# Distanseavhengige kostnader

Beregning av distanseavhengige kostnader er i stor grad basert på metodikk i Kystverkets veileder i samfunns­økonomiske analyser. I arbeidet med de strekningsvise analysene har vi imidlertid gjort enkelte oppdateringer av forutsetningene som ligger til grunn. For det første legger ikke eksisterende metodikk i veilederen opp til framskrivninger av drivstofforbruket over tid. Ettersom det forventes store endringer i både teknologi og type drivstoff fremover, og de samfunnsøkonomiske virkningene vurderes over en periode på 75 år, har vi i samråd med Kystverket lagt til grunn framskrivninger av hvilke drivstoff/energibærere som antas benyttet fremover med tilhørende forbruk.

I dette dokumentet er det oppsummert antagelser, vurderinger og referanser som ligger til grunn. Fremtidig forbruk, miks og priser på drivstoff for skipsflåten er både komplekst og forbundet med usikkerhet. Det har derfor vært nødvendig å gjøre forenklinger og antagelser knyttet til drivstoffet. Disse er ansett å gi tilstrekkelig nøyaktighet for bruk i de samfunnsøkonomiske beregningene. De ulike variablene knyttet til drivstoffet er gitt i form av verdier i skipsmatrisene (skipstype og størrelse) som blir benyttet i analysene. Sensitivitetsanalyser i de samfunnsøkonomiske analysene er forutsatt benyttet for å håndtere usikkerheten og avdekke sensitiviteter knyttet til de ulike nøkkelparameterne som er gitt. De forenklingene, antagelser og tilpasninger som er gjort i dette prosjektarbeidet er tilpasset anvendelsen til samfunnsøkonomiske analyser av farledstiltak og datagrunnlaget og konklusjoner må derfor ikke benyttes til andre formål. Grunnlaget er utarbeidet av DNV GL og dokumentert i et teknisk notat til Kystverket (DNV GL, 2019)

## Drivstoffkostnader – trinnvis fremgangsmåte

I samfunnsøkonomiske analyser for Kystverket består distanseavhengige kostnader utelukkende av drivstoffkostnader. Fremgangsmåten for å prissette drivstoffkostnader kan oppsummeres gjennom følgende trinn:

* Trinn 1: Beregner energibehovet til fremdrift, propulsjonseffekten, for en gitt fartøystype og størrelse
* Trinn 2: Fremskriver energibehovet til 2050 ved hjelp av effektiviseringsfaktor
* Trinn 3: Fordeler energiforbruket per år på ulike energibærere
* Trinn 4: Beregner etterspurt mengde drivstoff (MJ for elektrisitet) i markedet per energibærer
* Trinn 5: Beregne totale drivstoffkostnader per seilingstime

I det påfølgende vil vi gå gjennom trinnene, samt hvilke kilder og input som inngår i de enkelte trinnene.

## Trinn 1: Beregner energibehovet for en gitt fartøystype, lengdegruppe og rute

Her beregner vi energibehovet i MJ per seilingstime direkte ved hjelp av ligning 1 nedenfor. Dette er en forenkling av tidligere benyttet metode, som beregnet energibehovet via drivstoffbehovet, under en antakelse om at alle skip i dag benytter MGO/HFO.

Lastfaktor

*Ligning 1:*

Lastfaktor

r – settes til 0,9

er en korreksjonsfaktor for fartstap i bølger

1,1 representerer en korreksjonsfaktor for hjelpemotor

3,6 representerer konvertering fra kW til MJ

Dette gir oss energiforbruk per seilingstime totalt. Denne størrelsen er uavhengig av drivstofftype.

### Lastfaktor

Lastfaktoren er en korreksjonsfaktor som korrigerer for at servicehastigheten normalt tilsvarer 70-80 prosent av maksimal motoreffekt. Uten denne korreksjonsfaktoren ville vi antatt at servicehastighet tilsvarer 100 prosent motoreffekt, men et skip skal kunne holde servicehastigheten uten å måtte kjøre på 100 prosent motorbelastning. «k» er en korreksjonsfaktor for fartstap i bølger. Korreksjonsfaktoren avhenger blant annet av skipenes blokkoeffisient. Der det i Kystverkets veileder er fylt ut antagelser om blokkoeffisienter for ulike skipstyper og lengdegrupper. Det manglet imidlertid informasjon for enkelte skipstypene. For å håndtere dette, ble de resterende blokkoeffisientene hentet inn basert på evaluering av skip fra de ulike kategoriene på Sea-web: <https://intranet.dnvgl.com/customersandservices/Pages/market-intelligence-databases.aspx>, samt validert mot statistikken til boken «System Based Ship Design, 2012, Kay Leander». Valideringen viste god overenstemmelse.

## Trinn 2 – Fremskrive energiforbruk til 2050 ved hjelp av effektiviseringsfaktor

Med utgangspunkt i effektiviseringsfaktorer dokumentert i DNV GL (2019) antar vi at alle skipstyper og lengdegrupper er 20 prosent mer energieffektive i 2050. Effektiviseringsfaktoren implementeres lineært over perioden. Dette gir energibehovet som brukes til fremdrift, propulsjonseffekten, for hvert år i det relevante tidsrommet.

#### Energieffektivitet – reduksjon frem til 2050 i drivstofforbruk tonn per time

Her er det tatt utgangspunkt i rapporten «Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition Outlook 2018» av DNV GL. I denne rapporten er det gjort beregninger på energieffektivitet frem mot 2050 både med og uten fartsreduksjon. Som input i matrisen er det brukt uten fartsreduksjon da slik fartsreduksjon blir hensyntatt andre steder i modellen. Antagelsen basert på beregningene gjort av teamet bak «Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition Outlook 2018» rapporten er en forbedring av energieffektivitet på 20 prosent. Dette kan variere fra skipstype til skipstype, men det finnes ikke tilstrekkelig grunnlag for å differensiere for det i 2050 per dags dato.

## Trinn 3 - Fordele energiforbruket per år på ulike energibærere

Det forventes en vridning fra MGO og HFO over til andre energibærere over tid. Her legges et sett med forutsetninger om drivstoffsammensetning i 2050 til grunn (Kilde: DNV GL 2019). Vridningen implementeres lineært over perioden.

#### Andelen skip som bruker ulike typer drivstoff

For 2018 er det antatt at alle skipstyper bruker MGO og HFO. Da andelen skip som bruker andre typer drivstoff i 2018 er så liten som den er, så er det vurdert at det er neglisjerbart i denne sammenhengen. Det er gjort en vurdering av at de skipene som er opererer i «deep sea» segmentet vil ha så liten påvirkning at det er neglisjerbart i denne sammenhengen, da estimert energimix for «deep sea» i 2050 er veldig likt «short sea». Derfor er fordelingen for 2050 anslått av «Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition Outlook 2018» av DNV GL for «Shipping energy mix 2050, short sea». Det er videre antatt i grunnlaget for de samfunnsøkonomiske analysene at fordelingen av ulike typer drivstoff blir likt fordelt over alle skipstyper. Beregning av forbruket av ulike drivstoff er basert på omregning fra tradisjonelt drivstoff, hensyntatt energitetthet i drivstoffet og virkningsgrad i energiproduksjonen. Kilde: DNV GL (2019).

## Trinn 4: Beregner etterspurt mengde drivstoff i markedet per energibærer

Neste steg er å beregne etterspurt mengde drivstoff i markedet per energibærer (MJ for skip som går på elektrisitet). Energitetthet og virkningsgrad i formelen er drivstoffspesifikke og presenteres nærmere nedenfor.

*Ligning 2:*

/

*Energitetthet* = (Nedre brennverdi) er en fysisk størrelse (se tabell under)

*Virkningsgrad* = er satt av alder/størrelse på fartøy (se tabeller under)

### Drivstoffavhengige virkningsgrader og energitetthet

Drivstofforbruket, for skip som går på MGO og HFO, til de forskjellige skipstypene og størrelsene er hentet fra tabell 2-3 i rapporten: «Environmental Accounting System For Ships Based on AIS Ship Movement Tracking» produsert av DNV GL på vegne av Kystverket i 2008. Denne tabellen viser spesifikt drivstofforbruk på hovedmotor for skip grovt delt inn i motorstørrelse og alder. Tabellen er basert på antagelsen om at alle «slow speed» og «medium speed» motorer konsumerer «residual» drivstoff. Videre er det antatt at alle «high speed» motorer konsumerer «destillater». En underliggende tabell, som er brukt som input i beregningene til tabell 2-3 viser prosentvis fordeling av «high», «medium» og «slow speed» motorer for forskjellige skipstyper og størrelser. Denne fordelingen er gjort basert på en analyse av 48 790 skip i Lloyds Fairplay i 2008. Fordelingen av «high», «medium» og «slow speed» i dagens skipsflåte kan være annerledes enn i 2008, noe som vil påvirke drivstofforbruket presentert i tabellen, men det er ansett at tilnærmingen er tilstrekkelig representativ for dette formålet.

|  |  |
| --- | --- |
| **Drivstofftype** | **Energitetthet** |
| **MGO og HFO** | 43 GJ/tonn |
| **LNG og LBG** | 59 GJ/tonn |
| **Hydrogen** | 120 GJ/tonn |
| **Biodisel** | 35 GJ/tonn |
| **Karbonnøytrale drivstoff** | 81.75 GJ/tonn[[1]](#footnote-2) |

MGO og HFO:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Alder fartøy (år)** | **>5000kW** | **5000-15000kW** | **>15000Kw** |
| **<1984** | 0,37 | 0,39 | 0,41 |
| **1984-2000** | 0,41 | 0,43 | 0,45 |
| **>2000** | 0,43 | 0,45 | 0,48 |

Energitetthet olje: 43 [GJ/tonn] eller 11900 [kWh/tonn]

**LNG & LBG**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Alder fartøy (år)** | **>5000kW** | **5000-15000kW** | **>15000Kw** |
| **>2000** | 0,42 | 0,45 | 0,47 |

Energitetthet LNG: 49 [GJ/tonn] eller 13700 [kWh/tonn]

Kilde: https://gasnor.no/naturgass/typiske-data-naturgass/

**Hydrogen**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Alder fartøy (år)** | **>5000kW** | **5000-15000kW** | **>15000Kw** |
| **>2020+** | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Energitetthet Hydrogen: 120 [GJ/tonn] eller 33300 [kWh/tonn]

Kilde: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d\_169.html

**Elektrisk**

Virkningsgrad elektrisk drift: 0,9

## Trinn 5: Beregne drivstoffkostnader per seilingstime

Drivstoffkostnader per seilingstime per drivstofftype beregnes ved å multiplisere sammen drivstofforbruket per drivstofftype med de respektive prisene på drivstoff. Til slutt beregner vi totale drivstoffkostnader per seilingstime ved å summere på tvers av drivstofftypene. Det vi da sitter igjen med er drivstoffkostnader per seilingstimer for hver skipstype, lengdegruppe, rute og år.

Drivstoffpriser er oppgitt i 2018-kroner. I forutsetningsfilen under arket «Drivstoffpriser» ligger input (DNV GL/Sitma 2013).

#### Geografisk bunkring

Ettersom drivstoffpriser varierer mellom ulike deler av Norge, og mellom ulike land har vi foretatt antagelser på hvor skipene i de ulike områdene bunkrer. For geografisk bunkring er det antatt at alle skip vil alltid fylle så langt sør de kan, basert på antagelsen om at prisene er lavere jo lengre sør man fyller. Det er lagt til grunn at alternativene er å fylle i følgende områder:

* Geografisk område nord for Trondheim – bunkring i Tromsø benyttes som grunnlag
* Geografisk område sør for Trondheim – bunkring i Bergen benyttes som grunnlag

Internasjonalt område – Rotterdam som grunnlag. Følgende er antatt for bunkringsstrategi:

* Skipsstørrelse 0-100 meter: Det er lagt til grunn en antagelse om et operasjonsmønster som tilsier at alle skip under 100 meter fyller i regionen de operer.
* Skipsstørrelse 100-150 meter: Det er antatt et operasjonsmønster som innebærer at 30 % fyller sør for Bergen, mens de resterende 70 % fyller internasjonalt. Ingen skip fyller i nord. Unntakene er: Offshore supplyskip, Andre offshorefartøy, Brønnbåt, Slepefartøy, Andre servicefartøy og Fiskefartøy. Alle disse skipene antas å fylle 100 % innenfor sin egen region.
* Skipsstørrelse >150 meter: Det antas at alle skip over 150 meter fyller internasjonalt. Unntakene er: Offshore supplyskip, Andre offshorefartøy, Brønnbåt, Slepefartøy, Andre servicefartøy og Fiskefartøy Alle disse skipene antas å fylle 100 % innenfor sin egen region.

Kilde: DNV GL (2019)

#### Drivstoffpriser for ulike energibærere

Det er store usikkerheter knyttet til drivstoffpriser, både markedsmessig, og som følge av reguleringer og andre tiltak. Dette kan føre til store og uforutsigbare endringer som gjør at det ikke er vurdert som hensiktsmessig og anta prisutvikling frem mot 2050. Det er derfor lagt til grunn at historiske priser benyttes uendret for hele analyseperioden, bortsett fra for hydrogen, se nedenfor. Verdikjedetapet fra produksjon av de forskjellige drivstoffene er ikke hensyntatt. Valutainformasjon brukt i konverteringen fra USD til NOK er hentet fra Norges Bank. Konsumprisindeksen er hentet fra SSB.

##### MGO og HFO

* Bergen: MGO og HFO. Det er tatt gjennomsnittpris per måned fra april 2008 til oktober 2018 fra bunkerindex.com. Månedlig gjennomsnitt av NOK per USD er brukt i de respektive månedene for å finne pris i NOK per tonn i alle måneder. Deretter er det brukt en deflator beregnet fra konsumprisindeksen fra SSB for å få alle prisene i 2020 kroner. Til slutt er det tatt gjennomsnitt av alle månedene. Merk at i Bergen er kun MGO brukt da HFO ikke er tilgjengelig.
* Tromsø: MGO og HFO. Det er tatt gjennomsnittpris per måned fra mai 2010 til oktober 2018 fra bunkerindex.com. Månedlig gjennomsnitt av NOK per USD er brukt i de respektive månedene for å finne pris i NOK per tonn i alle måneder. Deretter er det brukt en deflator beregnet fra konsumprisindeksen fra SSB for å få alle prisene i 2020 kroner. Til slutt er det tatt gjennomsnitt av alle månedene. Merk at i Tromsø er kun MGO brukt da HFO ikke er tilgjengelig.
* Rotterdam: MGO og HFO. Det er tatt gjennomsnittpris per måned fra snitt fra april 2008 til oktober 2018 fra bunkerindex.com. Dette er gjort for MGO, IFO180 og IFO380. Månedlig gjennomsnitt av NOK per USD er brukt i de respektive månedene for å finne pris i NOK per tonn i alle måneder. Deretter er gjennomsnittsprisen regnet ut per bunkerstype. Deretter er det brukt en deflator beregnet fra konsumprisindeksen fra SSB for å få alle prisene i 2020 kroner. Til slutt er gjennomsnittet av MGO, IFO180 og IFO380 beregnet.

##### LNG

LNG pris hentet fra rapporten «Kartlegging av Utslippskutt i Maritim Næring – Analyse av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk» utarbeidet av DNV GL. Pris på LNG estimert i rapporten er antatt å være pris i Bergen. Videre er det antatt 5 prosent billigere i Rotterdam og 5 prosent dyrere i Tromsø, på grunn av ulike transport­kostnader. Prisen på LNG antas konstant i perioden 2018-2030 i «Kartlegging av Utslippskutt i Maritim Næring – Analyse av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk». I input til matrisen blir det videre gjort en antagelse om at prisen holdes konstant til 2050.

##### Karbonnøytrale

Priser for karbonnøytralt drivstoff er basert på en antagelse om at drivstoffmiksen vil være 50 prosent hydrogen, 25 prosent LBG og 25 prosent biodiesel. Prisene er hentet fra rapporten «Kartlegging av Utslippskutt i Maritim Næring – Analyse av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk». Med referanse til samme rapport, er det kun hydrogen som antas å variere i pris fra 2018 til 2050.

##### Elektrisitet

Pris er hentet fra rapporten «Kartlegging av Utslippskutt i Maritim Næring – Analyse av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk».

Kilde: DNV GL (2019)

## Representative distanseavhengige kostnader

For å estimere representative distanseavhengige kostnader på de strekningsvise analysene tar modellen utgangspunkt i funksjonene over, og beregner kostnader for alle unike skip som har passert gjennom området i en representativ periode. Etter at drivstoffkostnadene per seilingstime per unike mmsi er beregnet, lager modellen gjennomsnittlige verdsettingsfaktorer for unike skipstyper og lengdegrupper vektet etter et estimat på hvor ofte ulike skip innenfor de ulike skipstypene og lengdegruppene befinner seg innenfor området som utgjør strekningen. Dette estimatet er antall AIS-punkter skipet er observert i løpet av den representative perioden. Det betyr at dersom det for eksempel har passert et relativt stort skip innenfor en skipskategori og lengdegruppe kun en gang i løpet av perioden, mens det ellers passerer mindre skip innen samme skipskategori, så vil kalkulasjonsprisen for det store skipet vektes ned i den gjennomsnittlige kalkulasjonsprisen for strekningen.

Videre legger modellen opp til at disse verdsettingsfaktorene, beregnet som kroner per time, legges sammen med antall timer endret seilingstid og observert hastighet for de ulike skipstypene og lengdegruppene samt antall passeringer som får denne endrede seilingstiden. I henhold til de generelle forutsetningene for modellen oppjusterer verdsettingsfaktorene med KPI-vekst frem til 2020.

# Kilder

DNV GL (2019) - SAMFUNNSØKONOMISKE ANALYSER AV FARLEDSTILTAK – DRIVSTOFFPRISER OG ENERGIMIKS FOR SKIPSFLÅTEN 2020-2050, Technical Memo No 11C546C1-1, DNV GL, februar 2020

1. Basert på 50 prosent hydrogen, 25 prosent LBG og 25 prosent biodiesel. [↑](#footnote-ref-2)