

Mars 2017

KARTLEGGING AV POTENSIALET FOR KLIMATILTAK PÅ "TURISTRUTE HARDANGER"

Rapporten er utarbeidet av "Propel AS" på oppdrag fra Skyss



Forord

På oppdrag fra Skyss har PROPEL gjort en vurdering av realistiske miljøtiltak som kan gjennomføres på "Turistrute Hardanger" i neste anbudsperiode. Oppdraget ble gjennomført i februar 2017 og ble avsluttet 3. mars 2017.

Prosjektet har mottatt noe informasjon fra dagens operatør, Norled, via Skyss, men har i hovedsak benyttet et elektronisk verktøy utviklet av LMG Marin og som har blitt stilt til rådighet av Skyss. Videre har informasjon blitt innhentet fra rapporter, nettsider og konferanser, samt fra dialog med aktører i næringen. Basert på dette har PROPEL gjort kvantitative og kvalitative vurderinger av mulige miljøtiltak og basert konklusjoner og anbefalinger på dette.

Rolf Ole Jensen har vært prosjektleder for oppdraget, og Ole Gustav Eriksen har vært prosjektmedarbeider.

19. mars 2017

Rolf Ole Jensen
Prosjektleder
PROPEL AS

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	6
2	Metodikk og forutsetninger.....	7
3	Beskrivelse av turistrute Hardanger.....	9
3.1	Dagens rutetabell	9
3.2	Seilehastigheter og -distanser.....	10
3.3	Passasjerstatistikk.....	10
4	Effekt- og energibehov for ulike fartøy- og rutealternativer	12
4.1	Effekt- og energibehov for ulike fartøyalternativer.....	12
4.2	Effekt- og energibehov for ulike rutealternativer	15
5	Aktuelle og realistiske fremdriftsteknologier	18
5.1	Fremdriftssystemer.....	18
5.2	Energibærere	18
5.3	Realistiske fremdriftsteknologier for "Turistrute Hardanger"	24
6	Behov for modifisering av infrastruktur og potensielle støtteordninger	24
6.1	Modifisering av infrastruktur	25
6.2	Potensielle støtteordninger	25
7	Andre betraktninger.....	27
7.1	Passasjerkapasitet	27
7.2	Kontraktlengde	27
7.3	Driftsoppfølging og kontinuerlig forbedring.....	28
8	Oppsummering og anbefalinger	29

Sammendrag

Full utnyttelse av fornybar energi for "Turistrute Hardanger" er ikke realistisk for ny kontraktperiode med oppstart 01.01.2020, men selv med tradisjonell fremdriftsteknologi kan klimautslippene reduseres med opp til 67 prosent. 35 prosent reduksjon kan oppnås ved å utvikle seilinger med lavt passasjerbelegg samt mindre rutejusteringer. Den resterende gevinsten kan oppnås ved å benytte bio-diesel i stedet for marin gassolje.

Ny anbudskonkurranse for skal utlyses i løpet av 2017

Hurtigbåtkontrakten for "Turistrute Hardanger" utløper 31.12.2019, og ny kontrakt skal konkurranseutsettes i løpet av 2017. Turistruten har de siste årene vært drevet av Norled med hurtigbåten *MS Tedno*, som er en katamaran i aluminium med kapasitet på 112 passasjerer og med konvensjonell diesel-mekanisk fremdrift.

I henhold til politiske vedtak om at fylkeskommunen skal kreve bruk av fornybar energi der det er mulig ved fremtidige kollektivanbud, ønsker Skyss å kartlegge potensialet for innføring av miljøtiltak på "Turistrute Hardanger". Denne rapporten gir en evaluering av realistiske alternativer for fremdrift av hurtigbåter som er aktuelle for ruten, samt en vurdering av mulige tilpasninger av ruteplanen for å oppnå en reduksjon av klimautslipp. Rapporten vil danne basis for utforming av konkurransegrunnlaget for ny utlysning av "Turistrute Hardanger".

Bio-diesel er eneste realistiske alternativ til dagens fremdriftsteknologi

Det finnes en rekke kombinasjoner av fremdriftssystemer og energibærere som kan utnytte fornybar energi, men svært få av disse kombinasjonene er teknisk mulig eller kommersielt tilgjengelig for en hurtigbåt som skal trafikkere "Turistrute Hardanger" i neste anbudsperiode. I praksis er det kun diesel-mekanisk fremdrift med bio-diesel som energibærer som kan fungere som et alternativ til dagens løsning. Bio-diesel er tilgjengelig til en høyere pris enn marin gassolje (MGO), men tilgjengeligheten påvirkes av økende etterspørsel fra veisektoren, og den nåværende prisdifferansen på 30-60 prosent ventes ikke å bli mindre de neste årene. I henhold til bærekraftkriteriene vil klimautslippene fra bio-diesel være minst 50 prosent lavere enn fra MGO.

Gjennomsnittlig passasjerbelegg forsvare ikke kapasitetsøkning utover 150 pax ut fra miljøhensyn

De siste årene har det vært en jevn vekst i passasjertallet på "Turistrute Hardanger" og det er ytre ønske om økt fartøyskapasitet i neste anbudsperiode. Beregninger viser at en passasjerkatamaran i karbon med kapasitet på 150 pax vil ha den beste miljøeffektiviteten per passasjer, uavhengig av belegg, sammenlignet med fartøyer på 100 pax og 200 pax. Det største fartøyalternativet oppnår først bedre miljøeffektivitet ved belegg på over 180 pax, og i et miljøperspektiv kan dette alternativet kun forsvares dersom gjennomsnittlig belegg gjennom sesongen er høyere enn 180 pax. Passasjerstatistikk fra august 2016, som var den mest trafikkerte enkeltmåneden i 2015 og 2016, viser gjennomsnittlig belegg mellom 50 og 92 pax på de enkeltstrekningene som inngår i den markedsførte turistruten.

Basert på passasjerstatistikk, miljøeffektivitet og størrelser på eksisterende passasjerkatamaraner anses 130 pax som et fornuftig minstekrav for neste anbudsrunde.

Endringer av dagens ruteplan kan gi stor miljøgevinst

Dagens ruteplan inkluderer også en morgenrute fra Lofthus, via Utne og Herand, til Norheimsund, og en kveldsrute fra Norheimsund, via Herand og Utne, til Lofthus. Gjennomsnittlig passasjerbelegg på disse rutene i august 2016 varierte fra 3 til 11 pax, noe som gir et energibehov per passasjer opptil 11,9 ganger høyere enn på de høyest belagte strekningene.

Ved å avvikle morgen- og kveldsruten er det mulig å oppnå et redusert drivstofforbruk på 32 prosent, med tilsvarende reduksjon i klimautslipp. Det er samtidig mulig å gjøre mindre justeringer i ruteplanen, uten å endre tidspunkt for avgang og ankomst i Norheimsund og Eidfjord, for å få en jevn gjennomsnittshastighet på alle enkeltstrekninger. Det vil bidra til en ytterligere reduksjon i drivstofforbruk og klimautslipp på 3 prosentpoeng. Samlet reduksjon av klimautslipp kan altså bli 35 prosent ved endringer av dagens ruteplan.


Innføring av bio-diesel som energibærer vil gi ytterligere miljøgevinst

Bruk av bærekraftsertifisert bio-diesel medfører en reduksjon av klimautslipp på minimum 50 prosent, sammenlignet med MGO. Hvis man velger å justere ruteplanen som beskrevet over, og samtidig bruke bio-diesel som energibærer, vil det være mulig å oppnå inntil 67,5 prosent reduksjon i klimautslipp i forhold til i dag. En kostnuttnevurdering av innføring av bio-diesel på "Turistrute Hardanger" vil påvirkes av hvor sterkt man venter prosentvis reduksjon i klimautslipp i forhold til prosentvis økning i drivstoffkostnad.

Dersom man legger til grunn dagens drivstoffpriser på marin gassolje med påslag på 30 til 60 prosent for bio-diesel vil de årlige merkostnadene ligge mellom 0,6 og 1,2 millioner kroner.

Kontraktstrategi påvirker mulighetene til å oppnå miljøgevinst i fremtiden

Det bør i neste anbudsperiode inkluderes mekanismer i kontrakten som gir Skyss bedre mulighet til å følge opp leverandørens drift, samt å sikre kontinuerlig forbedring, enn det som er tilfelle i dag. Videre bør det vurderes å gjøre kontraktsperioden nokså kort, for å harmonisere anbudet for "Turistrute Hardanger" med andre rutepakker med målsetting om bedre om flåteutnyttelse. Dette vil også gi bedre tid til å planlegge innføring av klimatiltak som per i dag ikke er realistiske, og som kan bli det noen år frem i tid.

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegging av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

1 Introduksjon

Skyss er ytre enhet i Hordaland fylkeskommune som organiserer nesten all kollektivtransport i fylket, etter budsjetter vedtatt av politikerne. Skyss inngår avtaler med trafikksekskaper for transport med buss, bybane, båt og ferjer etter anbudskonkurranser. Skyss administrerer for tiden åtte båtsamband med rundt 130 daglige avganger.

Hurtigbåtkontrakten for "Turistrute Hardanger", som inkluderer sambandet Norheimsund – Herand – Utne – Lofthus – Kinsarvik – Ulvik – Eidfjord, utløper 31.12.2019, og ny kontrakt skal konkurranseutsettes i løpet av 2017. "Turistrute Hardanger" drives i perioden 1. mai – 30. september, og har de siste årene vært drevet av Norled med hurtigbåten *MS Tedno*, som er en ombygget kombi-katamaran i aluminium med kapasitet på 112 passasjerer (pax). Sambandet skal i 2017 drives med *MS Brage*, en karbonfiber-katamaran med kapasitet på 147 pax. Begge fartøy har konvensjonell diesel-mekanisk fremdrift.

I henhold til politiske vedtak om at fylkeskommunen skal kreve bruk av fornybar energi der det er mulig ved fremtidige kollektivbud (sak 104/2015), ønsker Skyss å kartlegge potensialet for innføring av klimatiltak på "Turistrute Hardanger". PROPEL har, etter avrop fra "Rammeavtale Marinteknisk bistand", gjennomført oppdraget for Skyss. Arbeidet har blitt konsentrert rundt evaluering av realistiske alternativer for fremdrift av hurtigbåter som er aktuelle for ruten, samt vurdering av mulige tilpasninger av ruteplanen, for å oppnå en reduksjon av klimautslipp.

Denne rapporten vil danne basis for utforming av konkurransegrunnlaget for ny kontrakt for "Turistrute Hardanger" med oppstart 01.01.2020. Rapporten beskriver metodikk og forutsetninger i kapittel 2 og gir videre en beskrivelse av dagens ruteplan, samt belegg basert på passasjerstatistikk fra august 2016, i kapittel 3. Kapittel 4 estimerer effekt- og energibehov for ulike fartøyalternativer, sammenlignet med referansealternativet som representerer dagens fartøy.

Mulige og realistiske fremdriftsteknologier (fremdriftssystem og energibærere) drøftes i kapittel 5, med konklusjon på hva som anses som realistiske alternativer for neste anbudsperiode for "Turistrute Hardanger". Nødvendige modifikasjoner av infrastruktur og potensialet for støtteordninger er beskrevet i kapittel 6, og andre betraktninger rundt økonomi og kontraktstrategi gis i kapittel 7. Til slutt følger en oppsummering og konklusjon i kapittel 8.

2 Metodikk og forutsetninger

PROPEL har i arbeidet brukt en løsningsmetodikk basert på følgende prinsipper:

- **Referansealternativ;** dagens fartøy og rutetabell. Kostnader ved miljøgevinster blir sammenlignet med referansealternativet.
- **Ikke-ekskluderende tilnærming;** stegvis metodikk som ikke ekskluderer løsningsalternativer.
- **Balanse i presisjonsnivå;** hensikten med oppdraget er å gi oppdragsgiver et beslutningsgrunnlag for krav til klimatiltak i ny kontrakt, og ikke en detaljert spesifisering for ønsket løsning.
- **Gjenbruk;** benytte en generisk metodikk og modell som Skyss kan anvende også for andre hurtigbåtsamband.

Arbeidet har fulgt seks steg for å identifisere et realistisk teknisk handlingsrom for å oppnå reduksjon i klimautslipp fra "Turistrute Hardanger". Nøkkelpersoner hos Skyss har vært informert og involvert i prosjektet, spesielt i forhold til anskaffelse av relevant informasjon og vurdering av realistiske alternativer i steg 2. Det har vært arrangert felles arbeidsmøter ved prosjektoppstart og i steg 2.

Følgende forutsetninger ligger til grunn for analysen og anbefalingene i denne rapporten:

- **Fartøystype:** Passasjerkatamaran i aluminium eller karbon
- **Passasjerkapasitet:** 150 og 200 passasjerer (pax)
- **Rutetider og anløpssteder:** Utgangspunktet er å beholde rutetider og anløpssteder som i dagens kontrakt, men effekten av å ekskludere havner med lavt passasjerbelegg er blitt vurdert
- **Sesonglengde:** Fem måneder, 1. mai til 30. September
- **Klimautslipp:** Global oppvarming begrenset til utslipp av CO₂.

Steg 1: Kartlegge effekt- og energibehov til fartøy ved forskjellig kapasitet og ruteoppsett

For å kunne identifisere realistiske tekniske løsninger for "Turistrute Hardanger" har det vært viktig å fastsette energibehovet for ulike fartøyalternativer. Ettersom rutetidene skal beholdes, har det ikke vært tema å redusere gjennomsnittlig seilehastighet, og variasjonene har derfor gått på passasjerkapasitet. Skyss har stilt et data-verktøy utarbeidet av LMG Marin til rådighet for prosjektet /1/. Verktøyet har blitt benyttet til å beregne effektbehov, energibehov og klimautslipp for ulike fartøyalternativer og fremdriftsteknologier, for aktuelle ruteplaner. Prosjektet har også sammenlignet resultater fra LMG-verktøyet med målte data fra 2016.

MS Tedno, som trafikkerte sambandet inntil 2016, er en ombygget kombi-katamaran i aluminium, som antas å ha noe høyere drivstofforbruk enn en ren passasjerkatamaran, og LMG Marin-verktøyets fartøy på 100 pax har derfor blitt brukt som referanse for *Tedno*, som i det videre er kalt "referansealternativet".

Effekt- og energibehovet for å trafikkere sambandet er definerende for dimensjonering av fremdriftsteknologien. Effektbehovet (kW) defineres av krav til seilehastighet, og energibehovet (kWh) defineres av krav til seilehastighet og -distanse.

Steg 2: Identifisere aktuelle fremdriftsteknologier, beregne kostnadsestimater og miljø- og energieffektivitet

Flere ulike fremdriftsteknologier, som inkluderer fremdriftssystemer og energibærere, vil være teknisk mulig for en hurtigbåt. Prosjektet har i Steg 2 identifisert aktuelle fremdriftssystemer og energibærere, og hvilke kombinasjoner av disse som er mulig.

Både fremdriftssystemer og energibærere har begrensninger i anvendelse på hurtigbåter, både av tekniske og kommersielle årsaker. Seilingsdistanse og mulighet for påfyll av energibærer vil i tillegg legge begrensninger på noen av alternativene.

Vi har i Steg 2 først gjort en kvalitativ vurdering av de ulike fremdriftssystemene og energibærerne uavhengig av hverandre, basert på teknisk anvendelighet. Deretter har vi sett på ulike kombinasjoner av fremdriftssystem og energibærer og vurdert deres anvendelighet for "Turistrute Hardanger".

Basert på de kvalitative vurderingene har realistiske fremdriftsteknologier blitt identifisert, og en kvantitativ analyse av miljøeffektivitet har blitt gjennomført. Resultatene har blitt sammenlignet med referansealternativet.

Steg 3: Kartlegge kostnader for modifisering av infrastruktur

Basert på konklusjonene i steg 2 ble PROPEL og Skyss enige om hvilke fremdriftsteknologier som blir ansett som realistiske for turistruten. I Steg 3 har vi undersøkt eventuelle behov for oppgradering av infrastruktur på anløpsstedene, relatert til disse alternativene.

Steg 4: Identifisere potensielle støtteordninger

I Steg 4 har potensielle støtteordninger blitt undersøkt, med hensikt å vurdere om økonomisk støtte kan være aktuelt for de realistiske klimatiltakene. Ettersom reduksjon av klimautslipp har vært tema for prosjektet, er det støtte fra Enova og NO_x-fondet som kan være relevante for "Turistrute Hardanger".

Steg 5: Andre økonomiske og praktiske betraktninger

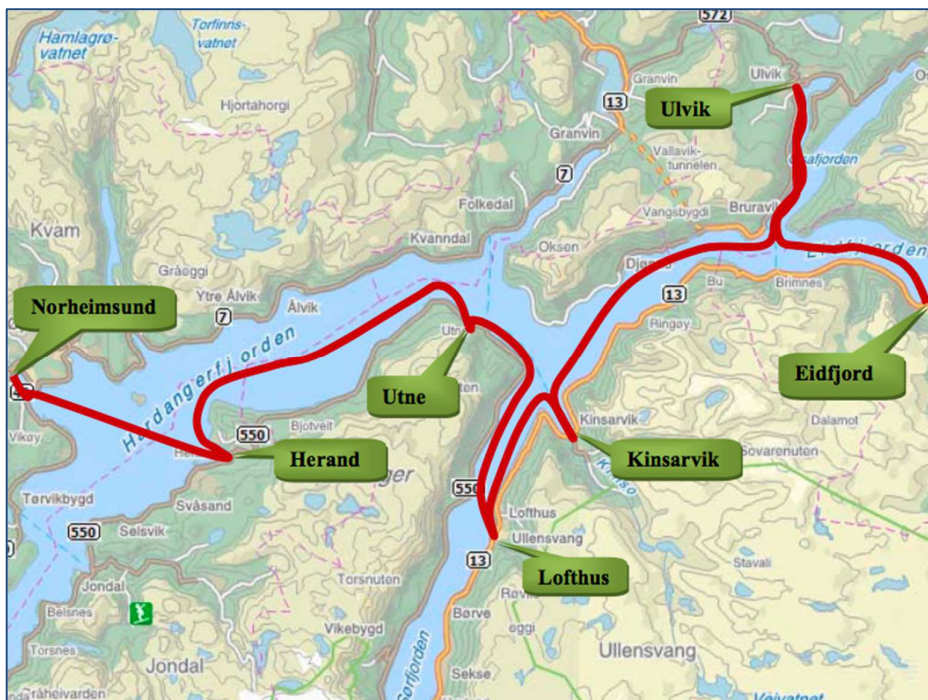
Utover rangering av fremdriftsteknologier relevant for "Turistrute Hardanger" vil det være andre betraktninger rundt anbudskonkurransen som kan påvirke tilbud fra leverandørene. Dette kan være alternativ anvendelse av fartøyet og strategivalg rundt utforming av kontrakten for neste anbudsperiode.

Steg 6: Analysere, rangere og konkludere

Basert på resultatene fra Steg 1-5, har de realistiske fremdriftsteknologiene blitt vurdert ut fra reduksjon av klimautslipp. Mulige justeringer av ruteplanen har også blitt analysert og kvantifisert med hensyn på klimautslipp. Rangeringen danner basis for en anbefaling om krav til klimatiltak som bør spesifiseres i den neste anbudsrunderen for "Turistrute Hardanger".

3 Beskrivelse av turistrute Hardanger

"Turistrute Hardanger" er en del av turisttilbudet i Hardanger og er markedsført gjennom "Fjordtours" og "Norway in a nutshell". Turistruten blir operert av en hurtigbåt med daglige anløp i Norheimsund, Herand, Utne, Lofthus, Kinsarvik, Ulvik og Eidfjord i perioden 1. mai til 30. september.



Figur 1: Kart med oversikt over anløpssteder for "Turistrute Hardanger"

Passasjerene kan bestille rundreise fra Bergen med buss til og fra Norheimsund, starte rundreisen i Norheimsund, eller reise på deler av ruten. Rundreisen inkluderer ca. tre timers opphold i Eidfjord, hvor fartøyet ligger til kai i denne perioden.

Norled er operatør av turistruten som i perioden 2014-2016 vært drevet med *MS Tedno*, en hurtiggående katamaran med kapasitet på 112 pax. *MS Brage*, også en hurtiggående katamaran, med kapasitet på 147 pax vil operere ruten i 2017.

3.1 Dagens rutetabell

Den daglige ruten starter i Lofthus retning Norheimsund, etterfulgt av én rundreise Norheimsund-Eidfjord med anløp på alle nevnte anløpssteder. Etter endt rundreise returnerer fartøyet til Lofthus, via Herand og Utne, hvor det ligger over natten.

For å beregne totalt energibehov for en daglig rundtur med referansealternativet er dagens rute, med anløpssteder og -tider iht. rutetabell, lagt til grunn. Etersom reisene mellom Lofthus og Norheimsund, morgen og kveld, ikke er en del av den markedsførte turistruten, har vi valgt å dele daglig rute inn i fire del-reiser, som beskrevet i Tabell 1.

Del-reise	Strekning	Avgangstid
Morgenrute	Lofthus-Utne-Herand-Norheimsund	07:30
Utreise	Norheimsund-Herand-Utne-Lofthus-Kinsarvik-Ulvik-Eidfjord	09:00
Returreise	Eidfjord-Ulvik-Kinsarvik-Lofthus-Utne-Herand-Norheimsund	14:40
Kveldsrute	Norheimsund-Herand-Utne-Lofthus	17:50

Tabell 1: Del-reiser for "Turistrute Hardanger"

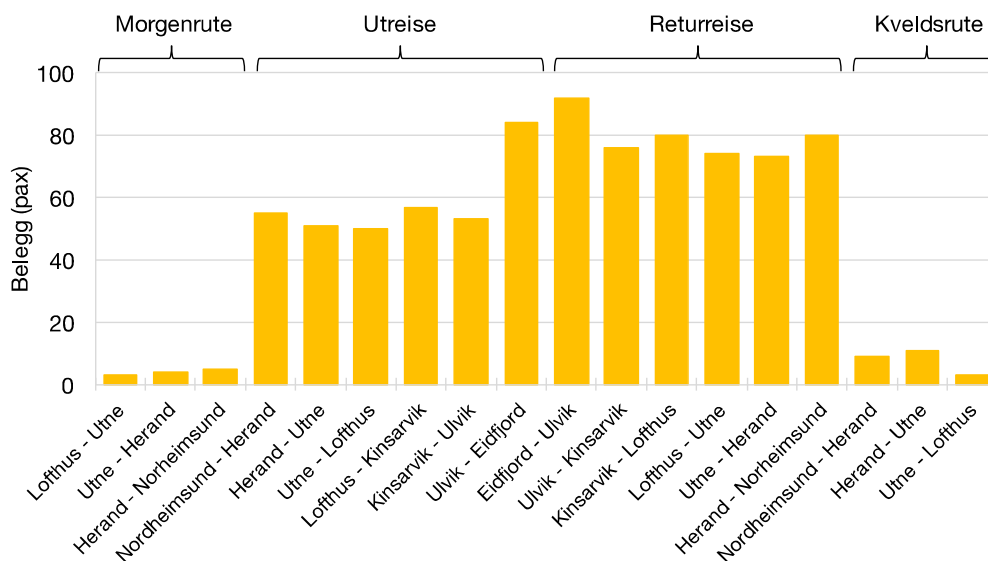
3.2 Seilehastigheter og -distanser

Dagens rute utgjør en distanse på ca. 316 km, målt fra kart. Morgen- og kveldsruten utgjør samlet en distanse på ca. 100 km.

Basert på dagens rutetabell og målte distanser, kreves en gjennomsnittlig seilehastighet som varierer mellom 19,1 og 26,3 knop mellom de ulike anløpsstedene, med et gjennomsnitt for hele rundreisen på 23,6 knop.

3.3 Passasjerstatistikk

Passasjerstatistikk fra august 2016 viser at gjennomsnittlig belegg på utreisen varierte fra 50 til 84 pax på ulike delstrekninger. På returreisen varierte gjennomsnittlig belegg mellom 73 og 92 pax, som vist i Figur 2. August 2016 var den enkeltmåneden med høyest passasjertall i 2015 og 2016 /2/.

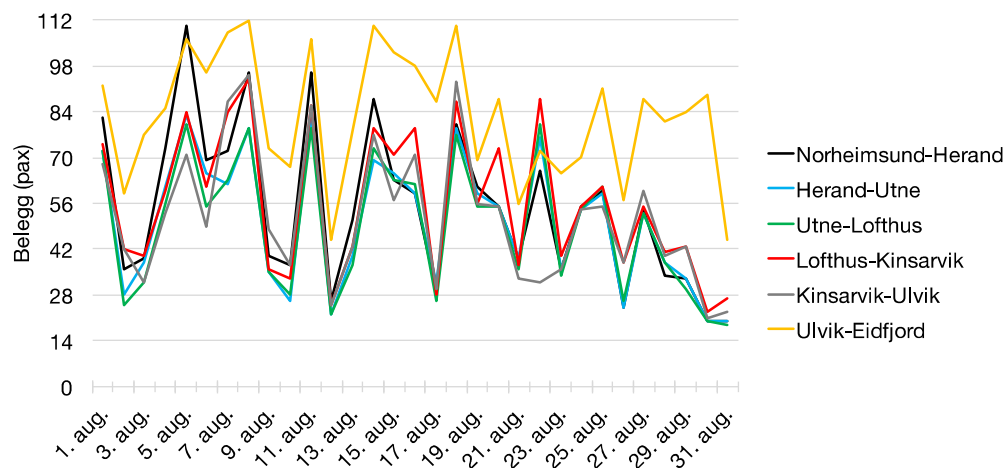


Figur 2: Gjennomsnittlig belegg på del-reiser i august 2016

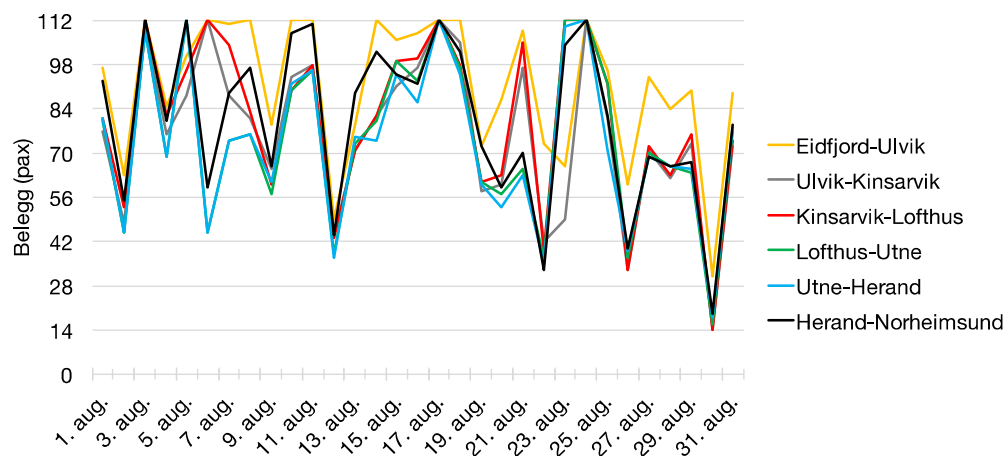
Passasjerstatistikken fra august 2016 viser at det på utreisen kun var fullt belegg på én delstrekning, én dag (Ulvik-Eidfjord 8. august). På returreisen var det imidlertid elleve dager med fullt belegg på enkelte del-reiser, og ved to anledninger var det fullt belegg på hele returreisen fra Eidfjord til Norheimsund (hhv. 17. og 24. august). Ifølge Skyss var det enkelte dager ikke plass til alle som ønsket å være med ombord, og Norled vurderte det som nødvendig å leie inn buss som alternativ transport. Belegget på de ulike del-reisene i august 2016 er illustrert i Figur 3 og Figur 4.

Fra et kommersielt ståsted vil maksimal passasjerkapasitet for fartøyet være av betydning, siden inntektene avhenger av antall solgte billetter og salg ombord. Kostnadene ved drift av fartøyet påvirkes relativt lite av varierende belegg, ettersom fartøyet trafikkerer samme rute hver dag, mannskapskostnadene er de samme og drivstoffkostnadene i hovedsak er en konsekvens av fartøyets spesifikasjoner og ikke antall passasjerer ombord. I tillegg kan begrensninger i kapasiteten ha en avvisende effekt i forhold til etterspørselen.

Vi har ikke grunnlag for å estimere vekst i passasjertall for neste anbudsperiode. Det er imidlertid viktig å bemerke at det ikke er en direkte sammenheng mellom totalt passasjertall og gjennomsnittlig belegg, ettersom hver påstigning teller som én passasjer, uavhengig av hvor mange del-reiser passasjerer er ombord. I et miljøperspektiv er det gjennomsnittlig belegg som bør være den avgjørende parameteren.



Figur 3: Belegg på utreise i august 2016



Figur 4: Belegg på returreise i august 2016

4 Effekt- og energibehov for ulike fartøy- og rutealternativer

4.1 Effekt- og energibehov for ulike fartøyalternativer

For å kunne gjennomføre pålitelige analyser av klimautslipp er det nødvendig å ha realistiske data på effekt- og energibehov for ulike fartøyer som kan være relevant for "Turistrute Hardanger".

MS Tedno har trafikkert ruten i perioden 2014 - 2016, og det ideelle ville være å ha tilgang til nøyaktige driftsdata for dette fartøyet, som seilehastighet, utseilt distanse, effektuttak og drivstofforbruk på daglig basis. Dette har imidlertid ikke vært tilgjengelig for prosjektet, med unntak av samlet drivstofforbruk og gjennomsnittlig daglig seiledistanse i 2016-sesongen.

PROPEL har derfor, ved bruk av erfaringsdata, beregnet daglig drivstofforbruk for *Tedno* ut fra årlig drivstofforbruk, og sammenlignet dette med det fartøyalternativet i LMG-verktøyet som ligger nærmest *Tedno* i spesifikasjoner. Dette er en katamaran med aluminiumskrog og diesel-mekanisk (D/M) fremdrift, med kapasitet på 100 pax. Avviket er på x prosent og kan sannsynligvis forklares med at *Tedno* er en ombygget kombikatamaran (opprinnelig bygget for både passasjerer og tyngre laster) og dermed har høyere lettskipsvekt enn en ren passasjer-katamaran.

Norled opplyser at gjennomsnittlig utseilt distanse per dag er 302 km /2/. Avviket fra målt distanse er på 5 prosent, og kan skyldes unøyaktighet i måling på kart i forhold til reell seilingsrute.

Avvikene er innenfor usikkerhetsmargin, og vil ikke påvirke konklusjoner og anbefalinger i denne studien. I mangel på nøyaktige driftsdata for *Tedno*, har vi derfor valgt å bruke data for fartøyet i LMG-verktøyet som grunnlag for referansealternativet.

Beregnet energibehov for hver del-reise er vist i Tabell 2. For å illustrere energieffektiviteten per passasjer ombord, er denne vist med grunnlag i gjennomsnittlig belegg på del-reisene i august 2016, som er den måneden med høyest passasjertrafikk i 2015 og 2016 /2/. Energieffektiviteten er også indeksert med utgangspunkt i returreisen, som har høyest belegg, for å illustrere den relative forskjellen mellom del-reisene.

Del-reise	Distanse (km)	Energibehov (kWh)	Belegg (pax)	Energieffektivitet (kWh/pax-km)	Relativt energibehov
Morgenrute	50,5	1.220	4	19,8	1190%
Utreise	107,5	2.404	58	2,4	150%
Returreise	107,5	2.337	79	1,7	100%
Kveldsrute	50,5	1.119	8	11,2	660%

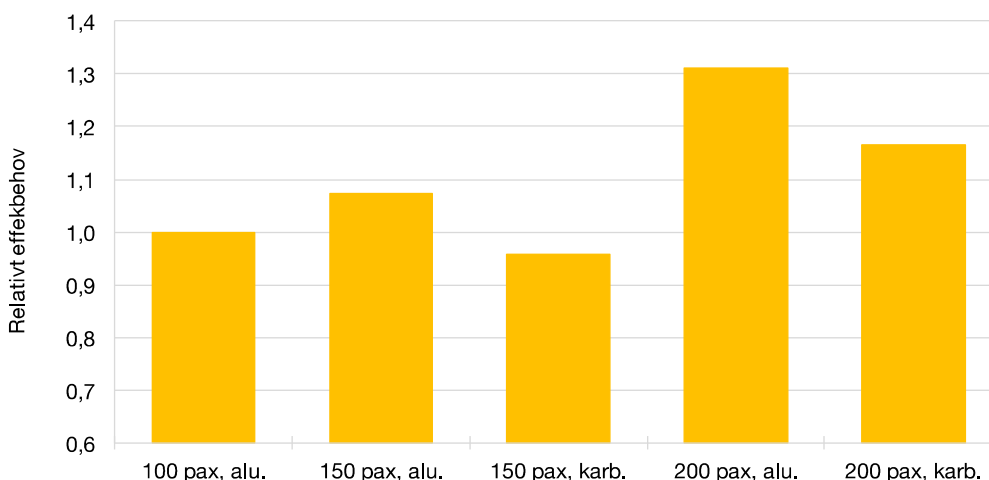
Tabell 2: Energibehov for de ulike del-reisene

Energiforbruket per passasjer er 11,9 ganger høyere for morgenruten og 6,6 ganger høyere for kveldsruten, sammenlignet med returreisen.

LMG-verktøyet inneholder fartøy-alternativer hvor passasjerkapasiteten har intervaller på 50 pax. Følgende fartøyalternativer har blitt benyttet til å kartlegge effekt og energibehovet for ruten:

- Passasjerkatamaran i aluminium, 150 pax
- Passasjerkatamaran i karbonfiber, 150 pax
- Passasjerkatamaran i aluminium, 200 pax
- Passasjerkatamaran i karbonfiber, 200 pax

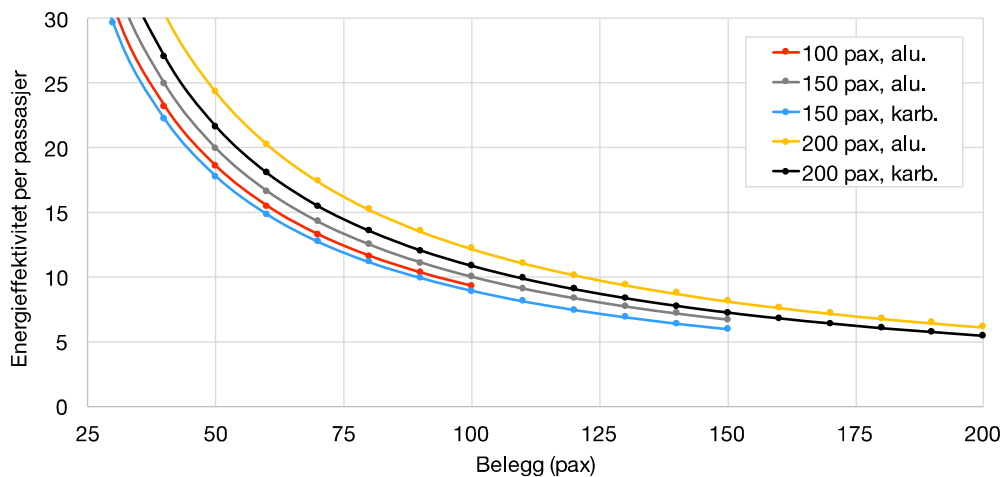
Figur 5 viser relativt effektbehov for disse fartøyalternativene, sammenlignet med referansealternativet. Basis for beregningene er diesel-mekanisk fremdrift og en seilehastighet på 25 knop. Ettersom energibehovet er en funksjon av effektbehov og tid, vil den relative forskjellen i energibehov for "Turistrute Hardanger" være den samme.



Figur 5: Relativt effektbehov for ulike fartøyalternativer med diesel-mekanisk fremdrift og 25 knop seilehastighet

Beregningene viser at forskjellene i effektbehovet mellom referansealternativet (100 pax) og fartøyene med kapasitet på 150 pax er relativt små. En karbonfiber-katamaran med 150 pax vil i henhold til LMG-verktøyet ha lavere effektbehov enn referansealternativet.

Vi ser imidlertid at økningen i effektbehov for fartøyer med kapasitet på 200 pax er betydelig. En aluminium-katamaran med 200 pax har 31 prosent høyere effektbehov, og en karbonfiber-katamaran har 17% høyere effektbehov enn referansealternativet. For å vurdere aktualiteten til disse fartøyalternativene i et miljøperspektiv, blir det derfor viktig å se på energieffektiviteten per passasjer, illustrert i Figur 6.



Figur 6: Energieffektivitet per passasjer for ulike fartøyalternativer med diesel-mekanisk fremdrift og 25 knop seilehastighet i én time (kilde: LMG-verktøy)

Figur 6 viser at for et passasjerbelegg inntil 150 pax, vil et karbonfiber-katamaran med 150 pax alltid ha best energieffektivitet. På grunn av høyere energibehov, vil en aluminium-katamaran på 200 pax alltid ha dårligere energieffektivitet enn dette fartøyet, mens en karbonfiber-katamaran på 200 pax krever et belegg på over 180 pax for å komme gunstigere ut.

I et miljøperspektiv bør derfor passasjerkapasiteten til fartøyet ses i sammenheng med forventet passasjerbelegg gjennom sesongen. Kun dersom gjennomsnittlig belegg overskrider 180 pax, kan en karbonfiber-katamaran på 200 pax forsvares ut fra et rent miljøhensyn.

Basert på resultatene fra LMG-verktøyet, er beregnet energibehov for de ulike fartøyalternativene i trafikk på "Turistrute Hardanger" oppsummert i Tabell 3.

	Distanse (km)	Energibehov (kWh)				
		100 pax, alu.	150 pax, alu.	150 pax, karb.	200 pax, alu.	200 pax, karb.
Morgenrute	50,5	1.220	1.310	1.168	1.598	1.422
Utreise	107,5	2.404	2.582	2.301	3.149	2.803
Returreise	107,5	2.337	2.510	2.237	3.061	2.725
Kveldsrute	50,5	1.119	1.202	1.071	1.466	1.305
Totalt	316	7.080	7.604	6.778	9.274	8.254

Tabell 3: Energibehov for ulike fartøyalternativer

Effektforbruk mens fartøyet ligger i standby-modus i havn er i LMG-verktøyet estimert til 4-6 kW for de ulike fartøyalternativene. Dette tilsvarer et drivstofforbruk på ca. 20 liter per dag, eller ca. 3.000 liter per år, med dagens rutetabell dersom generatorsett ombord benyttes. Landstrøm er imidlertid tilgjengelig, og benyttes både i Lofthus og Eidfjord.

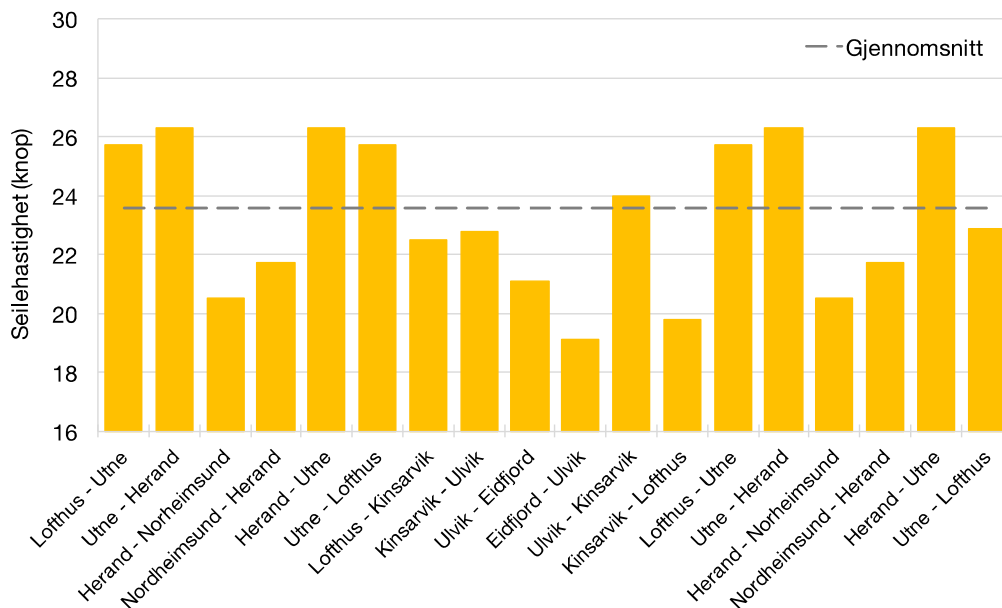
4.2 Effekt- og energibehov for ulike rutealternativer

Som vist i Figur 2 er gjennomsnittlig belegg på morgenruten, fra Lofthus til Norheimsund, og kveldsruten, fra Norheimsund til Lofthus, vesentlig lavere enn på utreisen og returreisen. Dette indikerer at turistrafikken i all hovedsak foregår på ut- og returreise, mens morgen- og kveldsruten antagelig benyttes mest av lokale passasjerer.

Som vist i Tabell 2, er energiforbruket per pax-km hhv. 11,9 og 6,6 ganger høyere for morgen- og kveldsruten, sammenlignet med returreisen, basert på passasjerstatistikk for august 2016. Dette viser at en betydelig miljøgevinst er oppnåelig ved å avvikle morgen- og kveldsruten i neste anbudsperiode. En konsekvens av dette vil være at fartøyet ligger i Norheimsund over natten, i stedet for i Lofthus.

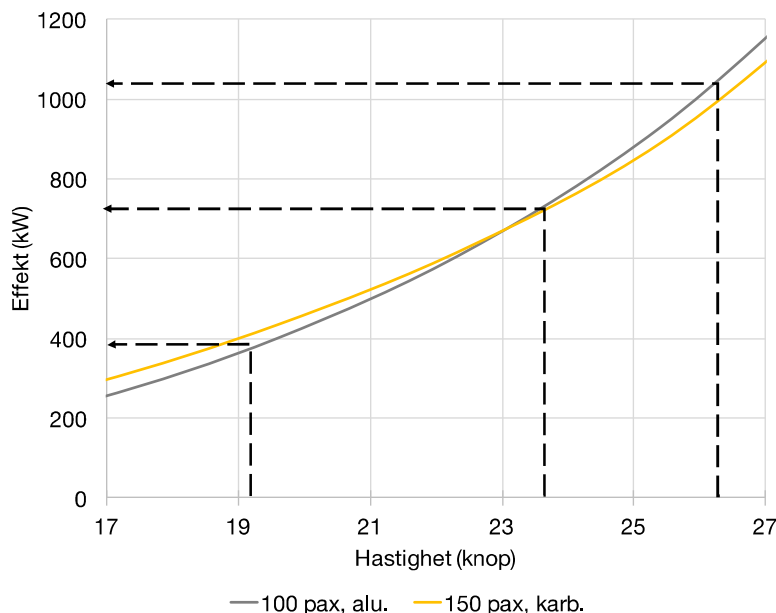
Energibehovet som er beregnet for del-reisene viser at det er mulig å redusere drivstofforbruket med 32 prosent ved å innføre et slikt tiltak, ved at den daglige seiledistansen reduseres fra 316 km til 215 km. Reduksjon i klimautslipp vil være tilsvarende.

Ut fra dagens rutetabell er gjennomsnittlig seilehastighet mellom hvert anløpssted beregnet, og illustrert i Figur 7. Seilehastigheten varierer mellom 19,1 og 26,3 knop, mens gjennomsnittlig hastighet for hele dagsreisen er 23,6 knop.



Figur 7: Seilehastighet mellom anløpssteder med dagens rutetabell

Fart-/forbrukskurver for skip er en tredjegrads-funksjon, noe som gjør at én knops hastighetsøkning ift. gjennomsnittlig seilehastighet krever en større økning i drivstofforbruk enn den reduksjon man oppnår ved å redusere hastigheten med én knop fra samme utgangspunkt. Figur 8 viser fart-/effektkurver for to fartøyalternativer, og ettersom drivstofforbruket er proporsjonalt med motoreffekt, vil sammenhengen være den samme for fart og forbruk.



Figur 8: *Fart-/effektkurver for ulike fartøyalternativer*

Med dagens rutetabell vil effektbehovet for referansealternativet variere fra ca. 400 kW ved 19,1 knop til ca. 1.030 kW ved 26,3 knop. Effektbehovet ved en gjennomsnittshastighet på 23,6 knop vil være ca. 750 kW. Sammenlignet med totalt effektbehov ved dagens ruteplan er det derfor mulig å redusere drivstofforbruket med ca. 3 prosent ved å justere anløpstidene noe, men uten å endre avgangs- og ankomsttider i Norheimsund og Eidfjord¹.


Ved å avvikle morgen- og kveldsruten og samtidig justere anløpstidene til å gi samme gjennomsnittshastighet mellom alle anløpssteder, kan man oppnå en samlet reduksjon i energibehov og drivstofforbruk på 35 prosent, som oppsummert i Tabell 4.

	Energibehov (kWh)	Reduksjon
Dagens ruteplan	Ca. 7.100	
Reduksjon: Avvikle morgen- og kveldsrute	Ca. 2.300	32%
Reduksjon: Justering av anløpstider/ruteplan	Ca. 240	3%
Totalt effektbehov	Ca. 4.560	35%

Tabell 4: *Potensiell reduksjon i energibehov ved justering av ruteplan*

Dette anslaget forutsetter at landstrøm vil være tilgjengelig i Norheimsund. Skulle det vise seg å ikke være tilfelle, vil det medføre et ekstra drivstofforbruk på ca. 16 liter per dag, tilsvarende ca. 75 kWh. Dette medfører at miljøgevinsten ved å avvikle morgen- og kveldsruten ville bli redusert med ett prosentpoeng, til ca. 31 prosent, og samlet

¹ I beregningen er det ikke justert for at strekningen Eidfjord-Ulvik med lavest snitthastighet (19,1 knop) har innlagt 5 minutter med sightseeing. Dette er antatt å ha marginal effekt på estimert reduksjon på potensialet for å redusere drivstofforbruket.

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegging av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

reduksjon ville være 34 prosent. Mulighet for landstrøm i Norheimsund er omtalt i avsnitt 6.1.

Ytterligere reduksjon i energibehov være mulig ved å øke reisetiden mellom Norheimsund og Eidfjord, f.eks. med 10 eller 20 minutter. Dette vil gi lavere gjennomsnittlig seilehastighet og lavere effekt- og energibehov som beskrevet over. Gevinsten vil være redusert drivstofforbruk og lavere klimautslipp. Et slikt tiltak må naturligvis ses i sammenheng med behov for å beholde dagens avgangs- og ankomsttider, korrespondanser og turistenes program i Eidfjord.

5 Aktuelle og realistiske fremdriftsteknologier

En fremdriftsteknologi består av et fremdriftssystem og én eller flere energibærere. I de følgende avsnittene gjøres en kvalitativ vurdering av anvendeligheten til ulike fremdriftssystemer og energibærere for "Turistrute Hardanger".

5.1 Fremdriftssystemer

De aller fleste hurtiggående passasjer-katamaraner bygges med et konvensjonelt, diesel-mekanisk (D/M) fremdriftssystem i hvert skrog, hvor én eller to hurtiggående (turtall over 1.000 rpm) dieselmotorer er koblet til et reduksjonsgear som igjen driver en vribar propell. Denne type fremdriftsanlegg velges primært av plass- og vekthensyn, da begge er parametere som er kritiske for en hurtigbåt. Historisk har marin gassolje (MGO) vært eneste alternativ som energibærer for denne type motorer.

Andre typer fremdriftssystemer er også teknisk mulig å installere i slike fartøyer. Eksempelvis er diesel-elektrisk (D/E) fremdrift gunstig for fartøy som har hyppige havneanløp og mye manøvrering, noe som er gjeldende for mange hurtigbåtsamband, inkludert "Turistrute Hardanger". Imidlertid krever diesel-elektriske fremdriftsanlegg en del tunge og til dels plass-krevende komponenter, som er ufordelaktig i et fartøy med liten plass og hvor vekt er kritisk. I tillegg er mekanisk virkningsgrad lavere enn for diesel-mekanisk fremdrift.

De siste årene har hybrid-elektrisk og full-elektrisk fremdrift blitt aktualisert for flere fartøytyper. Her drives fartøyet helt, eller delvis, fremover av elektromotorer med batteri som energibærer. Ved hybrid-elektrisk fremdrift lades batteriene enten fra diesel-/gassmotorer ombord, eller fra land. Ved full-elektrisk fremdrift kreves lading av batterier fra land, eller fra brenselceller ombord. Ved lading fra land er kort seiledistanse, hyppige havneanløp og lengre liggetid over natten viktige kriterier for anvendelighet. Med økende seilehastighet mellom ladehavner og høyere effektuttak til fremdrift, øker også nødvendig lagringskapasitet på batteriene, som igjen fører til økt volum og vekt.

For "Turistrute Hardanger" anses alle de nevnte typer fremdriftssystemer som teknisk mulig hvis man ikke tar hensyn til energibærer, med ulike barrierer for anvendelighet som angitt i Tabell 5.

Fremdriftssystem	Barrierer
Diesel-mekanisk (D/M)	Ingen
Diesel-elektrisk (D/E)	Plass, vekt
Hybrid-elektrisk (D/E + batteri)	Plass, vekt
Full-elektrisk	Ingen

Tabell 5: Alternative fremdriftssystemer for "Turistrute Hardanger" uavhengig av energibærer

5.2 Energibærere

Ethvert fremdriftssystem krever én eller flere energibærere, men det er ikke gitt at alle typer energibærere støttes av et fremdriftssystem. Tabell 6 viser en oversikt over

hvilke typer energibærere som er anvendelig i kombinasjon med fremdriftssystemene som er teknisk mulig for "Turistrute Hardanger".

Fremdrifts-system	Mulige energibærere						
	MGO	Bio-diesel	Bio-gass	LNG	Batteri	Brensel-celler	Metanol
Diesel-mekanisk	Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Diesel-elektrisk	Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Hybrid-elektrisk	Ja	Ja	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei
Full-elektrisk	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Nei

Tabell 6: Generell anvendelighet av energibærere til ulike fremdriftssystemer

Hver energibærer er forbundet med tekniske, regulatoriske og kommersielle barrierer i forbindelse med anvendelse i hurtigbåt. Tabell 7 gir en oversikt over de viktigste barrierer som er relatert til ulike energibærere for "Turistrute Hardanger", og ytterligere kommentarer til hver enkelt energibærer følger under.

Energibærer	Barrierer	Realistisk alternativ?
MGO	Ingen	Ja
Bio-diesel	Anvendelighet på motorer, tilgjengelighet, infrastruktur, pris	Ja
Bio-gass	Anvendelighet på motorer, tilgjengelighet, infrastruktur, pris, plass ombord (lagertanker), regelverk	Nei
LNG	Anvendelighet på motorer, infrastruktur, pris, plass ombord (lagertanker), regelverk	Nei
Batteri	Rekkevidde, størrelse, vekt, pris	Nei
Brenselceller	Ny teknologi, kommersiell tilgjengelighet, regelverk, tilgang på hydrogen som drivstoff	Nei
Metanol	Anvendelighet på motorer, tilgjengelighet	Nei

Tabell 7: Barrierer for energibærere og anvendelighet for "Turistrute Hardanger"

Marin gassolje (MGO)

MGO er den vanlige energibæreren for alle hurtiggående dieselmotorer, og er dermed aktuell for både diesel-mekaniske, diesel-elektriske og hybride fremdriftssystemer. MGO anvendes i dag som energibærer for "Turistrute Hardanger".

Bio-diesel

Bio-diesel fungerer som et alternativt drivstoff til fossil diesel og forbrennes etter de samme prinsipper. Det skilles mellom bio-diesel som består av metylester-fettsyrer fra glyserol-isomerer fra C14 til C24, også kalt førstegenerasjons B100, og syntetisk bio-diesel fremstilt av forskjellige avfallsprodukter, også kalt BtL (Biomass-to-Liquid).

B100 som tilfredsstill standarden DIN EN 14214 produseres fra raps i Norge, og er anvendelig i de fleste typer diesel-motorer for lette og tyngre kjøretøy. Denne type bio-diesel er bl.a. vurdert som et realistisk alternativ som drivstoff for Skyss sine bussruter /15/. Samtaler med norske distributører av de mest aktuelle motortypene for hurtigbåter, MTU og MAN, bekrefter at bio-diesel innenfor standarden DIN EN 14214, produsert av raps, ikke kan benyttes på deres eksisterende og nye motorer på grunn av høy aggressivitet og dårlig lagringsbestandighet. Dette ekskluderer derfor B100 som realistisk bio-drivstoff for "Turistrute Hardanger".

HVO (Hydrogenerert vegetabilsk olje) innenfor standarden DIN EN 15940 er imidlertid godkjent for bruk i alle MTU-motorer, både eksisterende og nye, og vedlikeholdskostnadene forventes ikke å øke /4/. Både *Tedno* og *Brage* har MTU-motorer installert. HVO er per i dag ikke godkjent drivstoff for MAN-motorer, hverken eksisterende eller nye /5/. HVO er en syntetisk bio-diesel som tilbys i to varianter for marin anvendelse i Norge, hhv. HVO100 fra Circle K og 2G Marine fra Eco-1.

HVO er dermed en aktuell energibærer for diesel-mekaniske, diesel-elektriske og hybrid-elektriske fremdriftssystemer der denne type bio-diesel er godkjent av motorleverandøren. Noen egenskaper, f.eks. tetthet, kan avvike fra MGO. En sammenligning av egenskaper, som oppgitt i LMG-verktøyet er gitt i Tabell 8.

Drivstoff	Energiinnhold (MJ/kg)	Tetthet (t/m ³)
MGO	42,7	0,845
Bio-diesel	42,7	0,78 (92%)

Tabell 8: Egenskaper for MGO og bio-diesel /1/

Skyss har krav om at evt. biodrivstoff skal være sertifisert iht. norske bærekraftkriterier, som har utgangspunkt i rammeverket til EU. Dette innebærer at drivstoffet skal oppfylle to kriterier /7/:

1. **Utslippskrav:** Krav om 35 prosent reduksjon i totale klimagassutslipp i et livsløpsperspektiv, sammenlignet med fossile drivstoff, og 50 prosent reduksjon fra 01.01.2018. For drivstoff produsert ved "nye" anlegg (produksjonsstart etter 05.10.2015) kreves en reduksjon på 60 prosent, og 70 prosent fra 2020.
2. **Arealkrav:** Krav om at råstoffet til biodrivstoffet ikke er dyrket på arealer som har høy biodiversitet eller et høyt karboninnhold.

Biodrivstoff som er produsert av avfall eller rester fra produksjonsprosesser trenger ikke oppfylle arealkravet, men må oppfylle kravet til reduksjon av klimagasser /7/.

Videre kategoriseres biodrivstoff gjerne iht. hvilket råstoff som benyttes i produksjonen /8/:

- **Førstegenerasjons biodrivstoff:** Biodrivstoff som er hentet direkte fra sukker, stivelse eller planteoljer. Det som kjennetegner 1. generasjon er at den kan være i konflikt med jordbruksland.
- **Avanserte biodrivstoff:** Biodrivstoff produsert fra all slags biomasse, hovedsaklig lignocellulosebaser som trevirke og restprodukter fra jordbruk. Dette er energiavlinger som ikke konkurrerer med jordbruksland.

Både HVO100 og 2G Marine ble inntil 01.01.2017 produsert fra PFAD (Palm Fatty Acid Distillate), som inntil samme dato var definert som et avfalls-/restprodukt av Miljødirektoratet og dermed tilfredsstilte kravet til bærekraftsertifisering. Fra 01.01.2017 ble Miljødirektoratets definisjon av PFAD endret til biprodukt, slik at biodrivstoff som produseres fra PFAD nå også må tilfredsstillte arealkravet for å være bærekraftsertifisert.

Circle K og Eco-1 sine produkter har, på grunn av dette, fått erstattet PFAD med råstoffer kategorisert som avfall i produksjonen /10/. Slike avfallsprodukter er et

knapphetsgode, og sammen med en økning i omsetningskravet for biodrivstoff i veitrafikken til 7 prosent fra 01.01.2017, har det medført at tilbudet av HVO er redusert samtidig som etterspørselen har økt.

Konsekvensen var en prisøkning, illustrert ved Circle Ks listepris for HVO100 (Truckdiesel) som økte betraktelig rundt årsskiftet, fra 14,11 til 17,85 kr/liter inkl. mva., en økning på ca. 27 prosent /9/. 20. januar 2017 var Circle Ks listepris for HVO100, inkl. mva., rundt 29 prosent høyere per liter enn for fossil diesel, og rundt 40 prosent høyere per energimengde, korrigert for ulik tetthet. Tar man i tillegg høyde for at listeprisen for Truckdiesel er ca. 13 prosent høyere enn for MGO, er det grunn til å anta at reell prisdifferanse mellom HVO100 og MGO på det tidspunkt var på rundt 50 prosent.

Circle Ks listepriser per 10. mars 2017 viser at prisen for HVO100 (Truckdiesel) er rundt 37 prosent høyere enn for MGO, justert for tetthet.

Det er begrenset med prognoser for prisutvikling på HVO i perioden frem mot, og etter, 2020 og vi har ikke noe grunnlag for å si noe spesifikt om prisutviklingen. Tilbudet av bærekraftsertifisert HVO i Norge vil antagelig bli enda mindre som følge av nye krav til utslippsreduksjon fra 2018, med mindre det etableres ny produksjon lokalt. Samtidig økes omsetningskravet til biodrivstoff i veitrafikken gradvis opp til 20 prosent i 2020, hvilket gjør at etterspørselen etter HVO generelt vil øke. Dette elementet gir grunn til å anta at prisdifferansen mellom MGO og HVO kan øke fra dagens nivå. Tilgangen til avanserte biodrivstoff på det internasjonale markedet er også begrenset, men forventes å øke i perioden frem mot 2030 /16/. Dette kan bidra til dempet prisvekst, evt. at prisen vil gå noe ned. Norske myndigheter har også mulighet til å justere CO₂-avgiften på drivstoff for å balansere prisdifferansen mellom fossilt og bio-drivstoff.

Basert på de forskjellige referansepunktene for prising av HVO, antar vi at dagens prisnivå for HVO er 30-60 prosent høyere enn for MGO og med store usikkerheter til fremtidig utvikling bruker vi dette som utgangspunkt for fremtidig pris.

En kost-/nyttevurdering av drift med bio-diesel på "Turistrute Hardanger" vil dermed påvirkes av hvordan man vekter en prosentvis reduksjon i klimautslipp mot prosentvis økning i pris. Gitt at HVO vil være tilgjengelig til dagens priser og egenskaper i neste anbudsperiode, kan man forvente minimum 50 prosent reduksjon i klimautslipp mot en prisøkning på 30-60 prosent, sammenlignet med MGO.

Eksempel:

Skal man beregne kostnaden for redusert CO₂-utslipp ved å endre drivstoff fra MGO til HVO100, må man ta hensyn til ulikheter i pris, CO₂-utslipp, tetthet og energiinnhold i de to drivstoff-typene. I dette eksempelet tar vi utgangspunkt i listepriksen for MGO hos Circle K per 10. mars 2017, som er 9,67 kr per liter, tilsvarende 11.444 kr per tonn. Justert for tetthet og energiinnhold vil prisen for tilsvarende energimengde HVO tilsvare 12.004 kr per tonn HVO.

Forbrenning av ett tonn MGO gir et CO₂-utslipp på 3,2 tonn. Antatt utslippsreduksjon for HVO100 er 50 prosent, dvs. 1,6 tonn per forbrent tonn HVO100.

Dersom vi antar at prisen for HVO100 per energi-ekvivalent er hhv. 30 og 60 prosent høyere enn for MGO, tilsvarer det en prisøkning på hhv. 3.601 og 7.202 kr per tonn MGO-ekvivalenter, mot en utslippsreduksjon på 1,6 tonn CO₂. Kostnaden for utslippsreduksjonen vil i disse tilfellene da være hhv. 2.251 og 4.501 kr per tonn reduksjon i CO₂-utslipp.

		MGO	HVO100	HVO100	HVO100
Energitetthet	MJ/kg	42,7	44,1	44,1	44,1
Tetthet	tonn/m ³	0,845	0,78	0,78	0,78
CO ₂ -utslipp	tonn/tonn	3,2	1,6	1,6	1,6
Listepris	kr/liter	9,67			
	kr/tonn	11.444			
	kr/tonn (MGO-ekv.)	11.444	12.004	15.605	19.206
Prisforskjell	(-)	-	-	+30%	+60%
	kr/tonn (MGO-ekv.)	-	560	3.601	7.202
Utslippsforskjell	tonn/tonn	-	1,6	1,6	1,6
Kostnad for redusert utslipp	kr/tonn CO ₂	-	350	2.251	4.501

Bio-gass og LNG


Bio-gass og LNG (liquefied natural gas) er komprimerte eller nedkjølte, kondenserte gasser som kan anvendes som energibærere til forbrenningsmotorer. Av de motortyper som inntil nå har vært installert i norske hurtigbåter, er det ingen som kan bruke bio- eller naturgass som drivstoff.

Det finnes én motorleverandør (Mitsubishi) som tilbyr en hurtiggående gassmotor innenfor det effektområdet som er aktuelt, men denne har så langt kun anvendelse som generatorsett i diesel-elektriske fremdriftssystemer, bl.a. på ferjene *MF Glutra* og de tre nyeste Nesoddbåtene, og ikke i hurtigbåter. En kombinasjon av diesel-elektrisk fremdriftssystem og bio-gass eller LNG som energibærer anses ikke som aktuelt for "Turistrute Hardanger".

Batteri

Batteri som energibærer er relevant for hybrid-elektriske og full-elektriske fremdriftssystemer. Å lagre en energimengde som dekker hele behovet for "Turistrute Hardanger" er i seg selv ikke en teknisk utfordring, men omfanget av batteripakken vanskeligjør anvendelsen.

Et etablert prinsipp er at vekten av batteripakken ikke bør overskride 30 prosent av lettskipsvekten for at full-elektrisk drift skal være aktuelt for et skip. Dette er også

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegging av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

reflektert i LMG-verktøyet, som ekskluderer batteridrift som alternativ hvis vekten av batteripakken overstiger dette nivået.

Energibehovet for "Turistrute Hardanger" er beregnet til ca. 7.100 kWh med dagens fartøy og ruteplan, med potensiale for reduksjon til ca. 4.560 kWh ved å innføre justeringer av ruteplanen, som beskrevet i avsnitt 4.2. Med en energitetthet på 10,75 kg/kWh for batteripakken /1/, indikerer det en vekt på hhv. 75 tonn og 49 tonn for de to alternativene. Lettskipsvekten for fartøyalternativene som er vurdert i dette prosjektet varierer fra ca. 48 tonn til ca. 68 tonn /1/. Det betyr at vekten av en batteripakke for full-elektrisk drift vil overskride 30 prosent av lettskipsvekt i alle kombinasjoner av fartøy og ruteplan, med god margin. Tar man i tillegg hensyn til at den høye vekten av batteripakken vil medføre ytterligere økning i energibehov, blir realismen enda lavere.

Hybrid-elektrisk fremdrift kan være et alternativ i de tilfeller hvor spesielle krav tilsier at deler av seilingsruten skal opereres uten klimautslipp. Dette er f.eks. tilfellet for fartøyet *Vision of the Fjords*, som trafikkerer ruten Flåm-Gudvangen og hvor det er ønske om at fartøyet skal seile på batteridrift i Nærøyfjorden. Dette fartøyet har en batteripakke på 600 kWh som lades fra land ved kai-ligge, og fra dieselmotorer ombord når fartøyet er i drift. På batteridrift kan fartøyet seile med en hastighet på 8 knop ved hjelp av elektromotorer på 300 kW. Med normal utnyttelse av batterikapasiteten indikerer dette en seiletid på ca. 85 minutter på batteridrift, hvilket utgjør en distanse på ca. 20 km.

For "Turistrute Hardanger" vil en slik løsning være avhengig av ønsket seilehastighet og distanse med batteridrift. Dagens ruteplan med seilehastigheter fra 19 til 26 knop gjør at kravene til batterikapasitet blir så høye at reel seiledistanse på batteridrift, gitt at batteripakken skal utgjøre mindre enn 30 prosent av lettskipsvekt, blir for kort til at det anses som interessant. Løsningen anbefales heller ikke for hurtigbåt av LMG Marin /3/.

Som referanse, vil den største anbefalte batteripakken installert i referansealternativet ikke engang kunne lagre nok energi til å seile distansen Norheimsund-Herand (ca. 13,5 km) med full-elektrisk fremdrift iht. dagens ruteplan for "Turistrute Hardanger" /1/.

Batteri som energibærer for "Turistrute Hardanger" vurderes derfor ikke som et realistisk alternativ i neste anbudsrunde.

Brenselceller

Brenselceller omdanner kjemisk energi til elektrisk energi som kan brukes direkte til kraftforsyning av f.eks. elektromotorer, eller som kan mellomlagres i batterier. Brenselceller i seg selv er, per definisjon, ikke en energibærer ettersom de krever drivstoff som inneholder kjemisk energi, f.eks. hydrogen, naturgass, (bio)metanol eller (bio)etanol /3/. I denne sammenheng har vi likevel benevnt brenselceller som en energibærer siden det er brenselcelleteknologien i kombinasjon med hydrogen som er interessant å vurdere for en hurtigbåt.

Hydrogen må produseres ved bruk av andre energikilder. Det vanligste er å bruke fossilt brensel, som i seg selv medfører klimautslipp. Fremstilling ved elektrolyse, hvor elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder, er et alternativ med betydelig lavere klimautslipp, men dette utgjør bare 5 prosent av global hydrogenproduksjon /3/.

Brenselceller kan levere tilstrekkelig energi til å drive en hurtigbåt over lengre distanser, uten at det medfører stor økning i vekt sammenlignet med konvensjonell fremdrift. Utfordringen ligger i tilgjengelighet av, infrastruktur for, og lagring av f.eks. hydrogen. I tillegg er brenselceller av en slik størrelse som kreves for en hurtigbåt ikke utprøvd i et marint miljø, og det eksisterer p.t. ikke et ferdigutviklet regelverk for brenselceller for skip. Det pågår imidlertid flere prosjekter hvor hydrogen- og brenselcelleteknologi utprøves i forskjellig skala for marin anvendelse /3/, og Statens vegvesen har nylig lyst ut en utviklingskontrakt for en bilferje med hydrogen-elektrisk fremdrift for sambandet Hjelmeland-Nesvik.

Brenselcelleteknologi vil likevel ikke være kommersielt tilgjengelig for neste anbudsrunde for "Turistrute Hardanger", og anses derfor ikke som et realistisk alternativ.

Metanol

Metanol har de siste årene blitt aktualisert som drivstoff til skip, og flere prosjekter har blitt gjennomført hvor skip er levert med, eller har blitt ombygget til, drift på metanol. Dette er imidlertid skip som har saktegående totaktsmotorer eller medium-speed firetaktsmotorer til fremdrift.

Metanol kan fremstilles fra fornybare energikilder, som trevirke. Det meste av metanolproduksjonen, inkludert all produksjon i Norge, bruker imidlertid naturgass som energikilde, hvilket begrenser miljøgevinsten i et livsløpsperspektiv /6/.

Hurtiggående firetaktsmotorer, som anvendes i hurtigbåter, kan foreløpig ikke anvende metanol som drivstoff, og metanol er derfor ikke et realistisk alternativ som energibærer for "Turistrute Hardanger".

5.3 Realistiske fremdriftsteknologier for "Turistrute Hardanger"

Ut fra vurderingene som er gjort av mulige fremdriftssystemer og energibærere, er det to alternative fremdriftsteknologier som fremstår som realistiske for "Turistrute Hardanger" i neste anbudsperiode:

1. Diesel-mekanisk fremdrift med MGO som energibærer
2. Diesel-mekanisk fremdrift med bio-diesel som energibærer

Alternativ 1 er det samme som anvendes i dag. I samråd ble det derfor besluttet å kun vurdere Alternativ 2, drift med bio-diesel, i den videre analysen.

6 Behov for modifisering av infrastruktur og potensielle støtteordninger

Ut fra vurderingene i kapittel 3, 4 og 5 er det passasjerkatamaraner med tradisjonell fremdriftsteknologi, enten med marin gassolje eller biodiesel, som vil være relevant teknologi for "Turistrute Hardanger" i neste anbudsperiode. Dette har vært en premiss for kartlegging av behov for modifisering av infrastruktur og potensielle støtteordninger.

6.1 Modifisering av infrastruktur

Infrastruktur forbundet med bunkring av bio-diesel skiller seg ikke fra infrastruktur for MGO. Dagens fartøy bunkres fra lagertank på Lofthus, og det antas at MGO fraktes med bil til lagertanken. Dette vil også være aktuell transportmåte for bio-diesel, med unntak av at det kan være nødvendig med lenger transportdistanse for bio-diesel ettersom importhavn, evt. produksjonssted, sannsynligvis ligger lenger unna Hardangerfjorden. Det foreligger ingen krav om at bio-diesel ikke skal blandes med MGO i lagertanker på land eller ombord /4/, hvilket tilsier at dagens infrastruktur på land kan benyttes også for bio-diesel. Unntaket vil være dersom man ønsker adskilt lagring av bio-diesel, hvilket krever en egen, ny lagertank for bio-diesel på land.

Dersom man velger å avvikle morgen- og kveldsruten, vil det bli aktuelt med bunkring av bio-diesel i Norheimsund. I dette tilfellet vil det være nødvendig med tilsvarende lagringsanlegg på land i Norheimsund, som det i dag finnes i Lofthus.

En konsekvens av avvikling av morgen- og kveldsruten er at fartøyet vil ligge i Norheimsund over natten, og det vil av miljøhensyn være ønskelig med tilkobling til landstrøm. Samtaler med havnesjefen i Kvam herad bekrefter at det vil være mulig å ligge over natten i Norheimsund, ved samme kai som benyttes ved anløp i dag. Det har tidligere vært landstrøm tilgjengelig ved kaien, men dette er nå koblet fra. Det bekreftes imidlertid også at det er mulig å gjøre landstrøm tilgjengelig ved behov, med effektuttak inntil 25 kW /12/.

6.2 Potensielle støtteordninger


NO_x-fondet og Enova kan være potensielle støtteordninger for "Turistrute Hardanger". NO_x er ikke betraktet som en klimagass ettersom den gir lokal forurensning, men vi har likevel valgt å inkludere NO_x i betraktningene siden enkelte NO_x-reducerende tiltak også reduserer CO₂-utslippene.

NO_x-fondet kan gi støtte til prosjekter som gir varige NO_x-reduksjoner. NO_x-utslippene fra bio-diesel er tilsvarende som for vanlig diesel (MGO) og vil følgelig ikke gi noe støtte fra NO_x-fondet. Andre mindre tekniske modifikasjoner av hurtigbåter kan være aktuell for støtte fra NO_x-fondet. Eksempler på tekniske modifikasjoner av hurtigbåt er som har fått støtte er /13/:

- Interceptor: Vertikal skive (finne) montert i akterenden av hurtiggående fartøy for reduksjon av motstand og drivstofforbruk
- Bytte eller modifisering av motor med lavere spesifikt NO_x-utslipp
- Selektiv katalytisk rensing (SCR) for rensing av avgass fra motor
- Utstyr for monitorering og optimalisering av motor

Dagens NO_x-fond-avtale utløper 31.12.2017. Det er gitt klare signaler fra både myndigheter og næring om at en forlengelse av avtalen er ønskelig, men en endelig beslutning er ikke tatt. Det kan også tenkes at rammebetingelsene for en NO_x-fond-avtale blir noe endret.

Enova /14/ kan dekke deler av merkostnaden ved å velge mer energi- og klimavennlige løsninger. For at en bedrift skal få støtte fra Enova, må støtten være nødvendig for gjennomføringen av prosjektet. Enova kan med andre ord ikke støtte tiltak som ville blitt gjennomført uten økonomisk støtte.

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegging av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

Enova kan gi økonomisk støtte til investeringer i energiltak som styrker et skips konkurransekraft. Dette kan være teknologier knyttet til blant annet fremdriftssystemer, lastehåndtering, motor- eller propell-løsninger, ventilasjon og mye mer. Investeringsstøtten må brukes til innkjøp av fysisk utstyr (teknologier) som anses blant de beste på markedet, eller til introduksjon av ny teknologi. Investeringen skal gi en direkte energireduksjon på 10 prosent per komponent, og en reduksjon på 100.000 kWh/år i energieresultatet.

Enova kan også gi økonomisk støtte for investeringer i infrastruktur til elektrifisering av offentlige transporttjenester.

I budsjettforliket for 2017 står det: «Stortinget ber regjeringen igangsette en prosess med berørte næringsorganisasjoner om etablering av en miljøavtale med tilhørende CO₂-fond. Det legges til grunn at fondet sikres tilstrekkelige inntekter gjennom en opptrapping av CO₂-avgiften for berørte næringer og at finansieringen er på plass innen 2020. Det er et mål at fondet skal bidra til å kutte klimagassutslippene med 2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter årlig innen 2030. Regjeringen rapporterer om prosess, innretning og mulig tidsløp for etablering av et slikt fond i revidert nasjonalbudsjett 2017.»

Et fremtidig CO₂-fond fra 2020 kan bli relevant for "Turistrute Hardanger", men med utlysning av konkurranse i 2017 vil dette eventuelt komme som en bonus etter inngåelse av kontrakt.

Støtteordninger for hurtigbåter med konvensjonell fremdriftsteknologi er mindre relevant. Noen tekniske utbedringer kan være aktuell for støtte gjennom NO_x-fondet dersom det blir videreført for den aktuelle perioden.

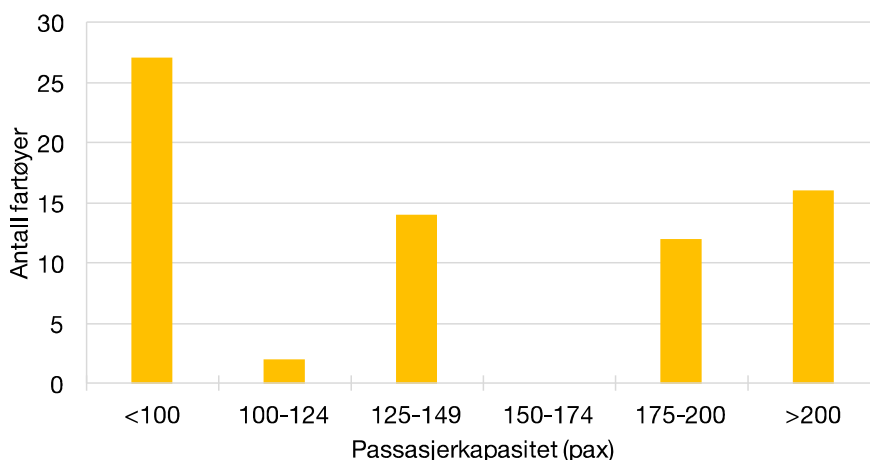
7 Andre betraktninger

7.1 Passasjerkapasitet

"Turistrute Hardanger" er operativ fem måneder i året. Et anbud som krever et spesialtilpasset nybygg uten muligheter for oppdrag utenfor sesongen vil være en særdeles kostbar løsning. Årlige kapitalkostnader for en nybygget karbonkatamaran med 150 pax er i størrelsesorden 2-2,5 mill. kroner. Månedlige avskrivningskostnader for en sesong på fem måneder blir 480.000 kroner sammenlignet med 200.000 kroner for tolv måneder.

Siden en hurtigbåt med konvensjonell fremdriftsteknologi og kapasitet på 150 pax utpeker seg ut som den foretrukne løsning er det interessant å se på eksisterende hurtigbåter for å gjøre anbuds konkurransen attraktiv for flest mulig aktører.


Basert på data fra IHS Sea-Web og HSC Norway finner vi at det er 71 operative passasjerkatamaraner i Norge og disse har en passasjerkapasitet som illustrert i Figur 9. Fra figuren ser vi at det 14 passasjerkatamaraner med kapasitet fra 125 til 149 pax, men ingen katamaraner med kapasitet på 150-174 pax. Det vil derfor være hensiktsmessig å sette et nedre passasjerkrav noe lavere enn 150 pax. 130 pax kan kanskje være et fornuftig minstekrav for at anbuds konkurransen kan være aktuell for eksisterende fartøy og ikke bare nybygg.



Figur 9: Hurtiggående passasjerkatamaraner som er operative i Norge innenfor byggeårene 2000-2015 (kilder: IHS Sea-Web og HSC Norway)

7.2 Kontraktlengde

Biodrivstoff er det eneste realistiske krav til fornybar energi i denne anbudsrunderen. Miljøteknologi er i hurtig utvikling og for hurtigbåter er det store forventninger til brenselceller med hydrogen som drivstoff. Det ligger forventninger til at denne teknologien kan være kommersielt tilgjengelig for hurtigbåter i 2025. Med teknologi i stadig utvikling vil det være hensiktsmessig med en kort kontraktsperiode for å få faset inn ny miljøteknologi så raskt som mulig.

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegging av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

Skyss har ansvaret for seks ulike hurtigbåtsamband med totalt 13 hovedfartøy, inkludert "Turistrute Hardanger". "Turistrute Hardanger" er kun operativ fem måneder i sommersesongen og det kan derfor være relevant på sikt å se turistruten i sammenheng med andre samband for å få en bedre utnyttelse av fartøyene gjennom hele året.


Begge disse forholdene taler for en relativ kort kontraktperiode (f.eks. tre år med opsjon på to år, 1+1). En kort kontraktperiode vil mest sannsynlig ekskludere nybygg, og dersom Skyss velger en kort kontraktperiode må anbudskonkurransen innrette seg mot eksisterende fartøy som omtalt i forrige avsnitt.

7.3 Driftsoppfølging og kontinuerlig forbedring

Det er tre hovedfaktorer som påvirker klimautslipp og energieffektivitet for en transport-/logistikkoperasjon:

- Ruteoptimalisering
- Teknologi
- Driftsoppfølging og kontinuerlig forbedring

Ruteoptimalisering for "Turistrute Hardanger" er omhandlet i kapittel 4, og teknologi i kapittel 5. Ruteoptimalisering og teknologi setter premissene for klimautslipp og energieffektivitet, men det er ikke gitt at en operatør er i stand til å drive et fartøy i henhold til premissene. Generell erfaring fra skipsfart viser at faktisk energiforbruk og klimautslipp er vesentlig høyere enn det kunne vært. Ny teknologi gjør det også enklere og billigere å logge driftsdata for analyse, og å korrigere avvik på et tidlig stadium og å sikre kontinuerlig forbedring. Krav til målinger ombord i fartøyene, rapportering til Skyss og kontinuerlig forbedring kan være relevant å inkludere i fremtidige kontrakter.

	Kunde: Skyss Tittel: Kartlegge av potensialet for klimatiltak på "Turistrute Hardanger"	Rev: 2.1
		19. mar. 2017

8 Oppsummering og anbefalinger

Bakgrunn og hensikt med oppdraget

I henhold til politiske vedtak om at fylkeskommunen skal kreve bruk av fornybar energi der det er mulig ved fremtidige kollektivanbud, ønsker Skyss å kartlegge potensialet for innføring av miljøtiltak på "Turistrute Hardanger". Denne rapporten gir en evaluering av realistiske fremdriftsteknologier for hurtigbåter som er aktuelle for ruten, samt en vurdering av mulige tilpasninger av ruteplanen som kan gi betydelig reduksjon av klimautslipp på sambandet.

Følgende forutsetninger ligger til grunn for anbefalingene i nedenfor:

- Fartøystype: Passasjerkatamaran i aluminium eller karbon
- Passasjerkapasitet: 150 og 200 passasjerer (pax)
- Rutetider og anløpssteder: Utgangspunktet er å beholde rutetider og anløpssteder som i dagens kontrakt, men effekten av å ekskludere havner med lavt passasjerbelegg er blitt vurdert
- Sesonglengde: fem måneder fra 1. mai til 30. september

Fremdriftsteknologi

Seiledistansen for "Turistrute Hardanger" med dagens ruteplan og anløpssteder er omlag 316 km og gjennomsnittlig seilehastighet for hele rundreisen er 23,6 knop. Selv om man avviker morgen- og kveldsruten mellom Norheimsund og Lofthus vil energibehovet overstige egnethet for batteridrift med stor margin. Brenselceller med hydrogen er ikke kommersielt tilgjengelig og er ikke aktuelt for neste anbudsrunde. De to fremdriftsteknologiene som fremstår som realistiske for "Turistrute Hardanger" er derfor:

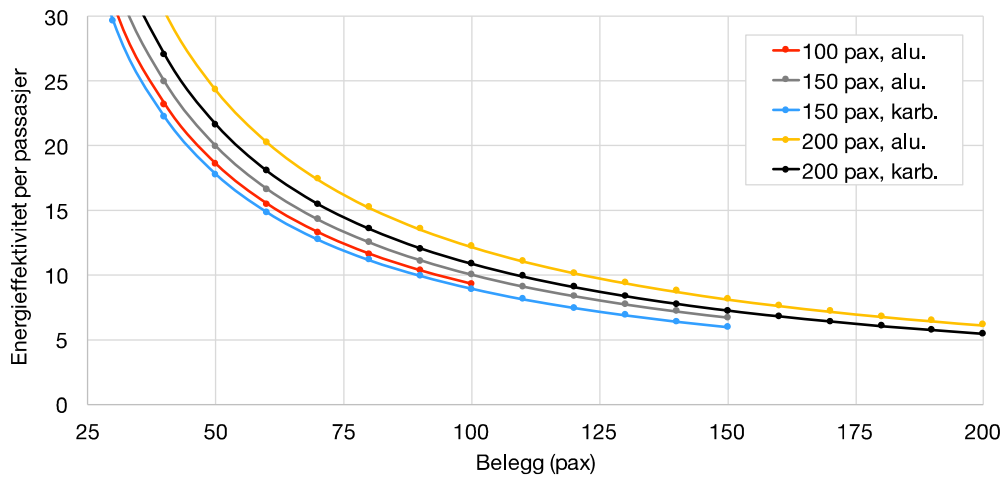
1. Diesel-mekanisk fremdrift med MGO som energibærer
2. Diesel-mekanisk fremdrift med bio-diesel som energibærer

Priselastisiteten for bærekraftsertifisert biodrivstoff er per i dag høy, på grunn av begrenset tilbud. For å kunne oppnå miljøgevinst bør Skyss, som et minimum, sette krav til at fremdriftsmotorene i fartøyet som skal drives på "Turistrute Hardanger" skal kunne kjøre på bio-diesel. Dette vil gi fleksibilitet i forhold til energibærer, og man kan bruke MGO i de tilfeller hvor tilgangen på bio-diesel blir knapp og/eller prisnivået vurderes som for høyt.

Passasjerkapasiteten bør økes

MS Tedno, passasjerkatamaranen som har operert "Turistrute Hardanger" i perioden 2014-2016, har kapasitet på 112 pax og dette er ikke tilstrekkelig på de travleste dagene. Passasjerantallet har økt i samme periode og det er grunnlag for å øke passasjerkapasiteten.

En sammenligning av energieffektiviteten per passasjer for passasjerkatamaraner mellom 100 og 200 pax i hhv. aluminium og karbon viser at en karbonfiber-katamaran med 150 pax alltid ha best energieffektivitet uavhengig av passasjerbelegg, som vist i Figur 10.



Figur 10: Energieffektivitet per passasjer for ulike fartøyalternativer med diesel-mekanisk fremdrift og 25 knop seilehastighet i én time (kilde: LMG-verktøy)

Kun dersom gjennomsnittlig belegg overskrider 180 pax, kan en karbonfiber-katamaran på 200 pax forsvares ut fra et rent miljøhensyn.

Det er i dag 71 operative passasjerkatamaraner i Norge med byggeår mellom 2000 og 2015. 14 katamaraner har kapasitet mellom 125 og 149 pax, men det er ingen katamaraner med kapasitet mellom 150 og 174 pax. Det vil derfor være hensiktsmessig å sette et nedre passasjerkrav noe lavere enn 150 pax. 130 pax anses som et fornuftig minstekrav for at anbudskonkurransen skal være aktuell for eksisterende fartøy og ikke bare nybygg, og være attraktiv for flere tilbydere.

Ruteoptimalisering

Passasjerbelegget på morgen- og kveldsruten mellom Norheimsund og Lofthus er lavt og energiforbruket per passasjer er 11,9 ganger høyere for morgenruten og 6,6 ganger høyere for kveldsruten, sammenlignet med returreisen.

Ved å avvikle morgen- og kveldsruten, og samtidig justere anløpstidene for å få samme gjennomsnittlige seilehastighet mellom alle anløpssteder, kan man oppnå en samlet reduksjon i energibehov og drivstofforbruk på 35 prosent, med tilsvarende reduksjon i klimautslipp.

Støtteordninger

Støtteordninger for hurtigbåter med konvensjonell fremdriftsteknologi er mindre relevant. Noen tekniske utbedringer kan være aktuelle for støtte gjennom NO_x-fondet dersom fondet blir videreført i den aktuelle kontraktperioden.

Kontraktstrategi

Skyss har ansvaret for seks ulike hurtigbåtsamband med totalt 13 hovedfartøy, inkludert "Turistrute Hardanger". "Turistrute Hardanger" er kun operativ fem måneder i sommersesongen, og det kan derfor være relevant på sikt å se turistruten i sammenheng med andre samband for å få en bedre utnyttelse av fartøyet gjennom hele året.

Hoved-oppsummering

Med foreslått ruteoptimalisering og bruk av fartøy med diesel-mekanisk fremdriftssystem vil man kunne oppnå en total reduksjon i drivstofforbruk på 35 prosent. Klimautslipp kan ytterligere reduseres med 50 prosent med bio-diesel som energibærer med total reduksjon i klimautslipp på 67,5 prosent, som vist i Tabell 9.

Tiltak	Reduksjon	
	Drivstofforbruk	Klimautslipp
Ruteoptimalisering: Avvikle morgen- og kveldsrute, justering av anløpstider/ruteplan	35%	35%
Innføring av bio-diesel som energibærer	0%	50%
Total reduksjon	35%	67,5%²

Tabell 9: Potensiell reduksjon av drivstofforbruk og klimautslipp for "Turistrute Hardanger".

De årlige merkostnadene med bio-diesel for "Turistrute Hardanger" vil ligge mellom 0,6 og 1,2 millioner kroner dersom man legger dagens pris på marin gassolje med påslag på 30 til 60 prosent for bio-diesel til grunn. Kostnaden for redusert utslipp vil med disse forutsetningene ligge mellom 2.250 og 4.500 kroner per tonn CO₂

- o0o -

² Reduksjon fra bio-diesel er 50%, men basert på drivstofforbruk etter at ruteoptimalisering er gjennomført, dvs 50% reduksjon av drivstofforbruk på 65%

Referanseliste

/1/	Digitalt verktøy for fastsettelse av energi-/klimakrav ved utarbeidelse av fremtidig anbudsdokumentasjon for passasjerbåter, utviklet av LMG Marin.
/2/	Drifts- og passasjerdata fra Norled, via Skyss.
/3/	"Potensialstudie – Energieffektiv og klimavennlig passasjerbåtdrift" – LMG Marin, CMR Prototech og Norsk Energi for Troms fylkeskommune, 2016.
/4/	Telefonsamtaler med Bertel O. Steen Teknikk AS, forhandler av MTU fremdriftsmotorer og generatorsett.
/5/	Telefonsamtale og epost-utveksling med Mancraft AS, forhandler av MAN fremdriftsmotorer og generatorsett.
/6/	"Methanol as a marine fuel report" – FCBI Energy for Methanol Institute, 2015.
/7/	Miljødirektoratet: Fakta om biodrivstoff – www.miljodirektoratet.no
/8/	"Innspill til plan for opptrapping av omsetningskravet for biodrivstoff" – Notat fra Norsk Petroleumsinstitutt til Klima- og miljødepartementet, 11.05.2015.
/9/	Circle K: Listepriiser for Truckdiesel – www.circlek.no
/10/	Informasjon innhentet på biodrivstoffseminar i regi av miljøstiftelsen Zero, 28.02.2017.
/11/	Telefonsamtale med Fjord1.
/12/	Telefonsamtaler med havnesjefen i Kvam herad.
/13/	Telefonsamtale og informasjon fra Næringslivets NO _x -fond – www.nox-fondet.no
/14/	Enova – www.enova.no
/15/	"Miljøutgreiing buss, Norhordland og Askøy" – COWI for Skyss, desember 2016.
/16/	"Biodrivstoff i transportsektoren, kartlegging av barrierer og kostnader" – Rambøll for Miljødirektoratet, november 2016.

- oOo -

HORDALAND FYLKESKOMMUNE V/ SKYSS

Besøksadresse Lars Hillesgt. 20B 9, 5008 Bergen **Postadresse** Postboks 7900, 5020 Bergen

T +47 55 23 95 50 **F** +47 55 23 95 20 **E** skyss@skyss.no

skyss.no