med konseptet i nybyggsfasen, eller allerede er relativt tilrettelagt for hybridisering (benytter dieselelektrisk fremdrift, eller lignende konsepter) ved ombyggingsformål.

Tiltaket i seg selv krever ikke ekstra vedlikehold, men kan tvert i mot bidra til mindre vedlikehold på maskineriet om bord grunnet forbedret maskindrift og reduserte gangtimer på hjelpemaskineri, og dermed lengre vedlikeholdsintervaller.

For eksisterende skip anslås det en ytterligere installasjonskostnad, men er svært konseptavhengig og vil kunne variere stort fra prosjekt til prosjekt.

3.7.1.5 Kilder og referanser

Informasjon og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

3.7.2 Batteridrift (fullelektrisk drift)

3.7.2.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Forenklet innebærer ren batteridrift at man:

1. Bruker batterier som eneste kraftkilde for alt fra drifting av hotellast til propulsjon. Elektromotorer i forskjellige størrelse og varianter styrer dermed de mekaniske bevegelsene om bord som alt fra vifter for kjøling til propellakslinger for propulsjon.
2. Batteriene lades typisk via landstrøm, eventuelt supplert med generert ladekraft via regenerativ bremsing av kraner, solceller eller liknende.

Ren batteridrift er foreløpig i startgruppen som tiltak med kun 3 slike skip i operasjon og 3-4 som er under planlegging/bygging. De fleste er mindre ferger med korte overfarter i relativt små hastigheter..

Fordelene fra batteridrift med tanke på energieffektivisering er tilsvarende som for batterihybridløsninger, særlig egnet der det er store svingninger i effektuttak. Batteridrift eliminerer også potensielle behov for å ha forbrenningsmotorer gående på lav last klare til å trå til ved behov, på bakgrunn av for eksempel redundans- og sikkerhetskrav. I tillegg vil det være et naturlig valg å gå for likestrømsnett, noe som igjen gjør det enklere å optimere forbrukernes design og såkalt power management.

3.7.2.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Ren batteridrift er forventet å ha et økende bruksområde ettersom kraftintensiteten per størrelse og vekt i batteriene øker over tid kombinert med økt ladehastighet fra land. Per i dag sees det på som særlig relevant for følgende fartøystyper, som kjennetegnes av et tidsbegrenset og forutsigbart, men variert og kraftkrevende operasjonsmønster, hvor batteriløsningen kan bidra reduserte tap og optimalisert energiforbruk:

- Passasjerfartøy og ferger
- Fiskefartøy
- Slepebåter

Hyppige havnebesøk med mulighet for nok tid til lading er et krav for ren batteridrift og det er foreløpig mest aktuelt for de mindre fartøyene. Dette forutsetter tilgjengelighet av landstrøm med stor nok kapasitet. Ellers vil det være mulig å regenerere mekanisk kraft eller høste vindkraft eller solkraft for å støtte batteridriften.

Tiltaket kan ettermonteres på eksisterende skip men krever nok en grunnleggende endring i skipets elektriske infrastruktur.

Teknisk levetid for tiltaket anslås til 10 år med dagens teknologi. Det gjøres imidlertid oppmerksom på at hvert enkelt anlegg kan dimensjoneres for både kortere og lengre levetider avhengig av batteripakkens størrelse relativt til energibehovet. Lengre levetid kan oppnås ved «overdimensjonering» av batteripakken, mens kortere levetid erfares dersom man «underdimensjonerer» batteripakken. Det antas videre at tilstøtende kraftelektronikk kan beholdes ut skipets levetid.

3.7.2.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Energiforbruk reduseres gjennom høyere virkningsgrad, og utslipp reduseres med 100 % gitt at all ladeenergi enten kommer fra landstrøm eller er regenerert eller høstet via fornybare energikilder ombord.

Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.7.2.4 Kostnad

Basert på de skipene med ren batteridrift anslås kostanden til 10-20,000 NOK/kWh. Dette innebærer da utstørs- og installasjonskostnadene. Merkostnader som likestrømsnett, pod-løsninger for fremdrift, osv., vil komme i tillegg. Størrelsen på batteripakken og investeringskostnaden avhenger sterkt av kWh-behovet samt lademulighetene. Man antar at skipet planlegges og bygges med konseptet i nybyggsfasen, eller allerede er relativt tilrettelagt for hybridisering (benytter dieselelektrisk fremdrift, eller lignende konsepter) ved ombyggingsformål.

Tiltaket i seg selv krever ingen ekstra vedlikehold, og vil heller bidra til mindre vedlikehold basert på en sterk reduksjon av motorene selv og deres typiske støttesystemer.

For eksisterende skip anslås det en ytterligere installasjonskostnad, men er svært konseptavhengig og vil kunne variere stort fra prosjekt til prosjekt.

3.7.2.5 Kilder og referanser

Informasjon og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

3.7.3 Brenselcelle/hydrogen

3.7.3.1 Beskrivelse av teknologi/tiltak

Brenselcelleteknologien innebærer følgende:

1. En celle som lager elektrisk energi i en elektrokjemisk prosess fra et drivstoff, for eksempel hydrogen, naturgass, biogass, LPG, metanol, osv. For enheter med hydrogen som drivstoff, en såkalt hydrogen celle, oksiderer drivstoffet i en elektrokjemisk reaksjon hvor biproduktet er vann, H₂O
2. I tillegg til å skille mellom ulike brenselceller på bakgrunn av drivstoff gjør man det samme ut fra cellens membran-oppbygging og arbeidstemperatur. Her er det den såkalte PEM-brenselcellen som er mest vanlig, med såkalt protonledende membran

Teknologien som helhet er nokså umoden i maritim sektor, men allerede godt utprøvd på biler og busser. I maritim sammenheng har den fremdeles en vei å gå med tanke på modenhet, kW-størrelse, drivstofftilpasning, vekt, fotavtrykk (dekkplass) og regulerbarhet (lastvariasjoner).

3.7.3.2 Generelle antagelser og anvendbarhet

Virkningsgraden på full last er omtrent som for en gassmotor, mens på del-last øker virkningsgraden for en brenselcelle, mens den avtar for en gassmotor. Under 50 % last får den merkbart bedre virkningsgrad enn en forbrenningsmotor. Samtidig går de mye mer stille og med mindre vibrasjoner enn en forbrenningsmotor. Med forventet prisutvikling fremover kan brenselcelle-leverandørene være konkurransedyktige om 5-8 år, vurdert på bakgrunn av kr/kWh.

Et nøkkelpunkt i livssyklusperspektivet av brenselceller er forventet levetid av cellene. De må skiftes etter en stund – kanskje etter 10 000 eller 20 000 driftstimer – og er en operasjon som er mye dyrere enn forventet vedlikehold på en motor. Kostnadene for dette og hyppigheten i utskifting avhenger av en rekke faktorer som renhet av brennstoffet, antall start/stopp, antall og størrelse av lastvariasjoner.

3.7.3.3 Potensiale for utslippsreduksjon

Reduksjonspotensialet er for den rene brenselcelle installasjonen 100% av CO₂. På bakgrunn av den begrensede kW-størrelsen som vil være tilgjengelig de nærmeste årene, vil teknologien først og fremst kunne utnyttes til en hybridisering av en eller fler av forbrenningsmotorene ombord, evt. i kombinasjon med batterier. Den totale reduksjonen avhenger da av hvor mange kW teknologien erstatter.

Dette potensialet vil være tilsvarende ved ettermontering på eksisterende skip.

3.7.3.4 Kostnad

Kostnaden for den mest utviklede og aktuelle brenselcellen, PEM på hydrogen, ligger på rundt 15,000 NOK/kW i maritime installasjoner.

3.7.3.5 Kilder og referanser

Informasjon og kostnader er hentet fra eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter hvor DNV GL har vært involvert (DNV GL, 2014-2016), samt erfaringstall fra NOx-fondet (NOx-fondet, 2016).

3.7.4 Andre teknologier/tiltak

Det er teknologier og tiltak for energieffektivisering som ikke beskrives i denne rapporten fordi vi har vurdert at de har begrenset potensial for trafikk i norske farvann, er teknologier som allerede kan sies å være bransjestandard i viktige segmenter, eller er teknologier som per i dag anses som usikre for maritim anvendelse.

Noen av disse er:

- Flettner-rotor
- Vindskrog
- Systemer for monitorering og oppfølging av drift (Performance Management)
- Flywheel
- Vektoptimalisering gjennom nye materialvalg
- Atomkraft
- Dieselelektrisk fremdrift
- Utstyr og løsninger for spesialsegmenter som f.eks offshore, oppdrett og fiskeri (en rekke aktuelle teknologier og operasjonelle praksiser som vil kunne redusere forbruk, men utenfor rammene for denne studien)

4 SKIPSSEGMENTER MED STØRST POTENSIALE FOR ENERGIEFFEKTIVISERING

Enova har ønsket å gjøre en kartlegging av dagens teknologistandard for nybygg innen de segmenter som har størst potensial for energieffektivisering. Videre har ENOVA spesifisert at utvalget av skip som skal inngå i studien, skal ha anløp til Norge som en vesentlig del av sin operasjon.

Det er flere måter å tolke begrepet «potensial for energieffektivisering»;

- Samlet energibruk i dag. Enten fordi det er mange skip som hver gir små bidrag, eller få skip som hver gir store bidrag, eller en kombinasjon av disse. Høyt energibruk gir vanligvis gode muligheter for betydelige reduksjoner. Dette bruker vi som hovedkriterium.
- Energibruk på enkeltskip. Store skip med høy energibruk har hver for seg store potensialer for redusert energibruk – og for mange energieffektiviseringsløsninger kan størrelse på skipet være avgjørende for om løsningen er teknisk anvendbar og/eller økonomisk.
- Segmenter med karakteristikk som gjør dem særskilt egnet, gitt svært effektive tiltak – eksempelvis fergenes egnethet for elektrifisering.

Videre er det er ikke nødvendigvis slik at dagens flåte og aktivitetsbeskrivelse er fullt ut representativ for fremtidens flåte og sammensetning av nye skip, og dermed hvor en vil ha størst potensiale for energieffektivisering knyttet til tiltak på nybygg.

I kapittel 4.4 presenteres det utvalget av skip som vil inngå i videre analyser i denne studien. Utvalget er basert på beskrivelsen av dagens aktivitet og utslipp i norske farvann (kapittel 4.2) og på beskrivelsen av potensialet for nybygg i årene som kommer (kapittel 4.3).

4.1 Metode


I arbeidet med identifisering av dagens trafikk og utslipp er det tatt utgangspunkt i tidligere arbeid for KLD (DNV GL, 2014a) og Kystverket (DNV GL, 2014b). I dette arbeidet er trafikk og utslipp kategorisert og fremstilt på bakgrunn av trafikktyper og skipssegmenter. Dette gjør det mulig å skille mellom innenriks-, transit- og utenriks-trafikk, samt fordele trafikken på de aktuelle skipstypene som opererer i norske farvann.

På bakgrunn av dette er det utarbeidet et sett med aktuelle kriterier som resulterer i et sett med referanseskip. Disse er utarbeidet med formål om å se på teknologienes/tiltakens relevans på faktiske skip, snarere enn overordnede og generelle vurderinger på flåtenivå. Referanseskipene er ment å representere et «typisk skip» i segmentet mtp. lastekapasitet, motorkraft, lengde, tiltaksmuligheter, o.l.

4.2 Beskrivelse av dagens trafikk og utslipp

For skipene i norske farvann er det hentet frem data for 2013 fra AIS-systemet (DNV GL, 2014a). Selv om trafikkbildet endres fra år til år, venter vi at de hovedlinjene som er beskrevet ut fra 2013-tall også kan antas relativt representative for dagens aktivitet og utslipp. Det er ikke vurdert som hensiktsmessig å analysere AIS-data for 2015, ettersom deler av en slik analyse er svært ressurskrevende – spesielt analysen av drivstofforbruk knyttet til innenriks-, utenriks- og gjennomgangstrafikk (se nedenfor).

Totalt 6 700 unike fartøy har trafikkert i norske farvann i 2013. Stykkgodsskip utgjør den største gruppen med nesten 1 600 skip og er dominert av mindre skip under 5 000 gross tonn (GT) i nasjonal fart. De større skipene er olje-, kjemikalie- og gasstankere, samt bulkskip og containerskip. Disse utgjør



ca. 2 300 skip – hovedsakelig i internasjonal fart. Inkludert ro-ro, container og kjøle/fryseskip var totalt ca. 4 100 lasteskip innom NØS i løpet av 2013. Offshoreskipene utgjør omtrent 600 fartøy.

Nesten 1 000 fiskefartøyer er registret i norske farvann i 2013. Dette er større fartøy med AIS-sendere som også har registrert data i de internasjonale skipsdatabasene. Det finnes ytterligere om lag 5 000 norske fiskefartøy under 11 meter. Disse bidrar til omtrent 20 % av totalt drivstofforbruk og utslipp fra fiskeflåten, men er ikke del av AIS-materialet.

I tillegg er det 700 skip som er registrert i gruppen «andre aktiviteter». Dette inkluderer blant annet brønnbåter i oppdrettsnæringen, taubåter og kystvaktskip.

Passasjerskip er en sammensatt gruppe skip bestående av nesten 500 enkeltfartøy, som spenner fra små ferger og hurtiggående båter i nasjonal fart, til hurtigruta, ro-pax ferger til Tyskland/Danmark og til større cruiseskip i internasjonal fart (disse inngår ikke i denne studien etter ønske fra oppdragsgiver – men kan inkluderes på et senere tidspunkt om ønskelig).

Norsk-flaggede skip utgjør bare 20 % av skipene som er observert. Disse bidrar imidlertid med nær halvparten av det totale drivstofforbruket i norske farvann.

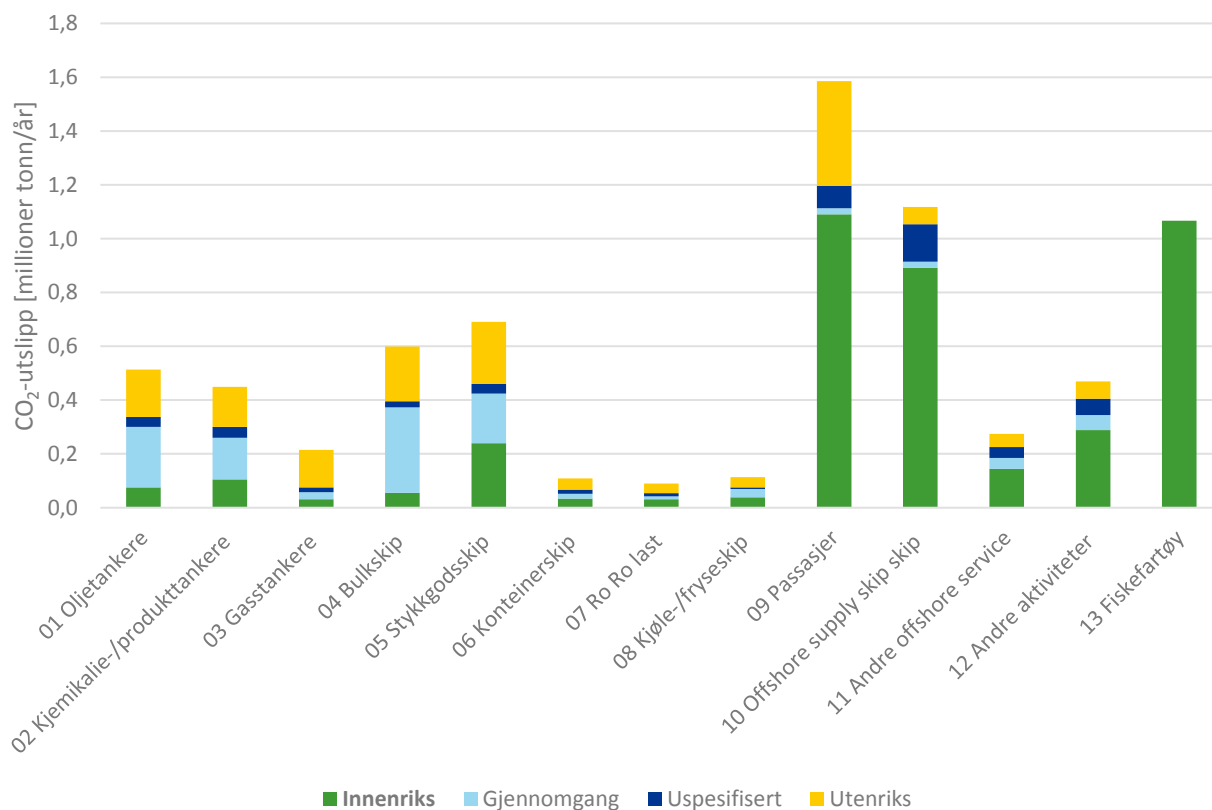
Videre viser DNV GLs analyser hvor stor del av tiden skipene oppholder seg i norske farvann (som en prosentdel av et fullt år). Materialet viser at flesteparten av skipene (69 %) befinner seg i 0-20 % av sin operasjonstid i norske farvann. Disse skipene bidrar med 25 % av energibruken i norsk farvann. 13 % av skipene oppholder seg mellom 20-80 % av sin tid her, og bidrar med 32 % av energibruken, mens de 18 % av skipene som tilbringer mesteparten av tiden sin i norske farvann (80-100 %), bidrar med 44 % av energibruken.

Totalt drivstofforbruk fra alle typer trafikk er beregnet til 2,3 millioner tonn. Dette gir omtrent 7 millioner tonn CO₂-utslipp. Resultatene viser at noe over halvparten (55 %) av forbruket kan tilskrives innenrikstrafikk. Drivstofforbruk og utslipp fra innenrikstrafikken domineres av tre skipstyper; passasjerskip (inkludert ferger), offshoreskip og fiskefartøy (Figur 4-1), representert ved et relativt lite antall skip med mye operasjonstid i norske farvann.

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

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

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



Figur 4-1 CO₂-utslipp (tonn) i norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og trafikktyper.

Tabell 4-1: Totalt fuelforbruk (1000 tonn) norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og skipsstørrelser.

	< 1 000 GT	1 000 - 4 999 GT	5 000 - 9 999 GT	10 000 - 24 999 GT	25 000 - 49 999 GT	50 000 - 99 999 GT	>= 100 000 GT	Total
1. Oljetankere	3	8	1	7	25	115	0	159
2. Kjemikalie-/prod.tankere	1	34	22	68	14	0	0	139
3. Gasstankere	0	13	7	14	8	1	25	67
4. Bulkskip	1	13	11	51	75	36	0	187
5. Stykkgodsskip	9	162	31	12	1	0	0	216
6. Kontainerskip	0	1	26	6	1	0	0	34
7. Ro Ro last	1	7	12	4	3	3	0	28
8. Kjøle-/fryseskip	0	26	9	0	0	0	0	36
9. Passasjer	58	81	60	111	85	75	25	494
10. Offshore supply skip	2	188	157	0	0	0	0	348
11. Andre offshore service	3	16	19	37	4	22	0	101
12. Andre aktiviteter	36	52	21	26	46	1	3	184
13. Fiskefartøy	50	167	9	0	0	0	0	226
Ukjent	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	165	768	384	335	263	252	53	2220

Tabell 4-2: Innenriks fuelforbruk (1000 tonn) norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og skipsstørrelser.

	< 1 000 GT	1 000 - 4 999 GT	5 000 - 9 999 GT	10 000 - 24 999 GT	25 000 - 49 999 GT	50 000 - 99 999 GT	>= 100 000 GT	Total
1. Oljetankere	3	4	0	0	0	15	0	22
2. Kjemikalie-/prod.tankere	0	12	4	15	0	0	0	33
3. Gasstankere	0	3	0	5	1	0	0	10
4. Bulkskip	1	6	7	4	0	0	0	17
5. Stykkgodsskip	8	64	2	0	0	0	0	75
6. Kontainerskip	0	0	10	1	0	0	0	11
7. Ro Ro last	1	5	4	0	0	0	0	10
8. Kjøle-/fryseskip	0	12	0	0	0	0	0	12
9. Passasjer	57	77	54	93	17	30	12	341
10. Offshore supply skip	1	158	119	0	0	0	0	278
11. Andre offshore service	2	10	12	18	2	1	0	44
12. Andre aktiviteter	29	36	9	1	15	1	0	90
13. Fiskefartøy	35	74	0	0	0	0	0	110
Ukjent	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	137	461	222	137	36	47	12	1053

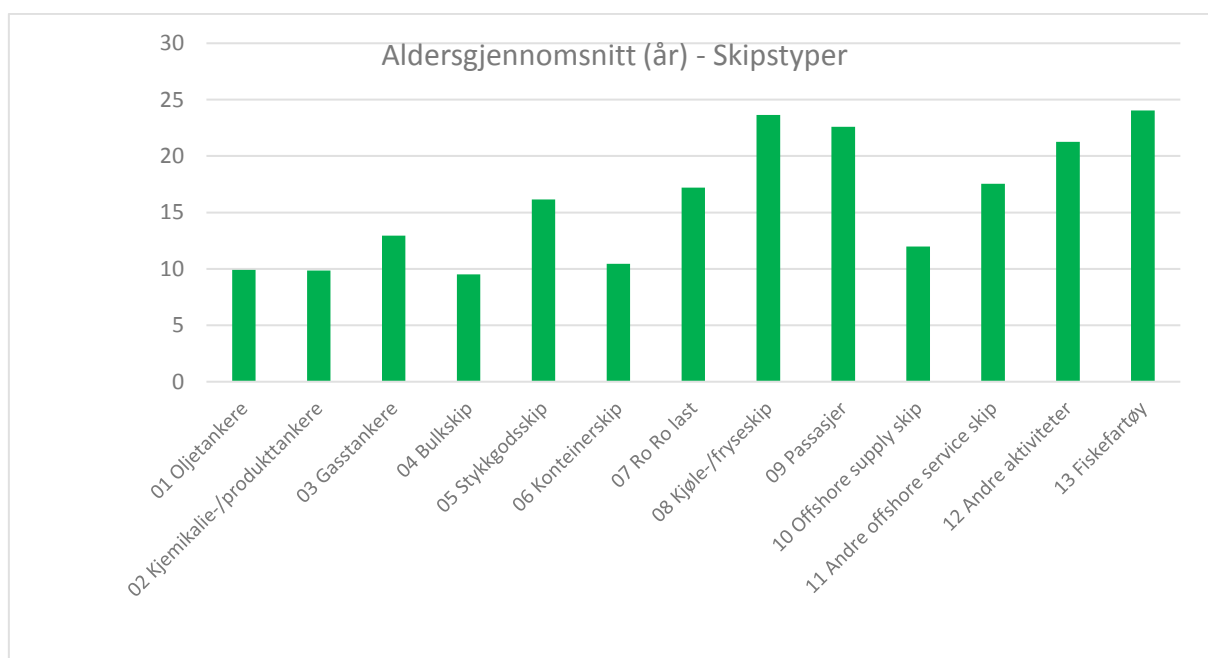
4.3 Potensiale for nybygg

Hovedfokuset for analysen i denne rapporten er rettet mot teknologi/tiltak som kan anvendes på nye skip. Det er ikke opplagt at dagens flåte og aktivitetsbeskrivelse gir et godt bilde på hvilke skipsegmenter som vil ha størst tilvekst av nye skip i årene som kommer, og som dermed kan ha stort potensiale for energieffektivisering knyttet til tiltak på nybygg.

I dette kapittelet ser vi nærmere på hvordan sammensetningen av skip i norske farvann kan ventes å endre seg fra dagens situasjon.

En første indikasjon får vi ved å studere aldersprofilen til flåten, der vi vil anta at segmenter med svært gamle skip vil kunne ha behov for utskifting av skip på ganske kort sikt. Figuren nedenfor viser gjennomsnittlig alder på skipene som seilte i norske farvann i 2013, fordelt på skipssegmenter.

Vi ser at tankskip, bulkskip og kontainerskip, samt offshore supply skip er relativt unge. Kjøle/fryse-skip, passasjerskip, fiskefartøy, samt «andre» er relativt gamle.



Figur 4-2 Gjennomsnittlig alder på skip i norske farvann i 2013 (DNV GL, 2014a)

Tabell 4-3: Gjennomsnittlig alder på skip i norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og skipsstørrelser.

	< 1 000 GT	1 000 - 4 999 GT	5 000 - 9 999 GT	10 000 - 24 999 GT	25 000 - 49 999 GT	50 000 - 99 999 GT	>= 100 000 GT	Total
1. Oljetankere	30	18	17	16	9	9	15	11
2. Kjemikalie-/prod.tankere	32	15	11	10	9			11
3. Gasstankere	42	16	11	12	10	12	8	13
4. Bulkskip	47	31	18	11	9	7	4	10
5. Stykkgodsskip	42	18	11	11	19			17
6. Kontainerskip		19	12	15	10	13	10	13
7. Ro Ro last	41	32	21	14	9	18		19
8. Kjøle-/fryseskip	39	26	25	27				26
9. Passasjer	29	23	21	23	21	12	8	24
10. Offshore supply skip	21	13	7					13
11. Andre offshore service	29	13	10	11	10	18	25	18
12. Andre aktiviteter	25	22	17	26	11	38	30	23
13. Fiskefartøy	27	23	23					24
Ukjent	27			4				19
Total	28	18	13	13	10	10	10	17

Alder alene er imidlertid ingen sikker indikasjon på om det vil komme nybygg. Gamle skip blir bare erstattet av nye dersom det er et marked for deres tjenester.

En annen kilde til informasjon om mulige nybygg er langsiktige prognoser for sjøtransport i norske farvann. En slik prognose ble utarbeidet høsten 2014 for Kystverket i Sjøsikkerhetsanalysen (DNV GL, 2014b). Den omfattende studien beregnet vekst i utseilt distanse i norske farvann for alle hovedskipstypene frem mot 2040, og baserer seg bl.a. på detaljerte prognoser for varestrøm fra Transportøkonomisk Institutt (TØI).

Tabell 4-4: Antall unike skip registrert i norske farvann i 2013, fordelt på skipstyper og skipsstørrelser.

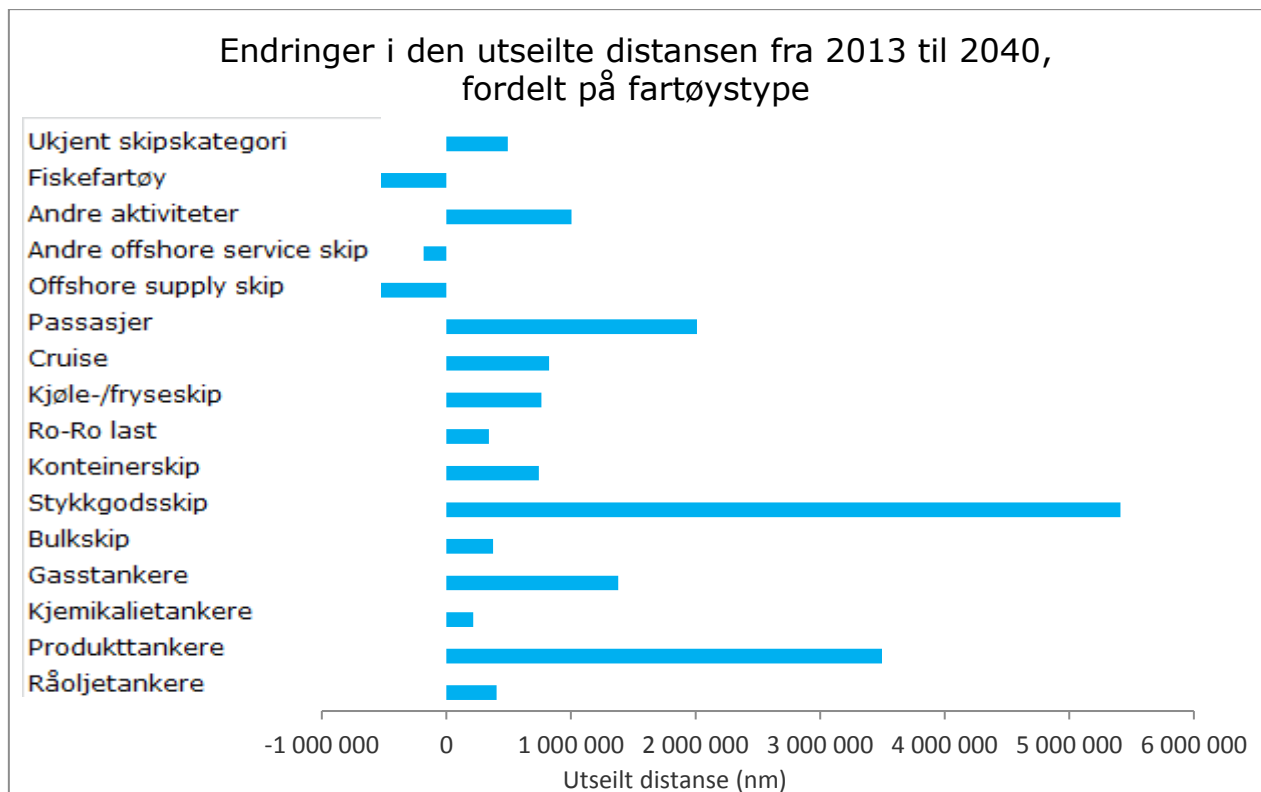
	< 1 000 GT	1 000 - 4 999 GT	5 000 - 9 999 GT	10 000 - 24 999 GT	25 000 - 49 999 GT	50 000 - 99 999 GT	>= 100 000 GT	Total
1. Oljetankere	12	27	9	30	116	306	4	504
2. Kjemikalie-/prod.tankere	4	180	113	197	154			648
3. Gasstankere	1	65	25	28	16	4	12	151
4. Bulkskip	3	28	10	278	379	127	1	826
5. Stykkgodsskip	63	1040	277	98	19			1497
6. Kontainerskip		8	58	20	15	12	1	114
7. Ro Ro last	4	8	18	18	10	17		75
8. Kjøle-/fryseskip	1	41	44	14				100
9. Passasjer	185	109	26	34	31	34	13	432
10. Offshore supply skip	29	284	60					373
11. Andre offshore service	66	46	31	34	4	9	1	191
12. Andre aktiviteter	325	155	42	44	18	2	2	588
13. Fiskefartøy	268	279	16					563
Ukjent	44			2				46
Total	1005	2270	729	797	762	511	34	6108

Det understrekes at en slik prognose er heftet med betydelig usikkerhet, men studien indikerer store forskjeller i forventninger til vekst i de forskjellige segmentene.

Tankskip er ventet å vokse betydelig, det samme er kontainerskip. Bulk og stykkgodsskip venter mindre vekst, på lik linje med «andre aktiviteter». Offshoreskip har negativ vekst, og fiskefartøy har også en svak nedgang.

Tabell 4-1 Resultater for den relative endringen i utseilt distanse fra 2013 til 2040 for norske farvann (DNV GL, 2014b).

Fartøystype	Total
Råoljetankere	74 %
Produkttankere	149 %
Kjemikalietankere	138 %
Gasstankere	230 %
Bulkskip	19 %
Stykkgodsskip	68 %
Konteinerskip	190 %
Ro-Ro last	70 %
Kjøle-/fryseskip	95 %
Cruise	130 %
Passasjer	25 %
Offshore supply skip	-35 %
Andre offshore service skip	-36 %
Andre aktiviteter	33 %
Fiskefartøy	-8 %
Ukjent skipskategori	17 %
Total	41 %



Figur 4-3 Endringer i den utseilte distansen i norske farvann fra 2013 til 2040, fordelt på fartøystype (DNV GL, 2014b).

Samlet sett kan alderssammensetning og langsiktige prognoser gi en indikasjon på hvilke endringer i flåten en kan vente seg, og i hvilke segmenter det vil være mange nybygg.

4.4 Utvelgelse av skipssegmenter

For at analysen av tilgjengelige energieffektiviseringsløsninger skal være så konkret som mulig, har vi valgt å knytte beskrivelser og diskusjoner til spesifiserte eksempelskip, der sentrale parametere som størrelse og motoreffekt er kjent. Første steg for å identifisere disse skipene er å velge ut skipssegmenter av størst interesse.

For å velge ut disse segmentene tar vi utgangspunkt i trafikkbeskrivelsen gitt ovenfor, supplert med indikasjonene for nybyggingsaktivitet fra alderssammensetning og langsiktige prognoser.

Oppdragsgiver har spesifisert at ferjer, cruise-skip og hurtigbåter/mindre passasjerfartøy ikke skal omfattes av denne studien, og disse kommenteres følgelig ikke nærmere heretter.

Overordnet mener vi at skipstypene gitt i Tabell 4-5 kan sies å ha størst potensial for energieffektivisering. Skipene innen disse segmentene har stort sett en del viktige fellestrekk med tanke på operasjonsmønster og hva som er aktuelle teknologier/tiltak, selv om det selvsagt også kan være forskjeller i forutsetninger mellom enkelte skipstyper innen samme segment

Tabell 4-5 Skipstyper med størst potensial for energieffektivisering*.

Segment	Undergrupper (fra Figur 4-1)	Begrunnelse
Fiskefartøy	<ul style="list-style-type: none">- Kystfiske- Havgående	<p>Mange skip, som har mye tid/mange anløp i norsk farvann, og høyt samlet energibruk.</p> <p>Ikke sterk langsiktig vekst, men høy alder og opprettholdelse av aktivitet gir mye nybygg.</p>
Offshore-fartøy	<ul style="list-style-type: none">-Supply-Andre offshore (ankerhåndtering etc.)	<p>Mange skip, svært mye tid i norsk farvann, og høyt samlet energibruk.</p> <p>Svake prognoser for vekst, men dagens høye aktivitetsnivå vil langt på vei måtte opprettholdes av nybygg.</p>
Tank og Bulk	<ul style="list-style-type: none">- Tankskip (olje, shuttletankere, produkt, kjemikalie, gass)- Bulkskip	<p>Svært mange skip, men har stort sett relativt lite tid/få anløp i Norge. Bidrar likevel betydelig til energibruk pga. skipenes størrelse, som også gir svært stort potensiale på enkeltskip.</p> <p>Betydelig vekst på lang sikt, spesielt for tank.</p>
Stykkogods	<ul style="list-style-type: none">- Containerskip- RoRo- Fryse-/kjøleskip- Andre stykkgodsskip	<p>Svært mange skip, men en stor andel har lite tid/få anløp i Norge. Bidrar likevel betydelig til energibruk. Til dels svært stort potensiale på enkeltskip.</p> <p>Høy aktivitet og høy alder gir utskifting av mange skip, selv om vekstprognosene er svake.</p>
Spesialskip	<ul style="list-style-type: none">- Fórskip- Brønnbåt- Taubåter- Kystvaktskip	<p>Mange skip, mye tid i norsk farvann, og betydelig samlet energibruk til tross for små skip. En divers gruppe skip, med mange ulike aktiviteter og operasjonsmønstre</p> <p>Noe vekst er ventet.</p>

**) Oppdragsgiver har spesifisert at ferjer, cruise-skip og hurtigbåter/mindre passasjerfartøy skal ikke omfattes av denne studien.*

For analysen i påfølgende kapittel definerer vi ett eksempelskip fra hvert segment som er beskrevet i Tabell 4-5, og gir disse skipene status som referanseskip. Hvert skip antas å inneha egenskaper som er representative for en større gruppe skip, slik at en beskrivelse av EE-tiltak for dette skipet i stor grad vil ha gyldighet for den større gruppen. Selv innenfor en gruppe vil det imidlertid være til dels stor variasjon i hvordan et EE-tiltak vil appliseres. Vi vil i beskrivelsen av hvert tiltak for det enkelte skip søke å beskrive hvilke faktorer som påvirker varians innen hvert segment, og hvordan denne variansen påvirker det gitte tiltaket – f.eks. vil størrelsen på skipet direkte påvirke kostnaden ved påføring av nytt bunnstoff. De valgte referanseskipene er beskrevet i Tabell 4-6.

Tabell 4-6 Spesifisering av referanseskip.

Segment		Størrelse		Maskineri		
		DWT	GT	LOA	Inst. Effekt (MW)	
1	Fiske	Tråler	-	1'	50	4,0
2		Annet fiskefartøy	-	0,5'	34	1,5
2	Offshore	PSV	4,8'	4,7'	96	8,5
3	Tank/Bulk	Oljetank	114'	-	252	21
4	Stykkgoods	Container	-	6,3'	135	9,9
5		Stykkgoods	3,2'	2,8'	70	3,6

5 ANALYSE

Det følgende kapitlet diskuterer og omtaler teknologier/tiltak som vurderes som spesielt interessante i lys av referanseskipenes og teknologienes karakteristikk.

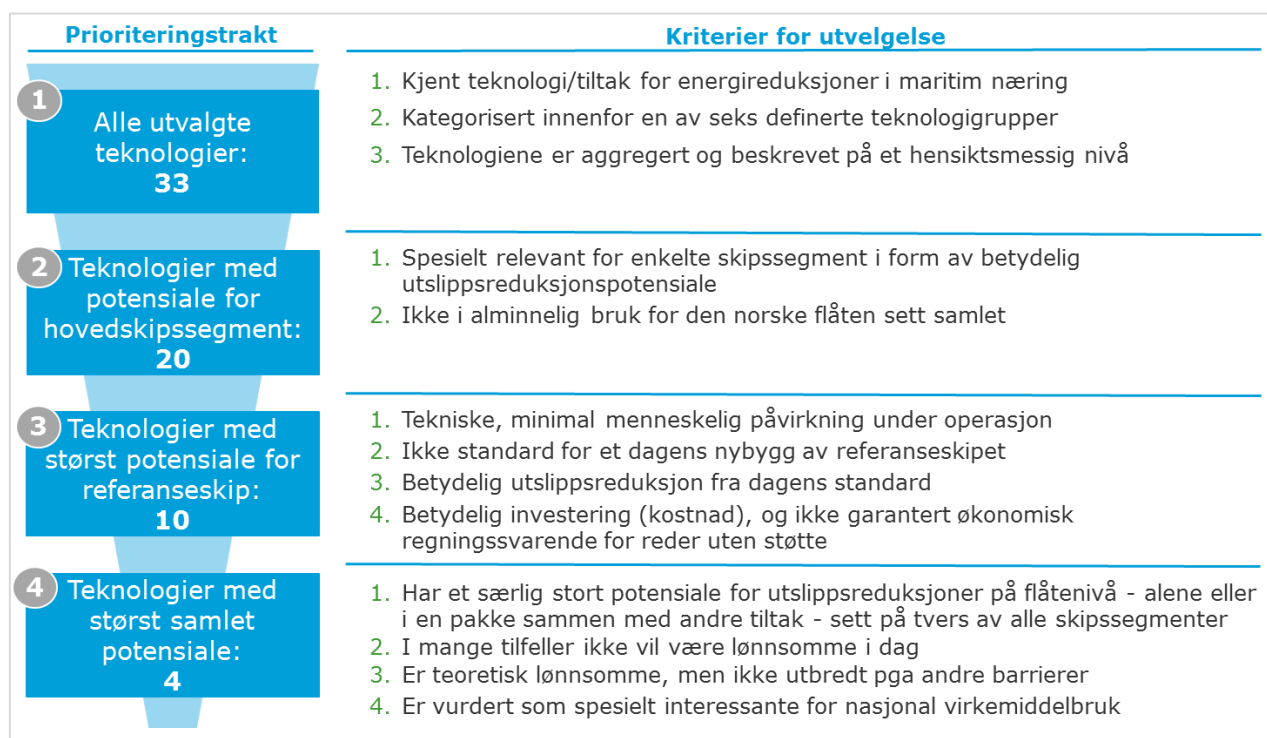
Innledningsvis, i kapittel 5.1, drøftes eksterne og markedsmessige forhold som påvirker teknologiopptaket, og muligheten til å påvirke og aksellerere prosessen.

Kapittel 5.2 fremhever særlig aktuelle teknologier ut i fra tekniske forhold ved referanseskipene samt et sett med forhåndsdefinerte kriterier for teknologiens relevans. Kriteriene omfatter blant annet krav til utslippsreduksjon og oppnåelig teknisk potensial, teknologiens utbredelse/grad av «standard» i næringen, investeringsomfang og lønnsomhetsnivå.

Hvert enkelt referanseskip, med tilhørende teknologier, omtales og drøftes.

Kapittel 5.3 vurderer et utvalg relevante teknologier «på tvers» av skipssegmentene og referanseskipene, og forsøker å angi et reduksjonspotensial for flåten, samt diskutere relevante barrierer for implementering.

Figur 5.1 beskriver prioriteringstrakten lagt til grunn for teknologiutvalget. Utvalget er gjort gjennom fire steg basert på kriterier beskrevet i figuren. De initiale teknologiene/tiltakene valgt ut i steg 1 ble beskrevet i kapittel 3. I steg 2 er det gjort et utvalg av 20 teknologier/tiltak som er spesielt relevante for de vurderte skipssegmentene i form av betydelig utslippsreduksjonspotensiale og som ikke er i alminnelig bruk i dag. Disse er gitt i Tabell 5-1 og ikke ytterligere drøftet i rapporten, da fokus i videre analyse har vært på teknologier som vurderes som spesielt interessante i lys av referanseskipenes og teknologienes karakteristikk gitt i steg 3 og 4. Disse er beskrevet i henholdsvis delkapittel 5.2 og 5.3.



Figur 5-1 Prioriteringstrakt for teknologi-/tiltaksvalg

Tabell 5-1 Teknologier/tiltak med potensiale for de valgte hovedskipssegmentene (steg 2 i prioriteringstrakten i Figur 5-1)

Teknologigruppe	ID	Teknologinavn	Fiske - tråler	Fiske - fartøy 2	Offshore - PSV	Bulk/Tank - Ojetanker	Container	Stykkogods
Maskineri	1.1	Optimalisering av hjelpesystemer						
	1.2	Elektronisk auto-tuning				X	X	X
	1.3	De-rating av hovedmaskineri				X	X	X
	1.4	Monitorering og testing av motorytelse				X	X	X
	1.5	Eksoskieler på hjelpemotorer				X		
	1.6	Batterihybridisering	X	X	X		X	X
	1.7	Variabelt turtall	X	X	X		X	X
	1.8	Forbedret motorlast på hjelpemotorer						
	1.9	Aksegenerator med PTO/PTI				X		
	1.10	Landstrøm		X	X			X
	1.11	Optimalisering av dampsystem				X		
	1.12	Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon				X		
Nye og mer effektive skrog, propell og rorløsninger	2.1	Luftbubblesmøring				X	X	
	2.2	Skrogvask						
	2.3	Motstandsreducerende bunnstoff						
	2.4	Skrogformoptimalisering					X	
	2.5	Ombygging av eksisterende skrog						
	2.6	Propulsjonsforbedrende tiltak (PIDs)		X				
	2.7	Propellpolering						
	2.8	Bytte eller ombygging av propell						
Konsumenter	3.1	Optimalisering av lasthåndteringssystemer				X		
	3.2	Energieffektiv belysning		X				
	3.3	Frekvensstyrte el-motorer	X	X				
Utnyttelse av vind- og solenergi	4.1	Seil						
	4.2	Kite						
	4.3	Solcellepanel						
Tekniske løsninger for optimalisering av operasjonen	5.1	Automatisk forøyningssystem						
	5.2	Bruk av autopilot						
	5.3	Effektive DP-operasjoner			X			
	5.4	Fartsreduksjon og bruk av økonomifart			X	X	X	X
	5.5	Kombinatoroptimalisering	X	X	X	X	X	X
5.6	Trim- og dybgangsoptimering			X	X	X	X	
5.7	Værrutting							

5.1 Eksterne og markedsmessige forhold

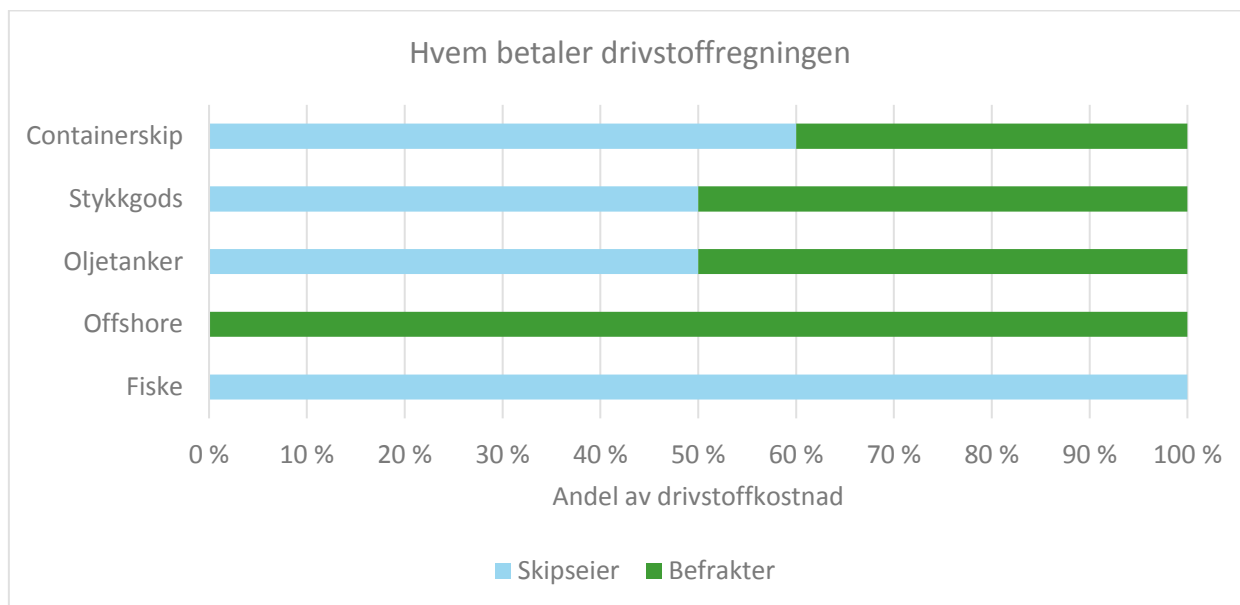
Eksterne og markedsmessige forhold er helt sentrale i å påvirke teknologiopptaket og muligheten til å påvirke og akselerere prosessen. Dette kan være generelle forhold som følger skipstype, type last, reder/operatør, befrakter, nybygg versus ettermontering, verft, gjeldende markedsyklus, type kontrakter, osv. I følgende avsnitt drøftes fire viktige faktorer/forhold; kontraktstyper, markedsmessige forhold, nybygg vs. ettermontering og drivstofftype.

5.1.1 Kontraktstyper

Det finnes en rekke forskjellige kontraktstyper mellom befrakter og skipseier/operatør. Kontraktene kan være lange, korte eller per last/overfart. Kontraktstypen avgjør hvem som betaler for drivstoffet, og i mange tilfeller er det ikke reder som gjør det. Dette reduserer reders insentiv for investeringer i energieffektivisering da man ikke kan regne direkte avkastning fra drivstoffbesparelser. Noen kontrakter har klausuler som relaterer seg til maksimalt drivstofforbruk i en gitt hastighet gitt visse værforhold. Overgår man dette, må reder betale enten en avtalt sum eller for faktisk overforbruk i henhold til kontrakten. I tillegg finnes det klausuler for minstefart som skal overholdes. Sistnevnte vil for eksempel legge begrensninger på hva reder kan gjøre av tiltak i form av operasjonelle endringer (herunder redusert fart) for økt energieffektivitet.

Såkalte spot-kontrakter gjelder ofte kun for én overfart hvor reder typisk betaler for drivstoffet, mens time charter-kontrakter (t/c) gjelder for spesifikke perioder hvor befrakter kan bruke skipet. For t/c-kontrakter betaler befrakter ofte for drivstoffet. I linjefart, som er typisk for container-, roro- og stykkogodsskipene, er det ofte fraktkontrakter hvor reder/operatør betaler drivstoff. I tillegg finnes kontrakter som «bareboat»-kontrakter, som innebærer at man leier skipet fra reder og tar alle

operasjonskostnader selv, inkludert å skaffe mannskap. I figuren under (Figur 5-2) vises en grovt antatt typisk fordeling av drivstoffkostnader for de aktuelle skiptypene¹.



Figur 5-2: Fordeling av drivstoffkostnader for utvalgte skiptyper¹

5.1.2 Markedsmessige forhold

Langsiktigheten, risikovilligheten og tilbakebetalingstiden rundt et nybygg (eller ombygging/tiltak for eksisterende skip) vil først og fremst påvirkes av markedsmessige forhold, først og fremst tilbud/etterspørsel og drivstoffpris.

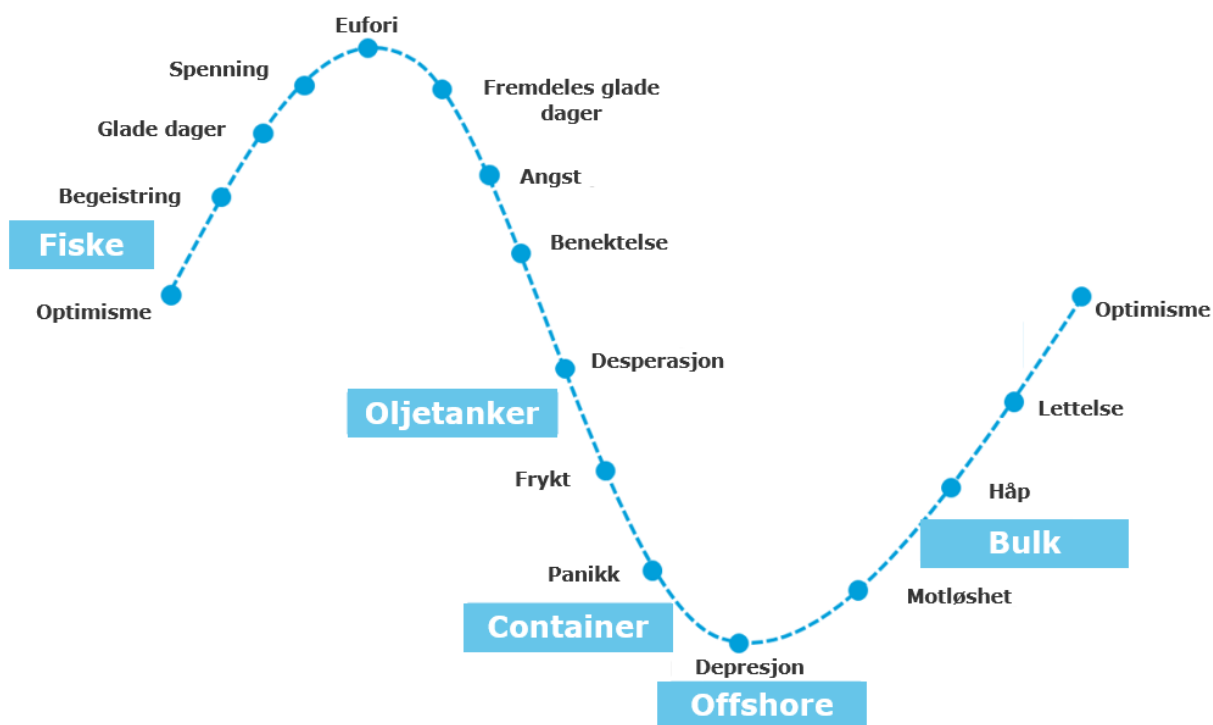
De fleste skip innenfor konvensjonell shipping (f.eks. tank, bulk, stykkogods, container, kjemikalie) er bygget basert på standarddesign. Det vil si at størrelsen på skipet, egenskapene og kapasitetene er et resultat av typiske, standardiserte og/eller begrensende størrelser på alt fra havner, broer, dybdeforhold og kanaler til vekt og størrelse på typiske laster mellom A og B. Eksempler på dette er navn som panamax, suezmax, handysize og vlcc, som alle har typiske lengder, bredder, dødvekt, dypgang, seilashastighet osv, inkludert motorstørrelser, motortyper og ikke minst utstyr og tekniske løsninger. Disse typiske parameterverdiene vil skipet også i varierende grad være optimalisert for. Eksempelvis er ofte operasjonsprofilen som er lagt til grunn gitt som én hastighet og dypgang, og skrogformen tilpasset dette. Slike faste parametere og størrelser gir verftene større mulighet til å effektivisere byggeprosessen gjennom standard design, noe som gir bedre kontroll over kostnader og risiko. Nye design, betydelige modifikasjoner av et design, nytt utstyr og nye måter å gjøre ting på representerer økt risiko, mer usikkerhet og potensielle problemer med tidsskjema for byggingen.

Markedssyklusene har stor påvirkning for grad av optimalisering som er mulig fra verftets side. Samtidig vil dette påvirke reders og andre parters langsiktighet og risikovillighet til å satse med nye og tunge investeringer. Dette gjelder for både nybygg og seilende skip. I perioder hvor det relevante segmentet går godt, vil verftene ha mer makt og det er høyere sannsynlighet for at de takker nei til bestillinger

¹ For containerskip og stykkogodsskip i linjefart, betaler befrakter (vareeier) normalt en avtalt pris for fraktet godsmengde for en gitt distanse, mens operatøren av linjen dekker alle kostnader for å gjennomføre logistikkoperasjonen. Linjefart fraviker derfor fra den antydde fordelingen.

utenom standarddesign, da det gjelder å få nye skip på vannet raskt, uavhengig om det er energieffektivt eller ikke. Med gode fraktrater vil reder heller ikke ha så sterke insentiver til å prioritere energieffektiviseringstiltak. For motsatte markeder vil eier ha mer makt og potensielt insentiv til endringer på skipsbestillingen.

Sammen med syklusene vil drivstoffprisene også ha påvirkning, da det direkte påvirker et energieffektiviseringsprosjekts finansielle parametere som tilbakebetalingstid og nåverdi. Dermed kan man forstå at det å gjøre investeringer i energieffektivitet kan bli komplekst og høyst dynamisk når både langsiktigheten, risikovilligheten og tilbakebetalingstiden rundt et nybygg, eller eksisterende skip, kan endres med både markedene og prisene på drivstoff. Særlig siden begge deler endres kontinuerlig og ikke alltid i takt. Denne kompleksiteten er i seg selv en barriere for å investere i lite utprøvde teknologier og tiltak. Som et supplement til disse refleksjonene er det nedenfor gitt en forenklet illustrasjon på hvordan markedssyklusene gjentar seg og påvirker satsingen og risikovilligheten til verft og reder, samt hvor de relevante skipssegmentenes markeder befinner seg i dag.



Figur 5-3: Markedssyklus med relevante skipssegmenter

5.1.3 Nybygg vs. ettermontering

Energieffektiviserende tiltak kan deles i to hovedkategorier; tekniske og operasjonelle tiltak. De operasjonelle tiltakene benyttes, som navnet tilsier, på seilende skip. De tekniske tiltakene kan i ulik grad benyttes både på nybygg eller ettermonteres på skip i operasjon.

Hvilke tiltak som kan ettermonteres avgjøres i stor grad av om det er teknisk mulig og om investeringen vil være lønnsom i henhold til investorens (rederens) øyemed. Noen tiltak vil ikke være mulig å installere, da plass om bord vil sette en stopper. Andre tiltak krever for eksempel dokking/ utvidet varighet på dokking, noe mange redere kan se på som en barriere. Markedssyklusen vil naturligvis også ha betydning for hvorvidt reder ønsker å bruke tid og penger på ettermontering. I gode tider (når det er

stor etterspørsel og gode rater) vil det ikke nødvendigvis være et konkurransefortrinn å ta skipet ut av tjeneste for å installere et tiltak. I de senere år har enkelte redere valgt å bygge nye skip klargjort for ettermontering av for eksempel plasskrevende utstyr på et senere tidspunkt, uten at dette da vil være alt for omfattende. Typisk i slike sammenhenger er at man venter på at markedene skal snu, nødvendig infrastruktur utbygges eller avgjørelser blir tatt rundt relevante lokale eller internasjonale regler. Dette gjelder eksempelvis forberedelse av skip for ettermontering av systemer som muliggjør LNG som drivstoff.

Ved installasjon av tekniske tiltak på nybygg så er det i utgangspunktet ingen store «indre» begrensninger da man har kontroll på designet av skipet. Energieffektiviserende tiltak på nybygg omfatter ofte løsninger tilknyttet maskineri (men også skrog og konsumenter) og redere har ofte mulighet til å tilpasse skipet i en tidlig fase hvis maktforholdet mot verftet er riktig. Det vil imidlertid alltid være spørsmål om hva som skal være sammenlikninggrunnlaget mtp energieffektiviseringseffekt, og hvilke tilfeller som representerer et reelt og signifikant skritt opp fra «normal» moderne og energieffektiv teknologi som en ellers kan forvente at ville vært tatt i bruk på nybygg.

På samme måte som ved ettermontering så vil reder være opptatt av tilbakebetalingstiden på de enkelte tiltakene, som igjen vil variere med endrende markeder, drivstoffpriser og reguleringer.

5.1.4 Drivstoff

Marin diesel (MGO/MDO) og forskjellige grader av tungolje (HFO) er de mest vanlige drivstoffene innen skipsfarten. I Norge er MGO (marin gassolje) vanlig, blant annet fordi dette drivstoffet dominerer innen store segmenter som ferger/hurtigbåter, offshoreskip og fiskefartøy. I tillegg har tradisjonelt LNG og LPG blitt brukt om bord på gassfrakteskip, som allerede har dette som last. I senere tid har LNG fått en større utbredelse som drivstoff også på andre skip, både offshorefartøy, passasjerskip/ferger, frakteskip og tankskip. Norge er i en særstilling med et anseelig antall LNG-drevne skip. Andre drivstoff som metanol, hydrogen og biodrivstoff er anvendt kun i begrenset grad, selv om overgang til sistnevnte har blitt mer aktuelt i senere tid, med få eller ingen tekniske barrierer ved bruk syntetisk fornybar biodiesel i konvensjonelle dieselmotorer. I den senere tid har også batteridrevne skip (hel- eller delelektrisk) kommet på sjøen, og en rekke fartøy er under planlegging og prosjektering, særlig i fergesektoren.

I norske farvann har man strenge regler rundt innhold av svovel i drivstoff (0,1 % sør for Stadt, og fra 2020 0,5 % nord for Stadt), samt utslipp av nitrogenoksider fra motorene (de strengeste Tier III-reglene gjeldende for skip som er påbegynt bygget fra og med 2021). Disse påvirker til sammen også valg av drivstofftype og eventuell kombinasjon med renseteknologier slik som SCR/EGR (NO_x) og scrubber (SO_x). Bruk av HFO vil for eksempel etter 2021 kreve både SO_x-rensing og egen NO_x-reduksjonsteknologi, MGO møter i seg selv sovelkravene men vil trenge NO_x-reduksjonsteknologi, mens LNG og batteridrift kan møte både svovel- og NO_x-krav uten bruk av ytterligere reduksjonsteknologier.

Flere av disse alternativene og kombinasjonene påvirker potensiale, kostnad, utforming og kompleksitet ved energieffektiviseringstiltak. For eksempel krever LNG nye motortyper med noe mindre mulighet for optimalisering og tuning, men gir og muligheter til for eksempel spill-kulde som kan erstatte eksisterende energikrevende kjøling (for eksempel HVAC og fryse/kjøle-containerer). Svovelinnhold i drivstoff er også noe som samspiller med energieffektivitet gjennom hvor mye varme man kan hente ut av eksosens spillvarme. Lavere svovelinnhold i drivstoffet gjør at man kan ta ut mer spillvarme fra eksosen uten fare for korrosjon i eksosystemet, noe som er positivt både ved LNG og lavsvovel-drivstoff. For NO_x er det slik at en NO_x-optimalisering av motorparametre (forbrenning, trykk osv) kan redusere drivstoffeffektiviteten.

5.2 Potensialet for tiltaksbruk på utvalgte referanseskipstyper

Det følgende kapitlet evaluerer relevante tiltak for hvert av de utvalgte referanseskipene i kapittel 4.4 og trekker frem enkelte teknologier som er spesielt aktuelle basert på et sett med tekniske forhold og kriterier gitt nedenfor.

Avhengig av karakteristika, egenskaper, design og operasjonsprofil vil et skip ha et mer eller mindre gunstig utgangspunkt for gitte energieffektiviserende teknologier og tiltak. Noen tiltak har best virkning på skip som seiler fort, andre på skip som seiler variert, andre igjen på skip som seiler veldig annerledes enn de var designet for. Aktualiteten til teknologier og tiltak varierer i form av potensiale for besparelse, kostnader og hvor utbredte de er. Under listes teknologier og tiltak for nybygg med best potensiale i henhold til definerte kriterier.

Kriterier for å være relevant for nybygg er;

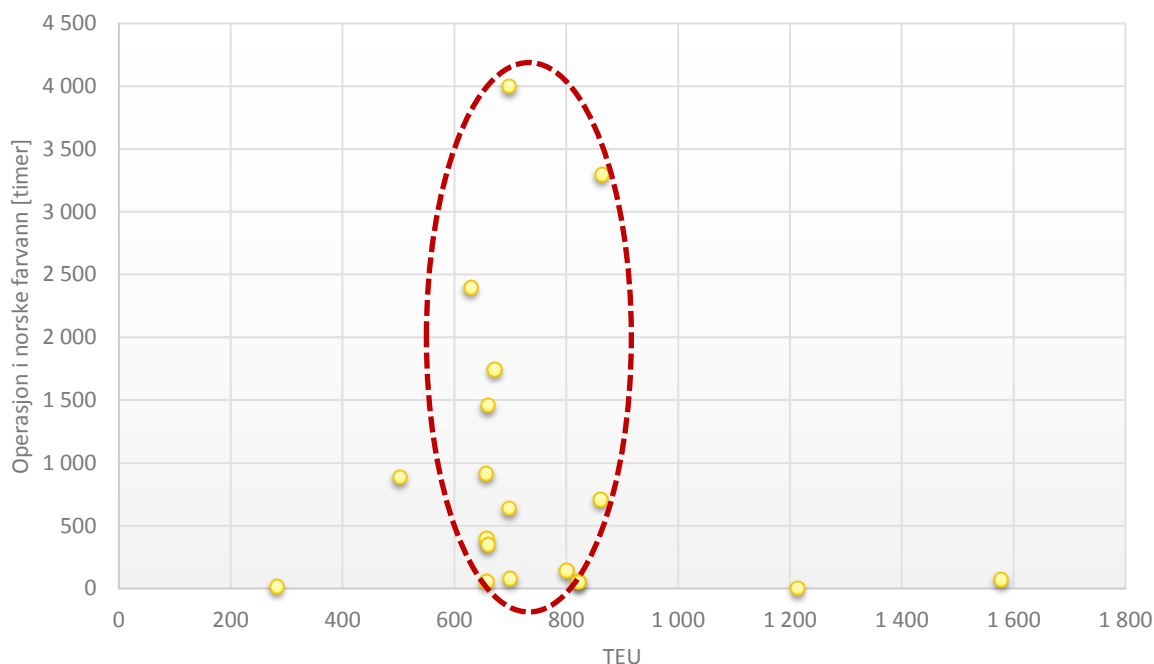
- I betydelig grad teknisk betinget, dvs lite betinget av hvordan mannskap bruker teknologien for å oppnå estimert reduksjon
- Ikke standard for dagens nybygg av referanseskipet
- Betydelig utslippsreduksjon fra dagens standard
- Betydelig investering (kostnad), og ikke garantert økonomisk regningsvarende for reder uten støtte

For ettermontering av tiltak på eksisterende skip vil det, med mindre det er nevnt spesifikt i tiltaksbeskrivelsen, gjelde de samme argumenter for virkning samt størrelse på effekt, besparelse og kostnad. Som oftest er det de samme relevante forskjellene i ulike segmenter som går igjen for tiltak på nybygg og eksisterende, som for eksempel at tiltak med ombygging på eksisterende skip ofte blir mer omfattende, tidsintensive og kostbare. Dessuten er tidshorizonten for lønnsomhet kortere da skipets levetid er redusert. Dette belyses som nevnt i tiltaksbeskrivelsen ved behov.

5.2.1 Containerskip

5.2.1.1 Om skipstypen

Basert på AIS-data er skip med mye operasjon langs norskekysten blitt identifisert og analysert som faller inn under kategorien containerskip. Dette er et lite segment i forhold til antall skip, de er ganske like i størrelse og de går i mer eller mindre faste ruter mellom Nord-Europa og norskekysten.



Figur 5-4: Oversikt over containerskip med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann, samt størrelsesområdet referanseskipet er hentet fra

Det er alminnelig at skipene har kapasitet for rundt en fjerdedel av sine containere som fryse- og kjølecontainere, og en til to lastekraner. Om bord er det standard med 4-takt hovedmotor med akselgenerator og reduksjonsgir, noen hjelpemaskiner og vridbare propeller. Størrelsesforskjellene er ikke store i dette relativt begrensede segmentet i norske farvann, men noen få trender følger størrelse. Man ser gjerne en noe økende andel 2-takt fremfor 4-takt for hovedmotoren blant de største skipene, hvor da både gir, vridbare propeller og akselgenerator utgår i større grad. En til to ekstra hjelpemotorer er vanlig. De få skipene som befinner seg i dette segmentet er ganske like og typiske standarddesign.

Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen TEU² versus antall timer (Figur 5-4) er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 600-800 TEU. Merk at stykkodssegmentet har mange skip som frakter containere i tillegg til annen last. Det er derfor få rene containerskip i dette segmentet som har mye operasjon i langs norskekysten.

Analysen utført for referanseskipet er følgelig i høy grad representativ for hele dette segmentet

5.2.1.2 Beskrivelse av referanseskipet

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

Segment	Type	Størrelse			Maskineri		
		TEU	GT	LOA [m]	Tekniske detaljer	Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Container	Feeder	850	6 300	135	1 stk. 4-takt HVM á 8.5 MW 2 stk. 4-takt HJM á 0.7MW CP propeller (dvs. vridbar) 2 lastekraner 1 tunnelthruster á 0.7 MW	9 900	HFO/MGO/MDO

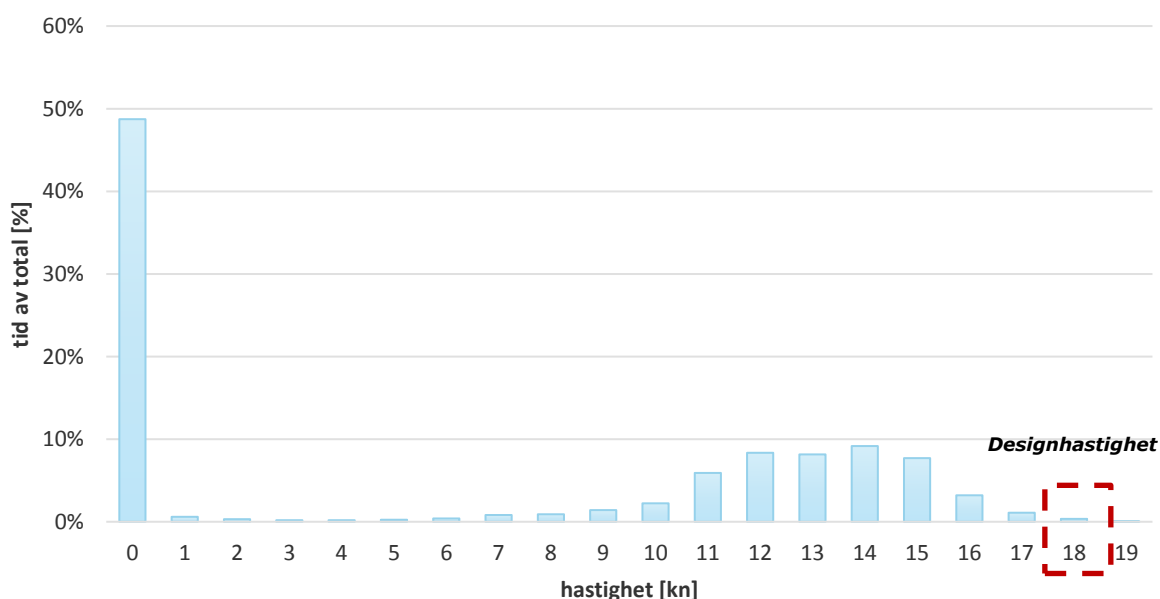
² Dvs. «twenty-foot equivalent unit», et tall basert på volumet til en 20 fots container

Containerskipet har typisk én 4-takts hovedmotor med akselgenerator på 2MW (kun PTO, ikke PTI – dvs. at det kan kun *tas ut* kraft fra akselen, ikke tilføre), samt to 4-takts hjelpemotorer (generatorsett). Hovedmotoren er en medium speed (500 rpm) motor og må ha et reduksjonsgir for å oppnå et fornuftig turtall på propellen. Skipet har også en CP propeller (CPP, eller vridbare blader), slik at motoren kan holde fast turtall når den lager strøm via akselgeneratoren, noe som er viktig for en jevn frekvens på elektrisiteten. Hastigheten til skipet endres dermed ved å endre vinkel på propellbladene slik at skyvekraften endres.

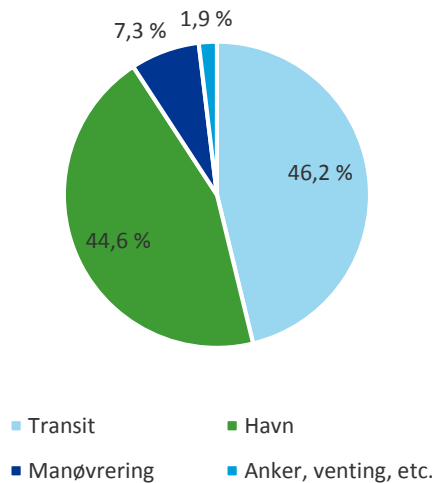
Referanseskipet har et typisk slankt V-formet skrog med bulb, med stor andel bølgemotstand, men har som skip flest størst andel friksjonsmotstand. Andelen bølgemotstand er dessuten gått ned en del med skipets dalende seilashastighet sammenliknet med design.

5.2.1.3 Operasjonsprofil

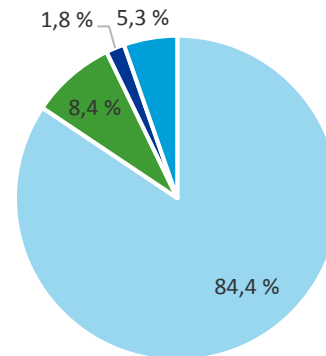
Skipet går i fast rute (linje) som er representativ for skipene som går mellom Nord-Europa og på vestlandskysten i Norge (totalt 7 havner), og har 800-900 TEU kapasitet, 200 TEU fryse- og kjølekontainere og 2 lastekraner á 40 tonn hver. Rederiet driver linjen, betaler drivstoffet selv, kunden betaler for transporten D2D (dør til dør), T2T (terminal til terminal) eller P2P (havn til havn). Operasjonsprofilen kan sammenstilles forenklet som følger i Figur 5-5 under. Profilen viser en variasjon i operasjonsmodi, hastighet og tilhørende motorbelastning.



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser



Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



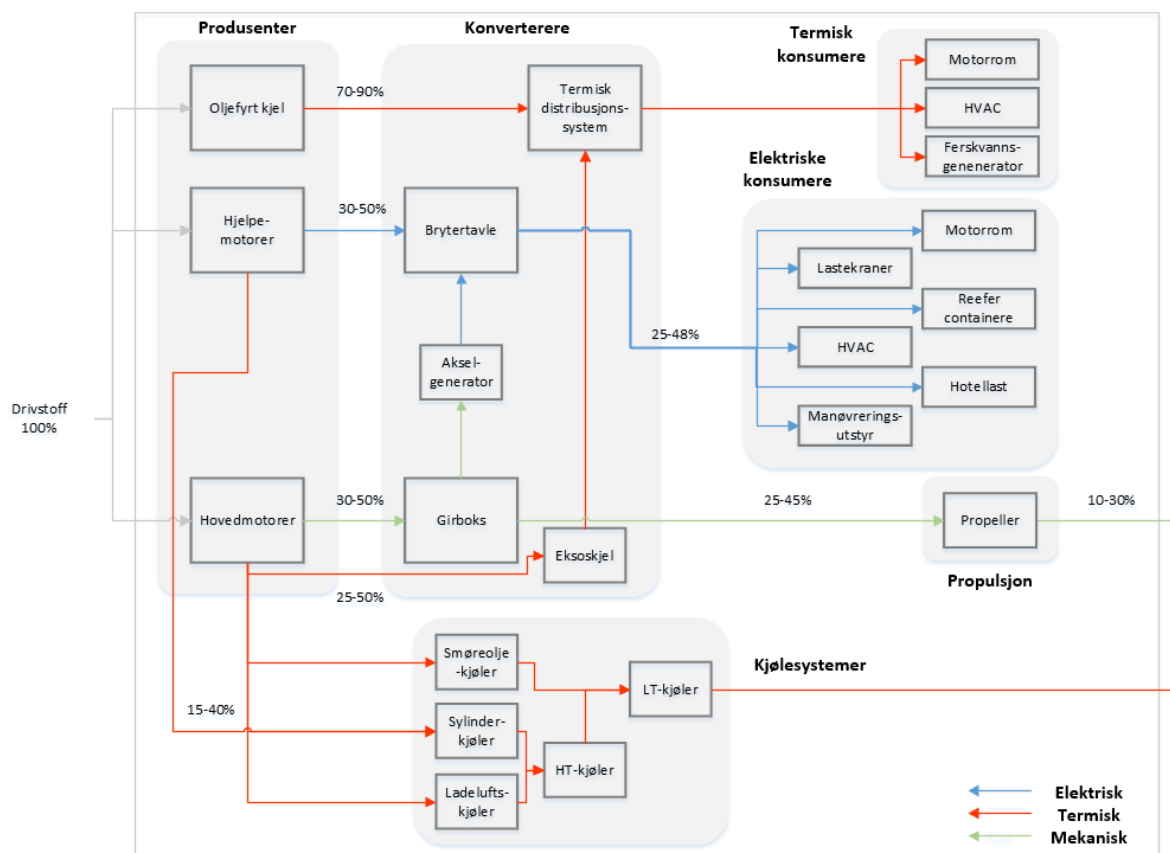
Figur 5-5: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilen befinner seg et godt stykke unna designhastigheten (ca. 2-6 knop lavere, dvs 10-30% lavere). Operasjonsprofilen er rimelig stabil da skipet seiler på fast rute, og gir dermed mer forutsigbarhet med tanke på energieffektivisering. Skipet har mange anløp per rundtur og en stor variasjon i antall og tyngde på containerne, noe som medfører stor variasjon i dypgang og trim.

De største forbrukerne om bord vil være fryse-/kjølecontainerne samt vanlig hotellast (ventilasjon, kjøling, pumper, osv.). Med ca. 20-30 % av containerne som fryse-/kjølecontainere, kan disse gjerne stå for 10-15 % av skipets totale energiforbruk under normal servicehastighet. I havn kan kranoperasjonene utgjøre 60-80 % av det totale energiforbruket, avhengig av om skipet bruker egne kraner eller havnekraner til lastoperasjonen. Hotellasten utgjør som regel ca. 5 % av det totale energiforbruket i transit, og 20-30 % i havn.

5.2.1.4 Eksempel på energiflyt

Energien forbrukt i skipets operasjonsmoder må naturlig nok konverteres til og fra former som mekanisk, elektrisk og termisk (varme) for at alt arbeidet om bord skal kunne skje. Under (Figur 5-6) følger en grovt skjematisk oversikt, med estimater for hvor mye av energien som brukes som faktisk går tapt i de forskjellige konverterings- og konsumentleddene.



Figur 5-6: Grovt flytskjema for hvor energien i drivstoffet på referanseskippet tar veien. Prosentene viser hva som blir igjen av 100% drivstoff som sendes inn på den enkelte produsent per tapsledd, eksempelvis en girboks eller kjøling. Prosentene representerer ikke forbruket per komponent.

Skjemaet kan brukes til å si noe om hvor mye prosentvis besparelse av totalt forbruk en kan oppnå ved tiltak i et gitt ledd, samt at skjemaet viser effektiviteten til konsumentene. Det som mangler i den helhetlige forståelsen av energiforbruk og energieffektivitet, er tiden de forskjellige konverterings- og konsumentleddene brukes. Eksempelvis vil en besparelse på 5 % i hotellast, rundt 15 kW for referanseskippet, representere en betydelig besparelse avhengig av andelen og totale timer skipet bruker i havn.

5.2.1.5 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet

I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på containerskip med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk.

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
1.6 Batteri- hybridisering (ikke plug-in)	Containerskipet vil ha en variert kraftkrevende operasjonsprofil fra varierende antall fryse- og kjølecontainere, samt mye hyppige havnebesøk med intense kranoperasjoner. Batterihybridisering vil kunne jevne ut store svingninger i effektuttak her, og muligens erstatte bruk av en hjelpemotor i deler av operasjonen, for eksempel i havn.	5 % / 5 MNOK

	<p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Kostnadene for montering og tilpasning vil øke noe, litt avhengig av om det kan gjøres under normal dokking. Reduksjonspotensialet reduseres noe basert på lav mulighet for valg av optimale designparametere på utstyret som berøres av batteriet.</p>	
1.7 Variabelt turtall	<p>Hovedmotoren må gå på fast turtall når den produserer strøm gjennom akselgeneratoren, fartsendringer forutsetter vridning av propellblader. Dette fører ofte til redusert propulsjonsvirkningsgrad samt potensielt uoptimal last på motoren. Et likestrøms-nett ville muliggjort variabelt turtall på hovedmotoren og optimal kjøring av den, samt mulighet for optimal bruk av den vridbare propellen samtidig som mest mulig strøm lages fra akselgeneratoren (i stedet for på hjelpemaskinene). I tillegg tilrettelegger tiltaket for å designe for en større grad av aktiv optimalisering under selve operasjonen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	5% / 7 MNOK
2.1 Luftboblesmøring	<p>Referanseskipet har en relativ stor flat bunn som vil representere majoriteten av skipets friksjonsmotstand, samt har en del lengre overfarer og lav dypgang. Luftboblesmøring vil kunne redusere denne andelen motstand noe, avhengig av hvordan tiltaket tilpasses.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger, samt at tiltaket er relativt umodent sammenliknet med andre tiltak.</p>	5% / 5 MNOK

Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering;

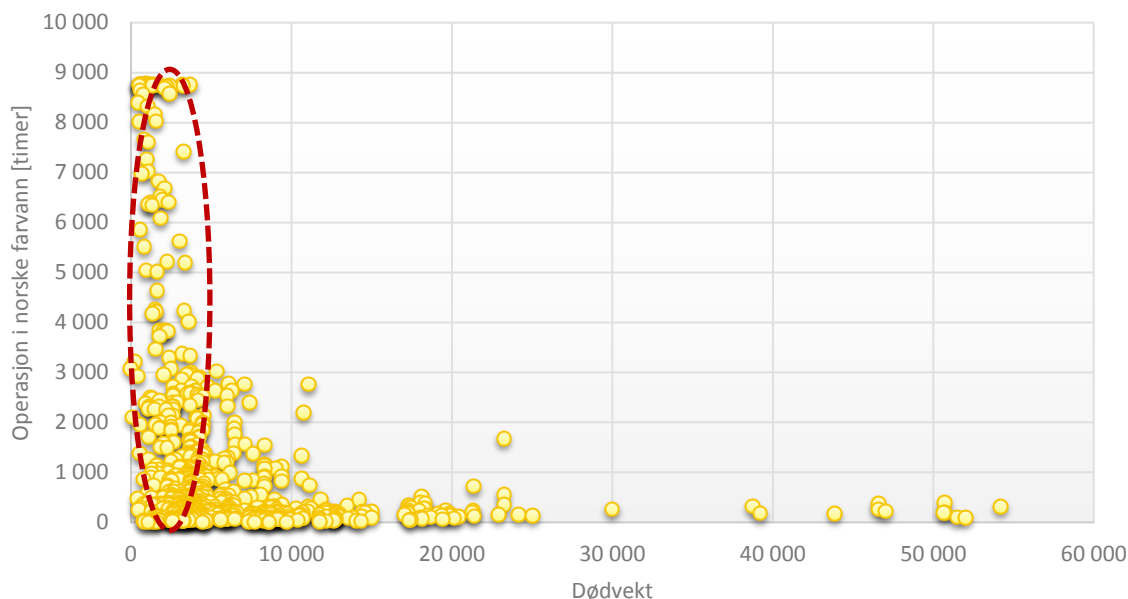
Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
5.4 Kombinator-optimalisering	Referanseskipet endrer propellbladvinkelen og motor/propell-turtallet til å endre skyvkraften fra propellen og dermed farten til skipet. Dette skjer hovedsakelig ved inn- og utseiling, samt manøvrering, når akselgeneratoren ikke tilkoblet. En god kombinatorkurve kan brukes til optimering av disse endringene for å øke propulsjonsvirkningsgraden. Per i dag har ikke/benyttet ikke de fleste skip slike optimale	0.75 % / 0 NOK

	<p>kombinatorkurver. Her ligger et potensiale avhengig av hvor mye slik seiling skipet har.</p> <p>Samtidig, når skipet er i overfart med akselgeneratoren innkoblet kjører skipet trolig på fast turtall, og endrer kun propellbladvinkelen for å oppnå fartsendringer. Dette skjer da helt uavhengig av kombinatorkurven. Det ligger i dag en mulighet til ytterligere besparinger for denne operasjonen ved å tillate opp til 5% variasjon i frekvensen på elektrisiteten slik at man kan endre både turtallet og bladvinkelen. Det betyr at man i en litt større grad kan følge den optimale kombinatorkurven også for slike operasjoner. Dette er per i dag ikke standard prosedyre for slike skip.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	
<p>5.6 Trim- og dypgangs- optimering</p>	<p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, og siden bølgemotstand utgjør en så stor andel for containerskip vil tiltaket være svært gjeldende. Krever noe av mannskapet, da de må utføre anbefalt justering av trim-, dypgang- og hastighetskombinasjoner like ofte som denne kombinasjonen endres i operasjon.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, kostnadene kan bli en hel del høyere hvis ikke de grunnleggende 3D tegningene av skipet eksisterer.</p>	<p>3 % / 0.3 MNOK</p>

5.2.2 Stykkgoods

5.2.2.1 Om skipstypen

Basert på AIS-data er skip med mye operasjon langs norskekysten blitt identifisert og analysert som faller inn under kategorien stykkgodsskip. Av figuren under ser vi at skipene i størrelseskategorien 1,000-5,000 dwt. dominerer i norske farvann. Mange av disse skipene går langs norskekysten, mens andre går på mer eller mindre faste ruter mellom byer i Norge og Nord-Europa.



Figur 5-7: Oversikt over stykkgodsskip med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann, samt størrelsesområdet referanseskipet er hentet fra

Innenfor stykkgoodssegmentet finnes det flere forskjellige varianter avhengig av hva slags type gods skipet frakter. Noen skip har lasteluker på dekk, mens andre har sideporter med ramper slik at gaffeltrucker eller lastebiler kan kjøre om bord for å levere/hente lasten. Kjøleskip og enkelte skip med mye containerkapasitet inngår også i denne kategorien.

Om bord er det standard med 4-takt hovedmotor med akselgenerator og reduksjonsgir, noen hjelpemaskiner og vridbare propeller. Endring i størrelse vil gi noen endringer på maskinerikonfigurasjonen. Man ser gjerne en noe økende andel 2-takt fremfor 4-takt for hovedmotoren blant de største skipene, hvor da både gir, vridbare propeller og akselgenerator utgår i større grad. En til to ekstra hjelpemotorer er også vanlig. Standard design er utbredt i dette segmentet, men enkelte redere som frakter én spesiell type last har ofte fått et spesialtilpasset design. De fleste skip som frakter containere i dette segmentet har mulighet til å frakte fryse- og kjølekontainere.

Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen dwt versus antall timer (se Figur 5-7) er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 2,500-3,500 dwt. Her er variasjonene ganske små teknisk sett, men med noe større variasjon i forhold til faktisk operasjonsprofil og lastetyper.

Analysen utført for referanseskipet er følgelig i nokså høy grad representativ for hele dette segmentet.

5.2.2.2 Beskrivelse av skipet og operasjonsprofilen

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

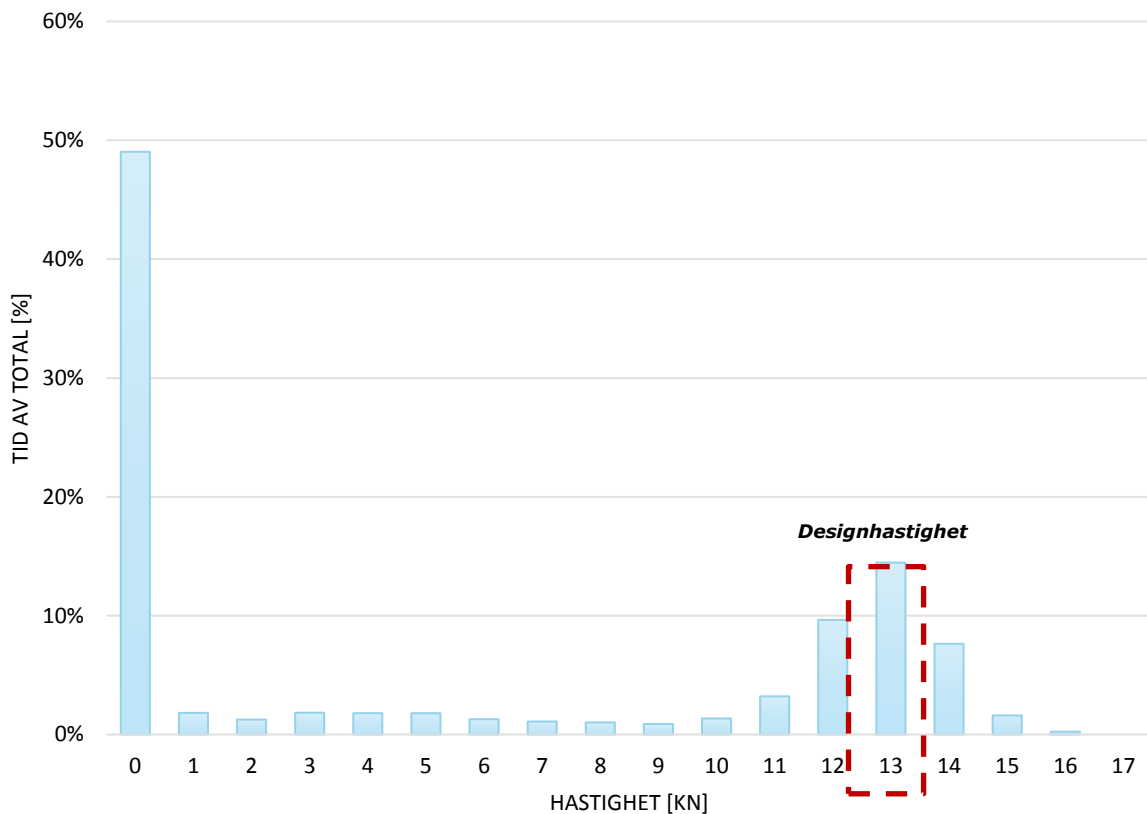
Segment	Størrelse			Tekniske detaljer	Maskineri	
	GT	DWT	LOA [m]		Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Stykkogods	2 800	3200	70	1 stk. 4-takt HVM á 1.8 MW 2 stk. 4-takt HJM á 0.9 MW CP propeller (dvs. vridbar) 2 lastekraner 2. stk. tunnelthruster á 0.5 MW	3 600	MGO/MDO

Stykkogodsskipet har typisk én 4-takts hovedmotor med akselgenerator på 0.3 MW, samt to 4-takts hjelpemotorer (generatorsett). Hovedmotoren er en high speed (1000 rpm) motor og må derfor ha et reduksjonsgir for å oppnå et fornuftig turtall på propellen. Skipet har også en CP propeller (CPP, eller vridbare blader), slik at motoren kan holde fast turtall når den lager strøm via akselgeneratoren, noe som er viktig for å få en jevn frekvens på elektrisiteten. Hastigheten til skipet endres dermed ved å endre vinkel på propellbladene slik at skyvekraften endres.

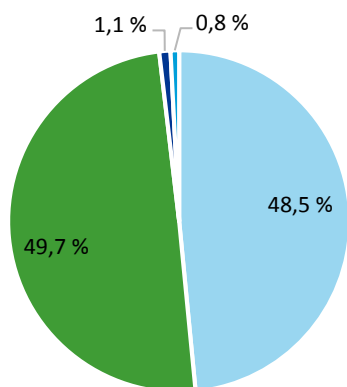
Skipet er fleksibelt med en modulbasert løsning for lasting. Dette gjør at rederen kan tilpasse modulene avhengig av hvilken type last som fraktes. Det er muligheter for å frakte containere, men lasten er primært stykkogods. Skipet har også et avansert lossesystem som gjør at lossingen skjer ved bruk av lav effekt. Skipet har også egne kraner for å effektivisere tiden som brukes i havn. Referanseskipet har et typisk slankt V-formet skrog med bulb, med større andel bølgeomotsand enn gjennomsnittet, men har som de fleste skip størst andel friksjonsmotstand.

5.2.2.3 Operasjonsprofil

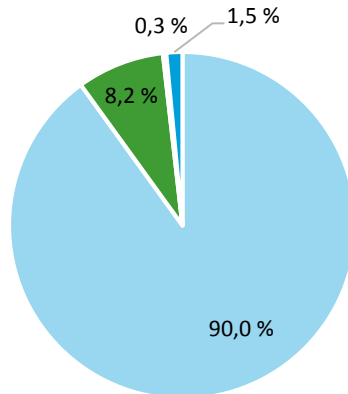
Skipet tilbringer om lag halve tiden i havn, mens resterende tid er fordelt mellom transit og manøvrering, i tillegg til venting på lossing/lasting. Skipet er utstyrt med bulb og er optimert for en hastighet rundt 13 knop. Analysen av dette skipet viser at det opererer ved designhastigheten, noe som minker potensialet for noen tiltak.



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser



Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



■ Transit ■ Havn ■ Manøvrering ■ Anker, venting, etc.

Figur 5-8: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilen befinner seg rimelig godt på designhastighet, men fremdeles med en spredning på 1-2 knop (-15% til +15%) over og under i til sammen 15-20 % av tiden. Operasjonsprofilen er sannsynlig rimelig stabil da skipet seiler på faste ruter, og gir dermed mer forutsigbarhet med tanke på

energieffektivisering. Skipet har mange anløp per rundtur og en stor variasjon i antall og tyngde på stykkgoods og containere, noe som medfører en variasjon i dypgang og trim.

Skipets totale drivstofforbruk fordeler seg som i figuren over med operasjonsmodusen transit som den største forbrukeren. I havn går mesteparten av forbruket til drift av kraner samt andre nødvendige systemer. Skip med kjøle-/frysekapasitet vil bruke om lag 10-20% av det totale energiforbruket for å drifte dette anlegget.

5.2.2.4 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet

I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på stykkgodsskip med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk.

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
1.6 Batteri- hybridisering (ikke plug-in)	<p>Stykkgodsskipet vil ha en variert kraftkrevende operasjonsprofil fra varierende antall fryse- og kjølecontainere, samt mye hyppige havnebesøk med intense kranoperasjoner. Batterihybridisering vil kunne jevne ut store svingninger i effektuttak her, og muligens erstatte bruk av en hjelpemotor i deler av operasjonen, for eksempel i havn.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Kostnadene for montering og tilpasning vil øke noe, litt avhengig av om det kan gjøres under normal dokking. Reduksjons-potensialet reduseres noe basert på lav mulighet for valg av optimale designparametere på utstyret som berøres av batteriet.</p>	5 % / 5 MNOK
1.7 Variabelt turtall	<p>Hovedmotoren må gå på fast turtall når den produserer strøm gjennom akselgeneratoren, fartsendringer forutsetter vridning av propellblader. Dette fører ofte til redusert propulsjonsvirkningsgrad samt potensielt uoptimal last på motoren. Et likestrøms-nett ville muliggjort variabelt turtall på hovedmotoren og optimal kjøring av den, samt mulighet for optimal bruk av den vridbare propellen samtidig som mest mulig strøm lages fra akselgeneratoren (i stedet for på hjelpemaskinene).</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	5% / 7 MNOK

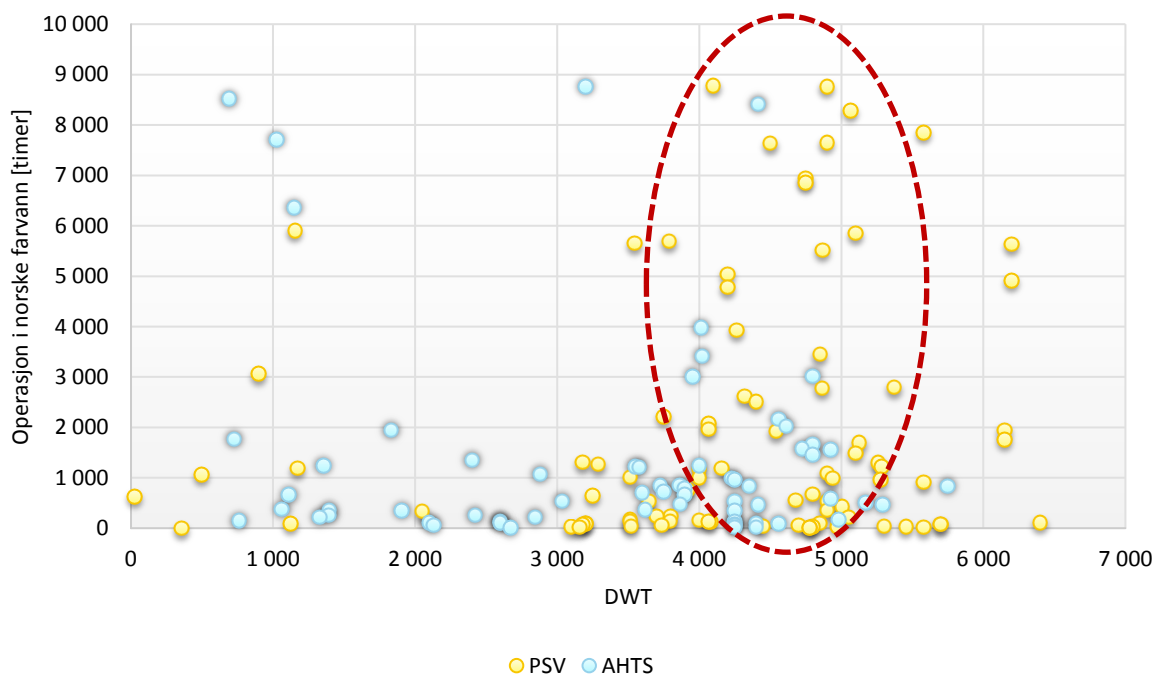
Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering;

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale (totalt) / kostnad
5.4 Kombinator-optimalisering	<p>Referanseskipet endrer propellbladvinkelen og motor/propell-turtallet til å endre skyvkraften fra propellen og dermed farten til skipet. Dette skjer hovedsakelig ved inn og utseiling, samt manøvrering, når akselgeneratoren ikke tilkoblet. En god kombinatorkurve kan brukes til optimering av disse endringene for å øke propulsjonsvirkningsgraden. Per i dag har ikke/benyttet ikke de fleste skip slike optimale kombinatorkurver. Her ligger et potensiale avhengig av hvor mye slik seiling skipet har.</p> <p>Samtidig, når skipet er i overfart med akselgeneratoren innkoblet kjører skipet trolig på fast turtall, og endrer kun propellbladvinkelen for å oppnå fartsendringer. Dette skjer da helt uavhengig av kombinatorkurven. Det ligger i dag en mulighet til ytterligere besparinger for denne operasjonen ved å tillate opp til 5% variasjon i frekvensen på elektrisiteten slik at man kan endre både turtallet og bladvinkelen. Det betyr at man i en litt større grad kan følge den optimale kombinatorkurven også for slike operasjoner. Dette er per i dag ikke standard prosedyre for slike skip.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	0,75 % / 0 NOK
5.6 Trim- og dypgangs-optimering	<p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, og siden bølgeomotstand utgjør en så stor andel av motstanden for stykkgodsskip vil tiltaket være svært gjeldende. Krever noe av mannskapet, da de må utføre anbefalt justering av trim-, dypgang- og hastighetskombinasjoner like ofte som denne kombinasjonen endres i operasjon.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, kostnadene kan bli en hel del høyere hvis ikke de grunnleggende 3D tegningene av skipet eksisterer.</p>	3.5 % / 300 kNOK

5.2.3 Offshore

5.2.3.1 Om skipstypen

Basert på AIS-data er skip med mye operasjon langs norskekysten blitt identifisert og analysert som faller inn under kategoriene forsyningskip (PSV) og ankerhåndterere (AHTS). Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen dødvekt versus antall timer (se Figur 5-9) er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 4000-5000 dwt. Vi kan også se at det ikke er en entydig forskjell mellom operasjonstidene for AHTS³ og PSV⁴.



Figur 5-9: Oversikt over offshoreskip med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann, samt størrelsesområdet referanseskipet er hentet fra

I norske farvann er det mange offshoreskip og vi finner flere forskjellige typer spesialskip innenfor dette segmentet, for eksempel konstruksjonsfartøy, rørledningsfartøy, kabelleggere, dykkerfartøy og andre aktiviteter. De vanligste fartøyene er imidlertid AHTS (ankerhåndterere) og PSV (forsyningsfartøy) og disse finnes i ulike størrelser mellom 1000-7000 dwt. En AHTS er utstyrt med kraftige vinsjer som kan taue og ankre opp oljeplattformer. Når skipet ikke flytter på ankere, så brukes det også som forsyningskip. En PSV derimot er spesialtilpasset for å kunne frakte et stort spekter av utstyr og last til og fra en oljeplattform. Offshoreskipene er gjerne utstyrt med avansert dynamisk posisjoneringssystem (DP) og kjennetegnes med stort deksareal.

Om bord er standard 4-takt hovedmotorer, enten dieselmekanisk med 1-4 generatorsett, eller dielelektrisk hvor alle motorene er generatorsett. Skipene har som regel da vridbare propeller. En endring i størrelse i dette segment vil medføre en økning i motorstørrelse, men kan også medføre en endring av antall (hoved)motorer. Fartøyene som er bygget i Norge har som regel et unikt design og er ofte spesialtilpasset til den operasjonsprofilen de skal operere i. Standarddesign er lite utbredt. Samtidig er dette et av segmentene med størst variasjon i bruk av dielelektrisk fremdrift vs. dieselmekanisk, og

³ AHTS – Anchor Handling Tug Supply
⁴ PSV – Platform Supply Vessel

dessuten variasjon mtp gass (LNG) vs. dual fuel (LNG + olje) vs. kun olje som drivstoff. Det er vanlig med SCR-anlegg for NOx-reduksjon.

Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen DWT versus antall timer er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 4,000-5,000 DWT.

Analysen utført for referanseskipet er følgelig i middels grad representativ for hele dette segmentet.

5.2.3.2 Beskrivelse av skipet og operasjonsprofilen

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

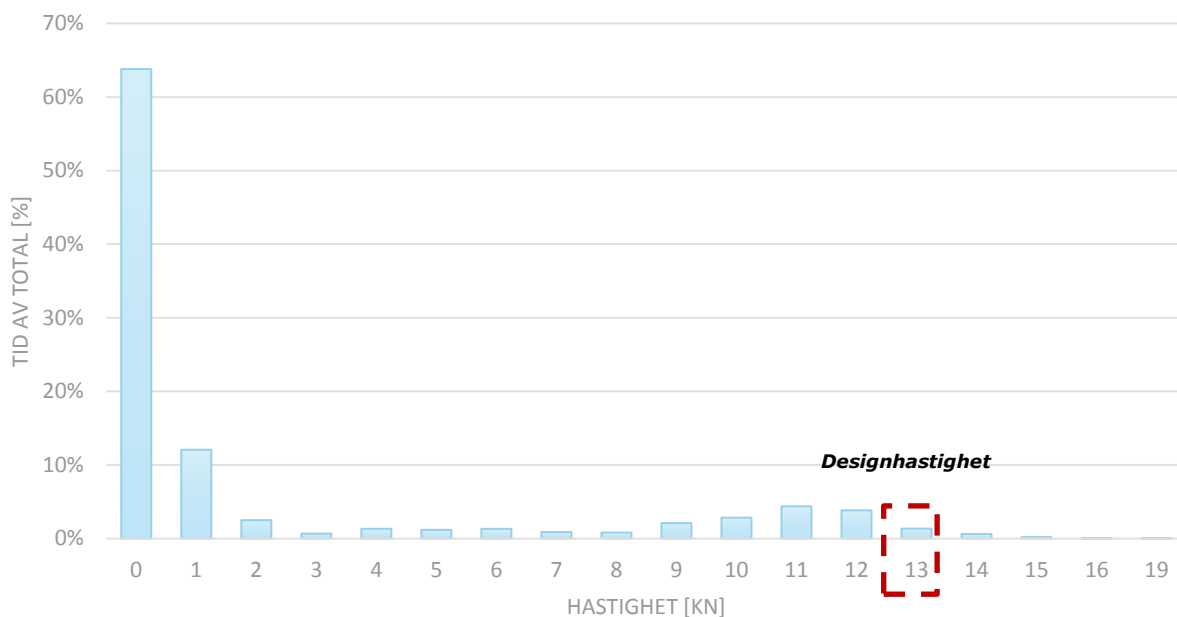
Segment	Type	Størrelse			Maskineri		
		DWT [tonn]	GT	LOA [m]	Tekniske detaljer	Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Offshore	PSV	4 800	4 700	96	4 stk. 4-takt HVM á 2 MW 2 stk. azipull CP (dvs. vridbar) fremdriftsthruuster á 2.5 MW 2 stk. tunnelthruuster á 0.8 MW 1 azimutthruuster á 0.8 MW 2 dekkskraner	8 500 MW	LNG og HFO/MDO /MGO

Offshoreskipet har typisk fire 4-takts hovedmotorer med tilhørende generatorer (dieselelektrisk fremdrift). To av motorene går på kun gass og to på kun diesel, og har dermed såkalt diesel-/gasselektrisk fremdriftssystem (ikke det samme som dual fuel). Det har videre to azipull-thruustere med vridbare propellerblad (CP-propeller), det vil si at det er pod som stikker ut ved hekken som «drar» i stedet for å «skyve». CP-propellbladene kombinert med diesel-/gasselektrisk fremdrift gir skipet svært dynamiske og raske responser på behov for kraft. Dette er helt sentralt under DP operasjoner, for eksempel ved av/på-lessing nærme en rigg. Hastigheten endres enkelt ved å endre turtallet og/eller vinkel på propellbladene. Skipet er også utrustet med to tunnelthruustere og én azimutthruuster som gjør at skipet enkelt kan manøvrere og ytterligere holde posisjonen når den ligger på DP. På dekk finner vi to dekkskraner som kan brukes til å flytte last, men primært så benyttes kraner på land for lasting og lossing.

Skipet opererer til og fra plattformer i Nordsjøen og er designet for dette formål. Stort dekkareal og en forholdsvis beskjeden lengde gjør at skipet er ganske boksformet. Det er utstyrt med bulb og har større andel friksjonsmotstand enn bølgeomotstand under seilas.

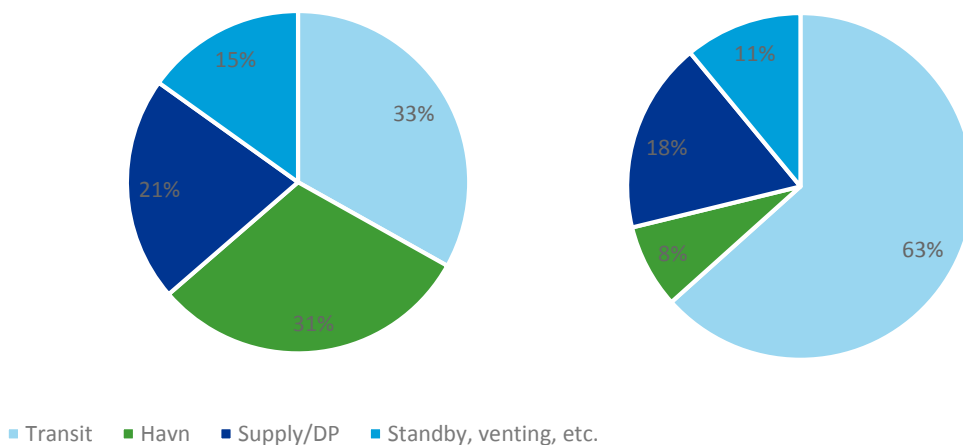
5.2.3.3 Operasjonsprofil

Operasjonsprofilen viser at skipet opererer en hel del under designhastigheten. Denne profilen kan imidlertid endres avhengig av kontrakts- og oppdragstype. Det normale er at reder ikke betaler for drivstoffet. Skipet tilbringer i tillegg mye av tiden sin i ro eller i lave hastigheter. Dette er normalt for denne typen skip, da de ofte ligger standby på DP rundt oljeplattformen, enten ventende på grunn av været eller ledig slot for av/på-lessing eller helt inntil med faktisk av/på-lessing. Det er også en del venteligge i havn.



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser

Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



Figur 5-10: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilen befinner seg et stykke unna designhastighet, ca. 1-2.5 knop lavere enn designhastigheten, eller 10-20% lavere. Operasjonsprofilen er som nevnt mest sannsynlig ganske stabil innenfor kontrakten, men endres fort ved kontraktsendring, og gir bare middels forutsigbarhet med tanke på energieffektivisering. Skipet har lite tid i transit men veldig mye i DP og venting. Skipet benytter dermed mesteparten av drivstoffet i disse operasjonsmodene med mye thruster og propell-aktivitet med mange motorer gående. I supply/DP har skipet krav til redundans og kjører som regel med minimum én motor mer enn det som trengs i tilfelle en motor skulle falle ut. Dermed har de mange motorer i gang på forholdsvis lav gjennomsnittslast med tilhørende lav virkningsgrad.

De største forbrukerne om bord vil være thrusterne i supply/DP og venting samt alle motorenes støttesystemer (ventilasjon, kjøling, pumper, osv.). Støttesystemene kan utgjøre ca. 5 % av det totale energiforbruket i operasjonsmodien, men opp til 20-30 % i havn da alle thrusterne hviler.

5.2.3.4 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet

I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på offshoreskip med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk.

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
1.6 Batteri- hybridisering (ikke plug-in)	<p>Offshoreskipet vil ha en variert operasjonsprofil med tanke på kraftbehov med hyppige havnebesøk og mye DP-operasjoner. Batterihybridisering vil kunne jevne ut store svingninger i effektuttak her, ved såkalt «peak-shaving», og muligens erstatte bruk av en hjelpemotor i deler av operasjonen, for eksempel i havn eller under DP ved at batteriet teller som såkalt «spinning reserve».</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Kostnadene for montering og tilpasning vil øke noe, litt avhengig av om det kan gjøres under normal dokking. Reduksjonspotensialet reduseres noe basert på lav mulighet for valg av optimale designparametere på utstyret som berøres av batteriet.</p>	15 % / 10 MNOK
1.7 Variabelt turtall	<p>De dielektriske (hoved)motorene går hovedsakelig på fast turtall da de skal produsere strøm med jevn frekvens, og endrer vinkelen på propellbladene for å endre propellens skyvkraft og skipets hastighet. Dette fører ofte til redusert propulsjonsvirkningsgrad samt potensielt uoptimal kombinasjon av motorer i gang og belastningen de har. Et likestrøms-nett ville muliggjort variabelt turtall på motorene og optimal kjøring av dem, samt større mulighet for optimal bruk av den vridbare propellen. I tillegg tilrettelegger tiltaket for å designe for en større grad av aktiv optimalisering under selve operasjonen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	10% / 10 MNOK

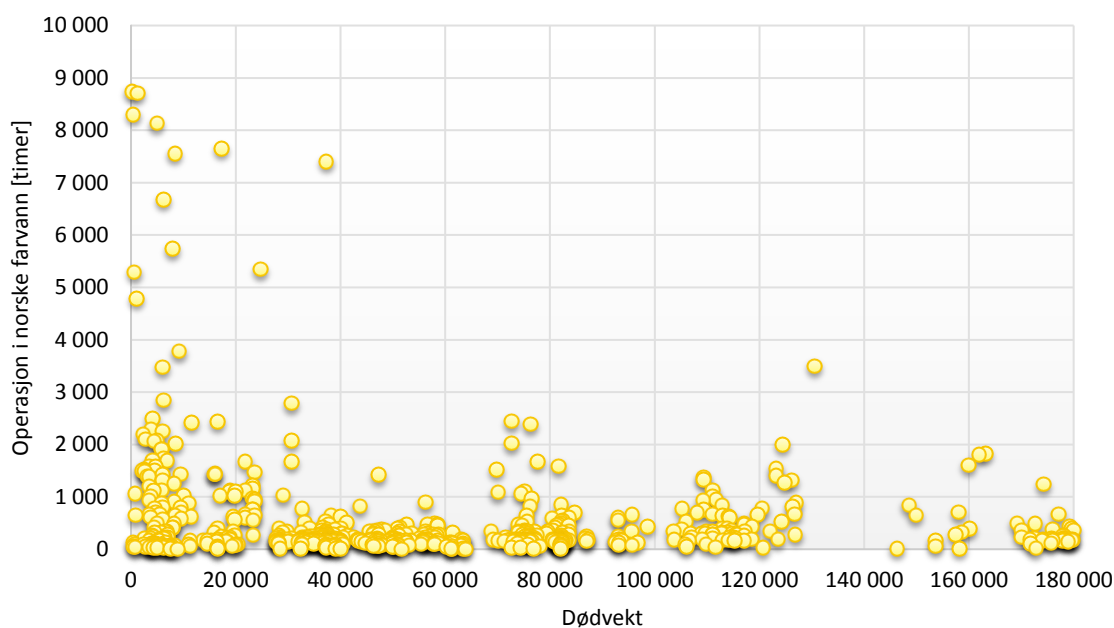
Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering;

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
5.4 Kombinator- optimalisering	<p>Referanseskipet endrer propellbladvinkelen og motor/propell-turtallet til å endre skyvkraften fra propellen og dermed farten til skipet. En god kombinatorkurve kan brukes til optimalisering av disse endringene for å øke propulsjonsvirkningsgraden. Per i dag har ikke/benyttet ikke de fleste skip slike optimale kombinatorkurver.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	0.75% / 0 NOK
5.6 Trim- og dypgangs- optimering	<p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg. Det krever noe av mannskapet da de må utføre anbefalt justering av trim-, dypgang- og hastighetskombinasjoner like ofte som denne kombinasjonen endres i operasjon.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, kostnadene kan bli en hel del høyere hvis ikke de grunnleggende 3D tegningene av skipet eksisterer.</p>	3.5 % / 300 kNOK

5.2.4 Oljetanker

5.2.4.1 Om skipstypen

Basert på AIS-data er skip som faller inn under segmentet blitt analysert. Det er i dette segmentet ikke mange skip som har mye av sin operasjon langs norskekysten. Av figuren under kan vi se at de minste skipene har noe mer andel operasjon i norske farvann.. Man kan og se at de større skipene hører til grupper av mer eller mindre standardiserte skip mtp størrelse. Tankskipene som trafikkerer langs norskekysten varierer i størrelse, fra de minste produktankere til de største skipene som frakter råolje fra sokkelen.



Figur 5-11: Oversikt over tankskip med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann

Tankskip er fartøy som frakter flytende laster i bulk. Dette omfatter råolje, men også ulike typer petroleumsprodukter. Tankskip omfatter også skipstypene kjemikalie-/produkttanker og gasstankere. I denne studien er også tørrbulkskip inkludert i segmentet (tank/bulk), med en del felles forutsetninger for tiltaksbruk

For de største skipene er det standard med 2-takt hovedmotor og flere hjelpemaskiner. De største skipene har betydelig kapasitet på lastepumpene som skal losse oljen, samt kraftkrevende systemer for oppvarming av last der relevant (normalt ved vha damp produsert på oljekjeler). Endring i størrelse vil gi noen endringer på maskinerikonfigurasjonen. For de mindre skipene så er det ofte 4-takts motorer med aksegenerator, reduksjonsgir og CP propeller (dvs. vridbar propeller).

Standard design er utbredt i dette segmentet og alle skipene er optimert for å kunne frakte mest mulig last. De er derfor «boksformet» og optimert for å operere rundt 12-15 knop. Skroget er derfor ikke spesielt slankt, men kommer som en konsekvens av ønsket om å få plass til mest mulig last. I dette segmentet er det typiske standardstørrelser som skipene er bygget etter. Disse størrelsene er ofte optimert for at de akkurat kan passere gjennom de større kanalene slik som Panama- og Suezkanalen.

Referanseskipet er valgt ut blant skipene i størrelsesgruppe 110 000 – 120 000 dwt da dette er typiske aframax som til sammen har en del operasjon og mye forbruk. Analysen utført for referanseskipet er følgelig i nokså høy grad representativ for hele dette segmentet (tank/bulk).

5.2.4.2 Beskrivelse av skipet og operasjonsprofilen

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

Segment	Type	Størrelse		Maskineri		
		DWT	LOA [m]	Beskrivelse	Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Oljetanker	Produkt-tanker	114 000	252	1 stk. 2-takt HVM á 18 MW 3 stk. 4-takt HJM á 1.0 MW 3 stk. lastepumper á 3000 m ³	21 000	HFO/MGO/MDO

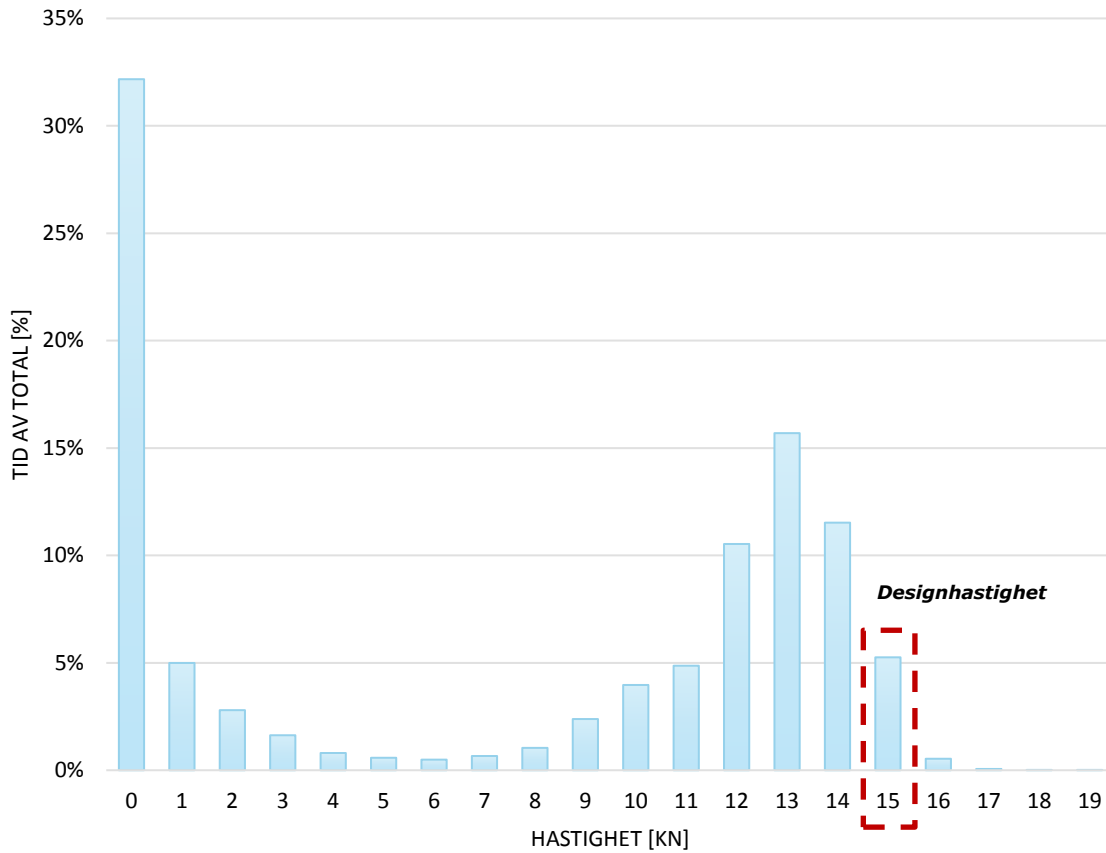
Tankskipet har relativt få operasjonstimer i norske farvann og frakter trolig laster både til og fra Norge. Skipet er en såkalt LR-tanker, dvs. det har en spesiell tanksegregering som gjør at de kan frakte mange forskjellige destillater og tungoljer på en enkelt reise. Skipet er fleksibelt med mulighet for å frakte både «rene» (destillater) og skitne (tungolje) oljemarkeder.

Skipet er utstyrt med én 2-takts hovedmotor på 18 MW. I tillegg har den tre relativt store hjelpemotorer på henholdsvis 1 MW hver. Det er også utstyrt med tre store lastepumper med en kapasitet på 3000 m³ hver. Disse brukes under lossing av skipet og krever mye strøm fra hjelpemaskinene. Propellen er en standard fast pitch propeller (FPP, dvs. ikke vridbare propellerblader).

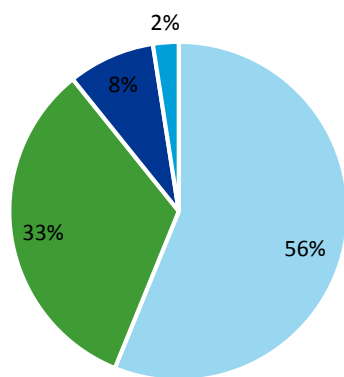
Skipets skrog er forholdvis boksformet med en normal bulb, og frisksjonsmotstanden utgjør klart den største delen av motstanden.

5.2.4.3 Operasjonsprofil

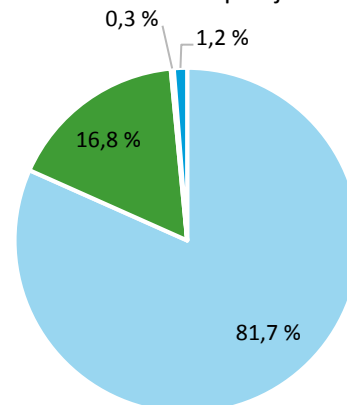
Skipet tilbringer om lag 55% av tiden i seilas, mens 1/3 av tiden tilbringes i havn. Skipet opererer 1-3 knop lavere enn designhastigheten (5-20% lavere), noe som kan indikere at hastigheten er satt av befrakter.



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser



Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



■ Transit ■ Havn ■ Manøvrering ■ Anker, venting, etc

Figur 5-12: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilens stabilitet avhenger i stor grad av om skipet går på fast lang kontrakt, eller om skipet befinner seg i spot-markedet. Med sin lastefleksibilitet er varierende rute å forvente. Dermed er forutsigbarheten med tanke på energieffektivisering varierende, selv om forskjellige kontrakter og laster ikke alltid trenger innebære de altfor store forskjellene i operasjonsprofilen.

De største forbrukerne om bord vil være varming av lasten under lastet seilas, lastepumpene når det losses, samt hotellast (ventilasjon, kjøling, pumper, osv.). Skipet skal de fleste modi ha nok dampproduksjon fra hovedmotorens eksoskjel, men vil kunne trenge bidrag også fra en ekstern oljefyrt kjel. Denne kjelen fungerer også som en redundans for hovedmotorens dampproduksjon hvis noe skulle feile her. I havn under lossing kan pumpenes energiforbruk representere godt over 50% av modiens totalforbruk. For øvrig utgjør hotellasten som regel ca. 5 % av det totale energiforbruket i transit, og 20-30 % i havn. I tillegg kan vasking av tanker være en veldig energikrevende operasjon (og derfor en operasjon man prøver å minimere). Det vil være økt vaskebehov ved økt skifting av lastetyper.

5.2.4.4 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet

I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på tankskip med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk. Kostnad er vist som investeringskostnad;

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
1.5 Eksoskjeler på hjelpemotorer	Eksosgasskjeler brukes på store forbrenningsmotorer for gjenvinning av varme fra eksosen. Varmen benyttes blant annet til å generere damp og/eller varmtvann, fremfor å bruke en oljefyrt kjel til tilsvarende varmeproduksjon. Referanseskipet har store hjelpemotorer og tiltaket vil kunne få tilgang på store mengder gratis eksovarme. <i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i> Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.	1.5 % / 0.4 MNOK
1.12 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon	Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon (WHR) innebærer at det gjenvinnes termisk energi fra forbrenningsmotorenes eksos for videre omdannelse til elektrisk energi. Eventuell restvarme fra denne prosessen kan så sendes videre til bruk for ulike oppvarmingsformål (for eksempel varmtvann og dampproduksjon). Referanseskipet har en forholdsvis stor hovedmotor og det er antatt at en varmegjenvinning vil kunne være kommersielt lønnsomt da en hjelpemotor kan stenges/reduceres kraftig som følge av WHRen. <i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i> Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for	3.5% / 40 MNOK

	ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.	
2.1 Luftboble-smøring	<p>Referanseskipet har en relativ stor flat bunn som vil representere majoriteten av skipets friksjonsmotstand, samt har en del lengre overfarter og lav dypgang. Luftboblesmøring vil kunne redusere denne andelen motstand noe, avhengig av hvordan tiltaket tilpasses.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger, samt at tiltaket er relativt umodent sammenliknet med andre tiltak.</p>	5% / 13 MNOK

Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering;

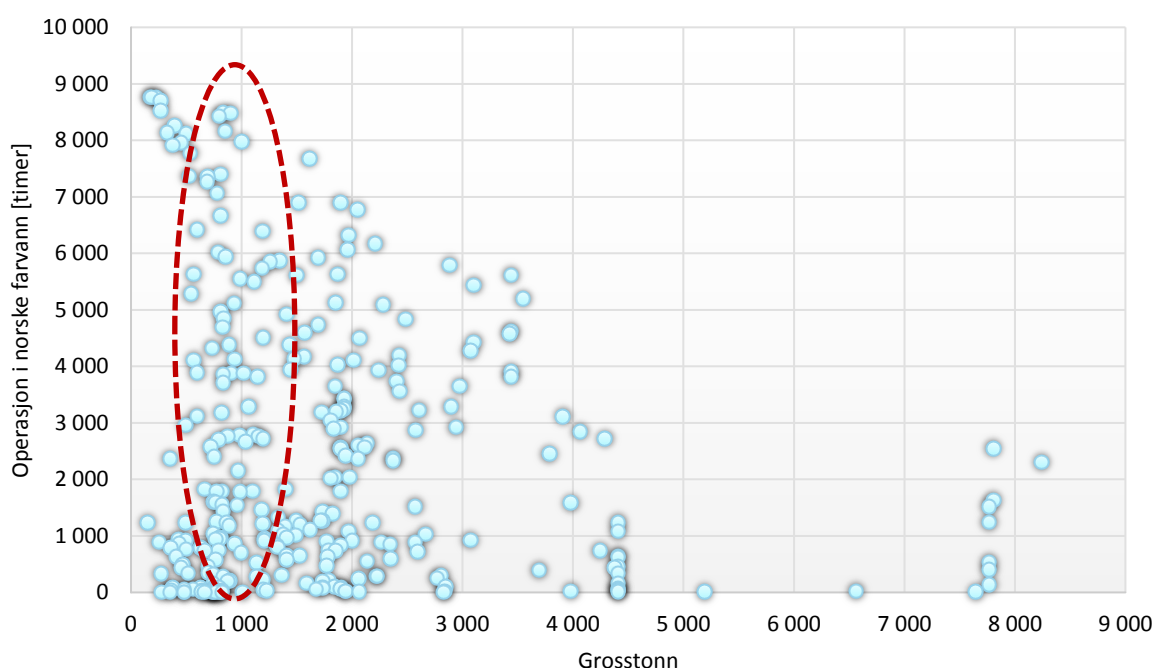
Tiltak	Beskrivelse	Potensiale / kostnad
3.1 Optimalisering av last-håndteringssystemer	<p>Referanseskipet tilbringer mye tid i havn med lasting/lossing, der en losseoperasjon kan vare i opptil 36 timer. Lossing av råolje-last er svært energikrevende og drives av komplekse maskinerisystemer som involverer mange mennesker og prosesser på skipet. Dessuten har skipet mange segregerte tanker med potensielt forskjellige laster med forskjellige temperaturkrav. I dag kan man gjennom skipsspesifikke modellbaserte datasimuleringer og -optimeringer evaluere og forbedre ytelsen og driften av lasthåndterings- og lossesystemer, basert på faktiske målinger fra tidligere laste-/losseoperasjoner. Resultatene fra dette kan gi grunnlag for nye strategier for å oppnå besparelser i form av redusert drivstoff (både på oljekjeler og hjelpemotorer). Forbedringen kan for eksempel oppnås gjennom endrede innstillinger på oljekjelens tanktrykk, eller endrede strategier og prosedyrer for oppvarming av last og vasking av lastetanker.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering, og har samme kostnad og potensiale.</p>	1.5 % / 150 kNOK
5.6 Trim- og dypgangs-	Dette er ikke standard leveranse for nybygg, og siden bølgeomotstand er en stor andel for denne typen skip	1 % /

optimering	<p>vil tiltaket være svært gjeldende. Krever noe av mannskapet da de må utføre anbefalingene for justering av trim-, dypgang- og hastighetskombinasjoner like ofte som denne kombinasjonen endres i operasjon.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette er ikke standard leveranse for nybygg, kostnadene kan bli en hel del høyere hvis ikke de grunnleggende 3D tegningene av skipet eksisterer.</p>	0.2 MNOK
------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

5.2.5 Tråler

5.2.5.1 Om skipstypen

Basert på AIS-data er skip med mye operasjon langs norskekysten blitt identifisert og analysert i kategorien trålere. Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen grosstonn versus antall timer (se Figur 5-13) er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 800-1200 grosstonn. Dette representerer de mindre (og vanligste) trålerne, men det finnes også en del større trålere med mye operasjon i norske farvann.



Figur 5-13: Oversikt over trålere med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann, samt størrelsesområdet referanseskipet er hentet fra

Som man kan se av figuren over så finnes det et stort utvalg av trålere med operasjon i norske farvann. Disse fartøyene varierer i størrelse, der de største fartøyene er egne produksjonsfabrikker som også bearbeider/videreforedler fangsten om bord. Alle har fryse- og kjølesystemer om bord. Flere trålere har

tanker for oppbevaring av levende fisk. Det finnes flere forskjellige typer trålere, og frysekapasiteten er en av de mer avgjørende faktorene for hvor lenge fartøyene kan være ute på fiske.

Om bord er standard 4-takt hovedmotor med akselgenerator og reduksjonsgir, noen hjelpemaskiner og vridbare propeller. Ved endring av størrelse vil det all hovedsak være en endring av antall motorer og/eller hjelpemaskineri. Disse fartøyene preges også i stor grad av å være spesialtilpasset til rederens behov, og standarddesign er derfor lite utbredt. Dette henger sammen med at forskjellige fiskerier og fangstredskapene innebærer operasjonsprofiler som spriker vesentlig.

Analysen utført for referanseskipet er følgelig i mindre grad representativ for alle trålere.

5.2.5.2 Beskrivelse av skipet og operasjonsprofilen

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

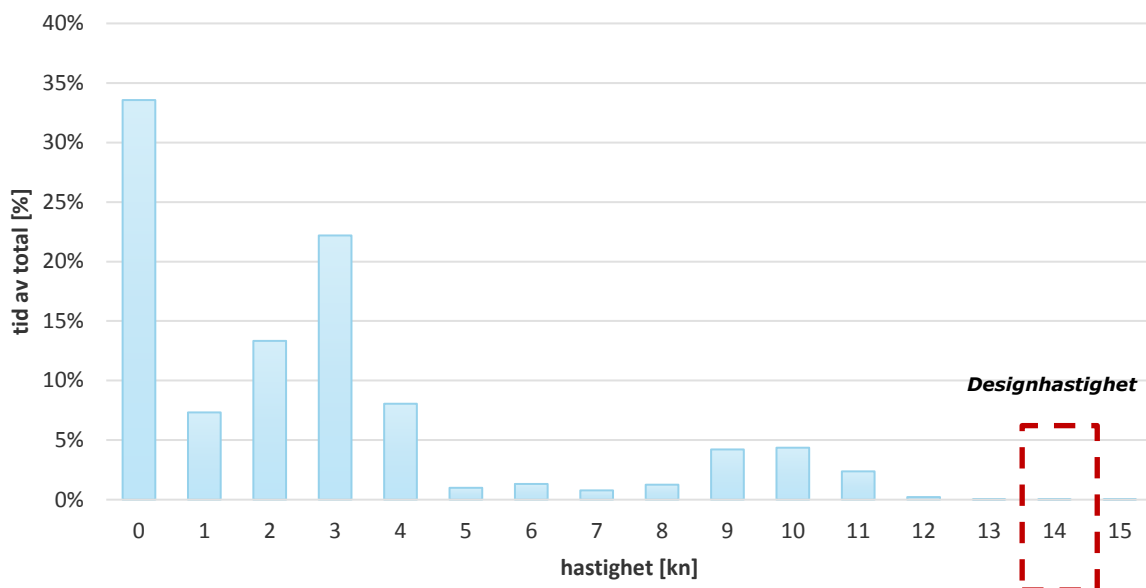
Segment	Type	Størrelse		Beskrivelse	Maskineri	
		GT	LOA [m]		Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Fiskefartøy	Tråler	1 000	50	1 stk. 4-takt HVM á 1.8 MW 2 stk. 4-takt HJM á 1.1 MW 1 stk. akselgenerator 2 stk. thrustere á 0.7 MW CP propeller 2 dekkskraner Flere vinsjer	4 000	MGO/MDO

Referanseskipet er en typisk pelagisk tråler med én 4-takts hovedmotor med akselgenerator, samt to 4-takts hjelpemotorer (generatorsett). Hovedmotoren er en medium speed (500 rpm) motor og må ha et reduksjonsgir for å oppnå et fornuftig turtall på propellen. Skipet har en CP-propeller (CPP, eller vridbare blader), slik at motoren kan holde fast turtall når den lager strøm via akselgeneratoren, noe som er viktig for en jevn frekvens på elektrisiteten. Hastigheten til skipet endres dermed ved å endre vinkel på propellbladene slik at skyvekraften endres.

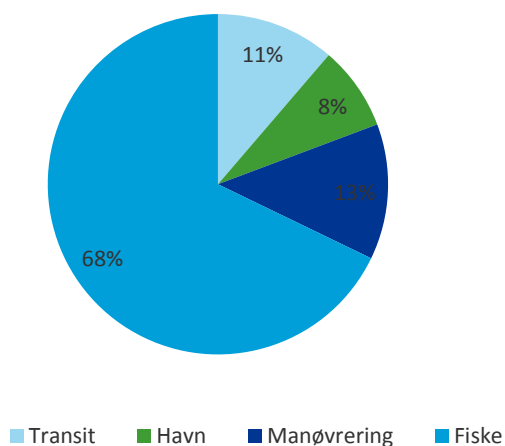
Referanseskipet har en forholdsvis fyldig skrogform, dette for å sikre en god lastekapasitet. Samtidig har fartøyet vanligvis også et behov for hurtig transit til/fra fiske, og er derfor utstyrt med bulb. I tillegg har fartøyet store kraner og vinsjer for å trekke og håndtere trålen.

5.2.5.3 Operasjonsprofil

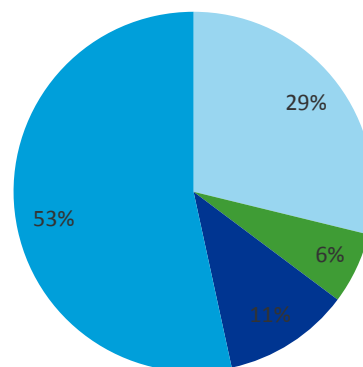
Operasjonsprofilen viser at skipet opererer med svært lave hastigheter og at dette stort sett er når skipet tråler (kan kreve mye kraft, selv om farten er lav). Dette er en typisk operasjonsprofil for trålere, og tiltak som i hovedsak er energieffektiviserende under tråling vil være interessante. Tråleren har, avhengig av sesong og fiske, veldig varierte seilasområder både kystnært og langt til havs..



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser



Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



Figur 5-14: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilen befinner seg langt unna designhastighet, fra 2-7 knop lavere enn designhastigheten for transitoperasjon, dvs. 20-50% lavere. I tråloperasjon er hastigheten 2-4 knop, dvs. 70-80%. Operasjonsprofilen varierer med sesong og fiskeri, og skipet seiler ikke i fast rute. Dette gir dermed mindre forutsigbarhet med tanke på energieffektivisering, bortsett fra det som er knyttet til faste laster og spesifikke operasjonsmodi (som for eksempel tråling). Skipet har lite ballastkapasitet, noe som medfører lite mulighet til å påvirke dypgang og trim, og er i stor grad prisgitt virkning fra mengden fisk om bord samt vann i fisketankene.

De største forbrukerne om bord vil være fryse-/kjøleanleggene for lagring av fisk, og vanlig hydraulikk for ombordtagning av fangst samt trusterne og hotellasten (ventilasjon, kjøling, pumper, osv.). Flere av

hjelpesystemene om bord drives med et hydraulisk system påkoblet hovedmotor. Med mye fisk til frysing og kjøling under tråling, kan disse anleggene representere 10-15 % av skipets totale energiforbruk. Under ombordtagning av fangsten kan hydraulikken i seg selv stå for opp mot 50% av forbruket til skipet. Hotellasten utgjør som regel ca. 5-10 % av det totale energiforbruket for alle modi.

5.2.5.4 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet

I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på en tråler med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk. Kostnad er vist som investeringskostnad;

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale (totalt) / kostnad
1.6 Batterihibridisering (ikke plug-in)	<p>Tråleren vil ha en variert kraftkrevende operasjonsprofil, med spesielt høyt kraftbehov under tråling. Batterihibridisering vil kunne jevne ut store svingninger i effektuttak her, og muligens erstatte bruk av en hjelpemotor i deler av operasjonen, for eksempel mens man i kortere perioder venter, er i havn og mens man tar opp fangst med hydraulikkraften.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Kostnadene for montering og tilpassing vil øke noe, litt avhengig av om det kan gjøres under normal dokking. Reduksjonspotensialet reduseres noe basert på lav mulighet for valg av optimale designparametere på utstyret som berøres av batteriet.</p>	15 % / 10 MNOK
1.7 Variabelt turtall	<p>Hovedmotoren må gå på fast turtall når den produserer strøm, og den må endre vinkelen på propellbladene for å endre farten. Dette fører ofte til redusert propulsjonsvirkningsgrad samt potensielt uoptimal last på motoren. Et likestrømsnett ville muliggjort variabelt turtall på hovedmotoren og optimal kjøring av den, samt mulighet for optimal bruk av den vridbare propellen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	10 % / 10 MNOK
1.9 Akselgenerator med	<p>En akselgenerator med PTO/PTI er svært relevant for fartøy slik som trålere, da de ikke drives rent dieselelektrisk samt tilbringer en forholdsvis liten del</p>	5% / 7 MNOK

PTO/PTI	<p>av tiden i operasjoner hvor det kreves et langt høyere kraftbehov enn øvrig drift, slik som i steaming inn og ut av fiske. Ved å installere og tilrettelegge for utstrakt bruk av PTI i designfasen kan man redusere størrelsen på hovedmaskineriet samtidig som det gjør at snittbelastningen og virkningsgraden på hovedmotoren vil øke. Videre vil man (som per i dag er standard) gjennom bruk av PTO kunne redusere antall generatorer og tiden de opereres, ved at hovedmotoren kjøres jevnere og genererer nødvendig strøm til strømfordelingstavlen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	
---------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering:

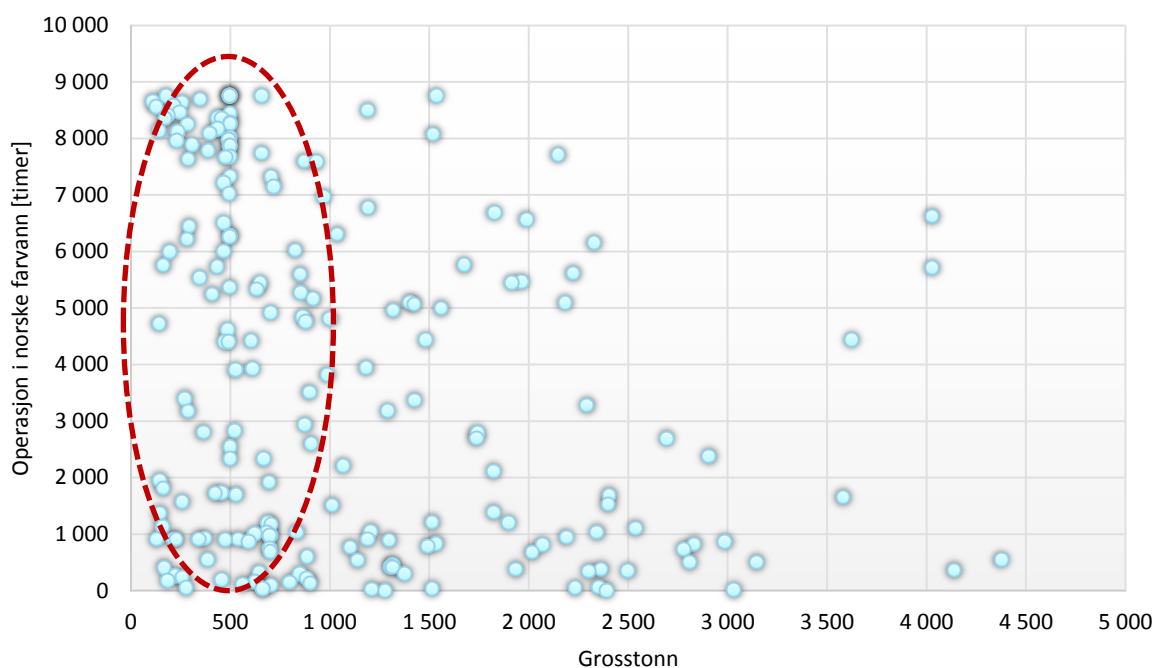
Tiltak	Beskrivelse	Potensiale (totalt) / kostnad
3.3 Frekvensstyrte el-motorer	<p>Hjelpesystemene om bord er designet for å kunne møte det maksimale behovet under ekstreme påkjenninger i form av laster og eksterne effekter (ytterpunkter for luft- og sjøtemperatur). Frekvensstyrte motorer vil imidlertid muliggjøre variabel frekvens for å tilpasse motorbelastningen til det faktiske behovet til enhver tid. Dette vil redusere den totale energien som forbrukes av elektriske motorer betydelig. For fiskefartøy så kan man i prinsippet installere dette for alle elektriske motorer, men vesentlige reduksjoner kan oppnås ved installasjon på utstyr som benyttes ved fangst og lasthåndtering, for eksempel vinsjer og kjøle-/frysemaskineri.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	2 % / 1 MNOK
5.4 Kombinator-	Referanseskipet endrer propellbladvinkelen og motor/propell-turtallet til å endre skyvkraften fra propellen og dermed farten til skipet. Dette skjer	0.75 % / 0 NOK

<p>optimalisering</p>	<p>hovedsakelig ved inn og utseiling, samt manøvrering, når akselgeneratoren ikke tilkoblet. En god kombinatorkurve kan brukes til optimering av disse endringene for å øke propulsjonsvirkningsgraden. Per i dag ikke/benytter ikke de fleste skip slike optimale kombinatorkurver. Her ligger et potensiale avhengig av hvor mye slik seiling skipet har.</p> <p>Samtidig, når skipet er i overfart med akselgeneratoren innkoblet, kjører skipet trolig på fast turtall, og endrer kun propellbladvinkelen for å oppnå fartsendringer. Dette skjer da helt uavhengig av kombinatorkurven. Det ligger i dag en mulighet til ytterligere besparinger for denne operasjon ved å tillate opp til 5% variasjon i frekvensen på elektrisiteten slik at man kan endre både turtallet og bladvinkelen. Det betyr at man i en litt større grad kan følge den optimale til kombinatorkurven også for slike operasjoner. Dette er per i dag ikke standard prosedyre for slike skip.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	
-----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

5.2.6 Andre fiskefartøy

5.2.6.1 Om skipstypen

Basert på AIS data er skip med mye operasjon langs norskekysten blitt identifisert og analysert i kategorien andre fiskefartøy. Med utgangspunkt i utvalget av skip og fordelingen grosstonn versus antall timer er det blitt valgt et referanseskip som ligger innenfor størrelseskategorien 300-700 grosstonn. Dette segmentet inneholder andre fiskefartøy enn standard trålere, slik som sjarker, ringnotfartøy og snurpenotfartøy. Også i dette segmentet ser vi at de mindre fartøyene dominerer, men det finnes også en del store med mye operasjon i norske farvann.



Figur 5-15: Oversikt over andre fiskefartøys med tanke på størrelse og operasjon i norske farvann, samt størrelsesområdet referanseskipet er hentet fra.

Variasjonene innad i dette segmentet kan være veldig store, men det valgte størrelsesområdet består av mange liknende fartøy som er fleksible med tanke på, men den består hovedsakelig av garnfiskende fartøy. For de større skipene endrer også fangstmetodene seg en del, og disse variasjonene kan bety mye for skipets utforming, utstyr og ikke minst operasjonsprofil. Det er relativt standard med én 4-takt hovedmotor med akselgenerator og reduksjonsgir for alle, samt noen hjelpemaskiner og vridbare propeller. Ved endring av størrelse vil det i all hovedsak være en endring av antall motorer og/eller hjelpemaskineri.

Standarddesign er derfor lite utbredt generelt over hele segmentet, men skip på rundt 500 grosstonn er relativt like. Dette handler blant annet om at fangstredskapene her er mer fleksible.

Analysen utført for referanseskipet er følgelig i middels grad representativ for denne store og mangfoldige gruppen fartøy.

5.2.6.2 Beskrivelse av skipet og operasjonsprofilen

Referanseskipet har følgende dimensjoner:

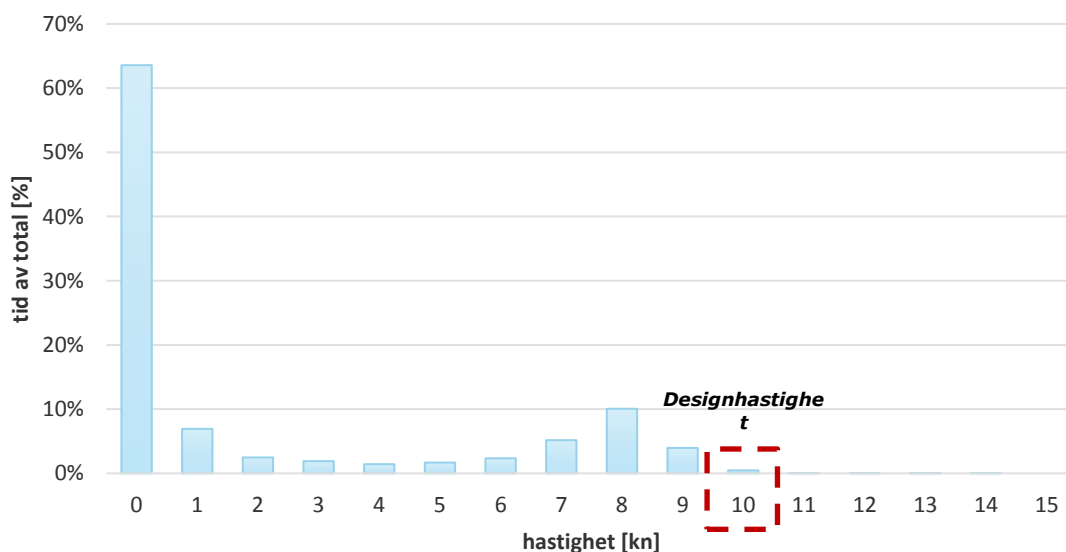
Segment	Type	Størrelse		Maskineri		
		GT	LOA [m]	Beskrivelse	Tot. inst. effekt [kW]	Drivstofftype
Fiskefartøy	Snurper	500	34	1 stk. 4-takt HVM á 0.7 MW 2 stk. 4-takt HJM á 0.4 MW 1 stk. akselgenerator 0.8 MW 2 stk thrustere á 0.5 MW 2 dekkskraner Flere vinsjer	1 500	MGO/MDO

Referanseskipet er et fiskefartøy som hovedsakelig driver med garn- og notfiske, mest kystnært men også lenger ut. Det har typisk én 4-takts hovedmotor med akselgenerator, samt to 4-takts hjelpemotorer. Hovedmotoren er en high speed (1500 rpm) motor og må ha et reduksjonsgir for å oppnå et fornuftig turtall på propellen. Dette giret kan være både et ett- og to-steps gir. I tillegg har den en akselgenerator som produserer strøm, og to thrustere som hjelper skipet under manøvrering og i enkelte operasjonsmoduser i forbindelse med fising.

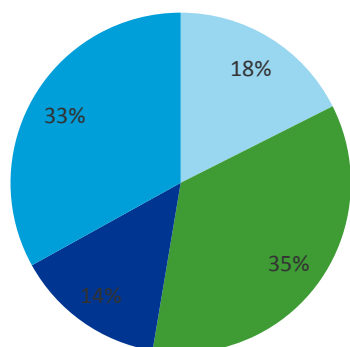
Referanseskipet har en forholdsvis fyldig skrogform, dette for å sikre en god lastekapasitet. Samtidig har fartøyet vanligvis også et behov for hurtig transit til/fra fiske, og er utstyrt med bulb. I tillegg har det både kraner og vinsjer for å trekke og håndtere fiskeredskaper.

5.2.6.3 Operasjonsprofil

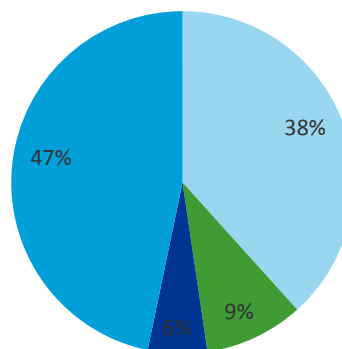
De mindre fiskefartøyene har sesongbetont drift, med mye tid i venteliggende i havn. Skipet ligger altså mye stille, men også en hel del tid i gange til/fra felt i høyere hastigheter. Ved fiske (garn/not) er det mye operasjon i lave hastigheter. Utover operasjonsprofilen som er vist under, er fartøyet mer eller mindre inaktivt i deler av året, så total operasjonstid per år er lavt. Aktivitetsnivå og operasjonsprofil varierer ellers med kvoter og type fiskeriaktivitet.



Tid brukt i ulike operasjonsmoduser



Drivstofforbruk i ulike operasjonsmoduser



■ Transit ■ Havn ■ Manøvrering ■ Fiske

Figur 5-16: Operasjonsprofil med hensyn på hastighetsfordeling, andel tid per operasjonsmode, andel drivstofforbruk per operasjonsmode.

Operasjonsprofilen befinner seg langt unna designhastighet, alt fra 1-3 knop lavere enn designhastigheten for transitoperasjon, dvs 10-30% lavere. For fiske, som er en vesentlig del av operasjonstiden, er belastningen på hovedmotoren opp til 70% lavere enn i transit, og fartøyet har som så et relativt mye mindre energiforbruk her, sammenliknet med transport til og fra felt.

Skipets operasjonsprofil er også svært sesongbasert og varierende, og skipet seiler ikke i fast rute. Dette gir mindre forutsigbarhet med tanke på energieffektivisering annet enn mot det som er knyttet til faste laster og spesifikke operasjonsmodi. Skipet har lite ballastkapasitet, noe som medfører lite mulighet til å påvirke dypgang og trim, som i stor grad er prisgitt virkning fra mengden fisk om bord samt vann i fisketanker.

De største forbrukerne om bord vil være sirkulasjonspumper for lasterom, fryse-/kjøleanleggene for lagring av fisk, og trusterbruk og hydraulikk ved utsetting av utstyr og ombordtagning av fangst. Flere av hjelpesystemene om bord drives med et hydraulisk system påkoblet hovedmotor. Oppvarming og hotellast (ventilasjon, kjøling, pumper, osv.) er de største forbrukerne deretter. Bare energibehovet til hydraulikk under fiske kan representere 50% av all totalforbruket i denne operasjonsmodien.

5.2.6.4 Fremhevede teknologier og tiltak for energieffektivitet


I tabellen under er tiltak og teknologier som kan være spesielt interessante på en tråler med hensyn til kriteriene. Reduksjonspotensialet som er vist er av totalt drivstofforbruk. Kostnad er vist som investeringskostnad;

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale (totalt) / kostnad
1.6 Batterihibridisering (ikke plug-in)	<p>Fiskefartøyet vil ha en variert kraftkrevende operasjonsprofil, med spesielt høyt kraftbehov under fiske fra hydraulikk og trusterbruk til manøvrering. Batterihibridisering vil kunne jevne ut store svingninger i effektuttak her, og muligens erstatte bruk av en hjelpemotor i deler av operasjonen, for eksempel mens man i kortere perioder venter, er i havn og mens man tar opp fangst med hydraulikkraften.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Kostnadene for montering og tilpassing vil øke noe, litt avhengig av om det kan gjøres under normal dokking. Reduksjonspotensialet reduseres noe basert på lav mulighet for valg av optimale designparametere på utstyret som berøres av batteriet.</p>	15 % / 10 MNOK
1.7 Variabelt turtall	<p>Hovedmotoren må gå på fast turtall når den produserer strøm, og den må endre vinkelen på propellbladene for å endre farten. Dette fører ofte til redusert propulsjonsvirkningsgrad samt potensielt uoptimal last på motoren. Et likestrømsnett ville muliggjort variabelt turtall på hovedmotoren og optimal kjøring av den, samt mulighet for optimal bruk av den vridbare propellen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	10 % / 10 MNOK
1.9 Akselgenerator med PTO/PTI	<p>En akselgenerator med PTO/PTI er svært relevant for referanseskipet og tilsvarende fartøy, da det ikke drives rent dieselelektrisk samt tilbringer kun en liten del av tiden i operasjoner hvor det kreves et langt høyere kraftbehov enn øvrig drift, slik som i steaming inn og ut av fiske. Ved å installere og tilrettelegge for utstrakt bruk av PTI i designfasen kan man redusere størrelsen på hovedmaskineriet samtidig som det gjør at snittbelastningen og</p>	7.5% / 5 MNOK

	<p>virkningsgraden på hovedmotoren vil øke. Videre vil man (som per i dag er standard) gjennom bruk av PTO kunne redusere antall generatorer og tiden de opereres ved at hovedmotoren kjøres jevnere og genererer nødvendig strøm til strømfordelingstavlen.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket er ikke ansett som gjeldende for ettermontering på grunn av for kompliserte og dyre ombygginger.</p>	
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Andre tiltak som enten krever mer inngripen fra mannskap, har lavere reduksjonspotensiale eller har andre karakteristika som representerer barriere for investering:

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale (totalt) / kostnad
<p>3.3</p> <p>Frekvensstyrte el-motorer</p>	<p>Hjelpesystemene om bord er designet for å kunne møte det maksimale behovet under ekstreme påkjenninger i form av laster og eksterne effekter (ytterpunkter for luft- og sjøtemperatur). Frekvensstyrte motorer vil imidlertid muliggjøre variabel frekvens for å tilpasse motorbelastningen til det faktiske behovet til enhver tid. Dette vil redusere den totale energien som forbrukes av elektriske motorer betydelig. For fiskefartøy så kan man i prinsippet installere dette for alle elektriske motorer, men vesentlige reduksjoner kan oppnås ved installasjon på utsyr som benyttes ved fangst og lasthåndtering, for eksempel vinsjer og kjøle-/frysemaskineri.</p> <p><i>Kommentar vedrørende ettermontering:</i></p> <p>Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.</p>	<p>2 % /</p> <p>800 kNOK</p>
<p>5.5</p> <p>Kombinator-optimalisering</p>	<p>Referanseskipet benytter i forskjellige kombinasjoner endring av propellbladvinkelen samt motor/propell-turtallet til å endre skyvkraften fra propellen og dermed farten til skipet. Ved inn og utseiling er ikke akselgeneratoren tilkoblet og en god kombinatorkurve kan brukes til optimering av propellbladens vinkel for å øke propellens virkningsgrad. Dette gjøres trolig ikke i dag.</p>	<p>0.75 % /</p> <p>0 NOK</p>



<p>I overfart med akselgeneratoren innkoblet kjører skipet trolig på fast turtall og endrer kun propellbladvinkelen for å oppnå fartsendringer, uavhengig av kombinatorkurven. Dog ligger det en mulighet til ytterligere besparinger ved å tillate opp til 5% variasjon i frekvensen på elektrisiteten slik at man kan endre turtallet og bladvinkelen til en litt større grad i henhold til kombinatorkurven. Dette er per i dag ikke standard prosedyre for slike skip.</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Kommentar vedrørende ettermontering:

Dette tiltaket gjelder like mye for nybygg som ettermontering og har samme kostnad og potensiale.

5.3 Potensiale for energieffektivisering for utvalgte teknologier

Dette kapitlet representerer siste steg prioriteringstrakten presentert i

Figur 5-1 på side 85 og belyser hvilke teknologier som er mest lovende, når flere skip og skipssegmenter vurderes samlet, men som av ulike årsaker likevel ikke uten videre vil betraktes som bedriftsøkonomisk lønnsomme.

Det trekkes frem de teknologiene som har et særlig stort potensiale for utslippsreduksjon for norsk innenriks skipsfart, og som samtidig ikke er i utstrakt bruk i dag. Videre omtales potensialet for reduksjoner i innenriksfarten, før de sentrale grunnene (eller barrierene) som hindrer en videre utbredelse av tiltakene diskuteres.

ID	Teknologinavn	Fiske		Offshore	Bulk/tank	Stykkogods	
		Tråler	Andre	PSV	Oljetanker	Containerer	Stykkogods
Fremhevede	1.5 Eksoskjeler på hjelpemotorer				✓		
	1.6 Batterihybridisering	✓	✓	✓		✓	✓
	1.7 Variabelt turtall	✓	✓	✓		✓	✓
	1.9 Akselgenerator med PTO/PTI	✓	✓				
	1.12 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon				✓		
Andre	2.1 Luftboblesmøring				✓	✓	
	3.1 Optimalisering av lasthåndteringssystemer				✓		
	3.3 Frekvensstyrte el-motorer	✓	✓				
	5.5 Kombinatoroptimalisering	✓	✓	✓		✓	✓
	5.6 Trim- og dypgangsoptimering			✓	✓	✓	✓

Figur 5-17 Teknologier som er fremhevet på grunn av sitt potensiale for referanseskipene.

Basert på en gjennomgang av de i alt 10 fremhevede teknologiene for de utvalgte referanseskipene i kapittel 5.2, se Figur 5-17 ovenfor, gjøres det i videre analyse en generalisering for skipsflåten diskutert i kapittel 4. Det trekkes frem teknologier som:

- Har et særlig stort potensiale for utslippsreduksjoner på flåtenivå - alene eller i en pakke sammen med andre tiltak - sett på tvers av alle skipssegmenter
- I mange tilfeller ikke vil være lønnsomme i dag
- Er teoretisk lønnsomme, men ikke utbredt pga andre barrierer – f.eks. stor usikkerhet i effekten av tiltaket

Med utgangspunkt i disse kriteriene fremheves følgende teknologier som særlig aktuelle:

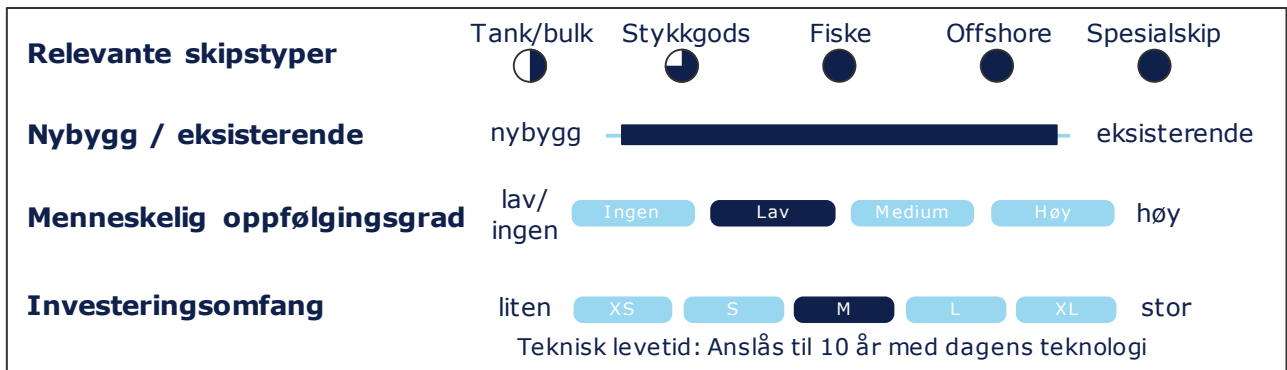
1. Batterihybridisering
2. Variabelt turtall
3. Akselgenerator med PTO/PTI
4. Luftboblesmøring

Videre estimeres reduksjonspotensiale for den norske trafikken, før det diskuteres barrierer som i dag hindrer en videre utbredelse av tiltakene.

5.3.1 Batterihybridisering

Batterihybridisering er forventet å ha et bredt bruksområde og kan brukes på alle typer skip uavhengig av størrelse og type. Det ses på som særlig relevant og effektivt for fartøystyper som kjennetegnes av variert og kraftkrevende operasjonsmønster, hvor batteriløsningen kan bidra til fremdriftsstøtte og optimalisering av motorlast på hovedmaskineri.

5.3.1.1 Nøkkelinformasjon



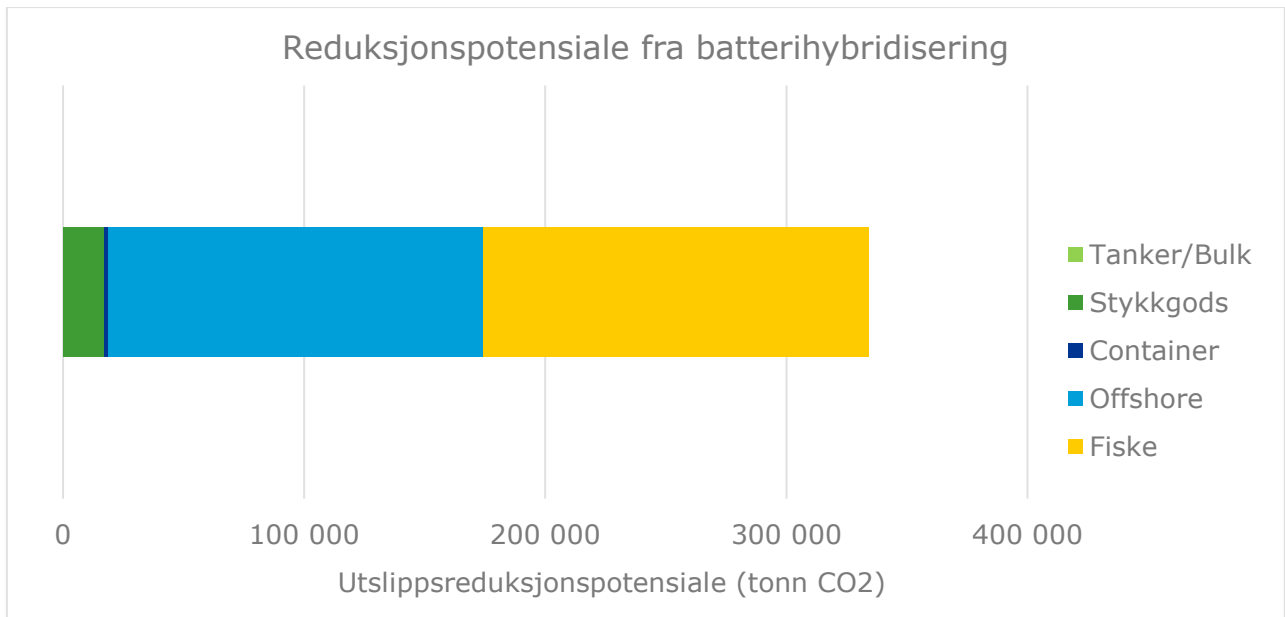
Figur 5-18: Nøkkelinformasjon – batterihybridisering

5.3.1.2 Potensial for reduksjon

Analysene i kapittel 5.2 viser med tydelighet at batterihybridisering har et stort potensiale i å bidra til energieffektivisering for de skipene som har en betydelig variasjon av motorlast; typisk offshore skip, andre spesialskip og fiskefartøy. Samtidig viser analysen at også andre skipssegmenter, f.eks. blant lasteskipene, kan ha stort utbytte av batterihybridisering. Dette knytter seg i hovedsak til operasjon av kraner og pumper etc. med energigjenvinning, men også som lastutjevner (peak-shaving) på hovedmaskineri og på kjøle-/frysecontainere, som som kraftkilde/lasteutjevner ved havneoperasjon. Selv om besparelsene på enkeltskipsnivå i seg selv ikke er store, kan potensialet likevel være stort pga samlede store utslipp fra de aktuelle skipssegmentene. Figur 5-19 viser et grovt anslag på det samlede potensiale for utslippsreduksjon i norks innenriks skipsfart som batterihybridisering kan bidra med.

Vi har brukt reduksjonsprosenten angitt for tiltaket for det gitte referanseskipet i kapittel 5.2, og multiplisert dette med dagens innenriks CO2 utslipp fra det skipssegmentet som referanseskipet representerer, gitt i kapittel 4.2. Tallet forutsetter altså at referanseskipene fra kapittel 5.2 er representative for sine respektive skipssegmenter. Tallet impliserer videre en 100 % implementering i dagens flåte, uten hensyn til kostnader, tidshorison, utskiftninger i flåten eller andre praktiske hensyn.

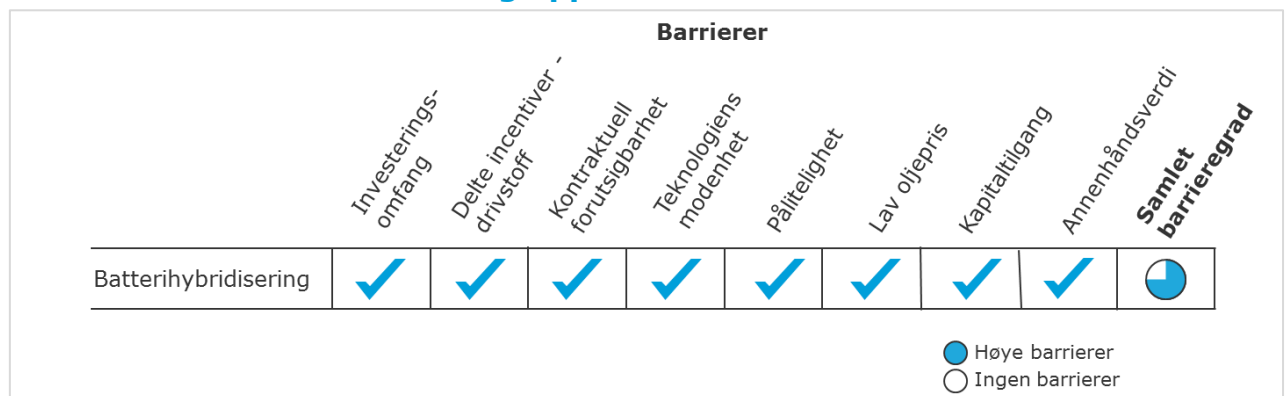
Figuren indikerer at en samlet vil kunne oppnå effekter i størrelsesorden 330,000 tonn CO2 gjennom batterihybridisering. Dette er ikke ment som et presist anslag, men som et grunnlag for å sammenligne hvordan de fremhevede teknologiene kan påvirke utslippet fra flåten i norsk innenriksfart.



Figur 5-19: Indikativt reduksjonspotensiale fra batterihybridisering i norsk innenriks skipsfart.


Som figuren viser er det i hovedsak for offshore og fiske man kan oppnå de største besparelsene med hybridiseringsteknologi, men lasteskipene representerer også et visst potensiale. Tiltaket kan være særlig effektivt når det sees i sammenheng med landstrøm, noe som gir rom for ladbare hybridløsninger (inkludert for havne/lasteoperasjon) og ytterligere besparelser, og samtidig mulighet for «grønt drivstoff» i form av strøm fra den nordiske elektrisitetsmiksen.

5.3.1.3 Barrierer for teknologiopptak



Figur 5-20 Batterihybridisering - barrierer for teknologiopptak

Hybridisering har i dag en økende utbredelse i den maritime næringen og ses på som spesielt interessant på bl.a. offshore skip som har mye DP-operasjon (og ferger m.m. som ikke omfattes av denne rapporten). Her er effekten godt dokumentert, og lønnsomheten vil i de fleste tilfeller være god dersom batteriet kan avlaste/støtte det konvensjonelle maskineriet i betydelig grad. For andre skipstyper, eksempelvis



bulkskip og containerskip er imidlertid utbredelsen minimal. Tiltaket er også mest anvendbart på skip med dieselelektrisk fremdrift, noe som er mindre vanlig på lasteskip.

Dette skyldes til dels at teknologien er uprøvd i denne anvendelsen, samt at lønnsomheten av tiltaket er mer marginal. Utbredelsen i offshoresegmentet er også størst blant nybygg – men det er likevel et interessant potensiale for ettermontering (installasjon på eksisterende skip).

Kostnadmessig ser man utfordringer knyttet til de store installasjonskostnadene (CAPEX) for hybridiseringsanlegg, spesielt i segmenter med begrenset kapitaltilgang. De siste årenes nedgang i oljepris har rammet offshorenæringen hardt med lavere dagrater og større kamp om kontraktene. Dette gjør at det i enda større grad vil være krevende å forsvare store investeringer. I fiskerinæringen er det ikke de samme utfordringene knyttet til markedsnedgang, men samtidig er det en næring med lavere omsetning per reder og mindre muligheter for å «eksperimentere» med ny teknologi.

For enkelte segmenter, spesielt offshoreskip, kan også kontraktuelle barrierer hindre utbredelse. Typisk vil rederen – som må ta investeringen i teknologien – ikke være den som betaler drivstoffregningen. Den betales av charterer (kjøper av skipets tjenester – typisk oljeselskapet). Dette gjør det vanskelig for rederen å få tilbakebetalt en investering, uten ytterligere kontraktsfestede insentivordninger eller fordelingsnøkler. Generelt sett vil det i slike tilfeller være vanskelig å forsvare investeringer i både tekniske og energieffektive tiltak generelt sett da man i liten grad vil se den økonomiske gevinsten selv (bortsett fra redusert vedlikehold).

For fiskefartøy er det imidlertid rederen selv som vil dra fordel av lavere drivstoffregning, og kan dermed lettere forsvare investeringer som reduserer fuelforbruket.

Videre kan kontraktenes varighet og forutsigbarhet innenfor segmentet gjøre det utfordrende å investere i kostbar teknologi. For spot-virksomhet eller oppdrag på kortsiktige kontrakter kan det derfor oppleves stor risiko knyttet til investering i batteriteknologi, da fremtidens trade og operasjonsråde ikke er fastsatt. Her finnes det imidlertid modeller for deling av gevinster, kostnader og risiko mellom aktører, for eksempepl gjennom leasing.

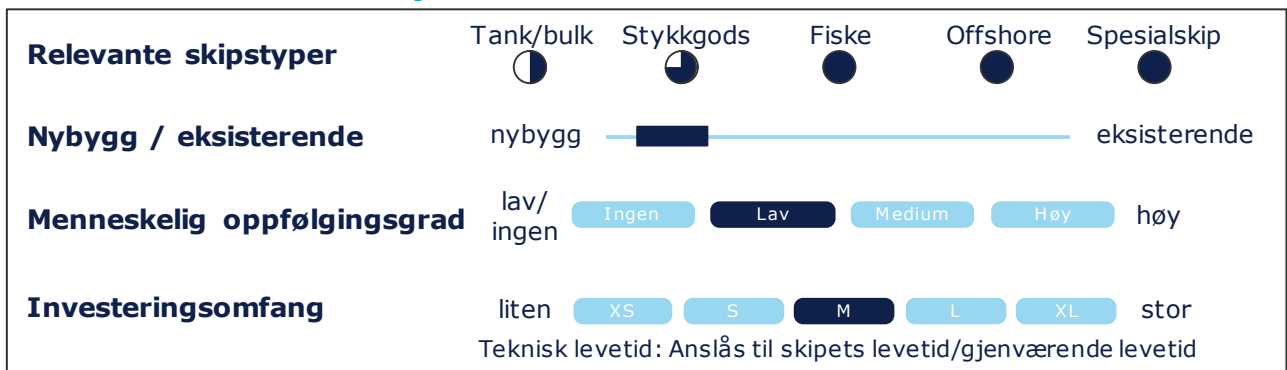
Selv om batteriteknologien oppleves som velprøvd og etablert, er maritim anvendelse av et slikt omfang ny og fremmed for de fleste. Det har vært enkelte ulykker og sikkerhetsbrister relatert til batteribranner og bortfall av propulsjonskraft. Dette fører med seg en viss grad av usikkerhet og delvis ubegrunnet skepsis, knyttet til sikkerhet og pålitelighet segmentet. Det er imidlertid i dag forventet at sikkerheten og påliteligheten ved bruk av batterier blir helt på høyde med konvensjonelle løsninger.

For hybridiseringskonsepter som involverer lading fra land, vil også forholdet mellom strømpris og MGO være avgjørende for opptaket. I perioder med lav oljepris og høy strømpris vil lønnsomheten falle og det vil være vanskeligere å forsvare kapitalintensive investeringer.

5.3.2 Variabelt turtall

For å gjøre dieselelektriske systemer mer fleksible og energieffektive er det utviklet ulike konsepter som faciliterer variabelt turtall på produsentene i maskinerioppsett. I motsetning til i et AC-nett med fast frekvens, kan motorer og generatorer i et likestrømsnett (DC) operere på variabelt turtall og last, da en likeretter sørger for at foretrukket spenning leveres til DC-nettet. I tillegg til DC-distribusjon finnes det en variabel variant av AC-distribusjon bl.a. benyttet på fiskefartøy, med mye av de samme egenskapene og potensialet som DC-distribusjon. Analysen nedenfor er basert på bruk av DC-nett.

5.3.2.1 Nøkkelinformasjon



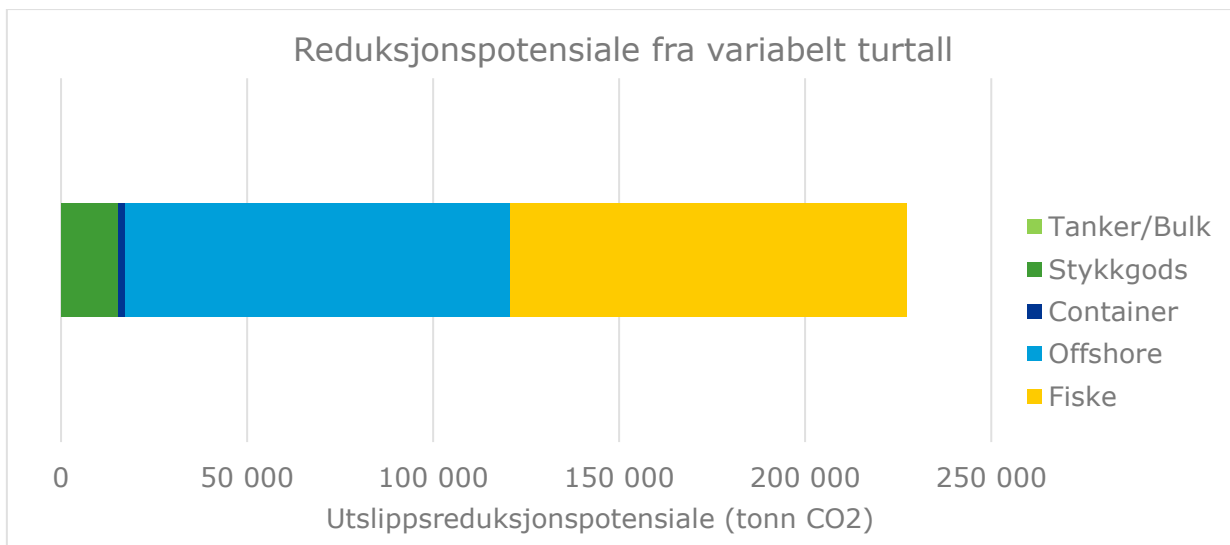
Figur 5-21: Nøkkelinformasjon - variabelt turtall

5.3.2.2 Potensial for reduksjon

Som indikert tidligere i rapporten gir variabelt turtall et stort potensial for besparelser. Forutsetninger er at skipene er utstyrt med dieselelektriske systemer med installert effekt mindre enn 20,000 kW (gjelder DC-nett). I tråd med Figur 5-22, viser tiltaket størst bidrag i innenrikstrafikken for fiske- og offshore, men gir også betydelig potensiale for besparelser blant lasteskipene. Figur 5-22 viser et grovt anslag på det samlede potensiale for utslippsreduksjon i norsk innenriks skipsfart som tiltaket kan bidra med.

Vi har brukt reduksjonsprosenten angitt for tiltaket for det gitte referanseskipet i kapittel 5.2, og multiplisert dette med dagens innenriks CO2 utslipp fra det skipssegmentet som referanseskipet representerer, gitt i kapittel 4.2. Tallet forutsetter altså at referanseskipene fra kapittel 5.2 er representative for sine respektive skipssegmenter. Tallet impliserer videre en 100 % implementering i dagens flåte, uten hensyn til kostnader, tidshorisont, utskiftninger i flåten eller andre praktiske hensyn.

Figuren indikerer at en samlet vil kunne oppnå effekter i størrelsesorden 220,000 tonn CO2 gjennom tiltaket. Dette er ikke ment som et presist anslag, men som et grunnlag for å sammenligne hvordan de fremhevede teknologiene kan påvirke utslippet fra flåten i norsk innenriksfart.



Figur 5-22: Indikativt reduksjonspotensiale fra variabelt turtall i norsk innenriks skipsfart.

Det vil være naturlig å se dette tiltaket i sammenheng med hybridisering, da samlet effekt av begge tiltakene vil forsterkes dersom begge teknologiene tas i bruk.

5.3.2.3 Barrierer for teknologiopptak

	Barrierer								
	Investerings- omfang	Delte incentiver - drivstoff	Kontraktuell forutsigbarhet	Teknologiens modenhet	Pålitelighet	Lav oljepris	Kapitaltilgang	Annenhåndsverdi	
Likestrømsnett og variabelt turtall	✓	✓	✓			✓	✓		◐

● Høye barrierer
○ Ingen barrierer

Figur 5-23 Likestrømsnett og variabelt turtall - barrierer for teknologiopptak

Installasjon av DC-nett og likestrømsløsninger krever betydelige kapitalinvesteringer på skipssiden og vil for enkelte segmenter utgjøre en vesentlig del av den totale skipskostnaden. I slike segmenter vil det være utfordrende å forsvare investeringsomfanget såfremt man ikke ser god lønnsomhet gjennom reduserte drivstoff- og vedlikeholdskostnader.

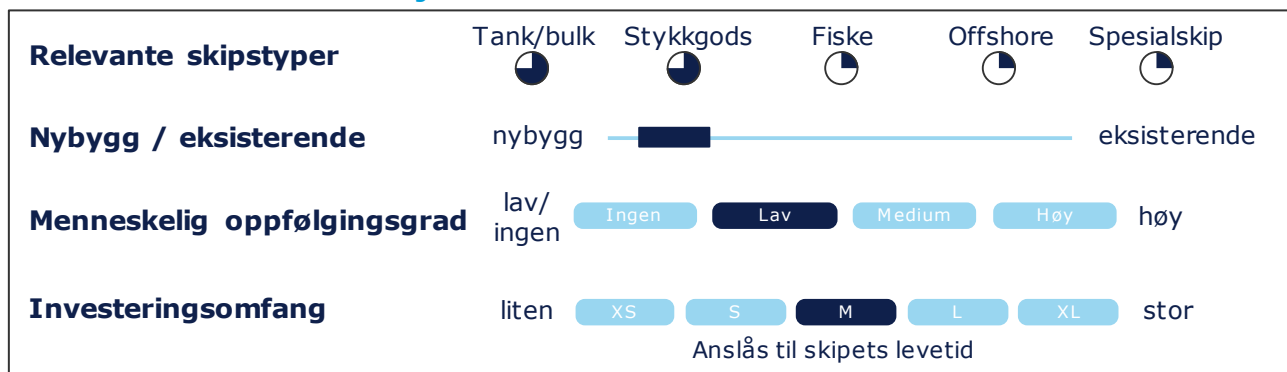
Som for hybridisering, hvor offshore og fiske også er de to mest aktuelle segmentene, vil det være de samme kontraktuelle barrierene som kan hindre/reducere teknologiopptaket i offshoresegmentet. Samtidig vil man potensielt se et naturlig skifte mot denne type teknologi da fordelene fremstår åpenbare og realiserbare, og krever liten grad av aktiv oppfølging når tiltaket er installert.

Tiltaket er i all hovedsak relevant for nybygg, og vil vanskelig kunne ettermonteres uten omfattende endringer på maskinerioppsettet. I dagens marked med lite nybyggsaktivitet på verftene, vil det være gode muligheter for å spesialtilpasse/utruste skipene utover normal spesifisering, og mest sannsynlig oppnå gode priser på systemet.

5.3.3 Luftboblesmøring

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

5.3.3.1 Nøkkelinformasjon



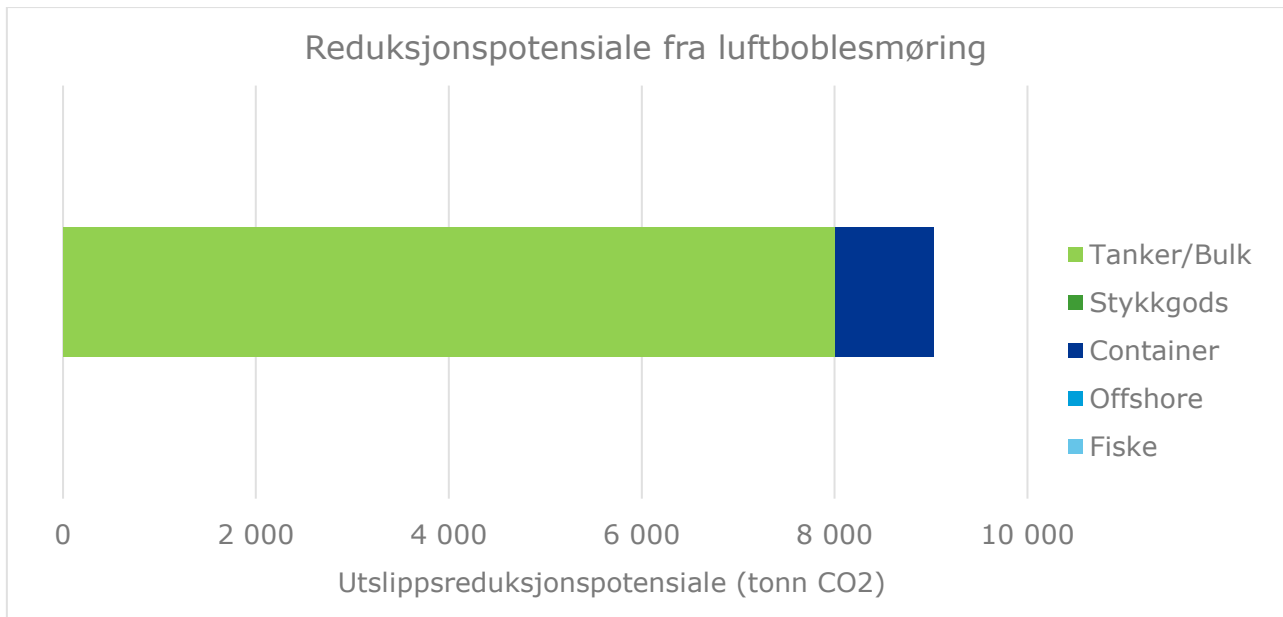
Figur 5-24: Nøkkelformasjon – luftboblesmøring

5.3.3.2 Potensial for reduksjon

Luftboblesmøring har liten utbredelse i skipsfarten selv om leverandørene av slike systemer hevder reduksjoner mellom 15-40% av den totale friksjonsmotstanden. Figur 5-25 viser et grovt anslag på det samlede potensiale for utslippsreduksjon i norks innenriks skipsfart som tiltaket kan bidra med.

Vi har brukt reduksjonsprosenten angitt for tiltaket for det gitte referanseskipet i kapittel 5.2, og multiplisert dette med dagens innenriks CO2 utslipp fra det skipssegmentet som referanseskipet representerer, gitt i kapittel 4.2. Tallet forutsetter altså at referanseskipene fra kapittel 5.2 er representative for sine respektive skipssegmenter. Tallet impliserer videre en 100 % implementering i dagens flåte, uten hensyn til kostnader, tidshorison, utskiftninger i flåten eller andre praktiske hensyn.

Figuren indikerer at en samlet vil kunne oppnå effekter i størrelsesorden 15,000 tonn CO2 gjennom tiltaket. Dette er ikke ment som et presist anslag, men som et grunnlag for å sammenligne hvordan de fremhevede teknologiene kan påvirke utslippet fra flåten i norks innenriksfart.



Figur 5-25: Indikativt reduksjonspotensiale fra luftboblesmøring i norsk innenriks skipsfart for omtalte referanseskip.

5.3.3.3 Barrierer for teknologioptak


	Barrierer								
	Investerings- omfang	Delte incentiver - drivstoff	Kontraktuell forutsigbarhet	Teknologiens moderighet	Pålitelighet	Lav oljepris	Kapitaltilgang	Annenhåndsverdi	Samlet barrieregrad
Luftboblesmøring	✓			✓	✓	✓	✓	✓	⊙

● Høye barrierer
 ○ Ingen barrierer

Figur 5-26 Luftboblesmøring - barrierer for teknologioptak

Installasjon av anlegg for luftboblesmøring krever relativt store kapitalinvesteringer på skipssiden og estimeres til om lag 2-3% av den totale kostnaden for nybygget. For stykkgodsskip, som kjennetegnes av eldre skip og lave økonomiske marginer, er det utfordrende å forsvare investeringer i ny, dyr teknologi uten garantier for resultatet.

Tiltaket har i dag svært liten utbredelse i markedet og vil av enkelte oppfattes som omdiskutert og umodent. Det stilles også spørsmål rundt potensiale for reduksjoner for et seilende skip med variert drift. Den generelle skepsisen kan skyldes begrenset kunnskap på området og få/ingen aktuelle referanser i det aktuelle segmentet.



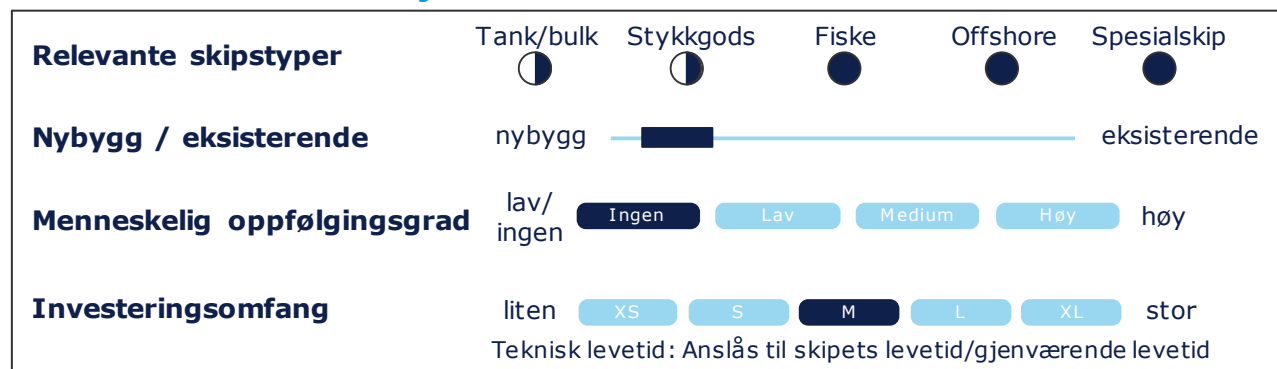
Avhengig av kontraktsform skipet er inngått på vil man kunne ha gode incentiver som reder, for å redusere drivstofforbruket gjennom implementering av tiltaket.

Tiltaket er i all hovedsak relevant for nybygg, og vil vanskelig kunne ettermonteres uten omfattende endringer på maskineroppsettet. I dagens marked med lite nybyggsaktivitet på verftene vil det være gode muligheter for å spesialtilpasse/utruste skipene utover normal spesifisering, og samtidig oppnå gode priser på systemet.

5.3.4 Akselgenerator med PTO/PTI

Et alternativ til bruk av generatorkraft fra hjelpemotorer, kan elektrisk kraft genereres ved hjelp av en akselgenerator som omdanner mekanisk energi fra hovedmotorens motoraksling til elektrisk energi. Besparselsen oppnås ved at det spesifikke drivstofforbruket (g/kWh) er betydelig lavere på hovedmaskineriet enn på hjelpemaskineriet, og dermed bør anvendes i størst mulig grad.

5.3.4.1 Nøkkelinformasjon



Figur 5-27: Nøkkelinformasjon - akselgenerator med PTO/PTI

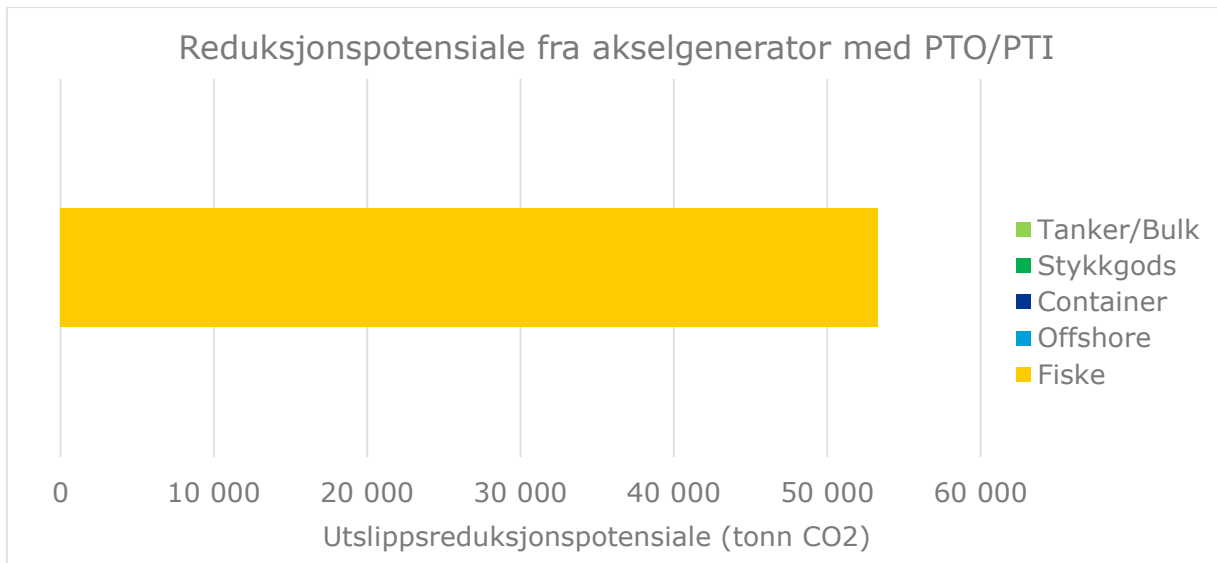
5.3.4.2 Potensial for reduksjon

Bruk av akselgenerator med PTO/PTI er svært relevant for fartøy som ikke drives rent dieselelektrisk og som tilbringer deler av tiden i operasjoner hvor det kreves et langt høyere kraftbehov enn øvrig drift. Ved å installere og tilrettelegge for utstrakt bruk av PTI i designfasen kan man redusere størrelsen på hovedmaskineriet samtidig som man effektivt oppfyller eventuelle krav til redundans og manøvreringsikkerhet. Videre vil man gjennom bruk av PTO kunne redusere antall generatorer og tiden de opereres ved at hovedmotoren kjøres jevnere og genererer nødvendig strøm til strømfordelingstavlen.

Figur 5-28 viser et grovt anslag på det samlede potensiale for utslippsreduksjon i norks innenriks skipsfart som tiltaket kan bidra med.

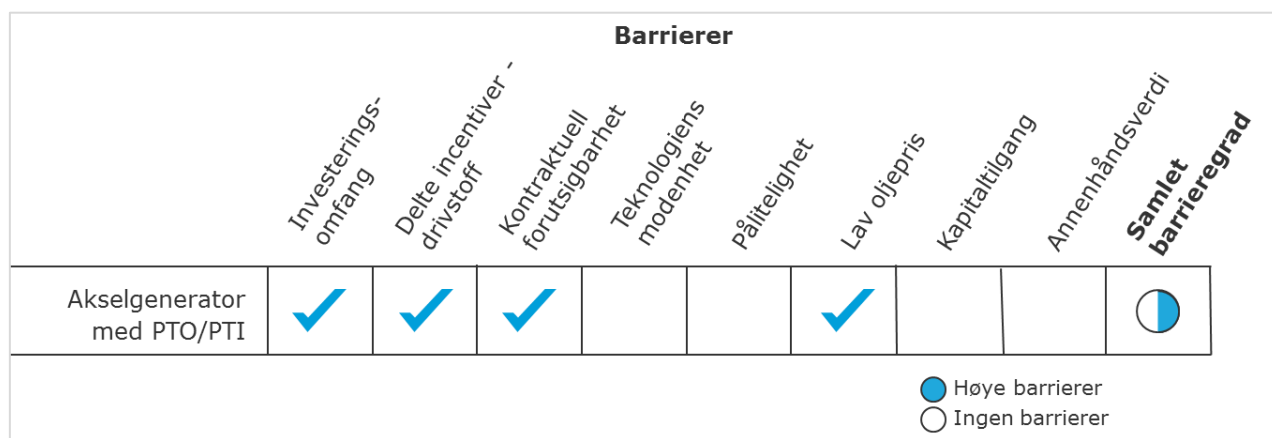
Vi har brukt reduksjonsprosenten angitt for tiltaket for det gitte referanseskipet i kapittel 5.2, og multiplisert dette med dagens innenriks CO2 utslipp fra det skipssegmentet som referanseskipet representerer, gitt i kapittel 4.2. Tallet forutsetter altså at referanseskipene fra kapittel 5.2 er representative for sine respektive skipssegmenter. Tallet impliserer videre en 100 % implementering i dagens flåte, uten hensyn til kostnader, tidshorisont, utskiftninger i flåten eller andre praktiske hensyn.

Figuren indikerer at en samlet vil kunne oppnå effekter i størrelsesorden 52,000 tonn CO2 gjennom tiltaket. Dette er ikke ment som et presist anslag, men som et grunnlag for å sammenligne hvordan de fremhevede teknologiene kan påvirke utslippet fra flåten i norks innenriksfart. Det gjøres oppmerksom på at det også vil ha relevans i offshoresegmentet, men er ikke inkludert her på bakgrunn av referanseskipets maskinerioppsett for offshore med dieselelektrisk fremdrift.



Figur 5-28: Reduksjonspotensiale fra akselgenerator med PTO/PTI i norsk innenriks skipsfart for omtalte referanseskip.

5.3.4.3 Barrierer for teknologiopptak




Figur 5-29 Akselgenerator med PTO/PTI - barrierer for teknologiopptak

Som for batterihybridisering, hvor offshore og fiske også er de to mest aktuelle segmentene, vil det være de samme kontraktuelle barrierene som kan hindre/reducere teknologiopptaket i offshoresegmentet. Akselgenerator med PTO/PTI er imidlertid i større grad etablert og teknisk moden sammenliknet med batterihybridisering og likestrømsnett.

Det høye investeringsnivået anses som den fremste barrieren for implementering. Teknologien er kostbar og vil, spesielt for små fiskefartøy, være betydelig. Samtidig vil all gevinst tilfalle rederen, og dermed fungere som et insentiv for implementering.

Enkelte fiskefartøy med lite operasjonelle variasjoner og et stabilt kraftbehov vil imidlertid ha begrenset nytte og effekt av teknologien.



Tiltaket er i all hovedsak relevant for nybygg, og vil vanskelig kunne ettermonteres uten omfattende endringer på maskinerioppsettet. I dagens marked med lite nybyggsaktivitet på verftene vil det være gode muligheter for å spesialtilpasse/utruste skipene utover normal spesifisering, og samtidig oppnå gode priser på systemet.

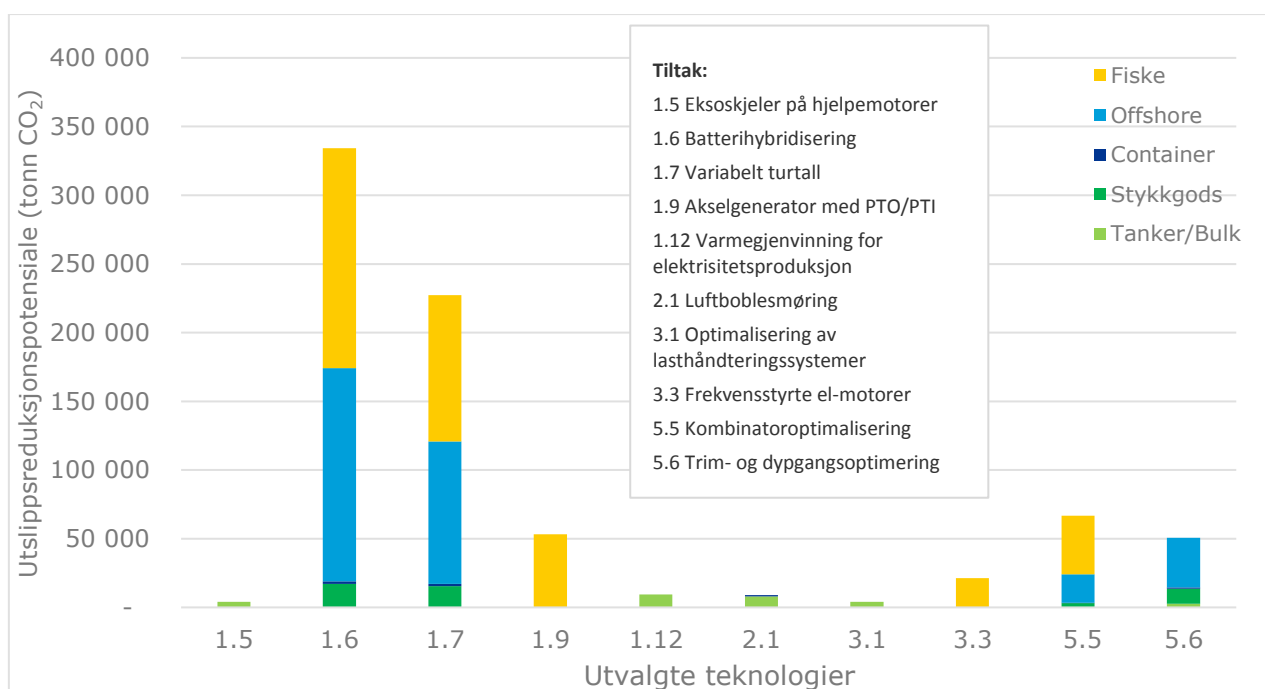
6 MULIG MARKEDSENDRING GJENNOM STØTTE FRA VIRKEMIDDELAPPARATET

Utvalget som er gjort i hvert trinn av analysen i denne rapporten har muliggjort en detaljert beskrivelse og diskusjon av et mindre utvalg teknologier/tiltak på bekostning av den fulle bredden av teknologier/tiltak. Dette er gjort av ressursmessig og praktiske hensyn. Utvalget er gjort på bakgrunn av de spesifikke utvelgelseskriteriene formulert i hvert kapittel av rapporten, og er basert på de tilgjengelige faktiske opplysningene om tiltakene og bruken av disse. Utvalget må sees i lys av prosjektets overordnede formål, og de utvalgte teknologiene/tiltakene må ikke anses som en fasit over de «best egnede» eller «beste» eller «viktigste» mulighetene på generell basis. Utvalget av de fremhevede teknologiene må heller ikke forstås dithen at andre tiltak ikke kan være av interesse for Enova og til nytte for redere.

I dette kapitlet oppsummeres hvilke teknologier/tiltak som har særlig potensiale for energieffektivisering på skip, og der barrierene for teknologi-/tiltaksopptak er av en slik art at markedsendringer og økt opptak av teknologien/tiltaket ikke nødvendigvis vil skje uten støtte fra virkemiddelapparatet.

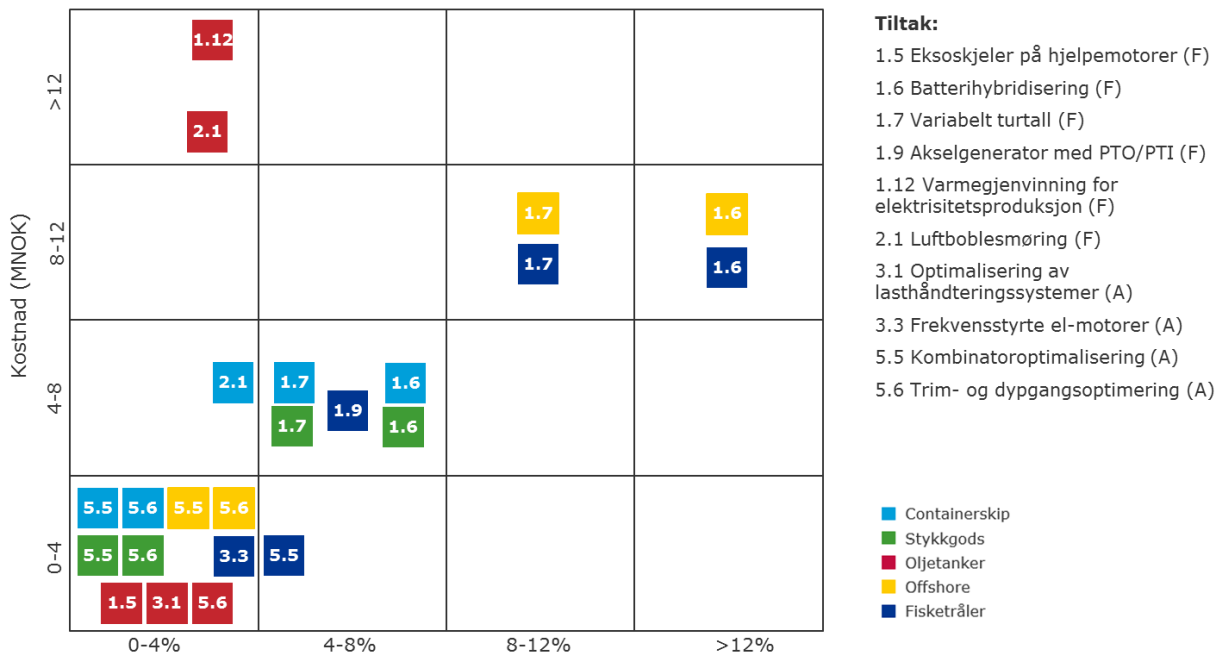
I foregående kapitler er ulike teknologiers/tiltaks potensiale for energieffektivisering identifisert og vurdert opp mot de betydeligste skipssegmentene, når det gjelder drivstofforbruk i norske farvann og for skip som har betydelig trafikk på norske havner. Dette gir et bilde av det samlede potensialet for denne flåten.

Det er trukket frem 10 teknologier/tiltak med særlig stort potensiale for energieffektivisering og utslippsreduksjon, som ikke er i så utstrakt bruk i dag. Figur 6-1 viser disse teknologiene/tiltakene og det samlede potensialet for skipssegmentene som er vurdert. Som det fremgår er det batterihibridisering og likestrømsnett/variabelt turtall som er vurdert til å være de mest potente teknologiene.



Figur 6-1. Utvalgte teknologier og potensiale for energieffektivisering og utslippsreduksjon

Når potensialet for disse teknologiene/tiltakene vurderes opp mot typiske kostnader for implementering, er den generelle konklusjonen at de mest potente teknologiene også har høyest investeringsnivå. Dette fremgår av Figur 6-2.



Figur 6-2 Potensiale og kostnadsnivå for utvalgte teknologier/tiltak for energieffektivisering og utslippsreduksjoner (plassering av tiltakene er indikativ og vil kunne variere)

Av disse utvalgte teknologiene/tiltakene er det nærmere analysert fire teknologier hvor det kreves en betydelig investering og hvor den bedriftsøkonomiske lønnsomheten er svært usikker. Disse teknologiene er diskutert i detalj i kapittel 5.3, hvor det konkluderes med at det foreligger betydelige barrierer for markedsopptak slik illustrert i Figur 6-3. Disse teknologiene er også de mest potente for energieffektivisering og utslippsreduksjoner, gitt de segmentene som dominerer og kriteriene nevnt ovenfor. Denne kombinasjonen fører til at vi vurderer at offentlige insitamenter og/eller støtte fra virkemiddelapparatet vil kunne utgjøre en forskjell, og at med en riktig tilpasset ordning vil en slik støtte over en periode kunne føre til varige markedsendringer.

Tiltak	Barrierer								
	Investerings- omfang	Delte incentiver - drivstoff	Kontraktuell forutsigbarhet	Teknologiens modenhhet	Pålitelighet	Lav oljepris	Kapitaltilgang	Annenhåndsverdi	Samlet barrieregrad
Batterihybridisering	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Variabelt turtall	✓	✓	✓			✓	✓		
Luftboblesmøring	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Akselgenerator med PTO/PTI	✓	✓	✓			✓			

Høye barrierer
 Ingen barrierer

Figur 6-3 Teknologier med betydelige barrierer for å bli tatt i bruk

Avslutningsvis vil vi bemerke at foranstående analyse og vurderinger er gjort for teknologier/tiltak som er tilgjengelige i markedet i dag. Som drøftet i kapittel 3.7 forventer vi også at nye teknologier/tiltak vil kunne bli svært relevante i løpet av de neste 5 årene. Også her vil virkemiddelapparatet kunne bidra til et raskere og varig teknologioptak i markedet, både gjennom støtte til teknologiutvikling og til implementering i nybygg og eventuelle ombygginger. De teknologiene vi spesielt vil anbefale å vurdere nærmere er:


- Ladbar batterihybrid
- Batteridrift (fullelektrisk drift)
- Brenselcelle/hydrogen

Felles for disse tiltakene er at de har stort potensiale for energieffektivisering gjennom høyere virkningsgrader, og med vår norske energimiks i tillegg er tiltak for betydelig reduksjon i klima- og miljøutslipp.

7 REFERANSER

- ABB. (2011). *Onboard DC Grid for enhanced DP operation in ships*.
- ABB. (2016). *Using Variable Frequency Drives (VFD) to save energy and reduce emissions in newbuilds and existing ships*.
- Alfa Laval. (2016). *Efficiency in boilers and beyond*. Hentet fra <http://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/marine-and-transportation/marine/whr.pdf>
- Baird Maritime. (2010). *Telescopic hard sail concept for bulk carrier*. Hentet fra http://www.bairdmaritime.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7690:telescopic-hard-sail-concept-for-bulk-carrier-&catid=76:marine-environment&Itemid=212
- Baldi F. and Gabriellii C. (2015). *A feasibility analysis of waste heat recovery systems for marine applications, Energy (2015), Volume 1, pag. 654-665*.
- Beyond the Sea. (2016). *Webpage*. Hentet fra <http://www.beyond-the-sea.com/>
- Cavotec. (2014). *MoorMaster™ Frequently Asked Questions*. Hentet fra file:///C:/Users/kinkje/Downloads/DM0Y-05160-0_-_MoorMaster_FAQ_revA.pdf
- Clean Hull. (u.d.). *Hull cleaning brochure with saving potential*. Hentet fra http://www.cleanhull.no/doc//CleanHull_brochure%20new.pdf
- Dimopoulos, G. G. (2010). *An integrated modelling framework for the design, operation and control of marine energy systems*.
- Dimopoulos, G. G. (2011). *Modelling and optimisation of an integrated marine combined cycle system*.
- DNV GL. (2012). *A best practice energy efficiency guide, JIP. Erfaringer fra JIP med DNV GL og eksterne aktører innen offshore shipping*.
- DNV GL. (2012-2013). *Maritime Advisory, Waste Heat Recovery – Internt utviklingsprosjekt 2012-2013*.
- DNV GL. (2014-2016). *Eksterne rådgivnings- og forskningsprosjekter*.
- DNV GL. (2014a). *Sammenstilling av grunnlagsdata om dagen skipstrafikk og drivstofforbruk. DNV GL Report No.: 2014-1667*.
- DNV GL. (2014b). *Sjøsikkerhetsanalysen - Prognoser for trafikk i 2040. DNV GL Report No.: 2014-1271*.
- DNV GL. (2015a). *ECO Assistant – Ulike prosjekter og referanser for kostnader- og potensiale for energireduksjon*. Hentet fra www.dnvgl.com/services/eco-assistant-effective-trim-optimisation-1422
- DNV GL. (2015b). *Samarbeidsprosjekt mellom DNV GL, Statoil og Farstad Shipping som sammenlignet drivstofforbruket til PSV med og uten optimal trim*. Hentet fra <https://www.dnvgl.com/news/trim-optimization-saving-fuel-on-offshore-supply-vessels-65973>
- DNV GL. (2015c). *The future is hybrid, Erfaringer fra bruk av hybridsystemer ombord på Viking Lady*.
- DNV GL. (2016a). *ECO Retrofit service / How replacement of bulbous bow can increase a vessel's energy efficiency*. Hentet fra <https://www.dnvgl.com/news/eco-retrofit-service-making-bulbous-bow-optimizations-future-proof-33440>
- DNV GL. (2016b). *ECO Retrofit – vessel efficiency upgrades*. Hentet fra <https://www.dnvgl.com/services/eco-retrofit-vessel-efficiency-upgrades-2673>
- DNV GL. (2016c). *Energy efficiency finder. Holistic approach to finding applicable energy efficiency measures to a specific vessel type*. Hentet fra <https://www.dnvgl.com/maritime/energy-efficiency/efficiency-finder.html>
- Eco Marine Power. (2015). *Products and Services, Innovative & Reliable Solutions for Sustainable Shipping*. Hentet fra <http://www.ecomarinepower.com/en/products>
- Fathom. (2013). *Ship Efficiency: The Guide / Ship energy efficiency with focus on ship design, propulsion, machinery and strategies and energy management software*.
- Fathom Focus. (2013). *Hull Coatings for Vessel Performance / The Important Role of the Hull in Ship Efficiency*. Hentet fra http://www.fathommaritimeintelligence.com/uploads/2/5/3/9/25399626/focus_hull_coatings_for_vessel_performance.pdf
- Force Technology. (u.d.). *Retrofit – a new bulbous bow / Retrofitting possibilities*. Hentet fra http://messe.no/ExhibitorDocuments/191291/6889/4353-1-en%20Retrofit%20-%20a%20new%20bulbous%20bow_web.pdf?ExhibitionId=422
- GAC Hullwiper. (u.d.). *Fuel saving calculator based on hull cleaning*. Hentet fra <http://gacc.envirohull.com/>
- Georgopoulou, C. A. (2011). *Modelling and simulation of marine scrubbers: impact on engine performance*.
- Imarest. (2015). Hentet fra <http://www.imarest.org/themarineprofessional/item/1844-air-bubbles-dont-float-maersk>

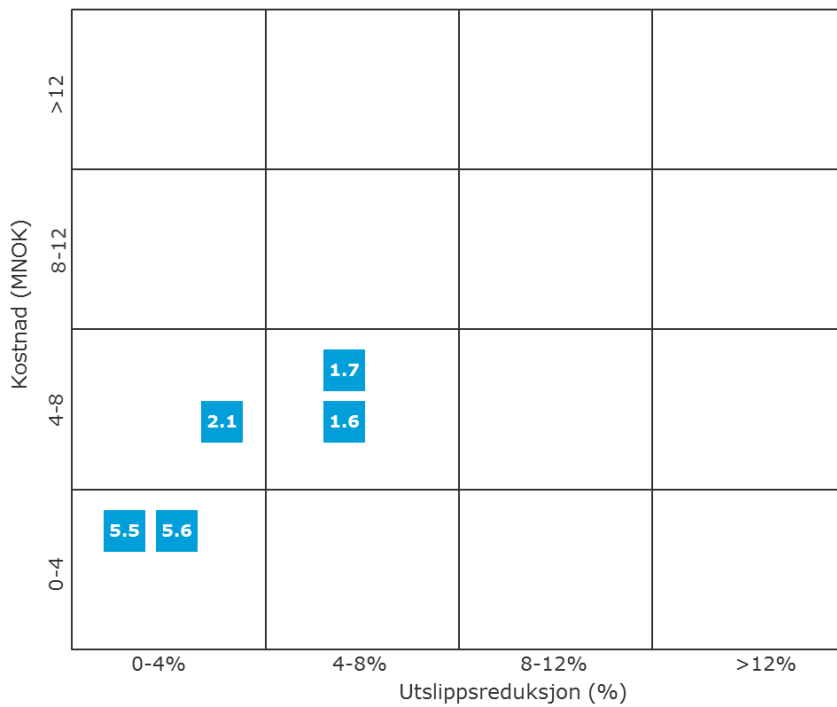
- IMO. (1994). *IMO MSC/Circ. 645 / Guidelines for vessels with dynamic positioning systems*. Hentet fra http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=10015&filename=MSCcirc645.pdf
- IMO. (2016). *Air pollution and energy efficiency / IMO energy efficiency appraisal tool*. Hentet fra <https://imo.amsa.gov.au/secure/papers/2016/mepc69/inf18.pdf>
- J Faber, D. N. (2012). *Regulated Slow Steaming in Maritime Transport, An assessment of Options, Costs and Benefits*. Hentet fra <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/Slow%20steaming%20CE%20Delft%20final.pdf>
- Karlsson, M. (2013). *Diesel Engines optimization and Fuel savings / How to achieve reduction of fuel oil consumption and maintenance cost through carried out optimization of diesel engines*.
- Kongsberg Maritime. (2014). *Kongsberg Vessel performance optimizer / Paper on cost efficient vessel operation*. Hentet fra [https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/\\$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement)
- Kongsberg Maritime. (2014). *Kongsberg Vessel performance optimizer / Paper on cost efficient vessel operation*. Hentet fra [https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/\\$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement)
- Kongsberg Maritime. (2015). *K-POS / Dynamic positioning. Optimizing complex vessel operations*. Hentet fra [https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/23EE29C2A5B1E771C12571CA004B3827/\\$file/k-pos-brochure.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/23EE29C2A5B1E771C12571CA004B3827/$file/k-pos-brochure.pdf?OpenElement)
- Lloyd's Register. (2015). *Wind-powered shipping*. Hentet fra <http://www.lr.org/en/marine/technology-and-innovation/technology/windpoweredshipping.aspx>
- MAN Diesel & Turbo. (2014). *Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI*. Hentet fra <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/waste-heat-recovery-system.pdf?sfvrsn=10>
- MAN PrimeServ. (2013). *MAN PrimeServ product brochure on engine de-rating*. Hentet fra <http://primeserv.man.eu/docs/librariesprovider5/primeserv-documents/de-rating.pdf?sfvrsn=2>
- Marine Insight. (2012). *The Guide to Slow Steaming On Ships*. Hentet fra <http://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2013/01/The-guide-to-slow-steaming-on-ships.pdf>
- Marine Insight. (2016). *10 Things to Consider While Using Auto-Pilot System on Ships /*. Hentet fra <http://www.marineinsight.com/marine-navigation/10-things-to-consider-while-using-auto-pilot-system-on-ships/>
- Maritime Research Institute Netherlands. (2016). *Hull form optimisation / Oversikt over de nyeste publikasjonene for optimalisering av skrog*. Hentet fra <http://www.marin.nl/web/Research-Topics/Hull/Hull-form-optimisation.htm>
- Marorka. (2016). Korrespondanse mellom DNV GL og Marorka som leverer selvlærende systemer for trim og dyppangoptimalisering.
- Meyer et.al. (2012). *Slow Steaming in Container Shipping / Overview of the slow steaming history as well as the widely assumed coherence between a ship's speed and its fuel consumption*. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/254051395_Slow_Steaming_in_
- Navtor. (2016). *Company Webpage*. Hentet fra <http://www.navtor.com/>
- NOx-fondet. (2016). Innvilget støtte til tiltak fra 2008 t.o.m. desember 2015.
- Ovrum, E. a. (2011). *A validated dynamic model of the first marine molten carbonate fuel cell*.
- Pv magazine. (2016). *Japan: Green transport ship sets sail with Solar Frontier CIS panels*. Hentet fra http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/japan--green-transport-ship-sets-sail-with-solar-frontier-cis-panels_100023114/#axzz49Zg0iTpF
- Rolls-Royce. (2015). *Fact Sheet, The Hybrid Shaft Generator system (HSG)*.
- Ship & Bunker. (2016). *K-Line Launches Eco-Ship Featuring Solar Power Technology*. Hentet fra <http://shipandbunker.com/news/world/705455-k-line-launches-eco-ship-featuring-solar-power-technology>
- Siemens. (2014). *New diesel electric propulsion system*.
- Silverstream Technologies. (2016). Hentet fra <http://www.silverstream-tech.com/the-technology/>
- Skysails. (2016). *SkySails Propulsion for Cargo Ships*. Hentet fra <http://www.skysails.info/english/skysails-marine/skysails-propulsion-for-cargo-ships/>
- Smith, T. W., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., . . . Ettinger, S. (2014). *Third IMO GHG Study 2014 / International Maritime Organization (IMO)*. Hentet fra

- 
- <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>
Stadt. (2010, May). Sustainable electric propulsion. *DNV Offshore Update*, ss. 18-21.
- Stefanatos, I. G. (2012). *Towards a model-based assessment of hybrid marine energy systems*.
Teknisk ukeblad. (2005). *Suger skip til kai*. Hentet fra <http://www.tu.no/artikler/suger-skip-til-kai/264211>
- Wärtsilä. (2016). *Solutions for Marine and Oil & Gas Markets*. Hentet fra <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/segment/brochure-marine-solutions-2016.pdf?sfvrsn=12>
- Wilkinson, C. P. (1994). Reductions In Fuel Consumption As A Result Of In-Water Propeller Polishing.

APPENDIX A - ANTALL SKIP

Skipstype	Totalt antall skip registrert gjennom AIS i 2013 i Norske farvann, fordelt på ulike skips- og størrelseskategorier [tusen gross tonn].							
	< 1	1 - 4,9	5 - 9,9	10 - 24,9	25 - 49,9	50- 99,9	> 100	Total
Oljetankere	12	27	9	30	116	306	4	504
Kjemikalie-/prod.tankere	4	180	113	197	154			648
Gasstankere	1	65	25	28	16	4	12	151
Bulkskip	3	28	10	278	379	127	1	826
Stykkgodsskip	63	1 040	277	98	19			1 497
Konteinerskip		8	58	20	15	12	1	114
Ro Ro last	4	8	18	18	10	17		75
Kjøle-/fryseskip	1	41	44	14				100
Passasjer	185	109	26	34	31	34	13	432
Offshore supply skip	29	284	60					373
Andre offshore service	66	46	31	34	4	9	1	191
Andre aktiviteter	325	155	42	44	18	2	2	588
Fiskefartøy	268	279	16					563
Ukjent	44			2				46
Total	1 005	2 270	729	797	762	511	34	6 108

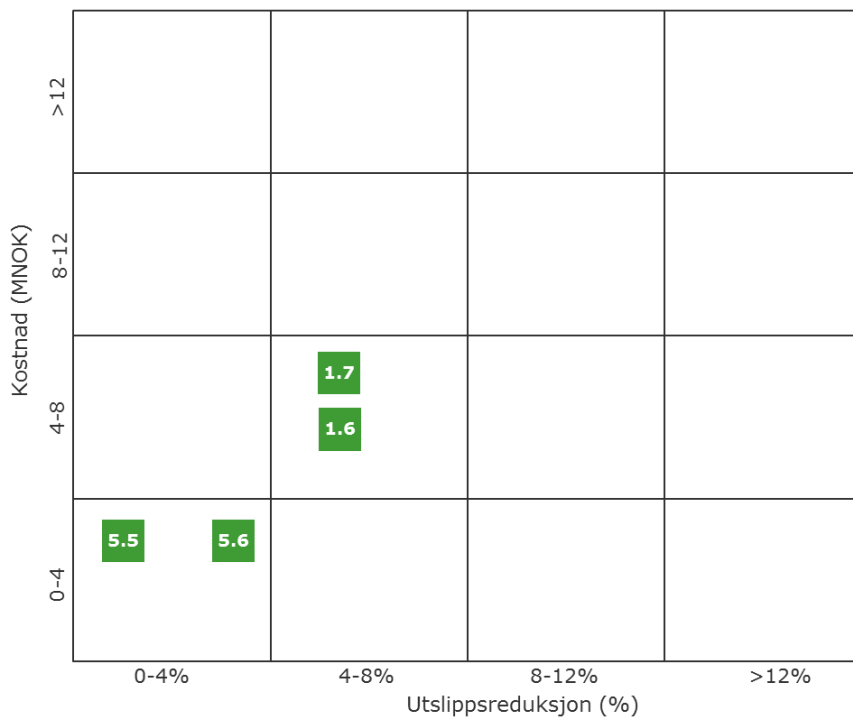
APPENDIX B – LØNNSOMHET OG REDUKSJON PER SEGMENT



Tiltak:

- 1.6 Batterihybridisering
- 1.7 Likestrømsnett og variabelt turtall
- 2.1 Luftbubblesmøring
- 5.5 Kombinatoroptimalisering
- 5.6 Trim- og dypgangsoptimering

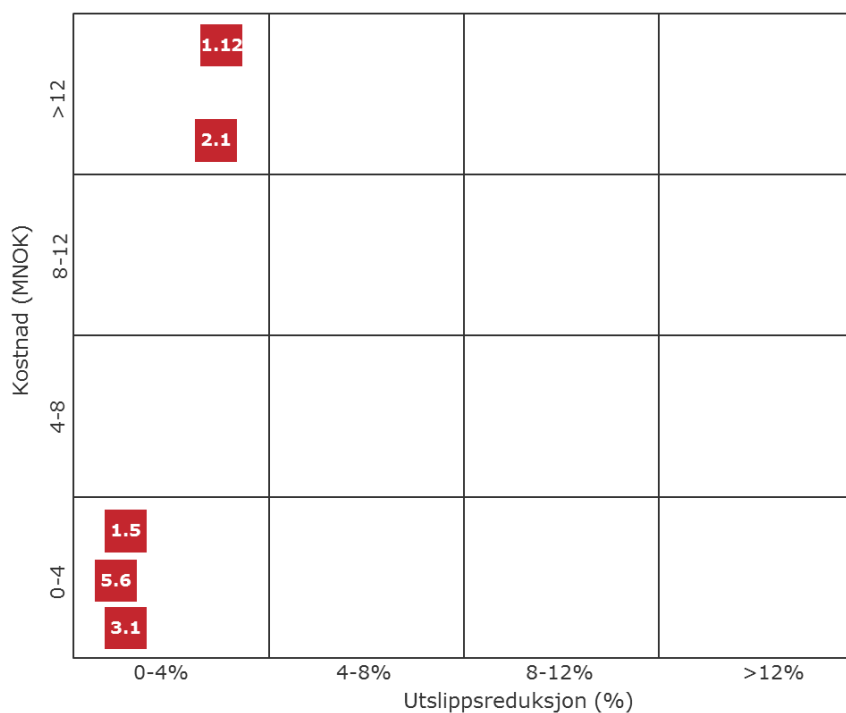
Stykkgodsskip:



Tiltak:

- 1.6 Batterihybridisering
- 1.7 Likestrømsnett og variabelt turtall
- 5.5 Kombinatoroptimalisering
- 5.6 Trim- og dypgangsoptimering

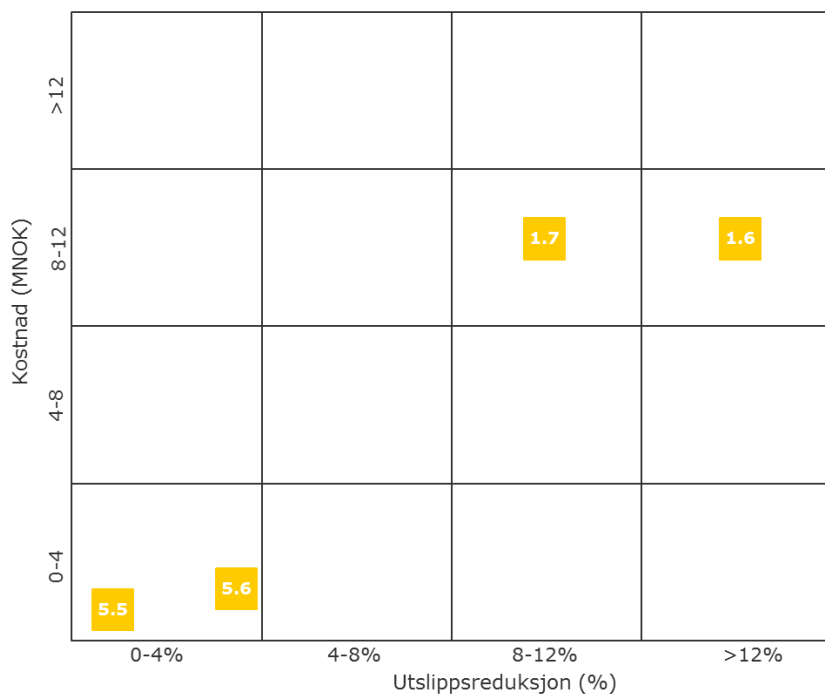
Oljetanker:



Tiltak:

- 1.5 Eksoskjeler på hjelpemotorer
- 1.12 Varmegjenvinning for elektrisitetsproduksjon
- 2.1 Luftbubblesmøring
- 3.1 Optimalisering av lasthåndteringssystemer
- 5.6 Trim- og dypgangsoptimering

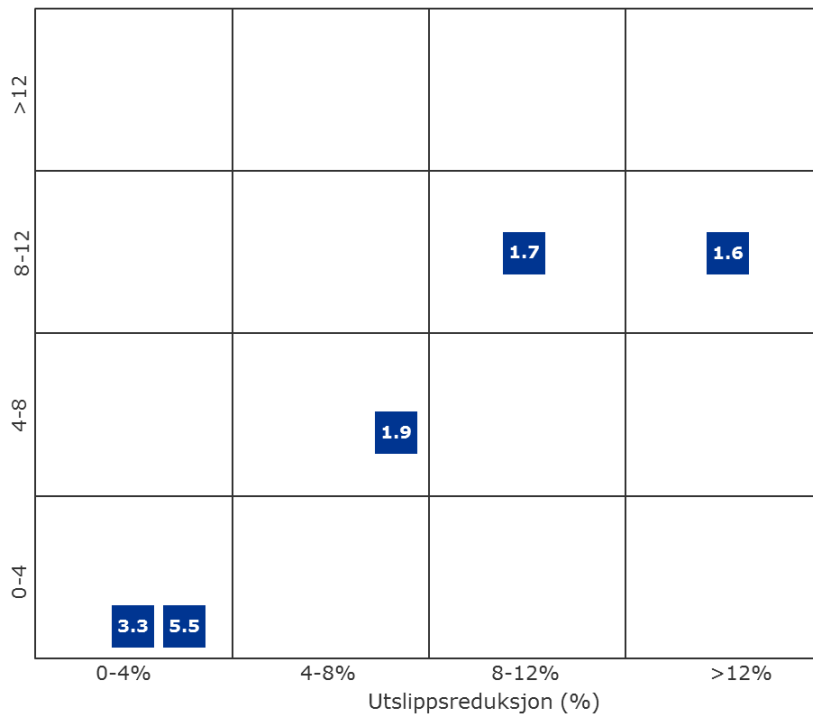
Offshore:



Teknologi:

- 1.6 Batterihybridisering
- 1.7 Likestrømsnett og variabelt turtall
- 5.5 Kombinatoroptimalisering
- 5.6 Trim- og dypgangsoptimering

Fisketråler:



Tiltak:

- 1.6 Batterihybridisering
- 1.7 Likestrømsnett og variabelt turtall
- 1.9 Akselgenerator med PTO/PTI
- 3.3 Frekvensstyrte el-motorer
- 5.5 Kombinatoroptimalisering





About DNV GL

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