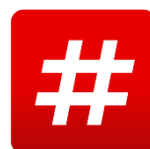


ZEROFjord

Ferger uten utslipp



Desember 2014
Benjamin Myklebust, ZERO

Bakgrunn

Transportsektoren er i stor grad drevet av fossile drivstoff, så også i maritim sektor. Norske utslipp fra ferger er om lag 400 000 tonn CO₂. I stor grad har miljøarbeid i skip dreid seg om reduksjon av NO_x og partikler. I de senere år har det imidlertid skjedd en liten revolusjon på batterifronten, drevet av både økt produksjon av elbiler, og stadig økende salg av mobiltelefoner samt nettbrett og datamaskiner. Prisen på batterier har gått ned.

Dette har ført til at batteridrift av skip har fått en ny aktualitet, fordi helt eller delvis batteridrevne fartøy kan være både mulig og økonomisk. Hybride fartøy er hensiktsmessig i skip der stor effekt er nødvendig, men der det ikke trengs hele tiden, slik som skip som med dynamisk posisjonering som skal holde en gitt posisjon over tid til havs. Den andre kategorien er helt eller delvis elektriske ferger, der rutemønsteret er oversiktlig og forutsigbart. To slike bilferger blir i 2014 og 2015 satt i drift, henholdsvis den [ladbare hybridferga MF Folgefonn](#) på strekningen Jektavika-Hodnaneset, og den helelektriske ferga Ampere (ZEROCat) på Lavik-Oppedal, begge operert av Norled.

I lys av dette er naturlig å vurdere om det kan være hensiktsmessig å elektrifisere ferger i Oslofjorden, og fergene til øyene er mest nærliggende å se på først, både fordi de sannsynligvis er enklest å elektrifisere, og fordi anbuds tiden går ut tidligere enn på de andre strekningene. I dette notatet vil vi derfor se på ulike eksempler på elektrifisering av ferger, og så gå nærmere inn på muligheter og utfordringer ved elektrifisering av øyfergene i Oslofjorden, før vi konkluderer.

Batteriferges er ingen ny idé

Ferger og skip drevet med strøm fra batterier er ingen ny idé. Allerede på 80-tallet ble det gjort utredninger for batteridrift av ferger. Potensialet var tilstede da også, men ingen prosjekter ble realisert.

Transnova støttet i [2010 et prosjekt for hybriddrift](#) av den historiske skuta *Restauration*. Denne blir brukt til turer i Rogaland, der elektrisk framdrift skal skape en lydløs tur, også når seiling ikke er mulig eller ønskelig. Kravene til driften er lavere enn for en ferge i rute, men skipet er likevel et interessant eksempel. Skuta ble gjort til en ladbar hybrid ved hjelp av blybatterier. Disse har man gått bort fra i biler, hovedsakelig på grunn av lav effekt og lavt energiinnhold per kg. I et skip er vekten i mindre grad et problem, og for den energimengden som *Restauration* trengte, ble volumet batteriene tok barrieren.

Samme år ble arbeidet med batteriferga som skulle trafikkere Lavik-Oppedal påbegynt. Det ble etablert at strekningen skulle bli [testarena for nullutslippsteknologi, av daværende](#) samferdselsminister Magnhild Meltveit Kleppa.

De senere årene har litium-ionbatterier blitt det opplagte valget for batterier både i biler og nå i skip. Det har ikke skjedd noen vesentlige teknologiske gjennombrudd siden *Restauration* ble elektrifisert, men økt satsning på elbiler, i tillegg til generelt økt etterspørsel etter ladbare enheter, har ført til en vesentlig reduksjon i pris på litium-ionbatterier.

Norge har mye kompetanse både innen avanserte maritime framdriftssystemer generelt, og batteridrift spesielt. Selskapene Grenland Energy og Zero Emission Mobility satser på maritime batterisystemer. Disse selskapene har bakgrunn fra Miljøbil Grenland og Think-miljøet. Medlemmene i Maritime Clean Tech West, og DNVs Maritime Battery Forum utgjør til sammen en stor del av kompetansemiljøet på batteribruk til havs i dag.

Bilferga ZEROcat som eksempel

Batterifergen ZEROcat, bygd av Fjellstrand for Norled har [nå blir døpt Ampere](#), og skal settes i drift 1. januar 2015. Denne er naturligvis en del større enn Oslofergene, men kan likevel egne seg som et eksempel for mindre ferger. Dette gjelder blant annet energibetraktninger og ladeløsninger.



Figur 1 Ampere med ladesystem fra Stamm Technik og Cavotec. Illustrasjon: Norled

Fergen Ampere tar 120 biler og 360 passasjerer. På strekningen over Sognefjorden fra Lavik til Oppedal er det 3,5 nautiske mil som den seiler i 11 knop. På denne strekningen er det beregnet at energibruken vil være 155 kWh. Dette er til sammenligning litt mindre enn størrelsen på to batterier i en Tesla Model S (85 kWh).

Fordi det er uheldig for batteriets levetid å lades helt opp og helt ut veldig ofte, har Ampere et vesentlig større batteri enn det som trengs for en overfart. Batteriet er på 1000 kWh (1 MWh, vekten er ca. 10 tonn). Forbruket for en tur kan lades opp på 9-10 minutters landligge når biler skal på og av, ladingen skjer på opptil 1200 kW.

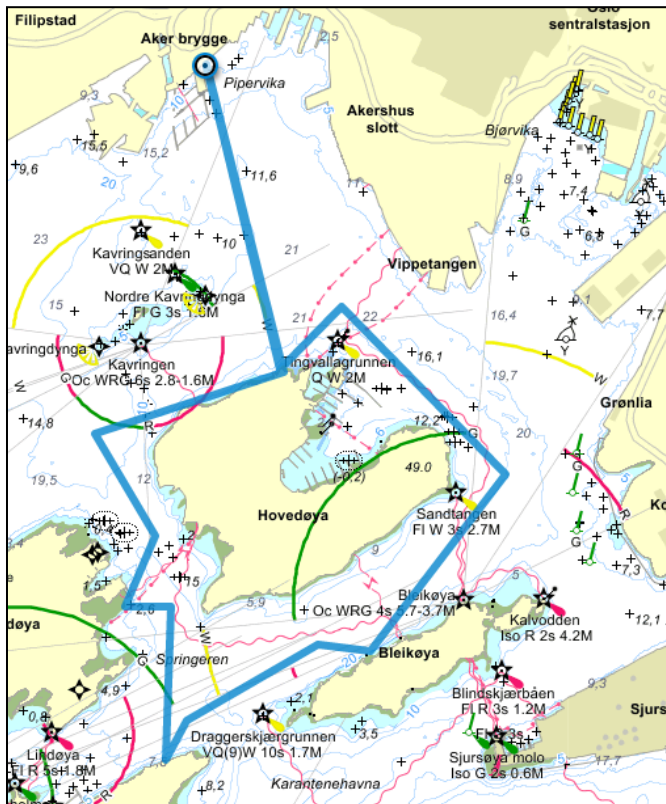
Strømnettet ved kai er begrenset, slik at batteribuffere på land lader opp fergeren raskere enn det man kunne ha gjort direkte fra kraftnettet. Dette vil selvsagt være kostnadsdrivende, men er billigere enn å oppgradere kraftnettet.

Lignende løsninger kan være aktuelle også for ferger i Oslofjorden. For øyfergene er skalaen mindre, men løsningene kan likevel være hensiktsmessige.

Øyfergene i dag

Øyfergene i Oslo frakter i dag passasjerer til øyene i Indre Oslofjord (Hovedøya, Lindøya, Bleikøya, Gressholmen, Nakholmen og Langøyene). Disse fergene er i dag operert av Øyfergene AS. Alle fire fergene i drift er nokså like og tar 236 passasjerer.

Fergene går nokså sakte, i ca. 8 knop. Dette gir relativt lavt drivstofforbruk, selv om energiforbruket per passasjerkilometer er høyt sammenlignet med for buss og andre landbaserte kollektivtrafikk-løsninger.



Figur 2 Linje 93 er i dag på 3,5 nm, eller ca. 5 km. Linjen blir noe lenger når anløpet blir flyttet fra Vippetangen til Aker

| | km | nm |
|----------|-----|-----|
| Linje 92 | 4,8 | 2,6 |
| Linje 93 | 5,7 | 3,1 |
| Linje 94 | 7,5 | 4,0 |

Drivstofforbruket fra Oslofergene er ifølge selskapet selv ca. 180 000 liter diesel per år. Dette tilsvarer et CO₂-utslipp på ca. 480 tonn. Fergene bruker ca. 35 liter diesel per time. Hver tur tar ca. 30 minutter, så vi kan anta omtrent 17 liter per tur.

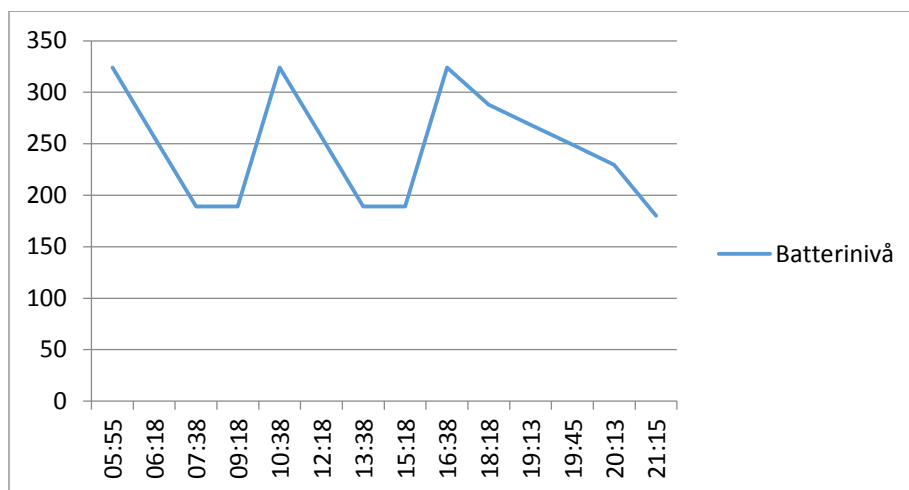
Oslofergene opererer i dag strekningene på øyfergene på oppdrag fra Ruter. Kontrakten går ut i 2017, men med mulig forlengelse til 2020. Det vil da være hensiktsmessig å la fergene gå lenge nok til at man kan ha et nullutslippsalternativt klar til å ta over.

Energibruk på dagens øyferger

Dagens ferger bruker om lag 35 liter per time, eller 17 liter per tur. Vi kan regne oss fram til et overslag for batteribehov basert på dette. 1 liter diesel har et energiinnhold på 10,1 kWh. Fordi elektrisk drift er mer energieffektivt enn framdrift basert på forbrenningsmotor, kan vi anta at batterikapasiteten som trengs er mindre enn dieselbehovet i kWh.

En god dieselmotor har en energieffektivitet på ca. 40 %. Det betyr at av de 17 liter per tur (171,7 kWh) blir 68,7 kWh brukt på propellen til framdrift ($171,7 * 0,40 = 68,7$). En elmotor er mer effektiv, ca. 90 %. For å utføre det samme arbeidet på propellen trengs da 76,3 kWh ($68,7 / 0,9 = 76,3$). For en vanlig runde med linje 93 trengs da ca. 76 kWh batterikapasitet. Dette er ca. halvparten av det Ampere trenger for en overfart. Hvis en øyferge skulle ha hatt samme forhold mellom total batteripakke og energibruk per tur som på fergen Ampere i eksempelet over, bør en slik ferge ha drøyt 500 kWh batteri.

Dersom en slik ferge skulle bli bygd, vil det måtte tas grundige vurderinger på hvordan en slik batteripakke bør designes med tanke på antall ladesykluser, investeringskostnader, forventet levetid på batteripakken, etc. Dette må vurderes på bakgrunn av driftsprofil, der også ønskede driftsmarginer, eventuelle garantiordninger fra batterileverandøren, og annet spiller inn. ET større batteri vil ha en høyere kostnad, men kan lønne seg hvis det vil vare lenger, eller ha en sikrer driftsmargin for mindre nedetid. Norske kompetansemiljøer fra f.eks. Grenland Energy og Zero Emission Mobility (ZEM) jobber med å gjøre slike avveininger.



Figur 3 Ved å ha en vesentlig større batteripakke enn det man trenger per tur, for så å lade ofte, kan man hele tiden ha store marginer. Samtidig unngår man at batteriet hele tiden lades helt ut og helt opp, noe som raskere vil degradere batteriet.

Ladning på Ampere

Ladning slik det er løst for Ampere på ferjesambandet Lavik-Oppedal kan gi en pekepinn på hvordan man kan realisere lignende løsninger for Øyfergene. Slik Øyfergene operer i dag vil energibruken være omtrent halvparten per tur som det Ampere bruker på en overfart. Imidlertid er også typisk tid vei kai omtrent halvparten av det Ampere har til rådighet for ladning. Derfor må vi også regne med at ladeeffekten må være omtrent lik. Omkring 1000 kW (1 MW) lading tilsvarer 20 hurtigladere for elbil. Dette kan være krevende, men Oslo Havn har til sammenligning kapasitet liggende klar for landstrøm til skip, der mulig levert effekt er 25 MW.

Man kan av dette anta at det av kapasitetshensyn ikke er nødvendig med en mellomlagring på land i batterier, slik det i dag brukes på ferjesambandet Lavik-Oppedal. Likevel kan det hende at det er verdt å vurdere med tanke på eksakt plassering av ladestasjon i framtida, og kostnader knyttet til batteribuffer kontra eventuelt gravearbeid osv.

Stamm Technik og Cavotec har levert to ulike ladesystemer til ferja. Stamm Technik har levert en slags sideveis pantografløsning, som gir rom for noe bevegelse i sjøen. Cavotec har levert en mer konvensjonell landstrømplugg-løsning, som er automatisert. I tillegg har Cavotec levert et automatisk fortøyingssystem basert på vakuüm (kalt MoorMaster). Når ferga nærmer seg kai gjør pluggen seg klar. Vakuüm-systemet holder raskt ferga fast, slik at den ikke trenger å yte motorkraft for å holde seg inn til kai. Dette sparer energi ved kailigge. Denne energisparingen er selvsagt uavhengig av om ferja går på batteri eller diesel, men energisparingen ved kai er med på å gjøre batteridriften mest mulig optimal. Både pluggløsningen, og pantografløsningen leverer vekselstrøm til ferga.

Ferja trenger ikke to ladesystemer. Dette er valgt for å teste ut ulike løsninger. Erfaringene herfra vil være nyttige å ta med seg videre for teknologivalg ved en elektrifisering av øyfergene. Uavhengig av dette er det nærliggende å gå ut fra at et automatisert system er avgjørende for en praktisk avvikling av batterifergedrift til øyene i Oslofjorden. Tiden ved kai er kort, og man er avhengig av at koblingen skjer hurtig og så lenge som mulig. Kostnaden ved ladesystemene er ikke offentliggjort. Systemet med vakuüm-fortøying koster i størrelsesorden drøyt 2 millioner kroner. Det er sannsynlig at en mindre versjon kunne vært brukt på øyfergene siden de er mindre.

Alt i alt vil erfaringene fra Ampere være svært relevante for øyfergene. Driftsprofilen ligner, og teknologiløsningene er skalerbare til å tilpasses noe mindre forhold. Utfordringen med både ladesystemet, og eventuelt den automatiske vakuüm-fortøyingen er at de sannsynligvis vil utgjøre en større andel av prosjektets kostnad på de relativt små øyfergene, sammenlignet med bilferga på sambandet Lavik-Oppedal.

Ladning på øyfergene

Ladning er naturligvis essensielt for å gjennomføre rutedrift av batteriferge. For de fleste applikasjoner vil det være hensiktsmessig å lade ofte og raskt, for å sikre at fergene hele tiden har tilstrekkelig med batterikapazität, og at man ikke trenger å overdimensjonere unødvendig.

Sommer
Gjelder i tiden 18. mai – 8. september:
Alle dager

| | Buss 60 kommer | Fra Vipppetangen | Bleikøya | Gressholmen | Lindøya øst | Hovedøya | Til Vipppetangen | Buss 60 avgår |
|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Første avganger | 0615a 0720c 0835 | 0623a 0728c 0843 | 0627a 0745c 0847 | 0631a 0749c 0851 | — | — | 0642a 0800a | 0647a 0807a |
| Timesrute | 0920a 0925 | 0925 0935 | 0940 0945 | 0945 0955 | 1000 | 1000 | 0902 0907a | 1007a |
| Til | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 55 | 00 | 07 |
| Siste avganger | 1920 2200 | 1925 2045 2205 | 1935 2055 2215 | 1940 2100 2220 | 1945 2105 2225 | 1955 2115 2235 | 2000 2120 2240 | 2005 2135 0005 |

Busslinje 60 går til og fra Vipppetangen i korrespondanse med båt (ankomst- og avgangstider for buss i grå kolonne).

Figur 4 Dagens drift gir rom for kun korte ladestopp.

I dag kjører båtene ulike ruter avhengig av sesong. Det kjøres vinter-ruter, og sommer-ruter, med såkalte «Vår 1 og 2», og «Høst 1 og 2» i mellom. På alle ruter unntatt sommer-rutene er det bare én ferge som kjører. Ruten «Vår 2», eller sent på våren, før sommerruten, kan brukes som et eksempel på hvordan en ferge opererer. Da kjører båten annenhver gang rute 92 og 93, til sammen 23 avganger à 35 minutter med 5 minutter landligge mellom.

Det gir en total kjøretid på 13,5 timer og utseilt distanse på 80,5 nm eller 149 km. Total liggetid er 21 ganger 5 minutter, eller totalt 105 minutter. Energibruken vil være 23 turer à 76,3 kWh, totalt 1755 kWh per dag. Med ladning på 1000 kW vil ladning i totalt 105 minutter kunne gi 1750 kWh, eller drøyt 80 kWh på 5 minutter.

Dette overslaget viser at det er mulig å overføre tilstrekkelig mengde energi i tidsrommet for at energibalansen kan gå opp. Imidlertid kan det være noen tekniske begrensninger med å lade på så høy effekt, som bl.a. kan legge føringer på batteritype, etc. Hvis man, slik som på ferga Ampere, legger opp til at bare 15 % av batterikapaciteten brukes ved hver tur, har man noe mulighet til å være litt fleksibel med ladninga, man kan hoppe over en gang, for så å lade dobbelt så lenge neste gang, for eksempel.

Effekter som 1000 kW er i dag ikke tilgjengelig på Lindøya, der fergene i dag ligger om natten. Under drift vil det uansett være hensiktsmessig om ladestasjonen er på et hyppig besøkt anløpssted på land, som i praksis vil si Rådhuskaia i framtida. I følge kraftselskapet Hafslund er det relativt god tilgang på høy effekt i området. Likevel vil det være en avveining om det kan være hensiktsmessig å ha en mellomlagring på kaien i et batteri. Dette kan være med på å balansere nettet, og redusere kostnadene knyttet til nettleie.

Klimavennlige batteriskip

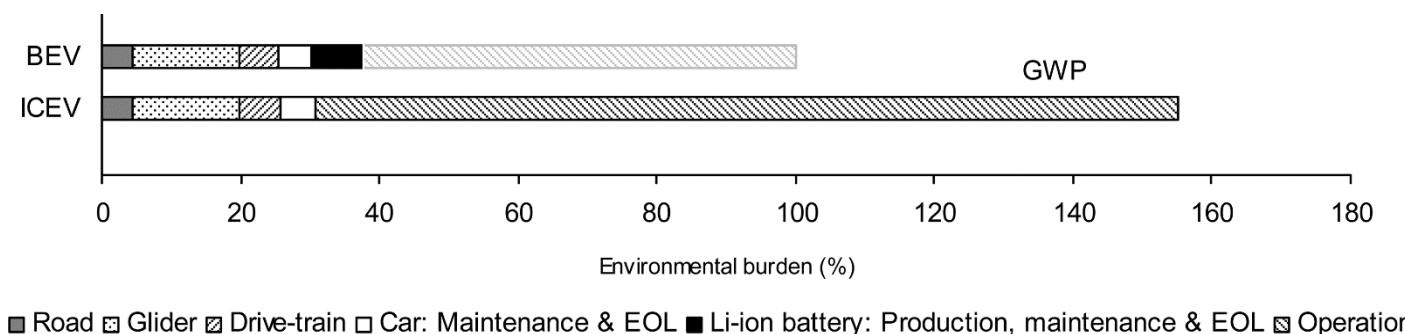
Batteriferjer krever nokså store batterier. Imidlertid vil batterier brukt i skip og ferger ha en god miljø- og klimaprofil. Sammenlignet med i elbiler har batterier i skip stor nytte per installerte kWh med kapasitet.

Skulle man tatt i bruk to batterier på øyfergesambandet med 500 kWh batterier hver, samt eventuelt en batteripakke knyttet til ladesystem på land på f.eks. 150 kWh, ville totalt installert batterikapasitet være 1150 kWh. Denne batterikapasiteten ville erstattet de 180 000 literne med diesel som i dag blir brukt hvert år på ferjesambandet. Det betyr i praksis at for hver installerte kWh med batteri erstattes 150 L diesel per år.

For en Nissan Leaf med 24 kWh batteri, som erstatter 20 000 km dieselkjøring i året, og ca. (20 000 km * 0,05 L/km) 1000 L diesel, blir tilsvarende tall ca. 40 L per installerte kWh i året. Vi ser at vi får mye større reduksjon i fossilt drivstoff ved å bruke batterier i en ferge enn i en bil.

Tilsvarende tall for ferga Ampere, som til sammen i ferja og på land har ca. 1500 kWh som bidrar til å redusere 1 million liter diesel i året, er over 600 liter diesel per kWh.

Livssyklusanalyser for elbil viser at klimapåvirkningen knyttet til batteriet ikke er større enn at det lønner seg for klimaet at man kjører elbil i stedet for bil drevet av fossilt drivstoff. Figuren under viser hvordan en batteribil (BEV) sammenlignes med en bil med forbrenningsmotor (ICEV). Det globale oppvarmingspotensialet (GWP) for elbil er nokså høyt (basert på EU-mix i 2007), men mye lavere enn for bilen med forbrenningsmotor. Et grønt skifte i transporten, der elektrifisering er en del av løsningen, innebærer også at kraftproduksjonen skal bli stadig renere, med mer og mer fornybar energi i kraftmiksen.



Figur 5 Notter et al. 2010. Figuren er endret fra originalen. Påvirkningen fra bruk på elbilen er gjort svakere, for å indikere at oppvarmingspotensialet fra strømbruk vil bli redusert eller fjernet med fornybar energi.

Konklusjon

Viljen til å gjøre noe annerledes, og prøve noe nytt er den viktigste drivkraften for å ta i bruk elektriske ferger. Da ZERO og aktører i bransjen tok til orde for batteriferge i 2010, var Think fortsatt den vanlige elbilen i Norge. Magnhild Meltveit Kleppa utpekte Lavik-Oppedal til teststrekning for klimavennlig ferge samme år. I de fire årene som har gått siden, har elbil- og batteriutviklingen tatt store sprang, både i teknologiutvikling og i antallet biler. Fjellstrands elferge framstår likevel fortsatt som en pioner i sin bransje. Utviklinga som har gått parallelt gjør det likevel lettere å se for seg at slike ferger raskt kan få en større utbredelse.

Dagens regjeringsplattform sier at de skal «utarbeide krav om at alle nye offentlige kjøretøy, og alle nye drosjer, ferger, rutebåter og dieseltog, benytter lav- eller nullutslippsteknologi når teknologien tilsier dette.» Ruters egne målsetninger sier at «i 2020 skal Ruter kun bruke fornybar energi til framføring av alle transportmidler.» I tillegg skal elektriske båter og busser testes ut.

Slike målsetninger er viktige for å bringe på banen flere prosjekter. Dette vil igjen bidra til mer erfaring, mindre risiko, og lavere kostnader.

For å sikre at man oppnår de målene man har satt, er det viktig at anbudsutlysningene legger rammer som sørger for det. Da er det ikke nok å vekke miljøkrav noe mer enn før slik som ble gjort for Bastø sambandet Moss-Horten hvor man endte opp med fortsatt dieseldrift. Det må heller stilles krav til null utslipp, fornybart drivstoff, eller andre krav som sikrer at tilbydere kommer med tilbud om drift uten fossilt drivstoff. Likevel er det hensiktsmessig om utlysninger formuleres på en slik måte at det ikke hindrer tilbydere å søke om offentlig støtte (Enova, NOx-fondet, osv.) til utvikling av for eksempel ladesystemer. En dialog med bransjen og utlysninger som ikke er for teknologi spesifikk vil derfor være en fordel for å få fram de mest innovative og tilpassede løsningene.

Erfaringene fra ferja Ampere på Lavik-Oppedal vil være svært relevante for elektrisk drift av øyfergene. Ikke minst gjelder dette selve sertifiseringen av fartøy og løsninger. Erfaringer fra Ampere, og tidlig dialog med Sjøfartsdirektoratet vil være gunstig. Løsningene knyttet til batteridimensjonering og ladeløsninger vil også, i nedskalerte utgaver, være aktuelle å bygge på i Oslofjorden. Mye av kostnadsbildet til Ampere er ikke offentlig. Det gjør det vanskelig å trekke konklusjoner i dag. Fjellstrand har indikert at merkostnaden til ferga er om lag 30 % sammenlignet med en konvensjonell dieselferge. I tillegg kommer ladning og fortøyning på land, og det er rimelig å anta at disse kostnadene vil utgjøre en større andel av kostnadene på et ferjesamband i Oslofjorden.

Videre lesning

<http://new.abb.com/marine/battery-powered-ferry---transport-with-zero-emissions>

<http://www.tu.no/industri/2012/11/27/kabler-klare-for-landstrom-i-oslo>

<http://www.sinusmagasinet.no/artikler/2014/februar/en-el-ferge-som-verden-aldri-foer-har-sett/1017>

<http://www.cavotec.com/mediacentre/page/7/279/cavotec-to-supply-the-world-s-first-combined-automated-mooring-and-shore-power-system/>

<http://www.tu.no/industri/2014/09/08/slik-blir-verdens-forste-bil--og-passasjerferge-pa-batteri>

<http://new.abb.com/marine/battery-powered-ferry---transport-with-zero-emissions>

Notter et al. 2010. Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es903729a>

Ruters miljømål

https://ruter.no/Documents/Rapporter-dokumenter/Ruterrapporter/2014/4-2014_Ruters_Milj%C3%B8strategi_2014-2020_ver030914.pdf