

OC2021 A-061 - Åpen

Rapport

Smartere transport Møre og Romsdal L2.1 Fartøyskonsept for autonom passasjertransport

Fartøyskonsept for autonome passasjerferger

Forfatter(e)

Henning Borgen, SINTEF Ålesund

Even Ambros Holte, SINTEF Ocean, Armin Pobitzer, SINTEF Ålesund, Victoria Gribkovskaia, SINTEF Ocean



SINTEF Ocean AS

Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Smartere transport Møre og Romsdal L2.1 Fartøyskonsept for autonom passasjertransport

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2021 A-061	302004527-3	3.0	2022-03-14

EMNEORD:Sambandsmodellering,
fartøyskonsept,
funksjonsbeskrivelse,
autonomi,
sjøegenskaper,
sikkerhet**FORFATTER(E)**Henning Borgen, SINTEF Ålesund
Even Ambros Holte & Victoria Gribkovskaia, SINTEF Ocean
Armin Pobitzer, SINTEF Ålesund**OPPDRAGSGIVER(E)**

Møre og Romsdal fylkeskommune

OPPDRAGSGIVERS REF.

Marte Berild Hjelle

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

74 (3)

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

ISBN

978-82-7174-420-5

SAMMENDRAG

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag for Møre og Romsdal fylkeskommune som del av prosjektet Smartere Transport – Møre og Romsdal. Hovedmålet har vært å utlede og vurdere ulike fartøyskonsepter som kan møte ulike krav til transportvolum og kapasiteter, og derigjennom overførbare til andre geografiske områder. Dette med utgangspunkt i prosjektets to brukercase – Pendelferge i Kristiansund og den hurtiggående Langevågsbåten i Ålesund.

Med formål om å presentere helhetlige fartøyskonsept for realisering av autonom sjøverts persontransport, binder rapporten også sammen sentrale funn fra flere av prosjektets øvrige aktiviteter. Særlig knyttet til fremdrifts- og energisystem, anbefalt og realistisk grad av autonomi, øvrige trafikkanalyser og vurderinger omkring fremtidig passasjergrunnlag. For vurderinger omkring konseptenes sjøegenskaper bygger rapporten på gjennomførte undersøkelser og analyser av værforhold for de ulike brukercasene. Sentrale funn vedr. aktuelle løsninger for ivaretagelse av trygg, sikker og effektiv dokking og ombordstigning er også inkludert.

**UTARBEIDET AV**

Henning Borgen (sign. for)



Even Ambros Holte (Apr 7, 2022 10:52 GMT+2)

KONTROLLERT AV

Endre Sandvik

**GODKJENT AV**

Lars Magne Nonås



Lars Magne Nonås (Apr 7, 2022 16:55 GMT+2)

PROSJEKTNR
302004527-3RAPPORTNR
OC2021 A-061VERSJON
3.0

Side 1 av 74

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2022-01-07	Rapportutkast sendt til intern kvalitetssjekk
2.0	2022-01-14	Første versjon oversendt oppdragsgiver for kommentarer
3.0	2022-03-14	Endelig versjon ferdigstilt og overlevert oppdragsgiver

Innholdsfortegnelse

Definisjoner og forkortelser.....	7
1 Sammen drag	8
2 Innledning og prosjektbakgrunn.....	11
3 Bruker case	13
3.1 Bruker case Kristiansund: pendelferge Nordlandet - Kirkelandet	13
3.2 Bruker case Ålesund: hurtigbåt Ålesund-Langevåg	16
4 Metodisk tilnærming	17
5 Workshops med industriaktører og rederi	18
5.1 Fartøys- utforming og arrangement	18
5.2 Energi- og fremdriftssystem.....	19
5.3 Anbefalt grad av autonomi og bemanning om bord	20
6 Funksjonsbeskrivelser for autonome passasjerfartøy.....	22
6.1 Pendelferge	22
6.2 Langevågsbåten	24
7 Sambandssimulering og valg av skipsstørrelser for videre arbeid	26
7.1 Simuleringsmetode	26
7.2 Passasjerdata	26
7.2.1 Pendelfergen.....	27
7.2.2 Langevågsbåten	27
7.2.3 Simulerte båtstørrelser for Langevågsbåten	29
7.3 Simuleringsresultater for Langevågsbåten	30
8 Konsepter for autonom sjøbasert kollektivtransport	31
8.1 Fartøyskonsept for pendelfergen	31
8.2 Fartøyskonsept for Langevågsbåten.....	33
9 Skalerbare løsninger – generelle betraktninger	38
10 Sjøegenskaper og propulsjon	40
10.1 Pendelfergen.....	40
10.1.1 Evne til å motstå miljøkrefter under manøvrering til kai	41
10.1.2 Motstand og propulsjon	42
10.1.3 Sjøgangsegenskaper	44
10.2 Langevågsbåten	50
10.2.1 Evne til å motstå miljøkrefter under manøvrering til kai	50
10.2.2 Motstand og propulsjon hurtigbåtkonsept	53

10.2.3 Sjøgangsegenskaper og evne til å manøvrere sikkert til kai.....	55
Referanser	57
Appendix A: Passasjerfordeling ut av Kristiansund	58
Appendix B: Rutetabeller for Langevågsbåten.....	60
Appendix C: Simulerte sambandsalternativer for Langevågsbåten	61

Figurliste

Figur 1: Mulig fartøyskonsept for pendelferge Kristiansund (Illustrasjon: Møre Maritime).....	13
Figur 2: Skisse av tenkt alternativt kollektivsystem for Kristiansund (Illustrasjon: aPoint og Kristiansund Kommunale Sundbåtvesen)	14
Figur 3: Konseptuell illustrasjon av terminal-løsning (Illustrasjon: Møre Maritime).	14
Figur 4: Konseptuell illustrasjon av skip dokket i terminal (Illustrasjon: Møre Maritime).....	15
Figur 5: Mulig fartøyskonsept for hurtigbåt Ålesund (Illustrasjon av fartøyskonsept: Br. Aa).	16
Figur 6: Overordnet metodisk tilnærming.....	17
Figur 7: Anbefalt løsning og grad av autonomi (Kilde: Holte & Wennersberg, 2021).....	20
Figur 8: Passasjerfordelingen for fergeavganger fra Langevåg og Ålesund (mandag, tirsdag og onsdag)...	28
Figur 9: Passasjerfordelingen for avganger fra Langevåg og Ålesund (torsdag, fredag og lørdag).....	29
Figur 10: Pendelferge - konseptuell skisse (Kilde: Møre Maritime, 2022).	32
Figur 11: Pendelferge skisse i snitt midt i fartøyet (Kilde: SINTEF Ålesund).....	32
Figur 12: Dekksarrangement for pendelferge 99 pax (Kilde: SINTEF Ålesund).	33
Figur 13: Konvensjonell hurtigbåt skisse 147 pax (Kilde: Brødrene Aa).....	35
Figur 14: Konseptforslag for fremtidens null-utslipps hurtigbåter (Kilde: Hovland, 2019).....	36
Figur 15: Illustrasjon av mulig modulært skips-design system for mindre passasjerfartøy (Kilde: Møre Maritim).....	39
Figur 16: Skisse av skrogdesign for pendelferge konsept Kristiansund (Kilde: SINTEF Ålesund).	40
Figur 17: Pendelferge konseptets holdekraft mot statisk vind.	42
Figur 18: Fartsprognose i stille vann for pendelferge-konsept.	43
Figur 19: Fartøyskarakteristikker i hiv for pendelferge-konsept.	44
Figur 20: Fartøyskarakteristikker i rull for pendelferge-konsept.	45
Figur 21: Fartøyskarakteristikker i stamp for pendelferge-konsept.....	46
Figur 22: Operasjonsbegrensende kurver for pendelferge-konsept.....	48
Figur 23: Operasjonsbegrensende kurver for pendelferge konsept i (a) sidesjø forfra, (b) motsjø, (c) sidesjø bakfra, (d) akterlig sjø.....	49
Figur 24: 147 pax katamaran-konsept holdekraft mot statisk vind.	51
Figur 25: 99 pax katamaran-konsept holdekraft mot statisk vind.	53
Figur 26: Fartsprognose i stille vann for 147 pax batteri-elektrisk hurtigbåtkonsept.....	54
Figur 27: Fartsprognose i stille vann for 99 pax batteri-elektrisk hurtigbåtkonsept.....	55
Figur 28: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på en ukedag.....	58
Figur 29: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på lørdager.	59
Figur 30: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på søndager.....	59
Figur 31: Scenario 0: Langevåg-Ålesund RT1-1-147.	61
Figur 32: Scenario 0: Ålesund-Langevåg RT1-1-147.	62
Figur 33: Scenario 1: Langevåg-Ålesund RT2-2-75.	63
Figur 34: Scenario 1: Ålesund- Langevåg RT2-2-75.	64
Figur 35: Scenario 2: Langevåg-Ålesund RT2-2-99.	65
Figur 36: Scenario 2: Ålesund - Langevåg RT2-2-99.	66
Figur 37: Scenario 3: Langevåg-Ålesund RT2-2-90/50.....	67
Figur 38: Scenario 3: Ålesund - Langevåg RT2-2-90/50.....	68
Figur 39: Scenario 4: Langevåg - Ålesund RT2-1-147-2040.	69

Figur 40: Ålesund – Langevåg RT2-1-147-2040.....	70
Figur 41: Langevåg-Ålesund RT2-2-75-2040.....	71
Figur 42: Ålesund-Langevåg RT2-2-75-2040.....	72
Figur 43: Langevåg-Ålesund RT2-2-99-2040.....	73
Figur 44: Ålesund-Langevåg RT2-2-99-2040.....	74

Tabelliste

Tabell 1: Smartere Transport – arbeidspakkestruktur.....	11
Tabell 2: Simuleringsresultater for alternative løsninger for Langevågsbåten.....	30
Tabell 3: Hovedparametere for pendelferge konsept.....	33
Tabell 4: Hovedparametere for Langevågsbåten, 147 pax.....	34
Tabell 5: Hovedparameter for hurtigbåt-konseptet 99 pax (referansefartøy Rygerprins).....	34
Tabell 6: Input-data for kapabilitetsanalyse pendelferge.....	41
Tabell 7: Posisjoner på skipsdekk inkludert i vurdering av operasjonsbegrensninger for pendelferge-konsept.....	47
Tabell 8: Input-data for kapabilitetsanalyse 147 pax katamaran.....	50
Tabell 9: Input-data for kapabilitetsanalyse 99 pax katamaran.....	52
Tabell 10: Rutetabeller bruk i simuleringen av sambandet Langevåg – Ålesund.....	60

Definisjoner og forkortelser

A	Aktivitet i prosjektet Smartere Transport
CFD	Computational fluid dynamics
GM	Metacentric height
Hs	Signifikant bølgehøyde
Kn	Knop
Km	Kilometer
L	Leveranse i prosjektet Smartere Transport
MSI	Motion Sickness Incident
m/s	Meter per sekund (vindhastighet)
Pax	Maksimalt antall passasjerer tillatt ombord.
RAO	Response amplitude operator
Tp	Bølgeperiode
WP	Work Package

1 Sammendrag

Rapporten er utarbeidet på oppdrag for Møre og Romsdal fylkeskommune som del av prosjektet Smartere Transport – Møre og Romsdal, en av fem fylkeskommuner premiert i Samferdselsdepartementets konkurranse Smartere transport i Norge. Hovedmålet har vært å utlede og vurdere ulike fartøyskonsepter som kan møte ulike krav til transportvolum og kapasiteter, herunder skalerbare og derigjennom overførbare til andre geografiske områder. Dette med utgangspunkt i prosjektets to brukercase – en saktegående pendelferge i Kristiansund (mellom Kirkelandet og Nordlandet), og eksisterende hurtigbåtrute mellom Ålesund og Langevåg (Langevågsbåten).

Innholdet er i stor grad basert på en rekke arbeidsmøter og samtaler med relevante industriaktører innen skips-design & -bygging, rederi og utstyrsleverandører. Prosjektet har henvendt seg spesifikt mot personer som sitter i sentrale posisjoner, med inngående kunnskap om teknologistatus og utviklingsbehov. Med utgangspunkt i tilgjengelig passasjerstatistikk er det i tillegg utført en rekke sambandssimuleringer for bestemmelse av kapasitetsbehov for Langevågsbåten. Grunnet mangel på lignende datagrunnlag for pendelfergen var det ikke mulig å gjennomføre tilsvarende simuleringer. Vurderinger omkring potensielt passasjergrunnlag for pendelfergen er derfor basert på en kombinasjon av tilgjengelig data over antall reisende med buss inn og ut av Kristiansund sentrum, samt tilgjengelig statistikk og kvalitative vurderinger med utgangspunkt i driftsrelaterte erfaringer og operasjon av dagens Sundbåt.

Med formål om å presentere **helhetlige fartøyskonsept** for realisering av autonom sjøverts persontransport, binder rapporten sammen sentrale funn fra flere av prosjektets øvrige aktiviteter. Særlig knyttet til fremdrifts- og energisystem (rapport L2.3), anbefalt og realistisk grad av autonomi (rapport L2.2), øvrige trafikkanalyser og vurderinger omkring fremtidig passasjergrunnlag (bl.a. L1.4), samt gjennomførte undersøkelser og analyser av miljøforhold for de ulike brukercasene (dvs. værforhold – rapport L1.3). Sentrale funn vedr. aktuelle løsninger for ivaretagelse av trygg, sikker og effektiv dokking og ombordstigning er også inkludert (Aktivitet A2.4 og A3.2 – pågående arbeid).

For **begge fartøyskonseptene** er det gjennomført overordnede vurderinger av sjøegenskaper. Fokus har vært å avdekke eventuelle utfordringer knyttet til tilgjengelighet for transportløsningene i forventede værkondisjoner, samt sikre at attraktiviteten til løsningene ikke svekkes av ubehagelige sjøgangsbevegelser. Dette er gjort gjennom analyse av evne til å legge trygt til kai i dårlig vær og beregning av indeks for sjøsyke under overfart. Sjøgangsanalysene viser at operasjon av både pendelferge og hurtigbåt er i tråd med forventningene basert på erfaring fra tilsvarende design. Pendelfergen vil ha tilstrekkelig effekt til dokking for de forventede værkondisjonene, men at komforten om bord naturlig nok vil være utfordrende på dager med høye bølger. Samtidig kan slike bevegelser reduseres ved å endre bølgeretning relativ til skroget (dvs. justering av seilingsrute). For hurtigbåten kan dokking være utfordrende grunnet begrenset holdekraft mot vind, noe som vil kreve mye av autonome systemer. Dette har også sammenheng med fartøystypens relativt sett lave skipsvekt og betydelige vindfang. Mer detaljert designarbeid og analyser er derfor nødvendig for endelig å fastslå operasjonsgrenser og tilhørende tilgjengelighet for transportløsningene.

Videre er følgende funksjonsbeskrivelser utledet som aktuelle for begge fartøyskonseptene, og som bør vektlegges ved en eventuell realisering av fartøyskonseptene:

- Ett passasjerdekk gir gjenværende sikkerhetsbemanning enkel og god oversikt over passasjerområdet, og bidrar i tillegg til at passasjerene lett kan finne vegen til mønstringsstasjon på egen hånd dersom en sikkerhetskritisk hendelse skulle inntreffe.
- Effektive og trygge evakueringsløsninger tilpasset lavbemannet drift representerer et betydelig teknologi-gap som må lukkes. En fremtidig mulighet kan være ytterligere automatisering i form av utløsning og mobilisering, slik at sikkerhetsbemanningen kun tar beslutning om å utløse systemet og yte passasjer assistanse. En annen fremtidig løsning for innaskjærs- og bynære ruter er å utvikle skipstekniske løsninger som gjør evakuering til flåte unødvendig. F.eks. at skipet er arrangert slik at det alltid vil kunne komme seg til land for en mer tryggere evakuering.
- Løsning som eliminerer mulighet for mann-over-bord situasjoner under normal drift (f.eks. fjerning av mulighet til å gå ut på dekk under overfart og/eller høy skjerming mot sjø). Dette inkluderer påstigningsløsning, som må ses i sammenheng med terminal.
- For å være skalerbare, og dermed anvendbare inn mot andre kapasiteter og geografiske områder bør slike design være modulære. Noen få grunnleggende moduler må enkelt kunne settes sammen til flere ulike løsninger for realisering av fartøy med ulik passasjerkapasitet, rekkevidde, hastighet og energisystem/type drivstoff.
- Batteri-elektrisk energisystem må være redundant og ha tilstrekkelig med holdekraft og manøvreringsevne for operasjonsområdets gitte værkonksjoner.

For **pendelfergen** fremstår det som mest aktuelt å betjene ruten med en ett-skipsløsning med passasjerkapasitet opp mot 99 pax, og er sett i sammenheng med forventninger om vekst i passasjergrunnlag. For å være en attraktiv løsning er det lagt opp til hyppig rutefrekvens med avganger fra samme kai hvert 15. minutt. Attraktiviteten for brukerne har også vært tungtveiende ved utforming av dekkarrangement, da foreslått inngang midtskips gir mulighet for utforming av passasjerområdet tilsvarende øvrige landbaserte transportmodi. Dette gir mulighet for etablering av lagringsrom midtskips for enkel og effektiv passasjerlogistikk, og tilhørende håndtering av barnevogner, rullestoler og utstyr for mikromobilitet. Et slikt arrangement vil også kunne skales opp- og ned i størrelse.



Selve designet er basert på et dobbelendet skrog med symmetrisk for- og akterskip, og med thruster foran og bak behøver ikke fergen å snu ved hver avgang. Den spesifikke thruster-ytelsen på 125 kW representerer et konservativt anslag, og er basert på analyser for nødvendig holdekraft mot kritiske værtilstander og følgelig ivaretagelse av sikker manøvrering til kai. Grunnet relativt lavt energiforbruk er batteri-elektrisk fremdrift lagt til grunn for realisering av en null-utslippsløsning. Her anbefales det å installere en større batteripakke som muliggjør drift gjennom dagen uten behov for lading (700 kWh). Dette åpner også opp for bruk av lav-kost manuelle ladere, tilsvarende de som per i dag benyttes til bil-lading (100 kW). For en pendelferge ansees også et kursstabil skrog som fordelaktig, noe som oppnås med en markant kjøll og en tyngre batteripakke.

For betjening av **hurtigbåtsambandet** er det utledet flere aktuelle fartøystørrelser og sammensetninger av flåte (f.eks. 2-skip – 75 pax, ett skip 147pax). Oppsummert fremstår dagens ett-skips løsning med 147 pax kapasitet som tilstrekkelig for sambandet de nærmeste år (frem mot 2030), og dermed en meget aktuell løsning. Samtidig vil trolig det mest fremtidsrettede og attraktive alternativet fra



et brukerperspektiv være en 2-skips løsning, som i form av hyppigere frekvens generelt sett vil styrke attraktiviteten til transporttjenesten (f.eks. 2 skip – 75 eller 99 pax). En slik løsning vil trolig også være mer fleksibel i form av at ulike fartøy kan benyttes til ulike formål gjennom døgnet. Samtidig vil dette også mest sannsynlig medføre økte kostnader i form av investering i et ekstra fartøy og ladeinfrastruktur, men også operasjonelle utgifter knyttet til bl.a. bemanning. Hva som er mest hensiktsmessig i et samfunnsøkonomisk kost-nytte perspektiv vil vurderes nærmere i aktivitet A2.6 Kost-nytte analyser.

I forhold til arrangement av passasjerområdet er dagens utforming av hurtigbåter i utgangspunktet velegnet for høy grad av automatisering. En stor og oversiktlig salong med sitteplass til hver passasjer under overfart gir god oversikt for sikkerhetsbemanning, og effektiv passasjerlogistikk er ivaretatt gjennom ombordstigning på siden akterskips. Dekksarrangementet sin utforming og funksjon er også relativt lett å tilpasse fartøy med ulike passasjerkapasiteter (f.eks. 200, 147, 99 eller 75 pax). Mtp. skrog er også dagens fartøy relativt optimale med tanke på energieffektivitet, og basert på resultater fra Klimasatsprosjektet er tilsvarende ytelse lagt til grunn også i denne rapporten. For et 147 pax skip gir dette to propulsorer med en ytelse på 500 kW (en i hvert skrog), noe som medfører en batteripakke på 600 kWh og ladekapasitet på 1150 kW. Dette gir relativt hyppig ladebehov, noe som på mange måter taler for å investere i en automatisert ladeløsning. Samtidig, gjennom arbeidet bemerket industrien at det bør gjøres nøyere vurderinger omkring skrogutforming ved realisering av batteri-elektriske versjoner av denne type hurtiggående fartøy (bl.a. i retning av økt skipslengde). Dette som resultat av en estimert vektøkning på 20% sammenlignet med en konvensjonell løsning. Det blir derfor viktig å vurdere om man bør holde lengde/deplasementsforholdet på samme nivå som for dagens løsning (for å opprettholde samme effektivitet mtp. skrogmotstand i seiling), eller balansere gode egenskaper som reduserer laterale akselerasjoner som følge av vindkast ifm. manøvrering opp mot energieffektivitet i seilingsfase. En slik balansert tilnærming antas å være fordelaktig for en autonom/automatisert hurtigbåt, da det vil bidra til å sikre mest mulig forutsigbare og minst mulige responser i horisontalplanet ved innseiling til kai.

En av hovedutfordringene og teknologigapene knyttet til realisering av autonom drift av hurtiggående fartøy er derimot hastigheten i seg selv, da løsninger for situasjonsforståelse må videreutvikles og verifiseres (herunder objekt deteksjon og anti-kollisjon). Dette fordi sikkerhetsmarginene mellom beslutning og resultat av beslutning blir mindre som følge av den høye hastigheten, noe som krever enda mer spissede og verifiserte systemer sammenlignet med f.eks. pendelfergen.

Avslutningsvis presiseres det at planlagte prosjektaktivitet knyttet til vurderinger omkring kost-nytte i skrivende stund ennå ikke er gjennomført, og at rapporten utgjør et viktig grunnlag for videre arbeid og konkretisering av hvilke løsninger som til slutt løftes frem som anbefalt av prosjektet.

2 Innledning og prosjektbakgrunn

Kapittel 2 gir en kort innføring i prosjektbakgrunn, før kapittel 3 presenterer de ulike brukercasene lagt til grunn. Kapittel 4 beskriver den metodiske tilnærmingen som prosjektaktiviteten er basert på. Kapittel 5 utleder hovedresultatene fra de gjennomførte samtalene med ulike industriaktører. Herunder aktuelle anbefalinger og innspill hva gjelder fartøys-utforming og arrangement, fremdrifts- og energisystem, men også anbefalinger vedrørende grad av autonomi. Kapittel presenterer aktuelle funksjonsbeskrivelser for de respektive fartøyskonseptene, og introduserer dermed viktige føringer og design-prinsipp som bør hensyntas ved utvikling av fartøy for fremtidige sjøbaserte kollektivsystem. Således oppsummerer kapittelet sentrale funn utledet fra rapportens øvrige kapitler. Kapittel 7 gir en beskrivelse av gjennomførte sambands simuleringer og datagrunnlag lagt til grunn for bestemmelse av aktuelle fartøystørrelser (dvs. passasjerkapasitet). I kapittel 8 presenteres fartøyskonseptene vurdert som aktuelle for prosjektets brukercase i mer detalj, før kapittel 9 gir en overordnet beskrivelse av potensiale for nytenkning innen utviklingen av skalerbare, standardiserte og mer kostnadseffektive løsninger for passasjertransport til sjøs. Avslutningsvis gir kapittel 10 en beskrivelse av gjennomførte analyser knyttet til vurderinger omkring sjøegenskaper og propulsjon.

Som beskrevet i Hovedprosjektplan ble Møre og Romsdal fylkeskommune som en av fem fylkeskommuner premiert i Samferdselsdepartementets konkurranse "Smartere transport i Norge", hvor hovedmålet er å: "gjennomføre en mulighetsstudie for et helt nytt og banebrytende konsept for sømløs persontransport basert på autonome, sjøverts transportløsninger" basert på persontransportsystem for henholdsvis Ålesund-Langevåg og Kirkelandet-Nordlandet i Kristiansund, heter det at resultatene også skal være anvendbare for andre geografiske områder. I tillegg skal de være skalerbare med tanke på systemets kapasitet til å håndtere ulike trafikk- og reisemønstre (f.eks. variasjon i antall reisende over tid, rutevalg, reisevaner og reisemiddelfordeling). Det er også ønskelig at prosjektets løsninger skal kunne løftes over til utviklingen av autonome riksvegferger. Prosjekter består av totalt 4 arbeidspakker (WP'er), hvor fokus for denne rapporten er WP2 og aktivitet A2.1. Se oversikt over alle arbeidspakker og aktiviteter i Tabell 1.

Tabell 1: Smartere Transport – arbeidspakkestruktur.

Arbeidspakke	Aktivitet
WP1 – Prosjektavgrensning	A1.1 Ståstedsanalyse
	A1.2 Beskrivelse av brukercase
WP2 Mulighetsstudie autonome fartøy	A2.1 Skalerbare fartøyskonsepter
	A2.2 Autonome/semi-autonome operasjoner
	A2.3 Framdrifts- og energisystem
	A2.4 Dokking, ombordstigning og evakuering
	A2.5 Ombordsystem og beslutningsstøtte for sikker operasjon
	A2.6 Kost-nytteanalyser
WP3 Landbasert digital og fysisk infrastruktur	A3.1 Landbasert kontrollrom
	A3.2 Sikker dokking og ombordstigning
WP4 Sikkerhet og beredskap	A4.1 Cyber security
	A4.2 Regulatoriske utfordringer
	A4.3 Sikre transportløsninger

Med utgangspunkt i hovedprosjektets målsetning og rapporten for A1.1 av Holte et al., 2019 (videre referert til som L1.1), presenterer denne rapporten utkast til mulige fartøyskonsepter for de to brukercasene, gitt anbefalte automatiseringsgrader fra aktivitet A2.2 i Holte & Wengersberg, 2021 (videre referert til som L2.2). Fartøyskonseptenes skalerbarhet for anvendelse i andre geografiske områder blir adressert, og sjøegenskaper og evne til å manøvrere seg sikkert til kai vil bli overordnet vurdert med bakgrunn i miljøet konseptene opererer i beskrevet i Pobitzer et al., 2020, (videre referert til som L1.3).

3 Brukercase



Prosjektet har i hovedsak definert to brukercase. Ett for Ålesund-Langevåg (videre omtalt som Langevågsbåten) og ett for Kristiansund (videre omtalt som Pendelfergen). Flere ulike mulige brukercase ble vurdert i aktivitet A1.2 beskrevet av Kleppe et al., 2019 (videre referert til som L1.2), og påfølgende tilleggsaktivitet A1.4 Trafikkanalyse for Ålesund beskrevet av Frøyen, 2020 (videre referert til som L1.4).

Dersom en skal lykkes med å etablere en konkurransedyktig passasjerbåtrute må den korte ned reisetiden i forhold til vei, mao. må en ha geografiske forhold som gjør fartøyet mer effektivt enn vei. Dette fordi en stor del av kollektivtransporten sine reisekostnader har ulemper som ventetider, overgangstid, reisetid og evt. forsinkelser (se L1.4). Dette medførte at alle casene i retning saktegående "bybåter" som ble vurdert i Ålesundsregionen ble forkastet grunnet manglende passasjergrunnlag, mye som følge av den sterke og direkte konkurranseflaten mot eksisterende vegtransport (buss og bil). Derimot ble flere hurtigbåtruter identifisert som relevante for prosjektet, og det ble besluttet å se på mulighetene for å introdusere en autonom versjon av dagens hurtigbåtsamband mellom Ålesund og Langevåg.

Brukerasene nedenfor er de som er valgt i prosjektet og utgjør dermed grunnlaget for fartøyskonseptene som fremlegges i rapporten.

3.1 Brukercase Kristiansund: pendelferge Nordlandet - Kirkelandet

Foreslåtte pendelferge ruten (rød linje) på venstre siden av Figur 1 er en helt ny tenkt mobilitetsløsning for Kristiansund, og representerer en effektiv løsning for passasjertransport mellom Nordlandet og Kirkelandet (sentral Kristiansund). I motsetning til dagens Sundbåt som har en fleksibel profil gjennom operasjon i linje og charter (svart stiplet linje i ringrute 1-2-3-4), og pågående Pilot-T prosjekt hvor en ny Sundbåt forberedt for autonom drift utvikles til erstatning for dagens (Stensvold, 2021), er konseptet med pendelfergen en mer rendyrket enhet for kollektivtransport.

<ul style="list-style-type: none"> • Skipskonsept: pendelferge, saktegående • Fartsområde: 1 • Estimert seilingstid (rød linje): ca. 5 min 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimert snutid: 5 min • Seilingsdistanse: ca. 550 m • Estimert seilingshastighet: 5-8 knop
	

Figur 1: Mulig fartøyskonsept for pendelferge Kristiansund (Illustrasjon: Møre Maritime).

Prosjektets brukercase i Kristiansund er tenkt som en del av et større intermodalt kollektivsystem (Figur 2) hvor en samler passasjerer med buss inn mot dedikerte terminaler skreddersydd for overgang mellom buss og pendelfergen mellom Nordlandet og Kirkelandet. Pendelfergen frakter så passasjerene over sundet med en frekvens på 15 minutter mellom avgangene. Dette som alternativ til utbygging/utbedring av veinett med påfølgende økt biltrafikk til/fra Kristiansund sentrum fra/via Nordlandet.

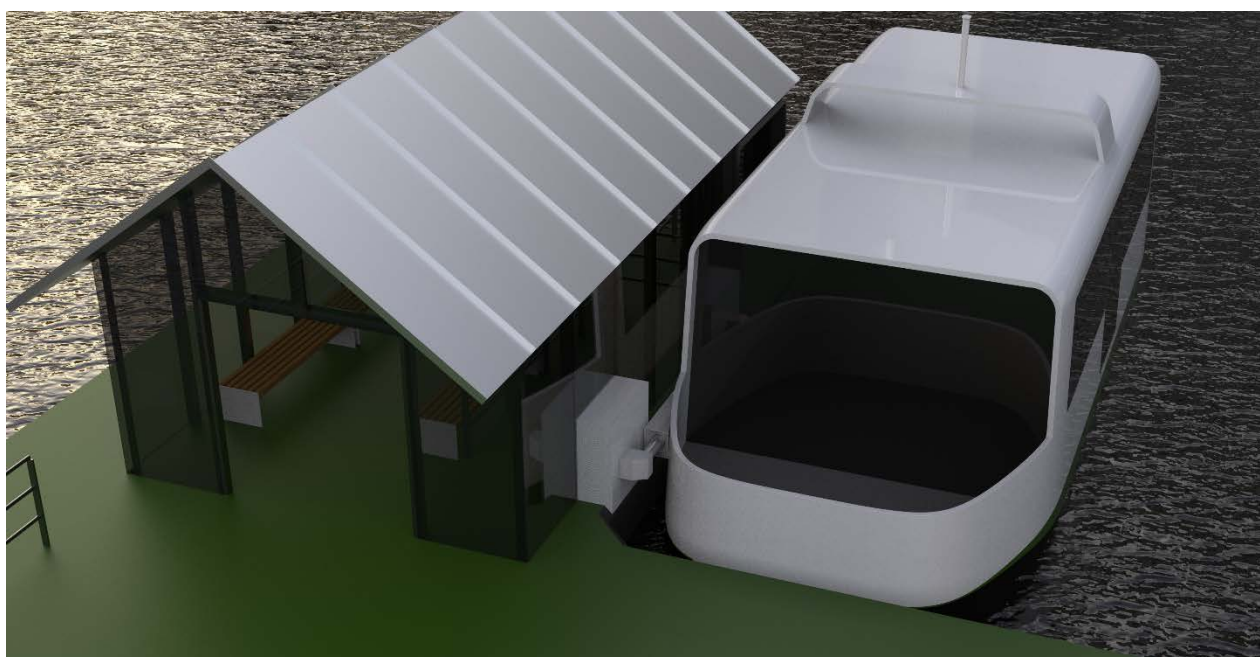


Figur 2: Skisse av tenkt alternativt kollektivsystem for Kristiansund (Illustrasjon: aPoint og Kristiansund Kommunale Sundbåtvesen)

Terminalene skal sørge for effektiv flyt av passasjerer mellom buss og sjøtransport og legge til rette for at passasjerene kan sette fra seg, eller ta med, mikromobilitets-transportmiddel som sykler, sparkesykler etc. (Figur 3). Terminalene må også sørge for sikker dokking av fartøy, nødvendig tilførsel av energi til nullutslipps fremdriftssystem, og ombordstigning av passasjerer (Figur 4). Detaljer omkring dette utledes i aktivitet A2.4 og leveransen L2.4 Dokking, ombordstigning og evakuering (rapport under utarbeidelse).



Figur 3: Konseptuell illustrasjon av terminal-løsning (Illustrasjon: Møre Maritime).



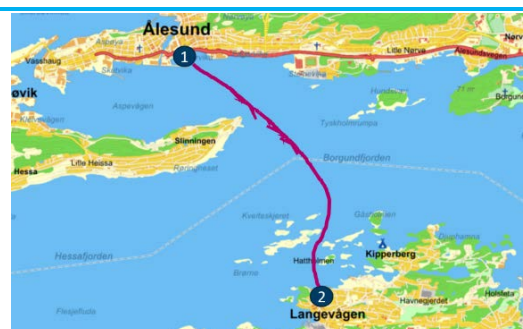
Figur 4: Konseptuell illustrasjon av skip dokket i terminal (Illustrasjon: Møre Maritime).

3.2 Brukercase Ålesund: hurtigbåt Ålesund-Langevåg

Brukercase for Ålesund representerer en betydelig modernisering av eksisterende hurtigbåtsamband mellom Ålesund og Langevåg (Figur 5). En har i arbeidet utredet muligheten for en høyest mulig grad av automatisering av sambandet i kombinasjon med innføring av nullutslipps fremdrift. Automatisering (høy autonomigrad) for hurtiggående fartøy er ekstra utfordrende som følge av høy seilingshastighet.

Dagens rute er omtalt som en pendlerrute, dvs. pågangen av passasjerer er størst om morgenen og på ettermiddagen. Omfattende analyser av alternative oppsett for fergesambandet mtp frekvens, antall fartøy og fartøys størrelse(r) er utført. Dette med utgangspunkt i både dagens passasjergrunnlag, og på et fremskrevet passasjergrunnlag frem mot 2040 basert på befolkningsvekst-prognoser for regionen.

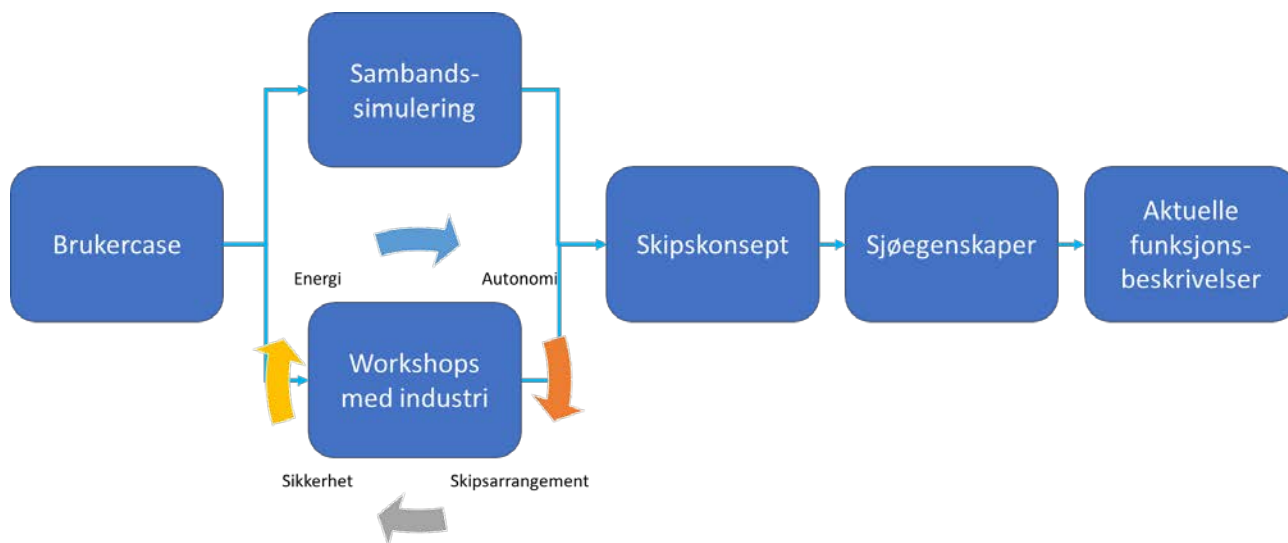
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Skipsdesign: katamaran, hurtiggående • Fartsområde: 1 • Estimert seilingstid: 10 minutter | <ul style="list-style-type: none"> • Seilingsdistanse: 3,8 km • Estimert snutid: 5 min • Estimert hastighet: +/- 20 knop |
|---|---|



Figur 5: Mulig fartøyskonsept for hurtigbåt Ålesund (Illustrasjon av fartøyskonsept: Br. Aa).

Tilnærming til utforming av terminal for hurtigbåten vil den være tilnærmet lik som beskrevet for pendelfergen, da de grunnleggende prinsipp knyttet til sikkerhet, tilførsel av energi, samt effektivitet i både skipsoperasjon og passasjerlogistikk i stor grad vil være sammenfallende.

4 Metodisk tilnærming



Figur 6: Overordnet metodisk tilnærming.

Den metodiske tilnærmingen til prosjektets etablering av relevante fartøyskonsepter egnet for de to casene er illustrert i Figur 6. Med utgangspunkt i brukercasene beskrevet i kapittel 3 er det gjennomført en serie med arbeidsmøter med relevante industriaktører innen skips-design & -bygging, rederi og utstyrsleverandører. Herunder innhenting av informasjon spesifikt for de to brukercasene som ikke er offentlig tilgjengelig. Rapporten tar også inn resultat og funn fra flere andre prosjektrapporter, og særlig L1.3 – Kvantitativ miljøbeskrivelse, L2.2 – Valg av autonomitetsgrad for fartøykonsept og L2.3 – Fremdrifts- og energisystem for autonome passasjerskip. I tillegg er tidlig-funn fra pågående aktivitet A2.4 – Dokking, ombordstigning og evakuering også inkludert.

Det er i tillegg utført en betydelig mengde sambandssimuleringer for å kvantifisere kapasitetsbehov for de ulike sambandene casene består av. Input fra sambandssimuleringer og industriaktører er så benyttet for utarbeidelse av aktuelle skipskonsept egnet for de to ulike casene. Disse dannet igjen grunnlaget for vurderinger knyttet til sjøgangsegenskaper i relevant miljø. Herunder også vurderinger omkring nødvendig ytelse ved maskineri for ivaretagelse av trygg manøvrering til kai. De resulterende forslagene til fartøyskonsept blir endelig beskrevet ved hjelp av aktuelle funksjonsbeskrivelser. En nærmere beskrivelse av simuleringsmetode og tilnærming til dette arbeidet er utledet i kap. 7.1 Simuleringsmetode.

5 Workshops med industriaktører og rederi

En rekke arbeidsmøter og samtaler har blitt avholdt med industriaktører innen skipsdesign, skipsbygging og leverandører av sikkerhetsutstyr for passasjerskip. I tillegg har en hatt lignende arbeidsmøter med rederi for å diskutere operasjonelle fordeler og utfordringer knyttet til automatisering av passasjerskipsoperasjoner.

Hovedformålet med arbeidsmøtene har vært å få innsikt i hva ledende industrielle aktører innen passasjerskipsteknologi ser for seg vil være mulig å levere av autonome passasjerskipsløsninger i det korte til mellomlange bildet (3-5 år), hva som er de viktigste teknologiske gapene opp mot autonom operasjon, og hvordan de evt. kan lukkes. I tillegg utfordret vi samtlige aktører om å komme med innspill på egnede fartøyskonsepter for casene i prosjektet, evt. bistå som sparringpartnere slik at prosjektet selv kunne utlede egne skisser på et konseptuelt nivå. Arbeidsmøtene gav også viktige innspill ift. utforming av fartøyskompetene og energisystem.

5.1 Fartøys- utforming og arrangement

En av hovedutfordringene vi har med passasjerskip i dag i forhold til autonomi/automatisering er at hvert skip ofte er spesialdesignet for en rute og en kunde. Dette fører til stor variasjon i ulike løsninger (muligens med unntak av hurtigbåter), noe som gjør det spesielt utfordrende å utvikle løsninger som ivaretar sikker og effektiv operasjon. Både under normale forhold, men ikke minst også ved sikkerhetskritiske hendelser (f.eks. håndtering av brann og/eller evakuering om bord i lav- eller ubemannet passasjerskip). Dette ble understreket gjennom klare tilbakemeldinger fra industriaktørene, om at *fartøyskonseptene må være bygget opp rundt effektiv passasjer-flyt og passasjersikkerhet*. I så måte er det naturlig å se til andre former for kollektivtransport og effektive mobilitetsløsninger for mulig adopsjon av løsninger (f.eks. buss, bane, fly), for deretter legge til rette for standardiserte arrangementsløsninger. Herunder løsninger som ivaretar passasjerene på en trygg og effektiv måte dersom en sikkerhetskritisk hendelse skulle inntreffe (f.eks. brann, tappt stabilitet, evakuering). Samtidig *bør skalerbare løsninger etterstrebes* gjennom modulbaserte og konfigurerbare industrialiserte produkt (ala bilindustri), for å sikre kosteffektiv og storskala produksjon. En skalerbar plattform, hvor passasjerområdet i prinsippet kan standardiseres for ulike kapasiteter, kan tilpasses ulike typer skipsplattformer (katamaraner, enkeltskrog), samt at disse passasjer-modulene i prinsippet kan bygges hvor og av hvem som helst for så å monteres på resten av skipet ved verft.

Sikkerhetsmessig *bør en autonom passasjerbåt kun ha ett dekk*, selv om det for høye passasjertall vil være gunstig med to dekk mtp byggekostnader. Et viktig poeng ved minimering av sikkerhetsbemanning om bord er å *utforme skipets arrangement så enkelt og oversiktlig som mulig i passasjerområdet*. Dette for å gi gjenværende sikkerhetsbemanning enkel og god oversikt over området passasjerene oppholder seg i, men også for at passasjerene lett skal finne vegen til mønstringsstasjon på egen hånd dersom evakuering blir nødvendig. Ingen av industriaktørene prosjektet har hatt dialog med ser for seg at en kan fjerne alle mennesker fra et passasjerskip i et 3-5 års perspektiv, og det legges til grunn at en *må ha minst en person om bord som vil fungere som sikkerhetsansvarlig* (se rapport L2.2 for mer utfyllende informasjon).

I forhold til generell attraktivitet til tjenesten blant brukere er *effektiv passasjerflyt* essensielt for en standardisert og fremtidsrettet kollektivitet til sjøs, herunder enkel logistikk for mikromobilitetsutstyr (sykler, sparkesykler) og barnevogner. I tillegg til ren *harmonisering av rutetabeller mellom ulike transportmodi* for effektiv integrasjon mot øvrige transportformer, har dette potensielt sett stor betydning

for brukervennlighet og -verdi. Ytterligere betraktninger omkring attraktivitet og valg av reisemiddel er godt dokumentert i rapport L1.4 (Frøyen, 2020), hvor faktorer som kvalitet, regularitet og driftsstabilitet, samt reisetid og -kostnad blir løftet frem som særlig viktige. Når det gjelder selve arrangementet om bord er det tilrådelig å hente inspirasjon fra andre optimerte kollektivsystemer som buss, fly og bane. *Ombordstigning via skipets side med lagringsrom midtskips for sykkelplassering og barnevogner, og passasjeroppholdsrom for og akter gir god passasjerflyt* (se kap. 8.1.). Dette i motsetning til et mer tradisjonelt skips-design (dvs. med baug og hekk-parti), hvor en med av- og påstigning i baug vil måtte forflytte sykler, bagasje og barnevogner gjennom salong. Mange passasjerskip praktiserer i dag baug-dokking, noe som anses å være både raskt og effektivt, men energikrevende da en må bakke ut og snu hver gang en går fra kai.

Ved elektrifisering blir fokus på lavt energiforbruk viktig for å minimere batteripakker og nødvendig ladeinfrastruktur på land. Unntaket her er kanskje hurtigbåter, hvor leverandører av slike fartøy viser til at energiforbruk under manøvrering til/fra kai utgjør en liten del av det totale forbruket ettersom forbruket i marsjart er høyt.

5.2 Energi- og fremdriftssystem

En viktig føring for fremtidige passasjerfartøy som del av offentlige kollektivsystemer er at *fremdriften skal være basert på nullutslippsteknologi*. For begge casene i dette prosjektet er batterielektrisk fremdrift teknisk mulig, og dermed også løsningen som anbefales da dette er den mest modne nullutslippsteknologien i det korte bildet. Mer konkrete detaljer omkring fremdrifts- og energisystem for casene er utledet i rapport for aktivitet A2.3 Fremdrifts- og energisystem for autonome passasjerskip skrevet av Stenersen, 2022 (videre L2.3).

Pendelfergen i Kristiansund vil være meget egnet for batterielektrisk fremdrift da energiforbruket er relativt lavt og utseilt distanse pr. tur svært kort. Vi blir her av industriaktører rådet til å legge opp til en strategi hvor en *lader sjelden og kun på ett sted*, og heller investerer i en *noe større batteripakke* for fartøyet. Den økte kostnaden ved dette vil en kunne hente inn igjen på landinfrastrukturen, både i form av relativt lavt behov for ladeeffekt og enkle lavkost tilkoblinger (dvs. ladeløsning). Ekstra vekt i fartøyet gjennom en tyngre batteripakke vil også kunne være positivt for oppførselen til skipet, både i manøvrering og sjøgangsegenskaper for øvrig. Siden dette er en to-punkts rute hvor fartøyet seiler frem og tilbake mellom to spesialbygde terminaler, vil manøvrering/innseiling til terminal vil være en stor del av operasjonsprofilen. Fartøyet er derfor tjent med å settes opp med et *pendelferge skrogdesign med en roterende azimuth thruster* i akterskip og forskip for å utføre operasjonen mest mulig effektivt.

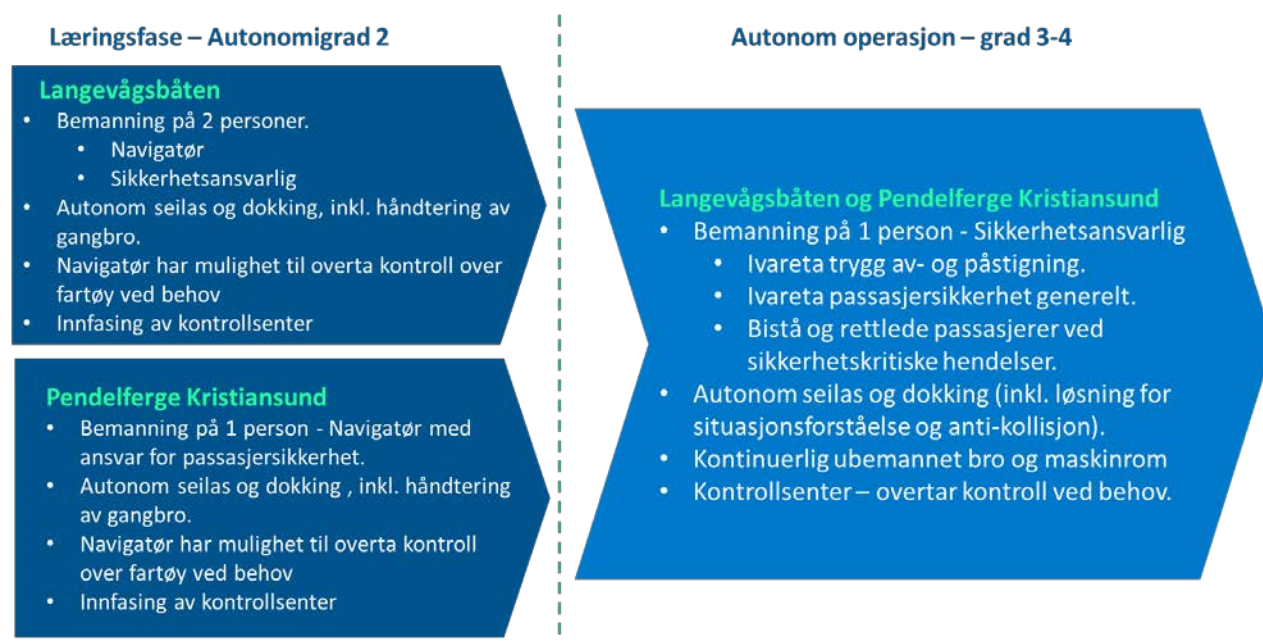
For hurtigbåten som skal betjene ruten Langevåg-Ålesund er det utført detaljerte beregninger i Klimasatsprosjektet, hvor det konkluderes med at en batterielektrisk løsning er mulig også for dette sambandet (LMG Marin, 2021). Samtidig er en slik løsning betydelig mer utfordrende enn for pendelferge-caset. Selv om seilingsdistansen er relativt kort er dette fordi hurtigbåter generelt sett bruker mye energi på fremdrift. Batterielektriske løsninger er også vesentlig tyngre enn rene diesel-løsninger, noe som er spesielt ugunstig for en hurtiggående katamaran der vekt er veldig kritisk mtp energiforbruk. Dette gjør igjen at en bør/må *legge opp til hyppig lading* for å holde størrelsen og dermed vekten av batteripakken nede. Dette har

derimot andre ulemper som bl.a. *krav til høye ladeeffekter, høy C-rate¹* på batteri, men også *redusert operasjonell fleksibilitet* (dvs. mulighet til å flytte fartøy til andre samband). Tilrettelegging for lading ved begge anløp bør derfor utredes, og alle disse effektene er kostnadsdrivende. *Fremdriftssystemet vil bestå av ror og propeller* tilsvarende dagens løsning ettersom seilingshastighet for ruten i hurtigbåtsammenheng er relativt lav.

Aktuelt fremdrifts- og energisystem for hurtigbåt caset er basert på konklusjonene utført av Klimasatsprosjektet (LMG Marin, 2021), hvor det er gjort en studie mulig løsning for elektrifisering av hurtigbåtsambandet Ålesund-Langevåg. Detaljer omkring dette er også gjengitt i rapporten L2.3 (Stenersen, 2022).

5.3 Anbefalt grad av autonomi og bemanning om bord

I flere av arbeidsmøtene ble bemanning om bord drøftet, og dermed også utfordringer knyttet til reduksjon av eksisterende sikkerhetsbemanning for prosjektets utvalgte brukercase. Dette arbeidet ble tatt videre i delaktivitet A2.2 Autonome/semiautonome operasjoner, hvor anbefalt og realistisk grad av autonomi for begge brukercase ble utarbeidet og beskrevet i L2.2. Resultatet av anbefalingen er gjengitt i Figur 7 nedenfor, hvor størrelse på bemanning om bord også fremkommer.



Figur 7: Anbefalt løsning og grad av autonomi (Kilde: Holte & Wennersberg, 2021).

Nevnte anbefalte løsning for begge brukercase medfører at det vil være *behov for mannskap om bord med navigatørkompetanse i hele læringsfasen*, noe som også legger føringer for utforming og utrustning av skipskonseptene.

Dette fordi dagens teknologiske utfordringer knyttet til etablering av situasjonsforståelse, samt at begge ruter opererer i relativt trafikkerte farvann, bestående av både større og mindre skip, samt øvrige farkoster

¹ C-rate angir hvor raskt et batteri kan lades, men også hvor store effekter som kan trekkes ut ved bruk. Ved C-rate på 1,0 kan et batteri lades fra 0% til 100% på en time. Se rapport fra LMG Marin, 2021 for ytterligere beskrivelser.

(f.eks. passasjerskip, frakteskip, fiskebåter, seilbåter, mindre motorbåter, kajaker, etc.). For Langevågsbåten spesifikt forsterkes kompleksiteten ved nevnte punkter ytterligere grunnet høy seilings-hastighet.

Bemanningsprofilen som må tas høyde for i de respektive brukercase er derfor:

- Langevågsbåten => 2 ulike roller: navigatør og sikkerhetsansvarlig, hvor navigatør er kontinuerlig til stede på bro og ivaretar sikker navigasjon og manøvrering av skipet. Sikkerhetsansvarlig har som primær oppgave å ivareta passasjerenes sikkerhet under overfart og i forbindelse med av- og ombordstigning.
- Pendelfergen => 1 rolle: navigatør med ansvar for passasjersikkerhet om bord. Herunder ivareta sikker og effektiv navigasjon og manøvrering av fartøy, samt passasjerenes sikkerhet under overfart, og i forbindelse med av- og ombordstigning.

Konkret for skipsløsningene i en læringsfase vil eksisterende utfordringer knyttet til situasjonsforståelse (inkl. objekt deteksjon og anti-kollisjon), som for hurtigbåt forsterkes ytterligere av seilingshastighet, alene være nok til å *kreve en skipsbro* lignende konvensjonelle løsninger. Dette for å sikre at navigatøren i læringsfasen har oversikt og kontroll over operasjonen slik at han/hun kan gripe inn ved behov. Samtidig kan en for pendelferge-caset se for seg en mer nedskalert løsning der en har en *kontrollstasjon* med et mer enkelt oppsett i en eller begge ender av fartøyet, og hvor sikkerhetsansvarlig kan overta kontroll av fartøyet ved behov (dvs. i situasjoner hvor installerte automasjonssystem ikke strekker til).

6 Funksjonsbeskrivelser for autonome passasjerfartøy

En viktig del av arbeidet knyttet til aktivitet A2.1 har vært å utlede et sett med overordnede funksjonsbeskrivelser for prosjektets to brukercase. Disse legger viktige føringer og design-prinsipper som bør hensyntas ved utvikling av aktuelle fartøyskonsept som del av fremtidige sjøbaserte kollektivsystem. Innholdet i dette kapitlet oppsummerer sentrale funn som dokumentert ved ulike kapitler i rapporten.

6.1 Pendelferge

Et autonomt pendelfergekonsept realiserbart i det korte til mellomlange bildet som utredet i denne mulighetsstudien bør tilfredsstille følgende funksjonsspesifikasjon:

Dekks-arrangement (ref. kap 8.1)

- Oversiktlig ett-dekks løsning som muliggjør kontroll av og oversikt over passasjerer for en person (sikkerhetsansvarlig).
- Av- og påstigning midtskips for ivaretagelse av effektiv passasjer-flyt, herunder lagringsrom midtskips for sykkelplassering og barnevogner. Med oppholdsrom akter og forut vil arrangementet være gjenkjennbart på tvers av ulike transportmodi.
- Passasjerområde med stort fokus på brannhemmende materialer
- Lukket løsning i normal drift som hindrer passasjerer i å falle/hoppe på sjøen. drift (f.eks. fjerning av mulighet til å gå ut på dekk under overfart og/eller høy skjerming mot sjø). Dette inkluderer påstigningsløsning, som må ses i sammenheng med utforming av kai og terminal.
- Enkel kontrollstasjon(er) som muliggjør manuell overtagelse av fartøy av sikkerhetsansvarlig ved sikkerhetskritiske hendelser.

Skrog og propulsjon (ref. kap 8.1 og 10.1)

- Pendel-design med identiske forskip og akterskip. Azimuth thruster i hver ende for å sikre god holdekraft i sidevind kombinert med effektiv seiling. Installasjon av gitter rundt propelldyser for å forhindre skade av personer som eventuelt måtte befinne seg i vannet (f.eks. svømmere).
- Skrogdesign som er kursstabil i seilingsfasen og som har gode egenskaper for å hindre laterale akselerasjoner som følge av vindkast i manøvreringsfase. Dette for å sikre forutsigbare, minimale responser i horisontalplanet ved innseiling til kai.
- Redundant propulsjonssystem som sikrer mulighet til å gå til kai ved feil på ett av systemene.

Energisystem (ref. kap 5.2 og 8.1)

- Batterielektrisk energisystem. Må være redundant (ses i sammenheng med redundant propulsjon).
- Fartøyet bruker relativt sett lite energi. Det bør legges opp til en batteripakke som fører til sjelden lading (natt + litt vedlikeholds-lading på dagtid). Dette medfører økt kostnad på installert batteripakke, men vesentlig lavere kostnad på landside da det kan legges opp til utnyttelse av enkel manuell ladeplugg.

Autonomisystemer (ref. kap 5.3)

- Objekt deteksjon- og antikollisjons-systemer må utvikles og verifiseres gjennom en lærefase i virkelig operasjon.

- System for autonom seilingsfase som erstatter navigatør.
- Auto-dokking system. System for autonom manøverfase inn til terminal som erstatter navigatør, inkludert løsning for nøyaktig posisjonering av fartøy opp mot terminal/kai. Dette er her foreslått ved et spor i kai/dokking-løsning som passer med fremre delen av skroget, som sammen med en mekanisme på kai/dokking-løsning skyver akterskipet inn mot kai akter "låser/klemmer" skroget fast mot terminalen på samme sted hver gang.

Sikkerhetssystemer (ref. kap. 5.1 og 8.1)

- Vedrørende evakueringsløsninger er det flere retninger som kan tas:
 - o Automatisk utløste og mobiliserte evakueringsløsninger hvor sikkerhetsansvarlig kun skal ta beslutning om å utløse systemet, samt assistere passasjerer fra forulykket fartøy og over i evakueringsløsningen. Dvs. at det ikke skal foreligge behov for justering av flåte med line etter at den er utløst. En løsningen må derfor ivareta krav til universell utforming, og derigjennom legge til rette for effektiv og nødvendig opplevd trygghet for samtlige passasjergrupper (dvs. barn, eldre, nedsatt funksjonsevne, etc.). Her er det teknologi-gap som må lukkes da slike løsninger per i dag ikke er kommersielt tilgjengelige.
 - o En alternativ strategi vil være å utvikle løsninger som innebærer at passasjerer ikke må evakueres over i en flåte, men at skipet går til nærmeste kai ved sikkerhetskritisk hendelse, for så å evakuere passasjerer over på trygg grunn. For å realisere dette vil det være behov for økt grad av system-tenkning ift. sikkerhet, og følgelig utvikling av egnede Minste Risiko Tilstander (MRT). Dette vil kreve økt samarbeid mellom ulike aktører i næringen (skipsdesign, teknologileverandører, reder og myndigheter). En slik tilnærming vil potensielt sett være både raskere og tryggere enn å evakuere i havnebassenget, da avstanden til land er til enhver tid en svært kort (estimert til 270-300 meter). Krever godkjenning fra regulatoriske myndigheter da dette ikke er godkjent løsning etter dages regelverk.
- System for å håndtere hjelpeløs person i sjøen – her ser en for seg samspill med nødetater på land, og at fartøy har en varsler-rolle med klare prosedyrer opp mot nødetater. Herunder sende posisjonsdata og holde person under oppsyn for enkel lokalisering av den forulykkede.
- System for tidlig deteksjon av branttilløp, både i maskinrom og salong.

Skalerbarhet (ref. kap. 9)

- For å være skalerbar, og dermed anvendbar inn mot andre kapasiteter og geografiske områder må slike design være modulære – en må kunne sette sammen mange ulike løsninger av de samme grunnleggende modulene.
- Det bør legges opp til å kunne variere passasjerkapasitet, rekkevidde, hastighet og energisystem/type drivstoff.

6.2 Langevågsbåten

Et autonomt hurtigbåtkonsept realiserbart i det korte til mellomlange bildet som utredet i denne mulighetsstudien bør tilfredsstille følgende funksjonsspesifikasjon:

Dekks-arrangement (ref. kap. 8.2)

- Oversiktlig ett-dekks løsning som muliggjør kontroll av –og oversikt over – passasjerer for en person i en evakuerings-situasjon.
- Av- og påstigning som legger til rette for god passasjer-flyt og muligheter for å ta med mikromobilitetsutstyr.
- Passasjersalong med stort fokus på brannhemmende materialer.
- Løsning som eliminerer mulighet for mann-over-bord situasjoner under normal drift (f.eks. fjerning av mulighet til å gå ut på dekk under overfart og/eller høy skjerming mot sjø). Dette inkluderer påstigningsløsning, som må ses i sammenheng med terminal.

Skrog og propulsjon (ref. kap. 8.2 og 10.2)

- Skrogdesign som balanserer gode egenskaper for å hindre laterale akselerasjoner som følge av vindkast i manøvreringsfase opp mot energieffektivitet i seilingsfase. Dette for å sikre mest mulig forutsigbare og minst mulige responser i horisontalplanet ved innseiling til kai.
- Dersom autonome hurtigbåtløsninger for operasjon i områder med ofte opptredende sterk vind skal realiseres, må løsninger for økt side-thrust i forskip realiseres. Dette for å minske sannsynligheten for at man "mister" baug ved innseiling til kai i sterk vind.
- For å sikre skalerbarhet bør skrogdesign være utvidbart i lengde og fungere godt både for ulike lengder og hastigheter.
- Skiplengde må optimaliseres og tilpasses økt vekt som følge av batteri-elektrisk fremdrift.
- Redundant propulsjonssystem som sikrer mulighet til å gå til kai ved feil på ett av systemene.

Energisystem (ref. kap. 5.2 og 8.2)

- Batterielektrisk energisystem. Må være redundant og ha tilstrekkelig med holdekraft og manøvreringsevne for operasjonsområdets gitte værkondisjoner (ses i sammenheng med redundant propulsjon).
- Vekten av batterisystem vil være kritisk for effektiv drift av båt. Størrelse på batteripakke optimeres sammen med lengde båt, kapital- og driftskostnad for båt og kostnader knyttet til landinfrastruktur for å finne den beste løsningen for sambandet.

Autonomisystemer (ref. kap. 5.3)

- Objekt deteksjon- og antikollisjons-systemer må utvikles og verifiseres gjennom en lærefase i virkelig operasjon. Høyt krav til hastighet og presisjon grunnet høy skipshastighet.
- Auto-crossing system. System for autonom seilingsfase som erstatter navigatør. Må inkludere manuelle brosystem og navigatørposisjon med sikt iht. konvensjonelle regelverk som muliggjør hurtig overtagelse av kontroll av navigatør i læringsfasen.
- Auto-dokking system. System for autonom manøverfase inn til terminal som erstatter navigatør. Vil være mer krevende enn for pendel-fergen da lette hurtigbåter har mer utfordrende fartøysresponsrespons og mindre thrust-krefter å hente inn fartøyet med. Krever muligens helt

andre strategier enn for mer saktegående fartøyer med bedre balanse mellom miljø- og thrust-krefter.

- System for nøyaktig posisjonering av fartøy opp mot terminal. Vil være avhengig av utforming av terminal og om en velger baug- eller side-anløp.

Sikkerhetssystemer (ref. kap. 5.1 og 8.2)

- Evakueringsløsninger må være automatiserte. Både i form av utløsning og mobilisering slik at sikkerhetsbemanningen kun skal ta beslutning om å utløse system, samt assistere passasjerene til å komme seg fra båt over i evakueringsløsningen. Dvs. at det ikke skal foreligge behov for justering av flåte med line etter at den er utløst. En løsningen må derfor ivareta krav til universell utforming, og derigjennom legge til rette for effektiv og nødvendig opplevd trygghet for samtlige passasjergrupper (dvs. barn, eldre, nedsatt funksjonsevne, etc.). Her er det teknologi-gap som må lukkes da slike løsninger ikke er modne i dag.
- System for å håndtere hjelpeløs person i sjøen – her ser en for seg samspill med nødetater på land, og at fartøy har en varsler-rolle med klare prosedyrer opp mot nødetater.
- System for tidlig deteksjon av branntilløp, både i maskinrom og salong.

Skalerbarhet (ref. kap. 9)

- For å være skalerbar, og dermed anvendbar inn mot andre kapasiteter og geografiske områder bør slike design være modulære – en må kunne sette sammen mange ulike løsninger av de samme grunnleggende modulene.
- Det bør legges opp til å kunne variere passasjerkapasitet, rekkevidde, hastighet og energisystem/type drivstoff. Avstand mellom sideskrogene (ref. katamaranskrog) og utforming av disse, må legge til rette for effektivt drift for alle kombinasjoner av lengde, hastighet og rekkevidde en kan velge.

7 Sambandssimulering og valg av skipsstørrelser for videre arbeid

Dette kapitlet oppsummerer utført arbeid med sambandssimulering. Det gis en kort oversikt over simuleringsmetodene brukt, tilgjengelig bakgrunnsdata og resultater fra simuleringene for sambandet Langevåg – Ålesund blir presentert.

Det bemerkes at grunnet mangel på tilstrekkelig datagrunnlag var det ikke mulig å gjennomføre tilsvarende simuleringer for pendelfergen. Vurderinger omkring potensielt passasjergrunnlag for denne ruten er derfor basert på en kombinasjon av tilgjengelig data over antall reisende med buss inn og ut av Kristiansund sentrum, samt mer kvalitative vurderinger med utgangspunkt driftsrelaterte erfaringer og operasjon av dagens Sundbåt.

7.1 Simuleringsmetode

Sambandssimulatoren er et diskret-hendelse simuleringsverktøy utviklet av SINTEF (sintef.no). Overfartene simuleres ikke sekund for sekund, men det "hoppes" fra øyeblikkene systemet endrer status til det neste. Hendelsene i simuleringen "hopper" mellom er avgangene fra stoppestedene på ruten. Hvert fartøy har sine egne avgangstider fra stoppestedene og disse besøkes i kronologisk rekkefølge. Ved hver avgang tar fartøyet om bord passasjerene, enten inntil spesifiserte kapasitet er oppbrukt eller køen av reisende er tømt. Hendelser hvor køen er større en kapasitet per avgang kan også inntreffe.

Antall passasjerer ved et gitt stoppested til et gitt tidspunkt er basert på en antatt statistisk fordeling av tiden mellom ankomst av passasjerer ved stoppestedene². Kort gjennomsnittlig tid mellom ankomstene betyr at mange passasjerer ankommer stoppested i løpet av et visst tidsrom.

Passasjeroppførselen defineres derfor gjennom gjennomsnittlig tid mellom passasjerankomst. For å beskrive variasjon av passasjertallene gjennom dagen og uken kan hver ukedag deles inn i vilkårlige korte tidsintervaller der gjennomsnittet kan antas å være konstant.

Dermed er sambandet definert gjennom rutetabellen, av alle farkostene som betjener sambandet og passasjeroppførselen for alle stoppestedene i sambandet.

7.2 Passasjerdata

Grunnlaget for definisjonen av passasjeroppførsel dannes av historiske passasjertall fra hurtigbåt-sambandet Ålesund-Langevåg. I fravær av tilsvarende statistikk for pendelfergen er reisestatistikk for bussruter mellom Kirkelandet og Nordlandet i Kristiansund lagt til grunn. Dette fordi det er gir en indikasjon av antall personer som reiser kollektivt i det aktuelle operasjonsområdet. Alt gjort tilgjengelig av Fylkeskommunen i Møre og Romsdal.

² For et fast tidsrom er tiden mellom ankomsten av to passasjerer ved et stoppested eksponentialfordelt, med parameteren gitt av gjennomsnittstiden mellom passasjerene i det gitte tidsrommet. Denne fordelingen er en konsekvens av passasjerene ankommer stoppestedene uavhengig fra hverandre og til ulike tidspunkt. Intuitivt kan dette forstås slik at tidsrommet deles i mange, veldig korte perioder og for hver av disse periodene ankommer det enten en eller ingen passasjer, som et slags rekke av uavhengige myntkast. Dermed følger total antall passasjerer over hele tidsrommet en binomialfordeling. Når antall perioder som tidsrommet deles i blir vilkårlig stor, går binomialfordelingen over i en Poissonfordeling. Avstanden mellom forekomsten av to hendelser som følger en Poissonfordeling er eksponentialfordelt. Se Bhattacharyya and Johnson (1977) for utdypende forklaringer.

7.2.1 Pendelfergen

Passasjergrunnlag for Pendelfergen er basert på 2019 passasjertall fra tre bussruter som frekventerer strekningen Kirkelandet (Sentrum) og Nordlandet. Siden det bare registreres påstigende passasjerer, men ikke avstigninger, gir disse dataene ikke et godt nok grunnlag for å kartlegge passasjerstrømmene med stor sikkerhet. Samtidig, og basert på visse antakelser, gir de en god mulighet for estimering av antall reisende med kollektivt inn og ut av Kristiansund sentrum.

I motsetning til sambandet Langevåg – Ålesund har bussene flere stopp langs ruten. En første og viktig antakelse er at veldig få passasjerer forlater bussene ved de første holdeplassene langs rutene ut fra sentrum. Gjennom å summere antall påstigende på de første stoppestedene av turene, kan datagrunnlaget benyttes til å estimere antall passasjerer som reiser ut av sentrum. Om en ytterligere antar at antall passasjerer som reiser ut av sentrum er tilnærmet likt det antall passasjerer inn til sentrum i løpet av dagen, er det mulig å skape en antakelse om hva slags kapasitet pendelfergen bør ha dersom den skal erstatte bussen som hovedmiddel for kollektivtransport mellom Nordlandet og Kirkelandet.

Den største passasjerstrømmen som er registrert er på ca. 175 passasjerer per time og opptrer mellom klokken 7-8 og 12-15 på hverdager. Dette utgjør en del av grunnlaget for vurderingene gjort omkring foreslåtte passasjerkapasitet (se kap. 8.1). Mer informasjon omkring utførte analyser finnes i Appendix A: Passasjerfordeling ut av Kristiansund.

7.2.2 Langevågsbåten

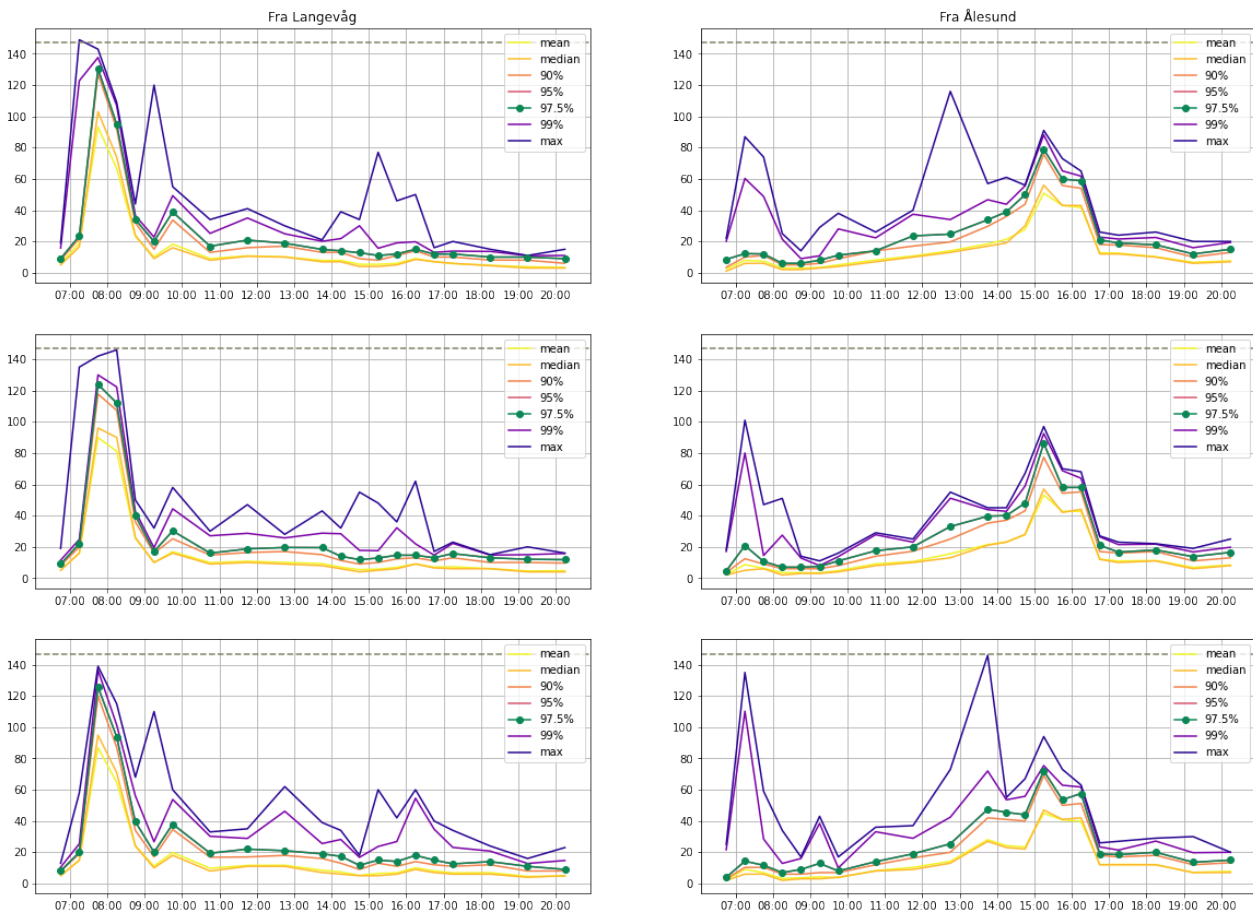
For sambandet Langevåg – Ålesund har prosjektet fått tilgang til totalt antall passasjerer for hver tur (fra Langevåg til Ålesund og fra Ålesund til Langevåg) mellom 1. januar 2017 og 31. desember 2019. Tallene er tidsstempelt med avgangstider i henhold til rutetabellen. Etter å ha fjernet alle avganger som faller på høytids- og helligdager, ble passasjertallene gruppert etter terminal, ukedag og avgangstid (f.eks. alle avganger fra Langevåg som har avgangstid 06.30 på mandager osv.). Disse grupperte avgangene ble så benyttet for å lage forskjellige passasjerprofiler basert på en sannsynlighetsfordeling. En profil består av antall passasjerer mellom to avgangstider i rutetabellen i løpet av dagen, for hver ukedag, og faller innenfor en persentil for inntreffelse. På søndager har Langevågsbåten ingen avganger. Antall minutter mellom to avganger delt på antall passasjerer for siste avgang, gir gjennomsnittstiden mellom ankomsten av to passasjerer.

Figur 8 og Figur 9 gir en grafisk fremstilling av passasjerprofilene for Langevågsbåten. Profilene som er blitt benyttet for simuleringene er basert på gjennomsnittlig passasjertall for avgangene ("mean" i figuren) og den 97,5-te persentilen³. Gjennomsnittsscenarioet gir et inntrykk av hvordan fordelingen av passasjerene over dagen er i gjennomsnittet, men en betydelig andel av avgangene vil i virkeligheten ha en del høyere eller lavere antall passasjerer. Hvor stor denne variasjonen er, er ikke fanget i dette scenariet.

Øverste rad i Figur 8 viser profilene for mandager, andre rad profilene for tirsdag osv. Figur 9 viser profilene for torsdager, fredager og lørdager. Merk at sambandet ikke betjenes på søndager. Den grønne linjen representerer profilen basert på 97,5-te persentil av passasjertallene per avgang. Merk at denne linjen følger forløpet til lavere persentiler og gjennomsnittet, mens maksimalprofilen (basert på 99-de

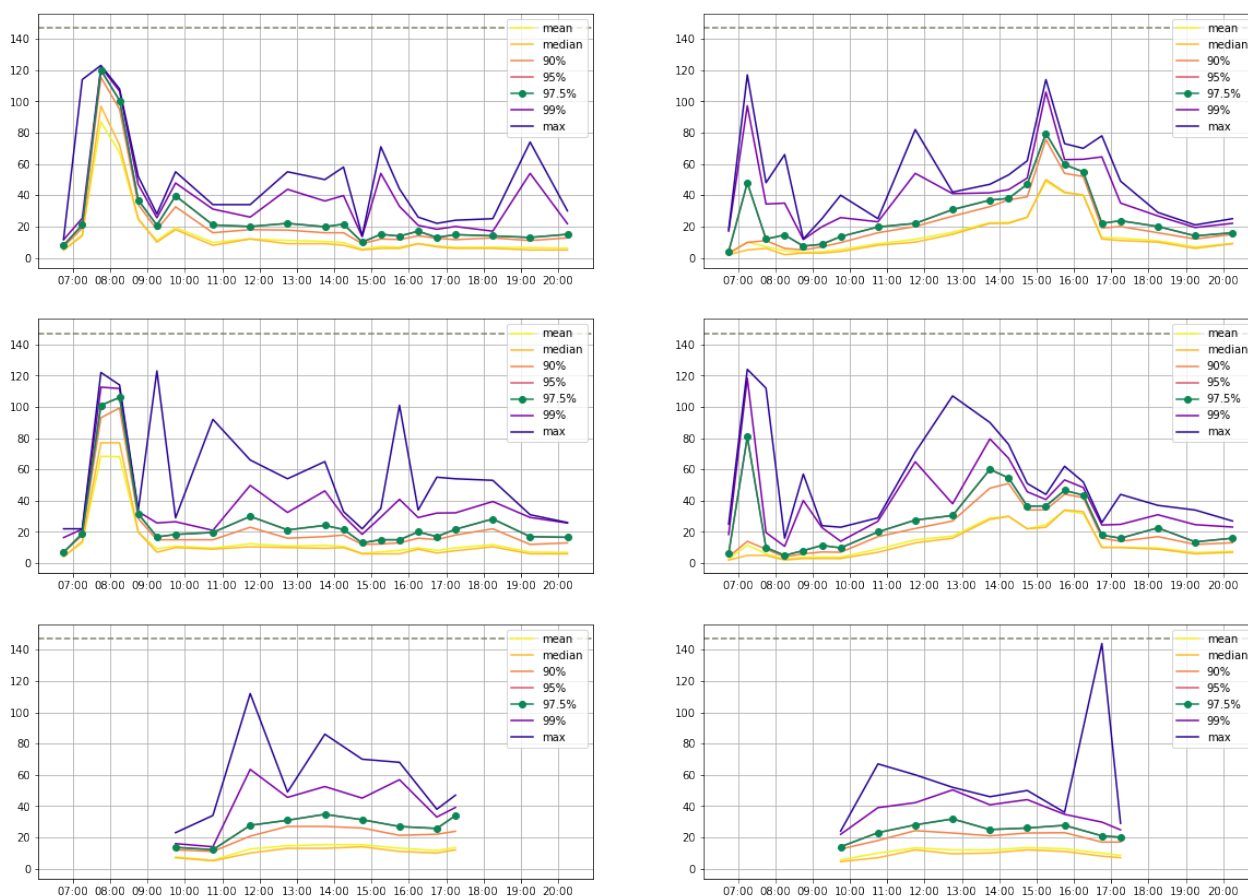
³ For et vilkårlig antall datapunkt er den n -te persentilen p er verdien slik at $n\%$ av dataene er mindre eller lik p . Dvs. at den 97,5-te persentilen av passasjertallene for en gitt avgang tallet slik at 97,5% av alle avgangene hadde like mange eller færre passasjerer.

persentilen) utviser skarpe topper som bryter med det generelle forløpet (f.eks. for avgangen litt før kl. 14.00 fra Ålesund på onsdager). Dette indikerer at datasettet inneholder utliggere og at 97,5-profilen mest sannsynlig er det mest ekstreme scenariet som fortsatt følger den generelle fordelingen av passasjerer gjennom dagen. 97,5-te persentil gir dermed en slags øvre grense for antall passasjerer⁴ en kan forvente. Derfor er denne profilen valgt for stress-testing av sambandet. I realiteten er det svært lite sannsynlig at 97,5-te persentil vil bli oppnådd for alle avganger i løpet av dagen, en hel uke på rad. Siden formålet med undersøkelsene i dette prosjektet er å kvalifisere at foreslåtte løsninger klarer å dekke passasjerbehovet i sambandet i størst mulig grad, legges 97,5-profilen til grunn for simuleringene.



Figur 8: Passasjerfordelingen for fergeavganger fra Langevåg og Ålesund (mandag, tirsdag og onsdag).

⁴ Det velges å benytte 97,5-te persentil i stedet for maksimalverdien siden maksimalverdien er svært utsatt for utliggere, altså datapunkt med en veldig høy verdi som ikke er representative for passasjerfordelingen.



Figur 9: Passasjerfordelingen for avganger fra Langevåg og Ålesund (torsdag, fredag og lørdag).

I tillegg til passasjerprofilene basert på tall i perioden 2017 – 2019, er det også generert en "Ålesund 2040" profil. Dette er en oppskalert versjon av 97,5-te persentil profilen. Skaleringsfaktor på ca. 1.1 er beregnet fra forholdet mellom predikert antall innbyggere i Ålesundsregionen i 2040, 92 667⁵, og dagens innbyggertall på 84 585⁶.

Rutetabeller for Langevågsbåten

For Langevågsbåten har det blitt laget to forskjellige rutetabeller, en som følger dagens avgangstider med et fartøy (RT1), og en tabell med doblet avgangsfrekvens kl. 06.30 og kl. 10.00 og kl. 13.30 og kl. 17.15 på hverdager hvor det er lagt opp til bruk av to fartøy mellom (RT2). Lørdagsavgangene går etter dagens rutetabell. For detaljer se Appendix B: Rutetabeller for Langevågsbåten.

7.2.3 Simulerte båtstørrelser for Langevågsbåten

Dagens rute betjenes av et fartøy med passasjerkapasitet på 147 personer i henhold til rutetabell RT1. I tillegg er det simulert alternative oppsett med to fartøy – med ulike passasjerkapasiteter – basert på avganger i henhold til rutetabell RT2. Hvor godt de ulike alternativene løser transportproblemet med tanke

⁵ SSB-estimat fra 2020.

⁶ Summen av innbyggere i Ålesund, Giske og Sula kommune per 1.1.2021. Hentet fra SSB, <https://www.ssb.no/statbank/table/07459/>

på antall gjenstående passasjerer på kai, men også utnyttelse av transportkapasiteten, er gjengitt i Tabell 2. I tillegg ble simuleringer utført for et oppskalert fremtidig passasjergrunnlag for året 2040, både for 1-skips og 2-skips løsninger.

7.3 Simuleringsresultater for Langevågsbåten

Dagens oppsett betjent av et fartøy med kapasitet på 147 passasjerer i henhold til dagens rutetabell (RT1) har en utlasting på ca. 80% i morgenrushet i retning Ålesund og på ca. 60% i ettermiddagsrushet i retning Langevåg. En løsning med 2 fartøy med en kapasitet på 75 passasjerer per fartøy og utvidet rutetabell (RT2) har ca. samme utnyttelsesgrad i rushtiden, men høyere i tiden der bare et fartøy betjener sambandet. En annen løsning som følger rutetabell RT2, men med 2 fartøy hvor kapasiteten er satt til 99 passasjerer per fartøy har lavere utnyttelsesgrad. *Alle tre løsningene tilfredsstiller dagens transportbehov.* Hovedforskjellen mellom 1- og 2-båtsløsningen er dermed den reduserte forventete ventetiden for passasjerer ved økt frekvens i avgangene. Dette fordi en løsning basert på ett fartøy vil ha avgang hvert 30. minutt fra samme terminal, mens en med to fartøy vil kunne ha avgang hvert 15. minutt.

Tabell 2: Simuleringsresultater for alternative løsninger for Langevågsbåten.

Scenarioer	Maks antall passasjerer gjenværende på kai		Maks kapasitetsutnyttelse (%)	
	Langevåg	Ålesund	Langevåg	Ålesund
0: RT1 – 1 skip – 147pax	0	0	95	65
1: RT2 – 2 skip – 75pax	0	0	90	65
2: RT2 – 2 skip – 99pax	0	0	70	50
3: RT2 – 2 skip 99pax / 50pax	28	28	100	100
4: RT2 – 2040 – 1 skip – 147pax	4	0	95	75
5: RT2 – 2040 – 2 skip – 75pax	3	0	95	75
6: RT2 – 2040 – 2 skip – 99pax	0	0	75	55

En to-skips løsning med forskjellige passasjerkapasiteter på 50 og 99 passasjerer er derimot utilstrekkelig på grunn av for mange etterfølgende avganger med høyt antall gjenværende passasjerer på kai ved avganger om morgenen fra Langevåg til Ålesund (dvs. maksimal kapasitetsutnyttelse overskrides).

Med framskrevet passasjerbehov for 2040 er løsningen med to skip med 99 pax hver den eneste simulerte løsning som tilfredsstiller det estimerte transportbehovet. En løsning med ett skip med kapasitet på 200 passasjerer vil høyst sannsynlig også gjøre det samme. Basert på at 2x75pax og 1x147pax løsninger dekker dagens transportbehov i samme grad, og at framskrivningen er en ren skalering, er det antatt at fordelingen av passasjerer ikke endres i løpet av dagen.

Oppsummert fremstår derfor dagens ett-skips løsning med dagens kapasitet som tilstrekkelig for sambandet de nærmeste år (frem mot 2030), og dermed en meget aktuell løsning. Samtidig vil trolig det mest fremtidsrettede og attraktive alternativet fra et brukerperspektiv være en 2-skips løsning, som i form av hyppigere frekvens generelt sett vil styrke attraktiviteten til transporttjenesten (f.eks. 2 skip – 99 pax). En slik løsning vil trolig også være med fleksibel i form av at ulike fartøy kan benyttes til ulike formål gjennom døgnet. Samtidig vil dette også mest sannsynlig medføre økte kostnader i form av investering i et ekstra fartøy, men også operasjonelle utgifter knyttet til bl.a. bemanning. Hva som er mest hensiktsmessig i et samfunnsøkonomisk kost-nytte perspektiv vil vurderes nærmere i aktivitet A2.6 Kost-nytte analyser.

8 Konsepter for autonom sjøbasert kollektivtransport

I utgangspunktet ønsket prosjektet å basere alle sine analyser og konklusjoner på industrielle produkt som: (1) enten eksisterer i markedet per i dag, eller (2) befinner seg på konseptstadiet med plan for markedslansering i et 3-5 års perspektiv.

Når det kommer til kollektivoptimerede pendelferger som passer for brukercase Kristiansund ble det raskt klart at ingen av industriaktørene som prosjektet har vært i dialog med hadde slike i sin portefølje. Det var heller ingen muligheter for å utvikle et konsept spesifikt for dette prosjektet. Dette medførte at Smartere transport *prosjekt-teamet selv utarbeidet et aktuelt konsept*, og hvor ulike industriaktørene ble konsultert i prosessen. Da særlig involverte aktører i Pilot-T Sundbåt prosjektet.

For hurtigbåt caset Langevåg-Ålesund var situasjonen noe annerledes. Dette fordi *dagens hurtigbåt design* ligger ganske nært opp mot de ideer og tanker som ble diskutert ved ulike arbeidsmøter omkring et mulig fremtidig design. Herunder viktige prinsipper mtp. arrangement for en passasjerbåt med høyest mulig autonomigrad. Utfordringen hurtigbåtene står ovenfor er de generelle overordnede utfordringene mtp. autonomi for passasjerbåter, evakuering og sikker navigasjon. Sikker navigasjon i form av at objekt-deteksjon og kollisjonsunngåelse er spesielt utfordrende for hurtiggående fartøy grunnet høy hastighet alene.

Fartøyskonseptene presentert i dette kapitlet utgjør grunnlaget for de vurderingene som skal gjøres i aktivitet A2.6 Kost-nytteanalyser. For Langevågsbåten innebærer dette at rapporten ikke treffer noen konklusjon omkring hva som er mest hensiktsmessig med tanke på en ett- eller to-skipsløsning. Dette fordi de vurderinger som gjøres ansees relevante uavhengig av de mest aktuelle skipsstørrelsene som avdekket gjennom simuleringarbeidet (f.eks. 1 skip – 147 pax eller 2 skip – 99 pax).

8.1 Fartøyskonsept for pendelfergen

Basert på case-beskrivelsen, arbeidsmøter og øvrig dialog med industriaktører har prosjekt-teamet utviklet et overordnet konsept for en pendelferge i rute mellom Kirkelandet-Nordlandet med 15 minutters frekvens i rush-tiden. I denne prosessen har det også vært utstrakt samarbeid med Pilot-T Sundbåten prosjektet, hvor det kommunale rederiet Sundbåten har bidratt med erfaringsbasert kunnskap og statistikk omkring reisevaner og passasjerflyt. Det er videre lagt stor vekt på at konseptet skal være en rendyrket funksjonell kollektivitet med skaleringspotensiale opp mot andre operasjonsområder/ruter, kapasiteter, ytelser og energi/fremdriftsløsninger.

Basert på vurderinger med utgangspunkt i operasjonelle driftserfaringer og passasjerstatistikk fra dagens Sundbåt, samt potensielt passasjergrunnlag fra estimert antall reisende med buss inn og ut av Kristiansund sentrum, er anslått kapasitet for et slikt fartøy satt til 99 pax. Tatt i betraktning muligheter for å ta opp fremtidig vekst i passasjergrunnlag, vil dette mest sannsynlig være en riktig størrelse. Ettersom det legges opp til en *sikkerhetsbemanning* på en (1) person om bord i læringsfasen, vil konseptet ha en reell kapasitet på 99 passasjerer på kort-til mellomlang sikt.

Ved overgang fra læringsfase til autonom operasjon vil det høyst trolig fortsatt være aktuelt med bemanning på en (1) person. Dette vil også innebære etablering av et *bemannet kontrollrom*, som kostnadsoptimalt sett bør støtte flere skip og samband, hvorpå forslag til fordeling av oppgaver og ansvar mellom bemanning skip og kontrollrom er gjengitt i rapport L2.2 (Holte & Wengersberg, 2021).

Fartøyskonseptet er inspirert av Møre Maritime sin skisse av "M/S Fremtid" illustrert i Figur 10, utarbeidet gjennom det pågående Pilot-T prosjektet for ny autonom Sundbåt i Kristiansund.



Figur 10: Pendelferge - konseptuell skisse (Kilde: Møre Maritime, 2022).

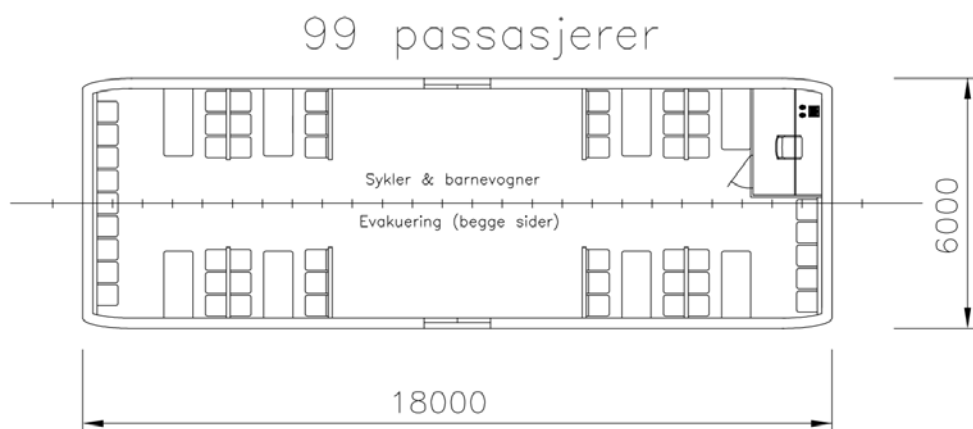
Fartøyskonseptet har lagt opp til et *dobbelt-ende skrog* (pendelferge skrog) med symmetriske forskip/akterskip med en *roterbar azimuth thruster* for fremdrift og manøvrering i hver ende (Figur 11). Skipet behøver derfor ikke snu ved hver avgang fra terminal. Forlengelsen av skrogene foran og aktenfor salongen har to funksjoner. Den ene er å *låse skipet foran i terminalen* ved å kjøre denne forlengningen inn i et tilpasset spor i terminalen, noe som sammen med en låsing av fartøyet akter sideveis representerer en enkel og robust løsning for muliggjøre/forenkle autonom dokking. Den andre funksjonen er *forlenging av vannlinje* for økt energieffektivisering. Mer informasjon omkring løsning for dokking og ombordstigning gis i rapport L2.4 Sikker dokking, ombordstigning og evakuering (rapport under utarbeidelse).



Figur 11: Pendelferge skisse i snitt midt i fartøyet (Kilde: SINTEF Ålesund).

Dekksarrangementet har *av/påstigning midtskips på siden* og et betydelig areal for barnevogner og mikromobilitetsutstyr i umiddelbar nærhet til av/påstigning for god flyt av både passasjerer og utstyr (Figur 12). Her har fergen et fortrinn tilsvarende andre landbaserte kollektivtransportsystemer, da man ved endringer i arrangement enkelt kan legge til rette for mer eller mindre lagringsplass. I hver ende av skipet er det salonger for passasjerer, i tillegg til et kontor for sikkerhetsansvarlig, hvor det også kan legges opp til at man kan ta kontroll over skipet manuelt. Et slikt kontor eller kontrollstasjon vil en muligens måtte ha i begge ender i læringsfasen. Evakueringsløsninger (i den grad dette anses som nødvendig) er tenkt

integrrert i veggene i midtre del av skipet, hvorpå mulige løsninger blir videre utledet og diskutert i L2.4 (rapport under utarbeidelse).



Figur 12: Dekksarrangement for pendelferge 99 pax (Kilde: SINTEF Ålesund).

Konseptet er tenkt å ha en *batterielektrisk fremdriftsløsning med en azimuth-thruster* med propell i dyse i hver ende. Hovedparametere for konseptet for øvrig er gjengitt i Tabell 3. Propelldata og valgt ytelse i kW er basert på analyse av holdekraft ved kritiske miljølaste og ivaretagelse av sikker manøvrering inn mot kai. Det bemerkes at den spesifikke ytelsen på 125 kW representerer et konservativt anslag (se kap. 9). Vurderinger omkring anbefalt installert batteripakke med tilhørende ladekapasitet er nærmere utledet i rapport L2.3 (Stenersen, 2022).

Tabell 3: Hovedparametere for pendelferge konsept.

Hoveddimensjoner					Propelldata (pr. propell)		Batteripakke	
L [m]	B [m]	T [m]	D [m]	H [m]	Diameter [m]	Ytelse [kW]	Batterikap. [kWh]	Ladepak. [kW]
18	6	2	3.2	6.2	0.64	125	700	100

L= Lengde, B=Bredde, T=Dyppgang, D= Dybde i riss, H= Høyde fra kjøll til hoveddekk

8.2 Fartøyskonsept for Langevågsbåten

Som for pendelfergen er det utviklet et overordnet skipskonsept for hurtigbåtsambandet Ålesund-Langevåg, hvor også samarbeid med sentrale industriaktører innen skips-design og rederi har vært viktig. Videre har fylkeskommunen bidratt med passasjerstatistikk og informasjon omkring reisevaner. Utvikling av en rendyrket kollektivenhet har også vært sentralt.

Når det gjelder hovedparametere er disse innledningsvis utledet for 147 pax som er dagens løsning (Tabell 4) og for 99 pax fartøy (Tabell 5). Hovedparametere for øvrige ett- og to-skips løsninger, vil bli utledet ved behov ifm. forestående kost-nytte vurderinger i aktivitet A2.6. Vedrørende batteri-elektrisk 150 pax hurtiggående passasjerbåt konkluderte Klimasatsprosjektet med følgende løsning:

- Hoveddimensjoner som eksisterende konvensjonell Langevågsbåt.
- Elektriske fremdriftsmotorer på 2x500 kW som driver to vridbare propeller.
- Diesel-generatorer 2x150 kW som hjelpemaskineri.
- 20% økning av lettskip som følge av batteri-elektrisk løsning vs. konvensjonell diesel-mekanisk.
- Batteripakke på totalt 600 kWh.

Tabell 4: Hovedparametere for Langevågsbåten, 147 pax.

Hoveddimensjoner				Ytelse [kW]		Batteripakke	
L [m]	B [m]	T [m]	H [m]	Motor	Generator	Batterikap. [kWh]	Ladekap. [kW]
25.9	8.8	1.0 (est)	2.6 (est)	500 (x2)	150 (x2)	600	1150

L= Lengde, B=Bredde, T=Dypgang, H= Høyde fra kjøll til hoveddekk

Hovedparametere for 99 pax fartøy er basert på eksisterende fartøy Rygerprins (design av Brødrene Aa), men det poengteres at nærmere vurderinger og analyser mtp. skrogutforming, ytelse og batteripakke vil måtte gjøres ved en eventuell realisering. Med utgangspunkt i gjennomførte analyser for nødvendig holdekraft ved kritiske værkonisjoner og sikker manøvrering til kai er følgende mulige batteri-elektriske løsninger identifisert:

- Hoveddimensjoner som eksisterende konvensjonell hurtigbåt Rygerprins.
- Elektriske fremdriftsmotorer på 2x400 kW som driver to vridbare propeller.
- Diesel-generatorer 2x120 kW som hjelpemaskineri.
- 20% økning av lettskip som følge av batteri-elektrisk løsning vs. konvensjonell diesel-mekanisk.
- Batteripakke på totalt 450 kWh.

Tabell 5: Hovedparameter for hurtigbåt-konseptet 99 pax (referansefartøy Rygerprins).

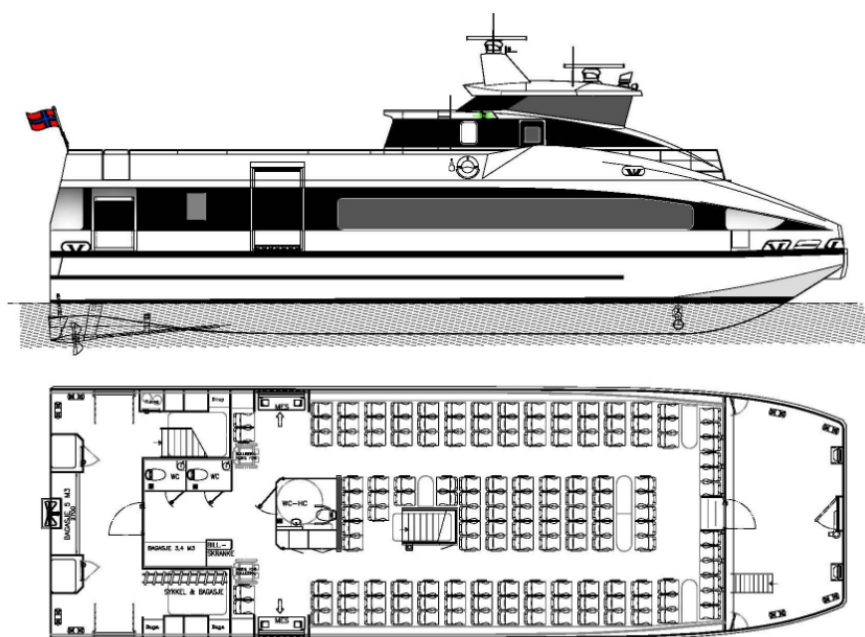
Hoveddimensjoner				Ytelse [kW]		Batteripakke	
L [m]	B [m]	T [m]	H [m]	Motor	Generator	Batterikap. [kWh]	Ladekap. [kW]
21.0	7.8	1.0	2.4	400 (x2)	120 (x2)	450	900

L= Lengde, B=Bredde, T=Dypgang, H= Høyde fra kjøll til hoveddekk

Uavhengig av fartøyets størrelse og passasjerkapasitet vil en batteri-elektrisk versjon medføre en betydelig vektøkning som følge av at det batteri-elektriske kraftsystemet veier vesentlig mer enn et tilsvarende diesel-mekanisk system. En anslått vektøkning på 20% i lettskip ble estimert i Klimasats-prosjektet, og legges følgelig også til grunn også her. Legger man til grunn at hoveddimensjonene holdes uendret, vil behovet for økt deplasement måtte dekkes gjennom å øke fylldigheten i skrogene. Gjennom Smartere transport sine samtaler med ledende industriaktører ble det imidlertid bemerket at ved en eventuell realisering av fartøyskonseptet bør ytterligere vurderinger gjøres omkring fartøyets hoveddimensjoner. For fartøystørrelsen og hastighetene som er aktuelle er det ikke ønskelig å kompensere for vektøkningen ved økt skrogbredde eller fylldighet da dette vil ha negative konsekvenser for skrogmotstanden. En økning av fartøyets lengde gir mulighet til å oppnå en slankere og mer energieffektiv skrogutforming samtidig som man utfyller behovet for økt deplasement. Hva som vil være optimal skipslengde vil naturligvis kreve nærmere analyse. Det sagt er en skipslengde opp mot 27-29 meter indikert fra industrien sin side. Samtidig bør en også vurdere økt dypgang for å øke skrogets treghet i vannet ved avdrift pga. vind. Et generelt designråd blir derfor å finne den beste balansen mellom avdriftsproblematikk (dypgang) og effektivitet i seiling (lengde), hvor man ved automasjon operasjon trolig vil tjene på et skrog som i større grad motsetter seg avdrift sammenlignet med konvensjonell operasjon der en erfaren skipsfører til en viss grad kan observere kommende vindkast og gjøre korrigerende tiltak i forkant. En slik tilnærming vil trolig slå positivt ut ift. til regularitet på tjenesten. Økt dypgang vil på den annen side kunne medføre økt motstand, og

dermed økt energiforbruk i seiling. Samtidig er ruten relativt kort og hastigheten lav sammenlignet med øvrige hurtigbåtsamband, noe som i sum gjør den mindre følsom for økt energiforbruk.

Når det gjelder dekkarrangement er dagens utforming av hurtigbåter i utgangspunktet velegnet for høy grad av automatisering, se Figur 13. En har en stor, oversiktlig salong med sitteplass til hver passasjer under overfart. Effektiv passasjerlogistikk er ivaretatt gjennom gode løsninger for ombordstigning på siden akterskips. Dekksarrangementet sin utforming og funksjon er også relativt lett å tilpasse fartøy med ulike passasjerkapasiteter, være seg 200, 150, 99 eller 75 pax. En av hovedutfordringene og teknologiapene knyttet til realisering av autonom drift av hurtiggående fartøy er derimot hastigheten i seg selv, da *løsninger for situasjonsforståelse* må videreutvikles og verifiseres. Dette fordi sikkerhetsmarginene mellom beslutning og resultat av beslutning blir mindre som følge av den høye hastigheten, noe som krever enda mer spissede og verifiserte systemer. I en læringsfase blir det av denne grunn nødvendig med en observerende navigatør som kan gripe raskt inn og overta kontroll over fartøy ved behov. I tillegg vil det også være behov for en sikkerhets-offiser på en person. En fase som potensielt sett kan strekke seg vesentlig lengre sammenlignet med mindre og mer saktegående passasjerfartøy (ref. Pendelfergen). Det er derfor svært sannsynlig at broløsningen man i dag ser på konvensjonelle hurtiggående fartøy, også vil være å se på førstegenerasjons autonome hurtiggående fartøy. Med det resultat at *arrangementet over dekk vil se noenlunde tilsvarende ut som for dagens hurtiggående fartøy*. Figur 14 viser flere kjente konseptuelle skisser over fremtidige null/lavutslipps hurtigbåtdesign.



Figur 13: Konvensjonell hurtigbåt skisse 147 pax (Kilde: Brødrene Aa).



Figur 14: Konseptforslag for fremtidens null-utslipps hurtigbåter (Kilde: Hovland, 2019).

Seks forskjellige konsepter for utslippsfrie hurtigbåter illustrert i Figur 14. Øverst: Eker Design; midten fra venstre: Selfa Arctic, NTNU Technology Transfer og Flying Foil, Rødne Trafikk; nede fra venstre: Brødrene Aa og Transportutvikling (basert på montasje utarbeidet av Nettmagasinet Energi og Klima/Norsk klimastiftelse).

For realisering av bemanningsprofilen som beskrevet for en læringsfase (se kapittel 6.3), dvs. reduksjon av sikkerhetsbemanning fra 3 til 2 personer, må også et annet og vesentlig teknologi-gap lukkes. Dette er særlig knyttet til hvordan en kan ivareta *trygg og effektiv evakuering* dersom en sikkerhetskritisk hendelse skulle inntreffe. Gjennom arbeidet i prosjektet og spesielt dialog med industriaktører innen design, rederi og leverandører av sikkerhetssystemer bør en fokusere på følgende områder:

- Arrangementsløsninger som er intuitive, oversiktlige, og hvor det er mulig å ha kontroll på passasjerene for ett besetningsmedlem i en evakueringssituasjon.
- Tekniske løsninger for automatisk mobilisering og operasjon av evakueringssystemer uten involvering fra sikkerhetsbemanningen (utenom selve beslutningen om å utløse).
- Tekniske løsninger for å ha oversikt over hvor mange som befinner seg i salong og evakueringssystemer til enhver tid.

Nevnte punkter er også helt sentrale ved overgang fra læringsfase til autonom operasjon, hvor en ser for seg å redusere bemanningen med ytterligere 1 person. Dette vil også innebære etablering av et *bemannet*

kontrollrom (som kostnadsoptimalt sett bør støtte flere skip og samband), hvorpå forslag til fordeling av oppgaver og ansvar mellom bemanning skip og kontrollrom er gjengitt i rapport L2.2 (Holte & Wenersberg, 2021).

I forhold til deksarrangementet vist over for eksisterende båt som trafikkerer Ålesund-Langevåg, bør en tilstrebe å *gjøre passasjerdekket enda mer oversiktlig*. Dette kan f.eks. gjøres ved å åpne opp mellom salong og rom for oppbevaring av sykkel og bagasje, slik at dette blir et mer sammenhengende og oversiktlig område. Dvs. at på sikt, når læringsfasen for autonome hurtiggående båter er over, kan en se for seg at arrangementet på hurtiggående båter også utvikler seg prinsipielt i retning det som er skissert for pendelfergen i dette prosjektet. Da med unntak av hurtigbåt-spesifikke krav som f.eks. eget sete for alle passasjerer.

Om en lukker nevnte teknologi-gap vil sikkerhetsbemanningen om bord ha betydelig større mulighet til å ivareta passasjerenes sikkerhet dersom en kritisk hendelse skulle oppstå (f.eks. brann og evakuering). Herunder håndtere menneskelige faktorer som er vanskelig å automatisere bort, som f.eks. ivaretagelse av *passasjerer med uberegnelig og/eller uventet oppførsel* (f.eks. panikk-anfall eller sjokkartet oppførsel). Dette ble tidlig i prosjektarbeidet identifisert som svært sentralt for realisering av autonome passasjerfartøy, noe som medførte etableringen av et eget forskningsprosjekt for nettopp å jobbe med disse problemstillingene på et grunnleggende nivå (KSP-S AutoSafe – Automated safety solutions for passenger ferries⁷).

⁷<https://www.sintef.no/projectweb/autosafe/>

9 Skalerbare løsninger – generelle betraktninger

Dersom man skal evne å utnytte vannveiene som en viktig brikke i kollektivsatsningen, og en fremtidig utbygging av denne, er konkurransedyktige løsninger helt sentralt. I dagens situasjon er det vesentlig høyere kapitalkostnader per passasjerkilometer knyttet til en ferge sammenlignet med en buss. Regnestykket blir selvsagt ikke helt nøyaktig da infrastrukturkostnaden knyttet til veitrafikken bæres av mange flere brukere. Samtidig synliggjør denne kostnaden et potensiale for nytenkning innen utviklingen av skalerbare, standardiserte og mer kostnadseffektive løsninger for passasjertransport til sjøs. I dette kapittelet presenteres derfor noen overordnede tanker omkring hvordan dette kan realiseres.

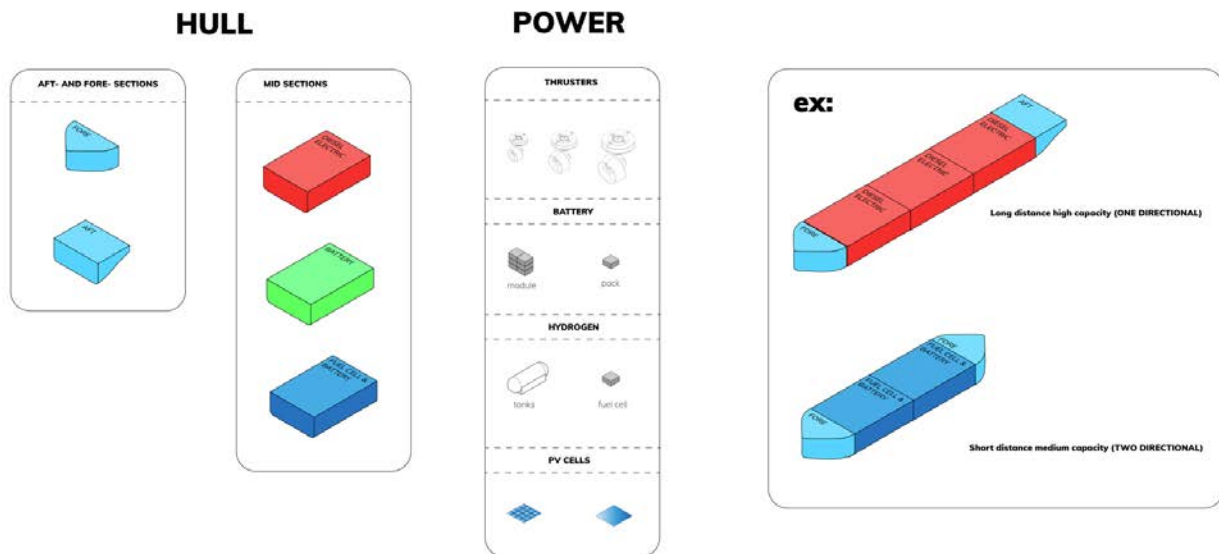
Selv om autonome løsninger høyst sannsynlig vil være en viktig brikke i å oppnå økt mobilitet via sjøveien, forutsettes det også at slike løsninger realiseres med en høy grad av standardisering. Disse må også relativt enkelt kunne skaleres opp og ned i størrelse. Både mtp. tekniske systemer og kommunikasjon, men og særlig i forhold til fartøyenes sikkerhetsløsninger og arrangement. Dette finner vi igjen i andre kollektivenheter som buss, fly og bane, der alle "kjenner seg igjen" når de kommer om bord, nesten uavhengig av hvem som har produsert transportenheten – eller hvor stor den er. Om kollektivtransport til sjøs i fremtiden skal kunne opereres sikkert og i henhold til regelverk, med få eller ingen sikkerhetsansvarlige om bord, er det helt avgjørende at fartøyene standardiseres. Dette for at passasjerene i størst mulig grad skal være kjent med hvordan fartøyene opererer ved normal drift, og hvordan redningsmidler om bord fungerer dersom en kritisk hendelse skulle inntreffe.

En måte å tenke skalering på vil være å lage et konfigurerbart system basert på moduler, se f.eks. Erikstad, 2019. Ikke ulikt hvordan bilindustrien selv skreddersyr ulike løsninger, basert på de samme grunnleggende byggeklossene konfigurert av kundene selv, vil man også i maritim næring kunne tilby ulike byggeklosser for ulike bruksområder. Dette kan en gjøre ved å dele opp et fartøysdesign i ulike moduler eller deler. Disse modulene, med ulike tilvalg og nivå av utrustning, vil kunne settes sammen av kundene selv i en fartøys-konfigurator basert på sine spesifikke behov. For et mindre passasjerfartøy kan en se for seg følgende hovedmoduler:

- Akterskip (under hoveddekk) inkludert propulsjon.
- Forskip (under hoveddekk) inkludert propulsjon.
- Midtskip (under hoveddekk) med redundant kraftverk.
- Ytterligere midtskipsmoduler uten kraftverk for utvidelse av kapasitet.
- Overbyggsmoduler med ulike kapasiteter med innredning og nødvendige sikkerhetssystemer tilpasset de ulike kapasitetene.

Alle disse hovedmodulene har klart definerte systemgrensesnitt seg imellom. Videre kan alle hovedmodulene potensielt sett ha forskjellige (men et begrenset antall), utrustningsnivå eller størrelser på komponenter (Figur 15). Punktene nedenfor viser mulige valg for de ulike hovedmodulene.

- Akterskip og forskip kan ha tre forskjellige valg for ytelse på propulsjonslinjen, og for eksempel med eller uten bulb.
- En kan velge mellom tre forskjellige typer kraftverk (f.eks. batteri-elektrisk, Hydrogen FC-batteri løsning, Diesel-elektrisk), tre ulike alternativ for installert effekt med tilhørende rekkevidder.
- En har et utvalg innredningsløsninger en kan velge mellom (f.eks. tre ulike typer).
- Ulike og enkle løsninger, men også tilvalg knyttet til malingslinjer og skreddersøm som bidrar til å skape en "illusjon" om egenart.



Figur 15: Illustrasjon av mulig modulært skips-design system for mindre passasjerfartøy (Kilde: Møre Maritim).

Det er også mulig å se for seg flere tilleggsmoduler. Mest aktuelt er midskipsmoduler (under dekk) av faste størrelser som kan settes inn for å øke passasjerkapasiteten i forhold til kundens behov. Her kan man enten ha faste lengder som man legger til en etter en, eller ulike størrelser som sammenfaller med standardiserte arrangementsløsninger. Velges en slik forlengelse oppdateres dermed arrangementet automatisk på en forhåndsbestemt måte.

Med bare et gitt antall moduler tilgjengelig, f.eks. tre mulige akterskip, tre ulike forskip og tre ulike midtskip, vil man kun på skrognivå (under hoveddekk) ha hele tjuesju ulike skip å velge mellom. Det er også mulig å legge til et overordnet valg om katamaran eller ett-skrogsfartøy, før man kommer ned i nivåene beskrevet over.

Alle mulige valg og avhengigheter gjøres så tilgjengelig i en fartøys-konfigurator som dekker hele valgte løsning. Kunden kan dermed selv sette sammen et eller flere konsept basert på egne behov, for deretter hente opp aktuell skipsdata basert på de ulike konfigurasjonene av moduler (f.eks. fart, tonnasje, passasjerkapasitet, effektforbruk, etc.). Hele systemet ferdig-designes og forhånds-godkjennes for alle mulige kombinasjoner ned i detalj.

Modulene kan så settes direkte i produksjon da de er ferdig utviklet, dokumentert og forhåndsgodkjent. De vil samtidig være produksjonsmessig uavhengig av hverandre, og i prinsippet heller ikke nødvendigvis produseres på et skipsverft. Sammenstilling, kommisjonering og testing må derimot gjennomføres på et verft.

Gjort på denne måten er det mulig å se for seg etablering av en kostnadseffektiv, industrialisert og standardisert måte for produksjon av sjøbaserte kollektivenheter.

10 Sjøegenskaper og propulsjon

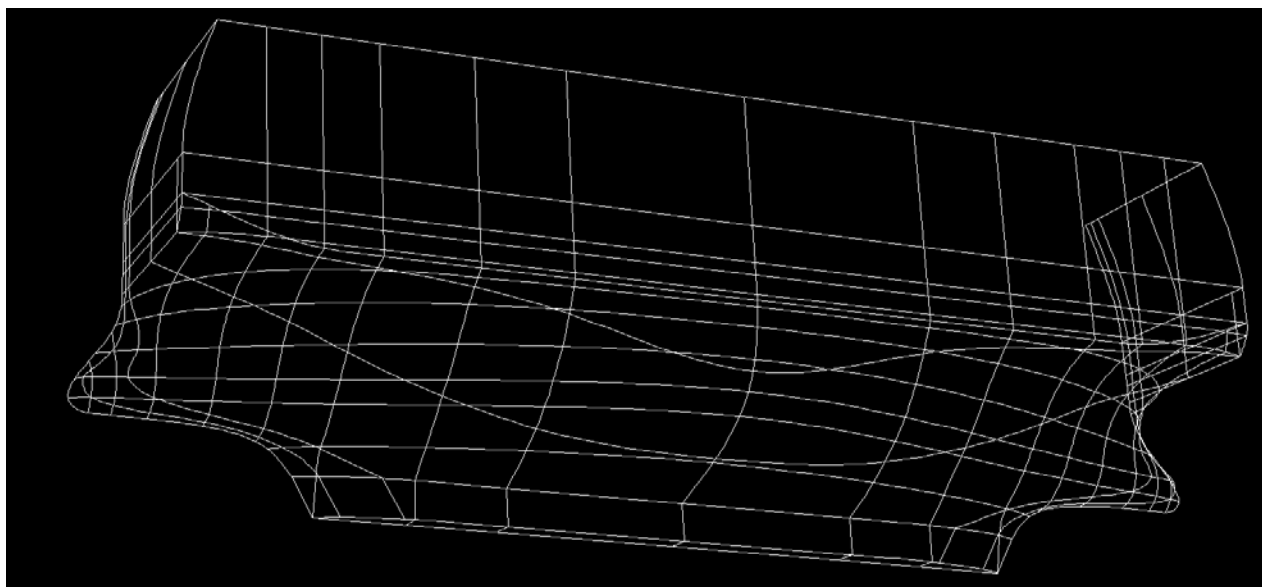
En overordnet vurdering av sjøegenskapene til fartøyskonseptene for de ulike casene er gjennomført. Fokus har vært å avdekke eventuelle utfordringer knyttet til tilgjengelighet for transportløsningene i forventede værkondisjoner, samt sikre at attraktiviteten til løsningene ikke svekkes av ubehagelige sjøgangsbevegelser. Dette er gjort gjennom analyse av evne til å legge trygt til kai i dårlig vær og beregning av indeks for sjøsyke under overfart. Vurderinger omkring hvilken betydning fartøyskarakteristikken har for transportløsningen er gjort basert på de kritiske miljølastene beskrevet i rapport L1.3 (Pobitzer, et al., 2020), hvor også nærmere dokumentasjon av ulike værforhold for de ulike bruker-casene er gjengitt.

Sjøgangsanalysene viser at operasjon av både pendelferge og hurtigbåt er i tråd med forventningene basert på erfaring fra tilsvarende design. Pendelfergen vil ha tilstrekkelig effekt til dokking for de forventede værkondisjonene. Komforten om bord kan være utfordrende på dager med høye bølger, men bevegelser vil kunne reduseres ved å endre bølgeretning relativt til skroget. For hurtigbåten kan dokking være utfordrende grunnet begrenset holdekraft mot vind, noe som vil kreve mye av autonome systemer. Dette har også sammenheng med fartøystypens relativt sett lave skipsvekt og betydelige vindfang. Som nevnt i kap 8.2 vil mer detaljert designarbeid og analyser være nødvendig for endelig å fastslå operasjonsgrenser og tilhørende tilgjengelighet for transportløsningene.

10.1 Pendelfergen

Pendelfergen i Kristiansund har et seilingsmønster hvor manøvrering, akselerasjon og retardasjon utgjør en stor del av operasjonsprofilen, da avstanden mellom Nordlandet og Kirkelandet er kort.

En viktig design-egenskap for konseptet ansees derfor å være et kurs-stabilt skrog som sikrer forutsigbar og effektiv lavhastighets-manøvrering inn mot terminal i dårlig vær. Herunder vil det være viktig med et tilstrekkelig lateral-areal under vannlinjen for ikke å drive for lett ut av kurs i sterke vindkast. I sum anbefales det å unngå skrogdesign med stort innslag av flat bunn. En vil derfor være tjent med en markant kjøll i nedre del av skroget for å oppnå egenskapene som beskrevet over. Figur 16 under viser forslag til et slikt skrog og danner grunnlaget for alle vurderinger gjort rundt pendelfergen.



Figur 16: Skisse av skrogdesign for pendelferge konsept Kristiansund (Kilde: SINTEF Ålesund).

10.1.1 Evne til å motstå miljøkrefter under manøvrering til kai

Oppsummert viser vurderingene at konseptets kapasitet på 125 kW gir tilstrekkelig med margin mtp. holdekraft mot forventede miljøkrefter i Kristiansund havnebasseng (dvs. håndtering av vindstyrker og vindkast), og dermed ivaretagelse av trygg manøvrering til kai.

En forenklet tilnærming er benyttet for å vurdere *evne for å legge til kai*. For å kartlegge fartøyets evne til å holde posisjon ved kritiske miljølaster, er det utført statiske kapabilitetsanalyser i SINTEF Ocean sin hydrodynamiske programvare ShipX⁸, se L1.3 (Pobitzer et al., 2020). Tilgjengelig "propulsor thrust" er beregnet iht. DNV GL standard ST-0111⁹. Bølgekondisjonen som er benyttet er H_s 0.5m / T_p 2.5s som representerer 95 persentil nivå beregnet for indre havnebasseng i Kristiansund, hvor det er antatt at bølgeretning er satt lik som vindretning. Strøm i indre havnebasseng i Kristiansund er iht. undersøkelsene gjort i L1.3 ikke kjent. Tidevannsstrømmene i områdene rundt ligger i 5% av tilfellene på over 0.3 knop (Pobitzer et al., 2020). En har derfor valgt å benytte en tidevannsstrøm på 1 knop (konservativt) i kapabilitetsanalysene gitt de usikkerhetene som foreligger.

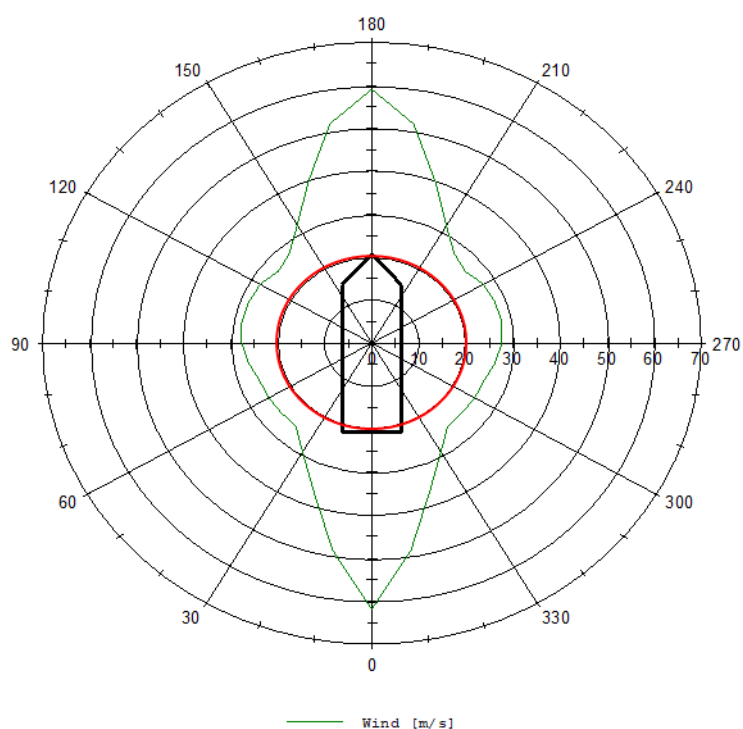
Tabell 6: Input-data for kapabilitetsanalyse pendelferge.

Propelldata							Vindareal	
Diameter	Ytelse	η_1	η_2	T_{Nominal}	β	$T_{\text{effective}}$	A_{long}	A_{trv}
[m]	[kW]	[-]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[m ²]	[m ²]
0,64	125	1200	1	22,3	0,9	20,1	79,0	26,3

Maksimal resulterende holdekraft for vind er beregnet med utgangspunkt i at strøm og bølger er holdt konstant. Alle miljøkrefter er antatt å virke i samme retning (konservativ antagelse). Analysen er gjort for letteste dypgang ($T=1.81\text{m}$) da vindkrefter vil dominere. Øvrige input-data er gitt i Tabell 6.

⁸ <https://www.sintef.no/en/software/shipx/>

⁹ DNV GL (2018). Assessment of station keeping capability of dynamic positioning vessels. (DNVGL ST-0111). <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ST/2018-03/DNVGL-ST-0111.pdf>



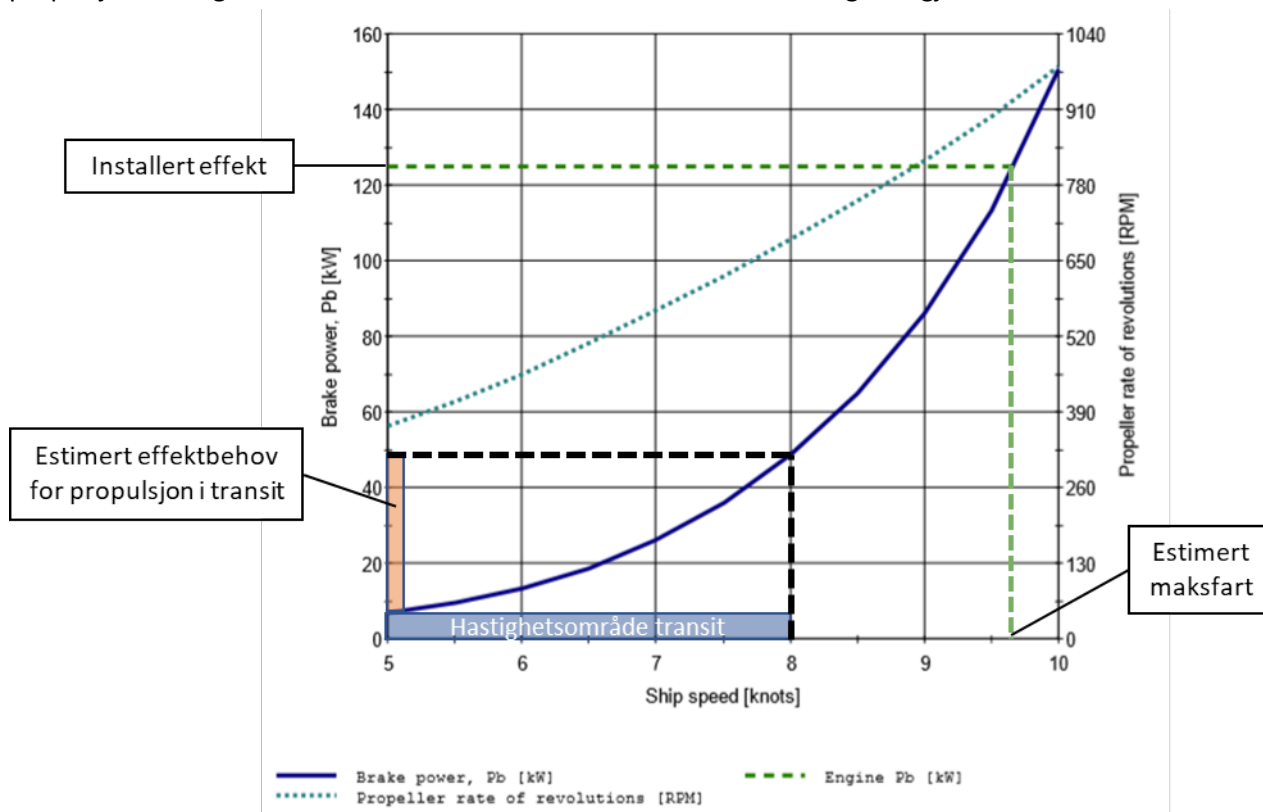
Figur 17: Pendelferge konseptets holdekraft mot statisk vind.

Figur 17 viser konseptets kapasitet i *holdekraft mot statisk vind* som funksjon av retning på miljøkreftene i forhold (grønn) til skipet og 99-persentil vindstyrke (rød). Figuren viser at fartøyet er i stand til å *holde inntil 25 m/s konstant vind for den mest kritiske retningen* (ca. 60/300 grader, skrått bakfra i forhold til skipet), gitt 1 knop strøm og 0.5m Hs/2.5s Tp bølger fra samme retning. Høyeste rapporterte 95-persentil på vind i L1.3 er 17 m/s. Tilsvarende 99-persentil vindstyrke er i overkant av 21 m/s.

10.1.2 Motstand og propulsjon

Basert på prosjektets forslag til skrogdesign og propulsjonsarrangement er det gjort en motstands- og propulsjonsanalyse for å estimere hvilket nivå en kan forvente seg mtp. energiforbruk i seilingsfasen for et slikt pendelferge-konsept (Figur 18). En har her benyttet seg av referanser for lignende type konsepter og

propulsjonsarrangement fra SINTEF Oceans's database fra tidligere gjennomførte modellforsøk.



Figur 18: Fartsprognose i stille vann for pendelferge-konsept.

Overordnet input og forutsetninger er som følger:

- Motstandsestimat er basert på skalering og interpolasjon av (de mest) lignende konsepter i SINTEF Ocean sin skipsdatabase.
- Propulsjonsestimatene er basert på Ka 4-55 propellserie.
- Mekanisk virkningsgrad er satt til 0.995, under antakelse av at mest egnet propulsjonsoppsett vil være rim-drive thrustere.
- En har antatt at en seiler til enhver tid på aktre thruster, og at fremre thruster kun gis et pådrag som overviner motstanden denne introduserer. Erfaring fra bilferger med dette propulsjonsoppsettet indikerer et kraftforbruk på ca. 8% av aktre thruster på fremre thruster for å oppnå dette, og dette effekttillegget er det som er benyttet som et konstant tillegg i prognosen.

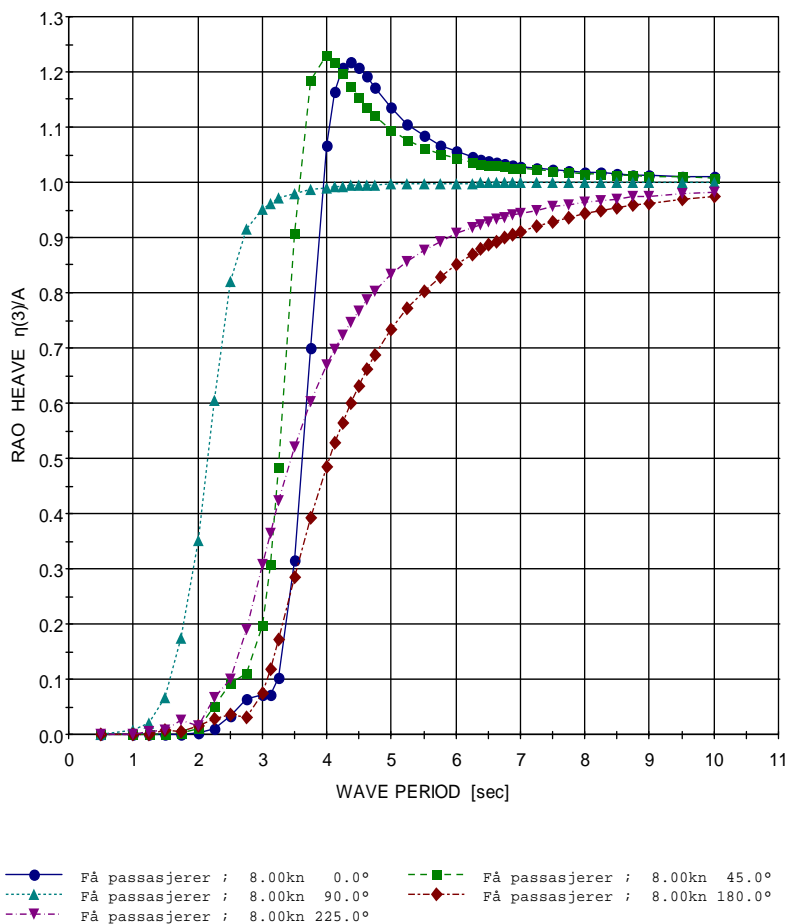
Det understrekes at det ikke er gjort noen detaljerte skipsspesifikke analyser (f.eks. CFD eller modellforsøk), for å ytterligere dokumentere motstands og propulsjonsegenskapene. En har skalert ytelsen basert på referanser en har i SINTEF Oceans database. Selv om denne databasen ikke inneholder mange referanser som ligger nært dette konseptet, gir utførte prognose et godt bilde på nivået av energiforbruk en kan forvente seg i seilingsfasen av pendelferge-operasjonen. Prognosen er derfor godt egnet som grunnlag for vurderinger omkring oppsett og størrelse av komponenter i energisystemet om bord, samt estimere energiforbruk i seilingsfasen av operasjonen. I rapport L2.3 er dette beregnet til 4,5 kWh per overfart og 9 kWh per rundtur. Med rutetabellen lagt til grunn gir dette et estimert daglig forbruk på 300 kWh. Ulike ladestrategier og følgelig krav til installert batteripakke er også utledet i nevnte rapport.

10.1.3 Sjøgangsegenskaper

Konseptets sjøgangsegenskaper er vurdert ut ifra de *bølgeforhold* som er rapportert i L1.3 (Pobitzer et al, 2020). Av denne kan vi se at dominerende bølgeretning er vest/sørvest for de verste bølgeforholdene. Det betyr stort sett mot- og følgende sjø for ruten Nordlandet-Kirkelandet. 95 persentil signifikant bølgehøyde er rundt 0.5m, med tilhørende T_p på 2.5s.

Fartøyskarakteristikk

De mest interessante fartøyskarakteristikkene (RAO'er) er frihetsgradene hiv (vertikal bevegelse), rull (rotasjon fra side til side) og stamp (vippende bevegelse langsipsretning). Egenperiodene¹⁰ i disse frihetsgradene sier mye om et konsepts egnethet for et gitt seilingsområde ved å sammenligne disse med de dominerende bølgeperiodene for seilingsområdet.

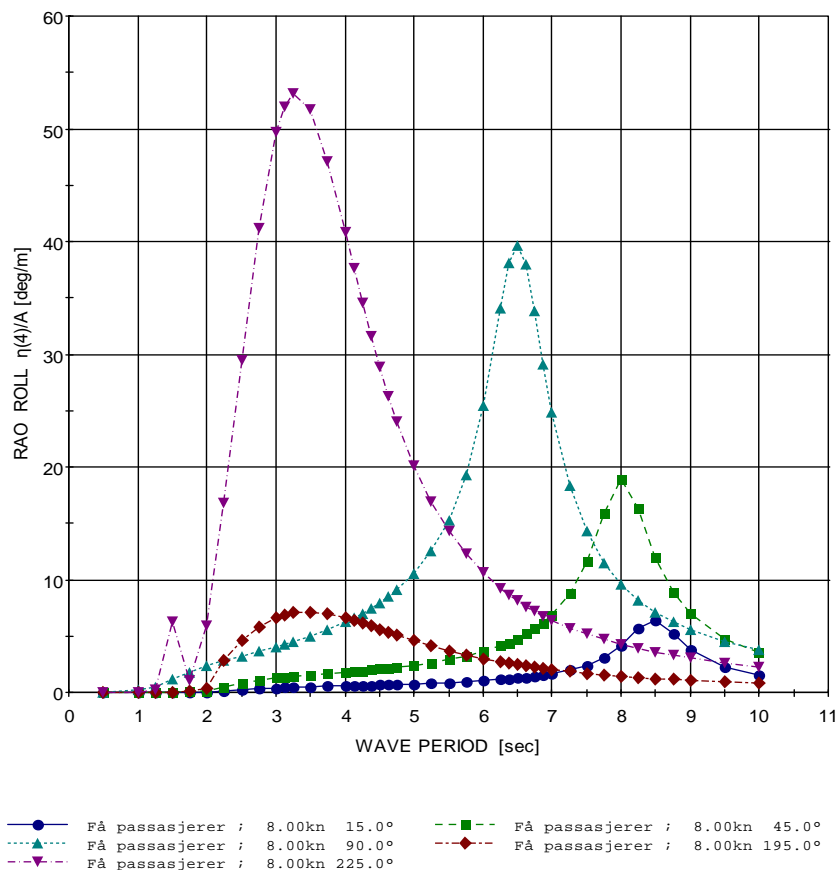


Figur 19: Fartøyskarakteristikk i hiv for pendelferge-konsept.

Fartøyskarakteristikkene i hiv for 8 knops seilingshastighet gitt i Figur 19 som viser at selv for korte bølger med periode ned mot 2s så vil en oppleve relativt sett (i forhold til bølgehøyden) en del hiv-bevegelse for fartøyet om bølgene kommer inn fra siden (90 grader). Relativt til skipet, for mot- og følgende sjø (0 og 180 grader) vil betydelig hiv-bevegelse opptre først når bølgeperiodene overstiger 3.5s, noe som opptre

¹⁰ Egenperiode er den tiden som går med fra en ytterstilling og tilbake til samme ytterstilling, når utslaget er det samme (kilde: Store norske leksikon).

ganske sjeldent i havnebassenget i Kristiansund. Kommer sjøen skrått forfra eller bakfra reduseres bølgeperioden hvor hiv-bevegelsen slår inn. De lengre bølgeperiodene vil samsvare med de største bølgene og kunne introdusere hiv-bevegelser i samme og også i sjeldne tilfeller noe høyere størrelsesorden enn høyden på bølgene. Et enkeltskrogs fartøyskarakteristikk i hiv er styrt av fartøyets hoveddimensjoner og spesielt forholdet mellom vekt og vannlinjeareal, og er i prinsippet vanskelig å påvirke.



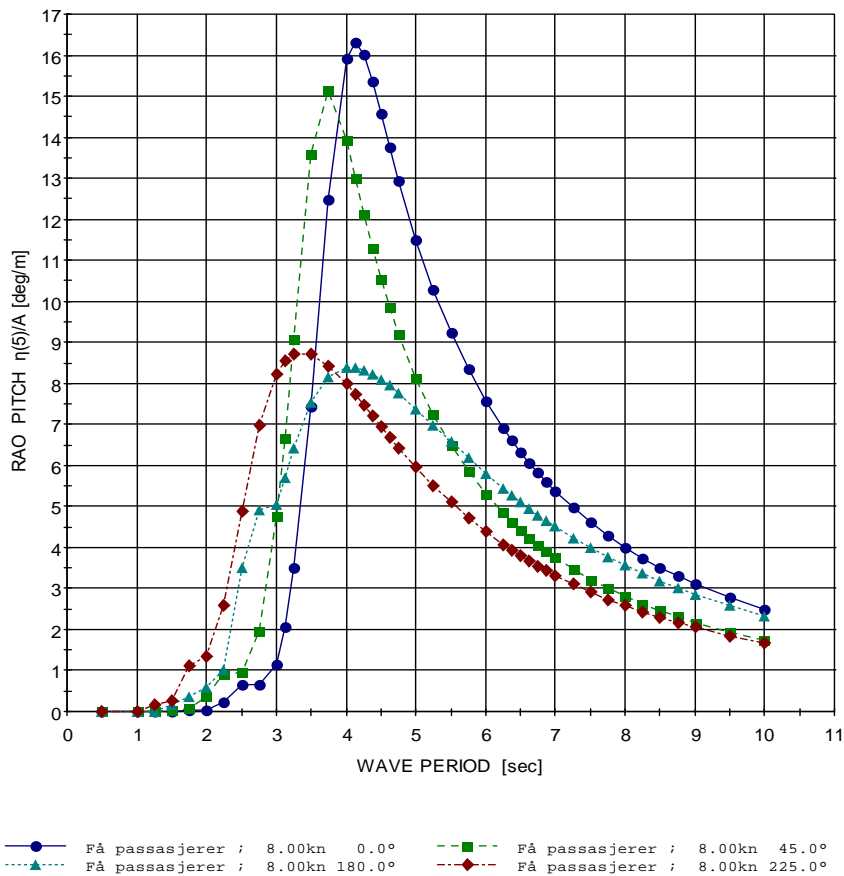
Figur 20: Fartøyskarakteristikk i rull for pendelferge-konsept.

Fartøyets karakteristikk i rull for 8 knops hastighet er gitt i Figur 20. Et skips egenperiode i rull styres forenklet fremstilt av forholdet mellom skipsbredde og stivheten i rull (GM) for sjø rett fra siden og flytter seg for retninger som avviker fra sidesjø når skipet har fremover hastighet (endrer seg med møtrefrekvens). Samtidig er det slik at jo stivere skip vi får (jo lavere tyngdepunkt/høyere GM vi får), jo mer flytter egenperioden seg mot venstre, dvs. den blir kortere. En kort egenperiode er som regel alltid ugunstig mtp. sjøgangsegenskaper, da dette vil føre til at ofte opptredende bølger vil ha perioder som samsvarer med egenperioden i rull for et fartøy, og fartøyet vil da rulle mye i "fint" vær.

For dette fartøyet ser en viktigheten av å ha en egenperiode i rull som er godt utenfor periodeområdet bølgene i havnebassenget i Kristiansund har, da samsvar mellom egenperiode i rull og opplevde bølgeperioder vil kunne resultere i betydelig rullbevegelse for fartøyet. I 8 knop kan en for motsjø (15 og 45 grader) og til dels sidesjø (90 grader) konstatere at egenperioden i rull er utenfor området hvor en finner bølgeperioder, mens en for følgende sjø som kommer inn skrått bakfra (225 grader) nok vil ha en potensiell utfordring med større rullebevegelser. Sør-sørvest sterk vind vil potensielt skape en slik sjøtilstand på ruten fra Kirkelandet mot Nordlandet. Hvor ofte en slik sjøtilstand vil opptre er utfordrende å si noe helt konkret om, men som indikert i rapport L1.3 (Pobitzer, et al.), vil tilfeller med vindstyrke over 10 m/s inntreffe

sjeldent fra denne retningen. Operasjonelt kan en redusere et potensielt rulleproblem ved å legge en kurs hvor en får bølgene mer rett bakfra, evt. redusere farten betydelig. Ved en fartsreduksjon vil egenperiodene i rull bevege seg mot 6.5s som er egenperioden i rull uavhengig av retning for 0-hastighet.

En viktig suksessfaktor for et fartøyskonsept for denne operasjonen vil være å finne den riktige balansen mellom myke sjøgangsegenskaper (lav rotasjonsstivhet/GM som fører til høy egenperiode i rull) og tilstrekkelig stivhet for operasjonelle forhold for øvrig (ikke signifikant krenkning under av/påstigning, tilfredsstillende formelle stabilitetskrav). En bør derfor sørge for å arrangere fartøyet på en slik måte at dets vertikale tyngdepunkt sammen med vannlinjearealets form gir den riktige rotasjonsstivheten i rull som gir det beste kompromisset mellom egenskapene beskrevet over.



Figur 21: Fartøyskarakteristikk i stamp for pendelferge-konsept.

Ser en på fartøyetts stamp-karakteristikk i Figur 21 kan en observere at skipet vil stampe vesentlig mer i motsjø enn i følgende sjø for de kritiske bølgeperiodene over 3-3.5s. En ser også at den største stampresponser kommer for lavere perioder for skråsjø for og bakfra (45 & 225 grader) enn for sjø rett forfra og bakfra (0 & 180 grader). Som for rull er dette som følge av endret møtefrekvens, men effekten på periode for største respons er ikke så signifikant som for rull. Effekten kan derimot være viktig nok da spesielt skrått bakfra drar respons-toppen ned i et område der det nok vil finnes en del bølger i dårlig vær i havnebassenget i Kristiansund, mens om en går rett mot eller rett i fra været muligens akkurat vil komme ut av kritisk periodeområde. Toppen i stamp-karakteristikken er faktisk ikke et resonans-fenomen, heller et geometrisk fenomen der lengden til fartøyet i forhold til bølgen sørger for en markant topp i stamp-responser typisk for bølgelengder som er litt lengre enn skipslengden. En kan dermed påvirke perioden til toppen i stamp-karakteristikken ved å endre lengden på fartøyet. Lengre fartøy flytter toppen mot høyre

(mot lengre perioder), og en mer detaljert studie på om det vil være fornuftig å gjøre konseptet lengre for å unngå signifikant stamping vil være naturlig å gjøre om et slikt fartøy tenkes realisert. Tung stamping er ikke kun uheldig for passasjerkomfort, men også forbundet med en vesentlig økning i energiforbruk sammenlignet med både stillevannsoperasjon og operasjon i bølger som ikke initierer stamp-bevegelse i fartøyet.

Operasjonsbegrensninger

For å kartlegge operasjonsbegrensninger som følge av skipsbevegelser for et fartøy må en kombinere operasjonsbegrensende kriterier med skipskarakteristikker og sammenholde dette opp mot opptredende bølgeførhold i operasjonsområdet for fartøyet. *Siden vi her har med passasjerfartøy å gjøre er det nærliggende å koble operasjonsbegrensninger opp mot sjøsyke/passasjerkomfort.* Det er derfor valgt å gjøre en analyse for å estimere operasjonsgrenser for fartøyet basert på ISO-standarden for Motion Sickness Incident (MSI), ISO 2631-1:1997¹¹, for et fartøy i sjøgang gitt fartøyets sjøgangskarakteristikk.

De dominerende vindretningene (og dermed også bølgeretningene) vil være fra vest, sørvest for tilfeller med bølger av betydning i havnebassenget i Kristiansund. Dette betyr følgende sjø/sjø inn skrått bakfra på styrbord side av fartøyet (180-247.5 grader i sjøgangsberegningene) ved seiling Kirkelandet til Nordlandet og motsjø/sjø inn skrått forfra på babord side (0-67.5 grader i sjøgangsberegningene) ved seiling Nordlandet til Kirkelandet.

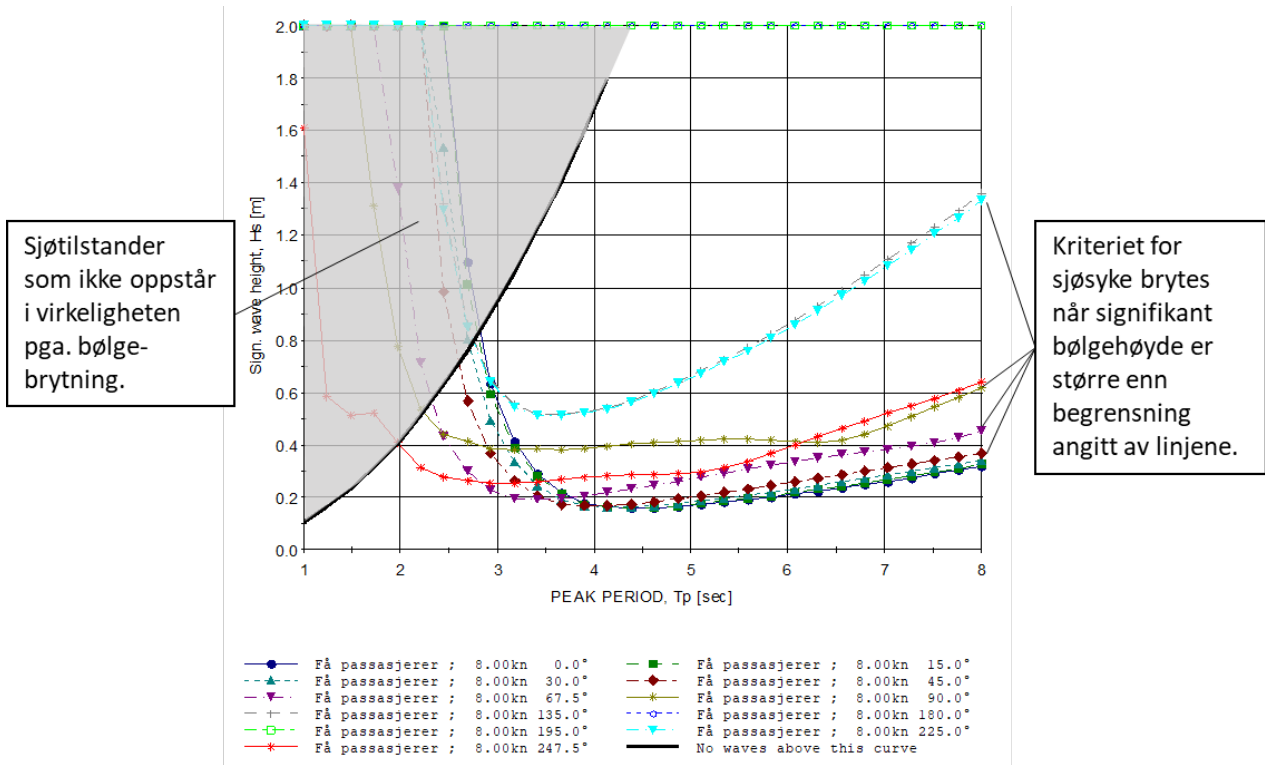
Hvor en oppholder seg på fartøyet vil ha betydning for bevegelses- og dermed også akselerasjonsnivået. MSI (sjøsyke) er sterkt relatert til akselerasjonsnivå. De høyeste akselerasjonsnivåene vil vi normalt finne på lo-siden ("vær"-siden) av fartøyet ute i borde, enten forut eller akterut avhengig om vi går i følgende-sjø eller mot-sjø. For å dekke de potensielt verste posisjonene for alle bølgeretninger er posisjonene på skipsdekket presentert i Tabell 5 tatt med i analysene.

Tabell 7: Posisjoner på skipsdekk inkludert i vurdering av operasjonsbegrensninger for pendelferge-konsept.

Posisjon på dekk / koordinater	X-posisjon	Y-posisjon	Z-posisjon
Midtskips	9	0	3.2
Akter i midten	0	0	3.2
Akter SB side	0	2.8	3.2
Forut SB side	18	2.8	3.2
Forut i midten	18	0	3.2
Akter BB side	0	-2.8	3.2
Forut BB side	18	-2.8	3.2

Ute i borde (siden) vil være verst grunnet at en her får kombinasjon av rull, stamp og hiv akselerasjoner. Punktet midtskips er tatt med som referanse da dette er (nær) det roligste punktet i fartøyet, og dermed det stedet som er best å oppholde seg på om en ønsker å minimere akselerasjonsnivået i sjøgang, og dermed også risikoen for sjøsyke.

¹¹ International Organization for Standardization (1997). Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements (ISO 2631-1:1997). Retrieved from: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:2631:-1:ed-2:v2:en>.

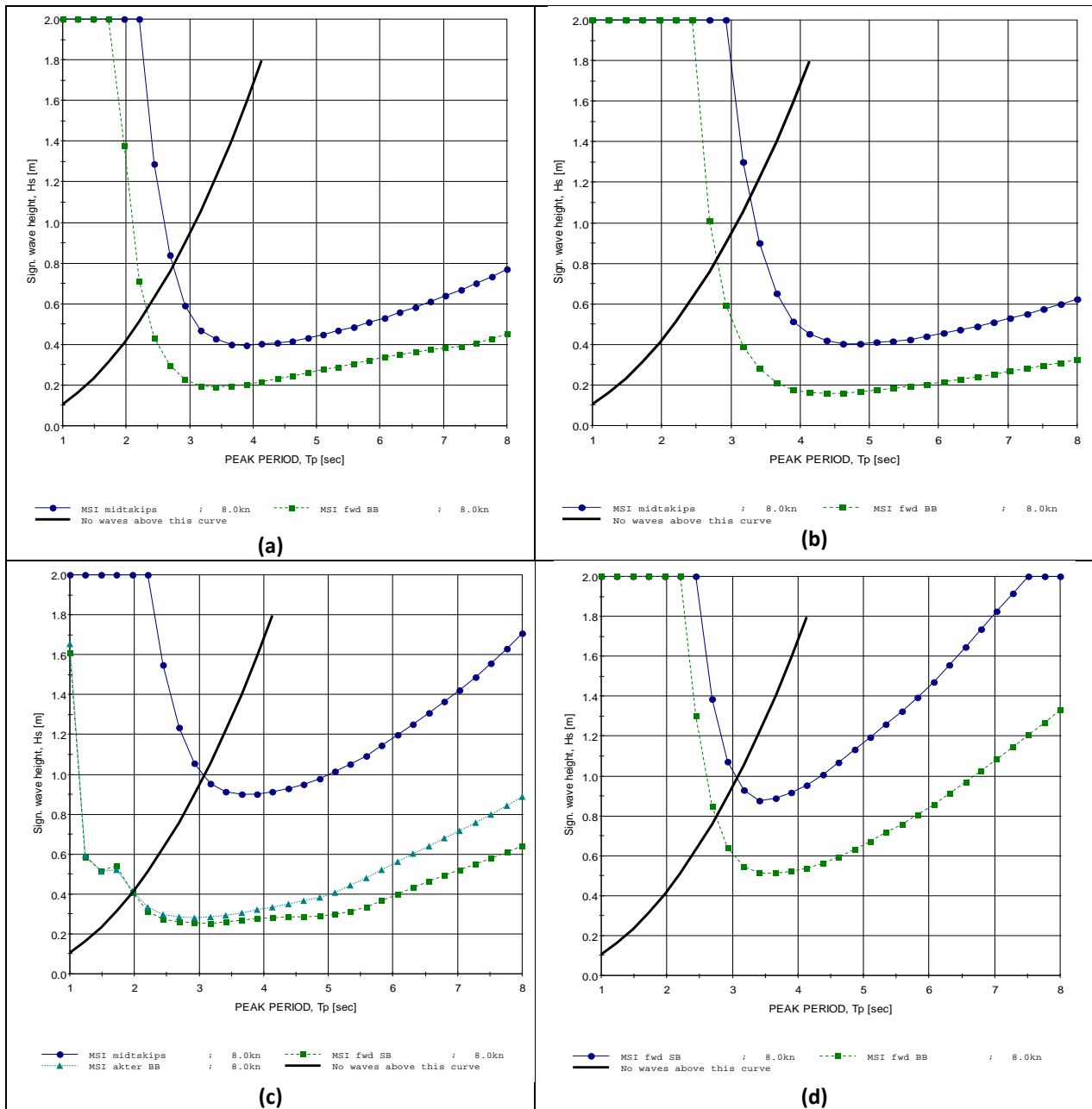


Figur 22: Operasjonsbegrensende kurver for pendelferge-konsept.

Det operasjonsbegrensende kriteriet som er benyttet i analysene er tatt fra ISO 2631-1:1997 for MSI. Som input er det gitt et nivå på 2% sjøsyke, dvs. en aksepterer at inntil 2% av passasjerene opplever sjøsyke. Videre er eksponeringstiden satt til 10 minutter (en overfart tar noe mindre tid), og sjøsykefaktoren K_m er satt til 1/3, noe som representerer en blandet populasjon av utrenede (som sjømenn) menn og kvinner. Dette kriteriet er satt for alle punktene i analysen.

Fra leveranse L1.3 (Pobitzer, et. al., 2020) har vi at 95 persentil sjøtilstand i havnebassenget i Kristiansund er opp til 0.5m H_s med tilhørende T_p på 2.5s, uavhengig av bølgeretning. Ser vi på de samlede resultatene for alle analyserte bølgeretninger i Figur 22 ser vi at vi for denne sjøtilstanden har utfordringer med tre av de analyserte bølgeretningene, rett fra siden (90 grader) og nær rett fra siden skrå forfra og bakfra (67.5 & 247.5 grader). Holder vi oss unna å operere fartøyet mot/med disse bølgeretningene (innenfor 45 & 225 grader) er vi innenfor 95 persentil bølgetilstand for havnebassenget i Kristiansund for alle dekksposisjoner med sjøsykekriteriet som ligger til grunn som operasjonsbegrensning. Om vi i tillegg unngår betydelig skråsjø forfra (begrenser bølgeretning til maks. 15 grader) vil en kunne operere innenfor de satt kriteriene for peak-perioder opp til 3 sekunder med tilhørende signifikante bølgehøyder på 0.6m.

En bør legge merke til at tillatt signifikant bølgehøyde reduseres kraftig for T_p over 3s, gitt sjøsykekriteriet som ligger til grunn som operasjonsbegrensning. Dette er som følge av betydelig innslag av hiv og stamp når en passerer disse periodene. De kraftigste stormene i Kristiansund vil kunne skape bølger med peak-perioder (T_p over 3s), men iht. rapport L1.3 (Pobitzer, et al., 2020) vil dette forekomme sjelden.



Figur 23: Operasjonsbegrensende kurver for pendelferge konsept i (a) sidesjø forfra, (b) motsjø, (c) sidesjø bakfra, (d) akterlig sjø.

Ser vi på detaljer rundt resultatene så viser Figur 23 (a) at en seiling i sørvest fra Nordlandet til Kirkelandet med mest ugunstig heading som er sjø skrått inn forfra på babord side nær ren sidesjø (retning 67.5 grader, sidesjø er 90 grader). Her er punktet forut på babord side verst å oppholde seg på, her overskrides kriteriene satt selv for moderate sjøtilstander. Som referanse er også punktet midtakips vist, og oppholder en seg der vil en være innenfor kriteriene satt for de fleste sjøtilstander en vil oppleve i havnebassenget i Kristiansund. Hoved-forskjellen mellom disse to punktene er at mens en i borde på babord side opplever en kombinasjon/summasjon av hiv-, rull- og stamp-bevegelse, vil en midtakips ikke vil ha noen stamp-bevegelse.

Om en legger seg på en retning i forhold til bølgene på 15 grader (bølger 15 grader retning babord side) i samme vær i denne ruten så viser Figur 23 (b) at det fortsatt er punktet foran på babord side som er kritisk,

men nå er vi innenfor kriteriene for sjøtilstander under 0.6m Hs og 3s Tp, og bør således med få unntak kunne operere innenfor kriteriene satt i havnebassenget i Kristiansund. For følgende sjø innenfor +/- 30 grader fra ren følgende sjø har vi ingen utfordringer med de satte kriteriene.

Figur 23 (c) viser operasjonsbegrensende kurver for en seiling i sørvest fra Kirkelandet til Nordlandet med mest ugunstig heading som er sjø skrått inn bakfra på babord side nær ren sidesjø (retning 247.5 grader, sidesjø er her 270 grader). Her er det i all hovedsak betydelig rulling og giring som er utfordrende, og det er to punkt, forut på styrbord side, og akter på babord side det verst å oppholde seg på. Her overskrides kriteriene satt selv for moderate sjøtilstander. Oppholder en seg midtskips vil en være innenfor kriteriene satt.

Om en derimot dreier kursen noe mer mot å få sjøen nærmere rett inn bakfra vil utfordringen være løst, ref. Figur 23 (d). Utfordringen er nå mer stamp enn rull dominert, og en ser også at verste punkt å oppholde seg på endrer seg fra styrbord til babord side foran. Generelt sett er sjø bakfra ikke så utfordrende sett fra et MSI-perspektiv dersom en greier å holde retningen i forhold til bølgenoenlunde rett bakfra.

10.2 Langevågsbåten

Selve løsningen for elektrifisering av 147 pax versjon av Langevågsbåten baserer seg på Klimasatsprosjektet, hvor ulike nullutslippsløsninger for dette hurtigbåtsambandet er utredet. Denne studien konkluderer med at denne ruten er velegnet for en batteri-elektrisk løsning, og at denne er å anbefale fremfor andre 0-utslippsteknologier på bakgrunn av at batteri-elektriske løsninger er mer modne, og vil ha lavere kostnad enn alternativene.

10.2.1 Evne til å motstå miljøkrefter under manøvrering til kai

Samme forenklete tilnærming som for pendelferge konseptet er benyttet for å vurdere evne for å legge til kai i dårlig vær. Her er det utført statiske kapabilitetsanalyser i SINTEF Ocean sin hydrodynamiske programvare ShipX for å kartlegge fartøyets evne til å holde posisjon for de kritiske miljølastene beskrevet i L1.3 (Pobitzer et al, 2020). Tilgjengelig propulsor thrust er beregnet iht. DNV GL standard ST-0111.

Strøm i indre havnebasseng i Ålesund og Langevåg er iht. undersøkelsene gjort i A1.3 ikke kjent. Kaiene er her for begge terminaler plassert i godt skjermede farvann, og en har valgt å benytte en tidevannsstrøm på maks. 0.5 knop i kapabilitetsanalysene da det anses å være et konservativt estimat. Av samme årsak (skjermet farvann) er bølger ekskludert fra beregningene, da det ikke vil være bølgeforhold av betydning i de skjermede indre havneområdene. Vind den totalt dominerende miljøpåvirkningen.

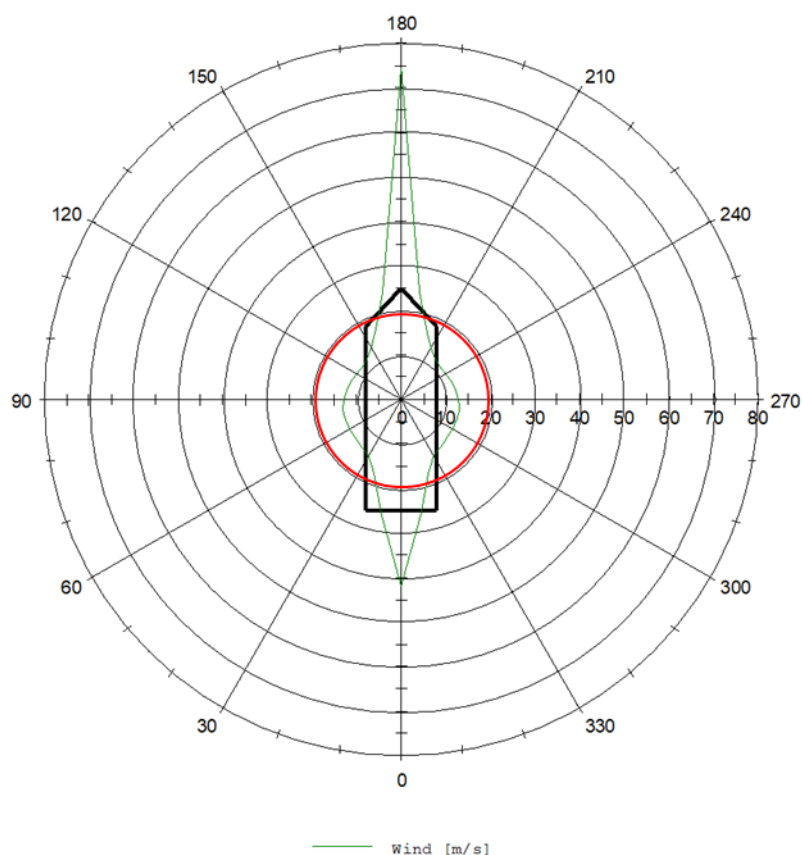
Strøm er holdt konstant i analysene, så er maksimal resulterende holdekraft for vind beregnet gitt konstant strøm. Alle miljøkrefter er antatt å virke i samme retning (konservativ antagelse). Øvrig input-data er gitt i Tabell 8 under.

Tabell 8: Input-data for kapabilitetsanalyse 147 pax katamaran.

	Propelldata							Vindareal	
	Diameter	Ytelse	η_1	η_2	$T_{Nominal}$	β	$T_{effective}$	A_{long}	A_{tr}
	[m]	[kW]	[-]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[m ²]	[m ²]
Hovedpropeller fwd thrust	1	500	800	1	50,4	0,9	45,4	135,0	60,0
Hovedpropeller aft thrust	1	500	800	0,65	32,8	0,9	29,5		
Baugthrustere	0,386	40	900	1	5,6	0,9	5		

Siden en av baug thrusterene i en katamaran vil sende en vannstrøm inn i den andre thrusteren i motsatt skrog når den er under operasjon vil det være større tapseffekter forbundet med selve vannstrømmens interaksjon med motsatt skrog, samt at baugthrusteren som står i strømmen av den andre også vil ha ugunstige strømningsforhold som også medfører tap. Dette er grovt hensyntatt ved å anta et tap på 50% av tilgjengelig maksimal thrust for thrusteren som står i ugunstige forhold (maks. thrust 2.5 kN).

Figur 24 viser 147 pax-konseptets kapasitet i holdekraft mot statisk vind som funksjon av retning på miljøkreftene i forhold til skipet (grønt) og 99-prosent persentilen for vindhastighet (rødt). *Figuren viser at fartøyet har god kapasitet for vind forfra og bakfra, men for øvrige vindretninger får en utfordringer i sterk vind, og spesielt for vind skrått forfra registreres utfordringer med å holde baugen opp mot vinden.* Dette er en generell svakhet ved denne type lette katamaraner med stort vindareal, da kraftbalansen mellom propulsjonen bak og tunnel-thrusterne foran ikke er optimal, gitt de begrensninger en har i forhold til ytelse i baugthrusteren en kan få inn i et slankt katamaranskrog. En ser at holdekraften for minst gunstige vindretning er i størrelsesorden 11-12 m/s statisk vind, en middelvindstyrke som ofte opptrer i området (Pobitzer, et al., 2020). I slike forhold er vindkastene betydelig sterkere. Sterke vindkast påvirker raskt bevegelsen til slike fartøy med lav vekt og stort vindareal, noe som gjør at en risikerer å "miste" baugen i ganske vanlige værtilstander dersom vindretningen er ugunstig, om man ikke beregner å gå inn til kai mellom de sterkeste vindkastene. Dette var også noe mannskapet på dagens seilende fartøy var veldig opptatt av å formidle, da de er *avhengig av å visuelt "lese" vind-retning og styrke gjennom observasjon av vindkast i området rundt fartøyet* for å kunne time inngangen til kai mellom vindkastene de dagene vinden er sterk med ugunstig retning.



Figur 24: 147 pax katamaran-konsept holdekraft mot statisk vind.

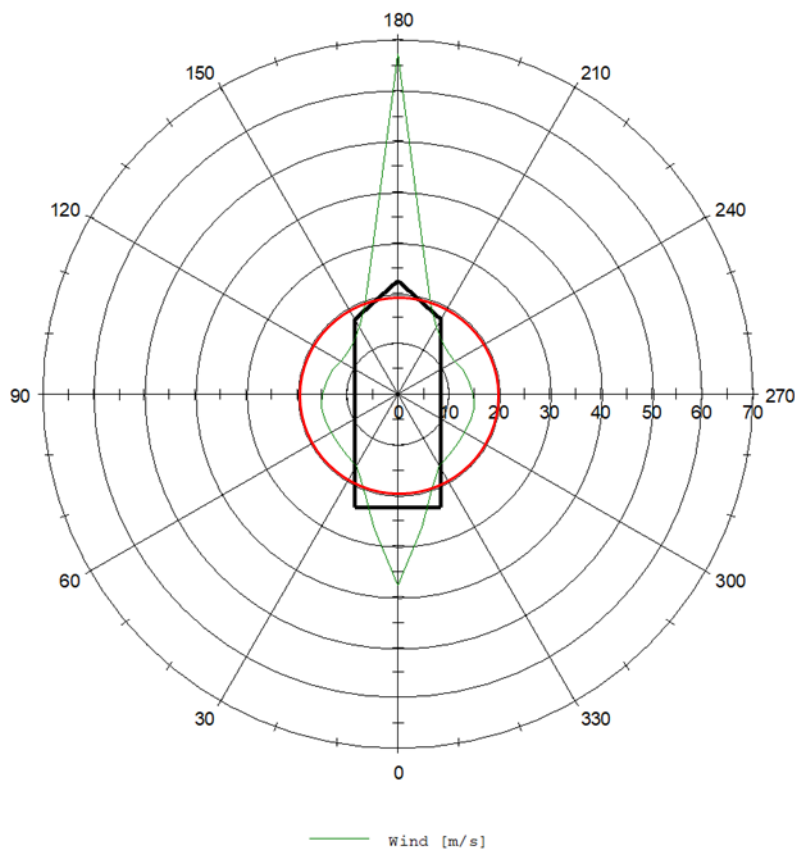
Det er også utført en kapabilitetsberegning for et tilsvarende mindre 99 pax katamaran-konsept, se input data i Tabell 9. Her er størrelsen på baug-thrusterne beholdt, og balansen mellom ytelse i hekk og baug er dermed noe bedre. Samtidig er vindarealet naturlig nok mindre da fartøyet er mindre. For øvrig er de samme prinsippene som for den større båten benyttet.

Tabell 9: Input-data for kapabilitetsanalyse 99 pax katamaran.

	Propelldata							Vindareal	
	Diameter	Ytelse	η_1	η_2	T_{Nominal}	β	$T_{\text{effective}}$	A_{long}	A_{trv}
	[m]	[kW]	[-]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[m ²]	[m ²]
Hovedpropeller fwd thrust	0,8	400	800	1	37,4	0,9	33,7	105,0	55,0
Hovedpropeller aft thrust	0,8	400	800	0,65	24,3	0,9	21,9		
Baugthrusterne	0,386	40	900	1	5,6	0,9	5		

En ser av resultatene for 99 pax konseptet i Figur 25 at dette fartøyet, med samme installasjon i baugen, naturlig nok har en større evne til å holde baugen enn 147 pax konseptet. Holdekraft mot kritisk statisk vindhastighet skrått forfra har her økt til 13-14 m/s. *Likevel vil den samme utfordringen med å manøvrere til kai i sterk vind være tilstede*, noe som krever godt sjømannskap og ulike strategier avhengig av hva vindretningen relativt til båt er.

Dette er en utfordring slike lette hurtiggående fartøy har som kan være utfordrende å håndtere for autonome auto-docking system, da de nok må ha andre strategier enn mennesker for å manøvrere sikkert til kai under slike forhold. Dette er et teknologisk gap som høyst sannsynlig må lukkes for at høy grad av autonomi skal kunne innføres. Det er også mulig at man må se på hvordan en kan utforme skipskonseptene for slike typer fartøy for å bedre fartøysresponsen i horisontalplanet (reduere hvor lett fartøyet driver av i vindkast – ref. kap 8.2). Det kan være at man som for pendelferge-konseptet blir nødt til å ofre noe på effektivitet i seiling for å oppnå bedre egenskaper i lavhastighets manøvrering.

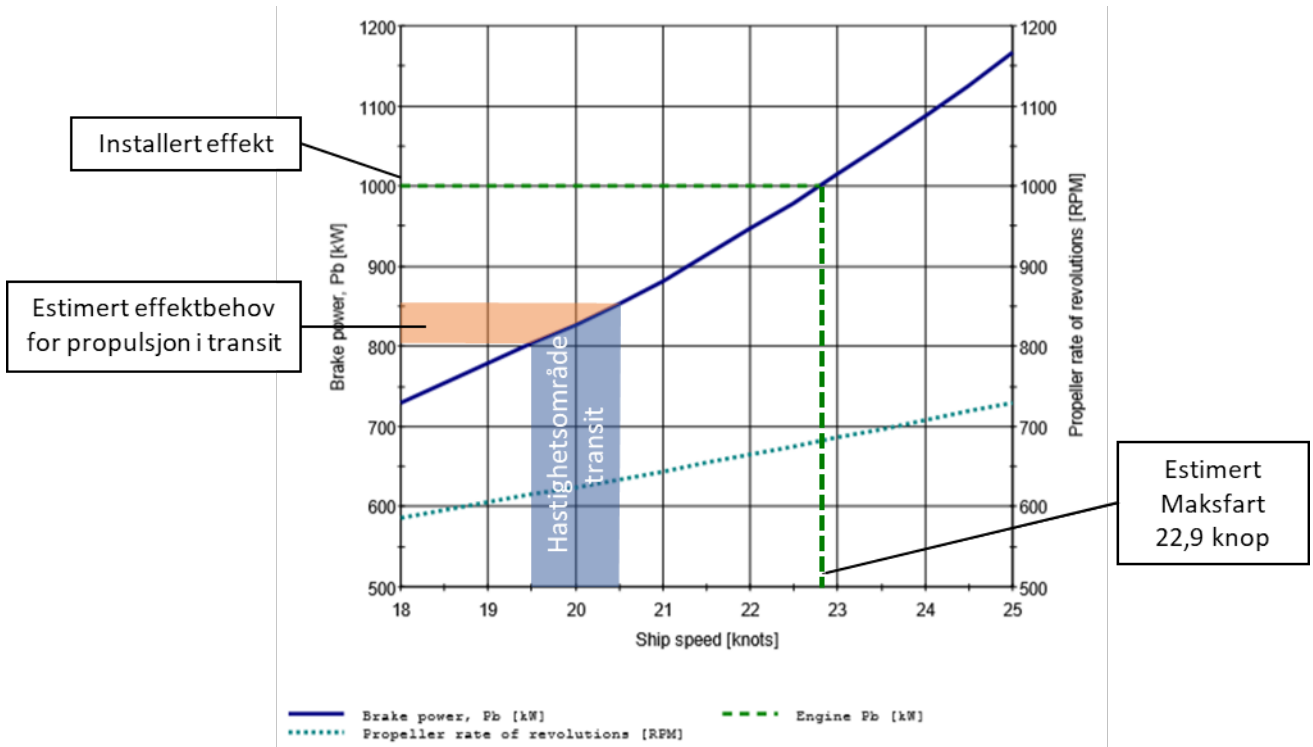


Figur 25: 99 pax katamaran-konsept holdekraft mot statisk vind.

10.2.2 Motstand og propulsjon hurtigbåtkonsept

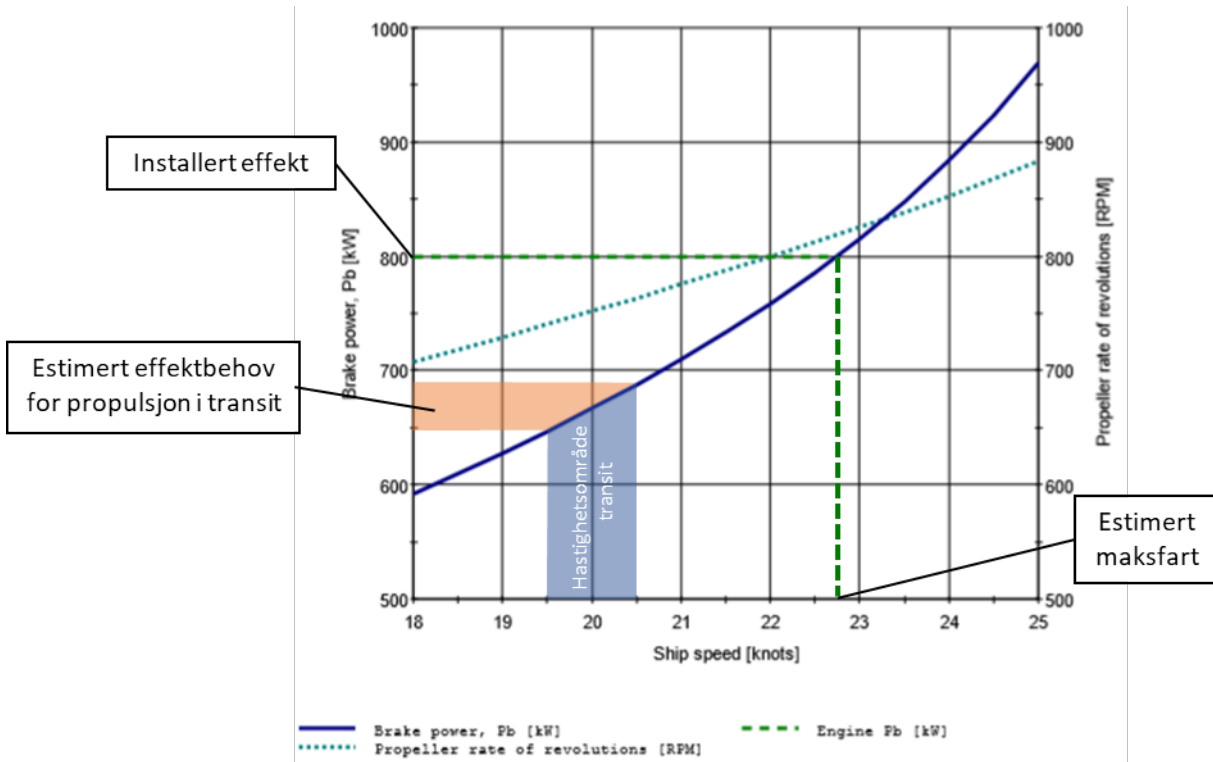
Med utgangspunkt i eksisterende Langevågsbåt og dennes lettskip har prosjektet estimert lettskip for et batteri-elektrisk konsept som beskrevet i Klimasats prosjektet. Med denne vekten, samt hoveddimensjoner som eksisterende Langevågsbåten som utgangspunkt, har prosjektet produsert en fartsprognose (sammenheng mellom fart og krav til ytelse i stille vann) for det batteri-elektriske konseptet basert på SINTEF Ocean sitt CatRES verktøy, en ShipX-modul for beregning av motstand og propulsjon for hurtiggående katamaraner, se Figur 26 under. En ser at man har et kraftoverskudd på 10-15% for service speed (+/- 20 knop) som margin for påvirkning av vær med de spesifiserte 2x500kW fremdriftsmotorene fra Klimasats-prosjektet. Siden dette fartøyet opererer i et værhardt område burde det kanskje vurderes å ha noe større margin for å unngå forsinkelser når været er dårlig.

Det er påpekt at industriaktører i prosjektet har hatt dialog om at en muligens burde ha gjort en batteri-elektrisk versjon av en slik type hurtigbåt lengre når en øker vekten såpass betydelig. Dette fordi lengde/deplasementsforholdet burde holdes på samme nivå som for dagens eksisterende langevågsbåt for å opprettholde samme effektivitet i skroget mtp. skrogmotstand i seiling. En har derimot her valgt å legge seg på samme linje som Klimasats-prosjektet da dette er utredet der, men om en skal realisere et slikt fartøy bør vurderinger gjøres mtp. endringer i fartøyets hoveddimensjoner som diskutert i kap 8.2.



Figur 26: Fartsprognose i stille vann for 147 pax batteri-elektrisk hurtigbåtkonsept.

Fartsprognose er også beregnet for 99 pax batteri-elektrisk hurtigbåt, da to slike fartøy er et alternativ til en 147 pax båt gitt prognoser for befolkningsvekst i regionen, ref. sambandssimuleringene beskrevet i kapittel 7. Her er de samme konseptuelle tankene fra Klimasats-prosjektet lagt til grunn, og en har også antatt samme lettskipsvekts-økning på 20% og samme hoveddimensjoner i forhold til en konvensjonell diesel-mekanisk katamaran løsning. Med referanse til hoveddimensjoner og lettskipsvekt for et lav-vekts karbonfiber fartøy levert av Brødrene Aa (Rygerprins) har prosjektet her også utarbeidet en fartsprognose i stille vann basert på CatRES verktøyet. Resultatet er vist i Figur 27.



Figur 27: Fartsprognose i stille vann for 99 pax batteri-elektrisk hurtigbåtkonsept.

Det er lagt opp til å oppnå samme toppfart som for 147 pax konsept for å kunne holde samme seilingstid for overfarten. For det behøves 2x400kW fremdriftsmotorer. En ser at den %-vise marginen på effekt for å kompensere for vær-påvirkninger er noe større for denne mindre varianten siden effekt-kurven er brattere. Samtidig er fartøyet mindre, og vil være mer utsatt for disse påvirkningene. På generelt grunnlag bør en vurdere nøyere hvilken margin en trenger for dårlig vær om noen av konseptene (99 eller 1 pax batteri-elektrisk) skal realiseres.

10.2.3 Sjøgangsegenskaper og evne til å manøvrere sikkert til kai

Prosjektet har ikke utført spesifikke analyser mtp. sjøgangsegenskaper for hurtigbåt-konseptene beskrevet over. En har gjennom dagens operasjon betydelig driftserfaring med 147 pax konvensjonell diesel-mekanisk katamaran, som antas å ha mye av de samme egenskapene som et batteri-elektrisk konseptet. Forskjellen ligger i økt vekt for den batteri-elektriske, noe som høyst sannsynlig vil bedre både sjøgangsegenskapene og til en viss grad også evne til å motstå miljøkrefter under manøvrering til kai.

Det er foretatt befaring på dagens opererende fartøy M/S Nørvøy, hvor mannskapet ble utfordret på hva som er utfordrende med operasjon av denne ruten med dette fartøyet. I seilingsfasen har en ikke betydelige utfordringer. Seilingsruten er delvis skjermet for større bølger, med unntak av et kort strekke som er eksponert for bølgene som kommer inn Hessafjorden. Her kan bølgene bli betydelige. Dette er ikke en større utfordring i seg selv, bortsett fra der en entrer inn imellom Langevågsholmene. Ved gitte bølgeretninger kan en veldig lokalt her få høy brytende sjø som gir utfordringer. Navigatørene må derfor bedømme hvordan de går gjennom denne passasjen i de mest utfordrende forholdene.

Hovedutfordringen til disse fartøyskonseptene ligger derimot som beskrevet i kapittel 10.2.1 i evnen til å komme seg til kai i dårlig vær. Dette er svært lette fartøyer med et betydelig vindareal, og vil dermed "stikke" grunt i sjøen, dvs. de har lite lateralareal under vannlinjen. I sum sørger disse

fartøyskarakteristikkene for at slike hurtigbåter er sårbare for vindkrefter, og da spesielt kraftige vindkast, som vil sørge for rask og betydelig fartøysrespons i horisontalplanet. Dette gjør det utfordrende å ta fartøyene til kai ved værforhold med sterke vindkast med ugunstig retning, da en risikerer å "miste" baugen siden baugthrusterne foran generelt sett er (for) små i forhold til vindkreftene som opptrer. Disse egenskapene er noe som også ble understreket av mannskapet ved befaringen. I tilknytning til dette ble fremhevet at det å "lese" vinden visuelt ved å se hvordan sterke vindkast pisket opp sjøen lokalt er en viktig del av å bedømme når og hvordan en manøvrerte siste biten inn til kai. Slike strategier vil kunne være vanskelig å implementere i et system for auto-dokking system.

Utfordringene beskrevet over vil mest sannsynlig bli marginalt mindre ved å innføre batteri-elektriske versjoner av tilsvarende størrelser som dagens fartøy. Som følge av den økte vekten vil oppførselen i sjøgang høyst sannsynlig bedres, samt at fartøysresponsen som følge av vindkast vil bli noe redusert, selv om utfordringene en har fortsatt vil være til stede.

Om en ser for seg å automatisere slike hurtigbåtsamband i områder hvor det er relativt vanlig med kraftig vind slik som her, bør en også vurdere andre typer konsepter som har bedre egenskaper mtp. fartøysrespons i horisontalplanet som følge av vindkast. Dette betyr i praksis at man kan måtte ofre noe energieffektivitet i seiling for å få bedre egenskaper i lavhastighets manøvrering i sterk vind.

Den mindre versjonen på 99 pax vil ha de samme grunnleggende utfordringene som 147 pax varianten. Denne vil muligens ha større utfordringer med bølgeforholdene i seiling i dårlig vær, men samtidig nok være noe enklere å håndtere inn til kai.

Referanser

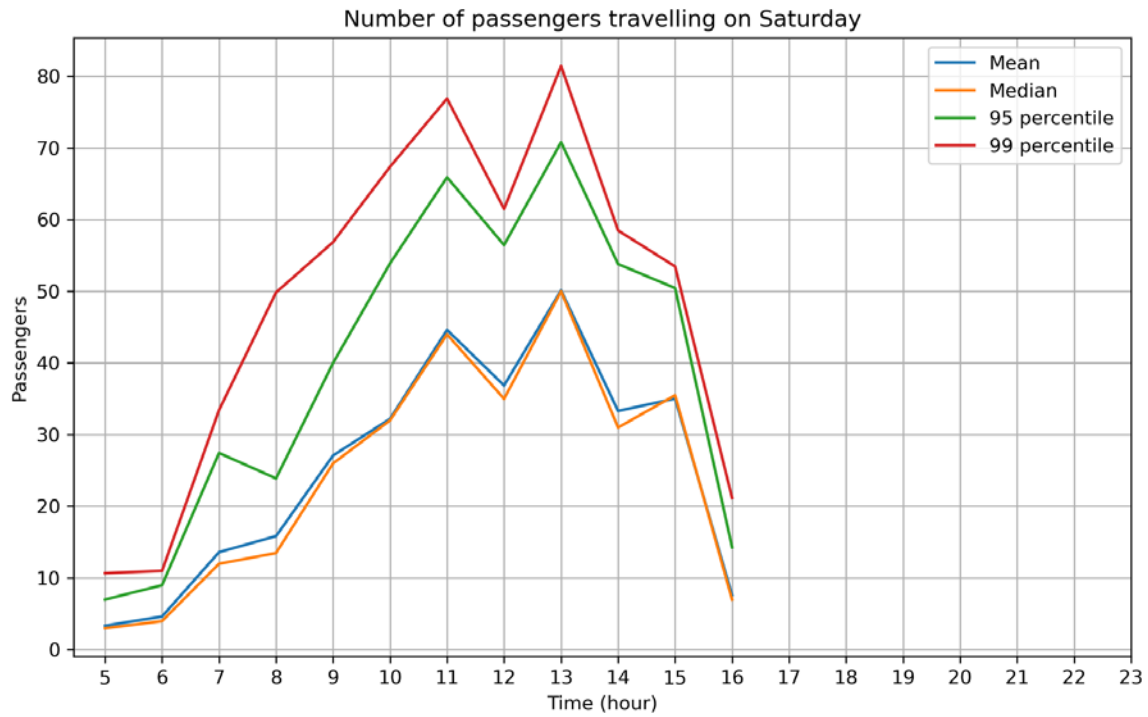
- Bhattacharyya, G.K. and Johnson, R. A. (1977). *Statistical Concepts and Methods*. 1st ed., vol. 141, no. 2. New York: Wiley.
- Erikstad S.O. (2019). Design for modularity. In: Papanikolaou A. (eds) *A holistic approach to ship design*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02810-7_10.
- Frøyen, Y. (2020). Smartere Transport – Møre og Romsdal: L1.4 Transportfagleg vurdering – Ålesund. *NTNU notat*. NTNU, Trondheim, Norway.
- Holte, E.A., Wenersberg, L.A.L. (2021). Smartere transport – Møre og Romsdal: L2.2 Valg av autonomitetsgrad for fartøykonsept. *SINTEF Ocean rapport OC2021 A-044*. ISBN: 978-82-7174-415-1.
- Holte, E.A., Wenersberg, L.A.L., Pobitzer, A. (2020). Smartere Transport – Møre og Romsdal: L4.3 Sikkerhetskrav til et autonomt, sjøverts persontransportsystem. *SINTEF Ocean rapport OC2020 A-043*. ISBN: 978-82-7174-382-6.
- Holte, E.A., Pobitzer, A., Borgen, H., Chu, Y. (2019). Smartere Transport – Møre og Romsdal: A1.1 Ståstedsanalyse. *SINTEF Ocean rapport OC2019 A-075*. ISBN: 978-82-7174-358-1.
- Hovland, L. (2019, Sep 5). Utslippsfri hurtigbåt i trafikk finnes ikke – førkommersiell anskaffelse utviklet prototyp. *Anbud365*. <https://www.anbud365.no/bransjer/transport/utslippsfri-hurtigbat-i-trafikk-finnes-ikke-forkommersiell-anskaffelse-utviklet-prototyp/>. Sist besøkt 10.01.2022.
- Kleppe, P.S., Røssevold, S.S., Romundstad, S. (2019) Smartere Transport – Møre og Romsdal: A1.2. Beskrivelse av brukercase. *NTNU notat*. NTNU, Ålesund, Norway.
- LMG Marin, (2021). Sluttrapport for KLIMASATS forprosjekt: utslippsfritt hurtigbåranbud. Dok. nr.: 409006-R-002.
- Pobitzer, A., Borgen, H, Holte, E.A. (2020). Smartere Transport – Møre og Romsdal: L1.3 Kvantitativ miljøbeskrivelse. *SINTEF Ocean rapport OC2020 A-054*. ISBN: 978-82-7174-386-4.
- SINTEF Ocean, Queue simulator for public ferry transport, Yauheni Kisialiou, <https://www.sintef.no/en/software/queue-simulator-for-public-ferry-transport/>
- Stenersen, D. (2022), Smartere transport – Møre og Romsdal: L2.3 – Fremdrifts- og energisystem for autonome passasjerskip. *SINTEF Ocean rapport OC2022 A-002*. ISBN: 978-82-7174-430-4
- Stensvold, T., (2021, 17 febr.), Sundbåten blir elektrisk og autonom, <https://www.tu.no/artikler/sundbaten-blir-elektrisk-og-autonom/506877>, Sist besøkt 10.01.2022
- Wille, E. (2021). Smartere Transport - Møre og Romsdal: L4.1 Cyber security for et autonomt sjøverts persontransportsystem. *SINTEF Ocean rapport OC2020 A-126*. ISBN: 978-82-7174-402-1.

Appendix A: Passasjerfordeling ut av Kristiansund

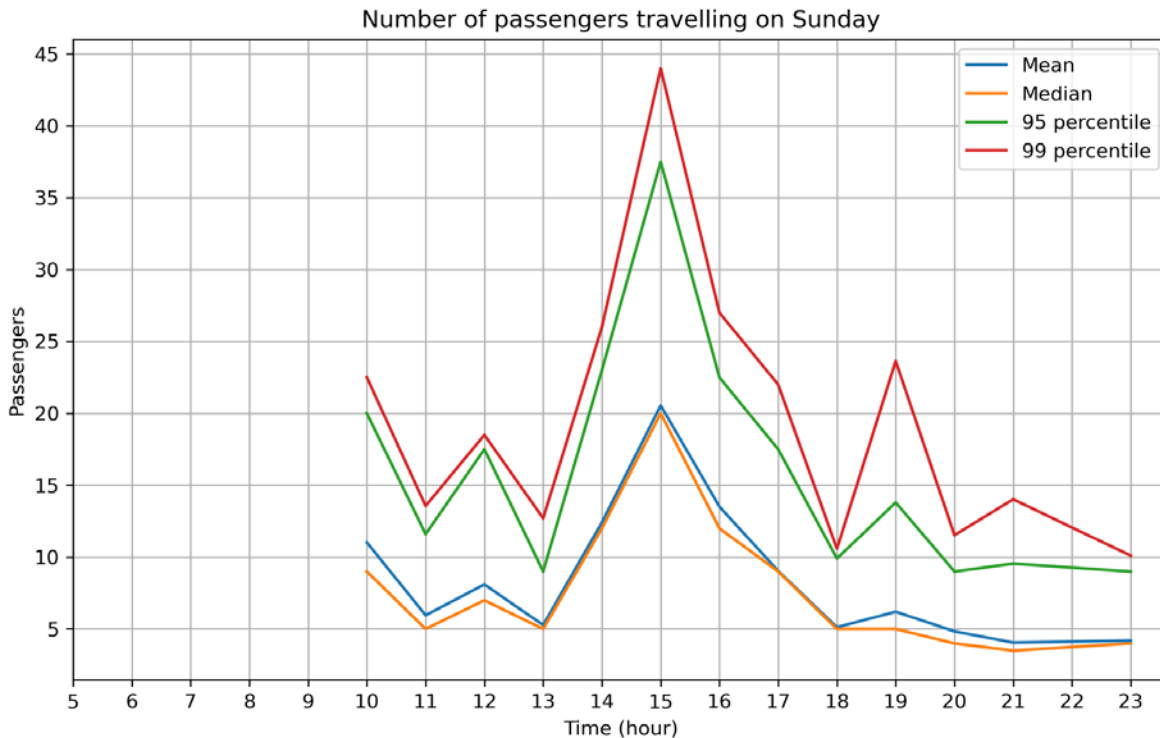
Figurene under illustrerer passasjerfordelingene for reisende ut av Kristiansund sentrum (Kirkelandet) for ukedager, lørdager og søndager. Den blå linjen representerer gjennomsnittspassasjertall, den gule - median, den grønne - 95-te persentil og den røde - 99-ende persentil. Merk at alle linjene følger de samme generelle trendene, noe som indikerer at datasettet, i motsetning til dataene for Langevågsbåten, ikke inneholder utligger i noe særlig grad.



Figur 28: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på en ukedag.



Figur 29: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på lørdager.



Figur 30: Passasjerfordeling ut av Kristiansund på søndager.

Appendix B: Rutetabeller for Langevågsbåten

Tabell 10: Rutetabeller bruk i simuleringen av sambandet Langevåg – Ålesund.

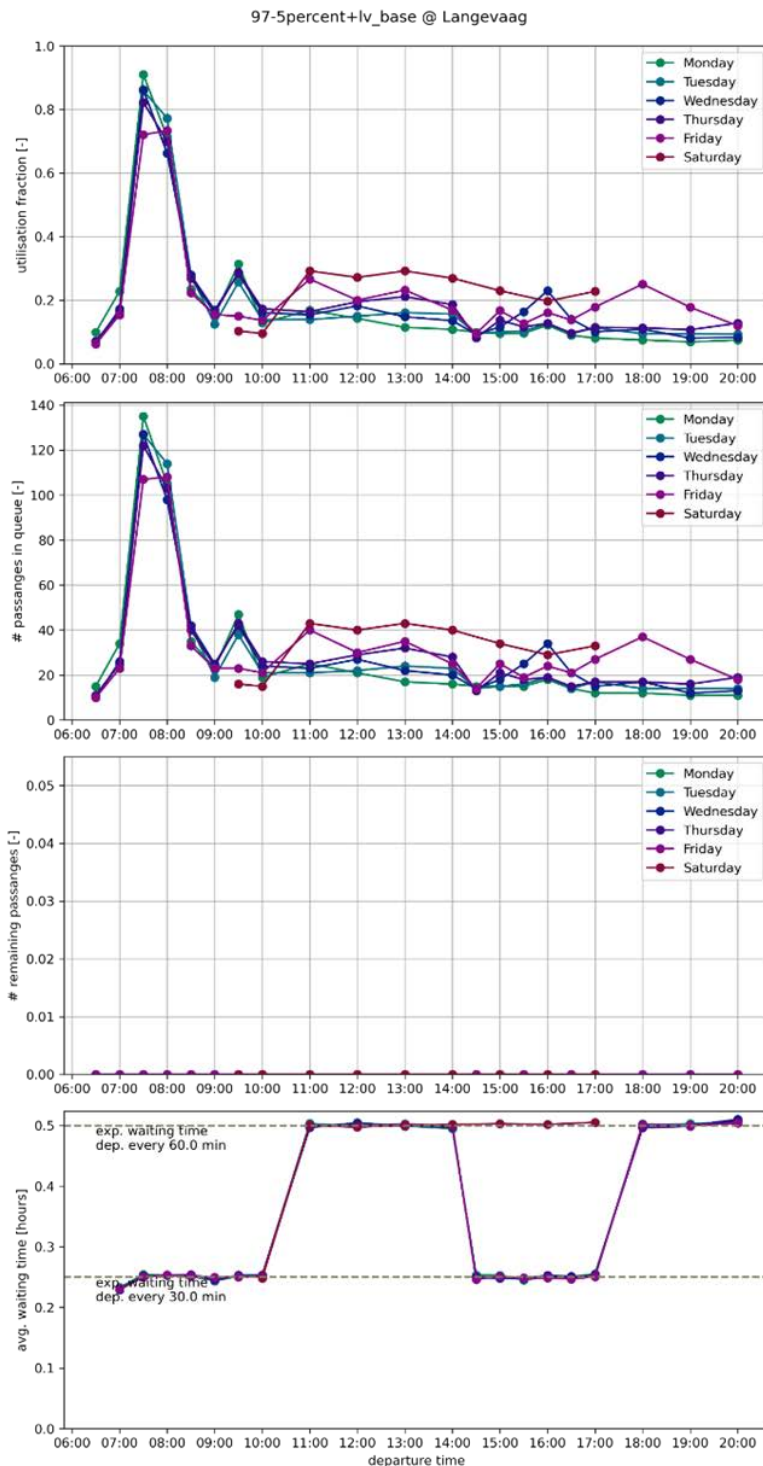
	Dagens rutetabel (RT1)		Rutetabell med økt frekvens i rushtiden (RT2)	
	Langevåg	Ålesund	Langevåg	Ålesund
6.30	A		A	B
6.45		A	B	A
7.00	A		A	B
7.15		A	B	A
7.30	A		A	B
7.45		A	B	A
8.00	A		A	B
8.15		A	B	A
8.30	A		A	B
8.45		A	B	A
9.00	A		A	B
9.15		A	B	A
9.30	A (S)		A (S)	B
9.45		A (S)	B	A (S)
10.00	A (S)		A (S)	
10.45		A (S)		A (S)
11.00	A (S)		A (S)	
11.45		A (S)		A (S)
12.00	A (S)		A (S)	
12.45		A (S)		A (S)
13.00	A (S)		A (S)	B
13.45		A (S)	B	A (S)
14.00	A (S)		A (S)	B
14.15		A	B	A
14.30	A		A	B
14.45		A (S)	B	A (S)
15.00	A (S)		A (S)	B
15.15		A	B	A
15.30	A		A	B
15.45		A (S)	B	A (S)
16.00	A (S)		A (S)	B
16.15		A	B	A
16.30	A		A	B
16.45		A (S)	B	A (S)
17.00	A (S)		A (S)	B
17.15		A (S)	B	A (S)
18.00	A		A	
18.15		A		A
19.00	A		A	
19.15		A		A
20.00	A		A	
20.15		A		A

Bokstavene i tabellen over indikerer hvilken båt som betjener den respektive avgangen. Avganger merket med (S) betjenes også på lørdager.

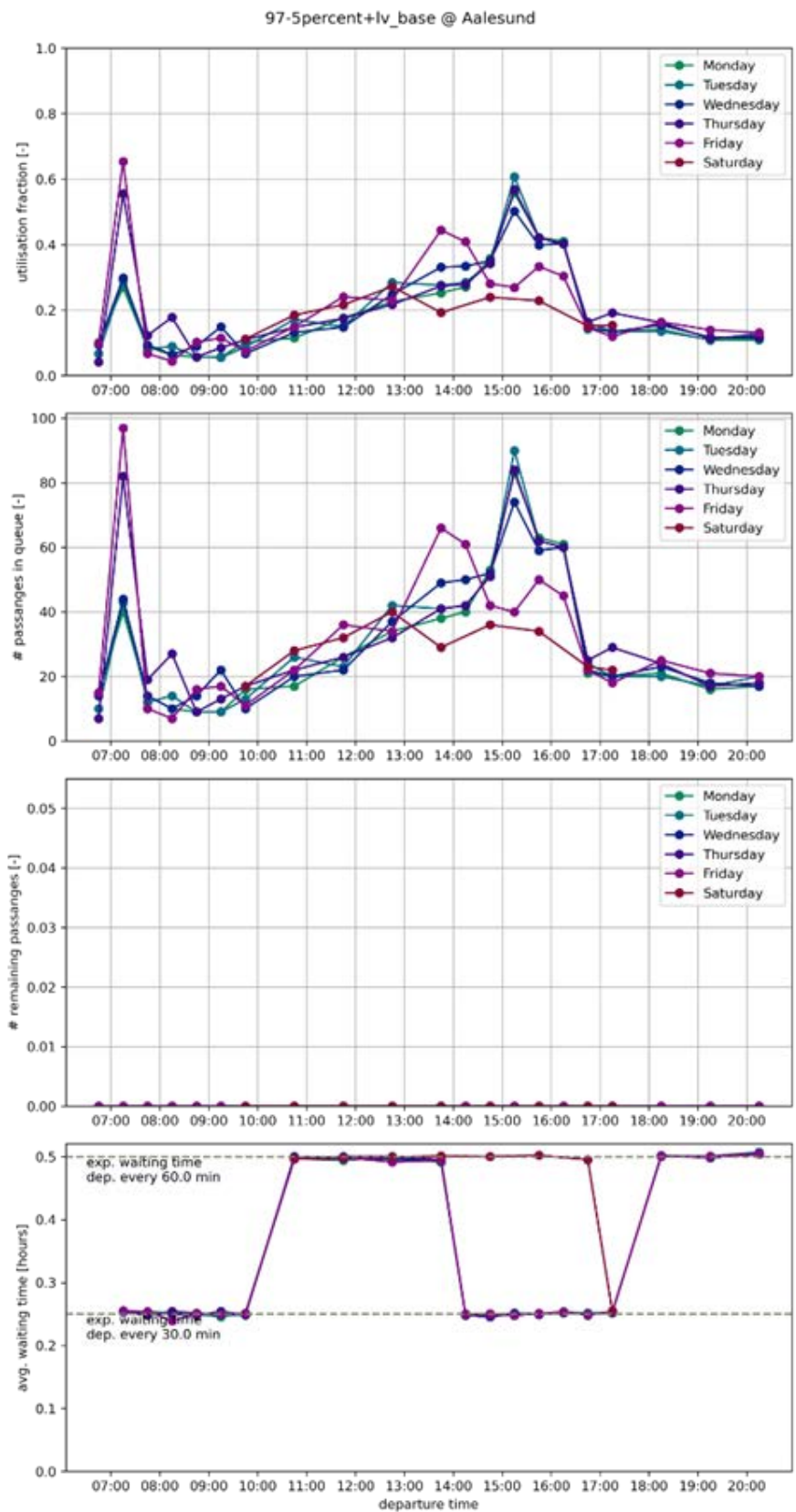
Appendix C: Simulerte sambandsalternativer for Langevågsbåten

Figurene under presenterer resultatene fra simulering av passasjerflyt mellom to havner (Ålesund og Langevåg) med ett eller flere skip av forskjellig passasjerkapasitet som følger predefinerte rutetabeller. Hver scenario noteres med nummer, type rutetabell, antall skip og skipes pax.

Scenario O: RT1 – 1 båt – 147pax (dagens løsning)



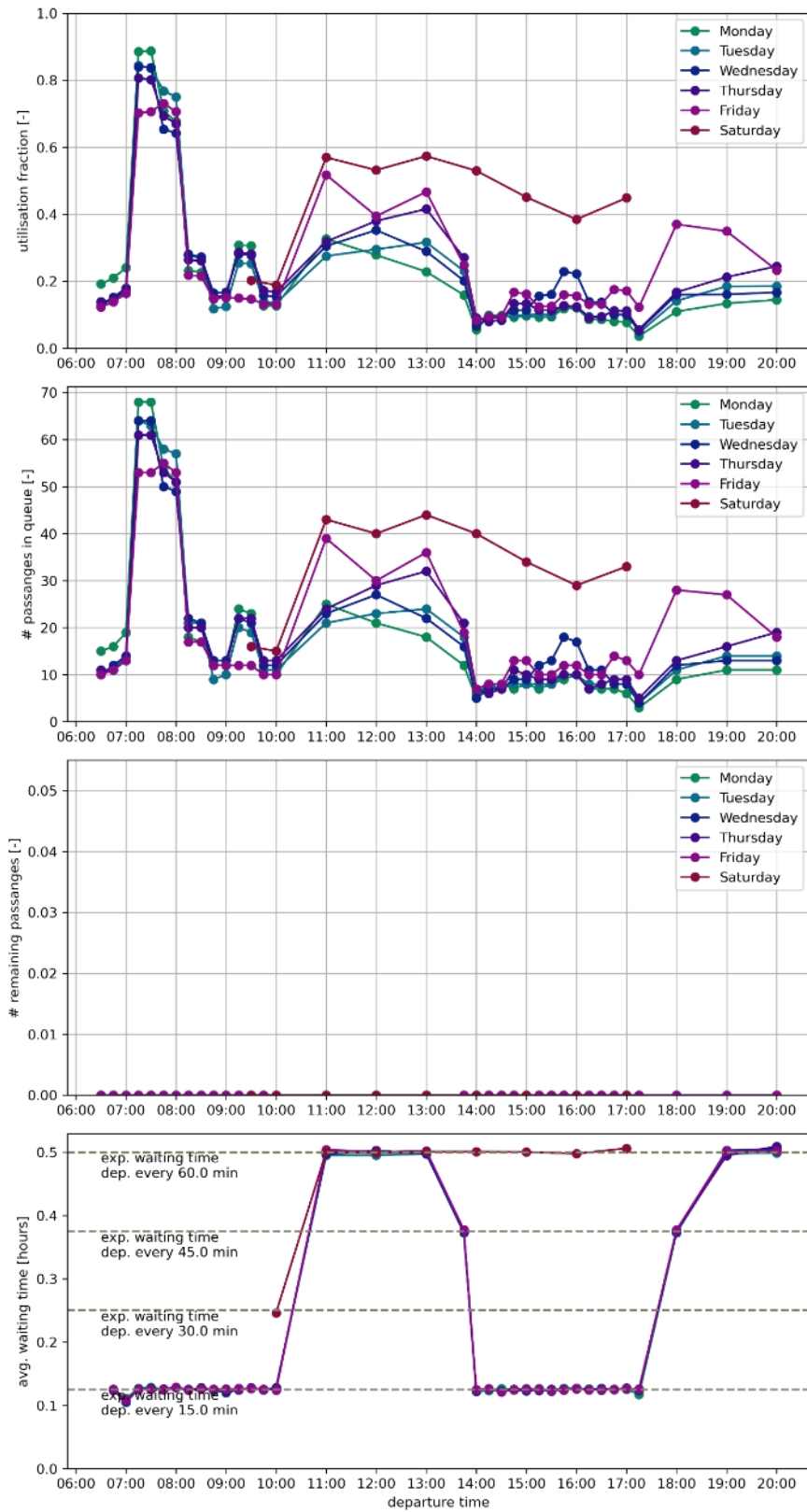
Figur 31: Scenario O: Langevåg-Ålesund RT1-1-147.



Figur 32: Scenario 0: Ålesund-Langevåg RT1-1-147.

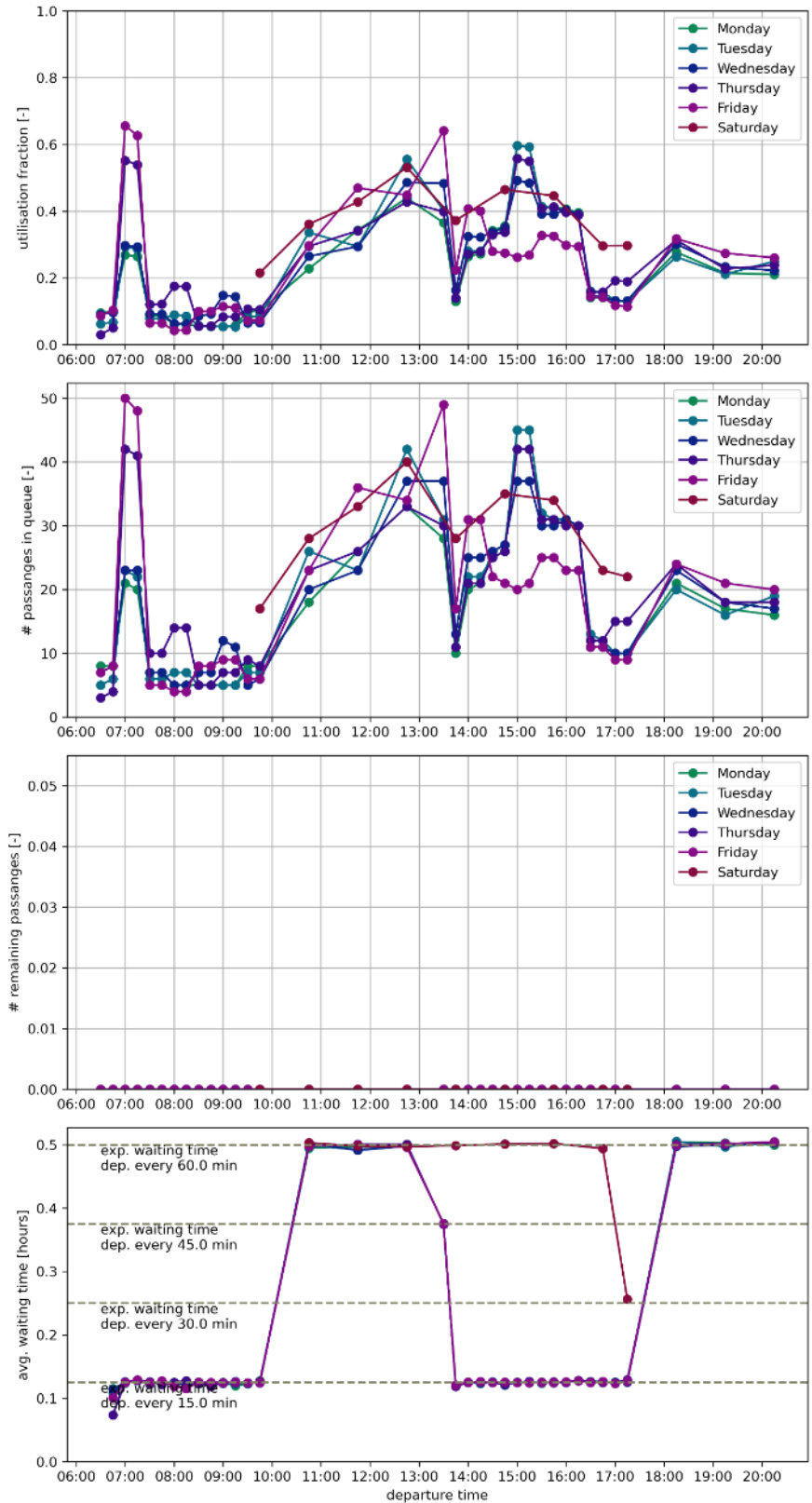
Scenario 1: RT2 – 2 båter – 75 pax

97-5percent+75pax_v2 @ Langevaag



Figur 33: Scenario 1: Langevåg-Ålesund RT2-2-75.

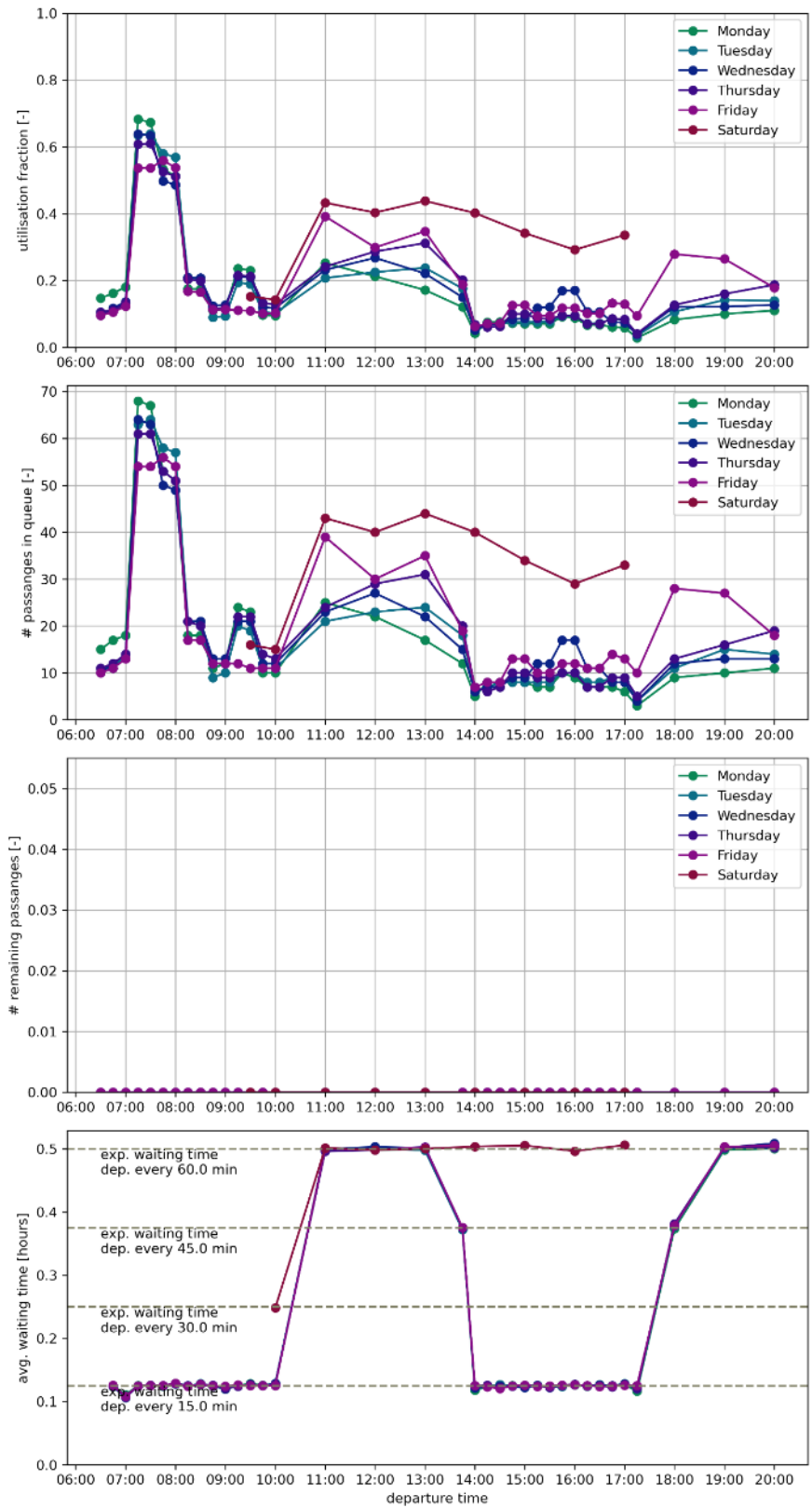
97-5percent+75pax_v2 @ Aalesund



Figur 34: Scenario 1: Ålesund- Langevåg RT2-2-75.

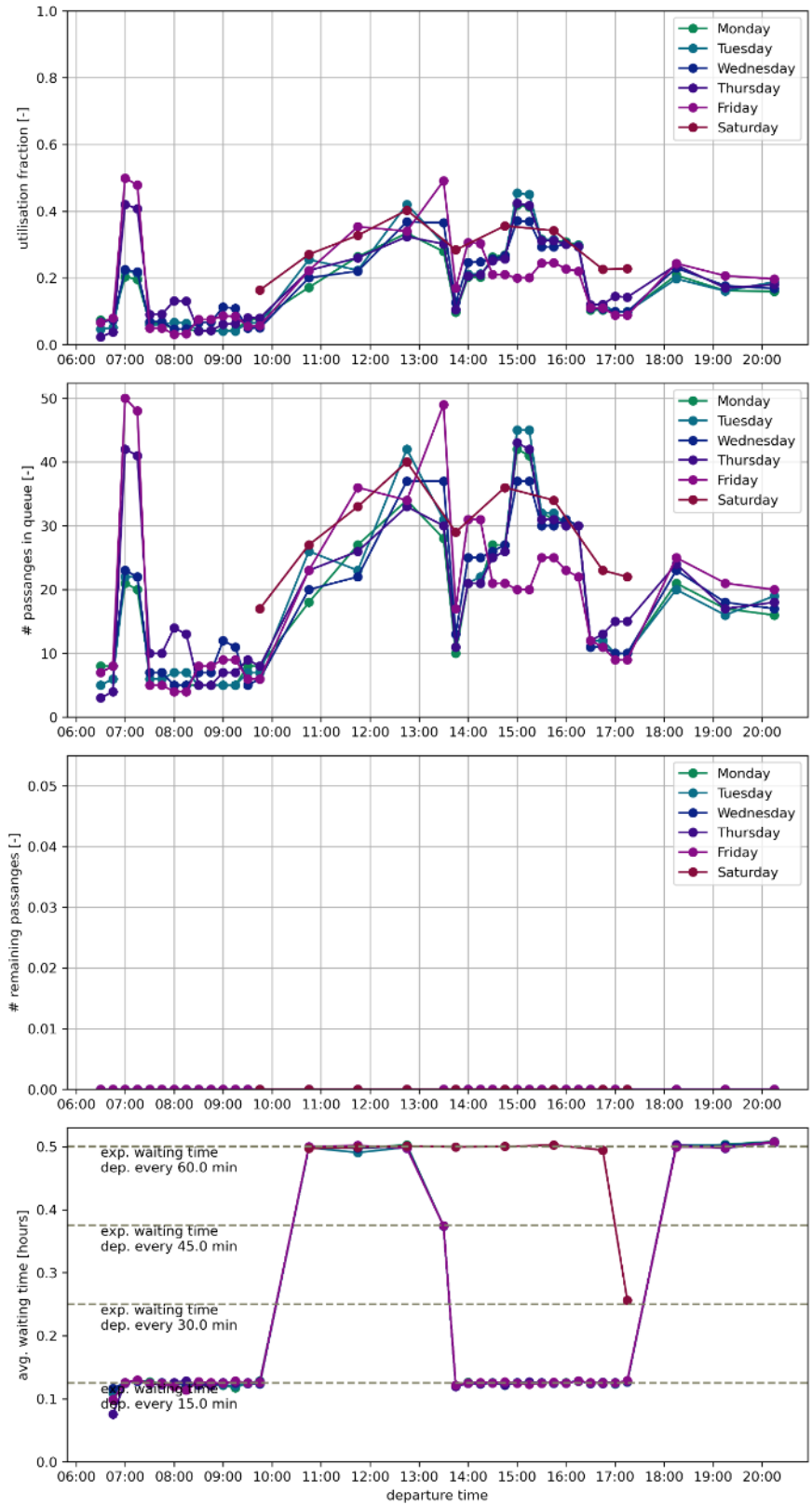
Scenario 2: RT2 – 2 båter – 99 pax

97-5percent+99pax_v2 @ Langevaag



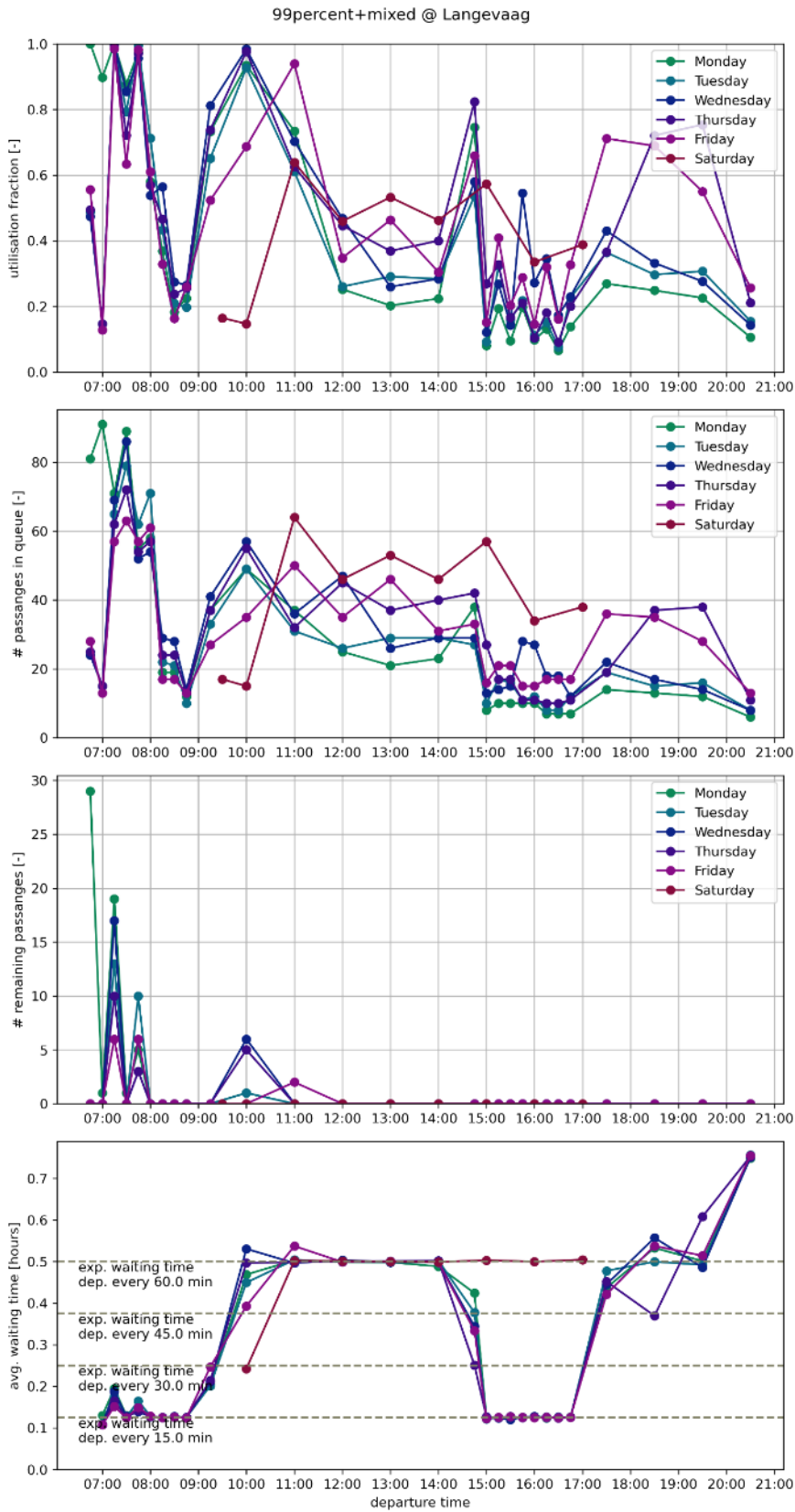
Figur 35: Scenario 2: Langevåg-Ålesund RT2-2-99.

97-5percent+99pax_v2 @ Aalesund

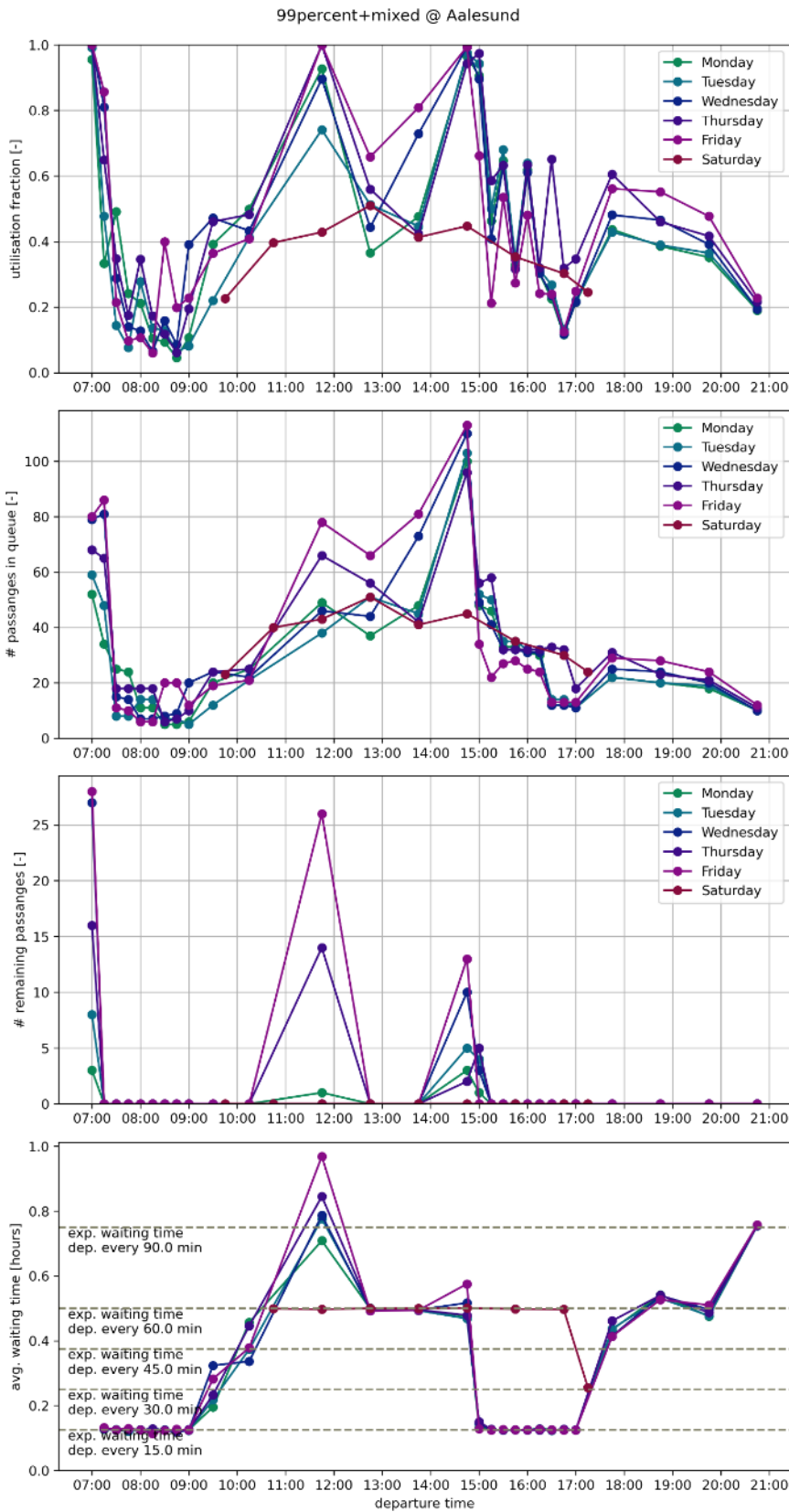


Figur 36: Scenario 2: Ålesund - Langevåg RT2-2-99.

Scenario 3: RT2 – 2 båter – 99/50pax

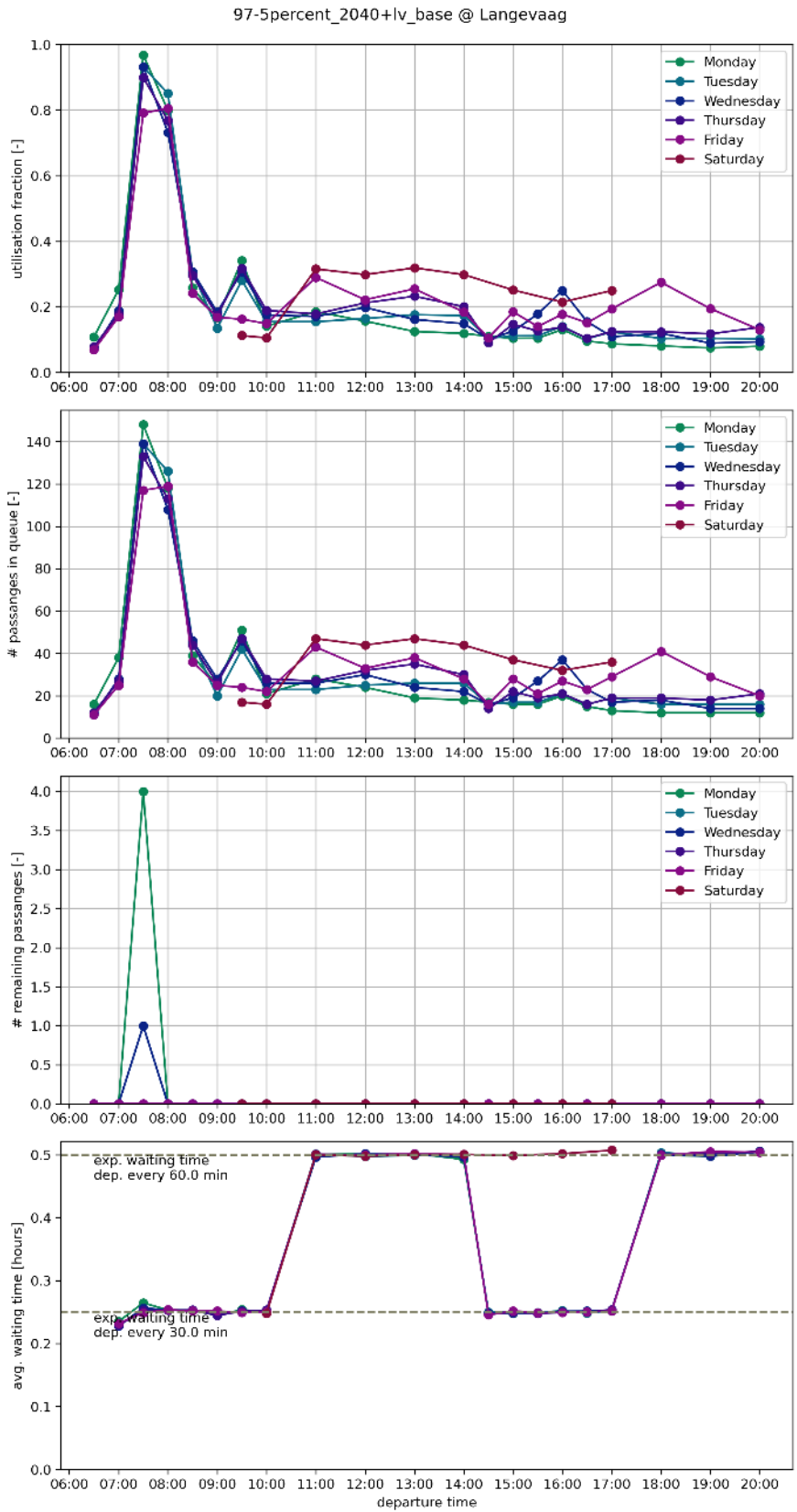


Figur 37: Scenario 3: Langevåg-Ålesund RT2-2-90/50.



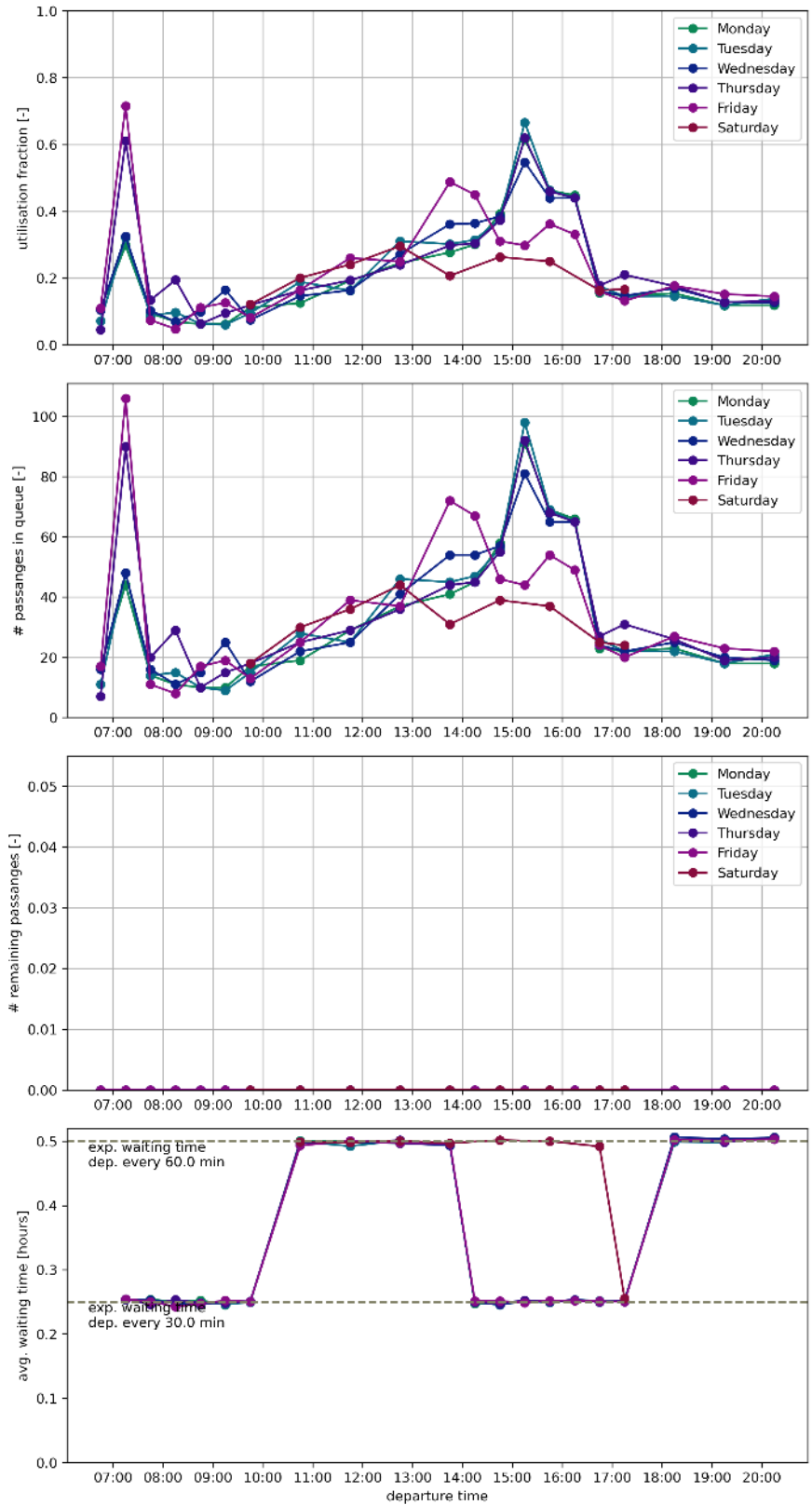
Figur 38: Scenario 3: Ålesund - Langevåg RT2-2-90/50.

Scenario 4: RT2 – 1 båt – 147pax – 2040



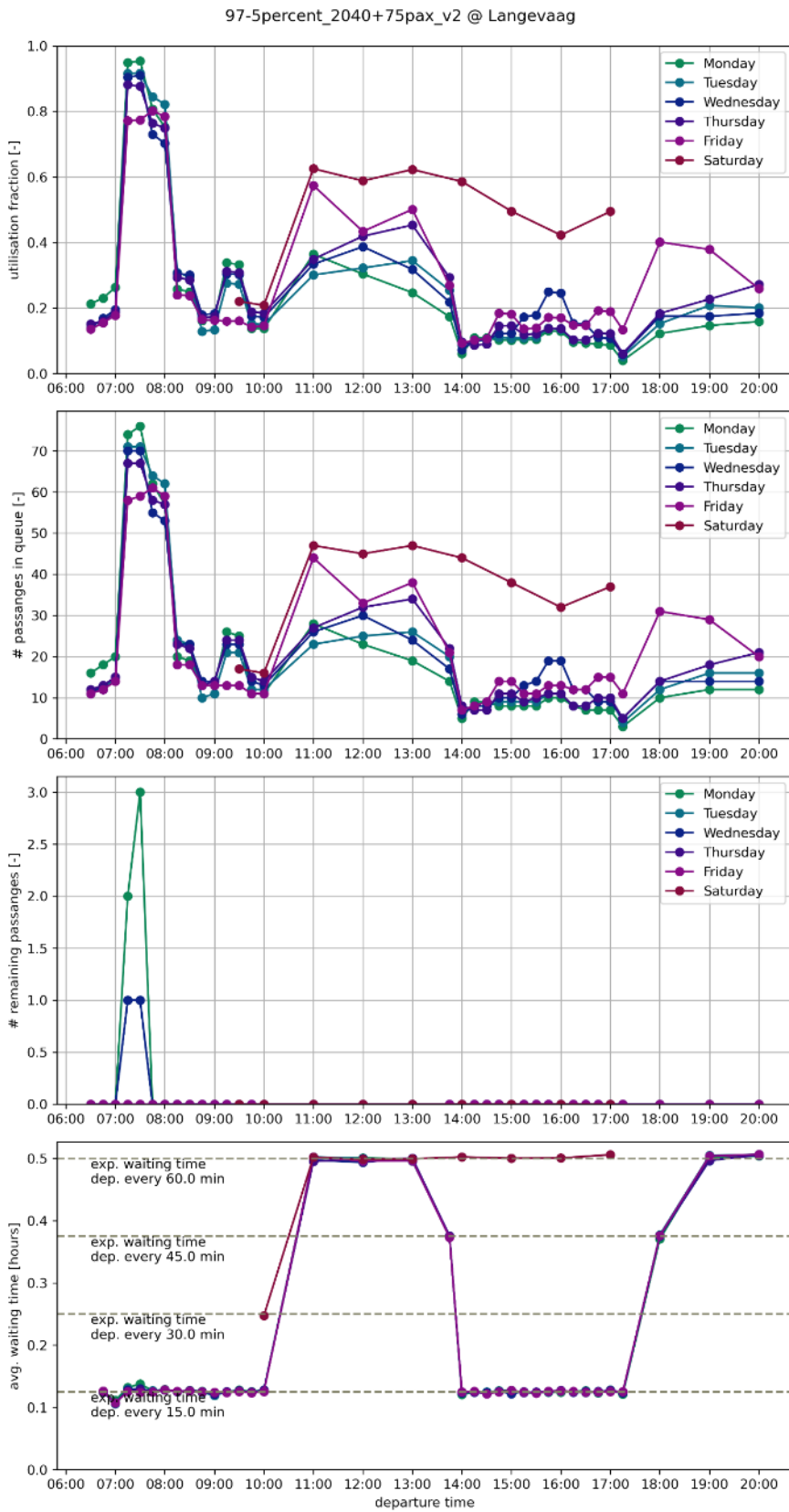
Figur 39: Scenario 4: Langevåg - Ålesund RT2-1-147-2040.

97-5percent_2040+lv_base @ Aalesund



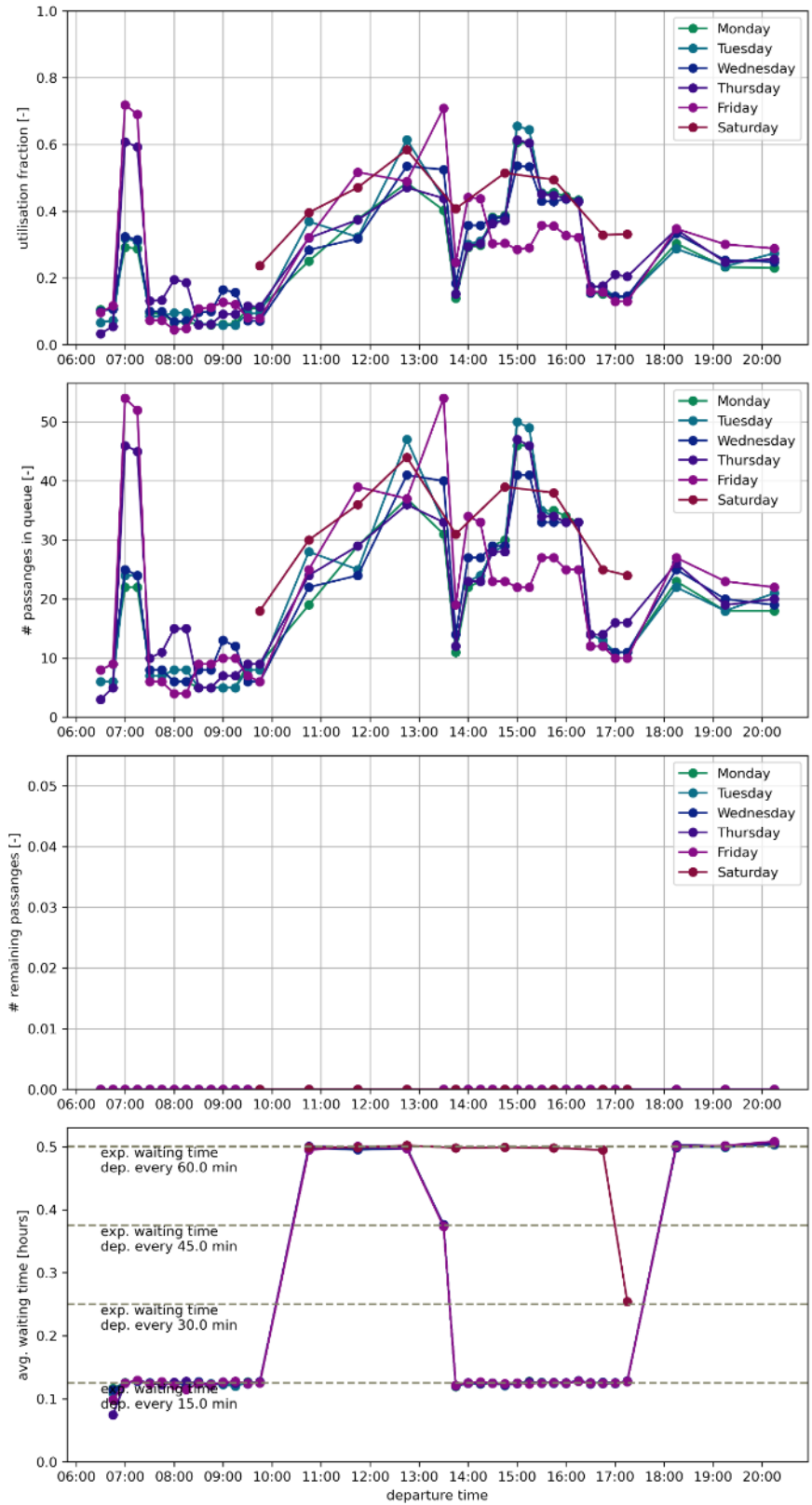
Figur 40: Ålesund – Langevåg RT2-1-147-2040.

Scenario 5: RT2 – 2 båter – 75 pax – 2040



Figur 41: Langevåg-Ålesund RT2-2-75-2040.

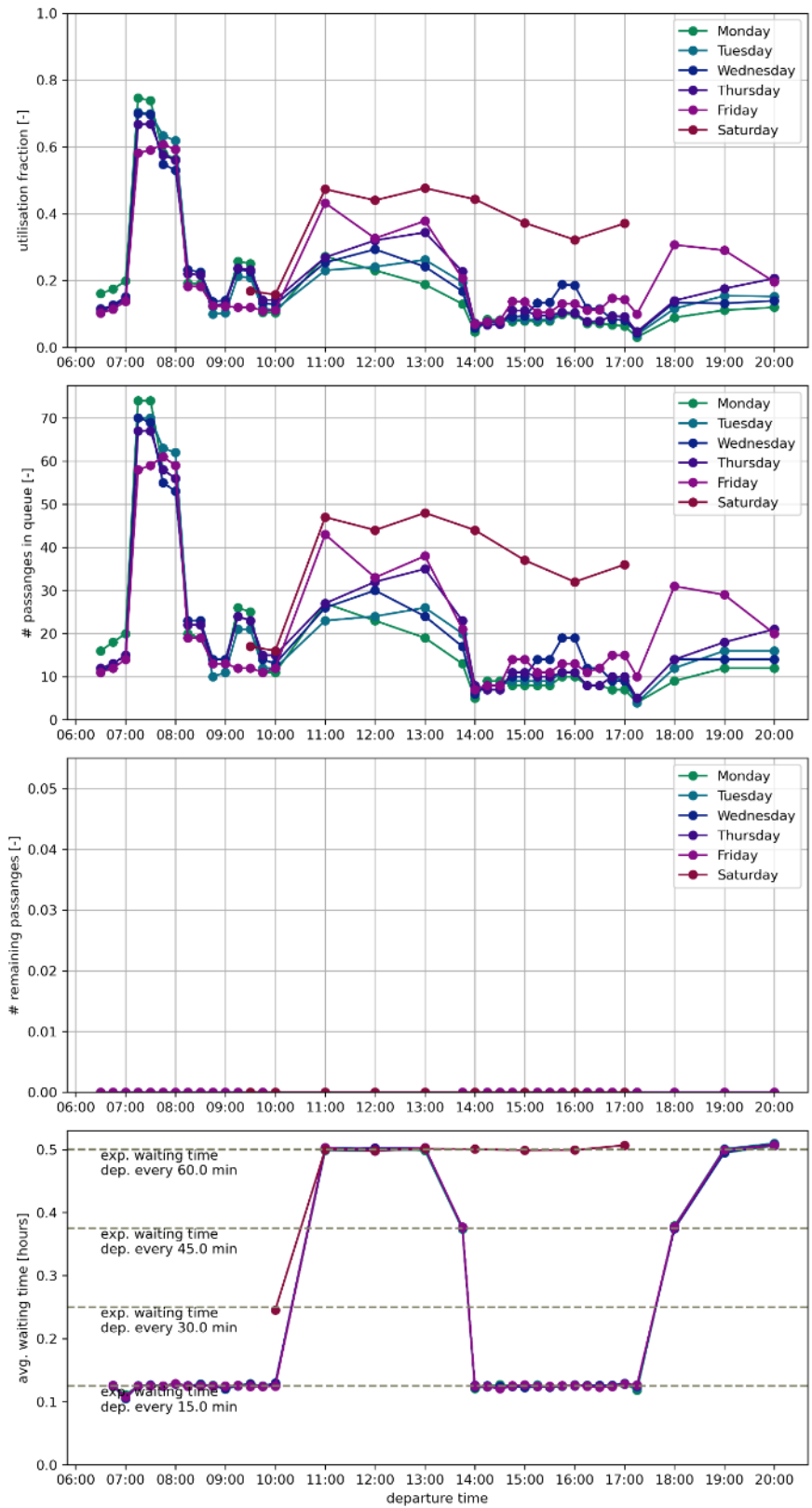
97-5percent_2040+75pax_v2 @ Aalesund



Figur 42: Ålesund-Langevåg RT2-2-75-2040.

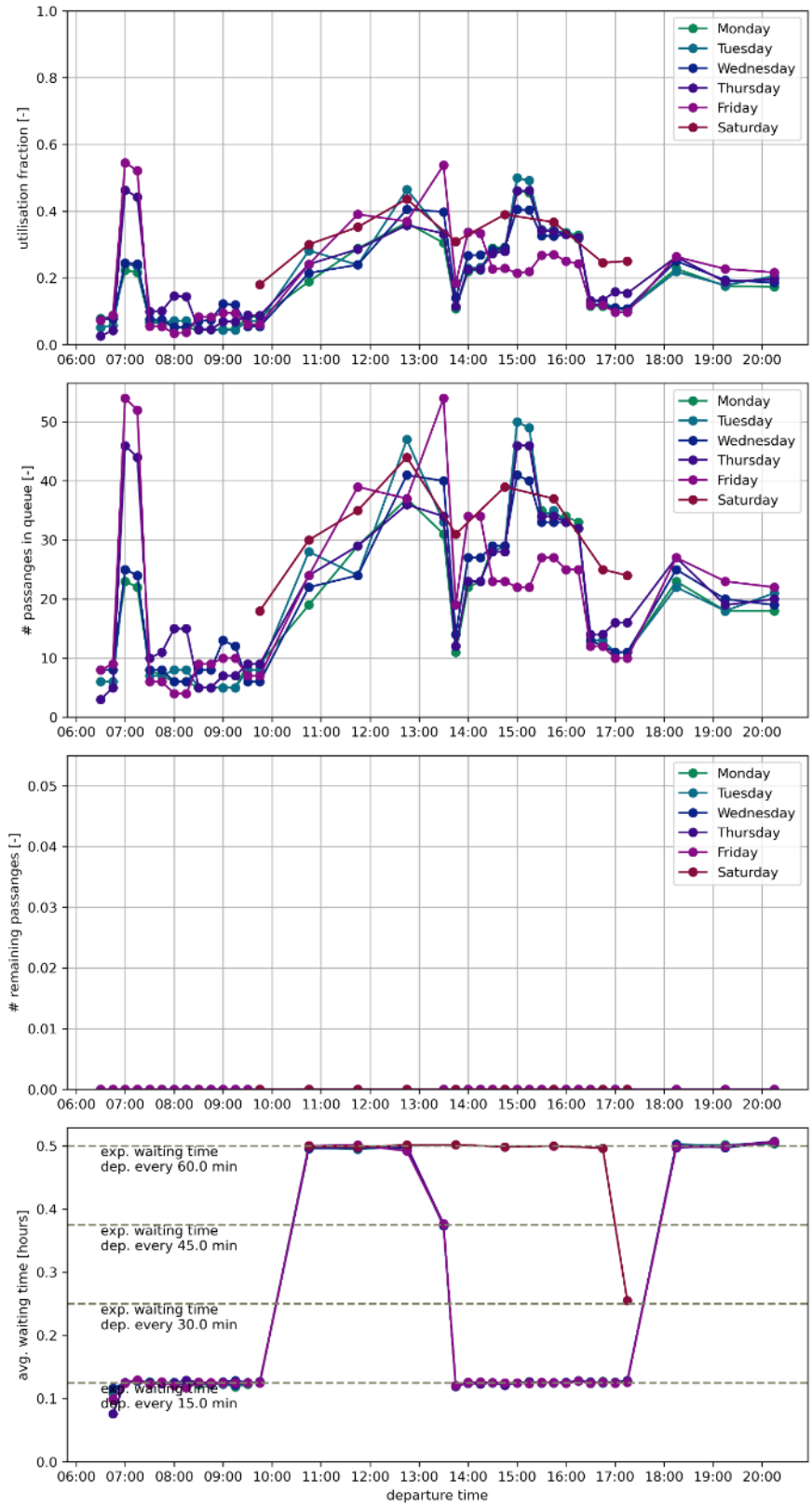
Scenario 6: RT2 – 2 båter – 99 pax – 2040

97-5percent_2040+99pax_v2 @ Langevaag



Figur 43: Langevåg-Ålesund RT2-2-99-2040

97-5percent_2040+99pax_v2 @ Aalesund



Figur 44: Ålesund-Langevåg RT2-2-99-2040.