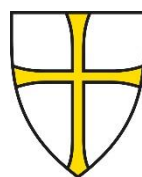


RAPPORT (OFFENTLIG VERSJON)  
FOR TRØNDELAG FYLKESKOMMUNE



Trøndelag  
fylkeskommune

# FREMTIDENS UTSLIPPSFRIE HURTIGBÅTER

EN LØSNING BASERT PÅ INNOVASJONSEVNE, DRIFTSERFARING OG FAGLIG KUNNSKAP

HYEN- DEKNEPOLLEN-GØTEBORG-NARVIK-TRONDHEIM

1. SEPTEMBER 2019



LEVERT AV ET KONSORTIUM BESTÅENDE AV:



STADT TOWING TANK



FosenNamsos Sjø

PROFJORD

SIEMENS



TRANSPORT  
UTVIKLING



*Denne rapporten er en forkortet utgave av konsortiets sluttrapport til Trøndelag fylkeskommune. Detaljerte fartøysspesifikasjoner, GA og en del designdetaljer er tatt ut av rapporten. Det samme gjelder spesifikke beregninger og empiriske data knyttet til energiforbruk for både batteri- og dieseldrevne fartøy. Konklusjonene er de samme i begge rapporter.*

## KONTAKTDETALJER

Konsortiet er basert på en flat organisasjon med likeverdige partnere.

I tråd med forespørselen har konsortiet en prosjektansvarlig med hovedansvar for å følge opp fremdrift, holde kontakt med Oppdragsgiver og rapportere i tråd med fremdriftsplanen.

Kontakt detaljer for prosjektansvarlig er:

Selskapet	
<b>Firmanavn:</b>	<b>Transportutvikling AS</b>
Org.nr.	976 311 469
Selskapsform:	Aksjeselskap
Nasjonalitet:	Norsk
Post adresse:	P.O.Box 26, N-8501 Narvik
Besøksadresse:	Dronningensgt. 33, Narvik
Telefon:	(+47) 76 96 55 70
Internett-side:	<a href="http://www.transportutvikling.no">www.transportutvikling.no</a>
Kontaktperson	
<b>Daglig leder</b>	<b>Stig Nerdal</b>
Telefon:	+47 958 71905
E-post:	<a href="mailto:stig.nerdal@transportutvikling.no">stig.nerdal@transportutvikling.no</a>

Tabell 0-1: Kontaktdetaljer



Ola Lilloe-Olsen er assisterende prosjektleder. Ola Lilloe-Olsens kontakt detaljer er:

- Telefon: 952 39508
- E-post: [ola@lilloe-design.no](mailto:ola@lilloe-design.no)
- Internett-side: [www.lilloe-design.no](http://www.lilloe-design.no)

# INNHold

<b>KONTAKTDETLJER</b>	<b>1</b>
<b>INNHold</b>	<b>2</b>
<b>1 INNLEDNING</b>	<b>5</b>
1.1 BAKGRUNN	5
1.2 MÅLSETTINGER OG FORVENTNINGER FASE 2	5
1.3 FREMDRIFT FASE 2	6
1.4 ORGANISASJON	6
<b>2 RESULTATER FRA FASE 1</b>	<b>7</b>
<b>3 FARTØYSKONSEPT</b>	<b>8</b>
3.1 DAGENS FARTØY	8
3.2 NYE FARTØY	8
3.2.1 276 PAX – nullutslippskatamaran	9
3.2.2 131 PAX- nullutslippsfartøy	10
3.3 PROOF OF CONCEPT	11
3.3.1 Innledning-metodikk	11
3.3.2 Del 1: Skroggeometri og CFD	11
3.3.3 Del 2: Modelltesting	12
3.3.3.1 Modelltest monoskrog	12
3.3.3.2 Modelltest foiler alene	13
3.3.3.3 Modelltest katamaran skrog uten foiler	14
3.3.3.4 Modelltest katamaran skrog med foiler	14
3.3.4 Del 3: Skalering av testresultat og konklusjon	15
3.3.5 Forbehold og utvikling	15
<b>4 DRIFTSOPPLEGG NY LØSNING</b>	<b>16</b>
4.1 INNLEDNING	16
4.2 MILJØUTSLIPP GENERELT	16
4.3 GENERELLE FORUTSETNINGER	16
4.4 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)	17
4.4.1 Løsning generelt	17
4.4.2 Lademuligheter	17
4.4.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord	18
4.5 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)	19
4.5.1 Løsning generelt	19
4.5.2 Lademuligheter	19
4.5.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord	20
4.6 TRONDHEIM-BREKSTAD-SANDSTAD-KRISTIANSUND (RUTE 800)	22
4.6.1 Løsning generelt	22
4.6.2 Lademuligheter	22
4.6.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord	23
<b>5 RUTEMESSIGE KONSEKVENSER</b>	<b>27</b>
5.1 DAGENS RUTEOPPLEGG	27
5.2 KONSEKVENSER AV NY LØSNING	27
5.3 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)	28
5.4 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)	28

## RAPPORT FASE 2: FREMTIDENS UTSLIPPSFRIE HURTIGBÅTER (OFFENTLIG VERSJON)

5.5	TRONDHEIM – BREKSTAD – SANDSTAD - KRISTIANSUND (RUTE 800)	28
<b>6</b>	<b>KRAV TIL INFRASTRUKTUR PÅ LAND</b>	<b>30</b>
6.1	TILFØRT ENERGI	30
6.2	BATTERIBYTT	30
<b>7</b>	<b>ØKONOMI</b>	<b>33</b>
7.1	INNLEDNING OG FORVENTNINGER	33
7.2	METODE	33
7.3	HOVEDFORUTSETNINGER FOR BEREGNINGENE	34
7.4	KONKLUSJONER FRA BEREGNINGENE	35
7.4.1	Trondheim – Vanvikan (rute 810)	35
7.4.2	Trondheim – Brekstad (rute 805)	37
7.4.3	Trondheim – Kristiansund (Kystekspressen rute 800)	39
7.5	ENERGIFORBRUK	41
7.5.1	Trondheim-Vanvikan	41
7.5.2	Trondheim-Brekstad	41
7.5.3	Kystekspressen	41
<b>8</b>	<b>REALISERING OG USIKKERHET</b>	<b>42</b>
8.1	FORVENTNINGER	42
8.2	USIKKERHET	42
8.3	REALISERING	43

### **Figurliste**

FIGUR 3-1: 276 PAX - NULLUSTLIPPSKATAMARAN	9
FIGUR 3-2: 131 PAX - NULLUSTLIPPSKATAMARAN	10
FIGUR 3-3: BILDER MODELLPRODUKSJON DEMI-SKROG	12
FIGUR 3-4: BILDER FRA MODELLFORSØK AV DEMI-SKROG VED FORSKJELLIGE DYPGANGER	13
FIGUR 3-5: TESTING AV FOILER I FORSKJELLIGE HASTIGHETER OG DYBDER	13
FIGUR 3-6: MOTSTANDSTEST AV KATAMARAN UTEN FOILER	14
FIGUR 3-7: TEST AV KATAMARAN MED FOILER	14
FIGUR 4-1: LADEMULIGHETER TRONDHEIM-VANVIKAN	17
FIGUR 4-2: ENERGIRESERVE TRONDHEIM-VANVIKAN	18
FIGUR 4-3: LADEMULIGHETER TRONDHEIM-BREKSTAD	19
FIGUR 4-4: ENERGIRESERVE TRONDHEIM- BREKSTAD	20
FIGUR 4-5: BEHOV FOR TILFØRT ENERGI TRONDHEIM- BREKSTAD	21
FIGUR 4-6: LADEMULIGHETER KEX1 (SØRGÅENDE, START BREKSTAD)	22
FIGUR 4-7: LADEMULIGHETER KEX2 (NORDGÅENDE, START EDØY)	23
FIGUR 4-8: ENERGIRESERVE KEX1 (SØRGÅENDE, START BREKSTAD)	24
FIGUR 4-9: ENERGIRESERVE KEX2 (NORDGÅENDE, START EDØY)	24
FIGUR 4-10: BEHOV FOR TILFØRT ENERGI KEX1 (SØRGÅENDE, START BREKSTAD)	25
FIGUR 4-11: BEHOV FOR TILFØRT ENERGI KEX2 (NORDGÅENDE, START EDØY)	26
FIGUR 5-1: DAGENS RUTER/BÅTER 3 HURTIGBÅTRUTER	27
FIGUR 6-1: FORELØPIG SKISSE TIL MULIG LØSNING, BATTERIBYTT VED FLYTENDE KAIANLEGG	30
FIGUR 7-1: NETTO-REALKONTANTSTRØMMER TRONDHEIM-VANVIKAN, 30 ÅR	36
FIGUR 7-2: AKKUMULERT NETTO-REALKONTANTSTRØM TRONDHEIM-VANVIKAN, 30 ÅR	36
FIGUR 7-3: NETTO-REALKONTANTSTRØMMER TRONDHEIM-BREKSTAD, 30 ÅR	37
FIGUR 7-4: AKKUMULERT NETTO-REALKONTANTSTRØM TRONDHEIM-BREKSTAD, 30 ÅR	38

## RAPPORT FASE 2: FREMTIDENS UTSLIPPSFRIE HURTIGBÅTER (OFFENTLIG VERSJON)

FIGUR 7-5: NETTO-REALKONTANTSTRØMMER TRONDHEIM-KRISTIANSUND, 30 ÅR .....	39
FIGUR 7-6: AKKUMULERT NETTO-REALKONTANTSTRØM TRONDHEIM-KRISTIANSUND, 30 ÅR.....	40

### **Tabelliste**

TABELL 0-1: KONTAKTDETAJLER.....	1
TABELL 3-1: HOVEDSPESIFIKASJONER DAGENS FARTØY .....	8
TABELL 3-2: HOVEDDIMENSJONER 276 PAX .....	9
TABELL 3-3: HOVEDDIMENSJONER 131 PAX .....	10
TABELL 7-1: KONTANTSTRØM/NÅVERDI TRONDHEIM-VANVIKAN.....	36
TABELL 7-2: KONTANTSTRØM/NÅVERDI TRONDHEIM-BREKSTAD .....	38
TABELL 7-3: KONTANTSTRØM/NÅVERDI TRONDHEIM-KRISTIANSUND .....	40

### **Bildeliste**

BILDE 3-1: MS "TYRHAUG" (FOTO: BRØDRENE AA).....	8
BILDE 6-1: BATTERIBYTE: FARTØY INN TIL TERMINALEN.....	31
BILDE 6-2: BATTERIBYTE: AUTOMATISK POSISJONERING .....	31
BILDE 6-3: BATTERIBYTE: ATSKILTE OMRÅDER BATTERIBYTE OG PASSASJERER.....	31
BILDE 6-4: BATTERIBYTE: UTKJØRING AV BATTERIER .....	32
BILDE 6-5: BATTERIBYTE: ROBOTSYSTEM .....	32

# 1 INNLEDNING

## 1.1 BAKGRUNN

Trøndelag fylkeskommune har satt i gang et utviklingsprosjekt der visjonen er å «... initiere utvikling av en teknologi som ikke eksisterer og som industrien ikke vet om de får til å levere». Med dette som utgangspunkt har man et ønske om å legge til rette for utvikling av verdensledende og uprøvd teknologi.

Rent operasjonelt/driftsmessig er det i forespørselen fra Trøndelag fylkeskommune lagt til grunn at:

- Det skal lages en praktisk løsning for tre eksisterende hurtigbåtruter i Trøndelag, der driften skjer med to forskjellige fartøystørrelser
- Fartøyene skal kunne betjene relevante farvann, og det ligger som en forutsetning at fartøyene skal kunne klasses av godkjent klasseselskap og godkjennes av Sjøfartsdirektoratet.
- Det foreslåtte konsept skal være praktisk gjennomførbart og sikre nødvendig mobilitet langs kysten.
- Det skal forslås og utarbeides et komplett driftsmønster/ruteopplegg/konsept for hver av de tre rutene.

Flere konsortier deltar med egne prosjekter, og arbeidet skjer i to faser. Fase 1 (konsept-utvikling) ble avsluttet sommer/høst 2018. Fase 2 startet like etter avslutningen av fase 1.

## 1.2 MÅLSETTINGER OG FORVENTNINGER FASE 2

Hovedmålsettingen for fase 2 er knyttet til testing og utvikling av de konsepter som ble valgt i fase 1. Oppdragsgiver presiserer i «Forventningsavklaringen» at rapporten fra fase 2 skal inneholde:

- *Fullverdig gjennomgang av CAPEX/OPEX (pris energibærer må ikke inkluderes)*
- *Forventet energiforbruk*
- *Krav til infrastruktur på land (kai, energibærere, etc.)*
- *Tekniske tegningsgrunnlag for fartøy, herunder:*
  - *Teknisk beskrivelse av fartøy med hoveddimensjoner, oppbygging og sentrale maskineri og propulsjonsinstallasjoner samt last/passasjerkapasitet (dvs. overordnet teknisk byggespesifikasjon). Beskrivelsen forventes supplert med hovedarrangement /tegningsunderlag.*
- *«Proof of concept» - testresultater knyttet til særegne egenskaper. Resultater fra gjennomførte verifikasjon av hovedkarakteristika for det foreslåtte fartøyskonsept (dette kan være modellering/simuleringsresultat eller resultat fra relevant uttesting av fysisk modell).*
- *Alle forbehold og restriksjoner må beskrives i detalj.*
- *Beskrivelse knyttet til realisering eller forventede realiseringsplaner. Dvs. opplegg for bygging, installasjon, uttesting og idriftsettelse med forventet tidsangivelse for de enkelte faser.*

I Forventningsavklaringen heter det videre at «*Fylkeskommunen er avhengig av at rapporten inneholder en detaljert beskrivelse av hvor vidt det er teknisk og praktisk gjennomførbart å kjøre med nullutslipp i de enkelte samband*».

I vår prosjektplan legger vi også til grunn at rute- og driftsmessige konsekvenser må avklares/oppdateres, jfr. forventningene fra fase 1:

- *Beskrive forventede konsekvenser og eventuelle avvik fra rutetabell*
- *Beskrive forventede konsekvenser og eventuelle avvik fra krav til fart og kapasitet*
- *Beskrive konsekvenser for operasjon av fartøy i gjeldende samband (f.eks. mht kai)*

Forventningene fra Oppdragsgiver er utgangspunktet for vårt arbeid.

### 1.3 FREMDRIFT FASE 2

Prosjektet er gjennomført i to faser. Fase 1 (konseptutvikling) ble avsluttet høsten 2018, avløst av fase 2 (testing og utvikling).

Fremdriftsplanen for fase 2 er basert på følgende hovedmilepeler:

- Første rapportutkast: 14. juni 2019
- Presentasjon og gjennomgang av rapport: 18.-19. juni 2019
- Levering av sluttrapport: 1. september 2019
- Presentasjon av sluttrapport (7-8 min) 3. september 2019

### 1.4 ORGANISASJON

Konsortiet består av følgende aktører:

- Sivilingeniør Ola Lilloe-Olsen, Hyen
  - Daglig leder, sivilingeniør Ola Lilloe-Olsen
- Profjord AB, Gøteborg
  - Daglig leder, sivilingeniør Christer Widmark
  - Naval Architect, sivilingeniør Andreas Dahlgren
- Stadt Towing Tank AS, Måløy
  - Daglig leder, sivilingeniør Vegard Larssen
- FosenNamsos Sjø AS, Trondheim
  - Teknisk sjef, Joachim Ness
- Siemens AS Division Process Industries and Drives (Drilling & Marine)
  - Ketil Aagesen
- Transportutvikling AS, Narvik (prosjektleder)
  - Daglig leder, siviløkonom Stig Nerdal



## 2 RESULTATER FRA FASE 1

Den 31. august 2018 leverte konsortiet rapporten for fase 1.

Rapporten ga en beskrivelse av prosjektets bakgrunn/målsettinger, en statusbeskrivelse av dagens situasjon og valg av fartøysdesign (formløsninger, energibærere, propulsjon, GA, foilsystem mv).

Det ble foretatt preliminare økonomiske vurderinger, rutevurderinger, valg av energibærere og planlegging/budsjett for fase 2.



Hovedkonklusjonene fra fase 1 var:

- Det ble vektlagt en robust og gjennomførbar fartøysløsning.
- Det legges opp til en helelektrisk løsning for alle rutene. Batteriteknologien og kraftelektronikken er tilgjengelig i dag.
- Raske batteribytter ble lansert som en eventuell mulig løsning for å sikre tilstrekkelig energi. Dette er en teknologi som ikke eksisterer i dag.
- Det ble skissert et skrogkonsept basert på kombinasjonen skrog og foil (foil assisted catamaran). Foilene bidrar til å løfte skroget delvis ut av sjøen og dermed redusere motstanden fra den ekstra vekten som batteriene medfører. Foilene skal være passive slik at det er ikke blir nødvendig med avansert og kostbar mekanikk og reguleringsteknikk. I fase 1 var det en målsetting at foilene skulle gi et løft tilsvarende økning i deplasement fra batterier korrigert for fjerning av dieselmotorer med systemer, hjelpemotorer og drivstoff i dagens båter.
- De foreløpige økonomiske beregningene var basert på differansevurderinger mellom diesel og batteri og den indikerte positive økonomiske effekter på lang sikt, spesielt for ruter med høyt antall driftstimer.
- Det ble ikke foretatt vurderinger av rutemessige konsekvenser. Men det ble forventet at rutene måtte tilpasses.

### 3 FARTØYSKONSEPT

#### 3.1 DAGENS FARTØY

De tre rutene opereres i dag med passasjerførende katamaraner i to fartøystørrelser (130 PAX og 275 PAX).

Fartøyene som opererer i dag, har følgende hovedspesifikasjoner:

	Trondheim-Vanvikan	Trondheim-Brekstad		Trondheim-Kristiansund
	<b>Dagens fartøy</b>			
Navn	Trondheimsfjord II	Terningen/Tyrhaug	Trondeimsfjord I	Terningen/Tyrhaug
Type	Katamaran, kompositt	Katamaran, kompositt	Katamaran, kompositt	Katamaran, kompositt
Byggeår	2008	2014	2008/2014	2014
Loa	24,5	40,8	25,7	40,8
Hovedmaskineri (kWh)	2xMAN 12-syl. D284LE 410	2xMTU 16V2000M72	MTU 12V2000, driver hver sin RR 50 A3 vannjet.	2xMTU 16V2000M72
Ytelse (kWh pr motor)	749	1440	1080	1440
Ytelse (kWh totalt)	1 498	2 880	2 160	2 880
Maxhastighet	32,5	38	35	38
Pax-kapasitet	130	275	130	275
Godskapasitet	Nei	Nei	Nei	Nei
Energiform	MGO	MGO	MGO	MGO
Tankkapasitet (liter)	4 000	6 000	4 000	6 000

Tabell 3-1: Hovedspesifikasjoner dagens fartøy



Bilde 3-1: MS "Tyrhaug" (Foto: Brødrene Aa)

#### 3.2 NYE FARTØY

Konsortiet har utviklet to optimaliserte fartøy i henhold til målsettinger og krav fra Trøndelag fylkeskommune. Vi har lagt til grunn:

- En stor passasjerførende katamaran (276 PAX)
- En middels passasjerførende katamaran (131 PAX)

### 3.2.1 276 PAX – nullutslippskatamaran



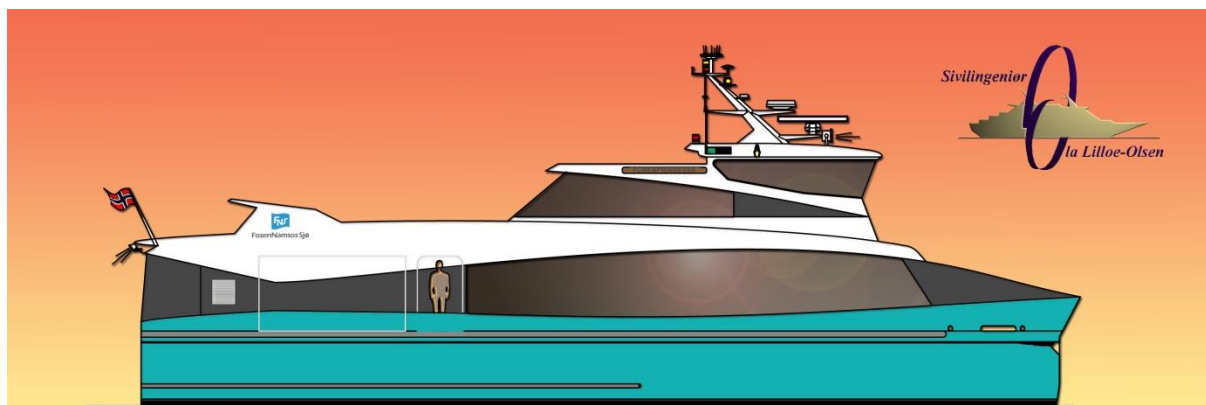
Figur 3-1: 276 PAX - nullutslippskatamaran

276 PAX katamaranen har følgende indikative hoveddimensjoner:

1.1.1 Hoveddimensjoner og tanker	
<input type="checkbox"/> Lengde o.a.	41,20 m
<input type="checkbox"/> Bredder skrog	12,00 m
<input type="checkbox"/> Dybde i riss	4,40 m
<input type="checkbox"/> Dypgang design	2.20 m
<input type="checkbox"/> Passasjerkapasitet	276
<input type="checkbox"/> Hastighet i rute	32.5 knop
<input type="checkbox"/> Flagg	NOR
<input type="checkbox"/> Klasse	DNVGL+A1, IMO2000HSC, E0, Battery Power, R4(NOR)
<input type="checkbox"/> Batterikapasitet	ca 5.400 kWh
<input type="checkbox"/> Ferskvannstank	ca 2000 l
<input type="checkbox"/> Svartvannstank	ca 2000 l
<input type="checkbox"/> Varmtvannstank	200 l
<input type="checkbox"/> Vindusspylervæske	50 l

Tabell 3-2: Hoveddimensjoner 276 PAX

### 3.2.2 131 PAX- nullutslippsfartøy



Figur 3-2: 131 PAX - nullutslippskatamaran

131 PAX katamaranen har følgende indikative hoveddimensjoner:

#### 1.1.1 Hoveddimensjoner og tanker

<input type="checkbox"/> Lengde o.a.	23,95 m
<input type="checkbox"/> Bredder skrog	10,70 m
<input type="checkbox"/> Dybde i riss	3,30 m
<input type="checkbox"/> Dypgang design	1.90 m
<input type="checkbox"/> Passasjerkapasitet	131
<input type="checkbox"/> Hastighet i rute	25 knop
<input type="checkbox"/> Flagg	NOR
<input type="checkbox"/> Klasse	DNVGL+A1, IMO2000HSC, E0, Battery Power, R4(NOR)
<input type="checkbox"/> Batterikapasitet	ca 1.000 kWh
<input type="checkbox"/> Ferskvannstank	ca 1000 l
<input type="checkbox"/> Svartvannstank	ca 1000 l
<input type="checkbox"/> Varmtvannstank	100 l
<input type="checkbox"/> Vindusspylervæske	50 l

Tabell 3-3: Hoveddimensjoner 131 PAX

### 3.3 PROOF OF CONCEPT

#### 3.3.1 Innledning-metodikk

I løpet av prosjektet er det gjennomført et omfattende arbeid for å prøve å bestemme energiforbruket til fartøyene i de aktuelle rutene. Basis for energiforbruket er justert etter hvert som analysene og testprogrammet har gitt ny og sikrere data. For å fremskaffe data er det benyttet en rekke datasimuleringer (CFD-analyser), samt et større antall eksperimentelle tester av varierende kompleksitet.

I første omgang ble datasimuleringer (CFD) benyttet for å undersøke skrogmotstand og strømningsforhold rundt skroget. Dette ga grunnlag for forbedringer av skroggeometrien. Parallelt med dette ble det gjort simuleringer og analyser for å bestemme plassering, type og størrelse på vingene (foilene) som skal bidra til å løfte fartøyet ut av sjøen i fart.

Når skroggeometrien etter hvert var bestemt ble det igangsatt modellbygging og testing av både ett skrog alene, foilene og deretter komplett modell med to skrog og foiler. På den komplette modellen ble angrepsvinkel og plassering av foilene justert for å oppnå lavest mulig motstand, samtidig som vanninnstrømning til propell var ivaretatt.

Når dette var avklart, ble det kjørt forsøk i en rekke dypganger og hastigheter. Dette for å bygge opp informasjon for å gi best mulig grunnlag for beregning av energiforbruk for varierende batterimengde, antall passasjerer og hastighet.

Ytelsen påvirker hvor mye batterikapasitet som kreves. Mengden batteri påvirker deplasementet som igjen påvirker motstanden. For å dekke inn mest mulig av usikkerhetene har vi testet mange deplasement for å senere kunne bestemme vekt på alt av utstyr som skal om bord. De påfølgende underkapitlene viser stegene i kronologisk rekkefølge med punktvis målsetning pr. del.

#### 3.3.2 Del 1: Skroggeometri og CFD

Det ble arbeidet ut fra en målsetting om et design av skrog som delvis kan løftes ut av vann, samt gi plass til en relativt stor kontraroterende propell. Videre skulle skroget formes for optimal innstrømming mot propell. Vi ønsket også å undersøke hvor mye foilene kunne løfte skroget ut av vann, - og hvor mye skrog som burde være neddykket.

Vi la til grunn følgende sentrale arbeidsoppgaver:

- Skroggeometri og optimalisering
- CFD av flere skrogversjoner ble vurdert; monoskrog og katamaran. Vi ønsket å undersøke strømning mot propell og propellneddykking ved forskjellige deplasement, samt estimat på motstand av skrog.

Vi endte opp med et skrog som hadde vann på propell ved 70 tonn løft fra foilene. Potensielt er det mulig med mer løft (mindre skrog i vann) ved å trimme akter.

### 3.3.3 Del 2: Modelltesting

I det følgende kommenteres noen få momenter i forhold til de tester som er utført:

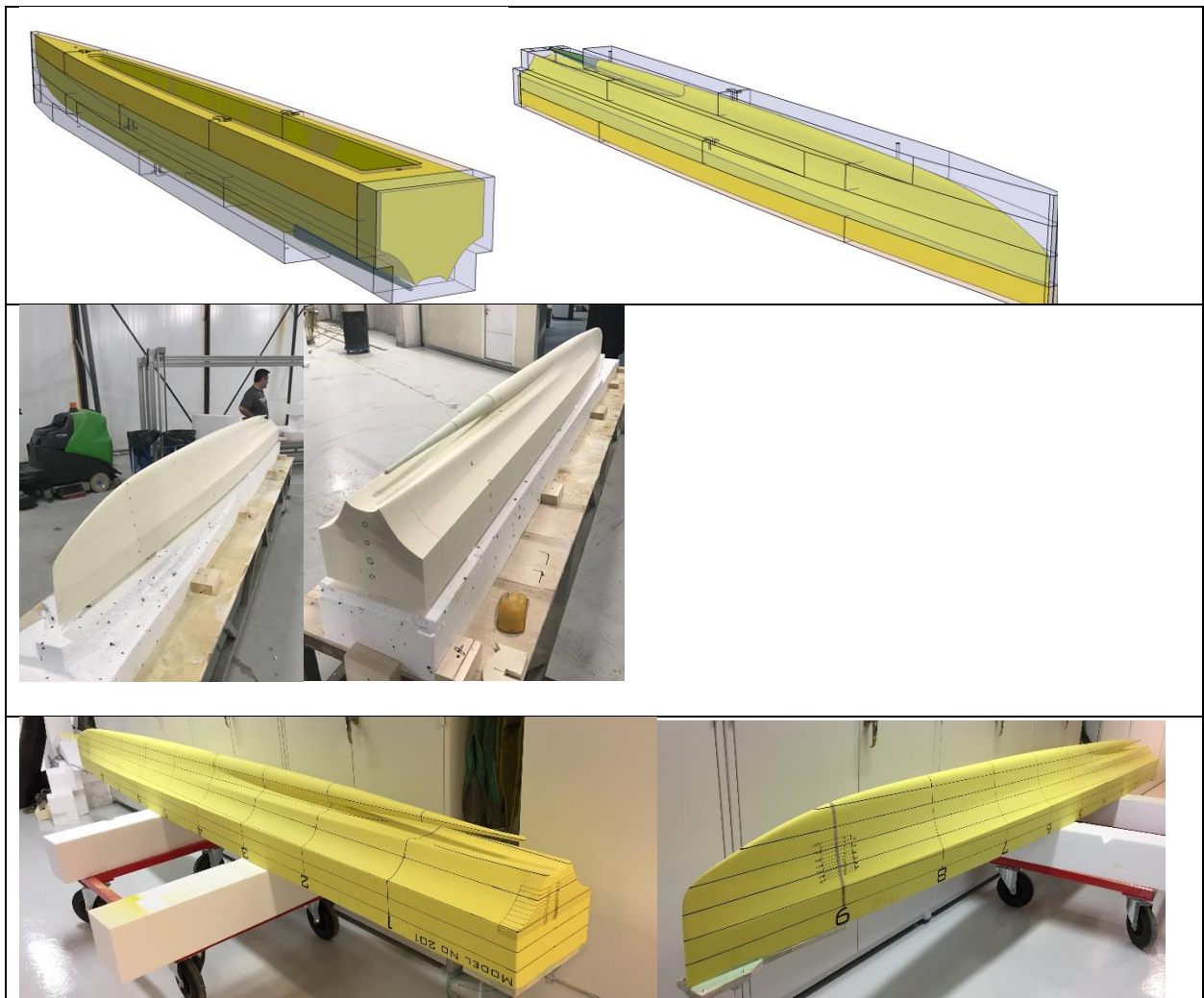
- Modelltest monoskrog (3.3.3.1)
- Modelltest foiler alene (3.3.3.2)
- Modelltest katamaran skrog uten foiler (3.3.3.3)
- Modelltest katamaran skrog med foiler (3.3.3.4)

#### 3.3.3.1 *Modelltest monoskrog*

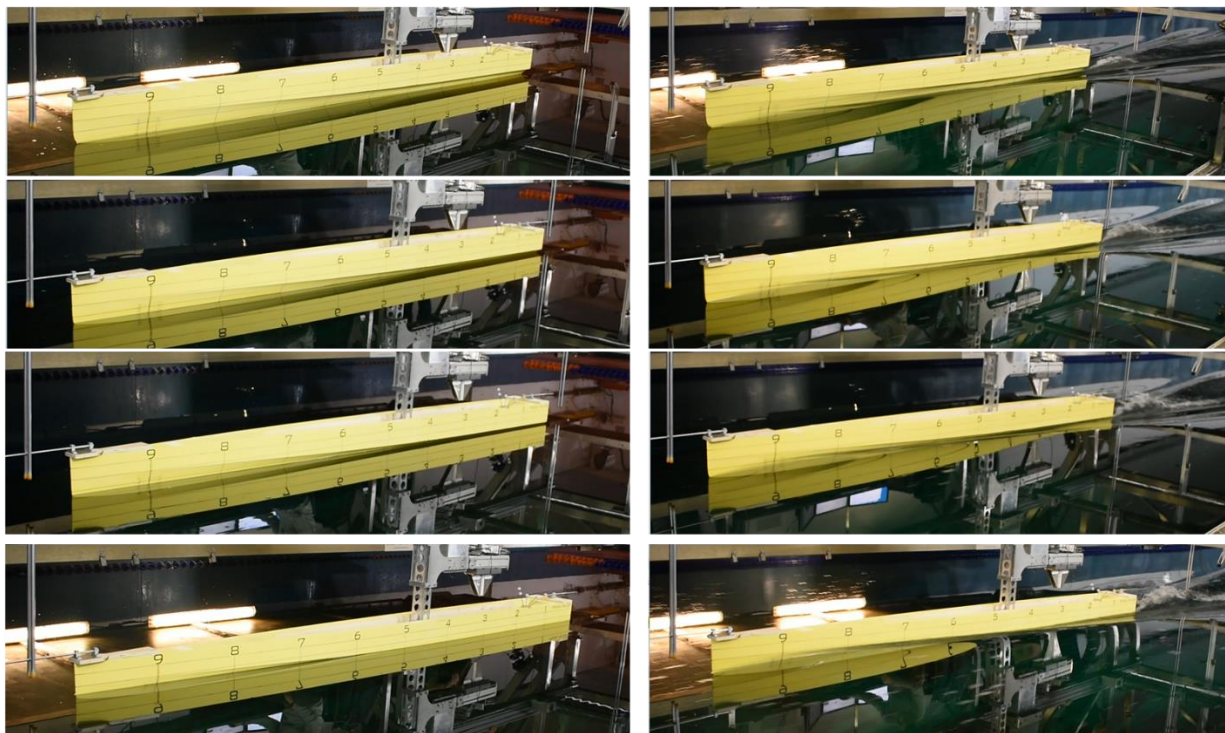
Vi ønsket å:

- Få et mål på motstand av et monoskrog
- Beregne katamaran interferens og estimat på foilmotstand og løft

På dette stadiet i prosessen gjenstår det å bestemme katamaranens tunell interferens og foilenes påvirkning på skroget. Dette blir testet og bestemt i de neste trinnene.



Figur 3-3: Bilder modellproduksjon demi-skrog



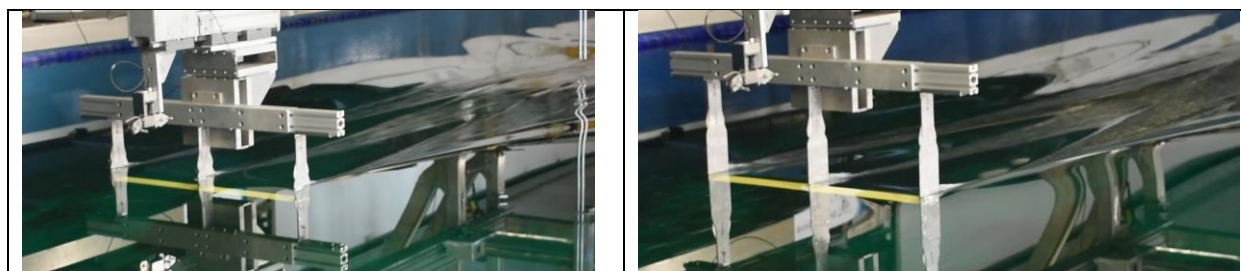
Figur 3-4: Bilder fra modellforsøk av demi-skrog ved forskjellige dypganger.

### 3.3.3.2 Modelltest foiler alene

Vi ønsket å analysere:

- Lift/drag test på 8 m foil - front foil
- Lift/drag test på 8 m foil - akter foil
- Undersøke effekt av neddykking - test ved forskjellige dybder.
- Undersøke forskjellige angrepsvinkler

Etter at foilene ble testet enkeltvis og løft/drag-forhold ble målt/bestemt så gjenstår det fortsatt å undersøke virkningsgradene til foilene når det står to stykker etter hverandre, og montert på det reelle skroget. Dette vil bestemmes i påfølgende trinn.



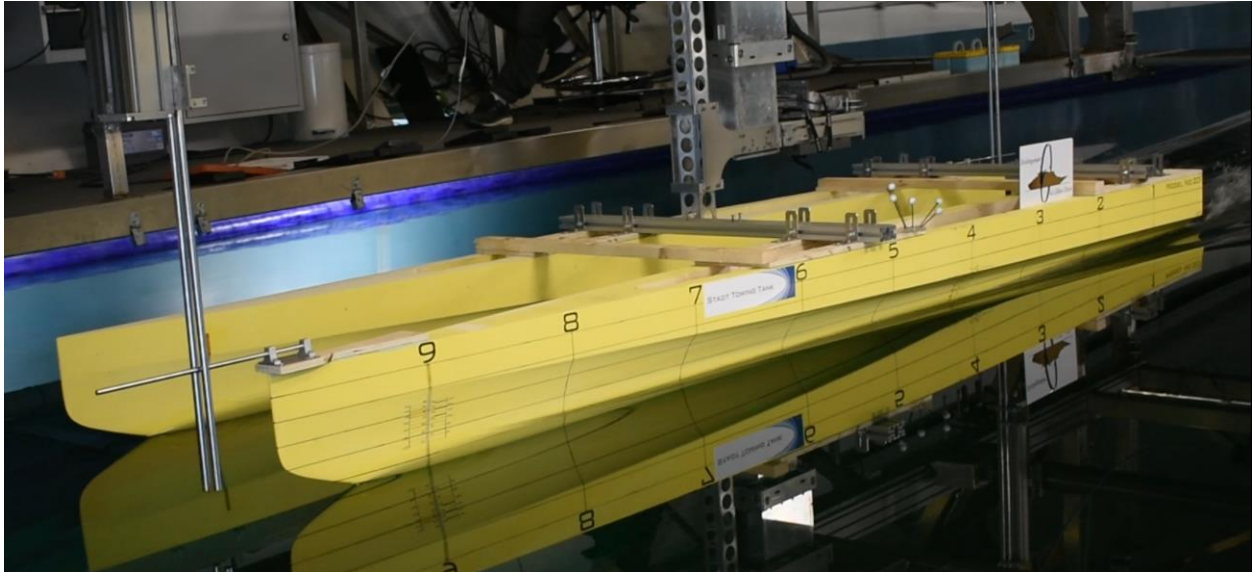
Figur 3-5: Testing av foiler i forskjellige hastigheter og dybder.

### 3.3.3.3 Modelltest katamaran skrog uten foiler

Vi ønsket å vurdere:

- Motstandskurver ved flere dypganger med katamaranskrogene alene. Dette for å vurdere enkeltskrogenes påvirkning på hverandre.

Etter dette punktet gjenstår det usikkerhet ang. foilenes påvirkning på skroget. Dette undersøkes i neste trinn.

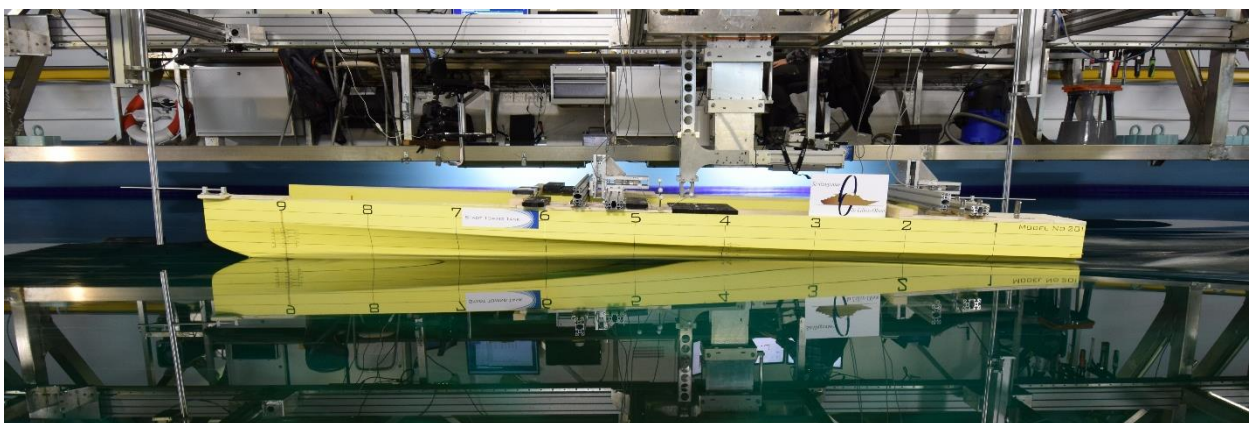


Figur 3-6: Motstandstest av katamaran uten foiler

### 3.3.3.4 Modelltest katamaran skrog med foiler

Vi ønsket å analysere:

- Optimal plassering av foiler
- Justering av angrepsvinkler og finne fornuftig løft
- Totalmotstand - identifisere foilmotstand, løft og skille ut alle komponenter for riktig skalering.



Figur 3-7: Test av katamaran med foiler



### 3.3.4 Del 3: Skalering av testresultat og konklusjon

I vårt arbeid la vi til grunn:

- Bearbeiding av loggedata
- Identifisering av motstandsbidragene fra skrog, skroginterferens, foil front og akter
- Skalering mot fullskala
- Finne den beste konfigurasjon - foil/løft

For skalering av modelltestresultater er det benyttet en hybrid fremgangsmetode hvor skrogkreftene er skalert ved en annen metode enn foilkreftene. Det er noen skalaeffekter som er forskjellige fra foilene og skrogene som gjør at kraftbidragene må måles og skaleres separat.

Motstanden til den komplette modellen inkludert skrog og foiler, ble målt samtidig som kreftene på foilene ble målt separat. Dermed kan man isolere ut den rene skrogmotstanden slik at den kan Froude-skaleres. Deretter legges motstand fra fullskala foiler til slik at man kan beregne totalmotstand i fullskala.

Det er mest sannsynlig mulig å jobbe videre med optimalisering av foilgeometrien til både den fremre og aktre foilen for ytterligere å forbedre løft/drag-forholdet, og dermed redusere totalmotstanden og energiforbruket.

### 3.3.5 Forbehold og utvikling

Priser, vekter, volum er basert på tilgjengelig informasjon i bransjen i dag.

Det er sannsynlig at prisen på batterier vil reduseres, mens vekten har en nedre grense på cellevekten. Dette vil neppe forandre seg før det eventuelt kommer nye batterityper. Forskjellene i batterivekter fra leverandørene går i stor grad på hvordan batteriene er kapslet inn og hvilken kjølemetode som benyttes. Noen leverandører benytter luftkjølte batterier mens andre benytter vannkjølte. Det sistnevnte er tyngre, men har kanskje andre fordeler over tid.

Propellarrangement tilsvarende det som foreslås her er bygget tidligere, men leverandøren av dette hadde ikke kapasitet til å estimere kostnad på et anlegg som passer til denne båten (Kystruten).

Batteribytteknologi må utvikles (se bl.a. kapittel 6.2)

## 4 DRIFTSOPPLEGG NY LØSNING

### 4.1 INNLEDNING

Kapitlet kommenterer miljøutslipp på et overordnet nivå, -og de enkelte rutene basert på følgende kapittelstruktur:

- Løsning generelt
- Lademuligheter i dagens rute
- Forventet energiforbruk og energireserve ombord

Rutemessige konsekvenser kommenteres/sammenfattes i kapittel 0.

### 4.2 MILJØUTSLIPP GENERELT

Samtlige fartøy driftes i dag med dieselmotorer, og har derfor utslipp av både klimagasser (CO<sub>2</sub>) og lokale utslipp (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partikler). Fartøyene er imidlertid nye og lette. Sammenlignet med mange andre dieselopererte hurtigbåtruter i Norge har de derfor relativt lave klima- og lokale utslipp.

Gjennomsnittlig årsforbruk (3 år) av MGO for de tre rutene har vært ca. 5.250.000 liter. Ca. 70% av energiforbruket er knyttet til de to båtene i ruten Trondheim-Kristiansund (Kystekspresen). Utslippene til luft er en konsekvens av forbruket, herunder karboninnholdet i diesel.

Med det forutsatte dieselforbruk tilsvarer CO<sub>2</sub> utslippene for hurtigbåtdriften totalt årlig ca. 14 mill. kg. CO<sub>2</sub> ekvivalenter.

Den foreslåtte løsning med ren batteridrift gir ingen utslipp knyttet til transportarbeidet.

### 4.3 GENERELLE FORUTSETNINGER

Det er forutsatt at nødvendig energi kan tilføres fra land og at lading (der dette er mulig) skjer med 1.5 C, dvs. 1,5 ganger installert energi. I tillegg er det forutsatt at batteriene lades mellom 15% og 85% av installert energi.

## 4.4 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)

### 4.4.1 Løsning generelt

Det er i utgangspunktet foretatt beregninger med en ren batteriløsning med installert energi tilsvarende 1.088 kWh. Det er lagt til grunn at lading kan skje ved hvert anløp. Det er spesielt i morgen- og ettermiddagsrushet med høy produksjon at ladetidene er begrenset. Se bl.a. kapittel 5.3.

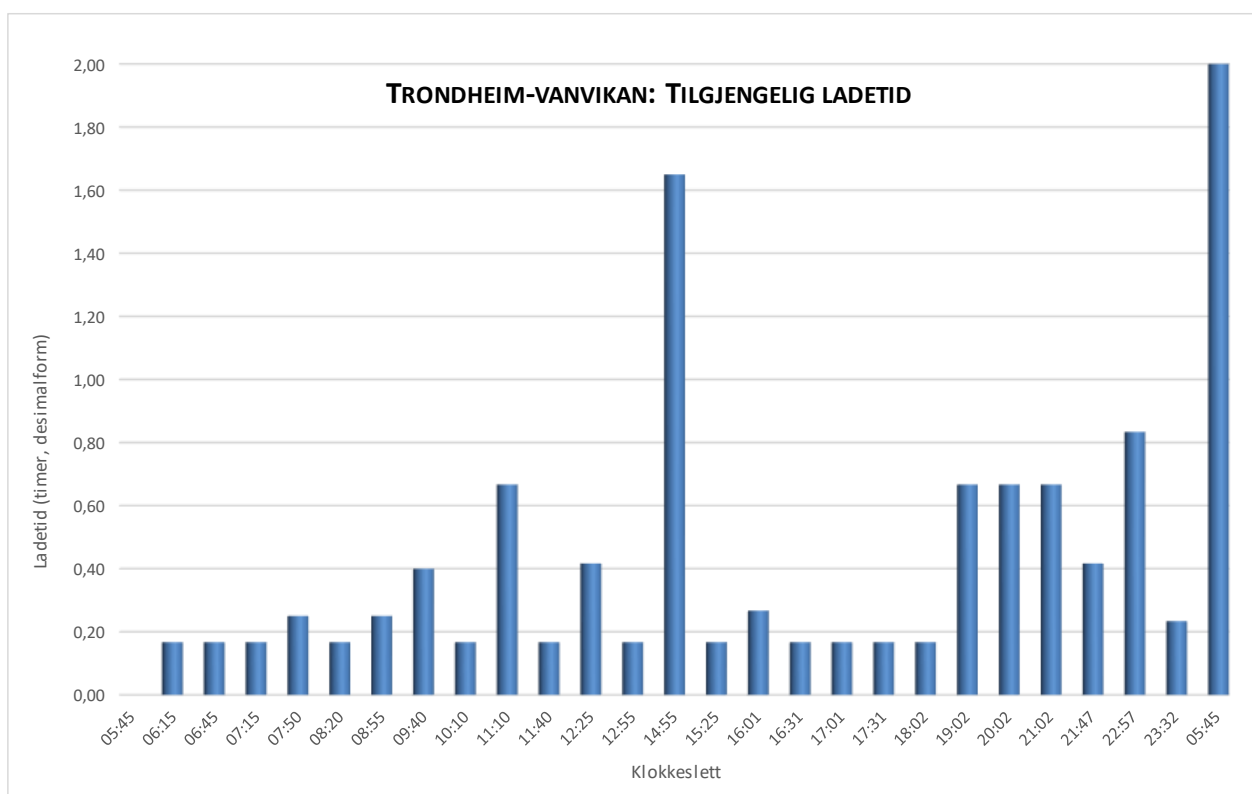
### 4.4.2 Lademuligheter

Ruten har høy trafikk på morgen og ettermiddag, samt liggetider på ca. 10 minutter.

I beregningene er det lagt til grunn lading når liggetiden er 10 minutter eller mer. Effektiv ladetid er forutsatt til 80% av liggetiden. Dvs. hvis liggetiden er 10 minutter, kan det tilføres energi i 8 minutter.

Figuren under viser tilgjengelig ladetid slik rutetabellen er i dag. Y-aksen viser timer i desimalform, slik at 1,0 tilsvarer 60 minutter, 0,5 tilsvarer 30 minutter osv.

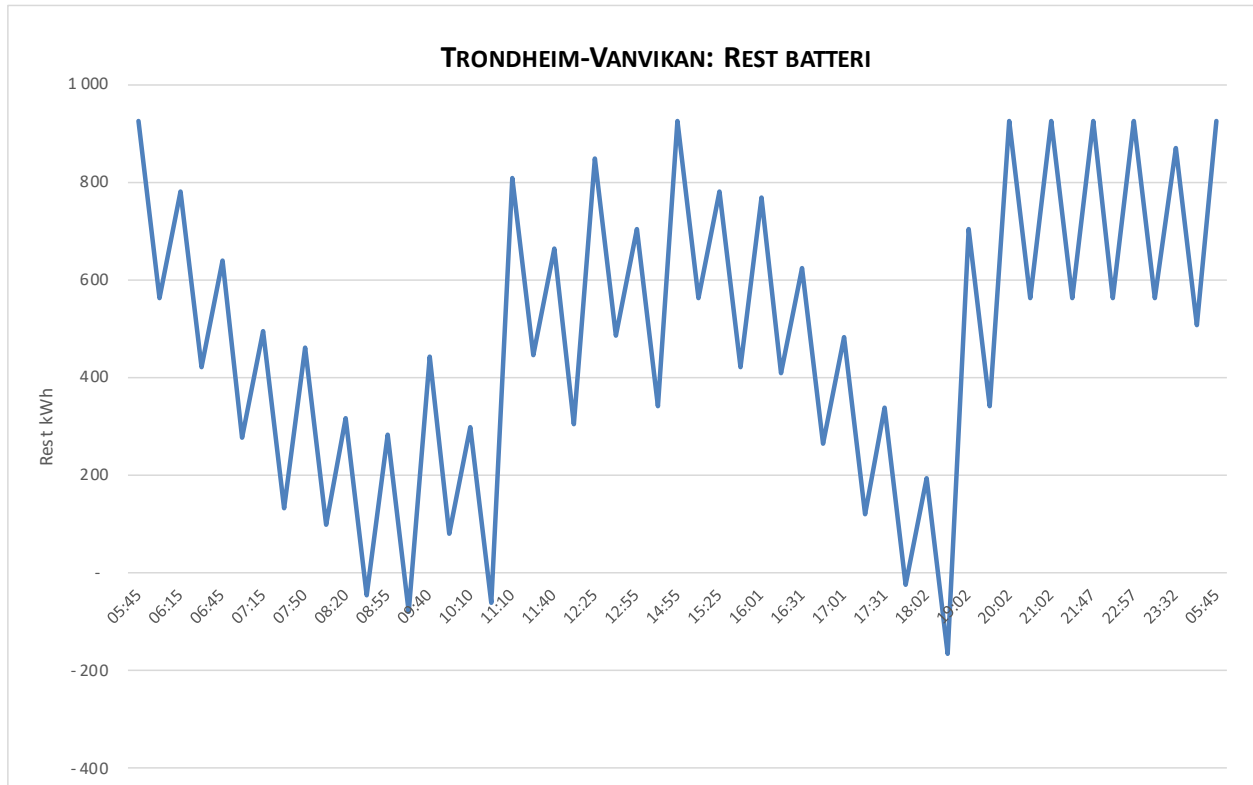
Siste søyle viser ladetiden ved nattligge (05:45 er rutens oppstartstidspunkt i dag). Y-aksen er av visuelle hensyn «kuttet» ved to timer. Båtens liggetid (lademulighet) på natten er rundt 6 timer.



Figur 4-1: Lademuligheter Trondheim-Vanvikan

#### 4.4.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord

Med de ladeforutsetninger som er gjengitt i kapittel 4.4.2 vil energireserven om bord, i løpet av et døgn med høy trafikk, utvikles som i figur 4-2.



Figur 4-2: Energireserve Trondheim-Vanvikan

Med de benyttede forutsetninger er energireserven for lav på morgen og ettermiddag.

Det er mulig å løse denne utfordringen ved ett eller flere tiltak, f.eks.:

- Øke installert energi med 15-20%. Dette kan imidlertid medføre noe økt vekt og høyere investeringer
- Justere ruten ved å øke liggetidene på morgen og ettermiddag (se kapittel 5.3)
- Utvikle et konsept som gir 10 minutters effektiv lading når liggetiden er 10 minutter (vi har lagt til grunn 80% av liggetiden som effektiv ladetid).
- Øke tilført energi fra land til batteriene fra 1,5 C til ca. 1.9 C.

## 4.5 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)

### 4.5.1 Løsning generelt

Beregningene indikerer at denne ruten kan opereres med ren batteriløsning med 8 batterier (installert energi 4.353 kWh).

Ut fra dagens rutemønster er det ikke vurdert som mulig å basere seg kun på lading av batteriene. Det er lagt opp til at batteribytte må gjennomføres (se kapittel 6.2).

### 4.5.2 Lademuligheter

Ruten har høy trafikk på morgen og ettermiddag, samt korte liggetider. Dagens rute gir rom for lading på noen få tidspunkter, inkludert nattlige i Trondheim.

Lademulighetene, ved dagens rutestruktur, er vist i figur 4-3. Y-aksen viser timer i desimalform, slik at 1,0 tilsvarer 60 minutter, 0,5 tilsvarer 30 minutter osv.

Siste søyle viser ladetiden ved nattlige (06:20 er rutens oppstartstidpunkt i dag). Y-aksen er av visuelle hensyn «kuttet» ved tre timer. Båtenes liggetid (lademulighet) på natten er over 9 timer.

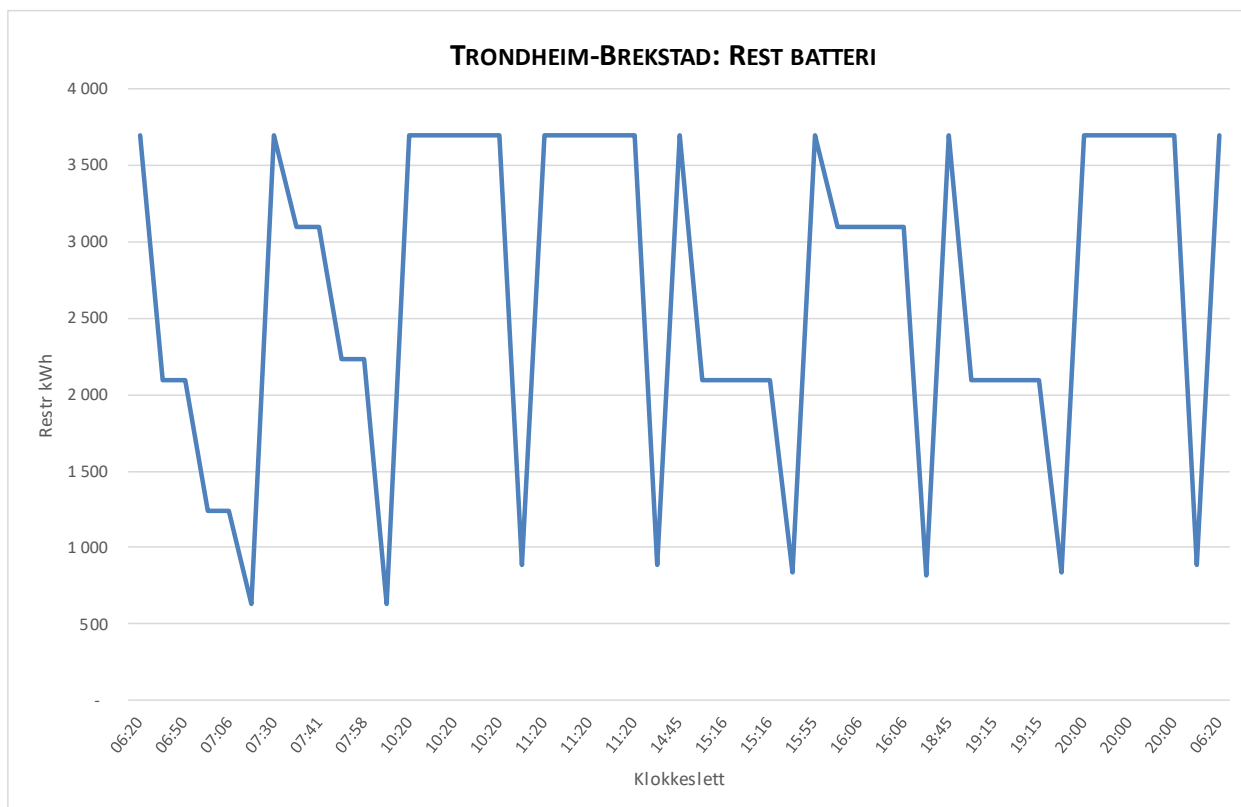


Figur 4-3: Lademuligheter Trondheim-Brekstad

### 4.5.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord

Energiberegningene inkluderer mellomanløp av Lensvik og Hysnes, jfr. dagens rute.

Med de ladeforutsetninger som er gjengitt i kapittel 4.5.2 vil energireserven om bord, i løpet av et døgn med høy trafikk, utvikles som i figur 4-4.

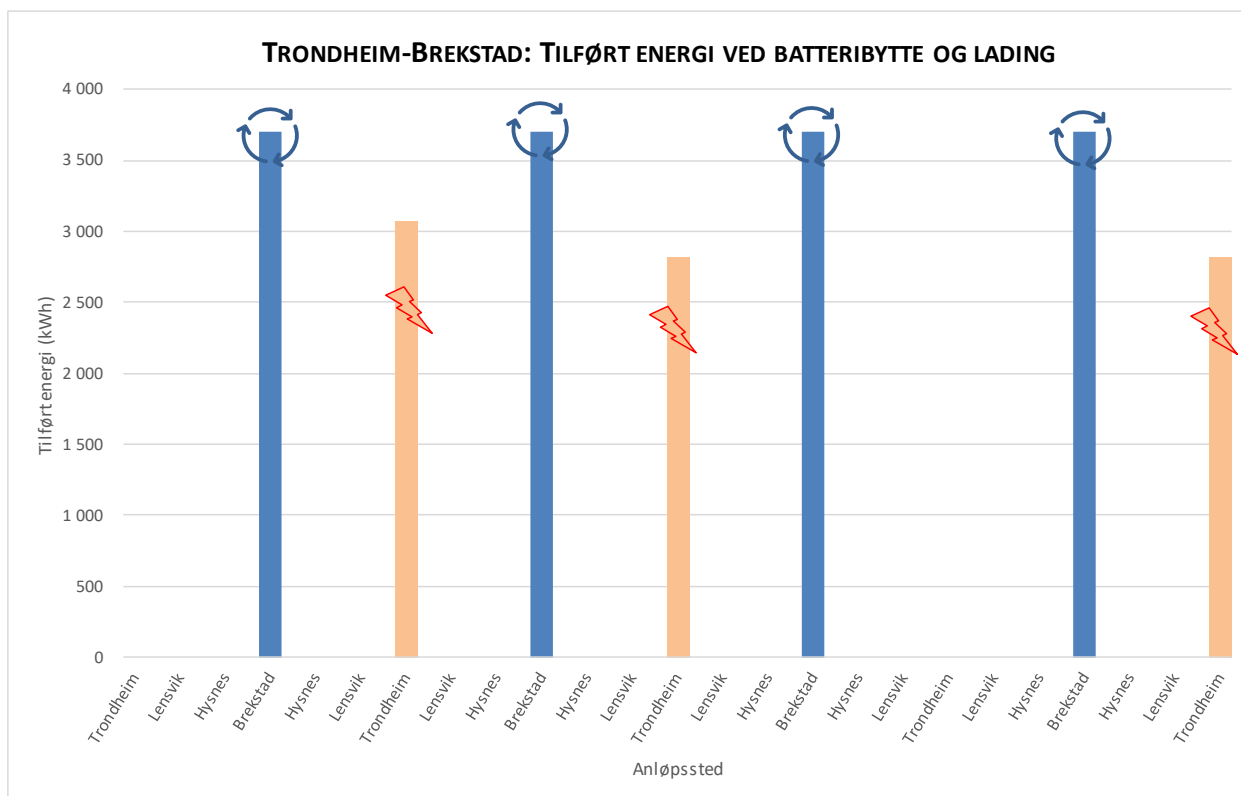


Figur 4-4: Energireserve Trondheim- Brekstad

Med de benyttede forutsetninger ligger energireserven mellom 85% og 15%.

Figur 4-5 viser hvordan energibehovet kan tilføres, ved batteribytter og ved lading der liggetidene tillater det. I løpet av en dag (med høy produksjon) er det behov for 4 batteribytter a 3 699 kWh (blå søyler i figuren tilsvarer 85% av installert energi). Med dagens rute kan alle batteribyttene skje på Brekstad siden liggetidene i Trondheim tillater lading.

Liggetidene gir rom for 3 ladinger i Trondheim (inkludert nattligge). Lading er vist med orange søyler i figuren. Ladebehovet blir lavere enn 85% av installert energi som følge av at det er noe restenergi igjen i batteriene ved ladestart.



Figur 4-5: Behov for tilført energi Trondheim- Brekstad

Hvis rutestrukturen skal være uendret fra i dag har vi lagt til grunn at fire batteribytter (pr dag) kan skje på Brekstad innenfor dagens liggetider.

Disse varierer i dag fra ca. 5-20 minutter, noe som krever at det utvikles et system for raske batteribytter. Dette systemet finnes ikke i dag.

## 4.6 TRONDHEIM-BREKSTAD-SANDSTAD-KRISTIANSUND (RUTE 800)

### 4.6.1 Løsning generelt

Beregningene indikerer at denne ruten (Kystekspresen=KEX) kan opereres med ren batteriløsning med 8 batterier (installert energi 4.353 kWh pr fartøy). Ut fra dagens rutemønster er det ikke vurdert som mulig å basere seg kun på lading av batteriene. Batteribytte må gjennomføres (se kapittel 6.2).

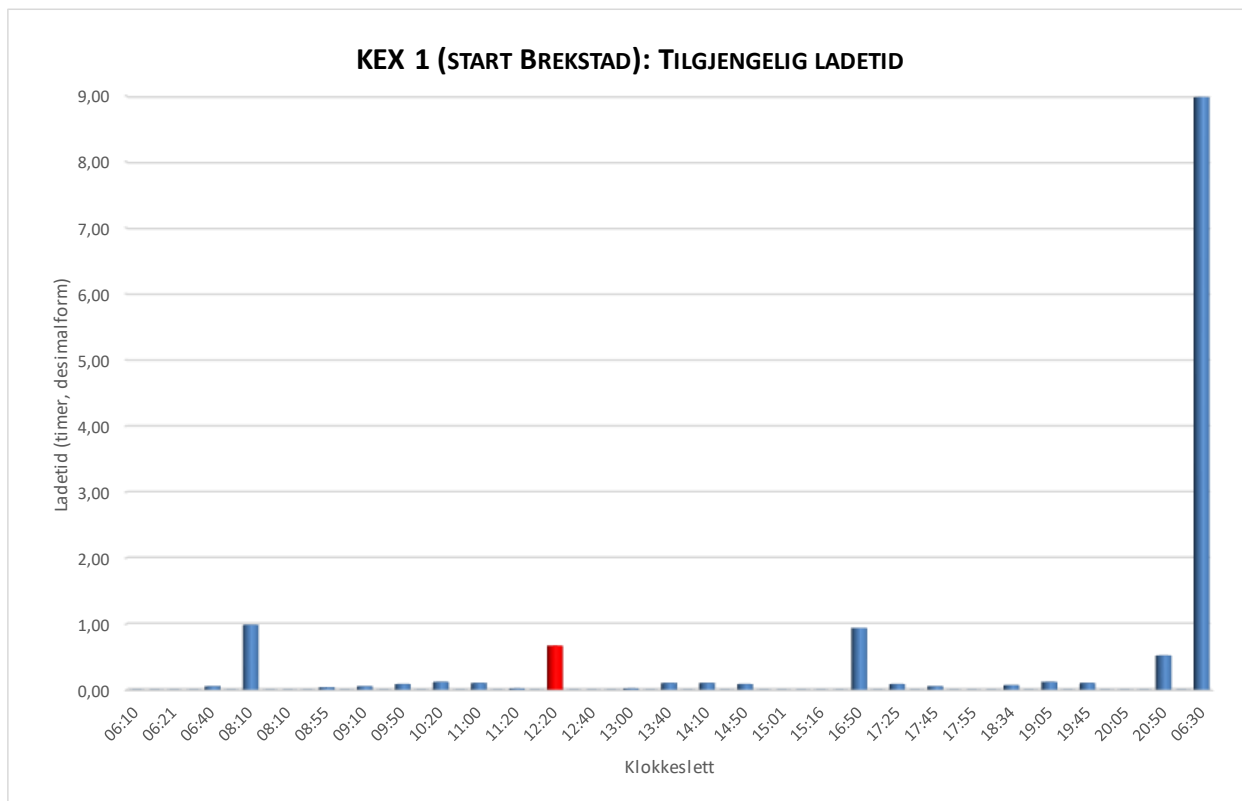
### 4.6.2 Lademuligheter

Ruten opereres med 2 fartøy:

- KEX1: Sørgående, med start på Brekstad (via Trondheim)
- KEX2: Nordgående, med start Edøy (via Kristiansund)

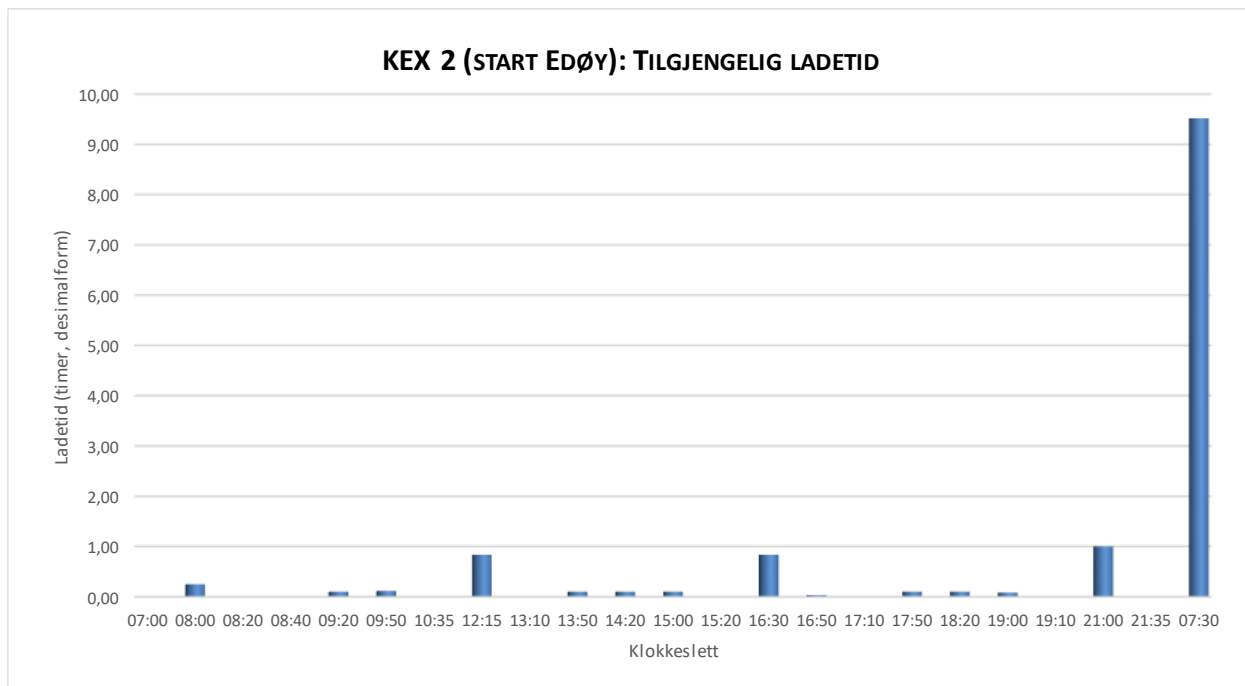
Rutene har gjennomgående høy belastning og korte liggetider. Dagens rute gir rom for lading på noen få tidspunkter/anløpssteder, inkludert nattligge på Brekstad og Edøy. Basert på dagens ruteopplegg og avstander har vi basert oss på batteribytter på Brekstad og Kjørsvikbugen, og lading der tiden tillater det.

Med unntak av en økning i liggetiden i Kristiansund fra 20 til 40 minutter (KEX1 kl. 11.40) er det i utgangspunktet ikke foretatt rutejusteringer, og lademulighetene er vist i figur 4-6 (KEX1) og figur 4-7 (KEX2). Figuren under viser tilgjengelige ladetider. I figur 4-6 har vi vist endret liggetid i Kristiansund med en **rød** søyle. Y-aksen viser timer i desimalform, slik at 1,0 tilsvarer 60 minutter.



Figur 4-6: Lademuligheter KEX1 (sørgående, start Brekstad)





Figur 4-7: Lademuligheter KEX2 (nordgående, start Edøy)

#### 4.6.3 Forventet energiforbruk og energireserve ombord

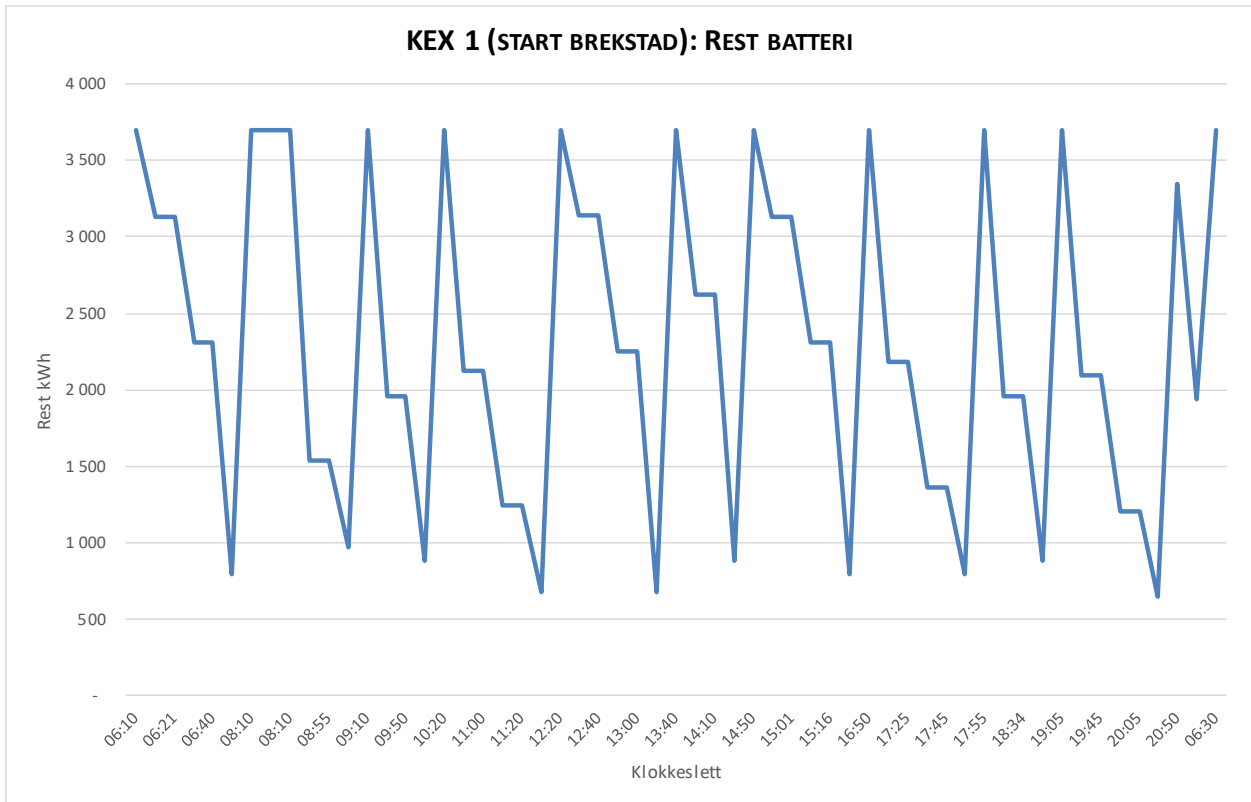
Ruten er lang og energibehovet på de enkelte strekninger varierer.

Rutene (KEX1 og KEX2) er litt forskjellige mht produksjon og liggetider. En dagsrotasjon for KEX1 har en produksjon på i overkant av 340 n.m. og en dagsrotasjon for KEX2 ligger i underkant av dette. Med unntak av nattlige på Edøy og Brekstad, har rutene kun 3-4 timer tilgjengelig ladetid i løpet av en hverdag.



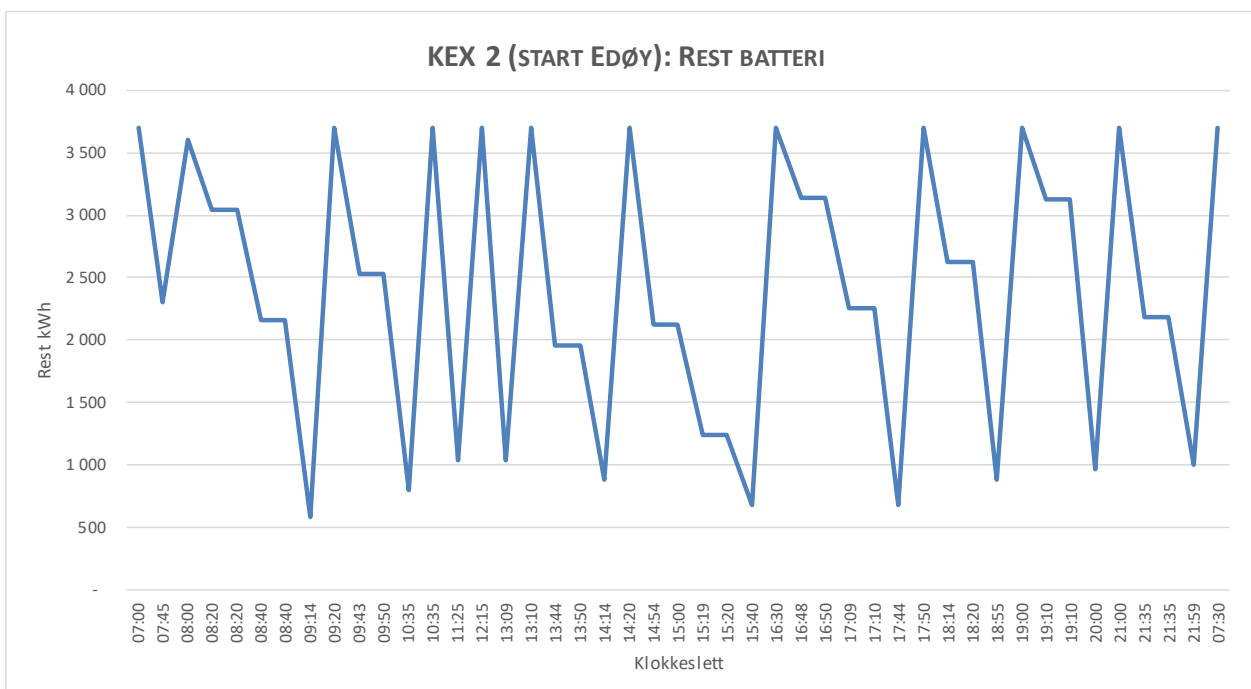
Energibehovet for en dagsrotasjon for KEX1 er beregnet til 30 398 kWh og 29 772 for KEX2.

Med de ladeforutsetninger som er gjengitt i kapittel 4.6.2 vil energireserven om bord, i løpet av et døgn med høy trafikk, utvikles som vist i figur 4-8 (KEX1) og figur 4-9 (KEX2)



Figur 4-8: Energireserve KEX1 (sørgående, start Brekstad)

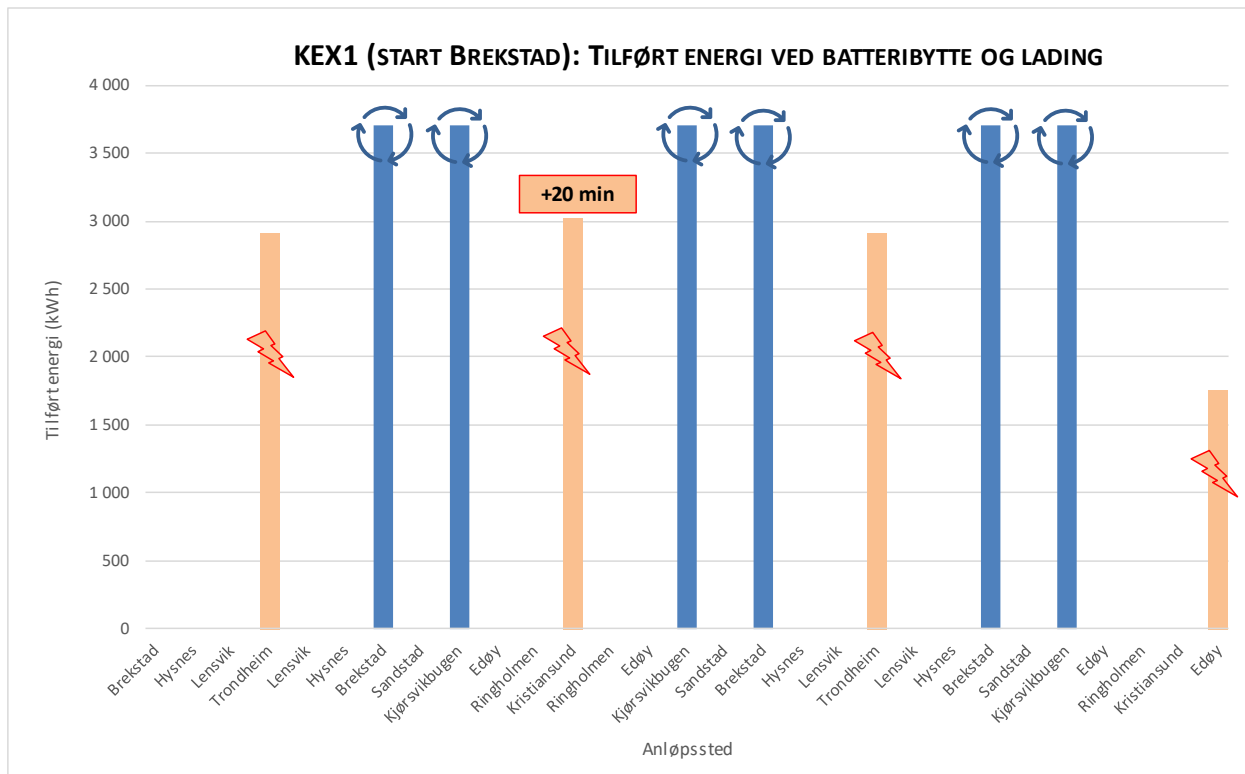
Med de benyttede forutsetninger ligger energireserven mellom 85% og 15%.



Figur 4-9: Energireserve KEX2 (nordgående, start Edøy)

Med de benyttede forutsetninger ligger energireserven mellom 85% og 13%.

Figur 4-10 (KEX1) Figur 4-11 (KEX2) viser hvordan energibehovet kan tilføres, ved batteribytter og ved lading der liggetidene tillater det.



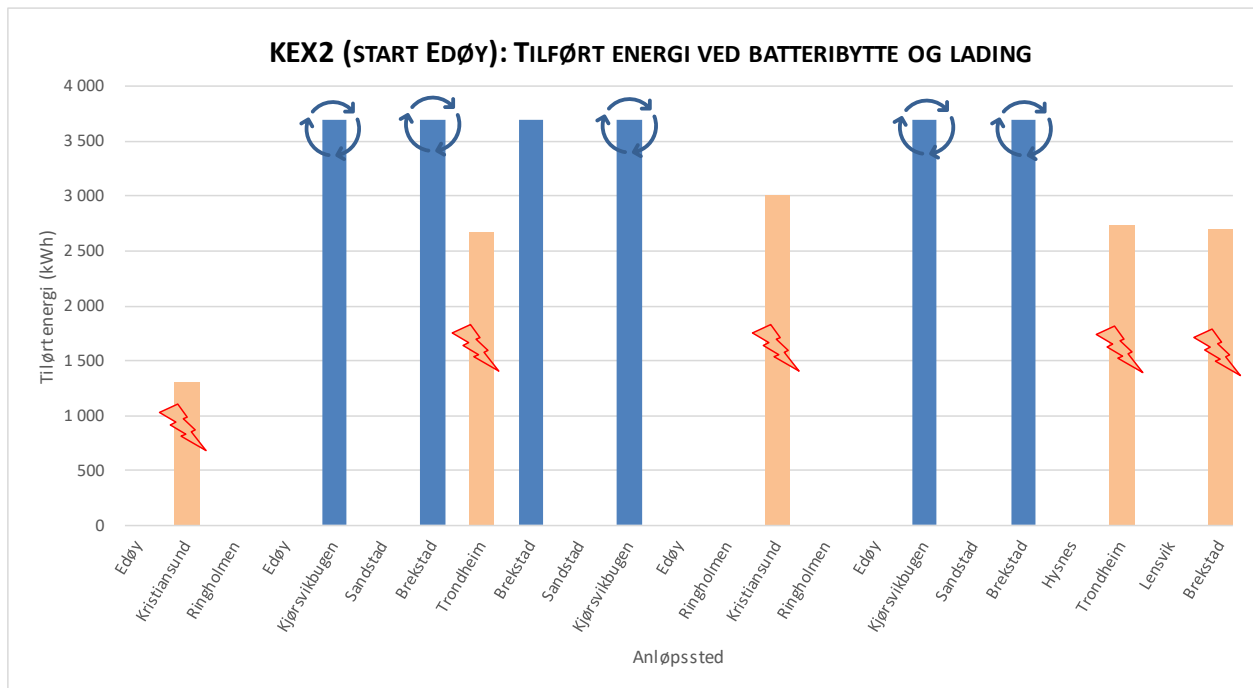
Figur 4-10: Behov for tilført energi KEX1 (sørgående, start Brekstad)

I løpet av en dag (med høy produksjon i KEX1) anslår vi et behov for seks batteribytter a 3 699 kWh (blå søyler i figuren tilsvarer 85% av installert energi). Det legges opp til bytte av batterier på Brekstad og Kjørsvikbugen.

Liggetidene gir rom for 4 ladinger i Trondheim, Kristiansund og Edøy (nattligge). Lading er vist med orange søyler i figuren. Ladebehovet blir lavere enn 85% av installert energi som følge av at det er noe restenergi igjen i batteriene ved ladestart. Endret liggetid fra 20 til 40 minutter i Kristiansund er markert med tekstboks.

Hvis rutestrukturen skal være uendret fra i dag (med unntak av foreslått økt liggetid i Kristiansund) har vi lagt til grunn at seks batteribytter (pr dag) kan skje på Brekstad og Kjørsvikbugen innenfor dagens liggetider.

Disse liggetidene er svært korte og varierer fra ca. 2-6 minutter, noe som krever at det utvikles et system for raske batteribytter. Dette systemet finnes ikke i dag.



Figur 4-11: Behov for tilført energi KEX2 (nordgående, start Edøy)

I løpet av en dag (med høy produksjon i KEX2) anslår vi et behov for seks batteribytter a 3 699 kWh (blå søyler i figuren tilsvarer 85% av installert energi). Det legges opp til bytte av batterier på Brekstad og Kjørsvikbugen.

Liggetidene (dagens rute) gir rom for 5 ladinger i Kristiansund, Trondheim og Brekstad (nattligge). Lading er vist med orange søyler i figuren. Ladebehovet blir lavere enn 85% av installert energi som følge av at det er noe restenergi igjen i batteriene ved ladestart.

Hvis rutestrukturen skal være uendret fra i dag har vi lagt til grunn at seks batteribytter (pr dag) kan skje på Brekstad og Kjørsvikbugen innenfor dagens liggetider.

Disse varierer i dag fra ca. 2-6 minutter, noe som krever at det utvikles et system for raske batteribytter. Dette systemet finnes ikke i dag.

## 5 RUTEMESSIGE KONSEKVENSER

### 5.1 DAGENS RUTEOPPLEGG

Prosjektet er relatert til 3 ruter som opererer i Trøndelag og Møre og Romsdal. Rutene er gjenstand for offentlig kjøp fra fylkeskommunene Trøndelag og Møre og Romsdal. De 3 rutene er:

- Trondheim – Vanvikan (rute 810)
- Trondheim – Brekstad (rute 805)
- Trondheim – Kristiansund (rute 800)

Rute 800 (Trondheim-Kristiansund) er et samarbeid mellom Møre og Romsdal og Trøndelag fylkeskommune. For de to øvrige er kun Trøndelag involvert. De tre rutene er vist i figuren:



Figur 5-1: Dagens ruter/båter 3 hurtigbåtruter

### 5.2 KONSEKVENSER AV NY LØSNING

Utgangspunktet er at lading tar tid, selv med høy effekt/hurtiglading, og at dette ikke alltid er forenlig med hurtigbåtruter med høye energibehov og ruter med svært korte liggetider.

For ruter uten mellomanløp (Trondheim-Vanvikan), og der det ikke er behov for lading underveis, kan det være mulig å betjene ruten med lading uten batteribytter.

Ruter med mellomliggende anløp, korte liggetider og høyt energibehov, slik at lading må skje underveis, bør tilføres energi via raske batteribytter eller at rutene må endres. Dette gjelder Kystekspresrutene (KEX1 og KEX2) og Trondheim-mellomsteder-Brekstad.

### **5.3 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)**

Denne ruten betjenes med en katamaran med rutehastighet 25 knop og plass til 130 passasjerer. Ruten er ca. 8,4 n.m. en vei og overfarten tar ca. 22-23 minutter. Det er ingen mellomanløp.

For å kunne operere ruten med batteri og lading, bør liggetidene økes noe på morgen og ettermiddag. I vår kalkyle har vi basert oss på at det er mulig å lade innenfor en liggetid på 10 minutter og lagt inn følgende ruteendringer:

- Mellom 08:00 og 09:00 økes liggetiden med ca. 15 minutter totalt. Det er mulig at ruten kan starte opp noen minutter tidligere enn dagens rutetabell for å utjevne endringene.
- Mellom 17:30 og 18:30 økes liggetiden med ca. 15-20 minutter. Pausen midt på dagen (ca. før avgangen 15:00 fra Trondheim) kan muligens gjøres kortere for å utjevne endringene på ettermiddagen.

Andre endringer kan gjøres for å oppnå samme effekt, jfr. kapittel 4.4.3.

### **5.4 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)**

Denne ruten er forutsatt betjent med en båt med større kapasitet enn dagens Trondheimsfjord I i et fremtidig ruteopplegg. Beregningene er basert på en båt tilsvarende den som er prosjektert for Kystekspresen (276 PAX).

Ruten er ca. 29 n.m. en vei uten mellomanløp, og ca. 32 n.m. med mellomanløp på både Lensvik og Hysnes. Transporttiden en vei er 55-65 minutter, noe avhengig av antall mellomanløp.

Gjennomføring av ruten etter dagens rutetabell må baseres på batteribytter og lading der det er mulig. Ruteendringer kan unngås hvis det er mulig å gjennomføre raske batteribytter (10-20 minutter).

### **5.5 TRONDHEIM – BREKSTAD – SANDSTAD - KRISTIANSUND (RUTE 800)**

Dette er ruten med den største utfordringen, - da ruten er lang, opereres med høy hastighet og har flere mellomanløp.

Denne ruten skal betjenes av to store katamaraner med rutehastighet 30-35 knop og 276 PAX.

Ruten, en vei, er over 95 n.m. og transporttiden er ca. 3.5 timer.

Basert på fire sentrale forutsetninger kan denne ruten opereres med ren batteridrift:

## RAPPORT FASE 2: FREMTIDENS UTSLIPPSFRIE HURTIGBÅTER (OFFENTLIG VERSJON)

- Batterier må byttes. Det legges oppå til to batteribyttesteder. I det foreløpige opplegget er dette Brekstad og Kjørsvikbugen
- Liggetiden i Kristiansund bør utvides med minst 20 minutter kl. 11:40 for sørgående fartøy (KEX1).
- Hverken KEX1 eller KEX2 har reelle liggetider på Brekstad og i Kjørsvikbugen, med unntak av nattligge på Brekstad for KEX2. Liggetidene må samkjøres i forhold til hvor lang tid batteribytting vil ta. For begge rutene gjelder dette 3 anløp av Brekstad og 3 anløp av Kjørsvikbugen.
- Tilstrekkelig energitilførsel hvor konvensjonell lading skjer.

## 6 KRAV TIL INFRASTRUKTUR PÅ LAND

### 6.1 TILFØRT ENERGI

For de steder hvor det legges opp til lading, herunder lading av byttebatterier, må energitilførselen være tilstrekkelig. Basert på de benyttede forutsetninger gjelder følgende:

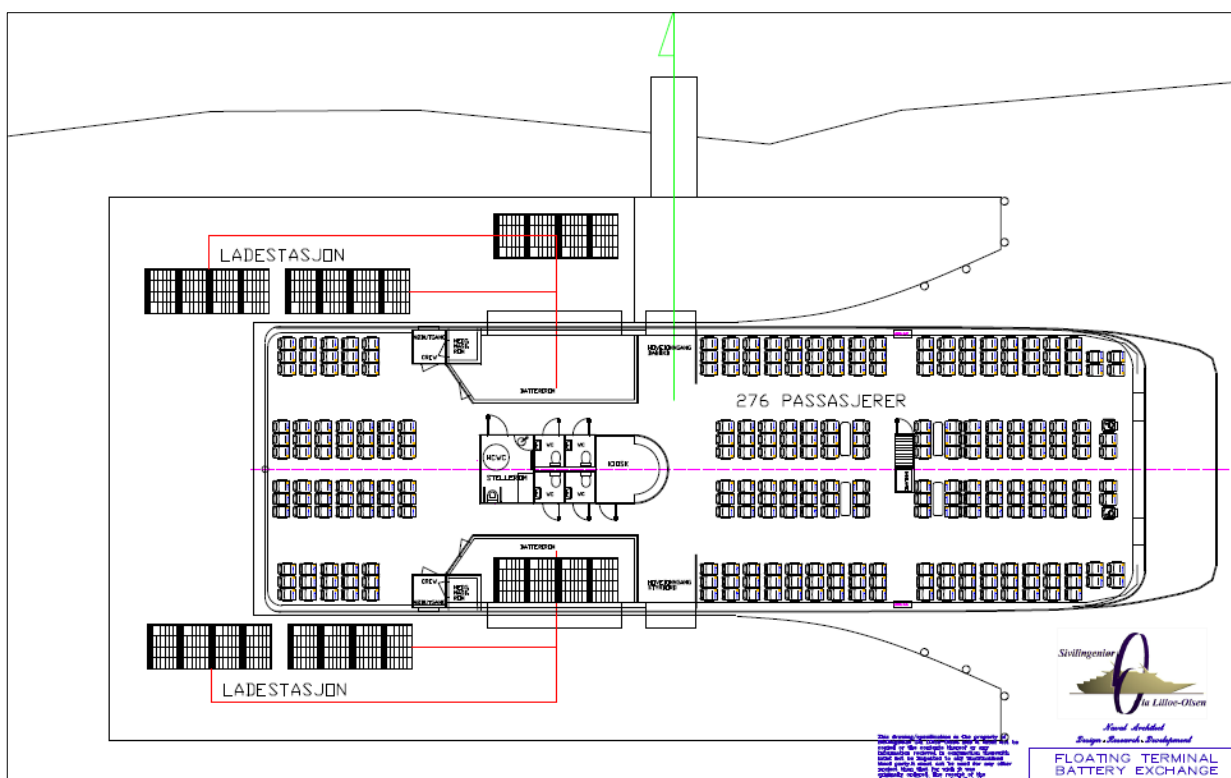
- Trondheim (1,5 C av installert energi = max 4 352 x 1,5 =6,500 kW)
- Vanvikan (1,5 C av installert energi =max 1 088 x 1,5 = 1 632 kW)
- Brekstad (1,5 C av installert energi = max 4 352 x 1,5 =6,500 kW)
  - og saktelading på natten
- Kristiansund (1,5 C av installert energi = max 4 352 x 1,5 =6,500 kW)
- Edøy (saktelading på natten)

### 6.2 BATTERIBYTT

For rutene med store båter har vi i driftsoppleggene basert oss på et konsept med raske batteribytter, - kombinert med lading der liggetiden tillater det.

Et velfungerende batteribytte vil kunne bidra til færre og mindre kontroversielle rutejusteringer.

Batteribytte betyr at «bruke» batterier om bord byttes med fulladede batterier fra land. Byttene kan sikkert løses på flere måter, men vi har sett på en mulighet der hurtigbåten legger til ved en flytende U-formet kaiinstallasjon.



Figur 6-1: Foreløpig skisse til mulig løsning, batteribytte ved flytende kaianlegg



En flytekai vil kunne bidra til tilstrekkelig konstant vertikal posisjon mellom kai og båt. Dette forenkler bytteoperasjonen og muligheten for å utvikle en enkel og rask teknologi ved batteribytte.

Batteribyttekonseptet må utvikles gjennom et eget prosjekt, herunder hvordan maritime kondisjoner som vær og vind påvirker operasjonen.

Noen visualiseringer fra en foreløpig konseptskisse er vist med bilder nedenfor.



EC\_40 bakker inn i terminal for batteribytte og av/på-stigning for passasjerer.

*Bilde 6-1: Batteribytte: fartøy inn til terminalen*



Båten posisjoneres automatisk og låses i flyteterminalen.

*Bilde 6-2: Batteribytte: automatisk posisjonering*



Område for passasjerer og batteribytte er fysisk adskilt.

*Bilde 6-3: Batteribytte: adskilte områder batteribytte og passasjerer*



Batteriene er frakoblet båtenes nett og kan kjøres ut i ladestasjonene.

*Bilde 6-4: Batteribytte: utkjøring av batterier*



Helautomatisk robotsystem basert på Trolley vogner.

*Bilde 6-5: Batteribytte: Robotsystem*

## 7 ØKONOMI

### 7.1 INNLEDNING OG FORVENTNINGER

Det er gjennomført økonomiske beregninger basert på forventninger fra Oppdragsgiver (bl.a. energikostnad) og de forutsetninger som er lagt til grunn i prosjektet. Det er usikkerhet knyttet til beregningene.

### 7.2 METODE

Metodikken er basert på en endringsberegning, der det basisalternativ endringer beregnes fra er nye dieseldrevne fartøy og dagens ruteproduksjon.

For de kostnadsposter hvor det forventes endringer vil det foretas en sammenligning mellom dieseldrevne fartøy og batteridrevne nullutslippsfartøy for de tre aktuelle rutene. Dvs. at det er forskjellen i kostnader mellom dieseldrift og batteridrift som kommer frem i beregningene.

Hurtigbåt drift består i hovedsak av fire poster som styrer det meste av kostnadssiden. Dette er:

#### Investeringer og investeringsrelaterte kostnader (kapital, assurance mv)

Endringer i investeringer vil i liten grad komme som følge av skrog og fartøyet i seg selv, men som følge av differansen mellom investeringen i dieselmotorer-/systemer og batteriinvesteringen. Investeringer må også beregnes med basis i forskjellige investeringskomponenter (fartøy og batteripakker) med forskjellig levetid. Dette påvirker f.eks. investeringens lønnsomhet ved at batteriene normalt må skiftes ut og amortiseres/avdras raskere enn selve fartøyet.

Investeringer på land er ikke inkludert i beregningene, med unntak av «byttebatterier». «Byttebatterier» og flyteterminaler er bl.a. kommentert i kapittel 6.2.

#### Hyre- og mannskapskostnader

Så lenge det ikke er betydelige ruteavvik vil det neppe skje store avvik i hyre- og mannskapskostnader ved batteridrift. Det er forutsatt samme hyre- og mannskapskostnader uavhengig av fremdriftsform.

#### Energikostnader

Energikostnadene vil påvirkes av både energibehovet og prisen på de forskjellige energikilder. Se kapittel 7.5.

#### Vedlikeholdskostnader

Vedlikehold vil også påvirkes som følge av endret teknologi, bl.a. ved at dieselmotorer, tanker, rør osv. erstattes med elektromotorer, batterier og tilhørende systemer. Øvrige vedlikeholdskostnader (skrog mv) forutsettes å være de samme.

## 7.3 HOVEDFORUTSETNINGER FOR BEREGNINGENE

### Generelt

- Dagens rutetabell er i hovedsak lagt til grunn
- Differansekalkylen utarbeides for 3 uavhengige ruter:
  - Trondheim-Vanvikan, basert på en båt med størrelse 131 PAX
  - Trondheim-Brekstad, basert på en båt med størrelse 276 PAX
  - Trondheim-Kristiansund, basert på to båter med størrelse 276 PAX
- Generell kostnadsvekst 2,5 % pr. år
- Det er lagt til grunn en kontantstrømskalkyle til totalkapitalen. Dvs. at finansieringen av investeringer og kontantunderskudd ikke inngår i kontantstrømmene
- Kalkyleperioder 10 og 30 år
- Diskonteringsfaktorer ved nåverdiestimer er 10%. Dette indikerer at det er en viss usikkerhet i de foretatte kontantstrømsestimer ved at fremtidige kontantstrømmer får en lavere verdi. Realavkastningen som benyttes i kalkylene blir da 7,3%.

### Investeringer og investeringsrelaterte kostnader (kapital, assurance mv)

- Investeringen ved batteridrift beregnes ut fra investeringspriser på:
  - Batterier: NOK 5.000 pr. kWh installert energi
  - Elektromotorer og systemer: 37,5 mill. pr. 276 PAX og NOK 18,75 mill. pr. 131 PAX
- Tilsvarende investeringer for dieselinntallasjoner og systemer er basert på:
  - 131 PAX: NOK 16 mill.
  - 276 PAX: NOK 25 mill.
- Installert kWh for de enkelte fartøy er:
  - 131 PAX: 1.088 kWh
  - 276 PAX (Brekstad): 4.352 kWh
  - 276 PAX (Kystekspresen): ca. 4.352 kWh
- Det er lagt til grunn 10 års levetid for batteripakkene. Dvs at batteripakken skiftes hvert 10. år.
- I kalkylene er det lagt inn batteriinvesteringer på land. Da det er forutsatt batteribytte for 3 like båter bør det være mulig å optimalisere antallet batterier basert på en samkjøring av rutene. I kalkylene er følgende forutsatt:
  - Trondheim-Brekstad: 1 ekstra batteriinstallasjon basert på basert på de samme forutsetninger som batteriene om bord
  - Kystekspresen: 1,5 ekstra batteriinstallasjon, pr. båt, basert på basert på de samme forutsetninger som batteriene om bord
- Det er ikke lagt inn en residualverdi for batteripakkene etter 10 år. Dvs restverdien er satt til null. Bruk av en restverdi vil bedre kalkylene.
- Det er fokusert på driften av fartøyet, slik at landrelaterte investeringer som f.eks. kaitilpasninger, batteribytteterminal, strømtilførsel mv. ikke er medtatt.

#### Energikostnader

- Basisreferansen for energikostnadsberegningen er de drivoljevolum nye dieseldrevne fartøy forventes å benytte i de aktuelle ruter pr. år. Dieselbehovet pr. n.m. er basert på beregninger og empiri.
- Det er benyttet kr. 7 pr. liter MGO (forutsetning gitt fra Trøndelag fylkeskommune).
- Energibehovet basert på batteridrift pr. nm er basert på beregninger
- Det er benyttet en pris på 95 øre pr. kWh (forutsetning gitt fra Trøndelag fylkeskommune).

#### Vedlikeholdskostnader

- Basisreferansen for beregningen av vedlikeholdskostnader er et gjennomsnitt av de periodiske kostnader tilsvarende dieseldrevne fartøy har i dag, -for hovedmotorer og gir.
- Vi har lagt til grunn at vedlikehold på propeller, skrog og annet energiuavhengig utstyr ikke påvirkes.

### **7.4 KONKLUSJONER FRA BEREGNINGENE**

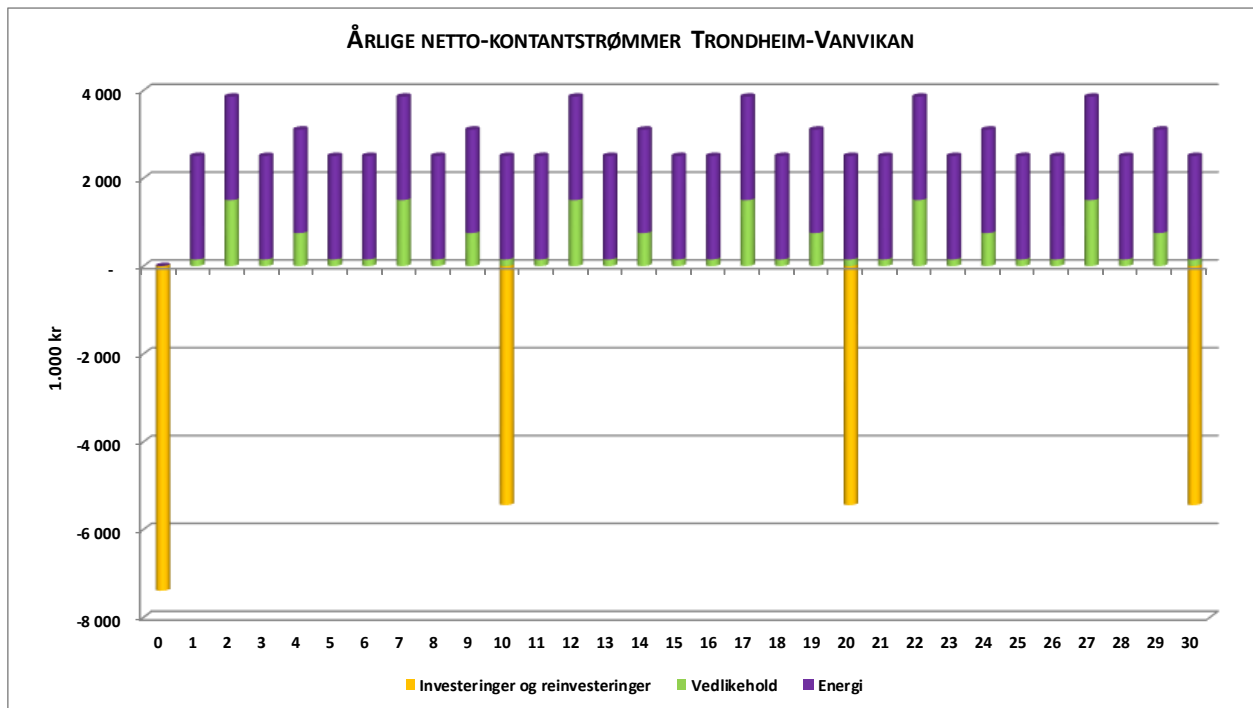
I det følgende gjengis de økonomiske konklusjonene for de 3 rutene. Samtlige ruter er vist som en kontantstrøm over 30 år. Dagens kroneverdi er benyttet (realverdier) for figurer som viser kontantstrømmer. Ved nåverdibetraktninger er det korrigert for dette i avkastningskravet.

#### **7.4.1 Trondheim – Vanvikan (rute 810)**

Figur 7-1 viser årlige differansekontantstrømmer, der en batteridrevet katamaran er sammenlignet med en konvensjonell dieseldrevet katamaran.

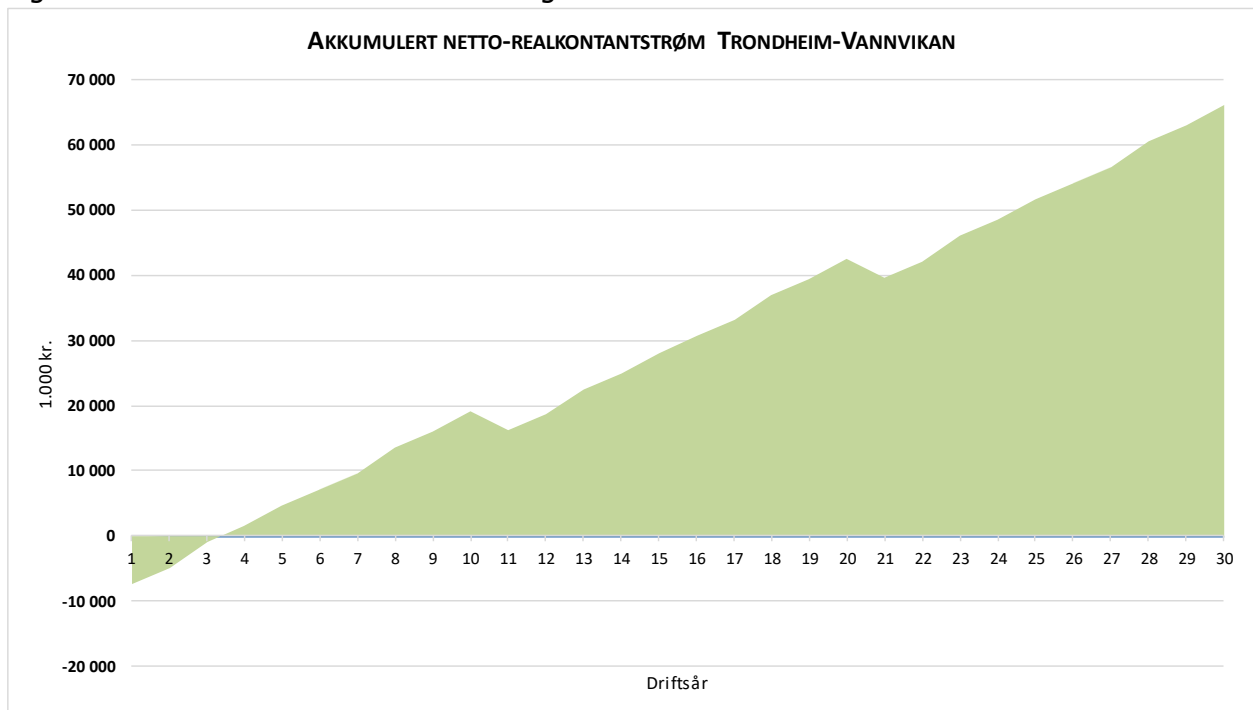
Søyler under nullpunktet viser negative årlige netto-kontantstrømmer. De negative kontantstrømmene vedrører i hovedsak merinvesteringer ved batteridrift og reinvesteringer i batteripakker hvert 10. år.

Søyler over nullpunktet viser positive årlige kontantstrømmer. De positive effektene vedrører i hovedsak spart energi og spart vedlikehold.



Figur 7-1: Netto-realkontantstrømmer Trondheim-Vanvikan, 30 år

Figur 7-2 viser de akkumulerte tallene i figuren over.



Figur 7-2: Akkumulert netto-realkontantstrøm Trondheim-Vanvikan, 30 år

Kontantstrøm/nåverdi	NOK (1000)
<b>Akkumulerte realstrømmer over 30 år (0-29 år)</b>	<b>66 141</b>
<b>Nåverdi (0-29 år)</b>	<b>21 665</b>
<b>Akkumulerte realstrømmer over 10 år (0-9 år)</b>	<b>19 075</b>
<b>Nåverdi (0-9 år)</b>	<b>10 710</b>

Tabell 7-1: Kontantstrøm/nåverdi Trondheim-Vanvikan

Beregningen viser en samlet positiv nåverdieffekt ved batteridrift over både 9 og 29 år. Investeringer (og besparelser) i år 10 og 30 er ikke med i nåverdiene for 10 år og 30 år, fordi det vil være urimelig å foreta en betydelig investering i det øyeblikk prosjektet avvikles uten en salgsverdi.

Over 29 år er de akkumulerte positive realstrømmene over 66 millioner. Målt som realverdi er gjennomsnittlig positiv effekt pr år (over 29 år) ca. kr. 2.2 millioner. Det vesentligste skyldes sparte energikostnader. Energibesparelsen er 3 ganger høyere enn vedlikeholdsbesparelsen.

Nåverdien over 29 år er over 21 millioner og nærmere 11 millioner over 9 år.

Ruten har høyt antall driftstimer, noe som gir betydelig effekt av kostnadsforskjellen (primært energi) mellom diesel og strøm.

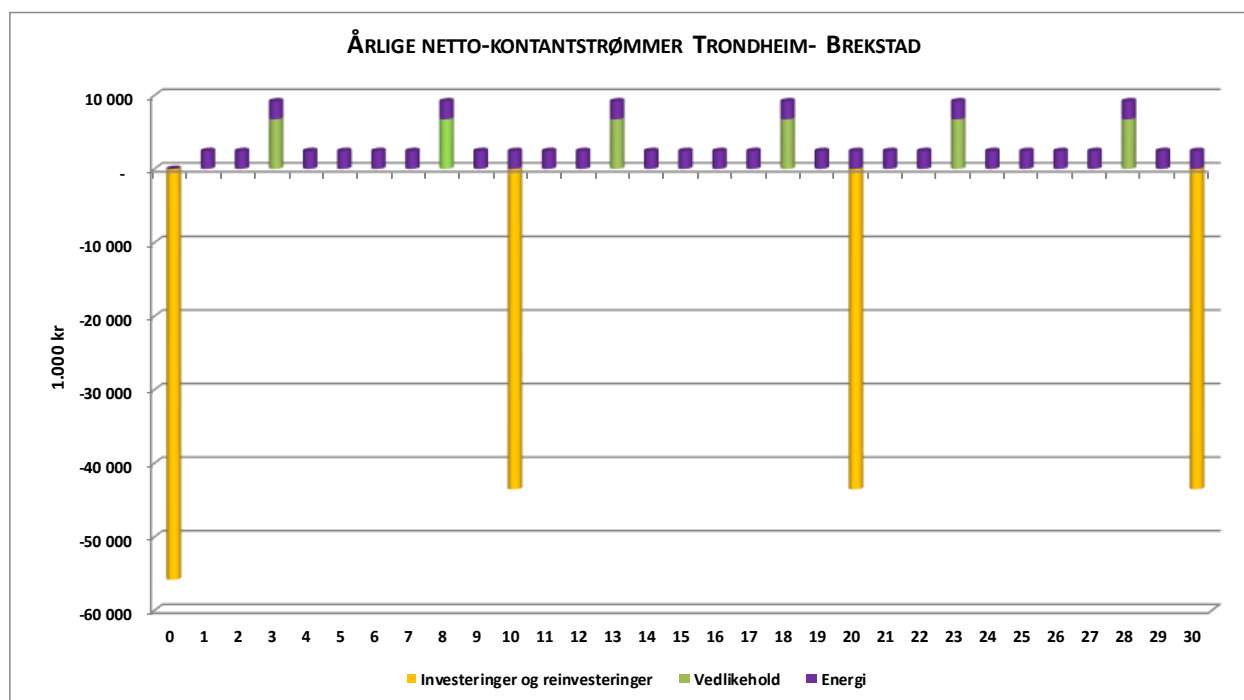
Vi mener at ruten har et godt potensial for å kunne opereres med ren batteridrift.

### 7.4.2 Trondheim – Brekstad (rute 805)

Figur 7-3 viser årlige differansekantantstrømmer, der en batteridrevet katamaran er sammenlignet med en konvensjonell dieseldrevet katamaran.

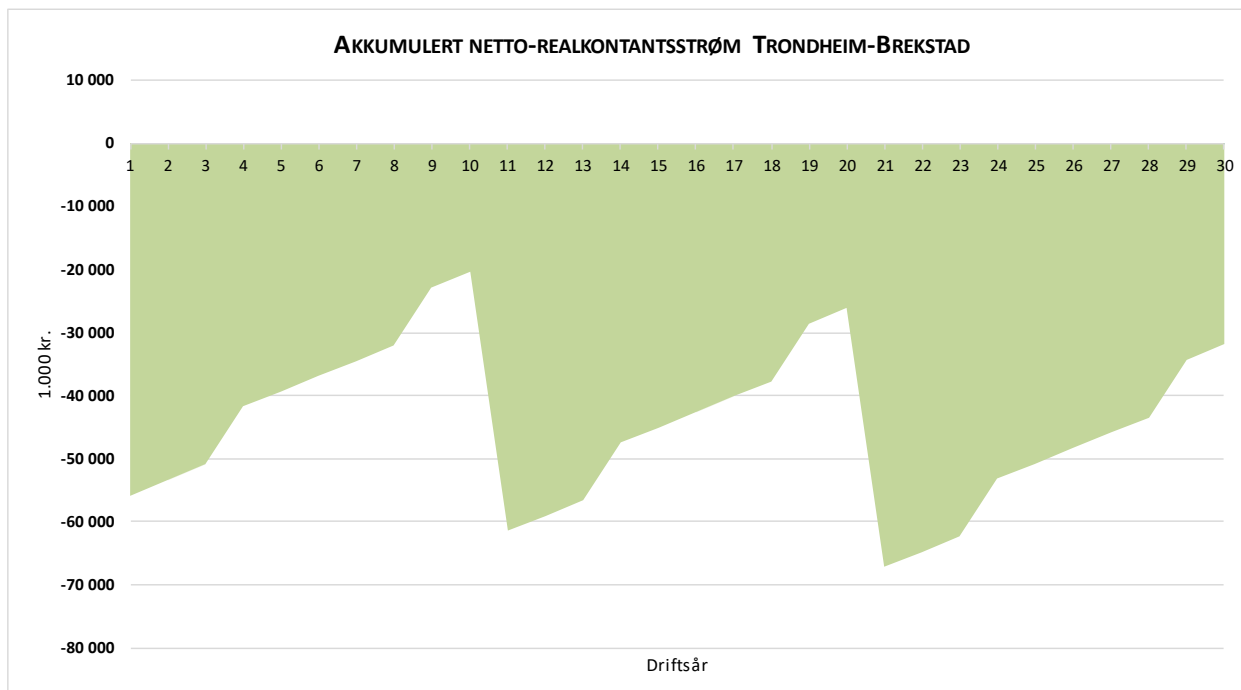
Søyler under nullpunktet viser negative årlige netto-kantantstrømmer. De negative kantontrømmene vedrører i hovedsak merinvesteringer ved batteridrift og reinvesteringer i batteripakker i båten, og på land, hvert 10. år.

Søyler over nullpunktet viser positive årlige kantantstrømmer. De positive effektene vedrører i hovedsak spart energi og spart vedlikehold.



Figur 7-3: Netto-realkantantstrømmer Trondheim-Brekstad, 30 år

Figur 7-4 viser de akkumulerte tallene i figuren over.



Figur 7-4: Akkumulert netto-realkontantstrøm Trondheim-Brekstad, 30 år

Kontantstrøm/nåverdi	NOK (1000)
Akkumulerte realstrømmer over 30 år (0-29 år)	-31 829
Nåverdi (0-29 år)	-39 878
Akkumulerte realstrømmer over 10 år (0-9 år)	-20 431
Nåverdi (0-9 år)	-28 782

Tabell 7-2: Kontantstrøm/nåverdi Trondheim-Brekstad

Beregningene i tabellen viser en samlet negativ nåverdieffekt ved batteridrift, sammenlignet med dieseldrift, over både 9 og 29 år. Investeringer og besparelse i år 10 og 30 er ikke med i nåverdiene for 10 år og 30 år, fordi det vil være urimelig å foreta en betydelig investering i det øyeblikk prosjektet avvikles uten en salgsverdi.

Over 29 år er de akkumulerte realstrømmene negative med ca. 32 millioner. Målt som realverdi er gjennomsnittlig merkostnad (sammenlignet med dieseldrift) pr år (over 29 år) ca.kr. 1.1 millioner. Sparte energikostnader og vedlikehold kompenserer ikke for høye investeringer og reinvesteringer.

Nåverdien over 29 år er negativ med over 39 millioner og nærmere 29 millioner over 9 år. Nåverdien forbedres ikke over tid, som følge av forutsatte høye reinvesteringer. Med de forutsetninger som er benyttet vil batteridrift være dyrere enn dieseldrift.

Simuleringer av en og en variabel:

- Batteriinvesteringene må reduseres med ca. 70% (til kr. 1.500 pr. kWh) for å «matche» en dieseldrevet båt etter 9 år og ca. 55% (til kr. 2.250 pr. kWh) etter 29 år.



- Pris på strøm må reduseres med 75% (til 24 øre) for å «matche» en dieseldrevet båt etter 9 år og ca. 55% (til 43 øre) etter 29 år.
- En reduksjon i avkastningskravet vil i liten grad forbedre nåverdien.

Endres flere variable samtidig, f.eks. en reduksjon av batteriinvesteringer og strømpris med 30% (hvh til kr. 3.500 pr. kWh for batteriinvesteringen og 67 øre pr. kWh for strøm), vil en batteridrevet båt og en dieseldrevet båt ha samme «kostnad» (målt som nåverdi) etter 29 år.

Det bør nevnes at «kalkylebåten» for ruten Trondheim-Brekstad har over det dobbelte av passasjerkapasiteten som dagens hovedfartøy i ruten. Dette gir et økt inntektspotensial som ikke er med i kalkylene.

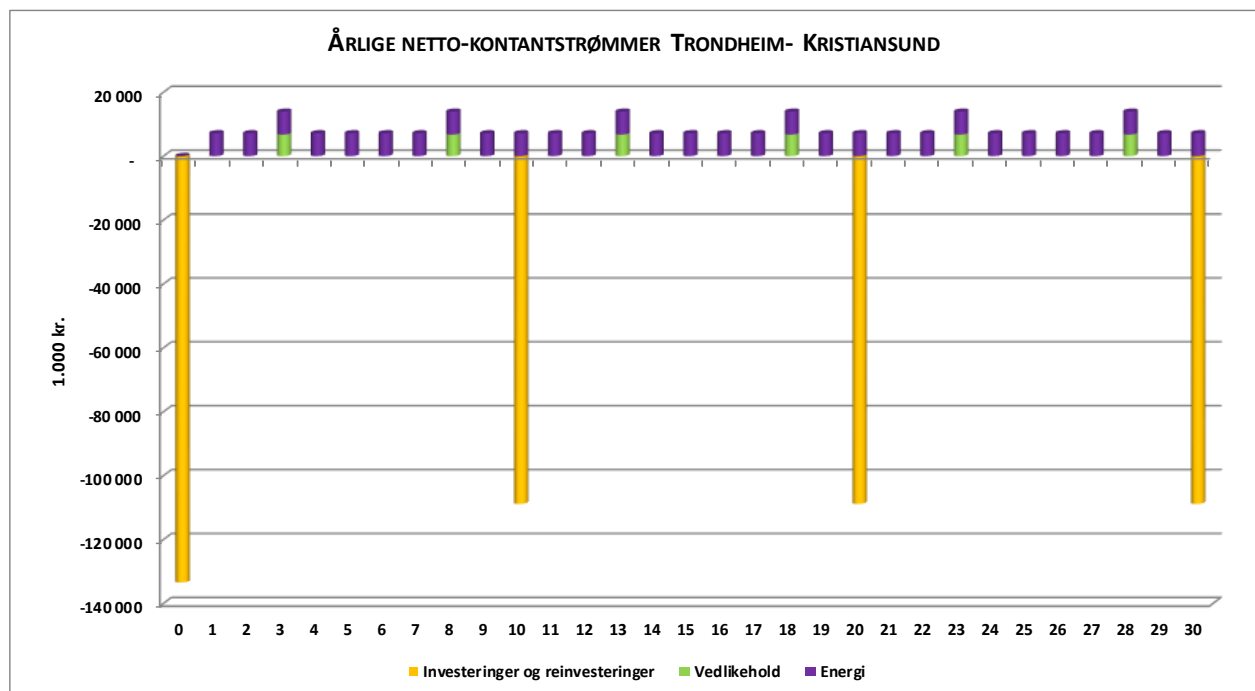
### 7.4.3 Trondheim – Kristiansund (Kystekspresen rute 800)

Dette er kanskje den mest utfordrende ruten, både driftsmessig og økonomisk.

Figur 7-5 viser årlige differansekontantstrømmer, der en batteridrevet katamaran er sammenlignet med en konvensjonell dieseldrevet katamaran.

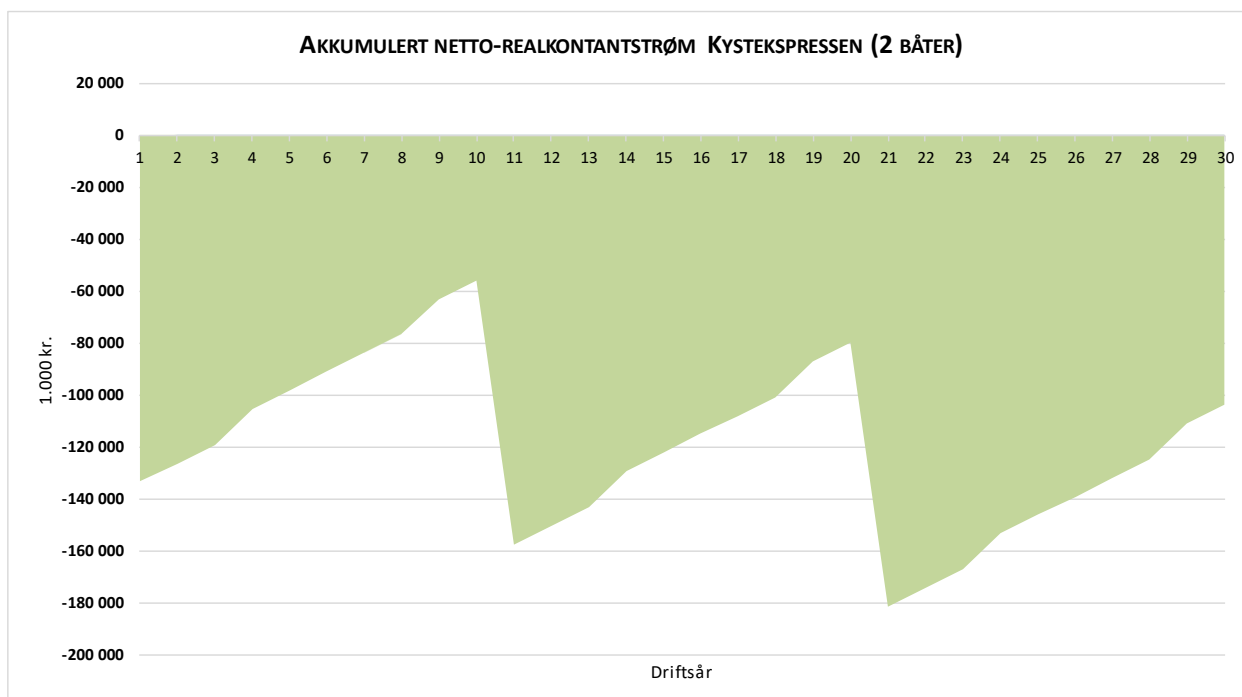
Søyler under nullpunktet viser negative årlige netto-kontantstrømmer. De negative kontantstrømmene vedrører i hovedsak merinvesteringer ved batteridrift og reinvesteringer i batteripakker hvert 10. år.

Søyler over nullpunktet viser positive årlige kontantstrømmer. De positive effektene vedrører i hovedsak spart energi og spart vedlikehold.



Figur 7-5: Netto-realkontantstrømmer Trondheim-Kristiansund, 30 år

Figur 7-6 viser de akkumulerte tallene i figuren over.



Figur 7-6: Akkumulert netto-realkontantstrøm Trondheim-Kristiansund, 30 år

Kontantstrøm/nåverdi	NOK (1000)
Akkumulerte realstrømmer over 30 år (0-29 år)	-103 817
Nåverdi (0-29 år)	-104 930
Akkumulerte realstrømmer over 10 år (0-9 år)	-55 757
Nåverdi (0-9 år)	-72 950

Tabell 7-3: Kontantstrøm/nåverdi Trondheim-Kristiansund

Beregningene i tabellen viser en samlet negativ nåverdieffekt ved batteridrift, sammenlignet med dieseldrift, over både 9 og 29 år. Investeringer og besparelse i år 10 og 30 er ikke med i nåverdiene for 10 år og 30 år, fordi det vil være urimelig å foreta en betydelig investering i det øyeblikk prosjektet avvikles uten en salgsverdi.

Over 29 år er det akkumulerte realstrømmene negative med over 100 millioner. Målt som realverdi er gjennomsnittlig merkostnad (sammenlignet med dieseldrift) pr år (over 29 år) ca. kr. 1.8 millioner pr. båt. Sparte energikostnader og vedlikehold kompenserer ikke for høye investeringer og reinvesteringer.

Nåverdien over 29 år er negativ med over 100 millioner og over 70 millioner over 9 år. Nåverdien forbedres ikke over tid, som følge av forutsatte høye reinvesteringer i batterier. Med de forutsetninger som er benyttet vil batteridrift være vesentlig dyrere enn dieseldrift.

Simuleringer av en og en variabel:

- Batteriinvesteringene må reduseres med ca. 70% (til kr. 1.500 pr. kWh) for å «matche» ruten med to dieseldrevne båter etter 9 år og ca. 55% (til kr. 2.250 pr. kWh) etter 29 år.

- Pris på strøm må reduseres med 75% (til 24 øre) for å «matche» ruten med to dieseldrevne båter etter 9 år og ca. 55% (til 43 øre) etter 29 år.
- En reduksjon i avkastningskravet vil i liten grad forbedre nåverdien.

Endres flere variable samtidig, f.eks. en reduksjon av batteriinvesteringer og strømpris med ca. 28% (hhv til kr. 3.600 pr. kWh for batteriinvesteringen og 69 øre pr. kWh for strøm), vil en batteridrevet båt og en dieseldrevet båt ha samme «kostnad» (målt som nåverdi) etter 29 år.

## **7.5 ENERGIFORBRUK**

### **7.5.1 Trondheim-Vanvikan**

Energikostnaden ved batteridrift er 36 kroner lavere pr. nm, eller ca. 47%.

### **7.5.2 Trondheim-Brekstad**

Energikostnaden ved batteridrift er 35 kroner lavere pr. nm. eller ca. 28%.

### **7.5.3 Kystekspresen**

Med 40% gjennomsnittlig utnyttelse av passasjerkapasiteten, noe vi antar er en rimelig forutsetning basert på dagens trafikk, er energikostnaden ved batteridrift er 34 kroner lavere pr. nm, eller ca. 28%.

## 8 REALISERING OG USIKKERHET

### 8.1 FORVENTNINGER

Forespørselen fra Trøndelag fylkeskommune ber om en

(Sitat)

*«Beskrivelse knyttet til realisering eller forventede realiseringsplaner. Dvs. opplegg for bygging, installasjon, uttesting og idriftsettelse med forventet tidsangivelse for de enkelte faser.*

(Sitat slutt)

### 8.2 USIKKERHET

Noen usikkerhetsmomenter er som følger:

- De økonomiske vurderingene er følsomme for endringer i de faktorer som kalkylene baseres på, bl.a. batteriinvesteringer, investeringer i el. systemer, energipriser/-forbruk og til dels avkastningskrav. Investeringspris for batterier forventes å bli lavere i fremtiden, enn det som ligger til grunn i kalkylene.
- Det er forutsatt en levetid på batteriene på 10 år. Bruk av byttebatterier i de to rutene med store katamaraner, og dermed redusert utnyttelse pr. batteripakke, kan gi en gjennomsnittlig lengre levetid enn ved konstant bruk av batteriene. Dette vil forbedre konseptets økonomi.
- Energibehovet pr. nautisk mil for alle rutene er kalkulert. Det kan avvike noe fra det som vil forbrukes i en praktisk operasjon. Redusert energibehov (f.eks. ved skrog/foiloptimalisering) vil bedre konseptenes lønnsomhet, mens f.eks. økte batterivekter vil redusere lønnsomheten.
- Energiprisene, målt som realverdier, er forutsatt konstante over 30 år. Dette vil neppe skje, og gjelder både strømpriser og oljepriser. Forventes det en økt oljepris, vil dette forbedre investeringen i et batteridrevet fartøy. Usikkerheten kompenseres til en viss grad av risikokomponenten i de benyttede avkastningskrav.
- Kalkyleperiodene er 10 og 30 år. Det er usikkerhet knyttet til fremtidig utvikling av batterier. Mange mener, som nevnt, at batteriprisene i fremtiden blir vesentlig lavere enn det vi har benyttet i kalkylene. Reduksjon i batteriinvesteringene vil gi positive utslag på kalkylene.
- For Trondheim-Brekstad og Kystekspresen forutsettes det at det utvikles et konsept/en teknologi for raske batteribytter gjennom et eget prosjekt.
- Det må forventes at rutene må tilpasses batteridrift ved lengre liggetider enkelte steder. Lykkes man med et batteribyttekonsept, vil behovet for ruteendringer reduseres for de lange rutene.
- Det må tilføres tilstrekkelig energi fra land, både for konvensjonell lading og lading av byttebatterier.

### **8.3 REALISERING**

I forhold til gruppens (Konsortiets) egne forventninger er bla. utvikling av batteribytte/flytende terminaler viktig for gjennomføringen av de lengste rutene (ex. Trondheim-Vanvikan).

Foreløpig antar vi at realisering i 2022, basert på oppnådde resultater så langt, kan være for tidlig. I første rekke skyldes dette at det kan ta tid å utvikle batteribyttekonseptene, herunder testing og implementering av disse.

Endelig design av fartøy med alle systemer, og revidering av de økonomiske analysene, bør være en del av det fremtidige arbeidet.

Realisering tidligst i 2024 antas å være mer realistisk enn i 2022.

