

Interreg



Co-funded by
the European Union

Central Baltic Programme

REISFER

REDUCING CO₂ EMISSIONS IN ISLAND FERRY TRAFFIC

**Munalaid – Manilaid (Manija) marsruudi
trossparveühenduse teostatavus- ja
tasuvusanalüüs**

Lõpparuanne

Pealkiri	Munalaid – Manilaid (Manija) marsruudi trossparveühenduse teostatavus- ja tasuvusanalüüs
Staatuse	Lõpparuanne
Koostaja	Workboats Consulting OÜ
Autorid	Ernst Siniorg; Mart Siniorg
Kuupäev	03.09.2026

Uuringu koostamist on kaasrahanud Euroopa Liit läbi Interreg Kesk-Läänemere programmi projekti “**CB0300186 REISFER – Reducing CO₂ emissions in island ferry traffic**” (01.04.2024 – 31.03.2027).

Uuringu tellija: Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Mereakadeemia

Projekti REISFER kontaktisik: Kadi Kasepõld (kadi.kasepold@taltech.ee)

Projekti veebileht: <https://centralbaltic.eu/project/reisfer/>

Projekti LinkedIn: <https://www.linkedin.com/showcase/reisfer/>

Märkus

Käesolev dokument kajastab üksnes autori(te) seisukohti. See ei pruugi väljendada Interreg Kesk-Läänemere programmi ega selle juht- ja korraldusasutuste ametlikke seisukohti. Programmi juht- ja korraldusasutused ei vastuta teabe kasutamise eest ega võimalike vigade või puuduste eest.



Central Baltic Programme

REISFER

Sisukord

1. Sissejuhatus	7
1.1. Marsruudi hetkeseis, operaatorid ja teenuse vajadus	7
1.1.1. Võrdlusbaas	8
1.2. Uuringu eesmärk, ulatus ja otsustuskriteeriumid	9
1.3. Trossparve mõiste ja lahendusvariandid	10
2. Trossparve lahendused ja lähiriikide parimad praktikad	11
2.1. RISE uuringu lühikokkuvõte	11
2.2. Soome virtuaalse trossi kontseptsioon	11
2.3. Soome ja Rootsi võrdlusnäited	11
2.4. Riskianalüüsi meetodika	12
2.5. Lähiriikide praktikast tulenevad järeldused	12
3. Uus väljapakutud lahendus ja tehniline teostatavus	14
3.1. Lahenduse kujunemine	14
3.2. Uue parve tehniline lähtevariant	14
3.3. Trassi geomeetria ja tehniline teostatavus	16
3.4. Operatiivne mudel	19
4. Keskkonnamõjud	21
4.1. Kasvuhoonegaaside mõju	21
4.2. Muud keskkonnamõjud	22
5. Investeeringukulud ja opereerimiskulud.....	23
5.1. Kulude ja uuenduste arvestuspõhimõtted	23
5.2. CAPEX koondhinnang	23
5.3. Uue hübriidparve aastane OPEX	24
5.4. Suuremad uuendusinvesteeringud	25
5.5. Virtuaalse trossi süsteemi maksumus ja turuvariandid	26

5.6. Uue ro-ro reisiparve maksumuse lähtealus	28
5.7. Akusüsteem ja kaldalaadimine	29
5.8. Olemasolevate sadamakaide ja rampide kulukäsitus	31
6. Regulaatiivsed nõuded, riskid ja rakendamise eeltingimused	33
6.1. Eelduste register	33
6.2. Riskiregister	34
6.3. Rakendamise eeltingimused ja järgmised sammud	35
6.4. Õiguslik ja regulatiivne raamistik	36
6.5. Soovitav hankepakettide jaotus	38
7. Tasuvus- ja võrdlusanalüüs	39
7.1. Tasuvuse ülevaade numbrites	39
7.2. Tasuvuse ja rahavoo ajajoon	40
7.3. P/I „Kihnu Virve“ ressursikasutus	41
7.4. Tasuvusvõrdluse koondtulemus	42
7.5. Tasuvusmudeli koondsisendid	43
8. Kokkuvõte ja põhijäreldused	45
8.1. Põhijäreldused	45
LISA A. Tõlgitud ja kohandatud mõisted	47
LISA B. Lähteandmete koondtabelid	48
Kasutatud allikad ja lähteandmed	49

Tabelite loetelu

Tabel 1.1. Teenuseesmärgid, näitajad ja hetkeseis	8
Tabel 1.2. Otsustuskriteeriumid	9
Tabel 1.3. Füüsilise juhttrossi ja virtuaalse trossi eristus	10
Tabel 2.1. Riskianalüüsi metoodika	12
Tabel 3.1. Tehniline lähtebaas	15
Tabel 3.2. Operatiivne mudel	20
Tabel 4.1. Hinnangulised KHG emissioonid praegusel ja uuel lahendusel	21
Tabel 5.1. CAPEX koondhinnang tasuvusmodeli jaoks, ilma käibemaksuta	24
Tabel 5.2. Uue lahenduse operatiivkulude baasstsenaarium	24
Tabel 5.3. Operatiivkulude võrdlus	25
Tabel 5.4. Suuremad uuendusinvesteeringud	25
Tabel 5.5. Virtuaalse trossi ja võrreldavate süsteemide variandid	26
Tabel 5.6. Aktiivse virtuaalse trossi põhiseadmed ja kulustruktuur	27
Tabel 5.7. Tasuvusmodeli stsenaariumid	28
Tabel 5.8. Uue hübriidse ro-ro reisiparve CAPEX-i tööjaotus	29
Tabel 5.9. 400 kWh ESS-i ja 125 A kaldalaadimise lähteandmed	30
Tabel 5.10. Laadimise kuluelemendid ja käsitlus	30
Tabel 5.11. Olemasoleva sadamataristu käsitlus CAPEX-is	31
Tabel 5.12. Olemasolevate kaide ja rampide kontrollpunktid	32
Tabel 5.13. Mittebaasne sadamaehitus	32
Tabel 6.1. Eelduste register	33
Tabel 6.2. Riskiregister	34
Tabel 6.3. Rakendamise eeltingimused	35
Tabel 6.4. Soome ja Rootsi trossiparve regulatsiooni võrdlusnäited	37
Tabel 6.5. Õigusliku ja regulatiivse raamistiku ettevalmistuse esialgne kulu	37

Tabel 6.6. Soovitatav hankepakettide jaotus	38
Tabel 7.1. Tasuvuse ülevaade numbrites	39
Tabel 7.2. Toetuse tundlikkus	40
Tabel 7.3. Tasuvuse ja rahavoo ajajoon	40
Tabel 7.4. P/l „Kihnu Virve“ Manilaiu ressursikasutuse võrdlus	41
Tabel 7.5. Tasuvusvõrdluse koondtulemus	42
Tabel 7.6. Finants- ja teenusekvaliteedi baasstsenaarium	43

1. Sissejuhatus

Käesolev lõpparuanne käsitleb Munalaid–Manilaid (Manija) ligikaudu 0,9 km pikkust püsiühendust, mille eesmärk on tagada Manilaiu elanikele, külastajatele, teenindavale transpordile ning pääste- ja hooldussõidukitele aastaringne meretransport. Laiul elab püsivalt umbes 35–45 inimest. Manija kuulub koos Kihnu saarega UNESCO vaimse kultuuripärandi nimistusse. Laiul pakutakse turismi ja majutusteenust.

Praegu teenindavad liini m/l „Mann“, hõljuk ja p/l „Kihnu Virve“, kusjuures reisijate- ja sõidukivedu on jaotatud eri aluste ning graafikute vahel.

Uuring hindab võimalust koondada teenus üheks sõidukivõimeliseks elektriliseks või hübriidseks ro-ro reisiparve lahenduseks. Keskkonnamõju hindamisel käsitletakse lisaks kasvuhoonegaaside heitele ka lahenduse mõju merepõhjale, veeliiklusele, lokaalsele õhu- ja mürasaastele ning sadamataristu muutmise vajadusele.

Lähteülesandes käsitleti trossparve, kuid trassi geomeetria, meremärkide ja olemasolevate sadamarampide analüüs näitas, et füüsilise trossi asemel tuleb põhivariandina hinnata virtuaaltrossi ehk digitaalset juhtimis- ja navigatsioonilahendust. Aruande ülesehitus liigub hetkeseisust ja lähiriikide praktikast uue lahenduse, keskkonnamõjude, kulude, regulatiivsete eelduste ning tasuvusvõrdluseni.

1.1. Marsruudi hetkeseis, operaatorid ja teenuse vajadus

Teenuseesmärkide lähteks kasutatakse tänase teenuse tegelikku mahtu ning uue lahenduse võimet teenindada kogu Manilaiu ühendust aastaringsest. 2025. aasta statistika järgi tegi m/l „Mann“ 1704 ja hõljuk 87 ühe suuna reisi; p/l „Kihnu Virve“ 2026. aasta Manilaiu mahuks kasutatakse 312 ühe suuna reisi. Uue parve aastane asendusmaht on seega 2103 ühe suuna reisi ehk 1051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti.

Piiraja Invest OÜ osutatav m/l „Manni“ ja hõljuki teenus on aastaringne reisijateveoteenus ning need alused sõidukeid ei vea. Sõidukite vedu toimub eraldi p/l Kihnu Virvega kolmel päeval nädalas; ülesõit kestab ligikaudu 15 minutit. Kihnu Veeteede 2023–2025 andmetel veeti 918 Manilaiu reisiga kokku 3 511 sõidukit ehk keskmiselt 3,82 sõidukit reisi kohta (2023: 3,52; 2024: 4,08; 2025: 3,88). Uue parve oluline kvalitatiivne eelis on kogu aastaringse teenuse konsolideerimine üheks sõidukivõimeliseks ühenduseks: sõidukeid saab vedada iga päev, mis parandab elanike, kauba-, hooldus-, arstiabi- ja päästesõidukite ligipääsu ning saare toimepidevust.

Tabel 1.1. Teenuseesmärgid, näitajad ja hetkeseis

Näitaja	Tänapane lahendus	Uus parv	Mõju
Aastaringne reisijate ühendus	Jah – Mann/hõljuk + p/l Kihnu Virve	Jah – üks aastaringne ro-ro parv	Säilib ja konsolideerub
Sõidukivedu Pärnu lepinguliste alustega	Ei	Ei kohaldu	Pärnu lepingulised alused on ainult reisijateveoks
Sõidukiveo teeninduspäevad	3 päeva nädalas – p/l Kihnu Virve	7 päeva nädalas	+4 päeva nädalas; +133%
Sõidukivõimelised väljumised	ühed suuna ~5,9 nädalas (2023–2025 keskmine)	42 nädalas 3 edasi-tagasi/päev baasgraafikus	~7,1 × suurem ajastusvõimekus
Sõidukinõudlus 2023–2025	3 511 sõidukit / 918 reisi = 3,82 sõidukit/reis	Kõik väljumised sõidukivõimelised	Reaalne nõudlus ~4 sõidukit/reis. Seal hulgas raskeveokid.
Arstiabi ja pääste	Sõidukivedu sõltub 3-päevasest graafikust	Sõidukivedu võimalik iga päev	Parem kriisi-teenindustoimepidevus ja

1.1.1. Võrdlusbaas

Võrdlusbaasiks määratakse tänapane ühenduslahendus tervikuna. Uus parv asendab Manilaiu teenuseosad, mida täna täidavad m/l „Mann“, hõljuk ja p/l „Kihnu Virve“ Manilaiu reisirid. p/l „Kihnu Virve“ jääb seejuures täies mahus Kihnu põhiliinile ning tema mehitust see muudatus ei mõjuta.

P/l „Kihnu Virve“ – 312 Manilaiu ühe suuna reisi/a; tööeeldus 160 l/h ja 15 min/reis. Meeskond 6 inimest korraga, kaks rotatsiooni. Sõidukivedu toimub p/l „Kihnu Virvega“ kolmel päeval nädalas. 2023–2025. aasta statistikas veeti 918 reisiriga 3 511 sõidukit, keskmiselt 3,82 sõidukit/reis. Manilaiu reisiride kadumine ei vähenda mehitust; vabanev aeg kasutatakse Kihnu liini lisareisirideks, mida on olemasoleva kontseptsiooniga võimatu saavutada.

M/l „Manija Mann“ – 1704 ühe suuna reisi 2025. a; tööeeldus 25 l/h ja 10 min/reis. m/l „Mann“ on lepinguline reisijateveoalus ega vea sõidukeid. Teenust korraldab üks inimene korraga, kaks rotatsiooni.

Hõljuk – 87 ühe suuna reisi 2025. a; tööeeldus 15 l/h ja 10 min/reis. Moodustab koos Manniga aastaringse reisijateveo teenusekorralduse; sõidukeid ei veeta.

Uuringu eesmärk on analüüsida trossparveühenduse teostatavust ja tasuvust Munalaid-Manilaid liinil ning võrrelda seda tänapase parvlaeva- ja väikelaevalahendusega. Analüüs hõlmab tehnilist, operatiivset, regulatiivset, finantsilist, sotsiaalmajanduslikku ja kasvuhoonegaaside mõju vaadet.

1.2. Uuringu eesmärk, ulatus ja otsustuskriteeriumid

- 1) Kas trossparv on Munalaid-Manilaid liinil tehniliselt teostatav, arvestades mere- ja jääolusid, sügavusi, navigatsiooni, sadamataristut ja ohutust?
- 2) Kas trossparv suudab täita liini operatiivseid nõudeid: läbilaskevõime, graafik, töökindlus, hooldus ja talvine toimivus?
- 3) Milline on trossparve investeeringuvajadus, elutsükli kulu ja võimalik tulu või teenindustasu vajadus?
- 4) Milline on trossparve sotsiaalmajanduslik tasuvus võrreldes tänase ühendusega?
- 5) Kuidas erinevad lahendused kasvahoonegaaside emissioonide poolest?
- 6) Milline on mõju merepõhjale, veeliiklusele, lokaalsele õhu- ja mürasaastele ning sadamataristu muutmise vajadusele.

Tabel 1.2. Otsustuskriteeriumid

Kriteerium	Hindamissisu	Lõpparuande järelendus / staatus
Ohutus ja nõuetele vastavus	Meresõiduohutus, sadamaohutus, tööprotsessid, regulatiivne sobivus, riskide maandamine.	Tehniline põhivariant määratud; regulatiivne heakskiidutee ja ühe operaatori töökorraldus vajavad kinnitamist.
Teenuse kvaliteet	Sagedus, läbilaskevõime, ooteajad, tippkoormuse teenindamine, talvine ligipääs, sõidukiveo kättesaadavus ja saare toimepidevus.	Baas 3 edasi-tagasi reisi/päev; suvine maksimaalselt 6 edasi-tagasi reisi päevas. Sõidukiveo teeninduspäevad kasvavad 3 päevalt 7 päevale nädalas; kõik uue parve väljumised on sõidukivõimelised.
Kuluefektiivsus	CAPEX, OPEX, €/reis, €/auto, €/reisija, subsidiumi või teenindustasu vajadus.	CAPEX/OPEX/30 a NPV mudel valmis Workboats Consulting tasuvusmodelis; siduvad tarnijahinnad kinnitatakse hankefaasis.
Keskkonnamõju	CO ₂ e aastas, CO ₂ e reisi kohta, elektri- ja diislistenaariumid.	Energia- ja CO ₂ mudel valmis; tuuleenergia/päritolutunnistus on roheefekti põhistsenaarium.
Rakendatavus	Ehitus- ja lubade risk, sadamataristu, elektrivõimsus, hooldus, personali olemasolu.	Rakendatavus on teostatavusanalüüsi tasemel positiivne; lõplik heakskiit sõltub projekteerimisest, klassist ja Transpordiametist.

1.3. Trossparve mõiste ja lahendusvariandid

Trossparv on parvlaevatüüpi alus, mille liikumist või marsruudil püsimist toetab trossilahendus. Füüsilise trossiga variandis on alus seotud veetele paigaldatud juhttrossi või veotrossiga; virtuaaltrossi variandis täidab marsruudi hoidmise ja kõrvalekalde kuvamise funktsiooni digitaalne positsioneerimis- ja juhtimissüsteem.

Trossparvede suurus on aastakümnete jooksul suurenenud, mille tulemusel on füüsiline juhtimistross kaotanud oma tähtsuse parvlaeva juhtimissüsteemina. Füüsiline juhtimistross on nüüd laevajuhile pigem vaid visuaalne abivahend. Trossparvedel on tänapäeval tehniliselt võimalik kasutada traditsioonilise juhtimistrossi asemel nn virtuaalset juhtimistrossi. Virtuaalne juhtimissüsteem näitab laeva asukohta kanali keskjoone suhtes ning abistab visuaalselt ja akustiliste signaalide abil juhti laeva kanalil hoidmisel.

Käesolevas uuringus tähendab trossparv seega teenusekontseptsiooni, mitte tingimata füüsilise trossiga veetavat või -juhitavat alust.

Füüsilise ja virtuaalse trossi põhimõtteline erinevus ning tähendus Munalaid–Manilaid trassile on esitatud järgmises tabelis.

Tabel 1.3. Füüsilise juhttrossi ja virtuaalse trossi eristus

Teema	Füüsiline juhttross / trossparv	Virtuaalne tross / digitaalne tugi	Tähendus Munalaid–Manilaid uuringule
Põhifunktsioon	Piirab aluse kõrvalekalde ja annab juhise läbi füüsilise kaabli või trossi.	Annab operaatorile digitaalse positsiooni-, kursi- ja kõrvalekalde info.	Uuringu lähtevariant oli füüsilise trossiga trossparv; tehnilise analüüsi järgluseks on soovituslik aktiivne virtuaaltross.
Marsruudi kuju	Eelistab sirget ületust ja sobivat merepõhja.	Võimaldab teoreetiliselt paindlikumat trajektoori.	Olemasolevate rampide kasutamisel ei ole vajalik trajektoor sirgjooneline; see on füüsilise trossi variandi oluline piirang.
Jääolud	Füüsiline tross võib jääs takerduda või jää pinnale jääda.	Digitaalne süsteem ei eemalda jääs liikumise jõu- ja manööverdusprobleeme, kuid võib vähendada trossiga seotud riske.	Talvine toimivus on kriitiline; vajalik hinnata jääpropulsiooni, jääklassilaadset tugevust ja varuplaani.
Ohutus muule liiklusele	Tross võib olla kokkupõrke- või takerdumisrisk.	Vähendab füüsilise trossi takistust muule liiklusele.	Laeval paigutatakse meremärgid tekitaksid füüsilise trossi takerdumis-/konfliktiriski. Virtuaaltross ei tekita veelust füüsilist takistust ega eelda meremärkide ümbertõstmist.
Operaatori töö	Sageli lihtsustatud juhtimine, kuid nõuab harjutamist, eriti sildumisel.	Võib pakkuda operaatorile visuaalseid ja helilisi hoiatusi.	Ühe operaatoriga töö on majandusmudelil tööeeldus; regulatiivne lubatavus, töökoormus ja avariiprotseduurid tuleb eraldi kinnitada.

2. Trossparve lahendused ja lähiriikide parimad praktikad

Selles peatükis on RISE aruande põhilised järeldused tõlgitud ja kohandatud Munalaid-Manilaid uuringu jaoks. Allikmaterjal ei ole otsene Munalaid-Manilaid tasuvusuuring, vaid virtuaalse trossi ja trossparvede ohutust käsitlev uurimus. Seetõttu kasutatakse seda siin eelkõige tehnilise kontseptsiooni, ohutuse, riskianalüüsi ja ühe operaatoriga töökorralduse võrdlusmaterjalina.

2.1. RISE uuringu lühikokkuvõte

RISE uuring käsitleb virtuaalsete juhttrosside kasutamist ohutust suurendava lahendusena sise- ja lähiveeteedel. Kontseptsioon on inspireeritud Soomes Finferriesi arendatud virtuaalse trossi lahendusest. Füüsilise juhttrossi peamine roll on anda laevale teekonnajuhis ja piirata kõrvalekallet liinilt. Virtuaalne tross püüab pakkuda vähemalt samaväärset navigatsioonilist tuge digitaalselt, kasutades asukoha-, suuna- ja anduripõhist infot.

Uuringus rõhutatakse, et füüsiline juhttross võib küll toetada laeva oma liikumist, kuid tekitab samal ajal riske muule liiklusele, võib häirida merepõhja setendeid, on keeruline jääoludes (praktikas ühendatakse tross jääperioodiks laeva küljest lahti) ning eeldab enamasti sirget marsruuti. Virtuaalse trossi eelis on potentsiaal vähendada mehaanilisi riske ja avada võimalus paindlikumateks marsruutideks. Samas nõuab lahendus põhjalikku katsetamist, selget regulatiivset raamistikku, operaatorite koolitamist, süsteemi hooldust (sisaldub aastamaksus) ja avalikkuse usalduse kujundamist.

2.2. Soome virtuaalse trossi kontseptsioon

Soome kontseptsioonis arendas Finferries virtuaalse trossi lahendust koos Traficomiga. Süsteemi mõte oli asendada füüsilise juhttrossi informatiivne funktsioon digitaalse lahendusega, mis näitab operaatorile aluse asukohta ja suunda reaajas. Lahendus tugines GNSS/RTK täpsustatud positsioneerimisele ning visuaalsetele ja helilistele märguannetele. Oluline põhimõte oli, et süsteem toimib navigeerimisabina ega pea tingimata olema otseselt ühendatud laeva rooli- või ajamisüsteemiga.

2.3. Soome ja Rootsi võrdlusnäited

	Soome	Rootsi
Kontrollitud trossparveliine	34	19
Füüsilise trossiga	30	19
Virtuaaltrossiga	4 liini	0
Virtuaaltrossiga aluseid	5	0 regulaarliikluses
Virtuaaltross seadusandluses/rakenduses	Jah	Uurimis-/arendusfaas

Munalaid-Manilaid uuringus ei saa Soome lahendust automaatselt üle võtta. Küll aga on sellest kasulikud kolm lähtekohta:

- 1) füüsilise juhttrossi ohutus- ja keskkonnariskid tuleb eraldi hinnata;
- 2) digitaalsed abisüsteemid võivad toetada ühe operaatoriga ohutut tööd;
- 3) regulatiivne heakskiit ja operaatori koolitus tuleb planeerida juba kontseptsioonifaasis.

2.4. Riskianalüüsi metoodika

RISE uuringus ei kasutatud ühteainsat riskimeetodit, vaid kombineeritud lähenemist. Põhjus on selles, et virtuaalse trossi või trossiparve juhtimisabi mõjutab samaaegselt aluse liikumist, operaatori tööd, sadamataristut, andurisüsteeme ja liiklusolukorda. Sama loogika sobib Munalaid-Manilaid uuringusse: riskianalüüs peab katma nii tehnilised rikked, inimfaktori, ilmastiku, jääolud kui ka taristu piirangud.

Tabel 2.1. Riskianalüüsi metoodika

Meetod	Tõlgitud sisu	Kasutus Munalaid-Manilaid uuringus
HAZID	Ohtude esmane tuvastamine ja riskide järjestamine.	Kasutada peamiste ohtude nimekirja koostamiseks: jää, madal vesi, torm, trossirike, elektrikatkestus, operaatori ülekoormus.
FMEA / D-FMEA	Rikkeviiside ja mõjude analüüs süsteemi või disaini tasandil.	Kasutada kriitiliste komponentide puhul: elektrilised asimuutajamid, akud, laadimine, virtuaaltrossi juhtimissüsteem ja andurid, ramp ning navigatsioonandurid.
Kahepoolne riskianalüüs / FTA / ETA	Põhjus-tagajärg seoste kaardistamine: mis viib ohtliku sündmuseni ja mis juhtub pärast seda.	Kasutada näiteks sündmusele "alus kaotab juhitavuse jääs või tugevas tuules".
„Mis siis, kui?“ analüüs	Kõrge mõjuga stsenaariumide läbimängimine.	Kasutada talvetingimuste, elektrisüsteemi rikke, ülekoormuse ja avariilise sildumise korral.
Riskide maandumise analüüs	Leevendusmeetmete hindamine.	Määrata iga riski juurde ennetav meede, varuplaan ja jääkrisk.

2.5. Lähiriikide praktikast tulenevad järeldused

Virtuaalse või füüsilise trossi kontseptsiooni tuleb käsitleda kogu teenuse operatsioonilise süsteemina, mitte üksiku seadmena.

Ühe operaatoriga töö on põhimõtteliselt võimalik vaid juhul, kui juhtimisloogika on lihtne, nähtavus ja anduritugi piisav ning avariolukordade protseduurid on selged.

Füüsiline tross või juhttross võib tekitada riske muule veeliiklusele ning võib olla problemaatiline jääoludes. Praktikast juhttrossi ei kasutata liiklemisel jääs, selle kohta kehtivad seadusandluses erisused.

Digitaalne või virtuaalne tross võib parandada operaatori olukorratundlikkust ja seda ka jääs liiklemise aegadel, kuid ei asenda vajadust robustse propulsiooni, energiereservi ja varuplaani järele.

Regulatiivne käsitus, meeskonnanoored ja koolitus vajavad Eestis eraldi koostöölastamist Transpordiameti ning vajadusel teiste ametkondadega.

3. Uus väljapakutud lahendus ja tehniline teostatavus

3.1. Lahenduse kujunemine

Uuringu lähteülesanne oli hinnata Munalaid-Manilaid trossparveühenduse teostatavust ja tasuvust. Tehnilise analüüsi käigus selgus, et füüsilise trossiga lahendus ei sobi hästi olemasolevate rampide ja trassi geomeetriaga ning tekitaks meremärkidega konfliktiriski. Selle tulemusel kujunes soovituslikuks lahenduseks $25,0 \times 9,6$ m elektriline/hübriidne ro-ro reisiparv: 2 $\times$ elektriline asimuutajam, 400 kWh akupank, generaator reserviks, 11 kn maksimaalne kiirus (tavakasutuses 8 kn), olemasolevate sadamakaide kasutamine ja füüsilise trossi asemel aktiivne virtuaaltross.

Aruande tulemus

- Tehniline põhivariant, energiaprofiil, teenusemaht, CAPEX/OPEX ja 30 aasta tasuvusmudel on lõpparuandes lukustatud.
- Edasised sammud on rakenduslikud: *Enhanced Virtual Cable*’i hinnapäring (request for quotation, RFQ), laeva projekteerimine, 125 A laadimise pinge/kW kinnitamine, aku OEM elutsükliandmed, Transpordiameti/klassi heakskiit, HAZID/FMEA ja hanked.

3.2. Uue parve tehniline lähtevariant

Uue ro-ro reisiparve tehniline lähtevariant on teostatavusanalüüsi tasemel määratud. Alltoodud näitajad moodustavad hanke ja projekteerimise funktsionaalse lähtebaasi; lõplik GA, süvis, veeväljasurve, stabiilsus, klassi-/lipuriigi lahendus ja seadmetarnijad määratakse projekteerimis- ning heakskiidufaasis.



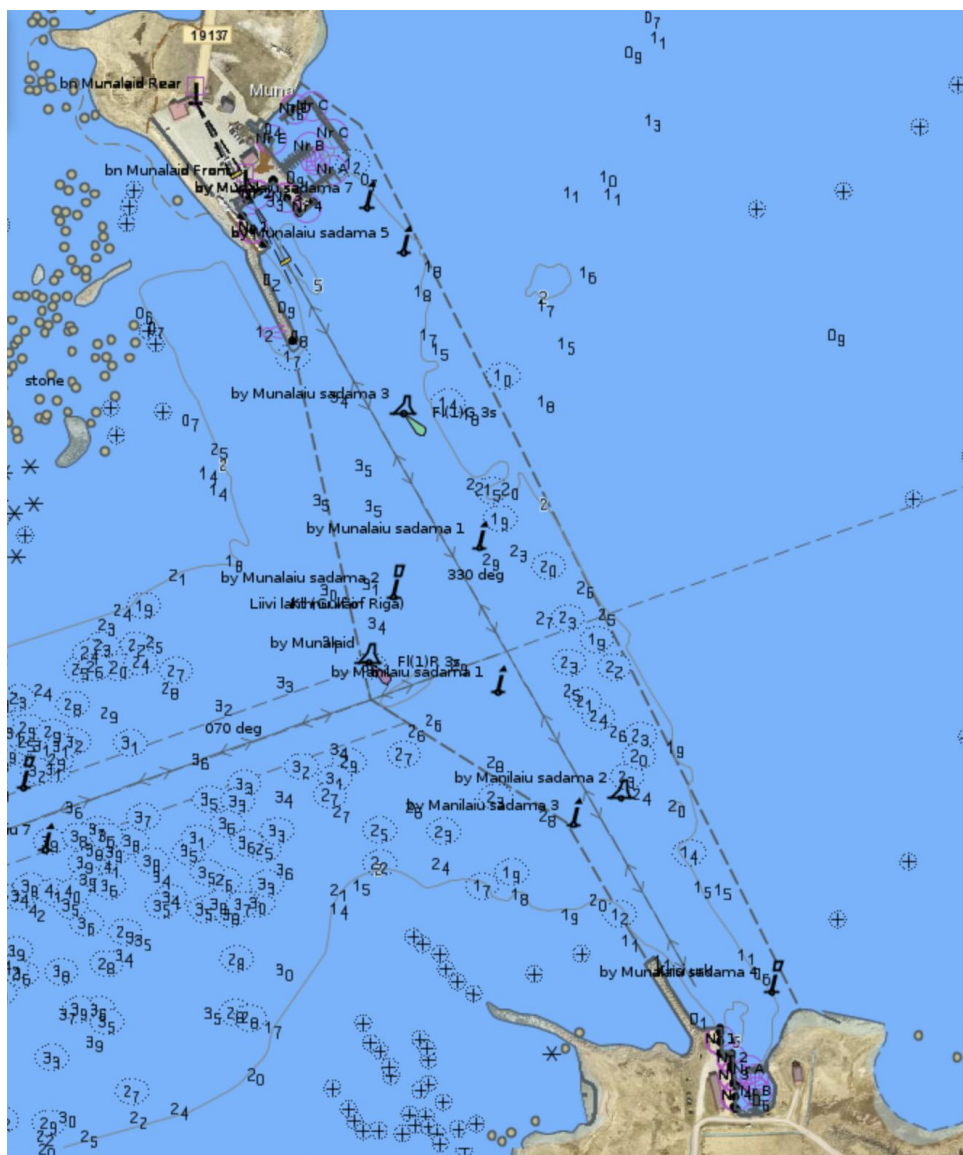
Pilt 1. Uue ro-ro reisiparve võimalik lahendus. Pilt on illustreeriv.

Tabel 3.1. Tehniline lähtebaas

Parameeter	Lõpparuande lähtevariant	Rakendamise / projekteerimise tingimus
Põhimõõdud	LOA ~25,0 m; laius ~9,6 m.	GA, süvis, veeväljasurve ja stabiilsus projekteerimisel.
Veovõime	Kandevõime 40-50 t; kuni 65 reisijat; vähemalt 1 × 20 m / 40 t raskeveok.	Sõiduaudode arv 6-8, teljekoormused ja tekigeomeetria GA/stabiilsusega.
Ohutu mehitamine	Tööeeldus 1 operaator korraga; 2 rotatsiooni = 2 FTE.	Transpordiameti/klassi ja ohutusanalüüsi kinnitus; avari- ja töökoormusanalüüs.
Põhijam	2 × elektriline asimuutajam, üks kummaski otsas	Tarnija, propeller/ajam, jääsobivus, redundantsus ja võimsus kinnitada.
Akupank	400 kWh, 4 stringi; arvestuslik 400 kW koormus = ~1C.	Tarnija, keemia, klassi tüübikinnitus, garantii, kasutusea lõpp ja asendushind.
Generaator	Näiteks Volvo Penta D6; reserv-/avariikasutus; maksimaalne tööeeldus 30 l/h.	Täpne genset, kW, kütusekaart, käivituse ja elektrikatkestuse loogika ja hooldus.
Kiirus	11 kn max; energiakasutuse tööpunkt 8 kn.	Takistus- ja propulsiooniarvutus, merikatsed.
Teenuseprofiil	3 edasi-tagasi reisi/päev; suvine maksimum 6 edasi-tagasi reisi päevas.	Seostada lõpliku graafiku, edasi-tagasi reisi aja ja nõudlusega.
Energia/reis	133,33 kWh/ edasi-tagasi reisi ehk ~66,67 kWh ühe suuna kohta.	Kinnitada hüdrodünaamika ja valitud ajamite sobivus tegelikule töötsüklile.
Kaldalaadimine	125 A; laadimine reisi vahel; baasenergia tuulepargist / olemasolevast taristust.	Pinge, faasid, tegelik kW, liitumisvõimsus, laadimisaeg ja CAPEX kinnitada.
Sadamad ja juhtimislahendus	Olemasolevad sadamaalad ja kaid; Munalaiul m/l Manija Manni teeninduskoha piirkonda ujupontoonramp, Manilaiul olemasolev kai koos olemasoleva / ujupontoonrambi lahendusega. Füüsiline tross ei sobi trassi geomeetria ja meremärkidega; soovituslik aktiivne virtuaaltross. Uut eraldiseisvat maabumiskohta ei kavandata.	Lõplik rambi geomeetria, vendrid, veetasemed, 50 t kandevõime, laadimisliides ja heakskiit kinnitatakse projekteerimisel.
Trass ja hooajalised tingimused	Trass ~0,9 km. Navigatsioonikaardil kuvatud sügavused põhitrassil u 1,4–3,7 m; Munalaiu lähenemisel/kai piirkonnas u 2,4–5,4 m ja Manilaiu kai läheduses u 0,7–3,2 m. Tuul, lainetus ja hoovus ei ole tavatingimustes hinnatud teostatavust määravateks piiranguteks; nähtavus on üldjuhul hea. Jääperiood ligikaudu detsembrist märtsi lõpuni.	Talverežiim ja operatiivsed ilma-/jääpiirid kinnitatakse laeva heakskiidu ning merikatsede käigus; vajadusel kasutatakse trassi avatuna hoidvaid reise ja p/l Kihnu Virve abi.

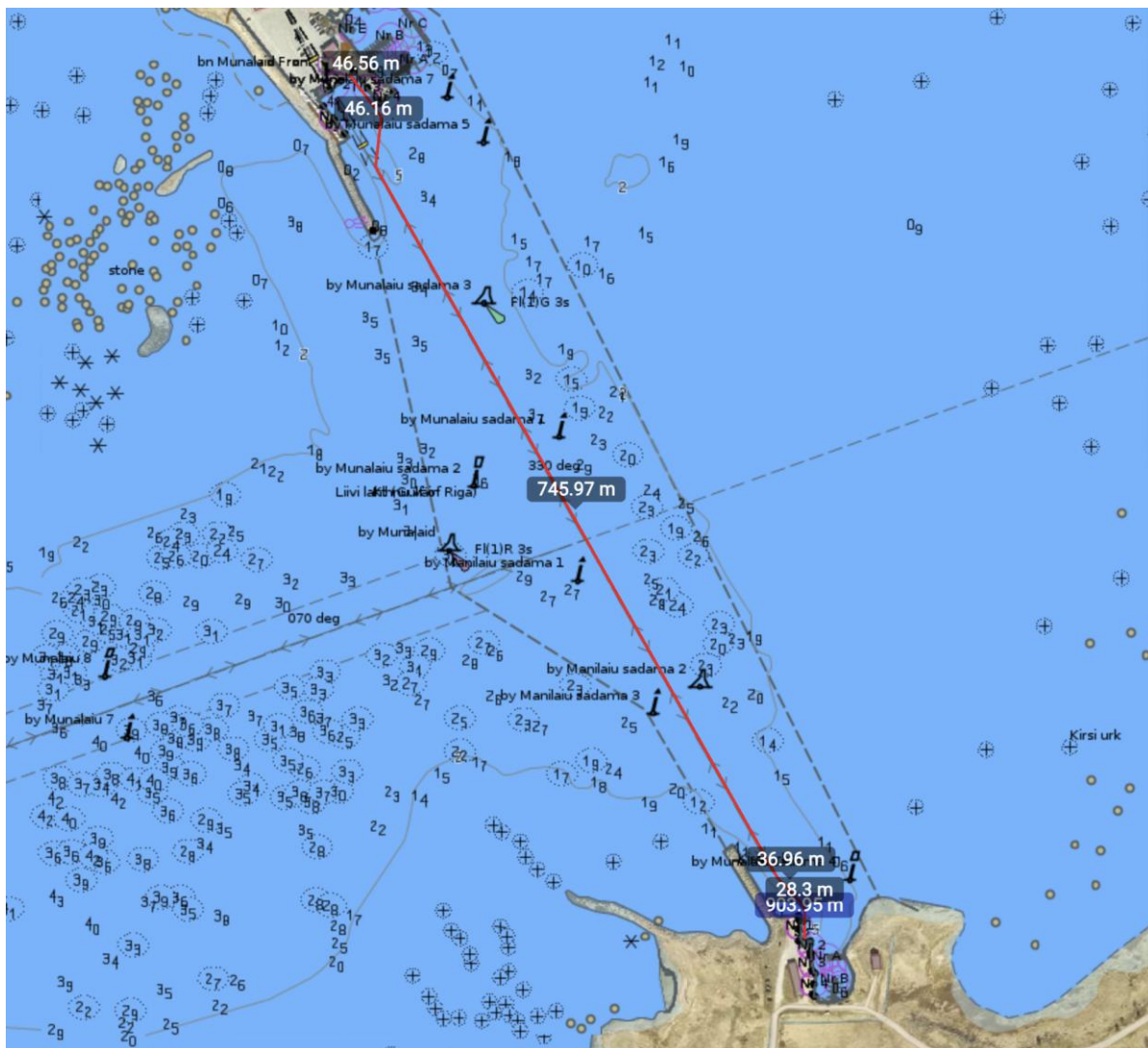
3.3. Trassi geomeetria ja tehniline teostatavus

Trass ja keskkonnatingimused: Munalaid–Manilaid planeeritava ühenduse pikkus on ligikaudu 900 m. Lisatud navigatsioonikaardi põhjal on trassi põhiosas kuvatud sügavused üldjuhul ligikaudu 1,4–3,7 m; Munalaiu sadama lähenemisel ja kai piirkonnas ligikaudu 2,4–5,4 m ning Manilaiu kai vahetus läheduses ligikaudu 0,7–3,2 m. Uue parve lahenduses tuleb seetõttu säilitada väike süvis. Merepõhi ei ole soovitusliku virtuaaltrossi lahenduse määrav sisend, sest füüsilist trossi ega selle ankurdamist kaldal põhivariandis ei kasutata. Tuul ja lainetus ei ole antud lühikesel ning kaitstud marsruudil tavatingimustes hinnatud teostatavust määravateks piiranguteks, hoovused ei ole märkimisväärsed ja nähtavus on üldjuhul hea. Hooajaliselt on oluliseks teguriks jää, mida võib esineda möödunud aastate vaatluste põhjal, detsembrist märtsi lõpuni.



Pilt 2. Munalaiu ja Manilaiu sadamate vaheline mereala ning meremärgid.

Trossparve variandid ja trassi geomeetria: elektriline trossparv jääb baasvariandiks, reserv- ja avariivõime tagatakse generaatoriga. Füüsilise trossi, virtuaalse trossi ja kombineeritud juhtimisabi võrdluse tulemusel ei ole füüsiline tross soovituslik, sest olemasolevate rampide vaheline vajalik trajektoor ei ole sirgjooneline ning laevateel paiknevad meremärgid tekitaksid takerdumis- ja konfliktiriski. Soovituslik lahendus on aktiivne virtuaaltross / digitaalne juhtimissüsteem, mis võimaldab kasutada olemasolevaid sadamaalasid, järgida vajalikku trajektoori ja säilitada navigatsioonikoridori p/l „Kihnu Virve“ ning muu liikluse jaoks.

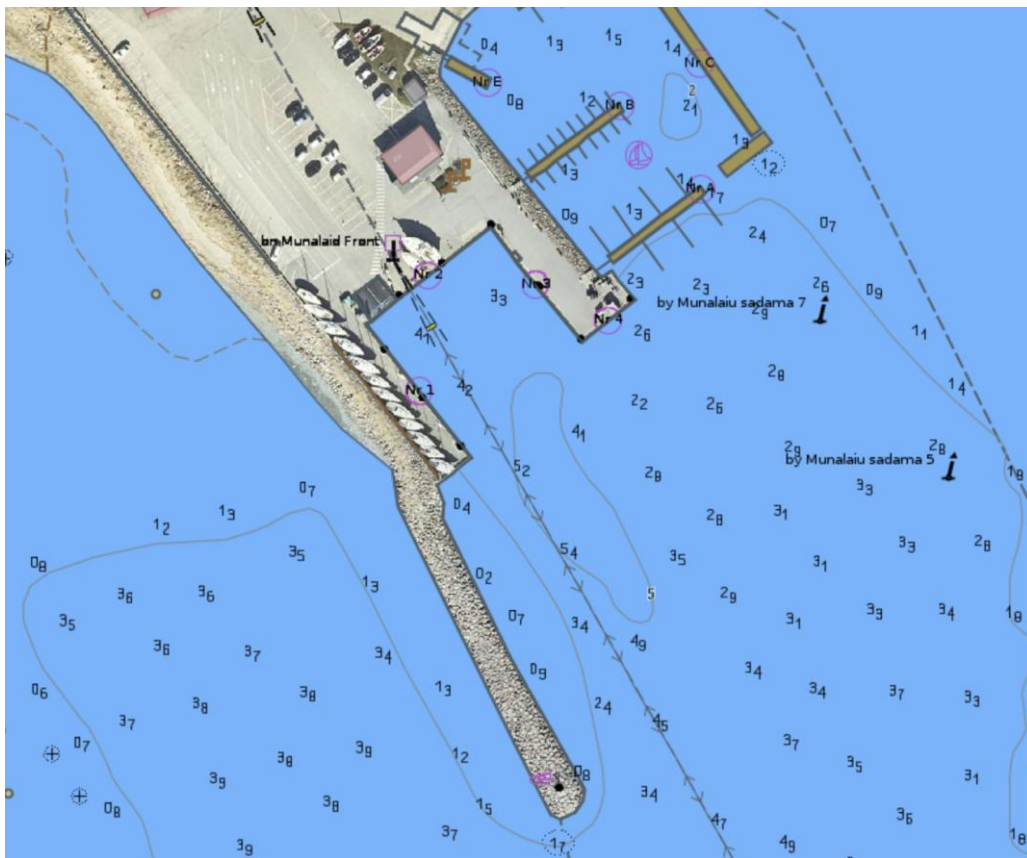


Pilt 3. Hinnatava liini pikkus ja trassi geomeetria.

Sadamataristu ja energia: Munalaiu sadamas kasutatakse olemasolevat m/l „Manija Manni“ teeninduskoha piirkonda ning kai nurka rajatakse ujuvpontoonramp. Manilaiul kasutatakse olemasolevat kaid ning olemasolevaid rambilahendusi. Mõlemas sadamas on olemas sobivad ootetsoonid ja head teedeühendused. Munalaiu sadamas on elektriliitumine olemas; pinge ja vaba liitumisvõimsus tuleb kinnitada, sest 125 A üksi ei määra laadimise tegelikku kW võimsust. Kaldalaadimise seadmed, kaitsed, side ja juhtimisloogika rajatakse kai juurde. Pardal olev generaator on varuenergiaallikas laadimiskatkestuse, võrguvea või erakorralise energiavajaduse korral. Uut eraldiseisvat kaid või maabumiskohta põhistsenaariumis ei kavandata.



Pilt 4. Manilaiu sadama olemasolev taristu.



Pilt 5. Munalaiu sadama olemasolev taristu.

Ohutus ja opereerimine: majandus- ja operatiivmodeli lähtevariandiks on üks operaator korraga; *Enhanced Virtual Cable* lahendus projekteeritakse kaugseire- ja ROC-valmidusega, kuid tegelik kaugjuhtimine eeldab Transpordiameti, klassi ja ohutusanalüüsi heakskiitu. Võrdlemisi lühikesel 900 m liinil on olulise avarii või evakuatsioonivajaduse esmane operatiivne taktika viia alus võimalusel lähimasse sadamasse või kaldale; see ei asenda laeva kategooriale kohalduvaid päästevahendite ja evakuatsiooni nõudeid. Jääperioodil võib olla vajalik teha regulaarseid reise trassi avatuna hoidmiseks. Raskemate jääolude või ajutise teenusekatkestuse korral on varuplaaniks p/l „Kihnu Virve“, arvestades tema kohalolu Kihnu põhiliini kohustustega.

3.4. Operatiivne mudel

Operatiivne mudel näitab, et uus parv suudab katta kogu tänase Munalaid–Manilaid teenusemahu ning võimaldab nõudluse korral suuremat teenindussagedust. Tänase teenuse asendusmaht on ligikaudu 2 103 ühe suuna reisi aastas ehk 1 051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti. Baasgraafik 3 edasi-tagasi reisi päevas annab 1 095 edasi-tagasi reisi aastas ehk katab tänase mahu ligikaudu 96% aastase kasutusastmega. Suvisel tipuperioodil või nõudepõhise teenuse korral saab teenindussagedust suurendada kuni 6 edasi-tagasi reisini päevas.

Tabel 3.2. Operatiivne mudel

Sisend	Kirjeldus	Staatus
Ühe suuna reisitsükkel	Tööeeldus 10 min/reis; 0,9 km puhas sõit 8 kn juures ~3,6 min, millele lisanduvad manööverdamine ja sildumine.	Modelleeritud; kinnitada merikats/projekteerimisega.
Pöördeaeg ja laadimisaken	Ramp, peale-/mahalaadimine ja 125 A laadimine reiseid vahel.	Reiseid vahel on piisav laadimisaeg; tegelik laadimisvõimsus kinnitatakse pärast pinget ja konfiguratsiooni määramist.
Reiseid päevas	Baas 3 edasi-tagasi reisi/päev; suvine / nõudepõhine maksimaalselt 6 RT/päev.	Kinnitatud tööeeldus.
Aku kasutus	133,33 kWh/RT; SoC pärast 1 edasi-tagasi reisi ~66,7%; pärast 2 edasi-tagasi reisi ~33,3%.	400 kWh aku; 20% reservmudel.
Aastane maht	2103 ühe suuna reisi = 1051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti.	$3 \text{ edasi-tagasi reisi} \times 365 = 1\,095 \text{ edasi-tagasi reisi /a}$; tänane asendusmaht 1 051,5 edasi-tagasi reisi /a ehk ~96% baasvõimekusest.
Katkestuste loogika	Jää, torm, asimuutajami rike, akustisteemi rike, generaatori rike, laadimiskatkestus ja virtuaaltrossi rike; jääperioodil vajadusel trassi avatuna hoidvad reiseid.	Raskemates jääoludes või ajutise teenusekatkestuse korral varuplaan p/l Kihnu Virve.
Teenindusvõime / nõudepõhisus	Võimalik teha tänasega sama palju reise või nõudluse korral rohkem; kõik uue parve väljumised on sõidukivõimelised.	Baasgraafik katab aastamahu; lisareiseid sõltuvad laadimisaknast ja päevagraafikust.

Operatiivse mudeli järeldus on, et uus parv säilitab vähemalt tänase teenindussageduse ja võimaldab vajadusel seda suurendada. Ühe suuna reisitsükli tööeeldus on 10 minutit ning 400 kWh akupanga energiakulu on 66,67 kWh ühe suuna reisi ja 133,33 kWh ühe edasi-tagasi reisi kohta. Baasgraafiku 3 edasi-tagasi reisi päevas korral on aku päevane energiakäive ligikaudu 400 kWh ning 6 edasi-tagasi reisi päevas korral ligikaudu 800 kWh, mistõttu tipupäevadel kasutatakse reiseid-vahelist laadimist. Oluline teenuseparandus on, et kõik väljumised on sõidukivõimelised.

4. Keskkonnamõjud

4.1. Kasvuhoonegaaside mõju

Kasvuhoonegaaside arvestus tehakse sama operatiivse süsteemi piiiriga mõlema lahenduse kohta. Esmased väljundid on t CO₂e/a ja kg CO₂e/reis. Elektrilise lahenduse puhul käsitletakse kahte turupõhist stsenaariumi: (1) taastuvelekter, mille päritolu on tõendatud päritolutunnistustega, ning (2) elektrienergia, mille päritolu ei ole tõendatud ja mille puhul rakendatakse Eleringi avaldatud Eesti segajäägi (Residual Mix) CO₂-heitetegurit. Segajääk ei väljenda elektrivõrgu füüsilist hetke- ega keskmist heidet, vaid päritolu tõendamata elektri turupõhise KHG-arvestuse näitajat. 2024. aasta Eesti segajäägi CO₂-sisaldus oli 611,96 gCO₂/kWh. Elutsükli energia tootmisheide ei kuulu käesolevasse operatiivsesse võrdluse.

Praeguse teenuse diislikulu tööbaas on 23 456 l/a ja operatiivne heide ~62,4 t CO₂e/a. Uue parve aastane akuenergia on ~140,2 MWh ning 90% laadimiskasuteguri korral tuleb võrgust võtta ~155,8 MWh/a. Tõendatud taastuvelektri stsenaariumis on elektri turupõhine operatiivne CO₂-heide arvestuslikult 0. Eleringi 2024. aasta segajäägi heiteteguri 611,96 gCO₂/kWh rakendamisel oleks sama energiakoguse arvestuslik heide ~95,3 t CO₂e/a ehk ~32,9 t/a (~52,8%) rohkem kui tänase teenuse hinnanguline heide.

Uue parve operatiivne KHG-eelis tänase teenuse ees tekib juhul, kui kasutatava elektrienergia arvestuslik heitetegur jääb alla ligikaudu 400,5 gCO₂/kWh. See on CO₂ murdepunkt, mille juures 155,8 MWh/a elektritarbimine vastab ligikaudu tänasele 62,4 t CO₂e/a tasemele. Seetõttu tuleb projekti roheefekt siduda tõendatud taastuvelektri hankimisega ning elektrilepingus või hankes näha ette päritolutunnistuste kasutamine ja tühistamine. Segajäägi stsenaarium jääb tundlikkus-analüüsiks, mitte projekti rohebaasiks.

Tabel 4.1. Hinnangulised KHG emissioonid praegusel ja uuel lahendusel

Lahendus	Reise/a	Energia/kütus	Arvutuslik aastamaht	Staatus / tulemus
p/l Kihnu Virve	312 ühe suuna reisi	Diisel 160 l/h; 15 min/reis	12 480 l/a	~33,2 t CO ₂ e/a; tõõeeldus.
m/l Manija Mann	1704 ühe suuna reisi	Diisel 25 l/h; 15 min/reis	10 650 l/a	~28,3 t CO ₂ e/a; tõõeeldus.
Hõljuk	87 ühe suuna reisi	Diisel 15 l/h; 15 min/reis	326 l/a	~0,87 t CO ₂ e/a; tõõeeldus.
Tänane teenus kokku	2103 ühe suuna reisi	Diisel	23 456 l/a	~62,4 t CO ₂ e/a.
Uus parv – taastuvelektri baasstsenaarium	1051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti	400 kWh aku; 133,33 kWh edasi-tagasi reisi kohta	140,2 MWh akust; 155,8 MWh/a võrgust 90% laadimiskasuteguri korral	Päritolutunnistustega tõendatud taastuvelekter: 0 t CO ₂ e/a turupõhises operatiivses arvestuses; generaator ainult vajadusel.

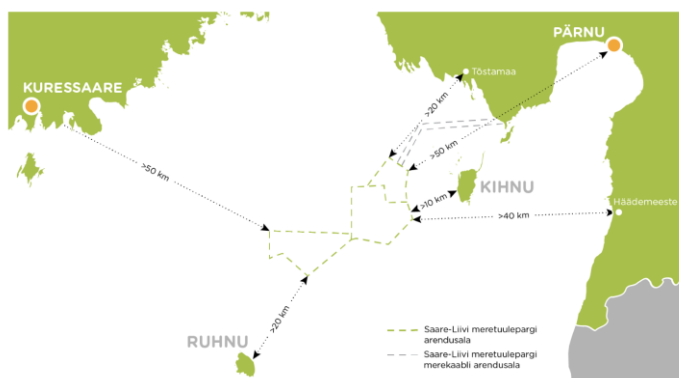
Lahendus	Reise/a	Energia/kütus	Arvutuslik aastamaht	Staatust / tulemus
Uus parv – Eleringi segajäägi (Residual Mix) stsenaarium	1051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti	Sama elektrikulu	155,8 MWh/a võrgust laadimiskasuteguri korral	90% 2024 segajääk 611,96 gCO ₂ /kWh → ~95,3 t CO ₂ /a; ~32,9 t/a (+52,8%) üle tänase teenuse. Tundlikkusanalüüs, mitte rohebaas.
Uus parv – CO ₂ murdepunkt	1051,5 edasi-tagasi reisi ekvivalenti	Sama elektrikulu	155,8 MWh/a	~400,5 gCO ₂ /kWh → ~62,4 t CO ₂ /a ehk tänase teenusega sama operatiivne heitetase.

4.2. Muud keskkonnamõjud

Teostatavusanalüüsi tasemel hinnatakse lisaks kasvuhoonegaasidele lahenduse mõju kohalikule õhukvaliteedile, mürale, merepõhjale, veeliiklusele, sadamataristule ning seadmete elutsüklile. Elektriline tavakäitus vähendab võrreldes diiselalustega kohapealseid heitgaase ja mootorimüra, kuid keskkonnakasu sõltub elektrienergia tõendatud päritolust ning aku- ja elektrisüsteemide elutsükli nõuetekohasest korraldusest.

Füüsilise trossi variant võib mõjutada merepõhja, takistada muud veeliiklust ning olla keerukam jääoludes. Virtuaaltross väldib veeteesse paigaldatava füüsilise trossi ja selle ankrute mõju, kuid eeldab töökindlaid andureid, side- ja juhtimissüsteeme, küberturvet ning rikete korral toimivat varuplaani.

Olemasolevate kaide ja rampide kasutamine vähendab uue sadamaehituse vajadust. Võimalike kohanduste, süvendamise, ehitusaegse häiringu, akude tootmise ja asendamise ning seadmete kasutuselt kõrvaldamise mõju tuleb täpsustada projekteerimise, keskkonnamenetluse ja hanketingimuste käigus. Käesolev operatiivne KHG-võrdlus ei ole kogu elutsükli hõlmav olelusringi hindamine.



Saare-Liivi meretuulepark hakkab tootma keskkonnasõbralikku kodumaist elektrit, mis aitab saavutada keskkonnanäesmärke ja panustab energia varustuskindlusse

Pilt 6. Planeeritava Saare-Liivi meretuulepargi asukoha skeem.

5. Investeeringukulud ja opereerimiskulud

Käesolev peatükk koondab lõpparuande investeeringu-, opereerimis- ja riigimajandusliku mudeli. Finantsmudelil kasutatakse tehnilise analüüsi tulemusel soovitatud lahendust: 25,0 × 9,6 m elektriline/hübriidne ro-ro reisiparv, 400 kWh akupank, kaks elektrilist asimuutajamit, Volvo Penta D6 reservgeneraator, 125 A kaldalaadimine ning füüsilise trossi asemel “Enhanced Virtual Cable” tüüpi aktiivne juhtimissüsteem.

Kõik summad on esitatud eurodes ilma käibemaksuta, kui pole märgitud teisiti. Hinnangute täpsusklass on teostatavusanalüüsi / projekti hinnanguline tase. Lisatud excel tabel on aruande arvutuslik alus. Tarnijapakkumiseta komponendid jäävad hanke-eelseks hinnavahelemikuks ning nende lõplik hind kinnitatakse rakendusfaasis.

5.1. Kulude ja uuenduste arvestuspõhimõtted

Topeltarvestuse vältimiseks eristatakse: 1) esmane CAPEX; 2) võrreldav aastane OPEX; 3) suuremad perioodilised uuendused. Tööjõu, hoolduse, doki, kindlustuse, klassi, tarkvara ja sadama tavakulud on tänase teenuse hinnas ning baasstsenaariumis käsitletakse neid uue teenuse puhul samas suurusjärgus, välja arvatud selgelt muutuv energia- ja kapitalikomponent.

Sellest tulenevalt kasutatakse edaspidi kolme eristust:

- algne investeering ehk CAPEX: laev, virtuaaltross, 125 A laadimine, projekteerimine/süsteemiintegratsioon ja reserv; uut sadamakai või maabumiskohta põhistsenaariumis ei rajata (vajadusel ujuvpontoonramp ühes sadamas);
- võrreldav aastane OPEX: tänase teenuse mitte-energeetiline OPEX baasina + uue parve elektri-/vajadusel generaatorikulu;
- suuremad uuendusinvesteeringud: 400 kWh ESS suurem uuendus/asendus, virtuaaltrossi süsteemiuuendus ning elektriliste asimuutajamite/generaatori suuremad kapitaalremondid.

Riigi võrdluses esitatakse eraldi kassavaade ja majanduslik täiskuluvaade. p/l Kihnu Virve Manilaiu perioodikulu jaotust ei käsitleta välditava kassakuluna, sest laev ja 6-liikmeline miinimummeeskond jäävad Kihnu liinile.

5.2. CAPEX koondhinnang

Soovitusliku lahenduse bruto-CAPEX on 7,095 M€: laev 5,25 M€ + aktiivne virtuaaltross 0,75 M€ + 125 A laadimine 0,15 M€ + projekteerimine/süsteemiintegratsioon 0,30 M€ + 10% reserv 0,645 M€. Laeva hinna töövahemik on 4,5–6,0 M€. Uue kai või maabumiskoha CAPEX on baasstsenaariumis 0,15 M€. Virtuaaltrossi kulu on teostatavusanalüüsi praktiline eeldus, kuni saadakse siduv tarnijapakkumine.

Tabel 5.1. CAPEX koondhinnang tasuvusmudeli jaoks, ilma käibemaksuta

CAPEX plokk	Madal stsenaarium	Baasstsenaarium	Kõrge stsenaarium
Uus 25 × 9,6 m hübriidparv	4,50 mln €	5,25 mln €	6,00 mln €
Virtuaalse trossi aktiivne süsteem	0,60 mln €	0,75 mln €	0,90 mln €
125 A kaldalaadimine ja elektritööd	0,075 mln €	0,150 mln €	0,250 mln €
Uus sadamakai / uus maabumiskoht	0 €	0,150 mln €	0,150 mln €
Projekteerimine, klassiprojekt, integratsioon	0,20 mln €	0,30 mln €	0,45 mln €
10% reserv / ootamatud kulud	0,538 mln €	0,645 mln €	0,760 mln €
KOKKU bruto-CAPEX	5,913 mln €	7,095 mln €	8,360 mln €

5.3. Uue hübriidparve aastane OPEX

Uue parve baas-OPEX ei ehitata nullist üles, sest m/l Mann/hõljuk teenuse tänane periooditasu sisaldab juba tööjõudu, hooldust, dokki, kindlustust, klassi, tarkvara, sadamakulusid ja muid tavapäraseid püsikulusid. Baasstsenaariumis kasutatakse sama mitte-energeetilise OPEX-i suurusjärku ning eraldi arvutatakse uue parve energiakulu. Generaatorikulu on baasstsenaariumis 0 € ja generaatorit käsitletakse vajaduspõhise reservina.

Tabel 5.2. Uue lahenduse operatiivkulude baasstsenaarium

Kuluplokk	Baasstsenaarium	Märkus
Mitte-energeetiline OPEX	132 760 €/a	Tänase m/l Mann/hõljuk teenuse mitte-energeetiline kulubaas; tööjõud, hooldus, dokk, kindlustus, klass, tarkvara, sadam jne.
Elektrienergia	~23 366 €/a	155,8 MWh/a × 0,15 €/kWh; 10% laadimiskadu sisaldub*
Generaatori kütus	0 € baasstsenaariumis	Generaator ainult vajadusel; eraldi 5/10/20/100% tundlikkus Excelis.
Uue parve OPEX kokku	~156 126 €/a	Baasstsenaarium
m/l Manni ja hõljuki teenus	~149 224 €/a	2026 periooditasu 137 958,72 €/a + 2025 1791 reisi × 6,29 €/reis.
p/l Kihnu Virve Manilaiu reisisatu	17 160 €/a	312 × 55 €/reis; baas enne indeksitõpsustust.
Tänane otsene Manilaiu eelarvekulu	~166 384 €/a	m/l Manni ja hõljuki teenus + p/l Kihnu Virve Manilaiu reisisatu.
Uue OPEX erinevus vs otsene eelarvekulu	~10 258 €/a säästu	Ei sisalda kapitalikulu ega p/l Kihnu Virve periooditasu analüütilist jaotust.

**Baasstsenaarium kasutab laadimisenergia hinnaks 0,15 €/kWh, mis annab 155,8 MWh/a võrgust energia korral ~23,4 k€/a energiakulu. Uue parve OPEX on sel juhul ~156,1 k€/a. Tegelik elektri hind tuleb asendada tuulepargi/PPA või elektrilepingu hinnaga.*

Tabel 5.3. Operatiivkulude võrdlus

Laadimisenergia hind	Uue parve aastane OPEX	Vahe võrreldes m/l Manni ja hõljuki teenusega
0,05 €/kWh	~140 548 €/a	~8 676 €/a säästu
0,10 €/kWh	~148 337 €/a	~887 €/a säästu
0,15 €/kWh	~156 126 €/a	~6 902 €/a kallim
0,20 €/kWh	~163 915 €/a	~14 690 €/a kallim

Energiahinna tundlikkus näitab, et teenuse jooksva OPEX-i konkurentsivõime sõltub otseselt elektrienergia ostuhinnast. Riigi otseses Manilaiu eelarvevaates on võrdlusalus siiski suurem kui ainult m/l Manni ja hõljuki teenus, sest lisaks tuleb arvestada p/l "Kihnu Virve" Manilaiu reisisatu.

30 aasta mudelis käsitletakse kapitalikulu OPEX-ist eraldi ning suuremad uuendused ajastatakse eraldi rahavoogudena.

5.4. Suuremad uuendusinvesteeringud

Tavahooldus ja väiksemad remondid sisalduvad aastases OPEX-is. Allolevad kulud käsitletakse eraldi uuendusinvesteeringutena, sest need on suuremad ja esinevad pikema intervalliga. Need tuleb rahavoogude mudelis ajastada vastavatele kasutusaastatele.

Tabel 5.4. Suuremad uuendusinvesteeringud

Uuendus / kapitaalremont	Baasstsenaariumi sisend	Eeldatav ajastus
Virtuaalse trossi suurem süsteemiuuendus	150 000 € tööeeldus	aasta 8–10
400 kWh ESS suurem uuendus/asendus	Kinnitatakse tarnijapakkumisega	tööeeldus aasta 12; kinnitada garantii/kasutusea lõpp järgi
2 × elektrilise asimuutajami suurem hooldus/kapitaalremont	Kinnitatakse OEM-i pakkumise/hooldusprogrammi alusel	töötundide ja OEM hooldusprogrammi järgi
Volvo Penta D6 generaatori suurem hooldus	Kinnitatakse OEM-i pakkumise/hooldusprogrammi alusel	töötundide / kalendri järgi; baasrežiimis vähe kasutatust
125 A kaldalaadimise suurem uuendus	Kinnitatakse rakendusfaasis	seadme eluea ja tootjagarantii järgi

Uuendus / kapitaalremont	Baasstsenaariumi sisend	Eeldatav ajastus
Olemasolevate rampide/kai suurem remont	Ei lisata automaatselt uue projekti CAPEX-i	sadama tavapärase varahalduse järgi

5.5. Virtuaalse trossi süsteemi maksumus ja turuvariandid

Munalaid-Manilaid ligikaudu 900 m ülesõidu puhul ei olnud virtuaaltross uuringu lähte-eeldus, vaid tehnilise võrdluse tulemus. Füüsiline tross ei võimalda olemasolevate rampide kasutamisel järgida vajalikku mittesirget trajektoori ilma konfliktideta ning laevateel paiknevad meremärgid tekitaksid trossi takerdumisriski. Seetõttu käsitletakse aktiivset virtuaaltrossi soovitusliku digitaalse juhtimis- ja ohutussüsteemina, mis võimaldab kasutada olemasolevat sadamataristut ja säilitada navigatsioonikoridori.

Avalikku, võrreldavat siduvat tarnijahinda *Enhanced Virtual Cable*'i täislahendusele ei ole kasutatud. Tasuvusmodelis säilib teostatavusfaasi tehniline hinnang 0,60–0,90 M€ (baas 0,75 M€). Zeabuz'i tehnilise tagasiside järgi on uue laeva ehitamisel kuluefektiivsem ja süsteemselt otstarbekam integreerida kohe kaasaegne täislahendus, mitte ehitada esmalt piiratud navigatsiooniabi ja lisada hiljem automaatika kihte.

Tabel 5.5. Virtuaalse trossi ja võrreldavate süsteemide variandid

Variant / tootja	Kasutaja või lähiriigi referents	Põhifunktsioonid ja sobivus	Eeldatav paigaldatud hind*
Zeabuz – Enhanced Virtual Cable / meresõidu autonoomia	Ålands landskapsregering – Simskåla virtuaaltrossi rakendus (2025/2026); Rootsisis RISE/Trafikverket Färjerederiet virtuaalse trossi projekt ning Zeabuz Estelle/Neptunus referentsid.	Täislahendus: automaatne marsruudi- ja kursijuhtimine, positsioneerimine, HMI (inimese ja masina liides), käsijuhtimise ülevõtmine, kommertsteenuse ohutus ja süsteemiintegratsioon, automaatne väljumine ja sildumine, liikluse jälgimine ja kokkupõrgete vältimine ning kaugeire- ja ROC-valmidus. Uue laeva puhul soovituslik põhivariant.	0,60–0,90 M€; baas 0,75 M€ (tehniline hinnang; siduv hind puudub)
Finferries + Rewake – Soome virtuaaltross	Finferries: Bergö L-170; Soome valitsuse 2022 info järgi kasutus ka Arvinsalmi liinil.	GNSS/RTK-põhine sõltumatu digitaalne navigatsiooniabi; näitab asendit/kursinurka virtuaalkoridori suhtes, visuaal- ja helialarmid. Ei ole põhiversioonis ühendatud rooli/propulsiooniga.	0,15–0,30 M€ (tehniline hinnang)
Kongsberg Maritime – automaatne ülesõit + automaatne sildumine	Bastø Fosen / Horten–Moss elektriparvlaevad, Norra.	Automaatne ülesõit, kiiruse/energia optimeerimine, käituri juhtimise integratsioon; automaatne sildumine lisafunktsioonina, täppis-GNSS ja güroskoop. Funktsionaalselt virtuaalse trossiga võrreldav või laiem.	0,70–1,10 M€ (tehniline hinnang)
HAV Group / Norwegian Electric Systems – autonoomne navigatsioon	Fjord1: neli Lavik–Oppedal nullheitega parvlaeva; automaatne ülesõit/automaatne sildumine rakendamine 2027, autonoomne navigatsioon 2028.	Automaatne ülesõit ja sildumine, automaatne juhtimine, navigatsiooni ja automaatika integratsioon ja tulevane autonoomne navigatsioon. Tugev süsteemiintegraatori variant.	0,70–1,20 M€ (tehniline hinnang)

Variant / tootja	Kasutaja või lähiriigi referents	Põhifunktsioonid ja sobivus	Eeldatav hind*	paigaldatud
Wärtsilä – SmartDock / kaiülese sõidu automaatika	Norled MF Folgefonn, Norra – täisskaala kaiülese sõidu ja automaatse sildumise katsed.	Automaatne ülesõit, joondumine ja sildumine; käituri ja roolimise tarkvaraline juhtimine, teisene asukohaviide ja käsijuhtimise ülevõtmine. Võrreldav alternatiiv, kuid mitte turustatud “virtual cable” nime all.	0,70–1,20 M€ (tehniline hinnang)	

Soovituslik valik on Zeabuz *Enhanced Virtual Cable* või funktsionaalselt samaväärne täislahendus. Nõutav funktsionaalne ulatus hõlmab automaatset marsruudi- ja kursijuhtimist, positsioneerimist, HMI-d, käsijuhtimise ülevõtmist ning kõiki kommertskasutuseks vajalikke ohutus- ja integratsioonifunktsioone; lisaks automaatset väljumist ja sildumist, liikluse jälgimist ja kokkupõrgete vältimist ning kaugseire- ja ROC-valmidust. ROC-valmidus on uue laeva puhul soovitatav projekteerida sisse algusest peale; kaldalt juhtimise tegelik operatiivne kasutamine sõltub Transpordiameti, klassi ja ohutusanalüüsi heakskiidust.

Tabel 5.6. Aktiivse virtuaalse trossi põhiseadmed ja kulustruktuur

Põhiseade / töopakett	Funktsioon / vajalik ulatus	Eelarveline vahemik*
Redundantne GNSS/RTK + antennid	Sentimeetritaseme positsioon ja kurss; vähemalt kaks sõltumatut positsioneerimis- ja kursiallikat või samaväärne redundantsus.	40–80 k€
IMU/MRU/güroskoop ja kiirusandmed	Liikumis- ja kursandmed; GNSS kvaliteedi kontroll ning liikumisjuhtimise sisend.	20–50 k€
Radar + AIS	Ümbritseva liikluse tuvastus/jälgimine ning liikluse jälgimise ja kokkupõrgete vältimise funktsioonide tajusisend.	30–80 k€
LiDAR / kaamerad (vajadusel)	Täiendav takistuste ja sildumise tuvastus, eriti kai lähenemisel, pimedas ja halva nähtavuse korral.	30–90 k€
Autonoomia / virtuaaltrossi kontrollid	Redundantne pardaarvuti, olekuhaldus, enesediagnostika, geopiire/marsruudikoridor, ülesandeloogika.	70–140 k€
Liikumise kavandamise ja olukorrateadlikkuse tarkvara	Andurite andmeühendus, sihtmärkide jälgimine, trajektoori ja kursi kavandamine, sildumise ja väljumise olekud.	100–200 k€
Liikumisjuhtimine / käituri tegevus	Automaatne marsruudi- ja kursijuhtimine, autopiloot/asukohajuhtimine, tõukejõu jaotus ja integratsioon 2 × elektrilise asimuutajamiga.	80–150 k€
Silla kasutajaliides + käsijuhtimise ülevõtmine	Marsruudi/koridori kuva, oleku- ja häirekuva, kiiruse ja käskude liides, käsijuhtimise ülevõtmine, automaatne väljumine/automaatne sildumine ja varurežiimid.	30–70 k€
Kalda-RTK / side / seire	RTK-parandus või samaväärne teenus; turvaline side, kaugseire ja ROC-valmiduse kommunikatsioon.	20–50 k€
Ohutus-PLC, UPS, küberturvet ja logimine	Sõltumatu valveseade, toite dubleerimine, võrgu eraldamine, andmete ja sündmuste logimine ja tõrkekindlad funktsioonid.	40–90 k€

Põhiseade / töopakett	Funktsioon / vajalik ulatus	Eelarveline vahemik*
Projekteerimine, operatsioonikontseptsioon ja heakskiit	Süsteemiarhitektuur, FMEA/HAZID/ohutuspõhjendus, klassi- ja lipuriigi kooskõlastus, FAT/SAT, katsetused ja dokumentatsioon.	80–160 k€
Kasutuselevõtt, koolitus ja seadistamine	Marsruudi kasutuselevõtt, sadama- ja sildumisseadistus, merikatsed, operaatorite ja tehnikute koolitus.	50–100 k€

* Hinnad on 23.08.2026 seisuga eelarvelised eeldused, mitte tootjate siduvad pakkumused. Hinnapäringu ehk pakkumiskutse (request for quotation, RFQ) eesmärk on saada võrreldavad tarnijahinnad, sealhulgas riistvara, tarkvara ja litsentsid, projekteerimine, integratsioon, tehase- ja vastuvõtukatsed (FAT/SAT), kasutuselevõtt, koolitus ning iga-aastane tehniline tugi.

5.6. Uue ro-ro reisiparve maksumuse lähtealus

Põhilahendusena käsitletakse ligikaudu 25,0 m pikkust ja 9,6 m laiust ro-ro reisiparve, mille kandevõime tööeeldus on 50 t, reisijateveo võimekus kuni 40 inimest ning mis suudab vedada vähemalt ühe 20 m / 40 t raskeveoki. Aluse kummaski otsas on elektriline asimuutajam; energiasalvesti on 400 kWh / 4 stringi ning Volvo Penta D6 generaator tagab reserv- ja avariivõime. Maksimaalne kiirus on 11 kn.

Laeva uusehitus-/asendusväärtuse töövahemik on 4,5–6,0 M€ ilma käibemaksuta ning Workboats Consulting tasuvusmodeli baasstsenaarium kasutab 5,25 M€. Vahemik tuleb valideerida projekteerija ja laevatehaste RFQ-dega.

Tabel 5.7. Tasuvusmodeli stsenaariumid

Stsenaarium	Laeva CAPEX	Laeva tavahoolduse käsitlus OPEX-is
Madal	4,50 mln €	Baasstsenaariumis tänase mitte-energeetilise teenusekuluga samas suurusjärgus; RFQ-ga kinnitada.
Baas	5,25 mln €	Sama loogika; energia eraldi.
Kõrge	6,00 mln €	Suurem jäävõime, redundantsus, varustus või hinnariski realiseerumine.

Eestis on olemas sarnase mõõduga parvlaevade projekteerimis- ja ehituskogemus, mis toetab kohaliku pakkumisvõime kasutamist.

Tabel 5.8. Uue hübriidse ro-ro reisiparve CAPEX-i tööjaotus

Laeva kuluelement	Käsitlus laeva hinnavahelemikus
Projekteerimine, tugevusarvutused, stabiilsus ja klassi/lipu dokumentatsioon	Laeva projekteerimisosa + eraldi projektiintegratsiooni CAPEX; jaotus määratakse RFQ ja projekteerimislepingu alusel.
Kere, sõidukitekk ja põhikonstruktsioon	Sisaldub 4,5–6,0 M€ laeva hinnavahelemikus.
Sõidukiteki seadmed, piirded, vendrid ja ohutussüsteemid	Sisaldub laeva hinnavahelemikus.
Tekiehitis, juhtimiskoht ja kontrollsüsteemid	Sisaldub laeva hinnavahelemikus.
2 × elektriline asimuutajam, elektrimootorid ja muundurid	Sisaldub laeva hinnavahelemikus; täpne tarnija kinnitatakse projekteerimis-/hankefaasis.
400 kWh ESS / 4 stringi, BMS, HVAC, tuleohutus	Sisaldub laeva hinnavahelemikus; aku asendushind ja kasutusea lõpp kinnitatakse projekteerimis-/hankefaasis.
Volvo Penta D6 reservgeneraator ja jaotussüsteem	Sisaldub laeva hinnavahelemikus; täpne kWe/kütusekaart kinnitatakse projekteerimis-/hankefaasis.
Navigatsioon, side, ro-ro ja päästevahendid	Sisaldub laeva hinnavahelemikus.
Jää- ja aastaringse töökindluse lahendused	Kinnitatakse projekteerimis-/hankefaasis vastavalt projekteerimis- ja heakskiidunõuetele.
Laevatehase üldkulud, kasutuselevõtt ja merikatsed	Sisaldub pakutavas laeva hinnas; RFQ peab esitama võtmed-kätte-ulatuse.

5.7. Akusüsteem ja kaldalaadimine

Elektrifitseerimine on põhistsenaariumi osa. Alusel on 400 kWh / 4 stringiga akupank. Energiakulu tööeeldus on 66,67 kWh ühe suuna reisi kohta ehk 133,33 kWh edasi-tagasi reisi kohta. 400 kW arvestusliku koormuse juures on see ligikaudu 1C; ühe edasi-tagasi reisi järel jääb ~66,7% SoC ja kahe järjestikuse edasi-tagasi reisi järel ilma vahelaadimiseta ~33,3% SoC, mis ületab mudeli 20% reservtaset.

Baasgraafik on 3 edasi-tagasi reisi päevas, mis kasutab akust ~400 kWh päevas; suvine maksimum 6 edasi-tagasi reisi päevas kasutab ~800 kWh päevas. Reaside vahel on kasutaja sisendi järgi piisav laadimisaeg. Kaldalaadimise vool on 125 A, kuid tegeliku laadimisvõimsuse ja aja määramiseks tuleb kinnitada pinge, faaside arv, laadija efektiivsus ja sadama liitumisvõimsus.

Tabel 5.9. 400 kWh ESS-i ja 125 A kaldalaadimise lähteandmed

Akusüsteemi / laadimise näitaja	Baasväärtus	Tõlgendus
Akupanga energiamah	400 kWh	4 stringi.
Arvestuslik aku koormus sõidu ajal	400 kW	~1C 400 kWh akul.
Energiakulu ühe suuna reis	66,67 kWh	10 min × 400 kW tööprofiil.
Energiakulu edasi-tagasi reis	133,33 kWh	~33,3% akumahust.
SoC pärast 1 edasi-tagasi reisi	~66,7%	Alustades 100% SoC-st.
SoC pärast 2 edasi-tagasi reisi ilma laadimiseta	~33,3%	Üle 20% reservtaseme.
Baasgraafik / suvine maksimum	3 / 6 RT päevas	Laadimine reisi vahel.
Aastane võrgust energia	~155,8 MWh/a	~140,2 MWh/a akuenergia 90% laadimiskasuteguri korral.
Kaldalaadimine	125 A	Pinge ja tegelik kW kinnitatakse projekteerimis-/liitumisfaasis.
Energia päritolu	Päritolutunnistustega tõendatud taastuvelekter	KHG-arvestuse turupõhine baasstsenaarium.

Laadimisenergia baasstsenaariumina käsitletakse taastuvelektrit, mille päritolu on tõendatud päritolutunnistustega. Päritolutõendamata elektri korral rakendatakse KHG tundlikkusanalüüsis Eleringi avaldatud Eesti segajäägi (*Residual Mix*) CO₂-heitetegurit. 2024. aasta segajäägi 611,96 gCO₂/kWh korral oleks uue parve arvestuslik operatiivne heide ligikaudu 95,3 t CO₂e/a, võrreldes tänase teenuse ~62,4 t CO₂e/a-ga. Uue lahenduse KHG-eelis tekib elektri heiteteguri juures alla ligikaudu 400,5 gCO₂/kWh. Detailne meetoodika ja stsenaariumide võrdlus on esitatud peatükis 4.4.

Tabel 5.10. Laadimise kuluelemendid ja käsitus

125 A laadimise kuluelement	Lõpparuande käsitus
Laadija / kaldapoolne liides	Sisaldub CAPEX tundlikkuses 75–250 k€; baas 150 k€.
Alusepoolne laadimisliides	Lõplik ulatus RFQ-ga; vältida dubleerimist laeva hinnaga.
Kilbid, kaitsed, kaabeldus ja side	Lõplik ulatus pärast pingeliitumisvõimsuse kinnitamist.
Juhtimine, lukustused ja ohutusloogika	RFQ osa; kooskõlastada ESS ja virtuaaltrossi süsteemiga.
Paigaldus ja kasutuselevõtt	RFQ osa; olemasolevad kaid.

125 A laadimise kuluelement

Lõpparuande käsitus

Võrguühenduse uuring

Vajalik; 125 A pinget ja saadaolev kW kinnitatakse projekteerimis- /liitumisaastaks.

Koond-CAPEX tööeeldus

0,075 / 0,150 / 0,250 M€ madal/baas/kõrge.

5.8. Olemasolevate sadamakaide ja rampide kulukäsitus

Põhistsenaarium kasutab olemasolevaid Munalaiu ja Manilaiu sadamakaide. Just sadamarampide paiknemine ja trassi geomeetria on füüsilise trossi variandi peamine piirang: olemasolevate rampide vahel ei ole vajalik trajektoor sirgjooneline ning laevateel olevad meremärgid tekitaksid füüsilise trossi takerdumise- ja konfliktiriski. Seetõttu ei võimaldaks tavaline trossparv olemasolevat taristut samal viisil kasutada. Uuringu järelalusena valitud virtuaaltross kõrvaldab füüsilise juhttrossi koridori vajaduse, säilitab olemasolevad kaldarambid ning ei tekita p/l Kihnu Virvele ega muule liiklusele füüsilist takistust.

Rakendusprojekti käigus kontrollitakse olemasolevate rampide ja kai geomeetria, veetaseme kõikumist, 50 t kandevõimet ja 40 t raskeveoki teljekoormusi, vendreid, pollareid, laadimisliidese paigutust ning manööverdamisruumi. Need on projekteerimise ja heakskiidu kontrollpunktid; teostatavusmudeli põhistsenaarium eeldab olemasolevate kaide kasutamist.

Tabel 5.11. Olemasoleva sadamataristu käsitus CAPEX-is

Taristu plokk	CAPEX madal	CAPEX baas	CAPEX kõrge	Lõpparuande käsitus
Uus sadamakai / uus maabumiskoht	0 €	0 M€	0 M€	Põhistsenaariumis ei rajata.
Olemasolevate rampide/kai kohandused	Riskistsenaarium; vajadus kinnitatakse projekteerimisel	0,15 M€ tööbaas	Riskistsenaarium; vajadus kinnitatakse projekteerimisel	Vajadus selgub mõõdistuse ja GA liidestusega; väiksemad tööd katta projekteerimise/reserviga.
Meremärkide ümberkorraldamine füüsilise trossi tõttu	0 €	0 €	0 €	Füüsilise trossi variant on kõrvaldatud, sest trass ei ole rampide vahel sirgjooneline ja tross konfliktiks laevateel olevate meremärkidega; virtuaaltrossi korral ümberkorraldus puudub.

Uue sadamakai või uue maabumiskoha rajamine ei kuulu põhistsenaariumi. Suure sadamaehituse kulud on käsitletavad ainult erakorralise riskistsenaariumina, kui projekteerimiskontroll näitaks, et olemasolevad kaid/rambid ei ole kasutatavad.

Tabel 5.12. Olemasolevate kaide ja rampide kontrollpunktid

Olemasoleva kai/rambi kontrollpunkt	Rakendamise nõue
Rambi geomeetria ja nurk	Kontrollida $25 \times 9,6$ m aluse GA ja veetasemete suhtes.
Koormused	Kontrollida vähemalt 40 t raskeveoki ja 50 t kandevõime stsenaarium.
Vendrid/pollarid	Kontrollida aluse energiataset ja sildumisjõude.
Manööverdamisruum	Kontrollida $2 \times$ elektrilise asimuudi ja virtuaaltrossi ConOps järgi.
Laadimisliides	Määrata 125 A ühenduse asukoht, kaabeldus ja ohutustsoon.
p/l Kihnu Virve ligipääs	Säilitada; virtuaaltross ei tohi tekitada füüsilist takistust.

Tabel 5.13. Mittebaasne sadamaehitus

Välдитav / mittebaasne sadamaehitus	Lõpparuande järeldus
Uus maabumiskoht	Ei ole põhistsenaariumis vajalik.
Füüsilise trossi ankrud ja pingutussüsteem	Ei ole virtuaaltrossi põhivariandis vajalik.
Meremärkide ümbertõstmine füüsilise trossi tõttu	Ei ole põhistsenaariumis vajalik.
Mahukas uus sadamaplats / uus kai	Ei ole põhistsenaariumis vajalik; olemasolevad kaid kontrollida.
Süvendus / merepõhja korrastamine	Ainult siis, kui hüdrograafiline kontroll näitab vajadust.

6. Regulatiivsed nõuded, riskid ja rakendamise eeltingimused

Enne siduva investeerimisotsuse tegemist tuleb kinnitada tehnilised eeldused, maandada peamised riskid ning kooskõlastada aluse kategooria, opereerimismudel ja katsetuskava pädevate asutustega. Järgmised alapeatükid koondavad need kontrollpunktid ühte rakendamise töövoogu.

6.1. Eelduste register

Eelduste register koondab arvutustes ja tehnilises hinnangus kasutatud lähteandmed, nende allikad, usaldusastme ning mõju lõppjäreldestele. Eeldused, mida ei ole siduva pakkumuse, mõõdistuse või ametliku kooskõlastusega kinnitatud, on märgitud rakendusfaasis kontrollitavate tingimustena.

Tabel 6.1. Eelduste register

ID	Eeldus / sisend	Allikas	Usaldus	Mõju analüüsile	Rakendamise tingimus
E-01	Uus parv asendab kogu tänase Manilaiu teenusepaketi aastaringelt.	Uus laev + WBC sisend	Kõrge	Määrab võrdlusbaasi ja aastase mahu.	Kasutada kõigis versioonides sama baasina.
E-02	Põhimõddud ~25,0 × 9,6 m; 50 t kandevõime; kuni 65 reisijat; ≥1 × 20 m / 40 t raskeveok.	WBC sisend	Kõrge tööeeldus	Määrab kere, teki, stabiilsuse ja CAPEX-i.	Kinnitada GA ja stabiilsusarvutusega.
E-03	Propulsioon 2 × elektriline asimuutajam, üks kummaski otsas.	WBC sisend	Kõrge tööeeldus	Määrab manöövervus-, redundantsus- ja hooldusloogika.	Valida tarnija ja teha propulsiooniarvutus.
E-04	Akupank 400 kWh / 4 stringi; 133,33 kWh ühe edasi-tagasi reisi kohta.	WBC sisend + energiamudel	Keskmine-kõrge	Määrab SoC, laadimise, OPEX-i ja CO ₂ .	Kinnitada tegeliku takistuse ja ajamite efektiivsusega.
E-05	Päevaprofiil 3 edasi-tagasi reisi/päev; suvine maksimum 6 edasi-tagasi reisi/päev.	WBC sisend	Kõrge	Määrab teenindusvõime ja laadimisaknad.	Seostada lõpliku graafikuga.
E-06	125 A laadimine reise vahel; baasenergia tuulepargist / päritolutunnistus.	WBC sisend	Keskmine	Määrab laadimisaja, elektri CAPEX/OPEX ja roheefekti.	Kinnitada pinget, kW, liitumisvõimsust ja elektrileping.
E-07	Uus parv ja Mann/hõljuk: 1 inimene korraga × 2 rotatsiooni; p/l Kihnu Virve 6 × 2.	WBC sisend	Kõrge tööeeldus	Määrab OPEX-i ja ressursikasutuse.	Uue parve ohutu mehitatus regulatiivselt kinnitada.
E-08	p/l Kihnu Virve Manilaiu 312 reisi eemaldamisel ei vähene meeskond; vabaneb ~78 laevatundi/a.	WBC sisend + mudel	Kõrge	Riigi kasu on Kihnu kasvatamisel, mitte palgasääst.	Seostada Kihnu graafikuga; teoreetiline ~72 lisareisi/a.

ID	Eeldus / sisend	Allikas	Usaldus	Mõju analüüsile	Rakendamise tingimus
E-09	Laeva hind 4,5–6,0 M€; baas 5,25 M€.	WBC sisend	Keskmine	Suurim CAPEX sisend.	PÄRING Eesti/Põhjamaade tehastele.
E-10	Tehnilise analüüsi järelendusena virtuaaltross baas 0,75 M€; laadimine 0,15 M€; projekteerimine/integratsioon 0,30 M€; uus kai 0 €.	WBC tasuvusmudel	Keskmine	Määrab 7,095 M€ bruto-CAPEX baasstsenaariumi koos 10% reserviga.	Kinnitatakse PÄRINGU-te ja sadamakontrolli käigus.
E-11	Täna sõidukivedu toimub p/l Kihnu Virvega 3 päeval nädalas; uus parv võimaldab sõidukivedu iga päev.	WBC sisend + Kihnu Veeteed 2023–2025. aasta statistika	Kõrge	Mõjutab teenuse kvaliteeti, toimepidevust ja sotsiaalmajanduslikku kasu.	Kasutada riigi kasude ja teenusekvaliteedi võrdluses.

6.2. Riskiregister

Riskiregister koondab tehnilised, operatiivsed, finantsilised, keskkonna- ja regulatiivsed riskid, mis võivad mõjutada lahenduse teostatavust, maksumust või ajakava. Iga riski juures on esitatud selle tõenäosus, mõju ja peamine leevendusmeede.

Tabel 6.2. Riskiregister

Risk	Tõenäosus	Mõju	Riskitase	Leevendus / rakendamise tingimus
Manni/hõljuki tegelik detailne kulustruktuur ei ole piisavalt kättesaadav.	K (keskmine)	K/S (keskmine/suur)	K/S	Kasutasime lepingutasusid, tegelikke reisimahtusid ja tundlikkusanalüüsi; eristada kassavaade ja täiskuluvaade.
Jääolude mõju alahinnatakse.	K	S (suur)	S	Jääpropulsiooni kontroll, asimuutajamite tarnija kinnitus, detsember–märtsi lõpu talverežiim, vajadusel trassi avatuna hoidvad reisid ja varuplaan p/l Kihnu Virve.
Elektrilised asimuutajamid või 400 kWh ESS ei taga nõutud 365 päeva liini toimivust.	K	S	S	Redundantsus, FMEA, varuosad, hooldusaknad, generaatorireserv ja OEM hooldusprogramm.
Ühe operaatori töökoormus või regulatiivne nõue ei võimalda soovitud töökorraldust.	K	S	S	ConOps, HAZID/FMEA, töökoormusanalüüs ja varajane Transpordiameti koostööst.
125 A laadimise tegelik võimsus või sadama võrguvõime on ebapiisav.	K	K/S	K/S	Kinnitada pinget, 3-faasiline konfiguratsioon, liitumisvõimsus ja reaalsed laadimisaknad.
Taastuvelektri päritolu ei ole lepinguliselt tõendatud.	K	K/S	K/S	PPA / päritolutunnistus; esitada segajäägi stsenaarium ainult tundlikkusanalüüsina.

Risk	Tõenäosus	Mõju	Riskitase	Leevendus / rakendamise tingimus
Olemasolev kai/ramp vajab oodatust suuremat kohandust.	K	K	K	Ujuvpontoonrambi ning rampide ja vendrite geometria, veetaseme ja 50 t koormuse kontroll enne ehitushanget; uus eraldiseisev kai ei ole baasstsenaarium.
Virtuaaltrossi süsteem või integratsiooni ei saa vajalikku heakskiitu.	K	S	S	RFQ koos ohutuse kirjeldustega, FAT/SAT, ühe operaatoriga opereerimine, seadusandlus, klass/lipp.
Kuluhinnang jääb liiga laiaks.	K	K	K	Laeva, virtuaaltrossi, 125 A laadimise ja aku elutsükli hinnapäringud.

6.3. Rakendamise eeltingimused ja järgmised sammud

Tasuvusanalüüsi andmebaas on käesoleva lõpparuande jaoks lukustatud. Edasised tegevused ei ole enam uuringuandmete kogumine, vaid projekti rakendamine: tarnijate hinnapäringud, projekteerimine, 125 A laadimise pinge ja tegeliku võimsuse kinnitamine, aku elutsükli-/garantiiandmed, Transpordiameti ja klassi heakskiidutee, HAZID/FMEA ning ehitus- ja süsteemiintegratsiooni hanked.

Tabel 6.3. Rakendamise eeltingimused

Jrk	Rakendusetapp	Väljund / nõue	Vastutaja / allikas	Staatust pärast lõpparuannet
1	Koondada ja lukustada võrdlusbaasi reisirid.	312 p/l Kihnu Virve + 1704 Mann + 87 hõljuk.	Tööfail / hankematerjalid	UURINGUS KINNITATUD
2	Lukustada uue parve päevaprofiil ja aku SoC mudel.	400 kWh; 133,33 kWh edasi-tagasi reisi kohta; 3 edasi-tagasi reisi/päev; maksimaalselt 6.	Tehniline analüüs	UURINGUS KINNITATUD
3	Kinnitada 125 A laadimise pinge ja võimsus.	kW, laadimisae, liitumisvõimsus.	Sadam / võrguettevõtja / laadijatarnija	RAKENDUSFAASIS
4	Küsida laeva eelarvelised pakkumused.	4,5–6,0 M€ vahemiku valideerimine.	Laevatehased / projekteerijad	RAKENDUSFAASIS
5	Küsida virtuaaltrossi hinnapakkumine.	Riistvara, tarkvara, integratsioon, igaaastane tehniline tugi ning tehase- ja vastuvõtutaksed (FAT/SAT).	Zeabuz / samaväärsed	RAKENDUSFAASIS
6	Küsida 400 kWh ESS elutsükliandmed.	Garantii, kasutusea lõpp, tsüklid, hooldus, asendushind.	Aku/ESS tarnija	RAKENDUSFAASIS
7	Kinnitada olemasolevate sadamaalade ja ujuvpontoonrampide lahendus.	Munilaiu ujuvpontoonramp, Manilaiu olemasolev kai/ramp + pontoon; venderid, veetase, 50 t koormus ja laadimisliides.	Sadam / projekteerija	RAKENDUSFAASIS
8	Valmistada ette Transpordiameti varajane küsimustik.	Ohutu mehitamine, virtuaaltross, ESS, katsetuskava.	Transpordiamet / klass	RAKENDUSFAASIS

Jrk	Rakendusetapp	Väljund / nõue	Vastutaja / allikas	Staatust pärast lõpparuannet
9	Täiendada 30 a LCC/NPV mudelit pärast RFQ-sid.	Uuendatud toetuslävend, aku uuendus, CAPEX/OPEX.	Excel tabel → järgmine ühine versioon	RAKENDUSFAASIS
10	Koondada Kihnu Veeteed 2023–2025 sõidukiveo statistika.	3 511 sõidukit / 918 reisi; 3,82 sõidukit/reis.	Kihnu Veeteed koondfail	/ UURINGUS KINNITATUD

6.4. Õiguslik ja regulatiivne raamistik

Aruande koostamisel analüüsitud õigusaktides ei tuvastatud Munalaid-Manilaid mereliinile otse kohalduvat terviklikku trossparve või virtuaalse trossi eriregulatsiooni. Eesti õiguses esineb trossiga üleveoparve mõiste laevatatavatel sisevetel liiklemise kontekstis, kuid see käsitleb peamiselt tulede ja üleveotrossi valgustamise nõuet ega loo eraldi merel opereeritava trossparve projekteerimise, mehitamise, sertifitseerimise ja käitamise raamistikku. Lõplik kohalduvate nõuete ja aluse kategooria määratlus tuleb enne projekteerimis- või ehitushanget kinnitada Transpordiametiga.

Munalaid-Manilaid ühendust tuleb seetõttu käsitleda meresõiduohutuse, reisijateveo, sadamaohutuse ja veeteede kasutamise üldnõuete kaudu. Kui alus veab üle 12 reisija ja on varustatud sõidukite peale- ja mahaõidu vahenditega, võib see vajada käsitlemist parvlaeva või muu reisijateveoks kasutatava aluse kategoorias. Samas ei lahenda see eraldi küsimust, kuidas hinnata füüsilist trossi, virtuaalset trossi, ühe inimese opereerimist, automaatset rajahoidmist, jääoludes kasutamist ja teiste veeliiklejate ohutust.

Eestis puudub praegu merel opereeritava trossparve ja virtuaaltrossi jaoks samaväärne terviklik eriregulatsioon. Võrdlusnäitena on Soomes trossparved eraldi reguleeritud õigusaktiga *Liikenne- ja viestintäministeriön asetis maantielaautoista 20/2006* (muudetud määrusega 412/2020). Määrus käsitleb muu hulgas üldist ohutust, parve konstruktsiooni ja varustust, juhi nõudeid, juhttrossist lahti opereerimist, juhttrossi ja ristuva liikluse suhteid ning trossparve liikumisala tähistust ja tulesid.

Rootsis on trossparve liiklusreeglid sätestatud *Transportstyrelseni* määrmuses TSFS 2009:44 „*Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler*“. Selle lisa 2 punktid 7.13–7.17 käsitlevad trossparve tulesid ja tähistust, kollast vilkuvat tuld, trossi/vaieri/keti ja ristuva liikluse ohutust ning läheneva laeva ettevaatust ja võimalikku VHF-kontakti. Veeteel kasutatavaid märke reguleerib täiendavalt TSFS 2019:12 „*Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägmärken*“, milles sisaldub ka trossparve tähistus. TSFS 2009:44 lisa 2 punktid 7.13–7.17 kohalduvad Rootsi sisevetel; käesolevas aruandes kasutatakse neid võrdleva regulatiivse näitena, mitte Eestile otseselt kohalduva normina.

Tabel 6.4. Soome ja Rootsi trossparve regulatsiooni võrdlusnäited.

Riik	Õigusakt / viide	Olulisus käesolevale projektile
Eesti	Eraldi terviklik merel opereeritava trossparve/virtuaaltrossi eriregulatsioon puudub; kohaldada tuleb üldisi meresõiduohutuse, reisijateveo, sadama ja veetee nõudeid.	Vajalik varajane Transpordiameti heakskiidutee ja projekti-spetsiifiline ohutusjuhtum.
Soome	Liikenne- ja viestintäministeriön asetis maantielaautoista 20/2006; muudatusmäärus 412/2020.	Näide terviklikust trossparve regulatsioonist: ohutus, konstruktsioon/varustus, juht, tross, ristuv liiklus, märgid ja tuled.
Rootsi	TSFS 2009:44, bilaga 2 p 7.13–7.17; TSFS 2019:12.	Näide trossparve liiklus-, tule-, tähistus- ja ristuva liikluse nõuetest ning veeliiklusmärkidest.

Võrdlus ei tähenda, et Soome või Rootsi normid tuleks Eestis üks-ühele üle võtta. Nende praktiline väärtus on näidata, millised küsimused vajavad enne teenuse käivitamist selget normi või heakskiitu: aluse kategooria ja tehnilised nõuded, ohutu mehitamine, trossi või virtuaaltrossi funktsioon ja rikkerežiimid, ristuv veeliiklus ja tähistus, jääoludes opereerimine, operaatori pädevus ning katsetus- ja sertifitseerimiskord.

Rakendamisel tuleb koostada regulatiivne töövoog koostöös Transpordiameti, sadama valdaja, projekteerija, klassi või tunnustatud tehnilise eksperdi ning süsteemitarnijaga. Töövoog määrab aluse õigusliku kategooria, ohutu mehitamise, *Enhanced Virtual Cable* funktsioonide heakskiidu, ROC-valmiduse käsitlemise, katsetuskava ja jääoludes opereerimise piirid.

Tabel 6.5. Õigusliku ja regulatiivse raamistiku ettevalmistuse esialgne kulu

Stsenaarium	Projekteerimise / heakskiidu integreeritud CAPEX	Ajaraam
Madal	0,20 mln €	~3–6 kuud, kui olemasolev kategooria ja lihtsam heakskiidutee sobib
Baas	0,30 mln €	~6–12 kuud; ConOps, HAZID/FMEA, klass/lipp, katsetuskava
Kõrge	0,45 mln €	12+ kuud, kui vajalik ulatuslik piloot-/erilahenduse menetlus

Regulatiivne ettevalmistus sisaldub CAPEX-is projekteerimise, klassiprojekti ja süsteemiintegratsiooni 0,20–0,45 M€ reas (baas 0,30 M€), et vältida topeltarvestust. Enne

siduvat ehitushanget peab olema kinnitatud aluse kategooria, heakskiidutee, katsetuskava ja lubatav opereerimismudel.

Go/no-go tingimus: enne laeva ehitushanke või suurema sadamainvesteeringu käivitamist peab olema Transpordiametiga kooskõlastatud aluse kategooria, lubatav opereerimismudel ja katsetamise plaan.

Kriitiline küsimus: kas ühe inimese opereerimine on lubatav ning millised tehnilised ja töökorralduslikud leevendusmeetmed seda toetavad. Soome ja Rootsi praktikas kasutatakse trossparvedel ühe operaatoriga töökorraldust, kuid selle lubatavus Munalaid-Manilaid liinil tuleb kinnitada aluse kategooria, ohutu mehitatuse hinnangu ning Transpordiameti kooskõlastuse alusel.

Kriitiline küsimus: kas virtuaalne tross on käsitletav navigatsiooniabina, automaatikasüsteemi osana või vajab eraldi ohutusjuhtumi koostamist.

Kriitiline küsimus: kas jääoludes käitamine eeldab eritingimusi, varuplaani või hooajalisi piiranguid.

6.5. Soovitav hankepakettide jaotus

Rakendamiseks on otstarbekas jagada investeering põhihankepakettideks: A) alus; B) Enhanced Virtual Cable / automaatika; C) 400 kWh ESS ja 125 A kaldalaadimine; D) olemasolevate kaide/rampide liidestus; E) regulatiivne ja heakskiidu töövoog.

Tabel 6.6. Soovitav hankepakettide jaotus

Pakett	Sisu	Peamine risk
A. Alus	25 × 9,6 m ro-ro; kuni 65 reisijat; 50 t kandevõime; 2 × elektriline asimuut; 400 kWh ESS; Volvo Penta D6 reservgeneraator.	Laeva hind 4,5–6,0 M€; jäävõime; käiturite tüüp; saadavus 365 päeva/a.
B. Enhanced Virtual Cable ja automaatika	Zeabuz Enhanced Virtual Cable või samaväärne: RTK/GNSS, IMU, radar/AIS, andurite andmeühendus, automaatne marsruudi- ja kursijuhtimine, HMI, käsijuhtimise ülevõtmine, automaatne väljumine/automaatne sildumine, liikluse jälgimine ja kokkupõrgete vältimine, kaugeire / ROC-valmidus.	Elektriliste asimuutide juhtimisliides; Eesti heakskiit; ohutus ja dubleerimine; küberturvet; ROC kasutusrežiimi heakskiit; aastaste litsentside hind/tugi.
C. ESS ja kaldalaadimine	400 kWh / 4 stringi ESS; 125 A laadija, aluse liides, kaitsed, side ja ohutusloogika.	Pinge/kW, laadimisaeg, aku kasutusea lõpp/asendushind, elektrivõrgu võimsus.
D. Olemasolevad kaid ja rambid	GA/rambi liidestus, venderid, pollarid, laadimisliides, teekatte/koormuse kontroll.	Võimalikud kohandused; uus kai ei ole baasstsenaarium.
E. Regulatiivne töövoog	Transpordiamet, klass/lipp, ConOps, HAZID/FMEA, ohutu mehitatuse nõuded, katsetuskava.	Ühe operaatori lubatavus, virtuaaltrossi käsitlus, ESS/jää reeglid, ajakava.

7. Tasuvus- ja võrdlusanalüüs

Tasuvust hinnatakse avaliku teenuse 30 aasta kogukulu, riigi otsese kassakulu ja majandusliku täiskulu võrdlusena. Rahalisi tulemusi käsitletakse koos teenuse kvaliteedi, igapäevase sõidukiveo, toimepidevuse ja p/l „Kihnu Virve“ vabaneva ressursiga.

7.1. Tasuvuse ülevaade numbrites

Tasuvust hinnatakse käesolevas uuringus avaliku teenuse 30 aasta kogukulu ja riigi rahavoo võrdlusena, mitte klassikalise investori tasuvusajana. Võrdluses eristatakse riigi otsest kassakulu ja majanduslikku täiskulu, sest p/l „Kihnu Virve“ jääb ka uue lahenduse korral Kihnu põhiliinile ning tema Manilaiu reise arvestuslik kulu ei ole täies ulatuses välditav kassakulu.

Tabel 7.1. Tasuvuse ülevaade numbrites

Näitaja	Tänane lahendus	Uus lahendus / stsenaarium	Järeldus
Otsene riigieelarveline kulu	166 384 €/a	156 126 €/a OPEX + kapitalikulu	Uue parve tavapärase OPEX on tänase otsese teenusekuluga samas suurusjärgus; tasuvuse määrab peamiselt CAPEX.
Majanduslik täiskulu	247 862 €/a	70% toetusega 279 217 €/a	70% toetuse korral on uus lahendus täiskuluvaates ~31 355 €/a kallim.
Bruto-CAPEX	–	7,095 M€	Laev 5,25 M€ + virtuaaltross 0,75 M€ + laadimine 0,15 M€ + projekteerimine/integratsioon 0,30 M€ + 10% reserv.
70% investeeringutoetus	–	Netokapitalikulu 2,129 M€	30 a NPV: uus lahendus 4,930 M€ vs tänane täiskulu 4,286 M€; vahe +0,644 M€.
80% investeeringutoetus	–	Aastastatud kogukulu 238 187 €/a	~9 676 €/a soodsam kui tänane majanduslik täiskulu.
Tasakaalupunkt	–	~79% investeeringutoetust	Selle toetustaseme juures võrdsustub uue lahenduse 30 a majanduslik kogukulu tänase lahendusega.

Tabel 7.2. Toetuse tundlikkus

Investeeringutoetus	Netokapitalikulu	Uue teenuse aastastatud kogukulu	Vahe vs tänane majanduslik täiskulu
0%	7,095 M€	566 430 €/a	+318 568 €/a
40%	4,257 M€	402 309 €/a	+154 446 €/a
60%	2,838 M€	320 248 €/a	+72 385 €/a
70%	2,129 M€	279 217 €/a	+31 355 €/a
75%	1,774 M€	258 702 €/a	+10 840 €/a
80%	1,419 M€	238 187 €/a	-9 676 €/a

Tasuvuse põhitulemus: projekti majanduslik põhjendatus sõltub investeeringutoetuse määra. Workboats Consulting tasuvusmodeli järgi on tänase teenuse majandusliku täiskuluga võrdsustumise lävend ligikaudu 75-79%. 80% toetuse korral langeb uue lahenduse aastastatud kogukulu ligikaudu 238 tuhande euronii aastas ehk veidi alla tänase ~248 tuhande euro suuruse majandusliku täiskulu. Lisaks rahalisele võrdlusele annab uus lahendus igapäevase sõidukiive, p/l „Kihnu Virve“ vabaneva teenindusvõime ja taastuvelektri kasutamisel olulise operatiivse CO₂ vähenemise.

7.2. Tasuvuse ja rahavoo ajajoon

30 aasta mudel näitab kulude tekkimise ajastust alljärgnevalt. Aastad on suhtelised projekti kasutuselevõttust; need ei ole ehitus- ega hankeajakava kalendriaastad.

Tabel 7.3. Tasuvuse ja rahavoo ajajoon

Aeg	Rahavoog / kulu	Tasuvuse tähendus
Aasta 0 – investeering	Bruto-CAPEX 7,095 M€. 70% toetusega netokapitalikulu 2,129 M€; 80% toetusega 1,419 M€.	Investeeringutoetuse määr on projekti tasuvuse kõige suurema mõjuga sisend.
Aastad 1–9 – tavakäitus	Uue parve OPEX ~156 126 €/a, sh energia ~23 366 €/a mudeli 0,15 €/kWh hinnaga.	Igapäevane sõidukiive ja p/l Kihnu Virve ressursi vabastamine tekivad alates teenuse algusest.
Aasta 10 – süsteemiuuendus	Virtuaaltrossi suurema süsteemiuuenduse tööeeldus 150 000 €.	See kulu sisaldub 30 aasta mudeli rahavoos.
Aasta 12 – aku elutsükli kontroll	400 kWh aku suure uuenduse/asenduse hind ei ole mudelis rahaliselt lukustatud.	Aku OEM-i tegelik garantii, kasutusea lõpp ja asendushind tuleb hankefaasis kinnitada; see on 30 a tulemise oluline jääkrisk.

Aeg	Rahavoog / kulu	Tasuvuse tähendus
Aastad 13–30 – jätkuv teenus	Baas-OPEX jätkub; suuremad tarnijapõhised kapitaalremondid täpsustatakse rakendusfaasis.	Tasuvus säilib tundlikuna toetuse, aku elutsükli ja lõplike tarnijahindade suhtes.
Aasta 30 – võrdluspunkt	70% toetuse baasstsenaariumis uue lahenduse NPV 4,930 M€; tänase majandusliku täiskulu NPV 4,286 M€.	Majandusliku täiskulu tasakaal saavutatakse ligikaudu 79% investeeringutoetuse juures.

Märkus. 30 aasta võrdlus põhineb aruande Workboats Consulting tasuvusmodelil ja 4% reaalsel diskontomääral. Aku võimaliku suurema asenduse hind ei ole praegu rahaliselt mudelisse lisatud; seetõttu tuleb lõplik investeerimisotsus teha pärast siduvaid laeva-, ESS-, laadimis- ja virtuaaltrossi pakkumusi.

7.3. P/l „Kihnu Virve“ ressursikasutus

P/l „Kihnu Virve“ jääb pärast Manilaiu reise eemaldamist täielikult Kihnu saare põhiliini teenindama. Seetõttu ei käsitleta tema Manilaiu ajaosa tööjõu- ega palgasäästuna. Projekti riigipoolne lisaväärtus on olemasoleva suure parvlaeva aja vabastamine Kihnu liini lisareisideks ja teenuse kvaliteedi tõstmiseks. Lisaks kõrvaldab uus parv tänase teenuse struktuurse piirangu, kus aastaringne m/l „Mann“/hõljuk ühendus on reisijatele, kuid sõidukivedu on võimalik p/l „Kihnu Virvega“ ainult kolmel päeval nädalas.

Tabel 7.4. P/l „Kihnu Virve“ Manilaiu ressursikasutuse võrdlus

Võrdlusnäitaja	Sisend / arvutus
Laevad	p/l Kihnu Virve; BWB Baltic 4500 Ferry referents
Põhimõõdud	45,0 × 12,0 m; võrdlusalus on oluliselt suurem kui kavandatud 25 × 9,6 m parv.
Mehitus	6 inimest korraga; 2 rotatsiooni = 12 FTE nominaalne töökorraldus.
Manilaiu reisiid	312 ühe suuna reisi/a.
Manilaiu sõiduaeg	15 min/reis tööeeldus = 78 laevatundi/a.
Kütusekulu	160 l/h tööeeldus → 12 480 l/a Manilaiu reisele.
CO ₂	~33,2 t CO ₂ e/a Manilaiu reisele.
Välditav mehituse/palgakulu	0 FTE – p/l „Kihnu Virve“ jätkab Kihnu liinil minimaalse 6-liikmelise meeskonnaga.
Vabanev ressurss	~78 laevatundi/a + 468 meeskonnatundi/a; teoreetiliselt ~72 Kihnu ühe suuna reisi sõiduaja ekvivalent.

Võrdlusnäitaja	Sisend / arvutus
Sõidukiveo teeninduspäevad	3 päeva nädalas.
Sõidukid 2023–2025	3 511 sõidukit / 918 reisi = 3,82 sõidukit/reis; 2023 3,52; 2024 4,08; 2025 3,88.

P/l "Kihnu Virve" Manilau periooditasu analüütiline jaotus võib jääda majandusliku täiskulu võrdluse, kuid seda ei kasutata otsese eelarvesäästuna. Lisatud arvutus eristab selleks riigi kassavaadet ja majanduslikku täiskuluvaadet. 312 Manilau reisi eemaldamine vabastab ligikaudu 78 laevatundi ja 468 meeskonnatundi aastas, mis vastab teoreetiliselt umbes 72 Kihnu ühe suuna reisi sõiduaja ekvivalendile. Samal ajal suureneb Manilau sõidukiveo kättesaadavus 3 päevalt 7 päevale nädalas.

7.4. Tasuvusvõrdluse koondtulemus

Tasuvusvõrdlus kasutab kogu tänase Manilau teenuspaketi rahavoogu ning eristab riigi otsest kassavaadet ja majanduslikku täiskulu. Uue parve kapitalikulu on OPEX-ist eraldi; p/l „Kihnu Virve“ periooditasu Manilau osa jääb täiskuluvaates ressursijaotuseks, kuid ei ole välditav kassakulu.

Tabel 7.5. Tasuvusvõrdluse koondtulemus

Võrdlusnäitaja	Arvutus / lõpparuande väärtus
Laeva CAPEX	4,5–6,0 M€; baas 5,25 M€.
Projekti bruto-CAPEX baas	7,095 M€ koos 0,75 M€ tehnilise analüüsi tulemusel valitud virtuaaltrossi, 0,15 M€ laadimise, 0,30 M€ projekteerimise ja 10% reserviga.
Uue parve OPEX baas	~156 126 €/a @ 0,15 €/kWh.
Tänane otsene Manilau eelarvekulu	~166 384 €/a tööbaas.
Tänane majanduslik täiskulu	~247 862 €/a, sh p/l Kihnu Virve periooditasu analüütiline Manilau osa.
30 a reaalne diskontomäär	4%.
Tasakaalutoetus – majanduslik täiskuluvaade	~79%.
Tasakaalutoetus – kassavaade	~99%.
Praegune operatiivne CO ₂	~62,4 t CO ₂ e/a.
Uus parv – tuuleenergia/päritolutunnistus	0 t/a turupõhises operatiivses arvestuses; ~1872 t CO ₂ e säästu 30 a lihtsustatud võrdluses.
p/l Kihnu Virve vabanev võimekus	78 laevatundi/a; ~72 ühe suuna Kihnu reisi sõiduaja ekvivalent.

Võrdlusnäitaja	Arvutus / lõpparuande väärtus
Sõidukiveo teeninduspäevad	Tänane 3 päeva nädalas → uus 7 päeva nädalas (+133%).
Sõidukivõimelised väljumised	Tänane ~5,9 ühe suuna väljumist nädalas → uus 42 nädalas 3 edasi-tagasi reisi/päev baasgraafikus (~7,1×).
Sõidukinõudlus 2023–2025	3 511 sõidukit / 918 reisi = 3,82 sõidukit/reis; stabiilselt ligikaudu 4 sõidukit/reis.
Arstiabi / pääste / toimepidevus	Sõidukivedu võimalik iga päev; kriitilise sõiduki meretransport ei sõltu enam 3-päevast sõidukigraafikust.

Arvutuslikult 30 aasta / 4% reaaldiskontoga baasstsenaariumis on projekti bruto-CAPEX 7,095 M€. Investeeringutoetuse tasakaalupunkt on majandusliku täiskulu vaates ligikaudu 79% ja puhtas riigieelarve kassavaates ligikaudu 99%. Neid näitajaid tuleb tõlgendada koos teenusekvaliteedi, igapäevase sõidukiveo, p/l „Kihnu Virve“ vabaneva ressursi ja CO₂ mõjuga.

Riigi jaoks tuleb otsus seetõttu hinnata vähemalt viie sambaga: 1) 30 aasta rahavoog ja investeeringutoetus; 2) igapäevane sõidukivedu ning saare arstiabi-, pääste- ja varustustoimepidevus; 3) Manilaiu aastaringne reisijate teenusekvaliteet ja raskeveovõime; 4) p/l „Kihnu Virve“ vabaneva ressursi väärtus Kihnu liini lisareisidena; 5) tõendatud taastuvelektriga saavutatav CO₂ vähendamine ning füüsilise trossi/sadamaehituse vältimine.

7.5. Tasuvusmudeli koondsisendid

Finants- ja teenusekvaliteedi mudeli lõpparuande baasstsenaarium on koondatud alljärgnevasse tabelisse ning vastab Workboats Consulting tasuvusmudeli sisenditele.

Tabel 7.6. Finants- ja teenusekvaliteedi baasstsenaarium

Sisend	Lõpparuande väärtus / tasuvusmudel v13
Laeva CAPEX	4,5–6,0 M€; baas 5,25 M€.
Soovituslik virtuaaltrossi juhtimislahendus	0,60–0,90 M€; baas 0,75 M€.
125 A kaldalaadimine	0,075–0,250 M€; baas 0,150 M€; pinge/kW kinnitatakse rakendusfaasis.
Uus sadamakai / maabumiskoht	0,15 M€ põhistsenaariumis.
Projekteerimine / integratsioon	0,20–0,45 M€; baas 0,30 M€.
Reserv	10%.
Projekti bruto-CAPEX baas	7,095 M€.
Akupank	400 kWh / 4 stringi; 133,33 kWh edasi-tagasi reisi kohta.

Sisend	Lõpparuande väärtus / tasuvusmudel v13
Päevaprofiil	3 edasi-tagasi reisi/päev; suvine maksimaalselt 6 edasi-tagasi reisi/päev.
Aastane võrgust energia	~155,8 MWh/a koos 10% laadimiskaoga.
Uue parve OPEX baas	~156,1 k€/a @ 0,15 €/kWh.
Analüüsisiperiood / diskont	30 a / 4% reaalne.
Tasakaalutoetus	~79% majandusliku täiskulu vaates; ~99% kassavaates.
Sõidukiveo teeninduspäevad	Tänane 3 päeva nädalas; uus parv 7 päeva nädalas.
Kihnu Veeteed sõidukinõudlus	2023–2025: 3 511 sõidukit / 918 reisi = 3,82 sõidukit/reis.
Sõidukivõimelised väljumised	Tänane ~5,9 ühe suuna väljumist nädalas; uus 42 nädalas 3 edasi-tagasi reisi/päev baasgraafikus.

Trossparve tasuvusuuringu põhijäreldus on, et Munalaid-Manilaid ühenduse konsolideerimine ühe 25 × 9,6 m, 400 kWh elektrilise/hübriidse ro-ro reisiparvega on kontseptuaalselt teostatav. Füüsilise trossi variant ei sobi olemasolevate rampide, mittesirge trajektoori ja laevateel paiknevate meremärkidega; seetõttu on soovituslik teostus aktiivse virtuaaltrossi / digitaalse juhtimislahendusega. Lahendus võimaldab sõidukivedu iga päev, parandab saare toimepidevust ning vabastab p/l Kihnu Virve ressursi Kihnu põhiliini teenindamiseks. Majanduslikku atraktiivsust mõjutab eelkõige investeeringutoetuse määr.

8. Kokkuvõte ja põhijäreldused

Käesolev lõpparuanne hindab Munalaid-Manilaid (Manija) marsruudi trossparveühenduse tehnilist teostatavust, opereeritavust ja tasuvust. Uuringu objektiks on trossparve lahendus kui tervik, mis asendaks hetkel kasutusel olevad kolm erinevat lahendust. Analüüsi käigus võrreldakse füüsilise trossi ja digitaalse/virtuaalse juhtimislahenduse sobivust konkreetse trassi, olemasolevate sadamarampide, navigatsioonikoridori ja aastaringse teenuse nõuetega.

Füüsilise trossiga trossparv ei osutunud Munalaid-Manilaid trassil praktiliseks põhivariandiks. Olemasolevate Munalaiu ja Manilau kaldarampide kasutamisel ei ole vajalik sõidutrajektoor sirgjooneline. Lisaks paiknevad laevateel meremärgid, mille suhtes füüsiline tross tekitaks takerdumis- ja konfliktiriski. Füüsilise trossi kasutamine eeldaks seetõttu sadama-/maabumislahenduse või veetee korralduse muutmist ning vähendaks olemasoleva taristu kasutamise eelist.

Nendest trassi- ja taristupiirangutest kujunes uuringu tehniline järeldus: säilitada trossparve lühiliini opereerimisloogika, kuid asendada füüsiline tross aktiivse virtuaaltrossi / digitaalse juhtimissüsteemiga. Zeabuz'ile tehtud tehnilise päringu põhjal on uue laeva ehitamisel otstarbekas integreerida kohe Enhanced Virtual Cable'i täislahendus: automaatne trajektoori/kursi kontroll, positsioneerimine, HMI (inimese ja masina liides) – operaatori kasutajaliides, mille kaudu kuvatakse juhtimis-, navigatsiooni-, süsteemiseisundi ja häireinfo ning antakse juhtimiskäsk, käsijuhtimise ülevõtmise võimalus ja kommertskasutuseks vajalikud turvalisuse funktsioonid koos automaatsete väljumis- ja saabumiskäskudega, liikluse jälgimine/kokkupõrke vältimine ning eemalt jälgitav / ROC (kaugoperatsioonikeskus) – kaldal paiknev kaugoperatsioonikeskus; ROC-valmidus tähendab, et laeva süsteemid on projekteeritud kaugseireks ja võimaliku tulevase kaugjuhtimise integreerimiseks.

8.1. Põhijäreldused

- Uuringu objekt on Munalaid-Manilaid trossparveühendus. Füüsilise trossiga lahendust analüüsiti esmase tehnilise variandina.
- Trassi ja sadamataristu analüüs näitas, et füüsiline tross ei sobi sellele liinile: olemasolevate kaldarampide kasutamisel ei ole vajalik trajektoor sirgjooneline ning laevateel paiknevad meremärgid tekitaksid trossi takerdumis- ja konfliktiriski. Samuti osutuks see segavaks faktoriks Kihnu liinil opereerivale laevale.
- Seetõttu on uuringu soovituslik teostus $25,0 \times 9,6$ m aastaringne elektriline/hübriidne ro-ro reisiparv, millel füüsilise trossi asemel kasutatakse aktiivset virtuaaltrossi / digitaalset juhtimislahendust.
- Alus: 400 kWh / 4 stringi ESS, 2 × elektriline asimuutajam, reservgeneraator ja 125 A kaldalaadimine; teenus 3 edasi-tagasi reisi/päev, suvine maksimum 6 edasi-tagasi reisi/päev ning sõidukivedu võimalik iga päev.
- Soovituslik automatiseerimislahendus on Zeabuz *Enhanced Virtual Cable* või funktsionaalselt samaväärne täislahendus.

- 30 aasta mudeli baasstsenaariumis on projekti majandusliku täiskulu tasakaalupunkt ligikaudu 79% investeeringutoetuse juures; tundlikkusarvestuses jääb vajalik toetustase ligikaudu vahemikku 75–79%.
- Peamine avaliku teenuse lisaväärtus on igapäevane sõidukivedu, saare arstiabi-, pääste- ja varustustoimepidevus ning p/l „Kihnu Virve“ 78 laevatunni/aastas vabastamine Kihnu põhiliini lisavõimekuseks.

LISA A. Tõlgitud ja kohandatud mõisted

Inglise/rootsi mõiste	Eestikeelne vaste	Selgitus
Virtual wire / virtuaaltross	virtuaalne tross / virtuaalne juhttross	Digitaalne navigatsiooniabi, mis näitab aluse asukohta ja kõrvalekallet eelduslikust trajektooriga.
Guide wire	juhttross	Füüsiline tross, mis aitab alusel püsida marsruudil või annab operaatorile trajektoori taju.
Cable driven ferry	trossi abil veetav parv / trossparv	Parv, mille liikumine toimub trossi või kaabli abil.
Cable guided ferry	trossiga juhitud parv	Parv, millel võib olla tavapärane ajam, kuid mille trajektoori toetab juhttross.
ConOps	operatsioonikontseptsioon	Kirjeldab, kuidas süsteem töötab tavaolukorras ja häire korral.
HAZID	ohu tuvastamise analüüs	Riskianalüüsi esimene etapp.
FMEA	rikkeviiside ja mõjude analüüs	Meetod komponentide või funktsioonide rikete mõju hindamiseks.
RTK GNSS	täpsustatud satelliitpositsioneerimine	RTK korrigeerimisega GNSS annab täpsema positsiooni kui tavaline GNSS.

LISA B. Lähteandmete koondtabelid

Lisa koondab aruandes kasutatud põhilised teenuse-, energia- ja finantsandmed. Operaatorite detailne reisijate ja kauba jaotus ei ole kõikides allikfailides kättesaadav; lõpparuande järeldused ei sõltu nende puuduvate väljade täitmisest.

LISA B.1. Reisijate- ja sõidukite vedu Munalaid-Manilaid marsruudil

Aasta/kuu	Alus/teenus	Reise	Reisijaid	Sõidukeid	Kaup/erivedu	Allikas	Märkus
2026	p/l Kihnu Virve – Manija	312	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	ATL / tööfail	Ühe suuna reisid; 160 l/h tööeeldus.
2025	m/l Manija Mann	1704	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Reisiraport	Ühe suuna reisid; 25 l/h tööeeldus.
2025	Hõljuk	87	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Reisiraport	Ühe suuna reisid; 15 l/h tööeeldus.
2023	p/l Kihnu Virve – Manija	306	2677	1076	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Kihnu Veeteed 2023–2025	3,52 sõidukit/reis
2024	p/l Kihnu Virve – Manija	300	2667	1223	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Kihnu Veeteed 2023–2025	4,08 sõidukit/reis
2025	p/l Kihnu Virve – Manija	312	2570	1212	Andmed ei ole lähtefailides / ei ole lõppjäreltuse jaoks kasutatud	Kihnu Veeteed 2023–2025	3,88 sõidukit/reis

LISA B.2.

Variant	CAPEX	OPEX / energia	LCC 30 a	Märkus	Staat
Trossparve uuringu soovituslik hübriidparv (virtuaaltross)	Laev 4,5–6,0 M€; baas 5,25 M€. Uus kai 0 €–125 A laadimine 0,075–0,250 M€; baas 0,150 M€.	Energia ~23,4 k€/a @ 0,15 €/kWh; mitteenergia OPEX baas ~132,8 k€/a.	Workboats Consulting tasuvusmudel	25 × 9,6 m; 400 kWh; 2 × elektriline asimuut; 3 RT/päev; maksimaalselt 6; sõidukivedu iga päev.	SOOVITUSLIK LAHENDUS
Generaatori tundlikkus	Sama	5/10/20/100% generaatorireiside tundlikkus; Volvo Penta D6, maksimaalne tööeeldus 25 l/h.	Workboats Consulting tasuvusmudel	Generaator on reserv-/tundlikkuslahendus, mitte tavakäituse baas.	TUNDLIKKUS
Tänae lahendus	Olemaolev taristu ja alused	Mann + hõljuk + p/l Kihnu Virve diisel; olemaolev teenushind.	Workboats Consulting tasuvusmudel	2103 ühe suuna reisi; ~62,4 t CO ₂ /a; sõidukivedu p/l Kihnu Virvega 3 päeval nädalas.	VÕRDLUS-BAAS

Kasutatud allikad ja lähteandmed

RISE Research Institutes of Sweden / Trafikverket. Sjöblom, T. jt. "Virtual wires as a safety-enhancing concept", RISE Report P117285, project TRV 2022/108225, 2024. https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_007901_008000/Publikation_007963/7753_%20Virtual%20wires%20as%20a%20safety-enhancing%20concept.pdf

Workboats Consulting sisendid: teenuseesmärgid, 25 m × 9,6 m parve põhimõõdud, 50 t kandevõime, 400 kWh / 4 stringi ESS, 2 × elektriline asimuutajam, Volvo Penta reservgeneraator, 125 A laadimine, 3 edasi-tagasi reisi/päev ja suvine maksimum 6 edasi-tagasi reisi/päev.

ShoreLink. Shore power and charging solutions. Ametlik veebileht: <https://shore-link.eu/> (kasutatud laadimissüsteemi kontseptsiooni kirjeldamisel).

<https://centralbaltic.eu/project/reisfer/>

Riigi Teataja. „Laevatatavatel sisevetel liiklemise kord“, 11.02.2003 määrus nr 28, kasutatud 10.09.2026 kehtinud redaktsioonis. Kasutatud üleveoparve mõiste ning tulede ja trossi valgustamise nõuete võrdlusallikana: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113062025027?leiaKehtiv>

Riigi Teataja. „Meresõiduohutuse seadus“, kasutatud 10.09.2026 kehtinud redaktsioonis üldise meresõiduohutuse ja aluse kategooria käsitluse lähtekohana: <https://www.riigiteataja.ee/akt/MSOS?leiaKehtiv>

Finlex. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus maantielaautoista 20/2006 ning muudatusmäärus 412/2020. Kasutatud Soome trossparve regulatsiooni võrdlusallikana: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2020/412>

Transportstyrelsen. TSFS 2009:44 „Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler“ ja TSFS 2019:12 „Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägmärken“. Kasutatud Rootsi trossparve liiklus- ja tähistusnõuete võrdlusallikana: https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202019_12.pdf

Zeabuz. "The Government of Åland has chosen Zeabuz to deliver Virtual Cable Ferry Solution", 01.07.2025. <https://www.zeabuz.com/the-government-of-aland-has-chosen-zeabuz-to-deliver-virtual-cable-ferry-solution>

Zeabuz tehniline tagasiside kasutaja päringule, 23.08.2026: Enhanced Virtual Cable soovitus uue laeva puhul koos automaatse marsruudi- ja kursijuhtimise, positsioneerimise, HMI, käsijuhtimise ülevõtmise, automaatse väljumise ja sildumise, liikluse jälgimise ja kokkupõrgete vältimise ning kaugseire- ja ROC-valmidusega.

Finnish Government / Ministry of Transport and Communications. Virtual cables in ferry traffic; Bergö and Arvinsalmi references, 13.01.2022. <https://valtioneuvosto.fi/en/-/1410829/government-proposes-authorisation-to-the-finnish-transport-and-communications-agency-to-issue-orders-on-technical-requirements-for-virtual-ca-1630970>

Kongsberg Maritime. Auto Crossing fact sheet; Auto Crossing + optional Auto Docking. https://www.kongsberg.com/contentassets/a29d336e3a7949b094a181ae05308ff6/fact-sheet_auto-crossing_110-0096682_reva_draft.pdf

HAV Group / Norwegian Electric Systems. Fjord1 Lavik–Oppedal autonomous navigation scope, 27.05.2024. <https://www.havgroup.no/hav-group-asa-news/news/2024/fjord1-awards-autonomous-navigation-scope-to-hav-group-subsiary>

Wärtsilä. Automated dock-to-dock tests on Norled MF Folgefonn, 28.11.2018. <https://www.wartsila.com/latinamer/media/news/28-11-2018-wartsila-achieves-notable-advances-in-automated-shipping-with-latest-successful-tests-2332144>

Elering. „Segajääk (Residual Mix)“. Eesti 2024. aasta segajääk ja metoodika; 2024. aasta segajäägi CO₂-sisaldus 611,96 gCO₂/kWh. <https://elering.ee/segajaak>

Täiendavad sisendid: laeva CAPEX 4,5–6,0 M€; olemasolevate kaide kasutamine; Mann 25 l/h, hõljuk 15 l/h, p/l Kihnu Virve 160 l/h; uus parv 1 operaator korraga × 2 rotatsiooni; p/l Kihnu Virve 6 inimest korraga × 2 rotatsiooni; 400 kWh ESS; 133,33 kWh edasi-tagasi reisi kohta; 3 edasi-tagasi reis/päev ja suvine maksimum 6 edasi-tagasi reis/päev.

Workboats Consulting OÜ. Workboats_Consulting_Munalaid_Manilaid_tasuvusmudel.xlsx. Lõpparuande arvutuslik põhiallikas.

Kihnu Veeteed OÜ / koondfail. Munalaid-Manilaid sõiduki- ja reisijamahud 2023–2025: 918 reisi, 3 511 sõidukit; keskmine 3,82 sõidukit/reis. Koondatud fail: Munalaid-Manilaid_operaatorite_veomahud_koond.xlsx.

Baltic Workboats. Baltic 4500 Ferry / p/l Kihnu Virve referents: <https://bwb.ee/vessel/baltic-4500-ferry/>.

Baltic Workboats. Ferry 30 Hybrid Ice referents: <https://bwb.ee/vessel/ferry-30-hybrid-ice/>.