

DNV·GL

Elektrifisering av bilferger i Norge – kartlegging av investeringsbehov i strømmettet



Rapport No.: 2015-0500, Rev. 0

Dato: 2015-05-18



Project name: Elektrifisering av bilferger i Norge
Report title: Elektrifisering av bilferger i Norge – kartlegging av investeringsbehov i strømmettet
Customer: Energi Norge, Postboks 7184 Majorstua 0307 OSLO Norway
Contact person: Dag Roar Christensen
Date of issue: 2015-05-18
Project No.: PP128578
Organisation unit: Maritime Advisory
Report No.: 2015-0500, Rev. 0
Document No.: 1NXXQJ0-1

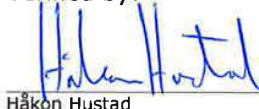
DNV GL AS
Maritime Advisory
P.O.Box 300
1322 Høvik
Norway
Tel: +47 67 57 99 00

Denne rapporten har hatt som mål å fremskaffe et første overslag over hva det vil koste å fremskaffe nødvendig elektrisk kapasitet for å kunne lade bilfergene den korte tiden de ligger til kai. Rapporten viser at det må foretas investeringer i strømmettet for noe over 900 millioner kroner for å sikre elektrifisering av 52 viktige bilfergestrekninger i Norge.

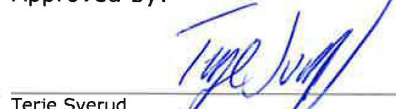
Prepared by:


Alvar Mjelde
Principal Engineer

Verified by:


Håkon Hustad
Principal Engineer

Approved by:


Terje Sverud
Head of Section

Kjetil Martinsen
Principal Engineer


Magnus S. Eide
Principal Engineer

Copyright © DNV GL 2014. All rights reserved. This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise without the prior written consent of DNV GL. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS. The content of this publication shall be kept confidential by the customer, unless otherwise agreed in writing. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

Forsidefoto: Eivind Sætre/norden.org via Wikimedia Commons)

DNV GL Distribution:

- Unrestricted distribution (internal and external) [Keywords]
 Unrestricted distribution within DNV GL
 Limited distribution within DNV GL after 3 years
 No distribution (confidential)
 Secret

Keywords:

[Keywords]

| Rev. No. | Date | Reason for Issue | Prepared by | Verified by | Approved by |
|----------|------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 2015-05-18 | First Issue | A. Mjelde | H. Hustad | T. Sverud |



Innhold

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | SAMMENDRAG..... | 1 |
| 2 | INNLEDNING..... | 3 |
| 3 | AVGRENSNING AV ANALYSEN..... | 5 |
| 4 | BEREGNET ENERGI- OG EFFEKTBEHOV FOR HVER FERGESTREKNING..... | 7 |
| 4.1 | Beregning av energibehov for en heleglektrisk ferge | 7 |
| 4.2 | Beregning av effektbehov som må være tilgjengelig på fergeleiet | 9 |
| 4.3 | Beregning av drivstoffbehov for en konvensjonell ferge | 9 |
| 5 | KARTLEGGING AV TILGANG PÅ KRAFT VED FERGELEIER | 13 |
| 6 | TILTAKSKOSTNAD FOR ELEKTRIFISERING AV FERGESTREKNINGER | 17 |
| 6.1 | Kostnad for batteriløsning på skip | 17 |
| 6.2 | Kostnader for diesel og elektrisitet | 18 |
| 6.3 | CO ₂ -reduksjon | 18 |
| 6.4 | Beregnete tiltakskostnader | 18 |
| 7 | KONKLUSJONER | 22 |
| 8 | REFERANSER | 23 |
| | VEDLEGG A - FORESPØRSELEN TIL NETTSELSKAPENE | 24 |
| | VEDLEGG B - EKSEMPEL PÅ SKJEMA SOM FULGTE FORESPØRSELEN TIL NETTSELSKAPENE..... | 26 |
| | VEDLEGG C – NETTSELSKAPER..... | 27 |

1 SAMMENDRAG

Rapporten viser at det må foretas investeringer i strømmettet for noe over 900 millioner kroner for å sikre elektrifisering av 52 viktige bilfergestrekninger i Norge. Kraftsektoren ser ut til å kunne levere den nødvendige kapasiteten til elektrifisering av fergesektoren. Samlet bruk av elektrisitet for dette formålet – ca. 240 GWh - er helt marginalt i forhold til tilgangen på kraft i det norske kraftsystemet, men det forutsetter utbygging av strømmettet.

For å nå politisk fastsatte klimamål er det nødvendig med omlegging til null- og lavutslippsteknologi i en rekke sektorer. Denne rapporten ser på bilfergetrafikken som en av sektorene innen transport det nå blir aktuelt å legge om fra fossilt drivstoff (diesel) til elektrisitet. Det har allerede vært gjort mye utviklingsarbeid på dette feltet, og den første helelektriske bilfergen er nå i drift. Flere organisasjoner har utarbeidet analyser om potensialet for elektrifisering av bilfergene, og Statens Vegvesen har et betydelig engasjement i saken.

Stortinget vedtok i forbindelse med budsjettbehandlingen høsten 2014 følgende anmodningsvedtak:

"Stortinget ber regjeringen sørge for at alle kommende fergeanbud har krav til nullutslippsteknologi (og lavutslippsteknologi) når teknologien tilsier dette."

Denne rapporten har hatt som mål å fremskaffe et første overslag over hva det vil koste å fremskaffe nødvendig elektrisk kraft for å kunne lade bilfergene den korte tiden de ligger til kai. Dette vil kreve forsterkning av nettet i områder av landet der nettstrukturen ikke er bygget for å dekke dette behovet.

52 av landets fergestrekninger er valgt ut fra følgende kriterier:


- Overfartstid mindre enn en halv time.
- Ingen strekninger med særlig utfordrende værforhold.
- Samband med komplisert operasjonsstruktur og mange ulike anløpskaier er utelatt.

De aktuelle fergestrekningene er i dag trafikkert av flere ulike fartøy med ulik fart og kapasitet. For å få et håndterlig beregningsgrunnlag i denne rapporten er det gjort følgende forenklinger:

- Alle fergene er forutsatt å være standard 120 bilers ferger (120 PBE).
- Alle fergene forutsettes å ha en overfartshastighet på 12 knop.
- Alle fergene skal kunne hurtiglades på 5 minutter i forbindelse med kai-ligge; effektbehovet (kW) er da gitt av overfartstid (min) og energiforbruk (kWh).

Med utgangspunkt i disse forutsetningene er det innhentet informasjon fra 38 nettselskap langs kysten. Selskapene har levert oversikt over hvor mye effekt som er tilgjengelig på hvert enkelt fergeleie og hva som kreves av investeringer for å frambringe den nødvendige effekt for å lade opp fergene. Vi understreker at nettselskapene har levert overslag og ikke nøyaktige beregninger, men oversikten bør gi en god indikasjon på hva som kreves av investeringer på nettsiden for å realisere overgangen til elektrisk drevne ferger.

Investeringsbehovene i nettet varierer fra null til 80 MNOK for en fergestrekning. De samlede investeringer i nett for å sikre overgang til heleelektrisk drift på disse 52 fergestrekningene er anslått til



noe over 900 MNOK. Dette er betydelige kostnader, som må delvis dekkes av anleggsbidrag. For 21 av fergestrekningene viser rapporten at tiltakskostnaden for CO₂-reduksjon er negativ (en besparelse oppnås per tonn CO₂ redusert) – selv når nettkostnaden inkluderes. For andre fergestrekningene viser rapporten at elektrifisering gir en tiltakskostnad som må dekkes som en del av de klimatiltsktskostnadene staten må påregne for å nå klimamålene mot 2030. Dette kan sammenliknes med at det må sikres midler til nødvendig infrastruktur for å bidra til elektrifisering av kjøretøy i veitransporten.

Overgangen fra diesel til elektrisk drift medfører også investeringer på fergesiden. I denne rapporten er det forenklet forutsatt at den økte kostnaden med heleelektriske ferger sammenlignet med konvensjonelle ferger utgjøres av batterikostnadene (batteri, styringssystem, ladesystem og installasjon). Disse kostnadene er i rapporten anslått til 16 000 NOK/kWh installert batterikapasitet.

I rapporten er det gjort en beregning av tiltakskost i NOK/tonn CO₂ for de enkelte fergestrekningene med grunnlag i sparte kostnader til diesel, økte kostnader til batterier og nettutbygging, samt kostnader for elektrisitet. Metoden som er brukt er den samme som Miljødirektoratet anvender i sine beregninger av tiltakskostnader. Beregningene viser at tiltakskostnadene under disse forutsetningene for hver enkelt fergestrekning varierer fra -780 NOK/tonn CO₂ (altså en besparelse) til 3 900 NOK/tonn CO₂. Veiet snitt dersom en ser på alle enkeltstrekningene isolert er 710 NOK/tonn CO₂. Imidlertid er noen av enkeltstrekningene del av flerstrekningsamband der investeringer på én kai/ett fartøy vil kunne betjene flere fergestrekninger i sambandet. Dersom en tar hensyn til dette vil den samlede gjennomsnittlige tiltakskostnaden for elektrifisering av de 52 fergestrekningene være lavere.

Oppsummert gir rapporten følgende nøkkeltall:

- Reduksjon i de samlede klimagassutslippene som følge av en slik omlegging vil være ca. 155 000 tonn CO₂/år.
- Reduksjon i bruk av dieselolje utgjør ca. 50 000 tonn/år.
- Omleggingen vil føre til et økt forbruk av elektrisitet på ca. 240 GWh/år.
- De samlede investeringer i nett for å sikre overgang til heleelektrisk drift på de aktuelle fergestrekningene er anslått til ca. 900 MNOK, herav anleggsbidrag 800 MNOK.
- De samlede tilleggsinvesteringer i ferger sammenlignet med standardferger vil med rapportens forutsetninger være ca. 1 700 MNOK.
- Teoretisk maksimalt effektuttak er på ca. 180 MW hvis alle ferger lades samtidig, noe som neppe vil skje. Det norske produksjonssystemet har uansett kapasitet til å dekke dette effektbehovet.

2 INNLEDNING

Stortinget vedtok 25. mars 2015 ny utslippsforpliktelse for Norge for 2030. Målet er å redusere utslippene med minst 40% i forhold til utslippene i 1990 ved en felles gjennomføring med EU. Målet innebærer opp mot 40% utslippsreduksjoner også i ikke-kvotepfiktige sektorer der transport er viktigste utslippskilde med 26% av samlede utslipp i 2013. Det må derfor tas store reduksjoner i klimagassutslipp i transportsektoren.

Bilfergeforbindelser er en viktig del av samferdselsnettet i Norge. I dag er det ca. 430 fergestrekninger i over hundre samband under riksveinettet og fylkesveinettet. Samtidig som disse fergeforbindelsene er en integrert og nødvendig del av norsk samferdselsinfrastruktur, er fergene blant de største bidragsyterne til utslippene fra skipsfarten i Norge (Martinsen, 2015).

Skipsfarten vil kunne ha et stort potensiale for utslippsreduksjon ved elektrifisering av deler av flåten. Det er skip med en mest mulig regulær operasjonsprofil og med begrensede overfartsdistanser som er mest aktuelle kandidater for fullelektrisk drift, og i denne kategorien er mange av fergestrekningene i Norge naturlige kandidater. Den første fullelektriske fergen (*Ampere* på sambandet Lavik – Oppedal) er allerede i drift - nå er det naturlig å se etter andre aktuelle samband som kan være egnet for elektrifisering.

I forbindelse med budsjettavtalen høsten 2014 ble følgende anmodningsforslag vedtatt:

"Stortinget ber regjeringen sørge for at alle kommende fergeanbud har krav til nullutslippsteknologi (og lavutslippsteknologi) når teknologien tilsier dette."

Det er grunn til å tro at flere av dagens samband vil kunne ta i bruk nullutslippsteknologi i form av fullelektrifisering. Sambandet Lavik - Oppedal er således et foregangssamband, der en av tre ferger nå kun er drevet av batterier som lades opp med elektrisitet fra kraftnettet på land.

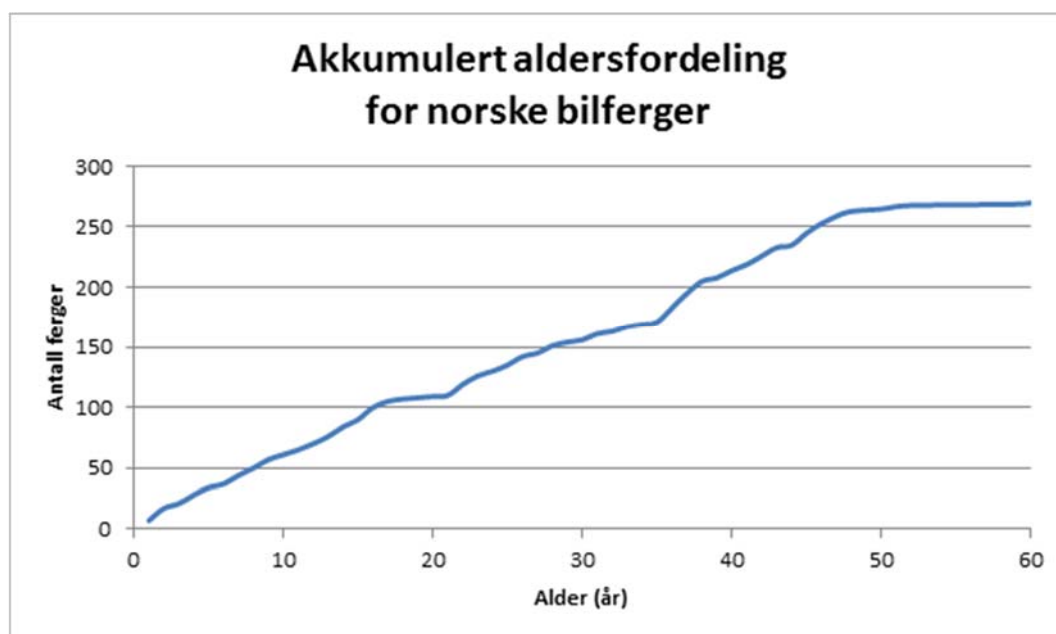
Energi Norge har fått utarbeidet denne rapporten for å synliggjøre hvor stort behovet er for forsterkninger av kraftnettet for at det skal være mulig å gjennomføre elektrifisering av fergestrekningene. DNV GL har god kunnskap om de tekniske forholdene på eksisterende ferger og har beregnet energibehov, effektbehov og nødvendige batteristørrelser for disse. Energi Norge har innhentet oversikt over hva som skal til av investeringer for å sikre tilstrekkelig elektrisk effekt levert til fergeleiene fra 38 nettselskaper langs store deler av kysten. Hensikten har vært å få fram overslag over totalkostnadene ved elektrifisering av fergestrekninger; dvs. kostnader på fergene og på landsiden med forsterkninger i kraftnettet. Så langt vi kjenner til er denne informasjonen ikke hentet fram tidligere og Energi Norge vil med denne rapporten bidra til en mer helhetlig forståelse av kost/nytte ved elektrifisering av bilfergestrekninger i Norge. Metoden som er benyttet er beskrevet i kapittel 6.

Resultatene fra prosjektet presenteres også som tiltakskostnader i NOK/tonn CO₂ som kan inngå i arbeidet som myndighetene nå gjennomfører for å kartlegge hvordan en skal kunne nå klimamålene for 2030 med 40 % reduksjon i klimagassutslipp utenfor de kvotepfiktige sektorene.

Denne rapporten presenterer sentral informasjon for vurdering av elektrifisering av til sammen 52 fergestrekninger. Gjennomgangen er strukturert som følger:

- Kapittel 4:
 - o Beregnet energibehov for de enkelte fergestrekninger
 - o Samlet bruk av drivstoff
 - o Samlet bruk av elektrisitet ved fullelektrifisering
- Kapittel 5:
 - o Tilgjengelighet av elektrisk kraft på de enkelte fergekaiene, og mulighetene for oppgradering
 - o Kostnader for å føre fram nødvendig effekt – per fergekai
 - o Totale kostnader fra å få fram nødvendig elektrisk effekt for alle fergekaier
- Kapittel 6:
 - o Beregning av tiltakskostnad for CO₂-reduksjon på de enkelte fergestrekninger (inkludert tiltakskost på ferge og strømtilførsel)
 - o Gjennomsnittlig tiltakskostnad
 - o Samlet total reduksjon i klimagassutslipp

Ut ifra aldersfordelingen på ferger i Norge (Figur 1) vil mange fartøy snart være modne for utskiftning. I løpet av de kommende årene skal det dessuten lyses ut mange nye kontrakter for fergesamband. I denne forbindelse er det aktuelt å vurdere fullelektrifisering av nye fartøy. Analysen tar ikke hensyn til når de enkelte ferger kan bli skiftet ut eller når fergestrekningene skal ut på anbud.



Figur 1 Aldersfordeling i den norske fergeflåten

3 AVGRENSNING AV ANALYSEN

Det norske fergenettet (riksveiferges og fylkesveiferges) teller i overkant av 160 individuelle samband som igjen utgjør ca. 440 strekninger. Sambandene trafikkeres av 270 ferger (under 5000 bruttotonn). Trafikkomfang, overfartsdistanser, antall overfarer og generell beskaffenhet varierer betydelig. Mens noen samband er enkle tur-retur overfarer, er andre mer kompliserte med flere forskjellige havner, der ruteopplegget varierer mye mellom dager og i løpet av dagen.

I prinsippet er alle fergestrekninger i Norge egnet til en viss grad av elektrifisering, enten i form av ren elektrisk drift eller som batterihybride løsninger (batteri i kombinasjon med dieselmotorer). Hvilken andel av energiforbruket det er praktisk å ta fra strømmettet vil variere med kapasitetsbehov, nettilgang, hastighet, værforhold og operasjonsprofil. Denne studien begrenser seg til å se på et utvalg strekninger der vi mener fullelektrisk drift vil kunne være et relevant alternativ. Det betyr ikke at det kun er disse strekningene som er egnet for fullelektrifisering, men det representerer et håndterbart utvalg for analyse ut fra kriteriene og utgangspunktet som er valgt til dette studiet. Det er liten tvil om at det i tillegg til fullelektrifisering ligger et betydelig reduksjonspotensiale i å hybridisere fergestrekninger, men dette er ikke del av studien. En slik hybridisering kan være aktuell både for nye ferger og for eksisterende ferger. Spesielt aktuelle for hybridisering er de 33 fergene med diesel-elektrisk fremdrift, men også den store majoriteten av ferger som benytter seg av et giret fremdriftssystem med dieselmotorer kan hybridiseres.

Følgende kriterier er av hensyn til den praktiske avgrensningen benyttet i utvelgelsen av de fergestrekningene vi har studert i mer detalj.

Lengde på strekning – De aller lengste strekningene er valgt bort siden energibehovet medfører at batterier (med lavere energitetthet og høyere kostnader) er mindre konkurransedyktig mot mer tradisjonelle energiløsninger (diesel).


Kompleksitet – Noen samband har en komplisert operasjonsstruktur der én ferge opererer mellom opptil 10 forskjellige fergekaier, og der kombinasjonen av disse varierer gjennom dagen og mellom dager. Generelt er disse sambandene satt opp slik fordi trafikkgrunnlaget er for begrenset til at strekningene kan ha dedikerte ferger. Selv om strekningene hver for seg er velegnet til full-elektrifisering, omfatter sambandene mange kaier og potensielt mange ladestasjoner som vil måtte utvikles. Slike samband er ikke inkludert i analysen.

Eksposering og værforhold – Noen strekninger i Norge opererer i åpent hav som krever betydelig redundant kapasitet. Det er heller ikke uvanlig at værforhold fremtvinger endringer i rutevalg, noe som kan medføre at vesentlig lengre ruter må velges. Dette gjør disse strekningene mindre egnet til fullelektrifisering. De mest eksponerte sambandene er derfor utelatt.

Trafikkgrunnlag – mange samband har lavt trafikkgrunnlag og få avganger. For studiens formål er disse vurdert som mindre relevante og utelatt av praktiske hensyn.

Basert på en gjennomgang av alle strekningene i Norge er 52 strekninger valgt ut på grunnlag av disse kriteriene. Utvalget er vist i Tabell 3.

Vi har valgt ikke å ta med fergesambandet Moss-Horten. Dette sambandet er Norges største og skiller seg vesentlig fra de fleste andre samband med tanke på materiellbehov og trafikkomfang. Her har det også nylig blitt tildelt fergekontrakt for en lang periode der fullelektrifisering ikke var del av tilbudt materiell. Det bør imidlertid ikke utelukkes at helelektrifisering kan være aktuelt også for slike samband. Dersom en hadde benyttet forutsetningene i denne studien, dvs. ferger med 120 PBE (personbilheter), ville kostnadene for fremføring av tilstrekkelig kapasitet på nettet fram til fergekaiene i Moss og Horten ligget på ca. 10 millioner kroner.



Hovedhensikten med rapporten er å analysere behovet for elektrisk kraft ved fergekaiene, og nettselskapenes mulighet for og kostnad knyttet til å levere den nødvendige effekten på kai. Til det formålet er antagelsene som er brukt hensiktsmessige.

Det er viktig å merke seg at analysen i denne rapporten ikke representerer en egnethetsanalyse for elektrifisering av bilfergeflåten i Norge. Til det formålet er det for mange viktige elementer som er utelatt fra analysen. Analysen gir heller ikke et fullstendig bilde av tiltakskostnaden. Det er spesielt to elementer som gjør at tiltakskostnaden ikke direkte reflekterer hverken bedriftsøkonomisk eller samfunnsøkonomisk kostnad:

- Den antatte fergestørrelsen (120 PBE) og hastigheten (12 knop) er valgt konservativt (høy), og medfører i en del tilfeller høyere energibehov enn det realistisk sett vil være snakk om. Dette fører til at den beregnede batteripakken på fergene er større enn den kan ventes å være, noe som trekker kostnadene betydelig opp. Samtidig blir besparelsene for drivstoffkostnader større enn de realistisk sett vil være.
- For å finne besparelsene i drivstoffkostnader er det gjort følgende forutsetninger:
 - o sparte kostnader ved at man ikke bruker diesel,
 - o økte kostnader ved kjøp av strøm,
 - o økte kostnader fordi kostnadene ved forsterkning av nettet belastes prosjektene.

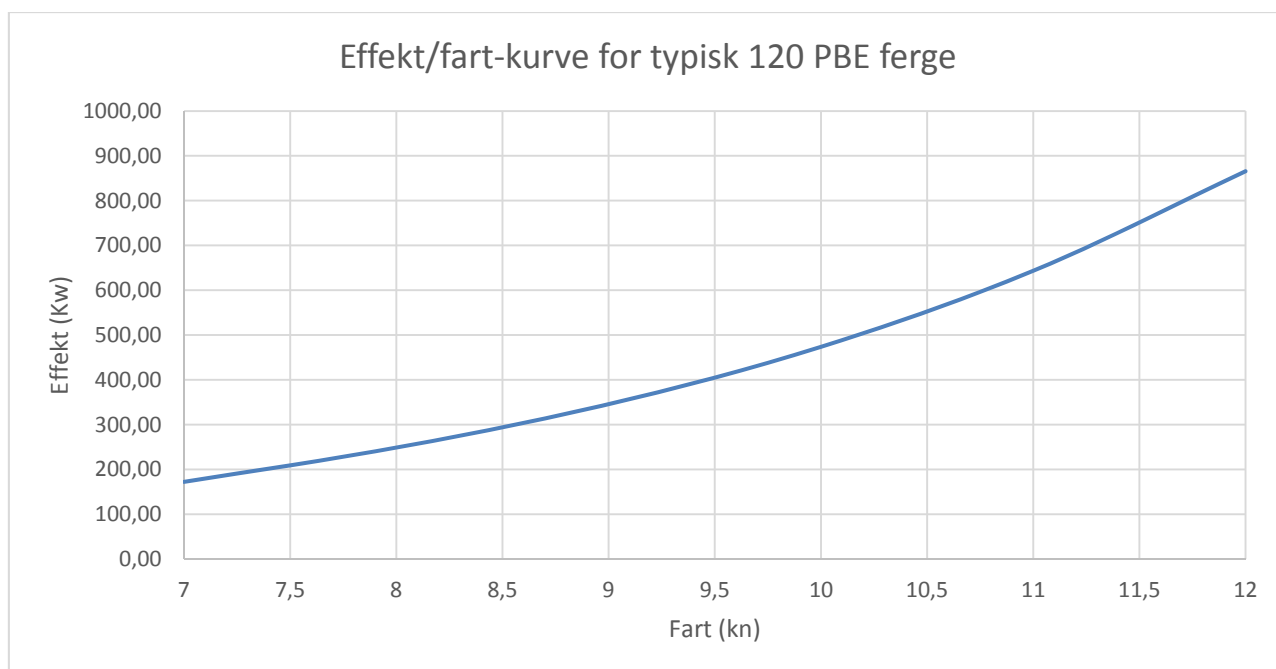
Kostnadene for forsterkning av nettet er lagt inn for å synliggjøre de samfunnsøkonomiske kostnadene. Prosjektene er derfor ikke belastet med vanlige effekt- og energi-ledd i nett-tariffene.

4 BEREGNET ENERGI- OG EFFEKTBEHOV FOR HVER FERGESTREKNING

Kapittel 4.1, 4.2 og 4.3 beskriver fremgangsmåte og inngangsdata for beregningene. Resultatet av beregningene presenteres samlet i Tabell 3 i slutten av kapittelet. Dette underlaget er nødvendig for å kunne dimensjonere nødvendig utbygging av el-nettet.

4.1 Beregning av energibehov for en helelektrisk ferge

Energimengden som kreves for å skyve en ferge over en gitt distanse er avhengig av en rekke variabler foruten selve distansen. Ved jevn fart er energimengden som skal til for å holde denne farten avhengig av våt overflate (friksjonsmotstand) og skrogform (bølgemotstand). Basert på beregninger utført ved MARIN (Holtrop & Mennen, 1982) samt bruk av informasjon fra representative (120 PBE) ferger baserer vi oss på profilen for sammenheng mellom fart gjennom vannet og effektbehov slik vist i Figur 2. Fordi effektbehovet øker eksponentielt med hastigheten er beregningene sensitive for valg av hastighet.

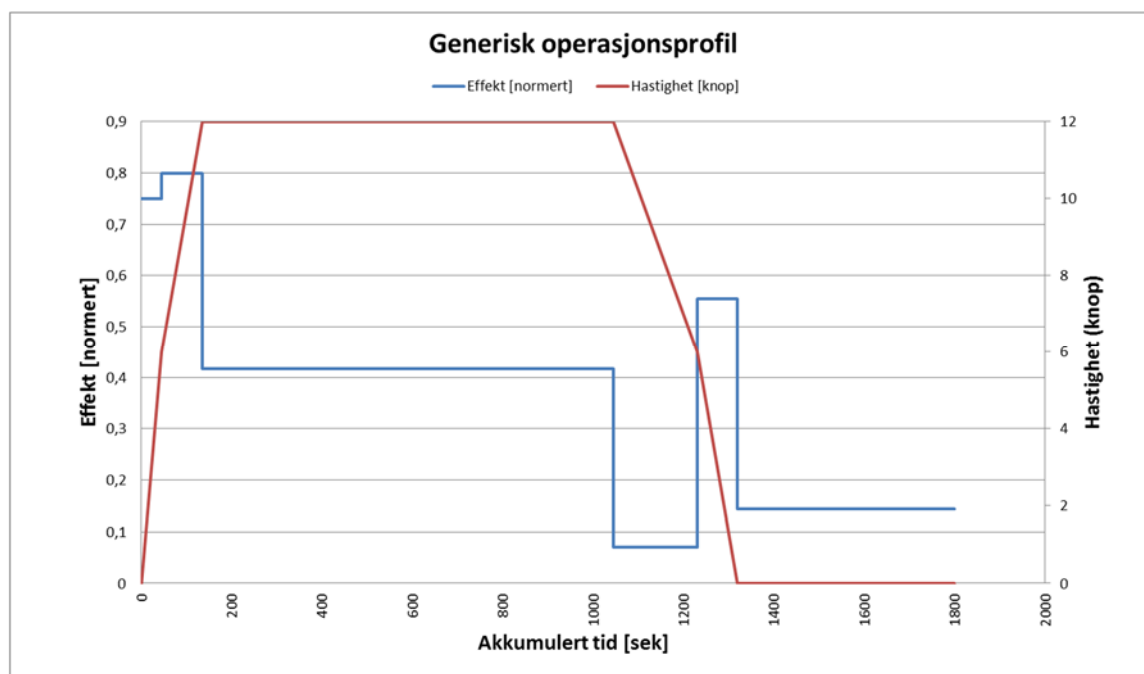


Figur 2 Effekt/fart-kurve for typisk 120 PBE ferge

Fergene varierer i størrelse, går med forskjellig fart og har forskjellig forbruk av drivstoff. Denne variasjonen har vi både innenfor og mellom samband. For å få en håndterlig mengde variabler for beregninger, har det vært nødvendig å forenkle noen forutsetninger. Det ble derfor i samråd med Energi Norge bestemt at vi skulle velge en standard 120 PBE ferge og at farten skal være 12 knop. For mange strekninger vil estimatene i denne rapporten derfor avvike en del fra situasjonen med dagens materiell og vil ikke nødvendigvis være direkte sammenlignbare med dagens data. Vi mener likevel at vi med disse forutsetningene får et robust overslag over energibruk og kostnader for elektrifisering av fergestrekninger.

For relativt korte strekninger, som er typisk for bilferger, er det ikke tilstrekkelig å anta en konstant fart for beregning av energimengde for overfarten. For et mer korrekt bilde må en i tillegg til selve overfarten modellere effektene av manøvrering, akselerasjon, retardasjon, samt liggetid i havn.

I modellen er det kun tid i selve overfartsdelen som vil variere mellom de forskjellige strekningene, tid i de øvrige operasjonsmoduser er antatt likt for alle og basert på driftsprofilen til Ampere-fergen. Modellen for en overfart er som vist i figuren og tabellen nedenfor.



Figur 3 Illustrasjon av en generisk driftsprofil for 120 PBE ferge.

Tabell 1 – Tid i forskjellige operasjonsmoduser for en overfart (sekunder), med tilhørende snittfart (knop) og motorlast (% av MCR)

| | Fra kai - Manøvrering | Akselerasjon | Overfart | Retardasjon | Til kai – manøvrering | Landligge |
|--|--------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------|-----------|
| Tid i operasjonsmodus (s) | 45 | 90 | Beregnes basert på fart og lengde | 185 | 90 | 300 |
| Snittfart i operasjonsmodi (knop) | 2 | 6 | 12 | 6 | 2,5 | 0 |
| Tilhørende motorlast (%) | 75 | 80 | 42 | 7 | 56 | 14 |

Basert på driftsprofilen vist her, og distansen til den enkelte strekningen, ble så energibehovet for hver strekning beregnet. Resultatet er vist i Tabell 3 i avsnitt 4.3.

4.2 Beregning av effektbehov som må være tilgjengelig på fergeleiet

I kapittel 4.1 er det redegjort for beregningene av hvor mye energi fergene må tilføres ved fergeleiene for å kunne klare en overfart. Med bakgrunn i dette kan man beregne nødvendig elektrisk effekt for å kunne overføre den nødvendige energien til fergen mens den ligger til kai.

I dette prosjektet har vi tatt utgangspunkt i en "worst-case"- vurdering og forutsatt at fergene skal kunne lades opp på 5 minutter – dvs. overføre den nødvendige energimengden fra land til ferge på 5 minutter. Det krever til dels betydelig effekt og ved de aller fleste fergeleiene vesentlig større effekt enn hva som er tilgjengelig i nettet frem til fergeleiet i dag. Det vil også være mulig å bruke batteribanker på land for å kunne gi tilstrekkelig kapasitet for overføring av kraft mens fergen ligger til kai. Denne løsningen anvendes for Ampere, men er ikke vurdert i denne studien. En optimalisering der man vurderer kostnadene ved en batteribank på fergeleiet opp mot nødvendige investeringer i nett for å ha tilstrekkelig høyspent kapasitet til å lade fergen på 5 minutter vil være en naturlig videreføring av denne studien, og i alle fall en del av en konkret vurdering for gjennomføring av elektrifisering av fergesamband.

På bakgrunn av energibehov beregnet som beskrevet i kapittel 4.1 er effektbehovet ved 5-minutters overføring av kraft beregnet. Resultatet er vist i Tabell 3 nedenfor.

4.3 Beregning av drivstoffbehov for en konvensjonell ferge

For hver fergestrekning er det også beregnet mengde drivstoff ved bruk av konvensjonell diesel-drevet ferge. I beregningen er det antatt at fergene vil ha samme energibehov per overfart uavhengig av fremdriftssystem (konvensjonelt eller elektrisk). Det beregnede drivstofforbruket er basisen for sluttberegningen av den totale kostnaden per tonn CO₂ redusert (kapittel 5).

Den samme generiske operasjonsprofil (Figur 3) som er brukt for å beregne strømbehov per strekning brukes for å beregne drivstofforbruket per strekning. Det vil si at det er antatt at tid brukt i hver operasjonsmodus er den samme, bortsett fra overfartstiden som er avhengig av lengden på strekningen.

For hver operasjonsmodus i hver strekning er det allerede beregnet et kWh-behov. Videre er det anvendt et spesifikt drivstoffbruk (SFOC) for hver operasjonsmodus for å beregne drivstofforbruket i hver operasjonsmodus (Tabell 2). Drivstofforbruket fra hver operasjonsmodus er lagt sammen for å få det totale drivstofforbruket for strekningen.

Tabell 2 Spesifikt drivstofforbruk i hver operasjonsmodus, brukt for å beregne drivstoffbehov per fergestrekning (gram drivstoff per produsert kWh)

| | Til/Fra kai (manøvrering) | Sakte | Akselerasjon | Overfart | Retardasjon | Omlasting (landligge) |
|---|------------------------------|-------|--------------|----------|-------------|--------------------------|
| Snitt spesifikt drivstofforbruk [g/kWh] | 210 | 240 | 217 | 204 | 209 | 250 |

Det totale drivstofforbruket per år er beregnet ved å gange drivstofforbruket per strekning med antall turer per år. Resultatet er vist i Tabell 3 nedenfor.

Tabell 3 – Nøkkelparametere for fergestrekningene. Antallet ferger, daglige overfarter og distanse er data som beskriver nåsituasjonen. Energibruk, drivstofforbruk (diesel), effektbehov på fergeleie og CO₂-utslipp er beregnet – se avsnitt 4.1, 4.2 og 4.3.

| Ferjestrekning | Antall ferjer | Overfart per dag | Distanse (km) | Energi behov per tur (kWh) | Ladeeffekt (kW i 5 min) | Årlig strømforbruk (GWh/år) | Årlig dieselforbruk (tonn/år) | Årlig CO ₂ utslipp (tonn/år) | Merkost. ferge (MNOK) |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|
| Svelvik - Verket | 1 | 84 | 0,2 | 90 | 1 085 | 2,8 | 626 | 1 934 | 7,2 |
| Launes - Kvellandstrand | 1 | 70 | 1,3 | 134 | 1 606 | 3,4 | 748 | 2 312 | 10,7 |
| Andabeløy - Abelsnes | 1 | 43 | 1,3 | 132 | 1 583 | 2,1 | 453 | 1 401 | 10,6 |
| Tau - Stavanger | 3 | 64 | 14,5 | 646 | 7 755 | 15,1 | 3 126 | 9 659 | 155,1 |
| Lauvvik - Oanes | 1 | 72 | 2,1 | 165 | 1 976 | 4,3 | 935 | 2 888 | 13,2 |
| Hjelmeland - Nesvik | 1* | 38 | 3,0 | 199 | 2 383 | 2,8 | 589 | 1 821 | 15,9** |
| Skipavik (R) - Nesvik | 1* | 20 | 3,9 | 235 | 0 | 1,7 | 364 | 1 125 | 18,8** |
| Skipavik (R) - Hjelmeland | 1 | 20 | 4,5 | 257 | 0 | 1,9 | 397 | 1 225 | 20,5 |
| Kinsarvik - Utne | 2 | 20 | 8,1 | 397 | 4 767 | 2,9 | 606 | 1 873 | 63,6 |
| Utne - Kvanndal | 2* | 42 | 5,6 | 301 | 3 617 | 4,6 | 973 | 3 006 | 48,2** |
| Løfallstrand - Gjermundshamn | 2* | 45 | 7,1 | 358 | 4 300 | 5,9 | 1 233 | 3 810 | 57,3** |
| Varaldsøy - Gjermundshamn | 2* | 18 | 4,0 | 239 | 2 869 | 1,6 | 333 | 1 030 | 38,3** |
| Varaldsøy - Løfallstrand | 2 | 17 | 8,2 | 401 | 4 809 | 2,5 | 520 | 1 606 | 64,1 |
| Skånevik - Utåker | 1* | 20 | 5,9 | 314 | 3 771 | 2,3 | 482 | 1 491 | 25,1** |
| Sunde i Matre - Skånevik | 1 | 10 | 7,6 | 379 | 4 548 | 1,4 | 289 | 894 | 30,3 |
| Sunde i Matre - Utåker | 1* | 10 | 3,4 | 217 | 2 602 | 0,8 | 169 | 521 | 17,3** |
| Jektevik - Nordhuglo | 1 | 7 | 3,9 | 235 | 2 822 | 0,6 | 128 | 394 | 18,8 |
| Jektevik - Hodnanes | 1* | 41 | 2,4 | 177 | 2 121 | 2,6 | 569 | 1 758 | 14,1** |
| Nordhuglo - Hodnanes | 1* | 12 | 2,6 | 185 | 2 214 | 0,8 | 174 | 536 | 14,8** |
| Hatvik - Venjaneset | 1 | 58 | 3,3 | 210 | 2 523 | 4,5 | 950 | 2 935 | 16,8 |
| Jondal - Tørvikbygd | 1 | 38 | 5,2 | 284 | 3 407 | 3,9 | 831 | 2 567 | 22,7 |
| Leirvåg - Sløvåg | 1 | 36 | 5,7 | 307 | 3 683 | 4,0 | 849 | 2 622 | 24,6 |

| Ferjestrekning | Antall ferjer | Overfart per dag | Distanse (km) | Energi behov per tur (kWh) | Ladeeffekt (kW i 5 min) | Årlig strømforbruk (GWh/år) | Årlig dieselforbruk (tonn/år) | Årlig CO ₂ utslipp (tonn/år) | Merkost. ferge (MNOK) |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|
| Breistein - Valestrandfossen | 1 | 66 | 2,5 | 181 | 2 167 | 4,4 | 935 | 2 890 | 14,4 |
| Hella - Dragsvik | 3* | 48 | 1,8 | 153 | 1 840 | 2,7 | 583 | 1 801 | 36,8** |
| Vangsnes - Hella | 3* | 46 | 4,3 | 251 | 3 009 | 4,2 | 892 | 2 757 | 60,2** |
| Vangsnes - Dragsvik | 3 | 46 | 4,9 | 272 | 3 266 | 4,6 | 965 | 2 983 | 65,3 |
| Lote - Anda | 1 | 74 | 2,1 | 165 | 1 980 | 4,5 | 963 | 2 975 | 13,2 |
| Fodnes - Mannheller | 2 | 108 | 3,3 | 211 | 2 532 | 8,3 | 1 775 | 5 484 | 33,8 |
| Isane - Stårheim | 1 | 40 | 4,4 | 255 | 3 056 | 3,7 | 787 | 2 433 | 20,4 |
| Årvik - Koparneset | 2 | 68 | 2,5 | 181 | 2 167 | 4,5 | 964 | 2 977 | 28,9 |
| Hareid - Sulesund | 2 | 72 | 7,7 | 385 | 4 618 | 10,1 | 2 115 | 6 535 | 61,6 |
| Volda - Folkestad | 1 | 64 | 3,3 | 212 | 2 546 | 5,0 | 1 057 | 3 267 | 17,0 |
| Volda - Lauvstad | 2 | 32 | 7,5 | 376 | 4 510 | 4,4 | 919 | 2 839 | 60,1 |
| Festøya - Hundeidvika | 1 | 30 | 4,8 | 269 | 3 234 | 3,0 | 624 | 1 927 | 21,6 |
| Festøya - Solavågen | 2 | 84 | 4,4 | 256 | 3 075 | 7,9 | 1 663 | 5 139 | 41,0 |
| Sykkylven - Magerholm | 2 | 112 | 3,7 | 228 | 2 733 | 9,3 | 1 980 | 6 119 | 36,4 |
| Stranda - Liabygda | 3 | 60 | 2,8 | 192 | 2 308 | 4,2 | 902 | 2 789 | 46,2 |
| Eidsdal - Linge | 3 | 58 | 2,7 | 188 | 2 261 | 4,0 | 856 | 2 644 | 45,2 |
| Geiranger - Hellesylt | 2 | 16 | 19,9 | 860 | 10 322 | 5,0 | 1 036 | 3 202 | 137,6 |
| Molde - Vestnes | 3 | 74 | 11,5 | 532 | 6 385 | 14,4 | 2 985 | 9 225 | 127,7 |
| Molde - Sekken | 1 | 18 | 11,5 | 531 | 6 376 | 3,5 | 725 | 2 241 | 42,5 |
| Sølsnes - Åfarnes | 1 | 73 | 3,4 | 216 | 2 588 | 5,7 | 1 225 | 3 785 | 17,3 |
| Kvanne - Rykkjem | 1 | 68 | 2,5 | 179 | 2 144 | 4,4 | 954 | 2 947 | 14,3 |
| Halsa - Kanestraum | 2 | 78 | 5,4 | 295 | 3 538 | 8,4 | 1 768 | 5 464 | 47,2 |
| Flakk - Rørvik | 3 | 30 | 7,4 | 372 | 4 468 | 4,1 | 853 | 2 637 | 89,4 |
| Levang - Nesna | 1 | 32 | 8,5 | 414 | 4 973 | 4,8 | 1 011 | 3 123 | 33,2 |

| Ferjestrekning | Antall ferjer | Overfart per dag | Distanse (km) | Energi behov per tur (kWh) | Ladeeffekt (kW i 5 min) | Årlig strømforbruk (GWh/år) | Årlig dieselforbruk (tonn/år) | Årlig CO ₂ utslipp (tonn/år) | Merkost. ferge (MNOK) |
|-------------------------------|---------------|------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|
| Bognes - Skarberget | 2 | 48 | 8,0 | 393 | 4 721 | 6,9 | 1 441 | 4 451 | 62,9 |
| Kjøpsvik - Drag | 1 | 22 | 13,6 | 613 | 7 358 | 4,9 | 1 020 | 3 153 | 49,1 |
| Forøy - Ågskardet | 2 | 48 | 2,6 | 184 | 2 210 | 3,2 | 693 | 2 140 | 29,5 |
| Refsnes - Flesnes | 1 | 36 | 5,5 | 298 | 3 570 | 3,9 | 823 | 2 545 | 23,8 |
| Svensby - Breivikeidet | 1 | 38 | 6,2 | 325 | 3 898 | 4,5 | 946 | 2 924 | 26,0 |
| Lyngseidet - Olderdalen | 1 | 32 | 12,6 | 574 | 6 890 | 6,7 | 1 391 | 4 299 | 45,9 |
| TOTAL for strekningene | 65* | 2 406 | N/A | N/A | N/A | 238 | 50 195 | 155 102 | 1710** |

*Kun unike fartøy summert, jf. at en og samme ferge kan betjene flere fergestrekninger i flerstreknings samband. Strekning merket * er utelatt i summering.

**Kun kostnadene for unike fartøy summert, jf. at en og samme ferge kan betjene flere fergestrekninger i flerstreknings samband. Strekning merket ** er utelatt i summering.

5 KARTLEGGING AV TILGANG PÅ KRAFT VED FERGELEIER

Denne studiens hovedoppgave er å bidra til økt kunnskap om tilgang på elektrisk kraft ved de aktuelle fergeleiene, samt kartlegge nødvendige investeringer for å sikre tilstrekkelig kapasitet for lading av fergene på 5 minutter, slik beskrevet i kapittel 4.2.

I forbindelse med analysen er det utarbeidet et spørsmålsark som er sendt ut til de 38 nettselskapene som er ansvarlig for strømleveranse til fergeleiene på strekningene som er undersøkt, se vedlegg A. Spørsmålsarket oppgir effektbehovet for lading i løpet av 5 minutter av energimengden tilsvarende en overfart for strekningen. Rent praktisk vil en ferge måtte ligge 5-10 minutter ved fergeleiet for at nødvendig energimengde skal overføres i løpet av 5 minutter. Dette vil for noen strekninger kunne medføre endringer i ruteplan.

Følgende informasjon ble innhentet fra nettselskapene:

- Eksisterende kapasitet: Hvor stor effekt i kW¹ er tilgjengelig på fergeleiet slik det er i dag – uten annen tilrettelegging enn utstyr for oppkobling til ferge? Er dette tilstrekkelig?
- Dersom oppgradering er nødvendig:
 - o Hvor mye effekt i kW kan være tilgjengelig med mindre forsterkninger i lokalt nett samt økt transformorkapasitet, og hvor mye vil det koste?
 - o Hva vil eventuelt kreves av større oppgradering av nett (så langt opp i nettet som nødvendig for å oppnå ønsket effekt) og transformorkapasitet, og hvor mye vil dette koste?

Forespørselen til nettselskapene – samt eksempel på skjema som fulgte forespørselen er gjengitt i Vedlegg A og B.

Nettselskapene har vist betydelig interesse for å fremskaffe denne informasjonen. Det er imidlertid viktig å understreke at besvarelsene representerer overslagsberegninger og angir størrelsesorden. Mer detaljerte beregninger er en forutsetning for videre og mer konkrete vurderinger av elektrifisering av samband.

Mange nettselskaper presiserer også at det ligger en usikkerhet i hvordan tilkoplingen mellom nett og ferge belaster nettet og hvordan dette påvirker spenningskvaliteten for andre kunder i nettet. En momentan tilkopling vil for eksempel ha en annen virkning enn en gradvis inn- og utfasing. Her ligger det antakelig behov for videre utviklingsarbeid i samarbeid mellom aktører på sjøsiden og nettsiden. Det ligger mange verdifulle kommentarer til beregningene i det bakgrunnsmateriale som DNV-GL har fått tilgang til fra nettselskapene. Konklusjonene i rapporten er trukket under erkjennelse av de forbeholdene som nettselskapene har gitt i sine tilbakemeldinger.

Tabell 4 viser hovedfunnene fra kartleggingen gjennomført hos nettselskapene. For hver kai på den enkelte fergestrekning vises tilgjengelig effekt i dag, samt effekten som gjøres tilgjengelig ved ombygging. Denne effekten er tilstrekkelig til å dekke energibehovet til strekningen, slik det er beregnet i kapittel 4.1. Tabellen viser også kostnaden som nettselskapet har oppgitt for å oppgradere nettet til å levere den nødvendige effekten. Siste kolonne i tabellen viser kostnaden summert for alle kaiene for de ulike fergestrekningene.

Resultatene viser at den samlede investeringen i oppgradering av nettet beløper seg til 930 millioner NOK. Kostnadene fordeler seg svært ulikt på de forskjellige strekningene.

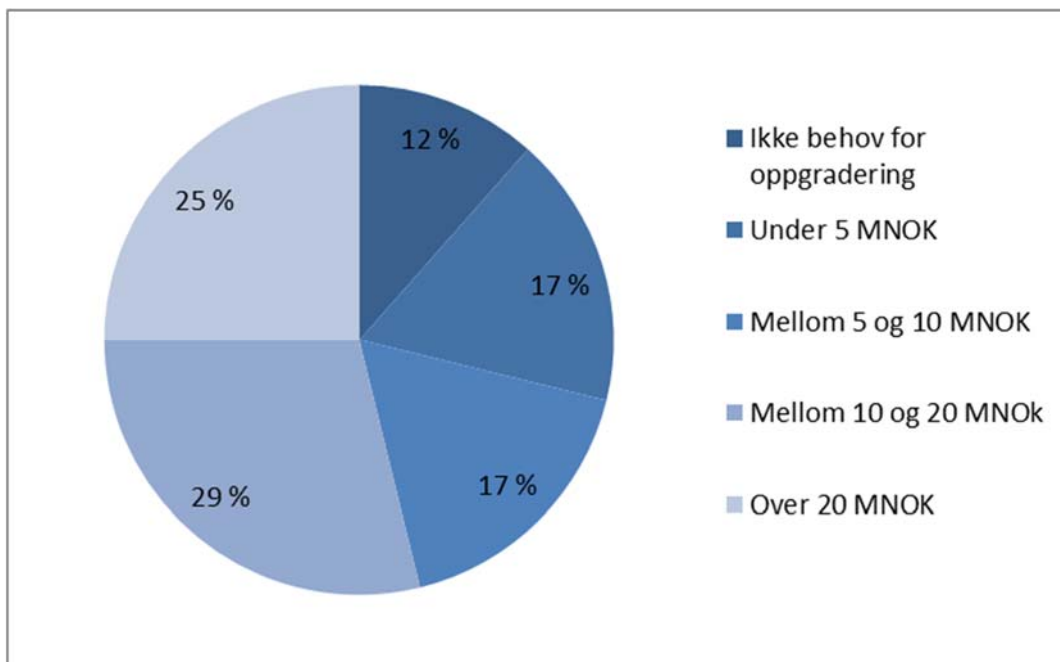
¹ Nettselskapene har oppgitt effekt i kVA, hvilket er nær det samme som effekt i kW for et strømnnett.

Tabell 4 Kostnad for oppgradering av strømmettet til fergekaiene

| Ferjekai | Tilgjengelig effekt på kai (kW) | Effekt ved ombygging (kW) | Kostnader for nettombygging MNOK | Ferjekai | Tilgjengelig effekt på kai (kW) | Effekt ved ombygging (kW) | Kostnader for nettombygging MNOK | Total kostnad ombygging MNOK |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Svelvik | 0 | 1085 | 0,3 | Verket | 100 | 1250 | 0,5 | 0,8 |
| Launes | 1606 | 0 | 0,0 | Kvellandstrand | 1606 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Andabeløy | 1583 | 0 | 0,0 | Abelsnes | 1583 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Tau | 0 | 8000 | 6,8 | Stavanger | 0 | 7755 | 12,0 | 18,8 |
| Lauvvik | 0 | 2000 | 2,2 | Oanes | 0 | 2000 | 3,0 | 5,2 |
| Hjelmeland | 0 | 11000 | 1,3 | Nesvik | 0 | 6000 | 33,5 | 34,9 |
| Skipavik (R) | 0 | 0 | 0,0 | Nesvik | 0 | 6000 | | 0,0 |
| Skipavik (R) | 0 | 0 | 0,0 | Hjelmeland | 0 | 6000 | | 0,0 |
| Kinsarvik | 20 | 4767 | 7,5 | Utne | 40 | 4767 | | 7,5 |
| Utne | 40 | 3617 | 15,0 | Kvanndal | 80 | 3617 | 8,0 | 23,0 |
| Løfallstrand | 4800 | 0 | 0,0 | Gjermundshamn | 1100 | 4300 | 14,7 | 14,7 |
| Varaldsøy | 500 | 4800 | 17,0 | Gjermundshamn | 1100 | 4300 | | 17,0 |
| Varaldsøy | 500 | 4810 | | Løfallstrand | 4810 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Skånevik | 0 | 4500 | 5,0 | Utåker | 500 | 3800 | 2,1 | 7,1 |
| Sunde i Matre | 500 | 4600 | 5,9 | Skånevik | 0 | 4550 | 5,0 | 10,9 |
| Sunde i Matre | 500 | 4600 | | Utåker | 500 | 3800 | 2,1 | 2,1 |
| Jektevik | 1000 | 3000 | 13,0 | Nordhuglo | 0 | 2823 | 1,0 | 14,0 |
| Jektevik | 1000 | 3000 | | Hodnanes | 100 | 2200 | 2,0 | 2,0 |
| Nordhuglo | 0 | 2823 | 1,0 | Hodnanes | 100 | 2215 | | 1,0 |
| Hatvik | 3000 | 0 | 0,0 | Venjanaset | 0 | 2523 | 0,8 | 0,8 |
| Jondal | 0 | 3407 | 2,0 | Tørvikbygd | 100 | 3407 | 2,0 | 4,0 |
| Leirvåg | 3800 | 0 | 0,0 | Sløvåg | 3800 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Breistein | 200 | 2167 | 1,1 | Valestrandfossen | 2200 | 0 | 0,0 | 1,1 |
| Hella | 100 | 1840 | 44,0 | Dragsvik | 100 | 1840 | 12,0 | 56,0 |
| Vangsnes | 315 | 3009 | 36,0 | Hella | 100 | 3009 | 44,0 | 80,0 |
| Vangsnes | 315 | 3266 | | Dragsvik | 100 | 3266 | 12,0 | 12,0 |
| Lote | 50 | 1980 | 8,0 | Anda | 50 | 1980 | 5,0 | 13,0 |
| Fodnes | 40 | 2532 | 36,0 | Mannheller | 315 | 2532 | 28,0 | 64,0 |
| Isane | 30 | 3056 | 12,0 | Stårheim | 30 | 3056 | 6,0 | 18,0 |
| Årvik | 100 | 2167 | 1,4 | Koparneset | 100 | 2167 | 1,4 | 2,8 |
| Hareid | 200 | 4618 | 5,1 | Sulesund | 100 | 4618 | 5,9 | 11,0 |
| Volda | 100 | 4510 | 3,7 | Folkestad | 150 | 2546 | 1,5 | 5,2 |
| Volda | 100 | 4510 | | Lauvstad | 50 | 4510 | 11,9 | 11,9 |
| Festøya | 100 | 3234 | 1,5 | Hundeidvika | 0 | 3500 | 4,7 | 6,2 |
| Festøya | 100 | 3075 | | Solvågen | 200 | 3075 | 1,5 | 1,5 |
| Sykkylven | 0 | 2734 | 3,5 | Magerholm | 50 | 2733 | 1,5 | 5,0 |
| Stranda | 100 | 2308 | 0,5 | Liabygda | 50 | 2308 | 6,6 | 7,1 |

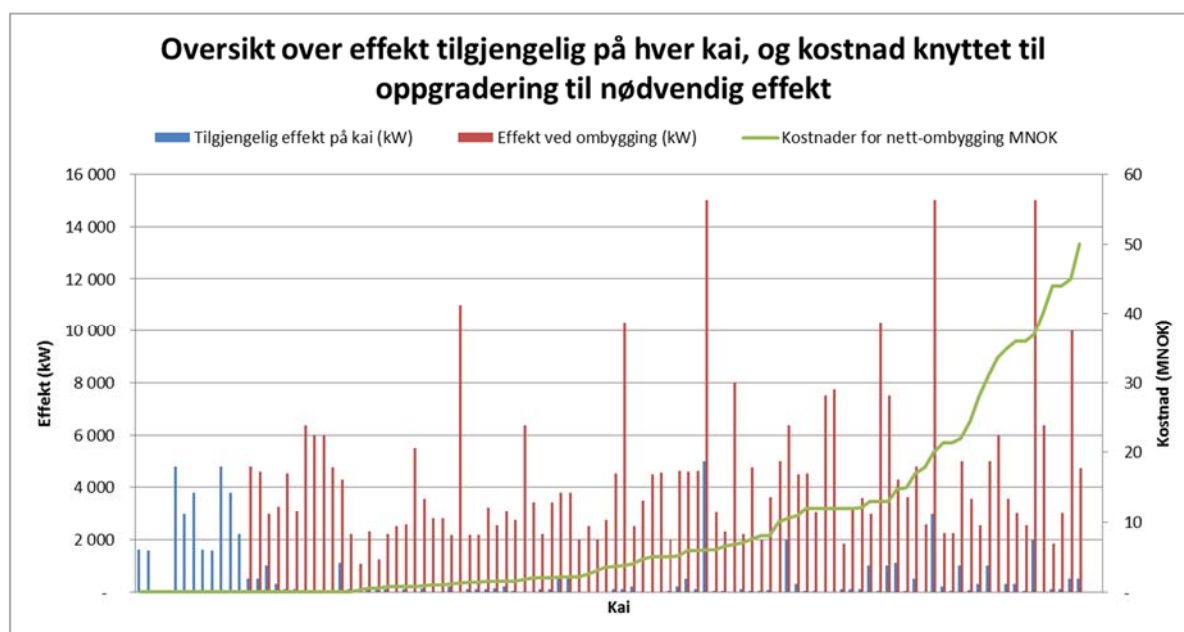
| Ferjekai | Tilgjengelig effekt på kai (kW) | Effekt ved ombygging (kW) | Kostnader for nettombygging MNOK | Ferjekai | Tilgjengelig effekt på kai (kW) | Effekt ved ombygging (kW) | Kostnader for nettombygging MNOK | Total kostnad ombygging MNOK |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Eidsdal | 200 | 2261 | 21,4 | Linge | 50 | 2261 | 21,4 | 42,8 |
| Geiranger | 100 | 10322 | 3,8 | Hellesylt | 50 | 10322 | 13,0 | 16,8 |
| Molde | 0 | 6385 | 1,8 | Vestnes | 2000 | 6385 | 10,6 | 12,4 |
| Molde | 0 | 6376 | | Sekken | 0 | 6376 | 40,0 | 40,0 |
| Sølsnes | 0 | 2588 | 17,8 | Åfarnes | 100 | 2588 | 0,8 | 18,6 |
| Kvanne | 110 | 2200 | 0,8 | Rykkjem | 100 | 2200 | 7,0 | 7,8 |
| Halsa | 120 | 3540 | 0,9 | Kanestraum | 100 | 3600 | 12,1 | 12,9 |
| Flakk | 1000 | 5000 | 22,0 | Rørвик | 315 | 4500 | 11,0 | 33,0 |
| Levang | 0 | 4980 | 10,0 | Nesna | 0 | 5500 | 0,8 | 10,8 |
| Bognes | 1000 | 5000 | 31,0 | Skarberget | 500 | 4721 | 50,0 | 81,0 |
| Kjøpsvik | 0 | 7500 | 12,0 | Drag | 1000 | 7500 | 13,0 | 25,0 |
| Forøy | 0 | 2500 | 2,5 | Ågskardet | 200 | 2500 | 4,0 | 6,5 |
| Refsnes | 300 | 3570 | 35,0 | Flesnes | 70 | 3570 | 24,5 | 59,5 |
| Svensby | 3000 | 15000 | 20,0 | Brevikeidet | 2000 | 15000 | 37,0 | 57,0 |
| Lyngseidet | 5000 | 15000 | 6,0 | Olderdalen | 500 | 10000 | 45,0 | 51,0 |
| Total | | | 414,8 | | | | 519,1 | 933,9 |

Figur 4 viser at det for 12 % av fergestrekningene allerede er tilstrekkelig effekt tilgjengelig. For 25 % av strekningene er det behov for investeringer som overstiger 20 millioner NOK. Majoriteten av strekningene har behov for investeringer i nettet på mellom 5 og 20 millioner kroner.



Figur 4 Sammenheng av behov for oppgradering av strømmettet til fergekaiene

Figur 5 viser en oversikt over effekt tilgjengelig på hver kai, og kostnad knyttet til oppgradering til nødvendig effekt på den enkelte kai. Kaiene er sortert fra venstre mot høyre etter stigende kostnad for oppgradering. Det er tydelig at kostnadene varierer betydelig, også for kaier der oppgraderingsbehovet synes å være av samme størrelse.



Figur 5 Oversikt over effekt etter oppgradering på hver kai, samt kostnad knyttet til oppgradering av effekt til kai slik oppgitt av nettselskapene.

Nettselskapene har oppgitt nødvendige investeringer for at det skal bli mulig å levere tilstrekkelig effekt på fergekaiene - til sammen ca. 900 millioner kroner. Nettselskapene har også oppgitt nødvendig anleggsbidrag for å gjennomføre de nødvendige forsterkningene – anslått til 800 millioner kroner i henhold til NVEs forskrift. Anleggsbidrag er investeringstilskudd ved nettilknytning av nye brukere eller nye produsenter av elektrisk energi eller ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder. Anleggsbidraget skal dekke anleggskostnadene som følge av nye nett-tilknytninger og forsterkninger. Kostnadene er som nevnt betydelige og for mange av de aktuelle fergestrekningene så store at det hverken kan dekkes av nettselskapet eller av fergeselskapet uten nødvendig tilskudd.

Slike tilskudd kan være del av en nasjonal tiltaksplan for å bygge den nødvendige infrastrukturen for å elektrifisere transportsektoren. Ved gjennomføring av prosjekter med elektrifisering av fergestrekninger kan det da være en løsning at anleggsbidraget dekkes av fergeselskapet som så kan søke om statlig tilskudd til hele prosjektet – inkludert anleggsbidraget.

6 TILTAKSKOSTNAD FOR ELEKTRIFISERING AV FERGESTREKNINGER

For å kunne se hvor kostnadseffektivt elektrifisering av hver strekning vil redusere CO₂-utslipp er det beregnet en tiltakskostnad, dvs. kostnad av elektrifisering per tonn CO₂ redusert. Vi anvender følgende metode:

$$\text{Tiltakskostnad} = \frac{\text{Årlig kostnad beregnet over tiltakets analyseperiode}}{\text{Gjennomsnittlige årlige CO2 redusert over tiltakets analyseperiode}}$$

Årlig økonomisk kostnad er beregnet ved å bruke netto nåverdi på kontantstrømmen av investerings- og driftskostnader (alle kostnader i 2014-kroner). Kalkulasjonsrenten som er benyttet kan variere avhengig av tiltakets levetid og risiko, men er som standard satt til 4 % i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-109/2014. Metoden som er brukt er den samme som Miljødirektoratet anvender i sine beregninger av tiltakskost for CO₂-reduksjonstiltak.

Tiltakskostnaden har benevnningen kr/tonn CO₂ redusert. Vi gjør beregningene i tre trinn:

Trinn 1 - vi beregner tiltakskostnad for fergesiden per strekning (fergekostnad), se figur 5.

Trinn 2 - vi beregner tiltakskostnad for nettoppgraderingskostnadene per strekning (nettkostnad), se figur 6.

Trinn 3 – vi legger sammen tallene og får en samlet tiltakskostnad som reflekterer ekstrakostnader tiltaket medfører (samlet tiltakskostnad), se figur 7.

Analyseperioden er satt lik levetiden på batteriløsningen om bord, som er satt til 10 år. Levetiden for nettoppgradering er satt til 30 år, og kostnaden som tilskrives tiltaket er derfor justert for restverdien av nettoppgraderingen etter 10 år (etter 10 år tilsvarer restverdien to tredjedeler av investeringskostnaden).

I de følgende delkapitlene er faktorene som er tatt med i beregningen beskrevet;

- Investeringskostnad om bord (batteri-installasjon)
- Kostnadsbesparelse drivstoff (kostnad til diesel minus kostnad til elektrisitet)
- CO₂-reduksjon

Kostnadene for nettoppgradering er beskrevet i kapittel 5.

6.1 Kostnad for batteriløsning på skip

Kapitalkostnaden for batteriinstallasjonen i fergen beregnes utfra størrelsen på batteriinstallasjonen (i kWh) og en enhetskostnad (NOK/kWh).

Batteristørrelse er beregnet for den enkelte ferge ved å bruke samme dimensjoneringsforhold som på Ampere. I tråd med beregninger gjort i forbindelse med Ampere-utviklingen er det antatt at batteriene bør ha en kapasitet minst fem ganger energibehovet for en enkel overfart – som beregnet i kapittel 4. At batteriet dimensjoneres større enn strengt nødvendig skyldes at levetiden på batteriet forkortes betydelig dersom det tømmes helt før det lades opp igjen, samt behov for redundant kapasitet av sikkerhetshensyn.

Merk at dette er overslag på investeringsnivå basert på erfaringene fra Ampere, og for spesifikke vurderinger av den enkelte ferge vil det måtte foretas grundige vurderinger på hvordan en slik

batteripakke bør designes. Elementer som inngår i en slik vurdering inkluderer 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.

Enhetskostnaden for batteriinstallasjonen er anslått til 16 000 NOK/kWh. Tilgangen på informasjon om disse kostnadene er imidlertid begrenset, og verdien er derfor heftet med usikkerhet. Kostnaden inkluderer selve batteriet og kraftstyringssystemet. Kostnaden for kablingsystem for lading fra land antas også dekket av denne prisen. Det bemerkes at det er ventet betydelige reduksjoner i prisen på batterier i årene som kommer.

6.2 Kostnader for diesel og elektrisitet

Kostnadsbesparelsen er differansen mellom kostnad av dieselforbruk og kostnad av elektrisitetsforbruk. Dieselforbruk er beregnet i kapittel 4.3. Elektrisitetsbehov er beregnet i kapittel 4.1.

Vi har anvendt en dieselpriis på 5800 NOK/tonn.

Prisen for elektrisitet levert til forbruker er i utgangspunktet todelt, og inkluderer strømpris (energi-ledd) og nettleie (effekt-ledd). For strømpris er det lagt til grunn den markedsprisen vi ser i dag for kontrakter for 2025 – som per april 2015 ligger på 0,3 NOK/kWh.

Kostnadene for nettforsterkning som er benyttet i beregningene er de overslagene over nødvendige investeringer for å få fram nødvendig effekt til de enkelte fergeleiene. Vi inkluderer derfor ikke vanlige nett-tariffer med effekt og energiledd i våre beregninger.

6.3 CO₂-reduksjon

I dette studiet er det lagt til grunn at utslippsreduksjonen består av forskjellen mellom CO₂-utslipp fra drift av en konvensjonell diesel-drevet ferge og en helelektrisk ferge. Andre utslipp som NO_x, SO_x og partikler er ikke del av vurderingen.

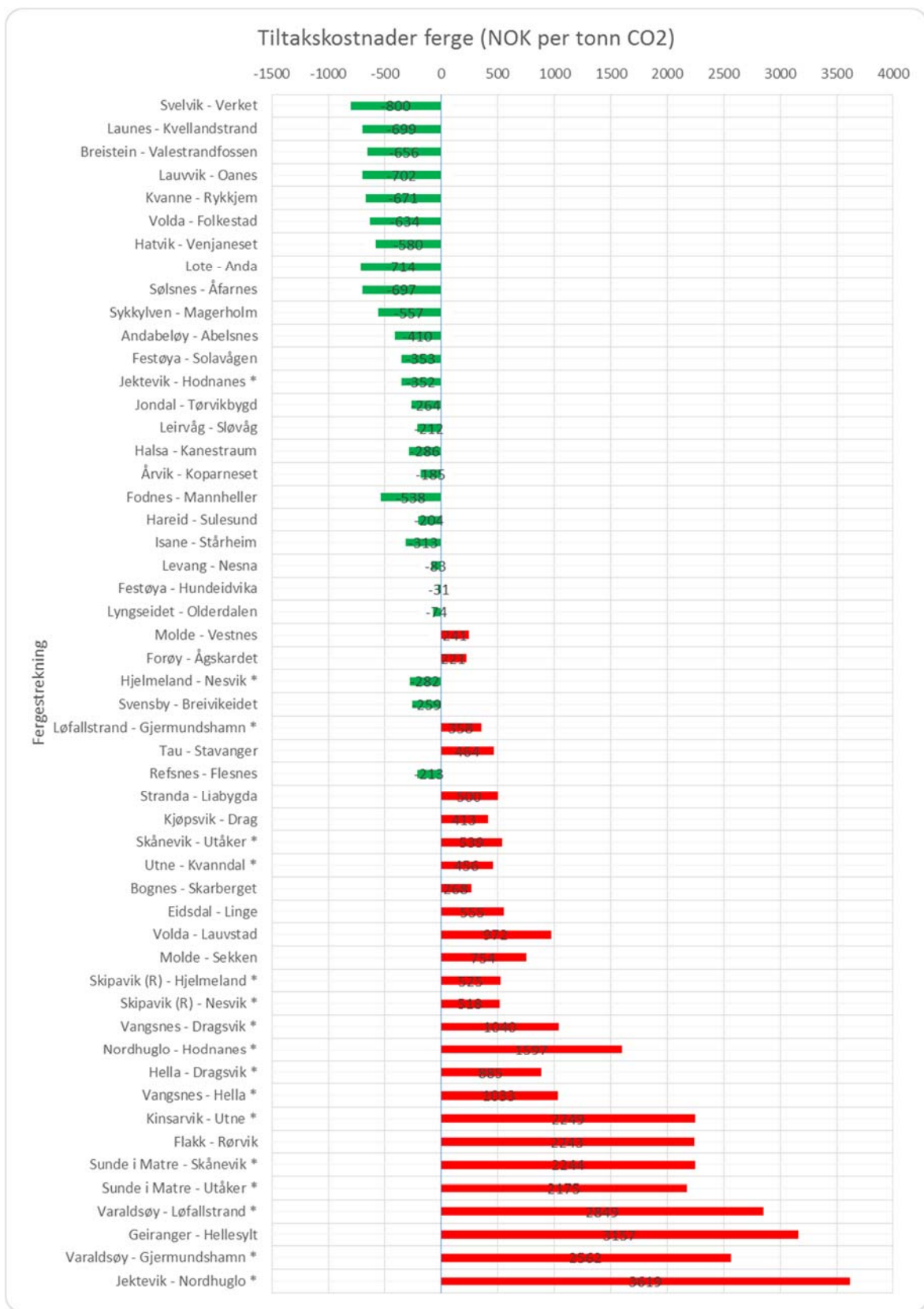
CO₂-utslippet fra dieseldrift beregnes ved å multiplisere drivstofforbruket (kapittel 4.3) med en utslippsfaktor satt til 3,09 tonn CO₂/tonn diesel. Resultatene for CO₂ utslippet per strekning vises i Tabell 3.

Videre er det lagt til grunn at klimagassutslipp ved bruk av elektrisitet på ferger er lik null. Differansen i utslipp er dermed lik beregnet utslipp fra dieselfergene.

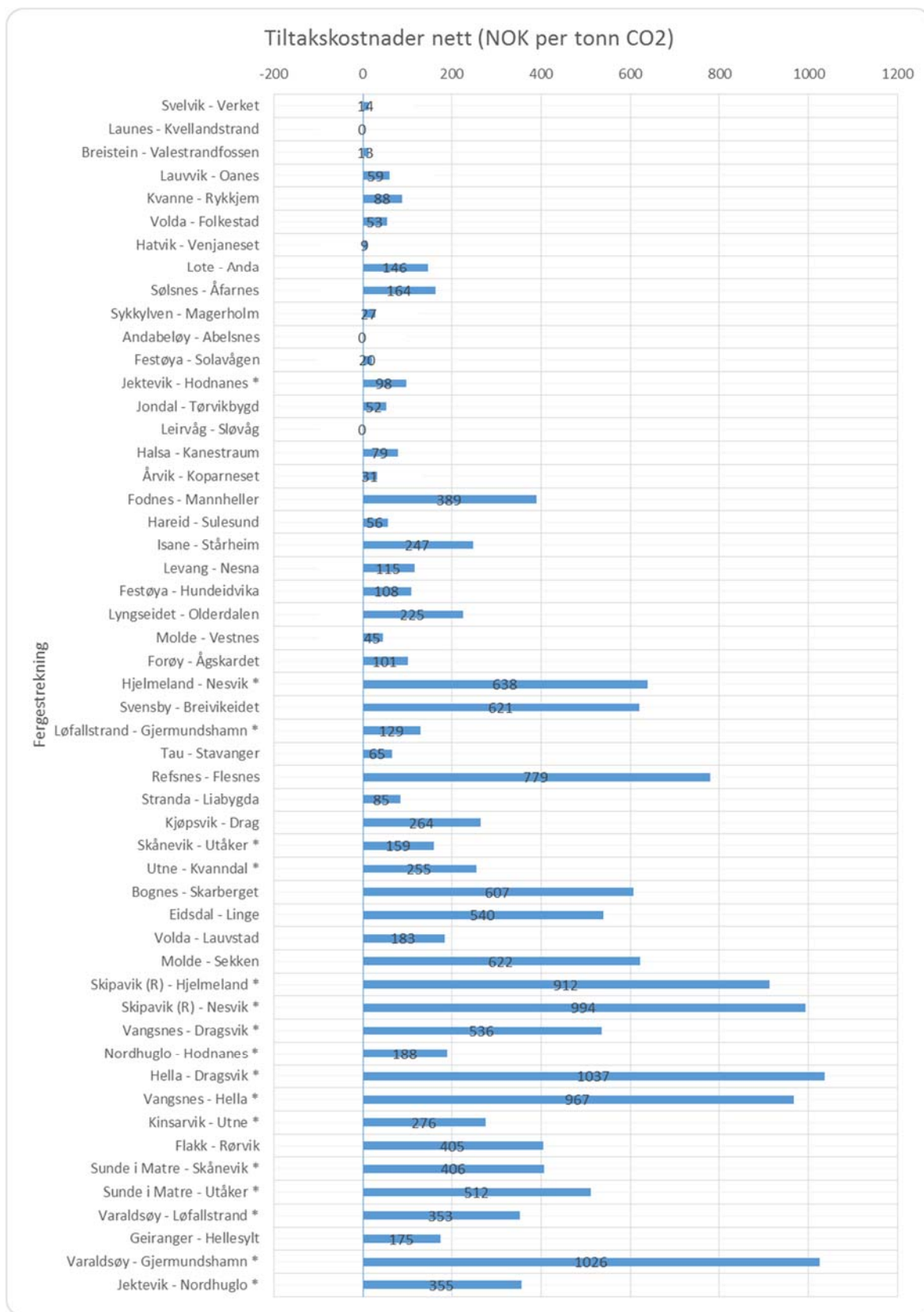
6.4 Beregnede tiltakskostnader

Nedenfor presenteres beregnet tiltakskostnad (kostnad per tonn redusert CO₂) på grunnlag av data som er gitt i denne rapporten; henholdsvis Figur 6 (fergekostnader), Figur 7 (nettkostnader) og Figur 8 (samlede tiltakskostnader).

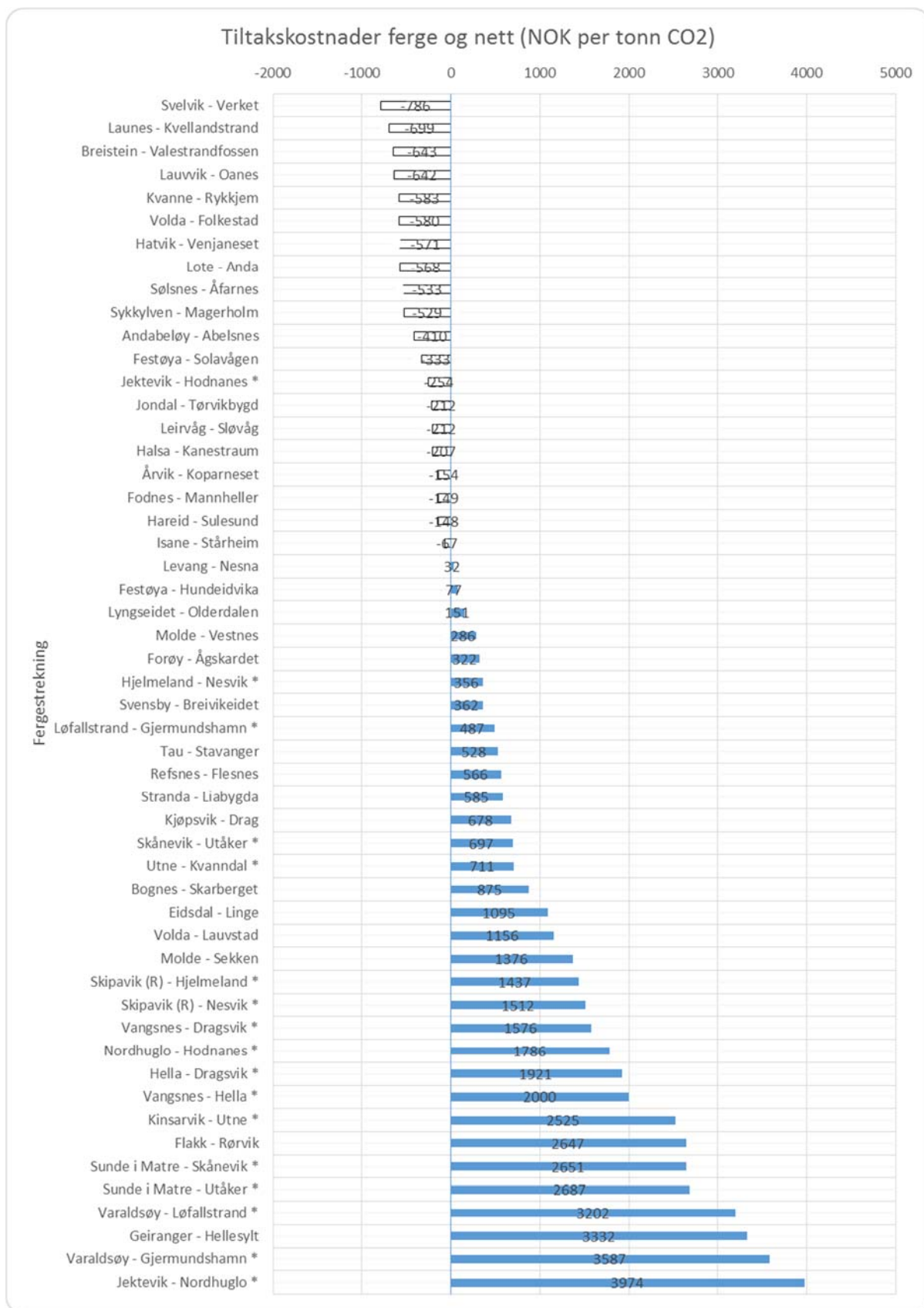
Merk spesielt at beregningene av tiltakskostnad er foretatt for hver enkelt fergestrekning. Det er imidlertid noen av fergestrekningene i utvalget som betjenes av én eller flere ferger i et flerstrekningssamband. I slike samband kan det være én hovedstrekning (som kan fremstå som kosteffektiv) i tillegg til strekninger med langt færre avganger (som kan fremstå som lite kosteffektive). I slike samband må kostnaden for utbygging av ferge regnes én gang, og knyttes til CO₂-reduksjon fra alle strekningene. Hertil kommer også at noen av kaiene er utgangspunkt for flere strekninger. Her må ikke kostnadene for nettutbygging regnes to ganger på samme kai. Disse forholdene er ikke reflektert i figurene under. De aktuelle strekningene er merket med * i figurene under, og for slike samband må det foretas en helhetlig vurdering.



Figur 6 Tiltakskostnad (på fergesiden) for CO₂-reduksjon ved elektrifisering av de enkelte fergestrekningene (NOK/tonn CO₂). Kostnader til nettbruk og oppgradering av strømnnett på land er ikke inkludert. Særskilte forutsetninger for beregning av energibehov og kostnader gjelder



Figur 7 Tiltakskostnad (på nettsiden) for CO₂-reduksjon ved elektrifisering av de enkelte fergestrekningene (NOK/tonn CO₂). Særskilte forutsetninger for beregning av energibehov og kostnader gjelder



Figur 8 Tiltakskostnad (på ferge- og nettsiden) for CO₂-reduksjon ved elektrifisering av de enkelte fergestrekningene (NOK/tonn CO₂). Særskilte forutsetninger for beregning av energibehov og kostnader gjelder

7 KONKLUSJONER

Denne rapporten viser at det er fullt mulig å fremskaffe nødvendig elektrisk kapasitet til elektrifisering av de 52 fergestrekningene som er vurdert i denne rapporten. De samlede kostnadene for investering i nettet er (med gitte forutsetninger) betydelige og omtrent 900 millioner kroner. Til sammenligning investeres det for tiden årlig for mellom 5 og 6 milliarder kroner i distribusjons- og regionalnettene i Norge.

Tiltakskostnadsberegningen, som inkluderer investeringer i nettet og i batterier med nødvendig utstyr på fergesiden, viser at tiltakskostnadene under disse forutsetningene for hver enkelt fergestrekning varierer fra -780 NOK/tonn CO₂ (altså en besparelse) til 3 900 NOK/tonn CO₂. Veiet snitt dersom en ser på alle enkeltstrekningene isolert er 710 NOK/tonn CO₂. Imidlertid er noen av enkeltstrekningene del av flerstreknings samband der investeringer på én kai/ett fartøy vil kunne betjene flere fergestrekninger i sambandet. Dersom en tar hensyn til dette vil den samlede gjennomsnittlige tiltakskostnaden for elektrifisering av de 52 fergestrekningene være lavere.

De beregnede tiltakskostnadene er sammenliknbare med gjennomsnittlig tiltakskostnad i Miljødirektoratets prosjekt «Klimakur 2020» på 1100 NOK/tonn CO₂.

En elektrifisering av norske bilfergestrekninger som vist i denne rapporten vil medføre følgende:

- Reduksjon i de samlede klimagassutslippene som følge av en slik omlegging vil være ca. 155 000 tonn CO₂/år.
- Reduksjon i bruk av dieselolje utgjør ca. 50 000 tonn/år.
- Omleggingen vil føre til et økt forbruk av elektrisitet på ca. 240 GWh/år.
- De samlede investeringer i nett for å sikre overgang til heleelektrisk drift på de aktuelle fergestrekningene er anslått til ca. 900 MNOK, herav anleggsbidrag 800 MNOK.
- De samlede tilleggsinvesteringer i ferger sammenlignet med standardferger vil med rapportens forutsetninger være ca. 1 700 MNOK.
- Teoretisk maksimalt effektuttak er på ca. 180 MW hvis alle ferger lades samtidig, noe som neppe vil skje. Det norske produksjonssystemet har uansett kapasitet til å dekke dette effektbehovet.



8 REFERANSER

Holtrop & Mennen, G. (1982). *An approximate power prediction method*. Delft: Delft University Press.
Martinsen, K. (2015). *MILJØTILTAK FOR MARITIM SEKTOR*. Oslo: Miljø og Klimadepartementet.
Rejeringen. (2015, Januar). Hentet fra www.ks.no:
<http://www.ks.no/PageFiles/66621/Budsjettavtale2015.pdf>

VEDLEGG A - FORESPØRSELEN TIL NETTSELSKAPENE

Energi Norge er en pådriver i et prosjekt hvor vi ser på muligheten for å elektrifisere fergestrekninger i Norge. Hvorfor engasjerer så Energi Norge seg i dette? Vi vet at elektrisitet er fremtidens energibærer, samtidig som økt forbruk øker verdien på norsk kraftproduksjon (anslått til ca. 0,4 øre per kWh per TWh). Energi Norge trenger derfor din hjelp for å synliggjøre kraftbransjen som en viktig del av løsningen på klimautfordringene og hvordan vi kan bidra til å redusere utslipp av klimagasser og samtidig øke verdien av vår kraftproduksjon. Informasjonen vi ber om i denne eposten er et viktig underlag for en rapport vi skal levere til Samferdselsministeren i midten av mai.

Rapporten skal vise:

- Hvilke bilfergestrekninger i Norge som med ny batteriteknologi kan elektrifiseres, hva det kan bidra til av reduksjon i klimagassutslipp, hvor mye kraft det vil kreve og hva dette vil koste

I den forbindelse trenger vi hjelp til å finne ut hva som skal til av linjeforsterkning fram til fergeleiene for å finne ut tekniske muligheter og hva det koster å bringe fram tilstrekkelig effekt til hurtiglading av bilferger.

Vi har sammen med DNV-GL identifisert 55 fergestrekninger i Norge som kan elektrifiseres med de teknologiene vi ser komme. DNV-GL har oversikt over fergestrekninger, eksisterende teknologi på fergene, hvor mye energi fergene bruker på en overfart og hvor mye effekt som må til for å sikre nødvendig lading for en overfart. Nøkkelinformasjon er lagt inn i regnearket som følger dette brevet.

Det vi ber om er at dere kan gjøre overslagsberegninger^[1] som dere legger inn i vedlagte regneark.

- I regnearket representerer hver linje en fergestrekning.
- I kolonnene H og R ligger navnet på fergeleiene.
- I regnearket dere har fått har vi bare tatt med de fergestrekningene der vi har registrert at dere er netteiere til fergeleiet.
- Vi har laget regnearket slik at de rutene der dere skal fylle ut informasjon er hvite. Hos noen av dere er det grå felt til høyre for navnet på fergeleiet - det er der hvor vi har registrert at det er en annen netteier i den andre enden av fergestrekningen.

Informasjon vi trenger for hver fergestrekning er:

- Tilgjengelig kapasitet:
 - o Hvor mye effekt i kVA er tilgjengelig på fergeleiet slik det er i dag – uten annen tilrettelegging enn utstyr for oppkopling til ferge – kolonne L og X
- Lett ombygging:
 - o Hvor mye effekt i kVA kan være tilgjengelig med mindre forsterkninger i lokalt nett samt økt transformator kapasitet – kolonne M og Y
 - o hva vil det koste i kroner – kolonne N og Z
 - o hvor mye av dette som vil komme som anleggsbidrag - kolonnene O og AA
- Krevende ombygging:
 - o Oppgradering av nett (så langt opp i nettet at vi kan få nødvendig effekt) og trafokapasitet slik at det minst dekker effektbehovet i kVA for å lade ferga på 5 minutter (angitt i kolonne K og W i vedlagte regneark) – det dere kommer fram til legger dere inn i kolonne P og AB
 - o hva vil det koste - kolonne Q og AC
 - o hvor mye av dette vil komme som anleggsbidrag – kolonne R og AD

Dere skal selvsagt bare fylle ut der dere er netteier.

Ferdig utfylt regneark sendes epost-adressen: dc@energ norge.no

Dersom dere ønsker å legge ved ytterligere dokumentasjon er dere selvsagt velkommen til det – f.eks. kommentarer og nærmere om det beregningsunderlaget der har laget.

^[1] Vi forventer ikke beregninger med to streker under, men så presise anslag som mulig. I tillegg er det ønskelig å få anslått hvor stort anleggsbidraget vil kunne bli – da en løsning kan være at Staten dekker dette som del av arbeidet med å nå nasjonale klimamål.

Denne eposten går til i alt 35 nettselskap. Vi er klar over at vi ber om informasjon i en for dere travel tid. Vi håper imidlertid sterkt at dere finner tid til å prioritere dette arbeidet slik at det kan inngå som verdifullt underlag for å presentere hvordan kraftbransjen kan bidra og bli synlig i klimadugnaden. Samtidig tror vi at mange av disse fergestrekningene vil bli elektrifisert i løpet av de neste ti årene; mye av arbeidet vil derfor ikke være bortkastet!

Vi ber om tilbakemelding så raskt som mulig og senest onsdag 22. april.

Ta gjerne kontakt med

- Dag Christensen (dc@energinorge.no) – tlf 91767054
- Ulf Møller (um@energinorge.no) – tlf 91868060
- Trond Svartsund (ts@energinorge.no) - tlf 95869042

dersom dere lurere på noe eller har info til oss om dette.

Inspirasjonen til dette arbeidet har vi fra flere hold:

- Stortinget vedtok denne uken klimamålene fram til 2030 – målene innebærer at det må gjennomføres omfattende tiltak i transportsektoren for å få ned klimagassutslippene
- I budsjettforliket høsten 2014 vedtok Stortinget at alle kommende ferjeandbud skal ha krav til nullutslippsteknologi (og lavutslippsteknologi) når teknologien tilsier det
- Den raske utviklingen av batteriteknologi og den nye bilfergen Ampere som nettopp er satt i drift over Sognefjorden åpner muligheter for å tenke helt nytt når det gjelder drift av bilferger – med elektrisk drift framfor bruk av diesel eller naturgass.

[¹] Vi forventer ikke beregninger med to streker under, men så presise anslag som mulig. I tillegg er det ønskelig å få anslått hvor stort anleggsbidraget vil kunne bli – da en løsning kan være at Staten dekker dette som del av arbeidet med å nå nasjonale klimamål.

Hilsen

Trond Svartsund

Næringspolitisk rådgiver nett og marked



Mobil: 95 86 90 42

Næringslivets hus, Middelthunsgt. 27, Oslo

www.energinorge.no

VEDLEGG B - EKSEMPEL PÅ SKJEMA SOM FULGTE FORESPØRSELEN TIL NETTSELSKAPENE

| | A | B | C | D | E | F |
|----|--------|-----------------------|-------|-------|-----------------|------|
| 1 | | | | | Nødv.Ladeeffekt | |
| 2 | | | | 12 kn | 120 PBE | |
| 3 | Strek | Strekning | Ovf/€ | kWh/ | kVA- | kVA- |
| 36 | 152006 | Årvik - Koparneset | 68 | 181 | 2167 | 1084 |
| 37 | 152008 | Hareid - Sulesund | 72 | 385 | 4618 | 2309 |
| 38 | 152010 | Volda - Folkestad | 64 | 212 | 2546 | 1273 |
| 39 | 152011 | Volda - Lauvstad | 32 | 376 | 4510 | 2255 |
| 40 | 152012 | Festøya - Hundeidvika | 30 | 269 | 3234 | 1617 |
| 41 | 152013 | Festøya - Solavågen | 84 | 256 | 3075 | 1537 |
| 42 | 152021 | Sykkylven - Magerholm | 112 | 228 | 2733 | 1367 |
| 44 | 152023 | Eidsdal - Linge | 58 | 188 | 2261 | 1131 |
| 60 | | | | | | |
| 61 | | | | | | |
| 62 | | | | | | |
| 63 | | | | | | |

| Nettselskap 1 | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------------------|-------------|--|----------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--|--|
| | | | 5 min | Tilgjengelig | Lett ombygging | Krevende | | | | | |
| Fergeleie | Kommune | Nett/Strømsels. | Nødv effekt | Effekt i kVA | Effekt i kW | investering kroner | Herav anleggsbidrag g kroner | Investering kroner | Herav anleggsbidrag g kroner | | |
| Årvik | Sande Gurs | Møre Nett | 2167 | 100 | 2 167 | 1 400 000 | 1 370 000 | | | | |
| Hareid | Hareid | Møre Nett | 4618 | 200 | 1 000 | 800 000 | 770 000 | 4 618 | 5 100 000 | | |
| Volda | Volda | Møre Nett | 2546 | 100 | 1 200 | 1 000 000 | 970 000 | 4 510 | 3 700 000 | | |
| Volda | Volda | Møre Nett | 4510 | Dette er samme fergeleie som forrige, dimensjonerer for den største lasta! | | | | | | | |
| Festøya** | Ørsta | Møre Nett | 3234 | 100 | 3 234 | 1 540 000 | 1 510 000 | | | | |
| Festøya** | Ørsta | Møre Nett | 3075 | 100 | 3 075 | 1 540 000 | 1 510 000 | | | | |
| Sykkylven | Sykkylven | Sykkylven Energi | 2733 | | | | | | | | |
| Eidsdal | Norddal | Norddal elverk | 2261 | 200 | | | | 2 261 | 21 400 000 | | |

Forutsetter at lasten går gradvis inn/ut i løpet av 1 minutt.

** Forutsetning er at ikke to ferger lader samtidig

| Nettselskap 2 | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------------------|-------------------|--------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | | 5 min | Tilgjengelig | Lett ombygging | Krevende | | | |
| Fergeleie2 | Kommune | Nett/Strømselskap-2 | Nødv effekt i kVA | Effekt i kVA | Effekt i kW | investering kroner | Herav anleggsbidrag kroner | Investering kroner | Herav anleggsbidrag kroner |
| Koparneset | Vanylven | Møre Nett | 2 167 | 100 | 2 167 | 1 400 000 | 1 400 000 | | |
| Sulesund | Sula | Møre Nett | 4 618 | 100 | 1 000 | 800 000 | 800 000 | 4 618 | 5 900 000 |
| Folkestad | Volda | Møre Nett | 2 546 | 150 | 2 546 | 1 540 000 | 1 540 000 | | |
| Lauvstad | Volda | Møre Nett | 4 510 | 50 | 2 000 | 1 400 000 | 1 370 000 | 4 510 | 11 900 000 |
| Hundeidvika | Sykkylven | Sykkylven Energi | 3 234 | | | | | | |
| Solavågen | Sula | Møre Nett | 3 075 | 200 | 3 075 | 1 540 000 | 1 510 000 | | |
| Magerholm | Ålesund | Møre Nett | 2 733 | 50 | 2 733 | 1 540 000 | 1 510 000 | | |
| Linge | Norddal | Norddal elverk | 2 261 | 50 | | | | 2 261 | 21 400 000 |

VEDLEGG C – NETTSELSKAPER

| Hvilke nettselskap er forespurt | Kontaktperson |
|---------------------------------|-----------------------|
| Agder | Svein Are Folgerø |
| BKK Nett | Thor Andre Berg |
| Forsand | Kjell Inge Bjørheim |
| Fosen nett as | Kåre Bulling |
| Fusa Kraftlag | Bernt Grimstvedt |
| Hafslund | Kristin Lian |
| Helgelandskraft | Bjørn Aune |
| Hurum | Margrethe Folkestad |
| Hålogaland kraft | Sture Hellesvik |
| Indre hardanger kraftlag | Yngve Læg Reid |
| Istad Nett | Tor Rolf Time |
| Jondal Energiverk | Yngve Læg Reid |
| Kvam kraftverk | Arne Tillung |
| Kvinnherad energi | Stig Kleppe |
| Lyse | Torbjørn Johnsen |
| Lærdal Energi | Per Gullaksen |
| Meløy energi | Gunnar Langfjord |
| Møre Nett | En hos Rune Kiperberg |
| Norddal elverk | En hos Rune Kiperberg |
| Nordmøre energiverk | Knut Hansen |
| Nordsalten kraftlag | Stein Valle |
| Nord-Troms kraftlag - Ymber | Lars Luneborg |
| Nordvestnett | Stein Bergheim |
| Rauma energi | Alf Midtun |
| SFE Nett | Atle Isaksen |
| Skagerak | Geir Kulås |
| SKL nett | Vidar sagen Roland |
| Skånevik Ølen kraftlag | Kristoffer Vannes |
| Sognekraft | Terje Nævdal |
| Stranda Energi | Terje Aardal |
| Sunddal energi | Jørund Kvande |
| Svorka energi | Odd Einar Glærum |
| Sykkylven Energi | Trond Lautritsen |
| Troms kraft nett | Bjørn Laksforsmo |
| Trønderenergi nett | Bård Uthus |
| Tysnes kraftlag | Lars Enes |
| Vesterålskraft nett | Halvard Pettersen |
| Ballangen Energi | Wiggo Knutsen |



About DNV GL

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