



Fullelektrisk fiskeoppdrett

Prosjekt for Energi Norge og Sjømat Norge

8. August 2018

Om denne rapporten



- Denne rapporten ser på kostnader knyttet til elektrifisering av sjøbaserte oppdrettslokalteter i Norge.
- Studien er gjennomført av DNV GL for Energi Norge og Sjømat Norge.
- I rapporten har vi vurdert kostnader knyttet til å elektrifisere følgende ledd av produksjonskjeden:
 - **Vekst i merder.** Prosessen fra laksen er satt ut i merder frem til denne slaktes når den er omtrent 4-5 kg.
 - **Transport tilknyttet arbeid ved lokaliteter.** Daglig transport og arbeid med båt i tilknytning til anlegget er inkludert i studien. Transport knyttet til leveranse av for og smolt, frakt av laks til slakteri og frakt av laks ut til sluttkunde er holdt utenfor studien.

01

OPPSUMMERING

02

BESKRIVELSE AV
OPPDRETT-
NÆRINGEN I NORGE

03

ELEKTRIFISERING
AV LOKALITETER

04

ELEKTRIFISERING
AV BÅTER
TILKNYTTET
OPPDRETTSANLEGG

05

KILDER OG
FORUTSETNINGER

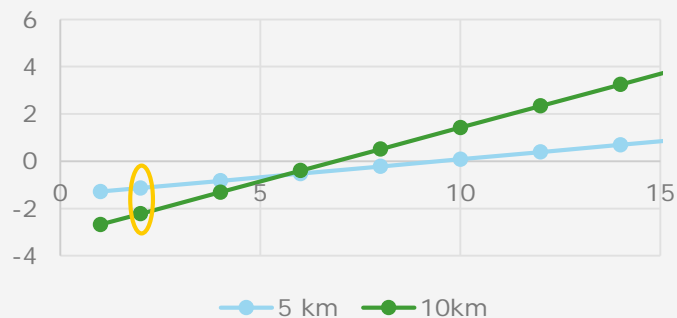
01

Oppsummering

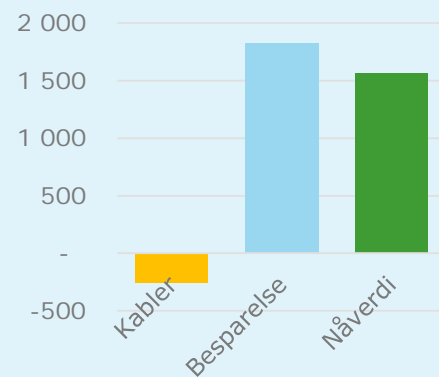
Oppsummering – En betydelig andel av dagens lokaliteter kan elektrifiseres til en relativt lav kostnad når energibesparelser tas med i regnestykket

ELEKTRIFISERING AV BÅTER

Nåverdi (MNOK) av batteripakke som funksjon av antall daglige turer



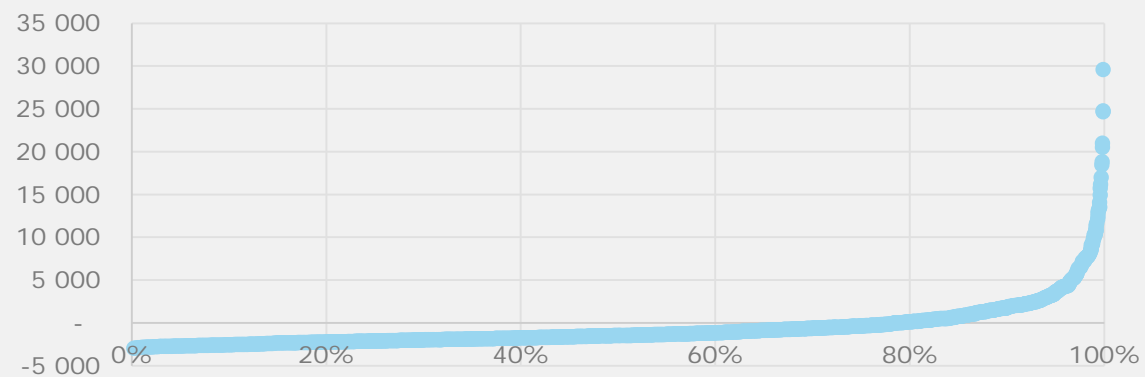
Nåverdi (kNOK) av kabler ut til merder



- Lønnsomheten av å elektrifisere båter avhenger i stor grad av nøkkeltallet antall daglige turer definert som tilbakelagt distanse delt på dimensjonert batterikapasitet. For en typisk arbeidsbåt som kjører frem og tilbake til anlegget kun én gang per dag (markert med gul ring i figuren over til venstre) lønner det seg ikke å investere i batteripakke og elektrifisering på rent kommersielt grunnlag.
- En stor del av av drivstoffbruken skjer imidlertid ved merdkant under arbeid. Å elektrifisere denne delen av energibruken har vi beregnet at kan gjøres til en lav investering ved kun å legge relativt rimelige strømpunkter ut til merdkanten uten at det investeres i batteripakke for båten. Dette forutsetter imidlertid at forflåten allerede er elektrifisert. Å kun elektrifisere arbeidsprosessene vil kunne kutte opp til 75 % av dieselbruken for en arbeidsbåt og dermed bidra til betydelige kutt i utslipp.

ELEKTRIFISERING AV LOKALITETER

Forflåter - Marginalkostnad elektrifisering i kroner per tonn produksjon



- Opp mot 80 % av produksjonen ved norske oppdrettslokaliteter kan ifølge beregningene i denne rapporten elektrifiseres lønnsomt (kan gjøres til «negativ» kostnad) eller til en relativt lav kostnad.
- Avstand til utbygget nettinfrastruktur og størrelse på lokaliteten avgjør kostnaden for å elektrifisere. Til høyre i kurven ligger lokaliteter som ligger langt fra infrastruktur og som har liten produksjonskapasitet.
- For anleggene som ligger lengst til høyre i kurven er beregnet kostnad for elektrifisering med landstrøm så høy at dette ikke vil være praktisk gjennomførbart. I fremtiden vil imidlertid løsninger som eksempelvis distribuert produksjon av elektrisitet kunne redusere kostnaden ved å elektrifisere denne typen anlegg.

02

Beskrivelse av oppdrettsnæringen i Norge

Oppdrettsnæringen i Norge

Fiskeoppdrettsanlegg i Norge

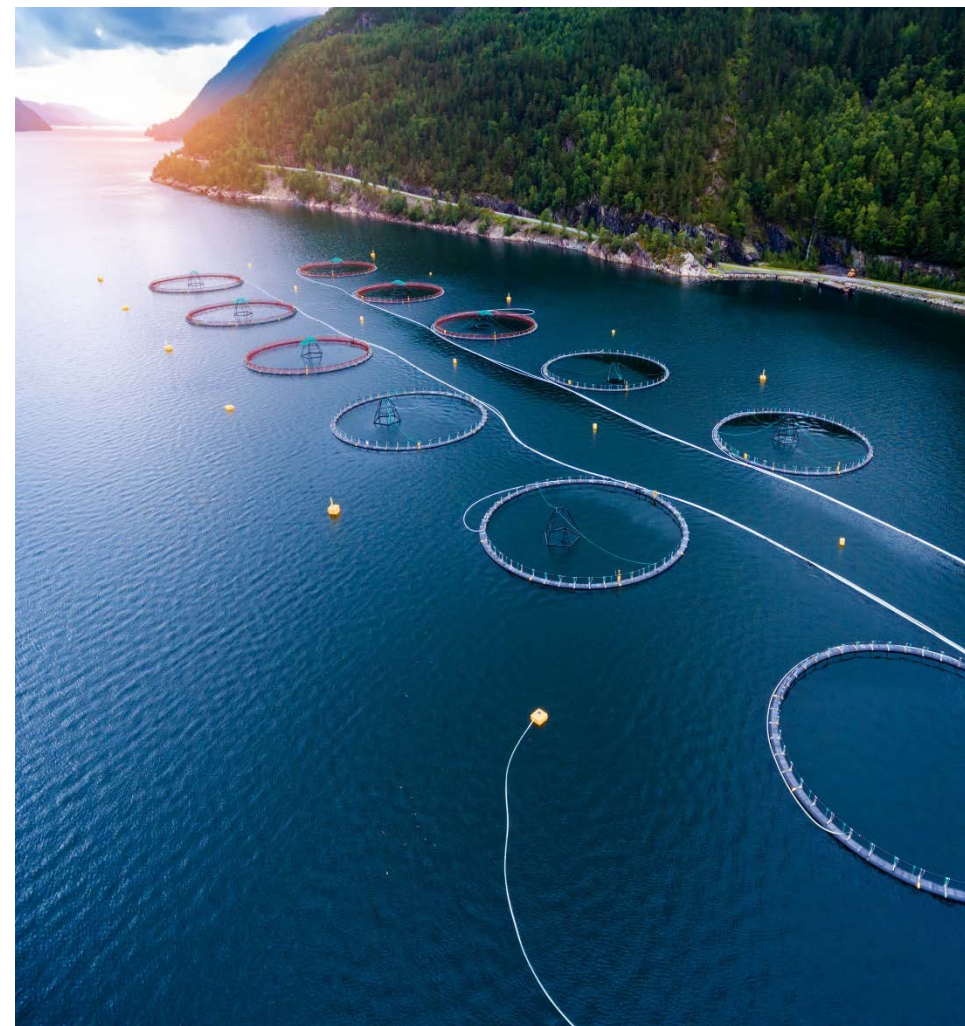
- 1 325 tillatelser i drift, hvorav **1 130 tillatelser^a** er gitt til matfiskproduksjon.
- Fiskeoppdrettlokaliteter inkludert båter tilknyttet lokaliteten har i følge ABB og Bellona et beregnet utslipp på **453 972 tonn CO₂^b** i året.
- Anleggene er spredd langs hele norskekysten.

Størrelse totalt

- I 2017 ble det produsert **1,29 millioner tonn^a** fisk og skalldyr, hvorav laks og regnbueørret utgjør totalt 99,6 %.
- Førstehandsverdi på laks og regnbueørret var **61,4 milliarder kroner^a**.

Elektrifisering

- Oppdrettsnæringen er godt i gang med å elektrifisere lokaliteter. Det antas at om lag 50 prosent^b av anleggene i dag er tilknyttet landstrøm. Det er et betydelig potensiale i å elektrifisere flere av de lokalitetene som fremdeles ikke er elektrifisert, samt å elektrifisere båter tilknyttet fiskeoppdrettsanlegg.
 - Båttrafikk til, fra og på anleggene kan elektrifiseres (inkluderer utstyr om bord på båtene). Per dags dato er det etter det DNV GL kjenner til kun én båt tilknyttet fiskeoppdrettsanlegg med elektrisk framdrift i Norge. Det er flere båter under planlegging.
 - Det meste av utstyret ute på anleggene kan elektrifiseres ved å koble til landstrøm. Den mest energikrevende prosessen er foringsprosessen.



Elektrifiserbare ledd i oppdrettsnæring til sjøs som er vurdert i denne studien



Lokaliteter

- Elektrifisering av lokaliteter vil i praksis si elektrifisering av forflåten. Foring av fisk er den mest energikrevende prosessen ved en oppdrettslokalitet og derfor det leddet i produksjonen hvor elektrifisering vil gi størst besparelse i utslipp av CO₂. En stor andel av oppdrettslokaliteter for laks er i dag allerede tilknyttet strømmettet. ABB og Bellona anslår i sin rapport *Grønt skifte i havbruk* at denne er 50 %.
- Den største kostnadsdriveren for elektrifisering av oppdrettslokaliteter er sjøkabelen som må trekkes, ofte over betydelige avstander, frem til tilstrekkelig utbygget infrastruktur på land. Avstand mellom lokalitet og infrastruktur er derfor avgjørende for lønnsomheten ved å elektrifisere lokaliteten.



Båter tilknyttet lokaliteter

- Det har de siste årene vært en betydelig utvikling innen elektriske og hybridelektriske framdriftssystemer til den marine sektoren. Utviklingen har så langt ikke nådd havbruksnæringen i særlig omfang, men stadig fallende batteripriser og flere båter i produksjon taler for at båter til bruk innenfor oppdrettsnæringen står foran en mulig elektrifiseringsbølge. Verdens første elektriske arbeidsbåt, Elfrida, ble satt i drift av Salmar i 2017 og flere helelektriske arbeidsbåter er under utvikling hos norske verft.
- Elektrifisering av båter og arbeidsprosesser om bord vil ikke bare kutte diesel til transport, men også forbruk av diesel som går med til arbeid utført av ved merdene.

03

Elektrifisering av lokaliteter

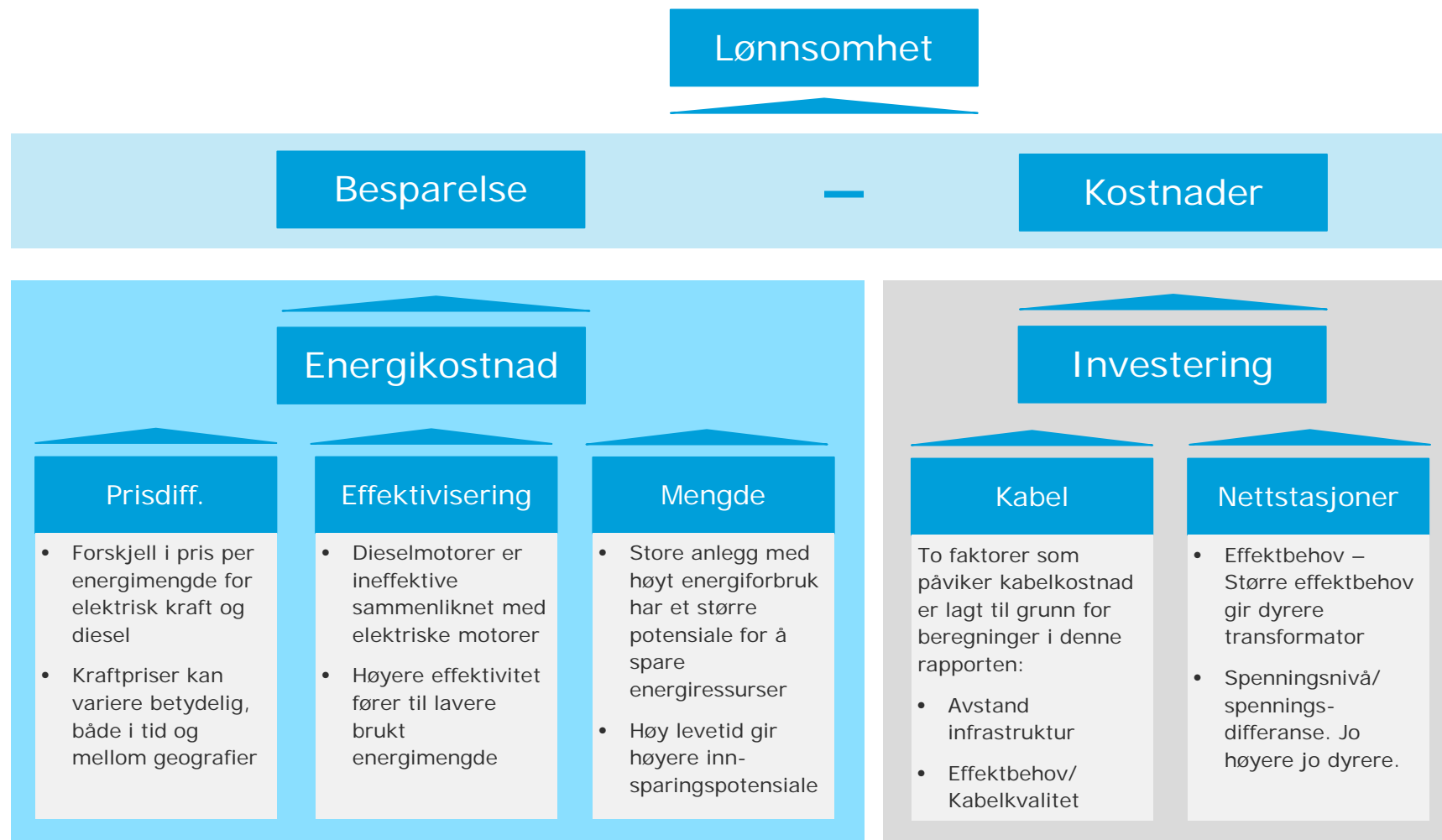
Lønnsomheten for elektrifisering av en lokalitet avgjøres av besparelsen gjennom redusert energikostnad og merkostnaden av investeringer

Merkostnaden ved å investere samt nåverdien av reduserte energikostnader over levetiden til investeringen avgjør hvor lønnsomt/kostbart det er å elektrifisere dersom kun kommersielle hensyn legges til grunn.

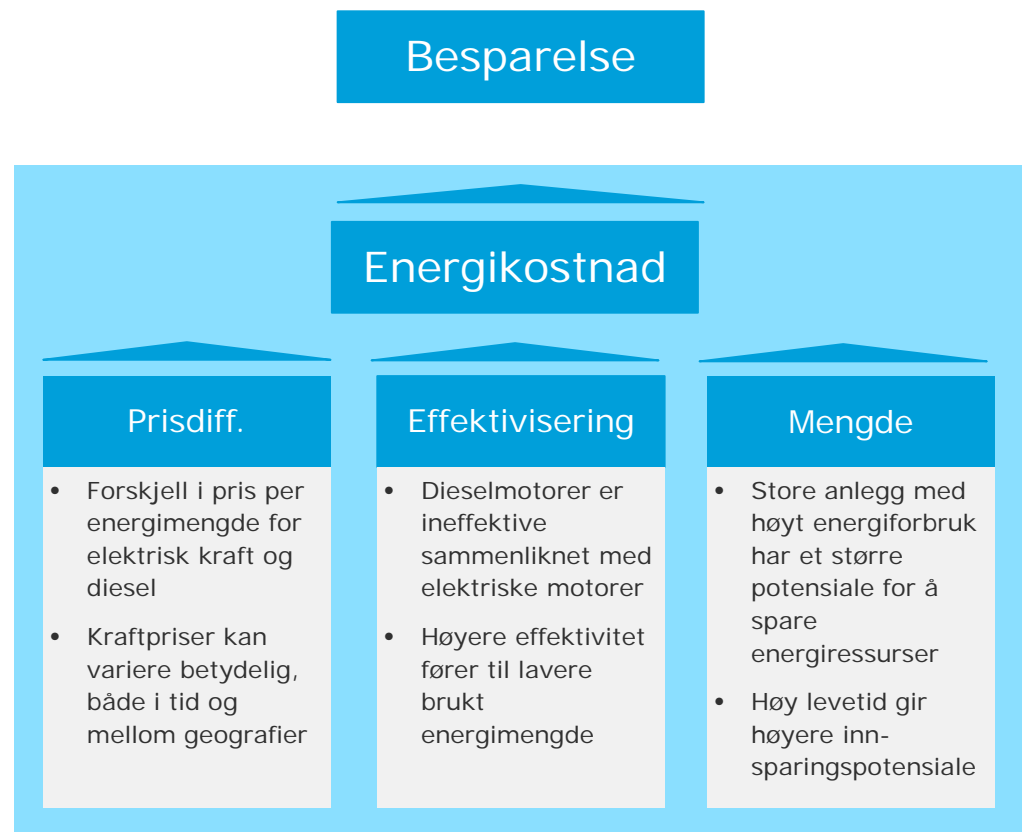
Figuren til høyre illustrerer driverne for henholdsvis energi- og investeringskostnader slik de er benyttet i beregningene i denne rapporten.

Figuren er en forenkling og det er flere lokale forhold som vil kunne påvirke hva faktisk investeringskostnad blir for en lokalitet.

På de neste sidene beskriver vi de ulike driverne i større detalj.



Besparelsen knyttet til elektrifisering varierer med lokal kraftpris og størrelsen på anlegget



Den økonomiske besparelsen knyttet til elektrifisering ligger først og fremst i redusert energikostnad. Energikostnaden for en lokalitet reduseres både gjennom lavere energipriser for kraft enn for diesel, samt at behovet for energimengde reduseres som følge av mer effektiv energiutnyttelse ved overgang til landstrøm. Størrelsen på lokaliteten bestemmer gjennom størrelsen på energibruken potensialet for å spare både energi og penger. På samme måte bestemmer levetiden på investeringer størrelsen på innsparingspotensialet.

Mens effektiviseringspotensialet antas å være tilnærmet likt for alle anlegg (bestemmes av forskjellen i energieffektivitet for en dieselmotor og en elmotor forsynt med landstrøm) varierer strømpris, energibruk og til dels levetid betydelig mellom de ulike lokalitetene langs kysten.

Variasjon i energipriser, energibruk og levetid for lokalitetene/investeringene gjør derfor at lønnsomhet med tanke på å elektrifisere vil variere mellom lokaliteter basert på disse parameterne.

I modellen har vi brukt størrelse på anleggene for å se på forskjeller i lønnsomhet. Energipriser og levetid er holdt konstante og like for alle lokalitetene, men det er testet for sensitivitet med hensyn på disse parameterne. Resultatene av denne analysen er gjengitt på side 16 i rapporten.

«Inntektene» (besparelsene) fra å elektrifisere påløper over levetiden til investeringen og må derfor diskonteres til en nåverdi for å være sammenliknbar med investeringskostnaden som påløper «idag». Nåverdi av besparelsene er beregnet ut i fra et avkastningskrav oppgitt i prosent. Avkastningskravet som er satt på investeringskapitalen avgjør dermed også størrelsen på nåverdien av besparelsene. I denne analysen er 5 % avkastningskrav lagt til grunn.

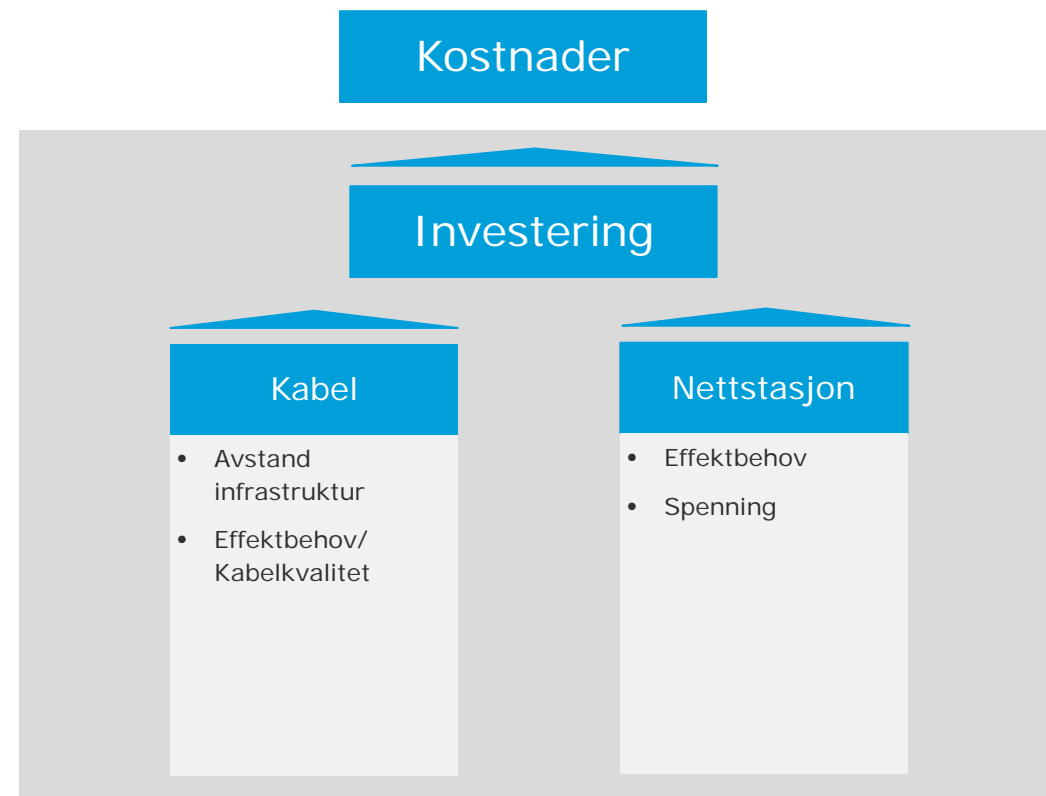
Drivere for kostnader knyttet til elektrifisering av lokaliteter

Investeringen knyttet til å elektrifisere består av to hovedkomponenter som beskrevet i figuren til høyre, i tillegg kommer arbeid og administrative kostnader knyttet til elektrifiseringsentreprisen.

Hovedkostnaden for å elektrifisere er imidlertid kabelen. Innhentede erfaringstall fra Enova viser at denne typisk er beregnet å utgjøre mellom 40-90 % av kostnaden. Denne kostnaden er også den som typisk vil variere mest mellom de ulike lokalitetene i Norge ettersom de avhenger av avstand til tilstrekkelig utbygget infrastruktur. For enkelte lokaliteter vil denne avstanden være så stor at elektrifisering med landstrøm vil være urealistisk.

Ved de lengste avstandene vil trolig løsninger med distribuert produksjon være mer lønnsomt. Etter det DNV GL vet er denne typen løsninger ikke benyttet for noen lokaliteter p.t. Det forskes imidlertid på slike løsninger og det vil kunne komme kommersielle løsninger i fremtiden som gjør at det kan bli realistisk å elektrifisere også lokaliteter som ligger langt fra utviklet nettinfrastruktur.

I tillegg til kabel vil det være nødvendig å investere i infrastruktur (nettstasjon) både på land og ute på anlegget. Disse kostnadene vil variere med effektbehov og spenningsnivå. I denne rapporten er imidlertid kostnader for 500 kVa og høyspent lagt til grunn for alle lokaliteter. Dette er antatt å gi nok effekt til å drive forflåte samt besørge lading av arbeidsfartøy ute ved merdene for de fleste anlegg.



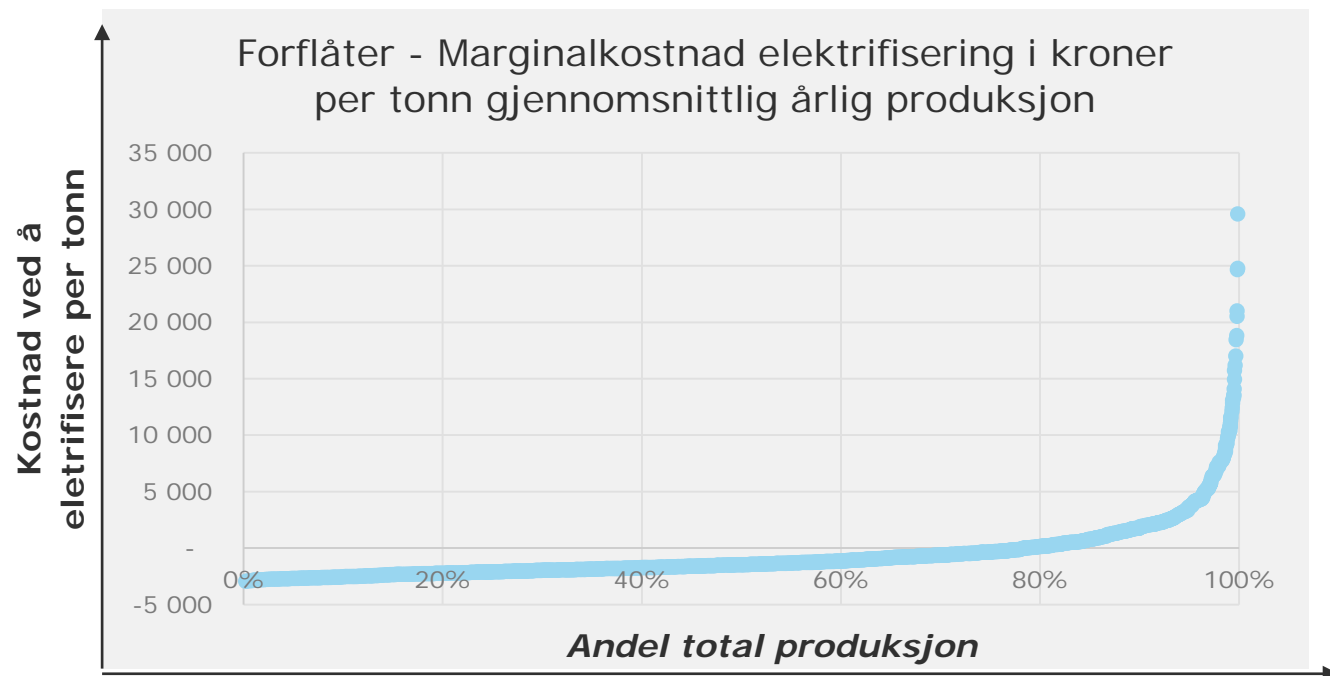
Tilbudskurve elektrifisering

Basert på innhentede kartdata for distribusjonsnettet i Norge (22kv) og koordinater for oppdrettslokaliteter i Norge har vi beregnet avstanden mellom nettinfrastruktur og aktive lokaliteter langs hele kysten. Disse tallene er sammenstilt med tall for produksjonskapasitet for hvert enkelt anlegg. Disse dataene er benyttet for å beregne investeringskostnader samt potensielle energibesparelser for hvert enkelt anlegg.

Ved å legge sammen kostnader og besparelser for hvert enkelt anlegg får vi en marginalkostnadskurve for elektrifisering av norske oppdrettslokaliteter. Kurven er gjengitt til høyre.

Beregningene anslår at over halvparten av dagens produksjon kan elektrifiseres på tilnærmet kommersielle vilkår (skatt er ikke hensyntatt i beregningene). Opp til om lag 80 % av produksjonen kan elektrifiseres til en relativt lav kostnad. Kostnaden for å elektrifisere resterende produksjon vil med dagens tilgjengelige teknologi være høy. Kostnaden (negativ nåverdi) ved å elektrifisere 80. persentil er anslått til om lag 133 kroner pr tonn gjennomsnittlig årlig produksjon. For et lite anlegg vil dette si om lag 125 000 kroner. For anleggene som ligger lengre til høyre i kurven stiger kostnadene raskt.

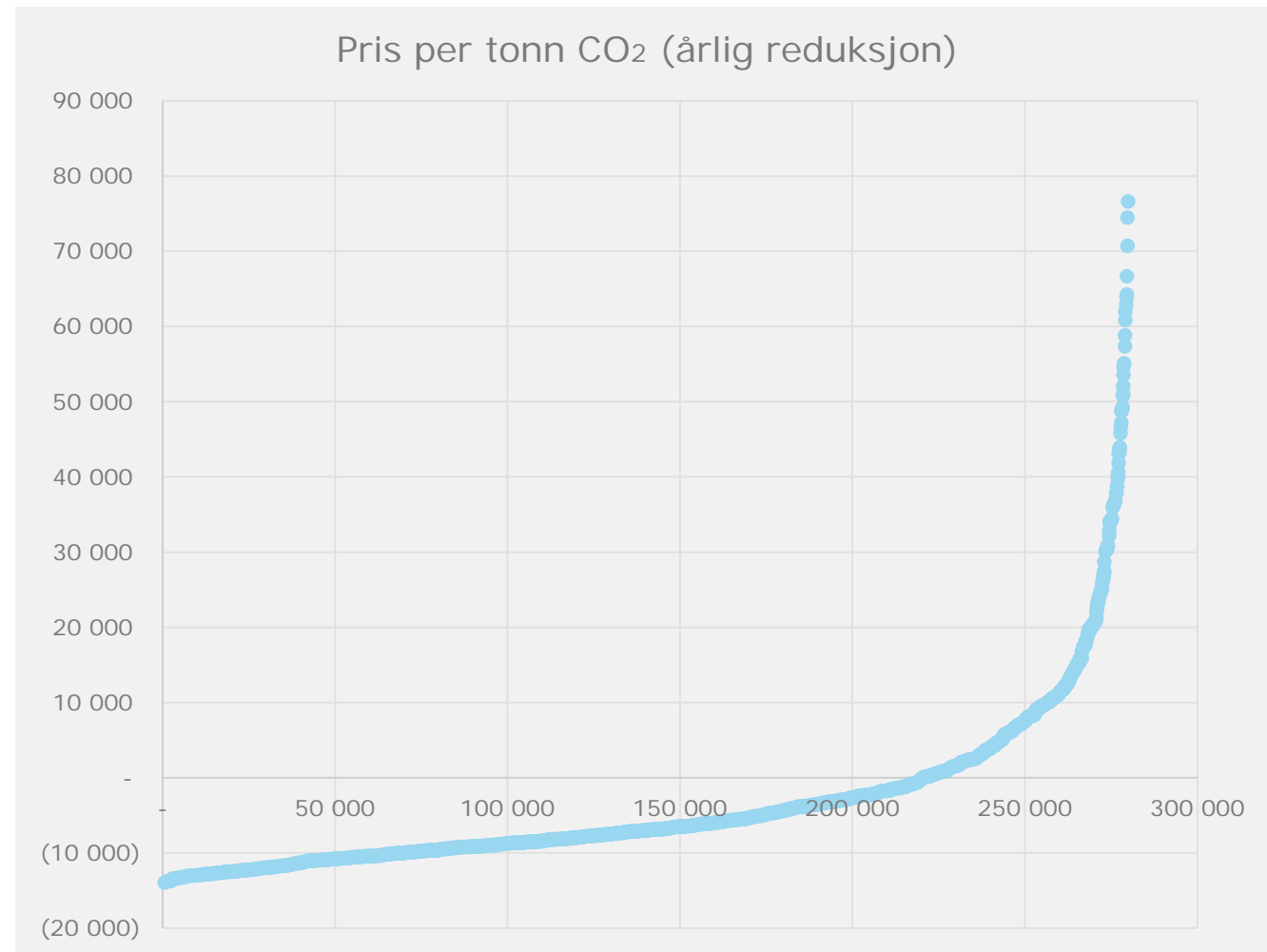
Distribuert produksjon av energi (e.g. vindmøller på anlegg), vil imidlertid gjøre at kostnader for anlegg langt fra tilgjengelig landstrøm vil kunne bli lavere. Samtidig vil små anlegg nærme land antagelig kunne elektrifiseres rimeligere enn modellen beregner ettersom det i enkelte tilfeller vil være mulig med en enklere infrastruktur enn det som legges til grunn.



Det kan gjøres relativt billige CO₂-kutt gjennom elektrifisering, men dersom man skal ta ut det siste potensialet stiger kostnadene raskt

- Ettersom det er anslått at 50 % av lokalitetene allerede er elektrifisert er de mest lønnsomme kuttene antageligvis i all hovedsak allerede tatt. Allikevel anslås det at det fremdeles kan gjøres lønnsomme kutt i CO₂ utslipp.
- Elektrifisering opp til 80 % av produksjon tilsier økt årlig etterspørsel etter kraft på om lag 105 000 MWh.
- Kostnaden (negativ nåverdi) ved å elektrifisere 80. persentil er anslått til om lag 650 kr per tonn årlig CO₂-reduksjon. Levetiden for investeringen er satt til 20 år. Kostnaden per tonn over levetiden blir da på 32,5 kroner ($650/20=32,5$). Ytterligere reduksjoner må gjøres til en betydelig høyere kostnad.

Anslagene for kostnad og potensiale for reduksjon av tonn CO₂ er svært sensitive for beregnet drivstoff-forbruk for diesel. Innhentede anslag for dieselforbruk varierer mye og vi har i modellen valgt å basere oss på relativt konservative anslag og lagt 90 000 liter diesel per tillatelse i drift, eller om lag 80 liter per slaktet tonn fisk. De høyeste anslagene for totalt forbruk ligger oppmot 50 % høyere enn dette, men tall innhentet fra Enova ligger vesentlig lavere. Det er grunn til å tro at Enovas tall er lave da de større lokalitetene i mange tilfeller må kunne antas å kunne elektrifiseres på kommersielle vilkår slik at søknader som er mottatt ikke utgjør et representativt utvalg med tanke på størrelse og dermed energibruk.

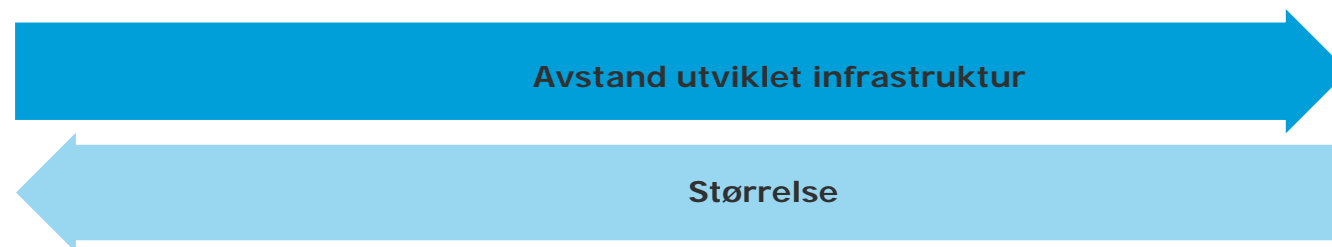
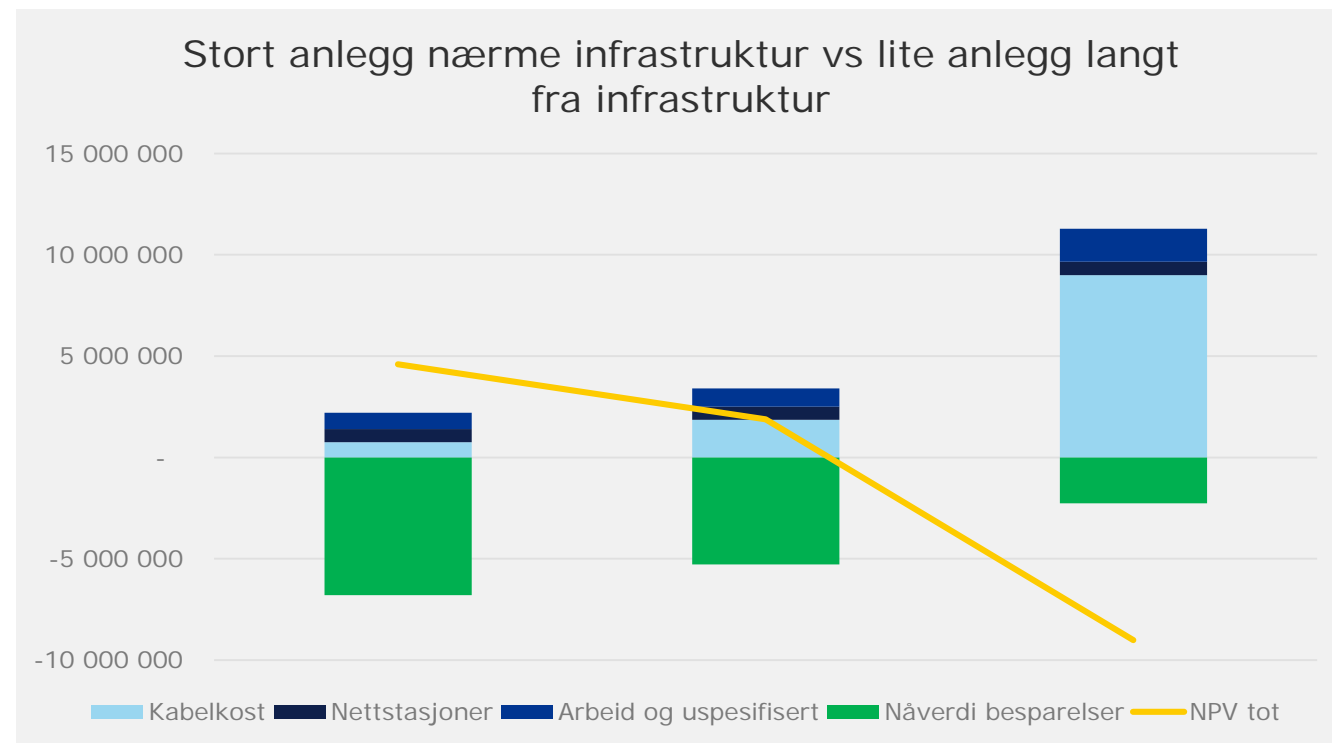


Kostnadselementer for ulike typer anlegg

Figuren til høyre illustrerer hovedkostnadselementer ved elektrifisering for tre eksempler. Lengst til venstre for det illustrert kostnader ved et stort anlegg nærme infrastruktur, i midten et middels stort anlegg middels langt fra infrastruktur, lengst til høyre vises kostnadselementer for et lite anlegg langt fra etablert infrastruktur.

Figuren illustrerer tre poenger:

- Potensielle besparelser reduseres når anlegget blir mindre og dermed bruker mindre energi. Investeringkostnaden reduseres ikke tilsvarende.
- Når avstanden til utbygget infrastruktur øker, øker kabelkostnaden dramatisk.
- Små anlegg langt fra utbygget infrastruktur er derfor svært kostnadskrevende å elektrifisere med landstrøm.



Lønnsomhet ved elektrifisering er sensitiv for flere inputvariabler

Analysen er sensitiv for endring i forutsetninger knyttet til inputvariabler som er benyttet. Figuren til høyre viser inputvariablene der en prosentvis endring har størst påvirkning på beregnet nåverdi. Figuren viser dermed hvilke variabler som har størst innvirkning på lønnsomhet ved relativ endring.

Y-aksen i figuren viser hvor sensitiv nåverdi er for en endring i en gitt variabel. En prosentvis endring i dieselpriisen gir eksempelvis en 4,48 ganger så høy prosentvis endring i lønnsomhet for en gjennomsnittslokalitet.



4,48

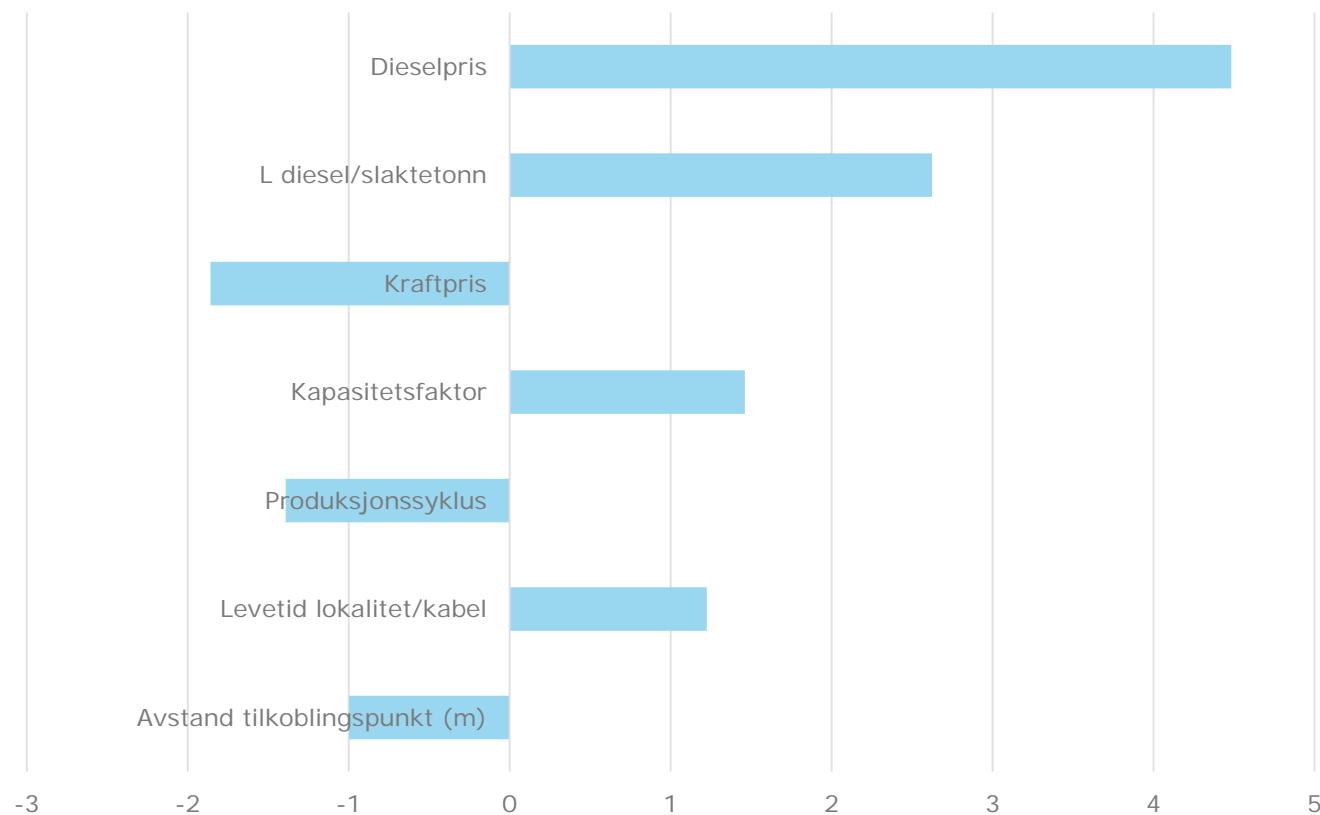
- Lønnsomhet er veldig sensitiv for dieselpriis. Øker dieselpriisen med 25 %, mer enn doubles lønnsomheten ved elektrifisering.



2,62

- Modellen er veldig sensitiv med tanke på endringer i forutsetninger knyttet til antall liter diesel per slakte tonn, tilsvarende energibruk per produksjonsmengde. Samtidig er det betydelig usikkerhet knyttet til denne variabelen.

Relativ endring lønnsomhet for topp syv variabler (for en gjennomsnittslokalitet)

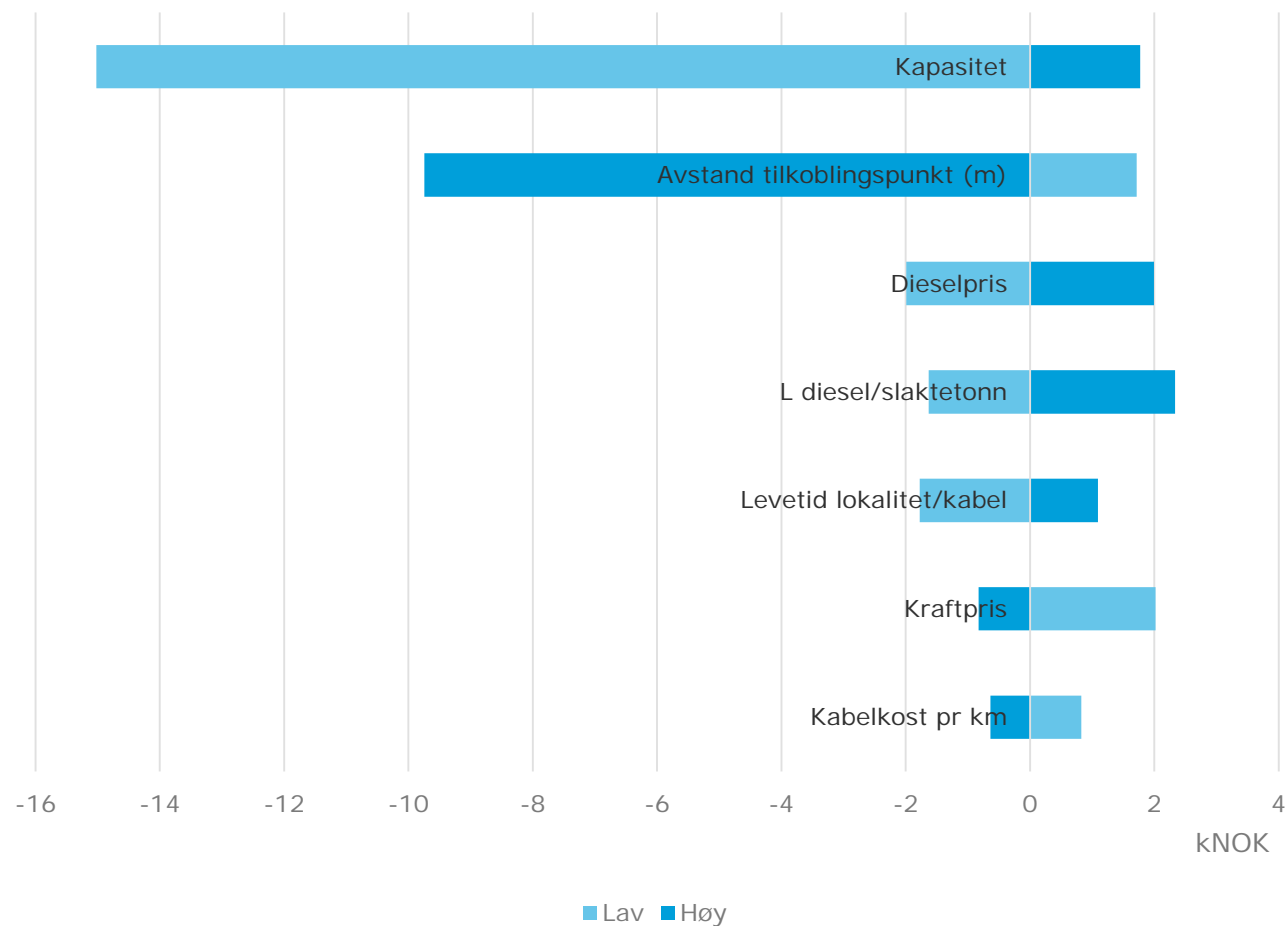


Ved å ta hensyn til spenn for variasjon/usikkerhet ser bildet anderledes ut

- Variasjon i kapasitet (størrelse på lokalitet) er den viktigste parameteren for å forklare ulik lønnsomhet for elektrifisering. Parameteren er antakelig noe overestimert da små anlegg vil kunne finne mer optimale løsninger enn det som er lagt til grunn, mens veldig store anlegg antakelig vil ha høyere kostnader enn det modellen beregner.
- Avstanden til nærmeste tilkoblingsnett (her målt som avstand til distribusjonsnettet) er også en viktig driver for variasjon i kostnad knyttet til å elektrifisere.
- Dieselpriis og energibruk (l diesel per slaktet tonn) påvirker også nåverdi i stor grad. Sistnevnte parameter spriker mye i innhentede anslag.
- Ved å teste for sensitivitet i disse parameterene ser vi i figuren til høyre at denne usikkerheten har en betydelig påvirkning på resultatet. Den er imidlertid liten sammenliknet med de viktigste driverne som er avstand til land og kapasiteten til lokaliteten.
- Høyeste, laveste og midtverdier for grenseverdier brukt i sensitivitetsanalysen:

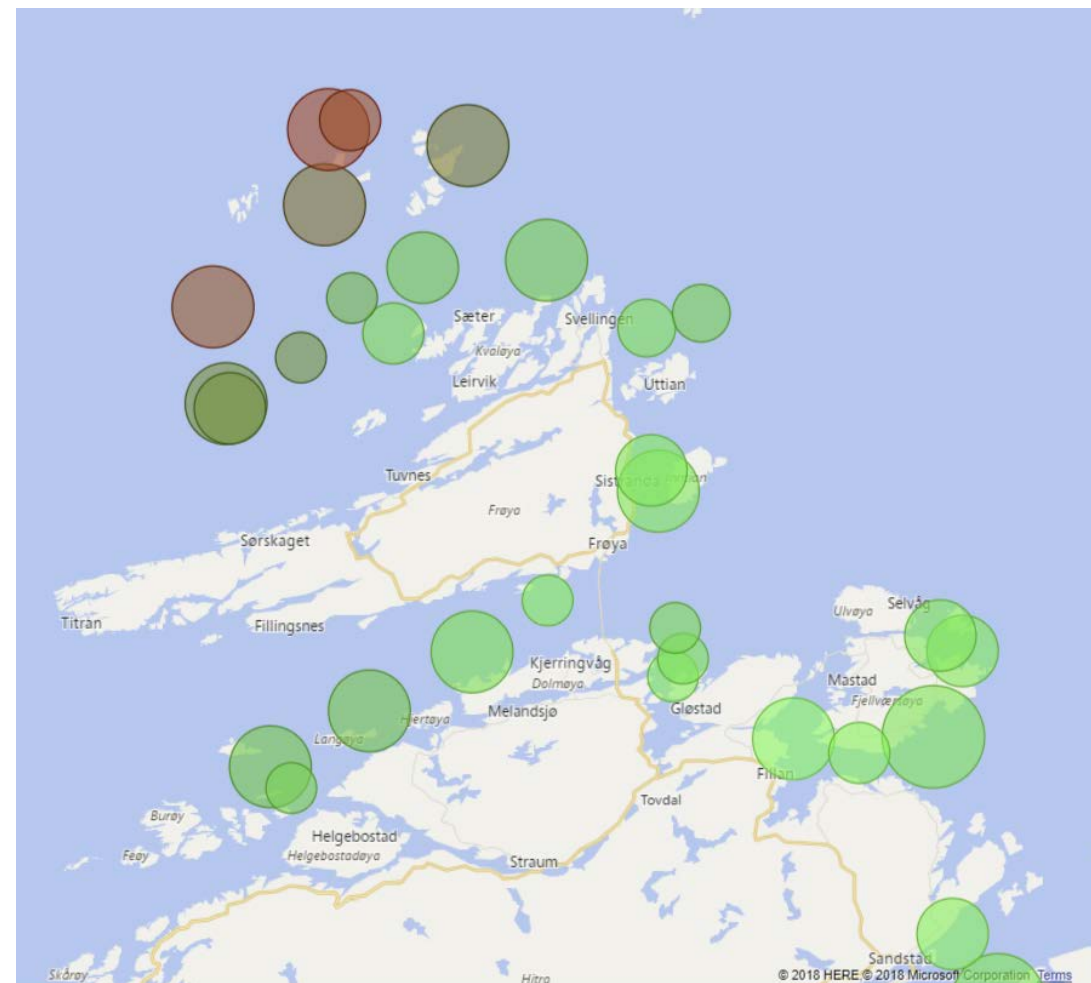
Parameter	Lav	Middels	Høy
Kapasitet (tonn)	500	3 100	8 000
Avstand tilkoblingspunkt (m)	60	1 700	12 000
Dieselpriis (kroner/l)	6	8	10
L diesel pr slaktetonn	52	80	120

Påvirkning lønnsomhet for lavt vs høyt spenn



Både størrelse og avstand til infrastruktur varierer for oppdrettslokalitetene langs kysten

- Avstand til utbygget nett og størrelsen på lokaliteten avgjør størrelse og fortegn på nåverdi av å investere i elektrifisering.
- Der det ligger klynger av oppdrettslokaliteter vil antakelsen om tilstrekkelig kapasitet i høyspenningsnettet ikke alltid holde. Samtidig vil anleggene antakelig kunne dele på kostnader og oppnå stordriftsfordeler. Om klyngetetthet dermed bidrar til økte eller reduserte kostnader er derfor et åpent spørsmål som vil bestemmes ut i fra lokale forhold.



Eksempel på visualisering av størrelse på oppdrettsanlegg og avstand til nett i kart (anlegg med stor avstand i rødt, størrelse på sirkelen viser kapasitet)

04

Elektrifisering av
båter tilknyttet
oppdrettsanlegg

Elektrifisering av båter

- I følge en studie utført av ABB og Bellona har båter tilknyttet oppdrettsanlegg et totalt utslipp på 224 000 tonn CO₂^a årlig.
- Alle båter tilknyttet oppdrettsanlegg kan i prinsippet elektrifiseres, men utslipp fra arbeidsbåter er i følge studien den største utslippskilden^a og elektrifisering av arbeidsbåten vil dermed ha størst innvirkning på kutt i utslipp av CO₂.
- De største kostnadsdriverne ved elektrifisering av båter er:
 - Batteripakken båten trenger for overfarten til anlegg hvor den igjen kan lade. Avstanden fra kai til anlegg er derfor kalt *dimensjonerende distanse*, da avstanden er dimensjonerende for batterikapasiteten. Båtens batteripakke utgjør den største merkostnaden knyttet til å elektrifisere båter.
 - Ladestasjonenes effektbehov avhenger av batterikapasiteten og tiden båten skal ligge ved henholdsvis kai og anlegg. Lav liggetid og høyt energibehov driver kostnader opp både for ladeinfrastruktur og batteripakke.
 - Levetiden og kostnaden til batteripakken vil i stor grad avgjøre den kommersielle lønnsomheten av å elektrifisere båter.
 - Utviklingen i batteriteknologi skjer raskt og dersom prisene på batterier fortsetter å synke samtidig som levetiden på batterier øker vil dette bidra til å gjøre elektrifisering av flere båter kommersielt lønnsomt. På de neste sidene presenteres nøkkeltall og beregninger basert på anslag for dagens teknologi samt med trender for fremtidig utvikling.

Båter i bruk ved fiskeoppdrettsanlegg

Følgende båt-typer benyttes typisk i driften av oppdrettslokaliteter. Arbeidsbåten (med arbeidsutstyr) står for den største andelen av energibruken totalt av båttypene.



Arbeidsbåt

- Lengde: 14,95 m
- Framdrift: 320 Hk

Båten brukes til spyling av merder, mindre avlusningsoperasjoner og andre oppgaver innen oppdrett.

Hvert fiskeoppdrettsanlegg har ca en arbeidsbåt per lokalitet.



Transportbåt

- Lengde: 8,5 m
- Framdrift: 370 hk

Båten brukes hovedsaklig til transport av mennesker fra kai til anlegg, og tilbake. Båten kan kjøre med høyere fart enn arbeidsbåten.

Det er typisk en transportbåt per lokalitet.



Servicebåt

- Lengde: 14,95 m
- Framdrift: 600 Hk

Brukes til et vidt spekter av operasjoner, som utlegging og håndtering av fortøyninger i havbruksanlegg, avlusningsoperasjoner, samt håndtering av store oppdrettsnøter og andre kompliserte løft.

En servicebåt er fordelt på ca 10 fiskeoppdrettsanlegg. Ofte eier ikke oppdrettselskapet båten selv, men leier inn båten og tilhørende servicetjenester av et serviceselskap. Større selskaper har egen båt.

Informasjon og bilde for arbeidsbåt og servicebåt er hentet fra: <https://follamaritime.no/vare-fartoy/>
Informasjon og bilde for transportbåt er hentet fra: <http://www.tobias.no/arbeidsbater/28/index.html>

Avgrensninger

I denne analysen er det tatt utgangspunkt i **arbeidsbåten**. Vi har tatt utgangspunkt i arbeidsbåten ettersom:

- servicebåten ofte er delt mellom mange fiskeoppdrettsanlegg og ofte ikke eies av selskapet som eier fiskeoppdrettsanlegget. Basert på opplysninger mottatt av fiskeoppdrettsselskap antas det at denne båten er fordelt på ca 10 lokaliteter og at den betjener hver lokalitet ca to ganger i året.
- energibruk som går med til persontransport mellom land og anlegg antas å være begrenset sammenlignet med energibruk som går med for arbeidsbåten til transport og arbeid ute ved merdene. Antakelsen er basert på en studie ABB og Bellona har utført hvor årlig totalt drivstofforbruk til transportbåten (kalt lokalitetsbåt i studien) er anslått til å være 7 662 m³ bensin^a, mens årlig totalt drivstofforbruk til arbeidsbåt er anslått til å være 46 341 m³ diesel^a.

Betraktninger og beregninger gjort for arbeidsbåten er imidlertid grovt sett anvendbare også for øvrige nevnte båttyper.



Bilde for arbeidsbåt er hentet fra: <https://follamaritime.no/vare-fartoy/>

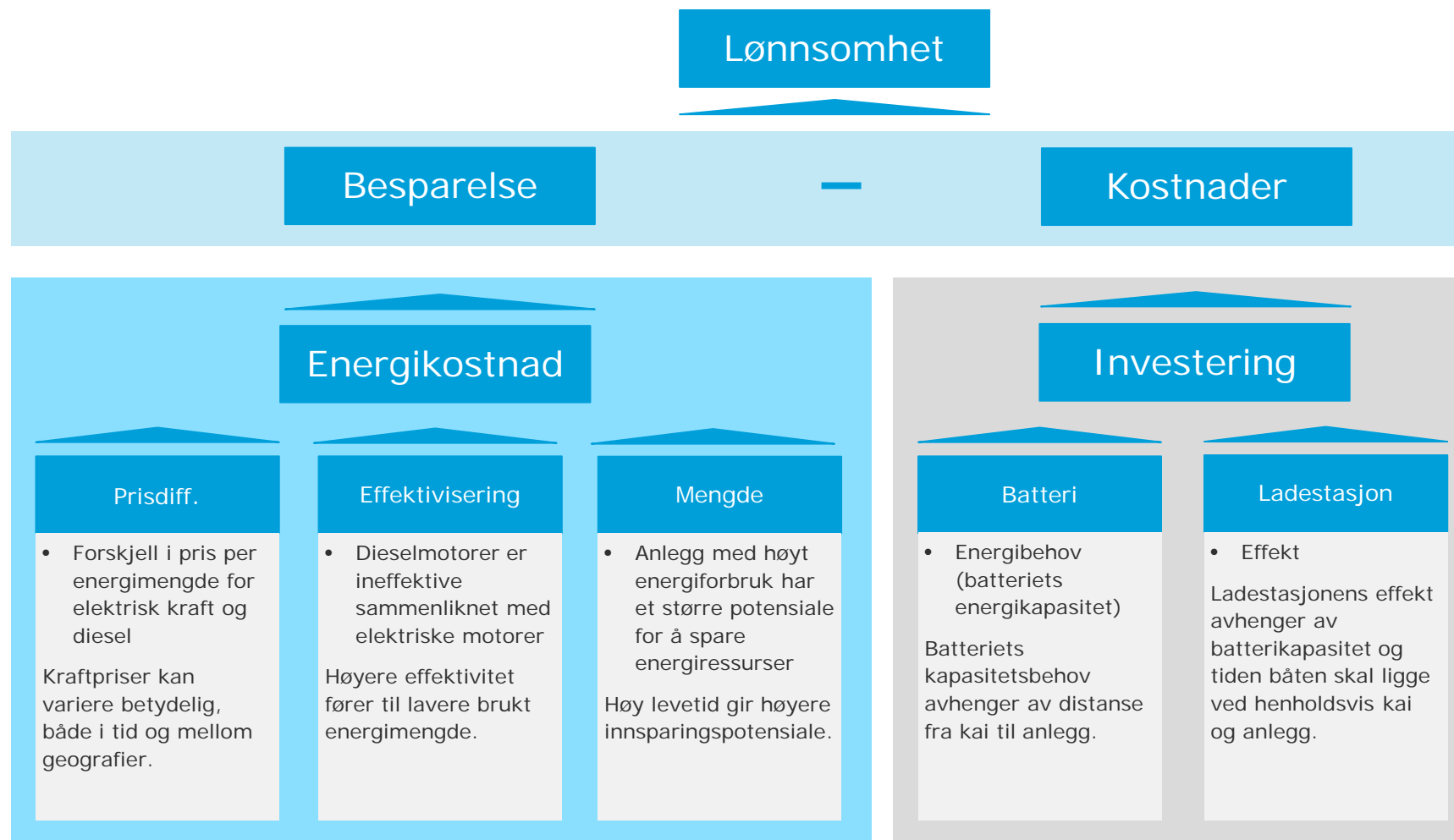
Drivere for lønnsomhet ved elektrifisering av båter

Merkostnaden ved å investere samt nåverdien av reduserte energikostnader over levetiden til investeringen avgjør hvor lønnsomt/kostbart det er å elektrifisere dersom kun kommersielle hensyn legges til grunn.

Figuren til høyre illustrerer driverne for henholdsvis energi- og investeringskostnader slik de er benyttet i beregningene i denne rapporten.

Figuren er en forenkling og det er flere lokale forhold som vil kunne påvirke hva faktisk investeringskostnad blir.

På de neste sidene beskrives de ulike driverne i større detalj.



Besparelsen ved elektrifisering varierer med lokal kraftpris og redusert energibruk

Besparelse

Energikostnad

Prisdif.

- Forskjell i pris per energimengde for elektrisk kraft og diesel

Kraftpriser kan variere betydelig, både i tid og mellom geografier.

Effektivisering

- Dieselmotorer er ineffektive sammenliknet med elektriske motorer

Høyere effektivitet fører til lavere brukt energimengde.

Mengde

- Båter med høyt energiforbruk har et større potensiale for å spare energiressurser

Høy levetid gir høyere innsparingspotensiale.

Den økonomiske besparelsen knyttet til elektrifisering av arbeidsbåt ligger først og fremst i redusert energikostnad. Energikostnaden reduseres både gjennom lavere energipriser for kraft enn for diesel, samt at behovet for energimengde reduseres som følge av mer effektiv energiutnyttelse.

Mens effektiviseringspotensialet antas å være tilnærmet likt for alle båter (bestemmes av forskjellen i energieffektivitet for en dieselmotor og en elmotor) varierer strømpris og til dels energiforbruk og levetid betydelig mellom de ulike lokalitetene langs kysten. Energipriser, energibruk og levetid gjør derfor at lønnsomheten av å elektrifisere varierer basert på disse parameterne.

«Inntektene» (besparelsene) fra å elektrifisere påløper over levetiden til investeringen og må derfor diskonteres til en nåverdi for å være sammenliknbar med investeringskostnaden som påløper «idag». Nåverdi av besparelsene beregnes derfor ut i fra en kapitalkostnad oppgitt i prosent. Avkastningskravet som settes på investeringskapitalen avgjør dermed også størrelsen på nåverdien av besparelsene.

Drivere for kostnader ved elektrifisering av arbeidsbåt

Investering knyttet til å elektrifisere arbeidsbåt består av tre hovedkomponenter som beskrevet i figuren til høyre.

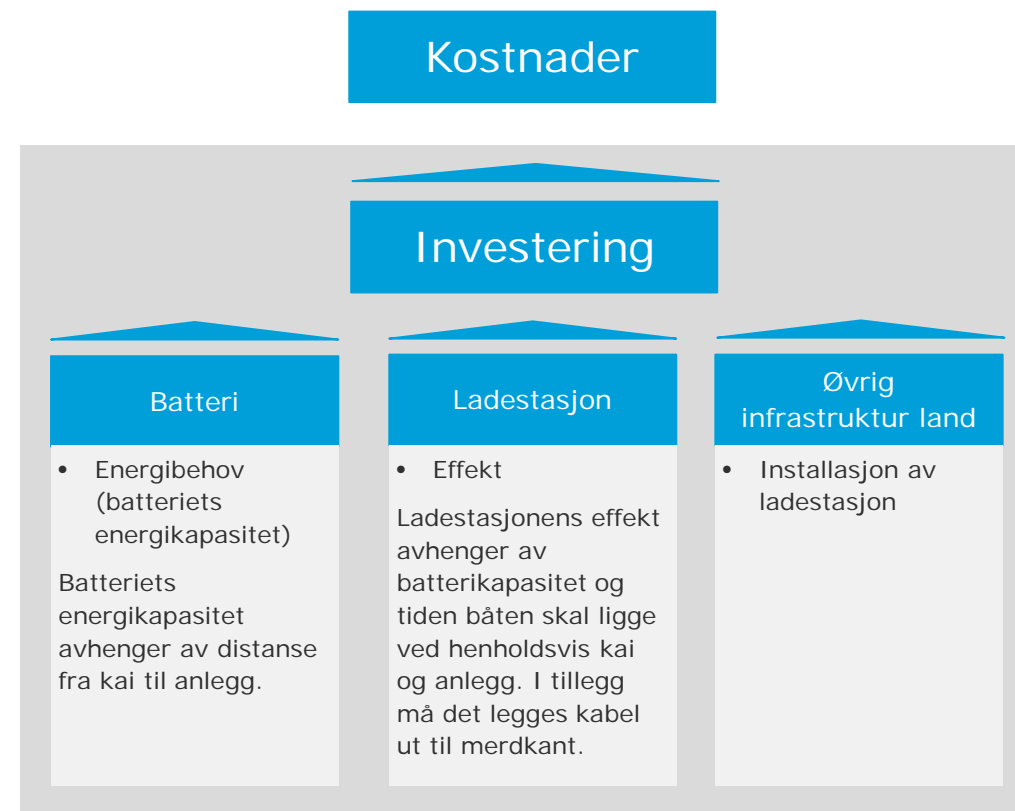
Hovedkostnaden for å elektrifisere er kostnaden for båtens batteripakke. Typisk utgjør denne rundt 90 % av merkostnaden.

Batteriets kostnad avhenger av energibehovet båten har for å kjøre fra kai til lokalitet. Når båten har kjørt ut til anlegg er det forutsatt at båten vil kunne lade opp batteriet samt utføre arbeid ute ved merdene mens den er tilknyttet en ladestasjon/strøm ved anlegget.

Da batteriet dimensjoneres for avstanden fra kai til anlegg, vil denne parameteren i stor grad være kostnadsdrivende for elektrifisering av arbeidsbåten.

Inntektssiden vil ikke øke proporsjonalt med avstanden, da dieselforbruket som går med for at båten kjører fra kai til anlegg kun antas å utgjøre en andel av det totale dieselforbruket (grunnet betydelig forbruk ved arbeid ute på merdene).

Dieselbruken kan derfor deles i forbruk til transport og forbruk ute ved merdene. For de fleste arbeidsbåter vil hovedvekten av dieselbruk skje ved arbeid ute ved merdene.



Tilnærming

Distansen en båt må kjøre fra kai til lokalitet er kalt *dimensjonerende distanse*. Dette er avstanden batteripakken dimensjoneres for å kunne betjene helelitrisk. Det er denne avstanden som er utslagsgivende for kapasiteten til batteriet.

Innhentede forbrukstall fra båtprodusenter, samt informasjon om estimert medgått dieselforbruk fra ABBs studie ligger til grunn for beregnet dieselforbruk som er nødvendig for å dekke energibehovet til transport og arbeid ute ved merdene. Det er lagt til grunn 67 % høyere energieffektivitet ved omlegging til elmotorer. Beregnet energibehov er ganget med en faktor på 2,5 for å ta høyde for optimalisert ladeoppsatt, sikkerhetsmargin og redusert batterikapasitet over beregnet levetid.

Batterikostnad består i et fastledd som inkluderer installasjon og styringssystem (dimensjonert etter motorstrøm), og et variabelt ledd som inkluderer batteripakken og som dermed varierer med den dimensjonerende distansen. Fastleddet er regnet ut ved å gange antatt effekt på elmotor med en antatt kostnad for el-installasjon på båt per kW motoreffekt. Det variable leddet er regnet ut ved å gange nødvendig batterikapasitet med en antatt batterikostnad per kWh.

Kostnad for ladestasjon ved land og på anlegg ble er beregnet med et fast ledd som inkluderer installasjon, og et variabelt ledd som inkluderer laderen som varierer med nødvendig ladeeffekt. Den variable kostnaden er dimensjonert basert på nødvendig ladeeffekt med en antatt kostnad per kW.

Inntektssiden er regnet ut ved å hensynta en forskjell i pris per energimengde for elektrisk kraft og diesel samt ved å hensynta at elektriske motorer er mer effektive enn dieselmotorer. Energibruken til en arbeidsbåt kan deles mellom transport og arbeid som gjøres ute ved merdene. For en stor andel av båtene vil det meste av energibruken skje ute ved merdene.

Netto nåverdi er regnet ut ved å anta en levetid på 10 år og med en diskonteringsrente på 5 %.

Lønnsomhet ved elektrifisering av arbeidsbåt med arbeidsutstyr

Figuren viser netto nåverdi av å elektrifisere arbeidsbåt når den dimensjonerende avstanden for batteriet (avstand mellom kai og anlegg) er henholdsvis 10, 15 og 25 km. Figuren viser også fordelingen mellom de største driverne for kostnader og besparelser i de ulike scenarioene:

- Merkostnad for båt ved reinvestering
- Kostnad for ladestasjon og kabler ut til merder
- Besparelser som følge av redusert energikostnad (arbeid og transport)

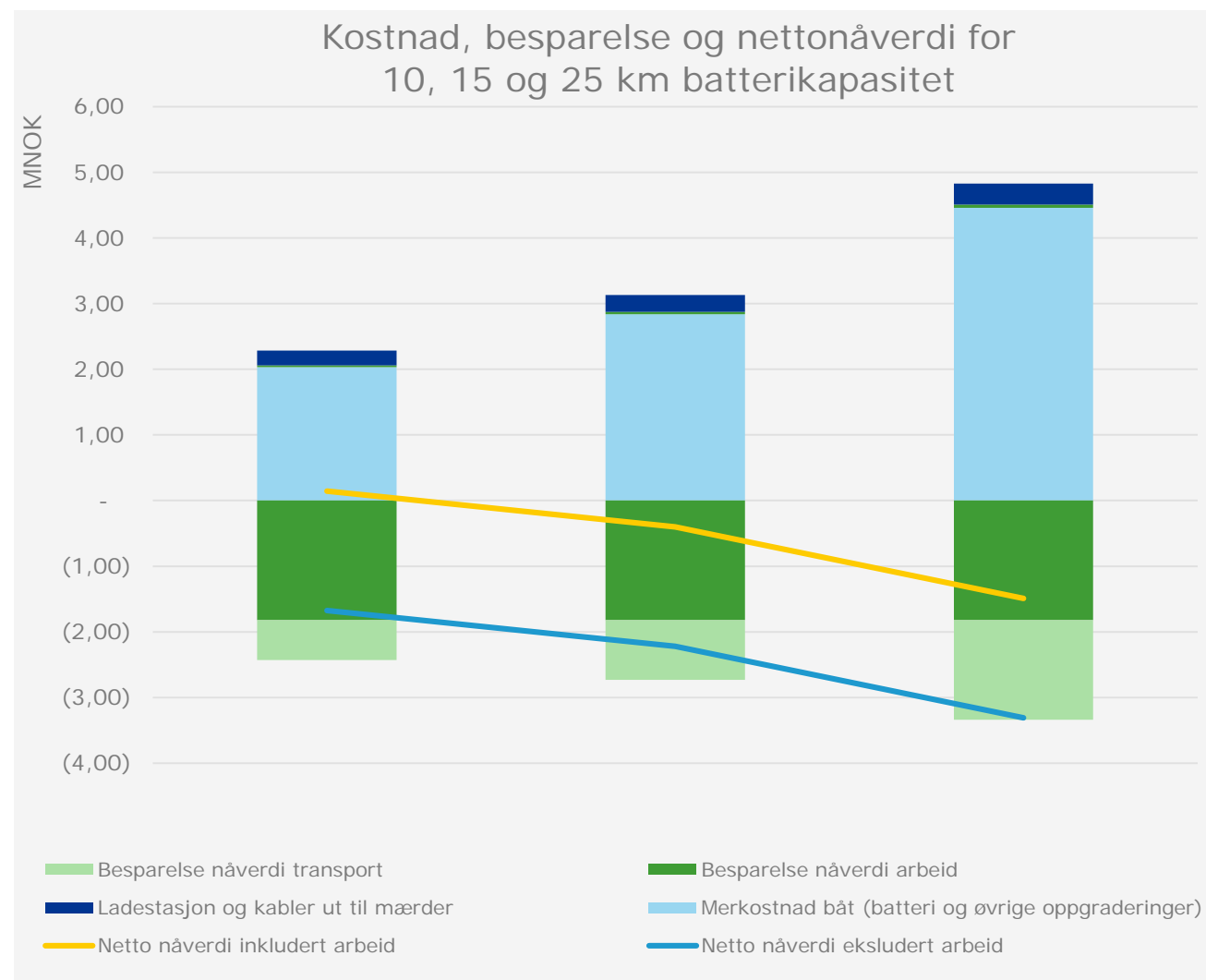
Figuren illustrerer at nettonåverdi er fallende ved økende distanse og at nettonåverdi er negativt i alle tilfeller dersom besparelser knyttet til arbeid ved merden holdes utenfor.

Besparelse knyttet til arbeid ved merden er skilt ut ettersom batteripakken og styringssystemet kun er nødvendig for transporten ut til lokaliteten. Selv om totalbildet til høyre gir et godt bilde på energibruk og kostnader for arbeidsbåten totalt er det hensiktsmessig å dele analysen i to:

- 1) kjøring frem og tilbake til anlegg og
- 2) arbeid ved merdene.

Mens man er avhengig av at båten elektrifiseres for å oppnå drivstoffbesparelser knyttet til transportetappen (1) er man ikke avhengig av dette for å oppnå drivstoffbesparelser knyttet til arbeid ved merdene (2). Dette arbeidet kan utføres med landstrøm gitt at anlegget er forsynt med sjøkabel og at det er lagt strøm ut til merdkanten.

På de neste sidene viser vi analyser for disse investeringene hver for seg.



Ved å hensynta at arbeid kan elektrifiseres uten batteripakke blir ikke investeringen i batteripakke lønnsom for en typisk arbeidsbåt

Batteripakke utgjør hovedkostnaden for elektrifisering og dimensjoneres etter distansen som skal kjøres helelektrisk mellom hver lading og motoreffekten til fartøyet. Besparelse knyttet til elektrifisering drives av den totale avstanden som kjøres elektrisk ettersom besparelsen på drivstoff øker med økende distanse. Et viktig forholdstall blir derfor hvor langt det kjøres elektrisk per dag delt på avstanden batteripakken er dimensjonert for. En annen måte å se det på er hvor mange turer båten kjører pr dag.

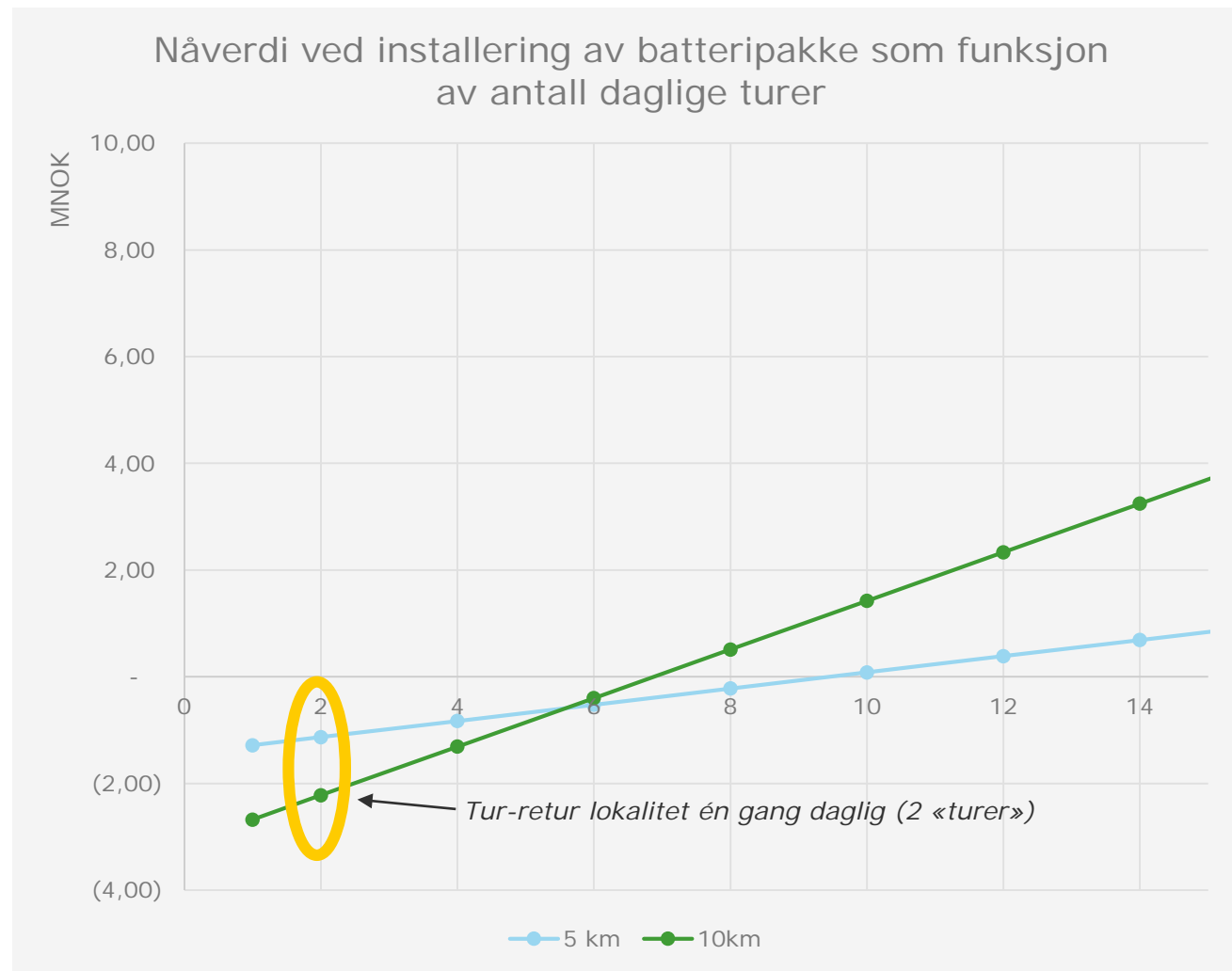
Korte avstander som kjøres ofte, der det kan lades ved hvert stopp, er mest lønnsomme. Dette er noe av grunnen til at korte fergestrekninger ofte er de mest lønnsomme å elektrifisere.

For en elektrifisert arbeidsbåt estimerer vi at investeringen blir lønnsom ved et forhold mellom dimensjonerende distanse og tilbakelagt distanse som er mellom 1:7 og 1:10. Det vil si at en arbeidsbåt som har en batteripakke dimensjonert for 5 km må kjøre mellom 35 og 50 km om dagen for at investeringen skal være lønnsom.

En arbeidsbåt vil typisk ha et forholdstall mellom dimensjonert distanse og daglig transport på 1:2 (tur-retur lokasjon). Det vil si 10 km kjørt ved batteripakke dimensjonert for 5 km.

Med forutsetninger tatt i våre beregninger må annet enn økonomiske insentiver forsvare elektrifisering av arbeidsbåter. Først dersom batteriinvesteringer faller med opp mot 80 % vil investeringen bli lønnsom gitt bruksmønsteret som er lagt til grunn med én tur-retur til lokaliteten pr dag.

En stor andel av energibruken til arbeidsbåter er knyttet til arbeidet den gjør ved merdene og dette arbeidet kan utføres uten batteripakke dersom utstyret knyttes til strøm ved lokaliteten. Denne delen av energibruken vil antakelig være mer lønnsom å elektrifisere.



Forutsetning om levetid og kostnadsreduksjoner for batteripakken påvirker lønnsomhet

Endringer i levetid

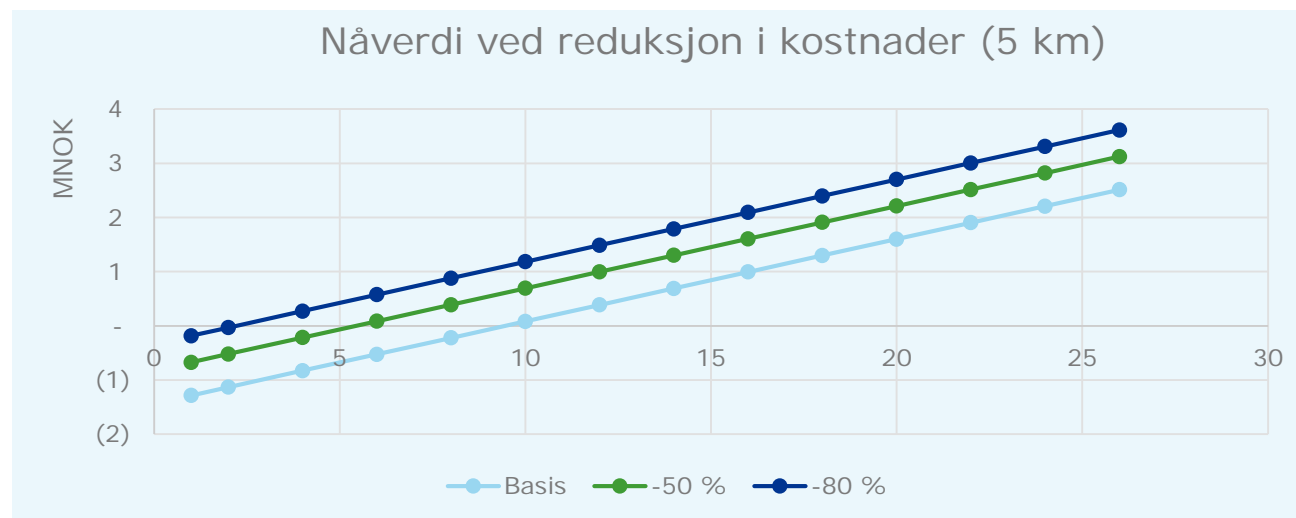
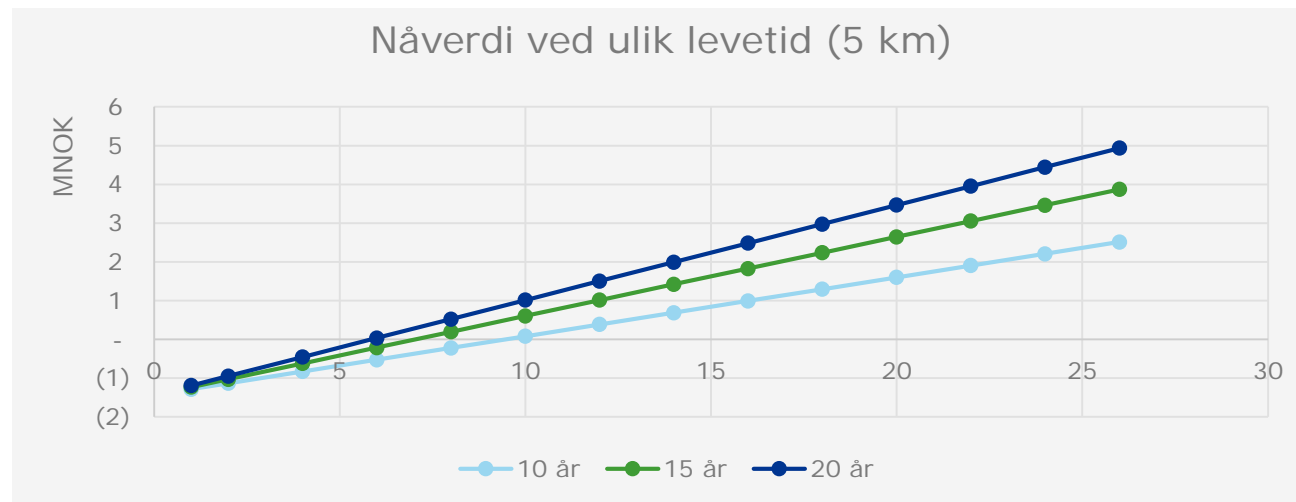
- Beregningen er sensitiv for forutsetning om levetid for investeringen. Konklusjon om lønnsomhet holder allikevel dersom levetiden økes til 20 år (for pakke dimensjonert for 5 km).

Fallende kostnader

- Batterikostnader har de siste årene falt raskt. Dersom batterikostnadene fortsetter å falle vil batteripakken kunne bli lønnsom. Ved et fall på om lag 80 % er investeringen selvfinansierende i følge beregningene.

Økt levetid og fallende kostnader

- En kombinasjon av økt levetid og fallende priser vil naturlig nok gjøre elektrifisering lønnsomt enda tidligere. En levetid på 10 år som er brukt i beregningene her er et relativt konservativt anslag, spesielt med tanke på bruksmønsteret som er lagt til grunn for arbeidsbåtene.



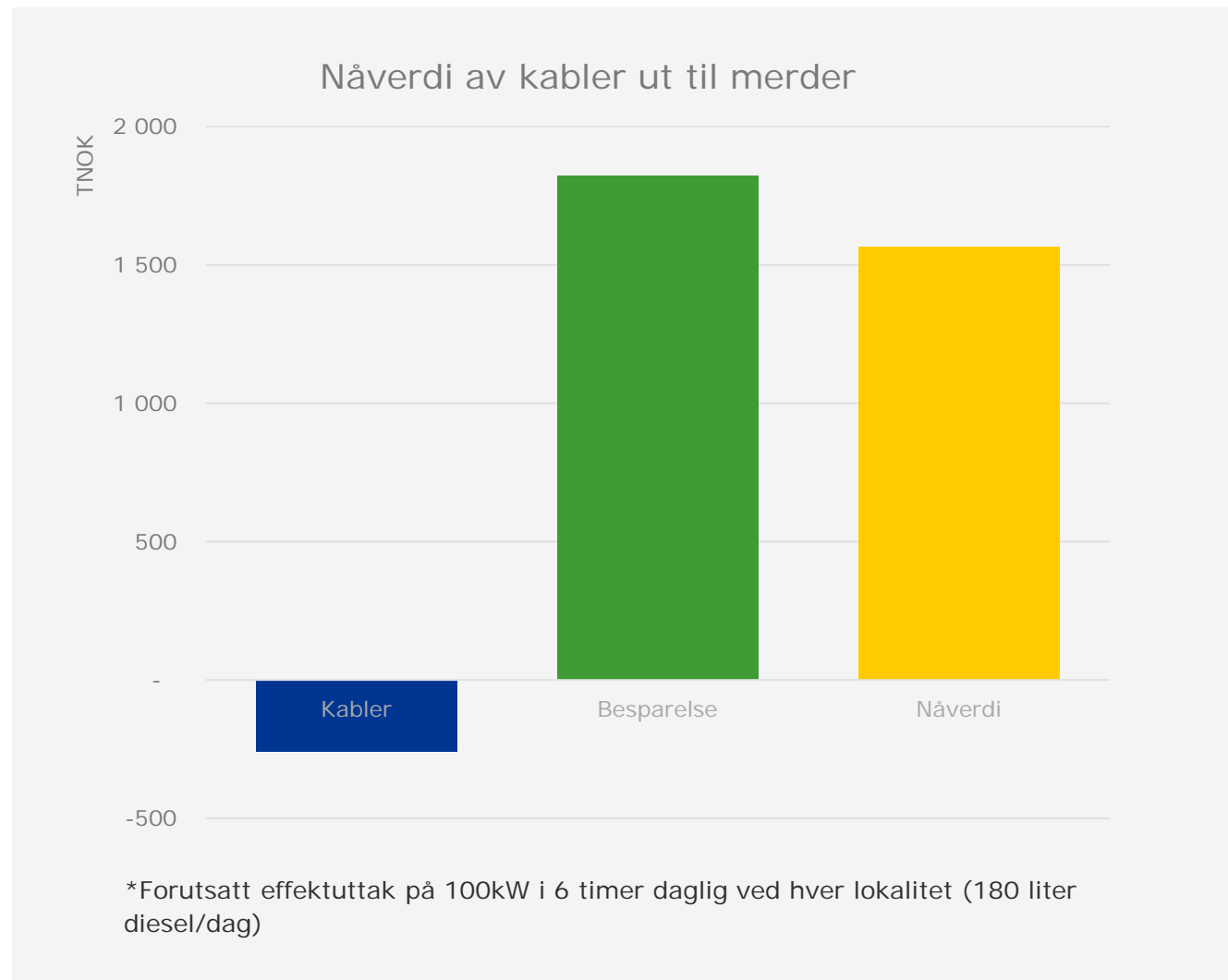
Elektrifisering av arbeid utført ved merdene er lønnsomt gitt at lokaliteten allerede er elektrifisert

Kostnad ved å legge strøm ut til merdkanten der det allerede er lagt landstrøm ut til forflåte er relativt lav, men kan gi store besparelser i dieselbruk, utslipp og energikostnader. Elektrifisering av arbeidsprosessene ute ved merdkanten anslår vi kan redusere dieselbruken for arbeidsbåter med opp til 75 %.

En stor andel av energibruken for arbeidsbåten skjer ved merdkanten og arbeidsutstyret om bord kan knyttes til landstrøm ved å legge strømkabler ut til merdkanten uten at det installeres batteripakke på båten.

En relativt lav ekstrainvestering gir dermed muligheter for store besparelser knyttet til arbeidet som utføres av arbeidsbåten ved lokaliteten.

Figuren til høyre forutsetter ekstrainvesteringer i kabler ut til merder for om lag 250 000 kroner og et daglig dieselforbruk på 180 liter til arbeid ved merdene.



05

Forutsetninger og kilder

Forutsetninger lokalitetsmodell

Nøkkeltall anlegg

- Levetid for investeringen er satt til 20 år
- 3 mnd brakktid
- 18 mnd produksjonssyklus
- 90 % kapasitetsutnyttelse (tonn i merd av oppgitt kapasitet)
- 20 % svinn

Energibruk

- Gjennomsnittlig dieselbruk per gjennomsnittlig slaktet tonn laks årlig er satt til 80 liter pr tonn (forflåte). Tallet er beregnet med bakgrunn i oppgitte tall for reduksjon av dieselforbruk ved lokasjoner der Enova har mottatt søknad og gjennomsnittlig produksjonstall samt tilgjengelige offentlige tall for reduksjon av dieselbruk ved elektrifisering. I studiet *Grønt skifte i havbruk*, gjennomført av ABB og Bellona er betydelig høyere anslag lagt til grunn. Vi har i denne rapporten valgt å legge oss nærmest de konservative estimatene.
- Teoretisk energiinnhold i diesel: 36,2 GJ/m³^a
- Teoretisk energiinnhold i elektrisitet: 3,6 GJ/MW^a
- Effektivisering (reduert energibruk) som følge av at el-motor er mer effektiv enn dieselmotor: 67%

Investeringskostnader som er lagt til grunn

Fast kost kabel (22 kv)	200 000
Kabel (pr km) (22kv)	800 000
Grøfting/legging kabel pr km	300 000
Nettstasjon land (500 kVa)	450 000
Nettstasjon anlegg (500 kVa)	200 000
Arbeid	600 000
Uspesifisert	10 %

Energipriser

Dieselskostnad per liter: 7,5 kr

Kraftpris per kWh: 1 kr

Diskonteringsrente: 5 %

Det er forutsatt at det trekkes høyspenningskabel fra nærmeste høyspenningslinje ut til oppdrettslokaliteten og at nettet har kapasitet til å håndtere dette uten nye investeringer. For de aller fleste lokaliteter er dette antatt å være en ok tilnærming. Der nettet er svakt og det finnes større klynger med oppdrettslokaliteter vil forutsetningen ikke holde. Samtidig vil et anleggsbidrag i disse tilfellene kunne deles mellom mange lokaliteter og det vil være muligheter knyttet til mer effektiv legging av kabel. At investeringen blir dyrere for disse anleggene totalt sett er derfor ikke gitt. KILE er ikke beregnet. Det legges til grunn at strømaggregat beholdes som nødløsning.

Vi har generelt i denne rapporten lagt det vi vurderer som konservative estimater til grunn i beregninger.

Forutsetninger båtmodell

Tid

- Levetid for batteripakken på båt er satt til 10 år.
- Bruksdager i året er satt til 280 dager.
- Ladetid ved kai er satt til 9 timer.
- Antatt tid en båt gjør arbeid ute på merder/forflåte er 6 timer.

Energiforbruk

- Arbeidsbåt er estimert å ha et dieselforbruk på 3 liter per km.
- Effektbehov ved arbeid er satt til 100 kW.
- El-motor effekt er antatt å være 2*159 kW. Antakelse basert på effekten til Elfrida.
- Teoretisk energiinnhold i diesel: 36,2 GJ/m³^a
- Teoretisk energiinnhold i elektrisitet: 3,6 GJ/MW^a
- Effektivisering (reduisert energibruk) som følge av at el-motor er mer effektiv enn dieselmotor: 67 %
- Margintillegg på batterikapasitet: 50 %.
- Batteriet er dimensjonert med 2,5 ganger energibehov for å ivareta behov for optimalisert lading og bruk samt tap av kapasitet over levetiden.

Kostnader

- Kostnad for batteripakke er satt til 6 500kr/kWh. Antakelse basert på DNV GLs erfaring.
- Kostnad for el-installasjon på båt / kW motoreffekt er satt til 1 300 kr. Antakelse basert på DNV GLs erfaring.
- Kostnad for lader er satt til 1 000kr/kW. Antakelse basert på DNV GLs erfaring.
- Antatt kostnad per liter diesel: 7,5 kr.
- Antatt kostnad per MWh: 1 kr.
- Diskonteringsrente: 5 %

Det er lagt til grunn at båten trafikkerer lokaliteten daglig og utfører arbeid ved merdene i 6 timer. Når båten ikke er i arbeid eller transport ligger den til lading ved kai. Det forutsettes at båtene er utstyrt med dieselaggregat som back-up og til lengre transporttapper, for eksempel ved service eller flytting.

Innspill og kilder – Båtmodell og forflåtemodell

- Takk til BKK for innspill knyttet til nettbidrag og modell for forflåteberegninger
- Takk til Enova for å ha gitt tilgang på relevante erfaringstall og investeringscase
- Takk til ABB for å ha bidratt med kunnskap om kostnadselementer, samt om kostnadsdrivende parametere
- Takk til Bellona for deling av tallgrunnlag og diskusjon rundt forutsetninger
- Takk til Nexans for å ha bidratt med informasjon om kostnadsdrivere for kabler.
- Takk til Lerøy Sjøtroll for hjelp til å kartlegge oppdrettsselskapenes bruk av båter.
- Takk til Promek for å ha bidratt med estimater for energibruk per km for deres båter.

Øvrige kilder brukt:

Grønt skifte i havbruk – Studie av ABB og Bellona

<https://follamaritime.no/vare-fartoy/> - spesifikasjoner for service og arbeidsbåt

<http://www.tobias.no/arbeidsbater/28/index.html> - spesifikasjoner transportbåt

Ssb.no – tall knyttet til total produksjon for 2017

<https://yggdrasil.fiskeridir.no/> - Fiskeridirektoratets database over oppdrettslokaliteter i Norge

<https://gis3.nve.no/link/?link=nettanlegg> – Kartdata for nettanlegg i Norge

For kostnader og dimensjonering av batteripakker er DNV GLs egne studier og tidligere rapporter benyttet som erfaringsgrunnlag.