



Elektrifierad sjötransport Norrland – Södertälje

31 januari 2025

Triple F projekt 2022.5.2.10

Slutrapport

Sara Rogerson, Martin Ericson Borgh, Anna Hedén, Paul Siljama,
Åsa Kärnebro, Anna Skötte, Staffan Sjöling, Tobias Olsson,
Ilhan Topdemir, RISE

Projektnummer	2022.5.2.10
Titel på projektet – svenska	Elektrifierad sjötransport av gods Norrland-Södertälje (ELINORR)
Titel på projektet – engelska	Electrified shipping of cargo between northern and southern Sweden
Projektledareorganisation	RISE Research Institutes of Sweden
Namn på projektledare	Sara Rogerson
Namn på övriga projektdeltagare	Scania, Northvolt, Berg Propulsion, Wallenius Marine, Wallenius SOL, AtoB@C, Södertälje hamn, Cavotec, Skellefteå hamn
Nyckelord: 5-7 st	Elektrifiering, sjöfart, fartyg, container, CO _{2e} -reduktion



Sammanfattning

Projektet *Elektrifierad sjötransport av gods Norrland-Södertälje* (ELINORR) utgår från behov av godstransport mellan varuägare, där möjligheter undersöks att ersätta traditionellt bränsle samt vägtransporter med sjötransport med hög grad av elektrifiering. Kunskap byggs för att snabba på realiseringen av elektrifierad sjöfart. Nyhetsvärdet berör elektrifiering av sjöfart på en längre sträcka, beaktanden för operation i is samt systemperspektiv inkluderande teknikutveckling, affärsmässiga val och infrastruktur.

Projektet har genomförts av RISE, Scania, Northvolt, Berg Propulsion, Wallenius Marine, Wallenius SOL, AtoB@C, Södertälje hamn, Cavotec och Skellefteå hamn.

Kostnadsberäkningar visar att ett nybyggt fartyg med hög grad av elektrifiering har stor potential att vara konkurrenskraftigt avseende årskostnad jämfört med alternativa landtransporter, under förutsättning att hastigheten hålls låg och kapacitetsutnyttjande högt. Anskaffningskostnaden för batterier är en stor kostnad. Att minska energiförbrukning och därmed hög verkningsgrad för skrov och framdrift är viktigt. Ett skrovkoncept är framtaget, där arrangemanget med två axlar och ställbara propellrar ger hög verkningsgrad genom vattnet. Med en elmotor på var axel uppfylls krav på redundans. Fartyget rymmer 15 battericontainrar och kan normala isfria perioder operera med batteriframdrift. Isgång till fulla på batteri motiveras ej pga batterikostnaden. När installerad batterikapacitet inte räcker kompletterar generatoraggregat energibehovet.

Kommersiellt är fördelning av risker och kostnader essentiell. Aktiva val som ökar andrahandsvärdet är viktiga, såsom flexibilitet för att fartyget ska kunna gå på flera rutter.

Även infrastruktur behöver beaktas för elektrifierad sjöfart. Hamnar bör ha tillräcklig kapacitet för snabbbladning och kompatibla laddningssystem. För att minimera stilleståndstid för fartyget behöver laddning kunna ske under lastning och lossning.



Summary

The project *Electrified shipping of cargo between northern and southern Sweden* (ELINORR) originates with a transport need between cargo owners, investigating possibilities to replace traditional fuel and road transport with shipping using a high degree of electrification. Knowledge is increased regarding electrification of shipping over a longer distance, considerations for operation in ice and system perspectives including technology, business and infrastructure.

The project was conducted by RISE, Scania, Northvolt, Berg Propulsion, Wallenius Marine, Wallenius SOL, AtoB@C, Cavotec and the ports of Södertälje and Skellefteå.

Cost calculations show that a new-built vessel with a high degree of electrification has great potential to be competitive comparing annual cost with alternative land transport, provided low speed and high capacity utilization. Investment in batteries is a large cost. Reducing energy consumption and thus increasing hull efficiency and propulsion is important. A hull concept was developed, with two shafts and adjustable propellers providing high efficiency through the water. An electric motor on each axle meets redundancy requirements. The ship can hold 15 battery containers and operate with battery propulsion during normal ice-free conditions. For ice-going, battery costs are prohibitive, therefore the propulsion system is a serial hybrid setup with internal combustion engines driving generators.

Commercially, the allocation of risks and costs is essential. Resale value is important, including flexibility for the ship to operate alternative routes.

Infrastructure needs to be considered. Ports should have sufficient capacity for fast charging and compatible charging systems. To minimize downtime the vessel needs to charge during loading and unloading.



Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	4
<i>Summary</i>	5
<i>Ordlista/definitioner</i>	9
<i>Inledning</i>	11
Elektrifiering	11
Is	13
Användning av sjöfart	13
Syfte	14
<i>Bidrag till Triple F</i>	15
<i>Genomförande</i>	17
Fartygsutveckling	17
Kommersiellt perspektiv	20
Beräkning av CO_{2e}-emissioner och energiförbrukning	20
Risikanalys	20
Infrastruktur	20
Transportkoncept	21
<i>Resultat</i>	22
Godstransport Södertälje - Skellefteå	23
Godsflöde.....	23
Avvikelse från grundflödet	24
Kravbild	25
Operationsprofil.....	27
Fartygsutveckling	28
Fartygets huvudparametrar och klass.....	28
Skrov och propellerarrangemang	31
Lastutrymme	33
Maskin-, drivlina och motorarrangemang	34
Batterisystem	35
Elektrisk huvudtavla	37
Energibehov	38
Skrovmotstånd	39
Bränsleval	42



Kommersiella aspekter	43
Partnerskap för transportlösningen	44
Styckegods eller befraktning	45
Finansiering av fartyget	46
Försäkringsfrågor och panträtt vid batterileasing	48
Dedikerat upplägg eller ytterligare volym	48
Möjliga affärsupplägg.....	50
Containrar	52
Avtalets komponenter	55
Digitala lösningar för operativ effektivitet.....	55
Kostnads kalkyler	56
Andrahandsvärde	71
Risanalyser.....	74
Risker relaterade till kravuppfyllnad av formella regelverk	75
Risker relaterade till störningar i godsflödet.....	77
Risker relaterade till kostnadsbild jämfört med transportalternativ	80
Beräkning av miljöpåverkan.....	83
Energiförbrukning.....	83
Elenergibehov beroende på val av antal battericontainers	89
Emissioner av växthusgaser / CO _{2e}	93
Infrastruktur.....	99
Hamnarna Södertälje och Skellefteå	99
Riskbaserad lotsplikt och farled.....	100
Framtida utveckling av landström i hamnarna.....	101
Regelverk.....	102
Teknisk infrastruktur och operativa krav	102
Avgiftsmodeller för OPS (Onshore Power Supply).....	105
Nyckelfrågor inför investering av infrastruktur	106
<i>Nyttiggörande och nästa steg.....</i>	<i>107</i>
<i>Diskussion</i>	<i>109</i>
Gång i is.....	109
Längre sträcka.....	110



Fartygsutveckling	110
Batterier för framdrift	111
Kommersiellt perspektiv	111
Risikanalys.....	112
Beräkning av miljöpåverkan.....	112
Infrastruktur och hamnperspektiv	113
Referenslista.....	114



Ordlista/definitioner

Term	Definition
40PW	40-fots Pallet Wide container, bredare invändigt än en standard container och maximerar utrymmet för europapallar utan att lämna tomma ytor.
Avlastare	Den aktör som avlämnar godset för transport, i detta fall Northvolt.
Avsändare	Den aktör som ingår avtal med en transportör om transport av styckegods till sjöss, i detta fall Scania.
Bareboat avtal	Fartyget ägs av leasinggivaren och hyrs ut till leasingtagaren. Om leasingtagaren ansvarar för bemanning, försäkringar och den organisation som krävs för den dagliga driften, betraktas leasingtagaren som redare.
GT	Förkortning av Gross Tonnage, det engelska ordet för Bruttodräktighet, vilken innefattar att fartygs totala inneslutande volym, enhetslöst.
LOA	Length overall, ett fartygs största längd, m.
BWL	Breadth waterline: Största bredd i vattenlinjen, m
D	Draught, engelska termen för måttet Djupgående, avståndet mellan fartygets lägsta punkt och vattenlinjen, m.
fDWT	Deadweight, alltså Dödvikt på svenska. Ett fartygs lastförmåga, mäts i ton.
FAS	Free Alongside Ship, Incoterm som innebär att säljaren ansvarar för att leverera varorna till kaj i namngiven utlastningshamn. När varorna är placerade bredvid fartyget övergår risken och kostnaderna till köparen, som därefter ansvarar för lastning, frakt och försäkring.
GTT	Tank-to-wake, tank-to-wheel. Del av emissioner för ett bränsle som uppstår vid dess transport från produktionsstället till fartyget eller fordonet det förbrukas i. Inkluderar eventuell mellanlagring i förekommande fall.
Hydrostater	Mekanik som berör vätskor. Beräkningar för att säkerställa att fartyget uppfyller stabilitetskrav som ställs av regelverk.
Hotelllast	Den delen av maskin- eller eleffekt som går åt till besättning, fartygets system så som pumpar och ventilation, navigationssystem, hytter och så vidare. Det vill säga allt som inte är propulsion.
IEC 80005-1	Internationell standard som reglerar land-till-fartyg-anslutningar för högspänningsenergileveranser (kallas ofta "shore power" eller landström).
Incoterms	En uppsättning internationellt erkända standardvillkor, som definierar ansvar och skyldigheter mellan köpare och säljare i internationella handelsavtal. De reglerar bland annat leverans, riskövergång och kostnadsfördelning under transporten.
Landström	När fartyg ansluter sig när de ligger vid kaj. Istället för att ha igång sina vanligtvis dieseldrivna hjälpmaskiner kan landström användas för belysning, ventilation, pumpar etc.



Laddström	När fartyg ansluter sig till en hamns elnät för att ladda batterier som används under fartygets framdrift.
Resebefraktning	Befraktningsform där frakten beräknas per resa och debiteras frakt / lastenhet.
Tidsbefraktning	Befraktning där frakten ska beräknas för tid och debiteras som hyra.
TEN-T	TransEuropean Transport Network. En "TEN-T hamn" är en hamn som ingår i nätverket och som är viktig för effektiv och hållbar transport av varor och passagerare inom kontinenten.
TTW	Tank-to-wake, tank-to-wheel. Del av emissioner för ett bränsle som uppstår vid dess förbrukning i fartyg eller fordon.
Transportör	Den som ingår avtal med en avsändare, om transport av styckegods till sjöss, i detta fall rederiet.
Sjölagen (1994:1009) 13 kap. Om styckegodstransport 14 kap. Om befraktning av fartyg	Reglerar rättsliga frågor inom sjöfart, bland annat sjövärdighet, ansvar för last, rese- och tidsbefraktning, styckegodstransport samt ansvar vid skada, sjöolyckor och miljöpåverkan. Sjölagen är huvudsakligen dispositiv och tvingande gällande ansvar för gods, reklamationsfrister, preskription, ansvarsbegränsningar samt säkerhets- och miljökrav vid inrikes sjöfart.
WTG	Well-to-gate. Del av emissioner för ett bränsle som uppstår vid dess produktion (inklusive utvinning och transport av råvara) till det att bränslet lämnar produktionsställets grind (t.ex. en vindkraftpark eller ett raffinaderi).
WTT	Well-to-tank. Alla delar av emissionerna för ett bränsle fram till att det finns i tanken på det fartyg eller fordon som ska använda det. $WTT = WTG + GTT$.
WTW	Wall-to-wake eller well-to-wheel. Samtliga delar av emissionerna för ett bränsle: från produktion och utvinning till dess användande ombord. $WTW = WTT + TTW = WTG + GTT + TTW$.



Inledning

Initiativet till utmaningen som undersöks och beskrivs i denna rapport kommer från varuägarna Scania och Northvolt. Scania är en av Sveriges ledande tillverkare av tyngre fordon. Med stort fokus på utvecklingen av produkter som kan utföra batteridrivna transportoperationer fanns ett intresse hos Scania att försörjningskedjor också är fossilfria, gärna elektrifierade. Northvolt är en svensk tillverkare av batterier. Även Northvolt har ett stort fokus på hållbarhet inom hela sin verksamhet och är då intresserade av att även transporter av deras produkter passar inom detta. När då battericeller ska transporteras från Northvolt till Scania för att ingå i deras lastbilar var det naturligt att man frågade sig i vilken omfattning det gick att utföra transporten fossilfritt. Allra intressantast var elektrifierat, med tanke på att de komponenter som skall transporteras ska användas för att elektrifiera vägtransporter.

Northvolt har lokaliserat sin tillverkning av battericeller till fordonsindustrin i Skellefteå medan Scantias tillverkning som ska använda battericellerna ligger i Södertälje. Sträckan mellan dessa är i sammanhanget lång, ca 900 km eller 500 nm enkel väg. De volymer och vikter som är aktuella gör att sjöfart ses som det primära alternativet.

Under 2022 genomfördes en förstudie inom Trafikverkets branschprogram Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse. Förstudien visade att ett fartygskoncept som drivs på batterier större delen av året är möjlig trots den långa sträckan, baserat på servicekrav beträffande frekvens och ledtid. Förstudien var dock begränsad i sin omfattning, och pekade på ett flertal områden som behövde studeras mer detaljerat, inklusive påverkan av vintertid, såsom energiåtgång när fartyget går i is, batterisystem, förutsättningar för laddning i hamnar, risker samt affärsmässiga aspekter såsom andrahandsvärde och möjligheter till ytterligare godsflöden (Rogerson m.fl. 2023).

Det projekt som beskrivs i denna rapport (ELINORR) sattes upp för att fortsätta vägen mot en realiserad fartygslösning där tekniska val behövde förfinas parallellt med affärsmässiga aspekter från transportoperatörens perspektiv. Arbetet har fokuserat kring fartygsutveckling, affärsupplägg, miljöberäkningar, riskanalys och infrastruktur. Projektet har löpt under två år 2023–2024 med finansiering av Triple F.

Ur ett forskningsperspektiv är flera aspekter intressanta. Dels handlar det om elektrifiering för en längre sträcka än vi sett tidigare, dels om gång i is och dessutom belyser det hur sjöfart kan användas när varuägare designar sina försörjningskedjor.

Elektrifiering

Beträffande elektrifiering så har inte elektrifiering av sjöfarten kommit lika långt som på vägsidan, men utvecklingshastigheten är hög inom maritim elektrifiering (Hägg m.fl. 2018). För fartyg finns lösningar av olika grad av elektrifiering: dieselelektrisk, batterihybrid och helelektriskt. Enligt Anwar et al (2020) är ungefär två tredjedelar av elektrifierade fartyg hybrider, medan en tredjedel är helelektriska.

Det är framför allt passagerarfartyg som driver utvecklingen och där det finns en hög grad av elektrifiering. Det handlar om fartyg som trafikerar kortare sträckor på en specifik rutt. Svenska initiativ inkluderar elektrifiering av kortväga färjetrafik, t.ex. i Stockholms och Göteborgs kollektivtrafik. Mellan Helsingborg och Helsingör kör fartygen Tycho Brahe och



Aurora som konverterats till batteridrift (Costa m.fl. 2022b). RoPax mellan Göteborg och Fredrikshamn är ytterligare ett exempel. I Norge var E/S Ampere, som transporterar bilar och passagerare över Sognefjorden världens första helelektriska bilfärja 2015 (Moore, 2015). I Finland sattes den batteridrivna färjan “Elektra” i drift 2017, detta fartyg har dieseldrivna generatoraggregat för extra effekt när så behövs, t.ex. i de fall isläget kräver det (Knight, 2017; Laasma m.fl. 2022; Rasul och Kim 2024).



Figur 1. Modell av fartyget Yara Birkeland (placerad på USN)

Elektrifiering har även skett inom offshore-industrin och specialfartyg såsom bogserbåtar. Däremot har utvecklingen för transport av enhetslast, främst container, haft lägre utvecklingshastighet beträffande elektrifiering. Ett undantag är Yara Birkeland, ett helelektriskt containerfartyg (för 120 TEU) som utvecklats för att trafikera tre hamnar längs Norges kust: Herøya, Larvik, Brevik (Kongsberg, 2018). I samma område av Norge finns även två elektriska RoRo-fartyg, Asko Marit och Asko Therese. I Anwar m.fl. (2020)s genomgång av tidigare litteratur lyfts Norge och Danmark fram som ledande nationer inom elektrifiering av fartyg, följt av Sverige och några andra nationer.



Figur 2. Fartyget ASKO Therese i hamn i Horten i Norge

Det finns möjligheter för en högre grad av elektrifiering inom sjöfarten, hur stora möjligheterna är beror på typ av fartyg. Siljama (2023) undersökte potentialen för fartyg med anlöp i svenska hamnar att övergå till full batteridrift. Potentialen bedömdes utefter fartygens storlek, rutternas längd, laddkapacitet i infrastrukturen, samt skillnader i dödvikt vid en eventuell konvertering till batteridrift och elmotorer. Studien identifierade att nästan



23% av lastfartygen (inklusive nybyggen) har goda förutsättningar till att övergå till full batteridrift, där potentialen för containerfartyg är knappt 4%. Samtliga containerfartyg med goda förutsättningar befann sig inom storleksklasserna 0–1999 TEU. Det är värt att notera att arbetet visar på att ett fartygs energikonsumtion främst beror på hastighet, och att potentialen värderades utifrån fartygens befintliga rutter och hastighet.

I en rapport av Sjöling et al (2020) beskrivs hur ett batteridrivet containerfartyg för inlandssjöfart på Göta Älv mellan Göteborg och Trollhättan skulle kunna se ut. Det batteridrivna fartyget visade att det är möjligt att transportera ett stort antal containrar över långa sträckor med enbart el, dessutom med möjlighet till fem returesor per vecka (Santén et al, 2021). I en kostnadsanalys visades att det batteridrivna fartygskonceptet hade högre totalkostnad jämfört med traditionella inlandsfartyg (Dervishllari och Svemark, 2020). En utmaning var batteriernas korta livslängd som gjorde att de skulle behöva bytas ut flera gånger under fartygets livslängd, vilket bredvid kostnaden för elektriciteten är en av de stora utgifterna (Kyunghwa et al., 2016).

Fortfarande är det främst kortare sträckor som är helt batteridrivna, eftersom batterierna i många fall blir för stora och dyra för sträckor med längre överfartstider. På grund av laddningsbehov används företrädesvis hybrid snarare än helelektriska fartyg för långa sträckor (Anwar et al, 2020). För elektrifiering av längre sträckor är det viktigt att batteripriser minskar, energitätheten ökar samt att laddningstiden kan hållas kort. Batteribyte har diskuterats, t.ex. i Savard et al (2020), som diskuterar hur en möjlig användning av elektrifierade fartyg på ”Northern Sea Route” skulle kunna innebära att fartyget byter batterier i hamnar med tusen kilometers mellanrum.

Is

Eftersom fartyget ska trafikera Skellefteå kommer det vintertid behöva hantera is. Redan i förstudien (Rogerson m.fl. 2023) identifierades ett antal områden som påverkas av is. Fartyget behöver isklass 1A för att möta isrestriktioner i Skellefteå hamn, det måste ha en dödvikt (DWT) på minst 4 000 ton för att möta Sjöfartsverkets isrestriktioner i Bottenviken. Dess maskineffekt måste också dimensioneras efter kraven på isklass, högre framdriftseffekt när fartyget passerar genom is, och högre hotellast, bland annat på grund av lägre utomhus-temperatur. Energiåtgång beror på isens tjocklek och hur stor del av sträckan det finns is, samt på om fartyget går i en bruten isränna eller behöver bryta sig igenom fast is på egen hand. Det är stora skillnader mellan olika år, där isen skiljer sig åt väldigt mycket. Det får stora konsekvenser för energibehovet, där förstudien (Rogerson m.fl. 2023) visade nästan trettio procent högre energibehov för gång i tjock is en lång sträcka jämfört med gång i lätt is. För att kunna hantera trafik året runt behöver ett fartyg dimensioneras för värsta tänkbara utfall med avseende på mängd energi som bärs ombord. För ett till fullo elektrifierat fartyg är detta energi buren i batterierna och för en hybrid är det summan av energi i batterier och det valda alternativa bränsleslaget.

Användning av sjöfart

En tydlig ståndpunkt från regeringen har under många år varit att gods ska transporteras med järnväg och sjöfart i större utsträckning. Detta lyftes inte minst fram i den nationella godsstrategin (Regeringskansliet, 2018). Användning av sjöfart istället för vägtransporter är intressant eftersom koldioxidutsläpp beräknas minska med hälften för varje överflyttad tonkilometer med dagens tekniknivå (Sjöfartsverket, 2021).



Dock har företag har haft låg benägenhet att byta trafikslag (Lindgren och Vierth, 2017). Styhre m.fl. (2019) beskriver hinder och möjligheter för transportköpande företag att öka sin användning av sjöfart. Bland annat beskrev transportköpare att de inte prioriterar att byta trafikslag eftersom vägtransporter fungerar tillräckligt bra. Styhre m.fl. (2022) pekar på vikten av samverkan mellan transportköpande företag och transportutförare. Exempelvis är långa avtal mellan parter för att minska risker med investeringar viktigt. Ett exempel är upphandling av ett utsläppsfritt fartyg för transporter längs med Norges kust där Heidelberg Cement och Felleskjøpet AGRI samarbetar och tecknat ett 15-års time-charter kontrakt. Det behövs fler goda nationella exempel på hur aktörer i samverkan kan driva på omställningen.

Syfte

Projektet utreder möjligheterna för ett transportkoncept som inkluderar sjötransport med en hög grad av elektrifiering längs Sveriges kust, med fokus på transport mellan Norrland och Svealand, men med möjlighet att skala upp till andra rutter (t.ex. söderut) och andra godsflöden. Affärsmässiga och tekniska val beträffande fartygets utformning och dess operationer inkluderas.

Målet med projektet är ett transportkoncept som är intressant för såväl transportoperatör som varuägare och är ett bra underlag för realiseringsfasen och kan därmed korta tiden till realisering.

Specifikt undersöks frågeställningar kopplat till hur ett fartyg och dess transportsystem ska utformas för att möjliggöra elektrifierad framdrift i så stor utsträckning som möjligt, där andel laddström använd som bränsle på årsbasis maximeras samtidigt som trafiken bedrivs på ett sätt som är konkurrenskraftigt med alternativa transportvägar på land. I ”konkurrenskraftigt” inkluderas årskostnader, energiförbrukning, emission av växthusgas uttryckt i CO₂e och risk för störningar i godsflödet.

Studerad rutt och godsflöde är året-runt trafik med ett fartyg mellan Skellefteå och Södertälje där 55–60 containrar ska transporteras i veckan under 48 veckor per år. Mer detaljer ges i avsnitt Resultat.

Dessutom uttalar sig projektet om hur projektresultaten kan vara intressanta för andra rutter och aktörer utöver de som deltar i projektet, genom exempelvis att identifiera viktiga frågeställningar att hantera i liknande situationer samt relevans för andra godsflöden och rutter.



Bidrag till Triple F

Projektet tar ett steg mot omställningen till fossilfrihet i det svenska transportsystemet genom att utreda möjligheterna för ett elektrifierat transportkoncept för sjöfarten.

Projektet har undersökt möjlig godstransport mellan Norrland och Svealand för att ge relevant underlag för realisering. Det finns starka incitament hos industrin att nyttja projektets resultat för att möjliggöra elektrifierad sjöfart på kort sikt. På längre sikt är den nya kunskapen en förutsättning för uppskalning till ytterligare aktörer som kan verka på den svenska marknaden inom kust- och närsjöfart. Projektet genererar även kunskap om tillämpningspotentialen i närsjöfartsområde Östersjön också på kort sikt. På lång sikt kan en elektrifierad sjöfartslösning komma att tillämpas för både inrikes flöden längs hela Sveriges kuststräcka, samt för kustnära import och exportflöden som i dagsläget nyttjar landtransport genom Sverige. Även om projektet undersökt transport av container, kan delresultat vara intressanta för andra fartygssegment, såsom RoRo, general cargo och bulk.

Projektet bygger upp kunskap som är nödvändig för att snabba på realiseringen av elektrifierad sjöfart med ett angreppssätt som utgår från ett systemperspektiv inkluderande både teknikutveckling, affärsupplägg, infrastruktur och hur val inom dessa områden samverkar för att nå en framgångsrik lösning.

Klimatpåverkan för godsflöden på den specifika sträckningen Skellefteå-Södertälje kan i stort sett elimineras vid nyttjande av ett elektrifierat transportkoncept. Beräkningarna genomförda i projektet visar reduktionen av CO₂-emissioner jämfört med transport landvägen med lastbil driven på diesel MK3. En lastbilstransport ger vid ett godsflöde av 60 containrar per vecka under 48 veckor per år en total emission av 4 495 ton CO_{2e}/år. Det elektrifierade fartyget ELINORR drivet av 10 battericontainrar i kombination med ett alternativt bränsle genererar 32 ton CO_{2e}/år. Detta är en reduktion med 99% jämfört med referensalternativet. Samtliga analyserade alternativ visas i Tabell 1 nedan. Mer detaljer finns i avsnittet *Emissioner av växthusgaser* (Tabell 34; Figur 58).

Tabell 1. Beräknade emissioner av CO_{2e} för ett urval av de analyserade transportkoncepten och bränslevalen.

	Antal batteri-containrar	Ton CO _{2e} /år @ 60 containrar/vecka	Reduktion jmf. referens, %
Lastbil diesel MK3 (referens)	-	4 495	-
Lastbil diesel MK1	-	4 402	-2%
Lastbil HVO	-	930	-79%
Intermodal: Tåg + Lastbil HVO	-	480	-89%
Intermodal: Tåg + Lastbil biogas	-	417	-91%
	0	159	-96%
Fartyg, DF (MeOH+HVO)	5	85	-98%
	10	32	-99%
	15	23	-99%

Emissionerna från fartyget mätt i absolutnivå beror på antalet bräna battericontainrar och val av tillsatsbränsle till laddström (se Figur 56). Däremot för emissionsreduktionen ses mindre skillnad.



Observera att de beräknade emissionerna för fartygstransporten inte innehåller emissioner från extra behövd energianvändning vid gång i is. För ett år med lindrig is bör dock detta vara mycket lågt och de angivna värdena stämmer då relativt bra. Energianvändning vid gång i is kommer dock att analyseras och särredovisas i det parallella projektet *Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden*.

Projektet visar även på att konceptet med en elektrifierad lösning i kombination med alternativa bränslen i förhållande till en HVO-driven vägtransport är ekonomiskt konkurrenskraftigt, vilket visar på realiserbarheten. ELINORR-fartyget är därmed ett viktigt exempel på att elektrifiering har en potential att realiserats för ett fraktfartyg med en så pass lång räckvidd. Att kombinera eldrift med alternativa bränslen för att nå en fossilfri sjöfartslösning kan appliceras i närsjöfartslösningar för olika fartygssegment, storlekar och räckvidder. Angreppssättet och metodiken för att ta fram ELINORR-fartyget är tillämpbar för att förstå potentialen i elektrifiering inom sjöfarten och hur olika energi- och framdrivningsalternativ kan kombineras.

På längre sikt bidrar därmed projektet med ny kunskap som är relevant för en bred tillämpning av elektrifierad sjöfart, både längs Sveriges kuster eller i det geografiska närområde som är inom en räckvidd för ett mindre elektrifierat fartyg, inom Östersjöområdet eller Nordsjön. Som jämförelse planeras ELINORR operera 465 nautiska mil enkel väg, vilket motsvarar 860 km. Motsvarande sträckningar utanför Sveriges gränser gör det möjligt att nå Sveriges kuster från exempelvis Finland, Baltikum, Polen, Tyskland, Danmark eller Norge. Då majoriteten av de gränsöverskridande transportererna sker med sjöfart är det intressant att se vilka möjligheter som framtida gröna sjöfartslösningar kan ha för att förlänga sjöfartsbenet - i linje med resonemanget i projekt "Förlängda sjöben" (Stelling m.fl. 2019). Här handlar det alltså om en potential att nyttja sjöfart längre sträckor och på så sätt minimera landtransporten, vilket kan drivas av att en grön försörjningskedja på sjön kan erbjudas varuägarna med hjälp av elektrifierad sjöfart. En grön sjöfartslösning kan även bidra till en överflytt från väg till sjö nationellt, då en konkurrenskraftig grön sjöfartslösning förväntas attrahera mer volymer att nyttja sjöfart och därmed ha en direkt påverkan på att minska transportarbetet på land och dess relaterade emissioner. Projektets resultat förväntas påverka flera indikatorer i Triple Fs systemuppföljning, i en riktning som verkar för omställningen till fossilfrihet:

- 1) **Förnybar energi i transportsektorn:** elektrifierad sjöfart med batteridrift som laddas med grön el i stället för fossildriven sjö eller vägtransport gör att andelen förnybar energi i transportsektorn ökar.
- 2) **Användning av fossila bränslen i förhållande till totalt använd energi:** elektrifierad sjöfart med batteridrift som laddas med grön el i stället för fossildriven sjö eller vägtransport gör att andelen fossila bränslen minskar i förhållande till totalt använd energi.
- 3) **Utveckling av växthusgasutsläpp för inrikes godstransporter:** elektrifierad sjöfart med batteridrift som laddas med grön el i stället för fossildriven sjö eller vägtransport med tillämpning inrikes transporter minskar växthusgasutsläppen för inrikes godstransporter.
- 4) **Trafikslagets andel av godstransportarbetet:** elektrifierad sjöfart med batteridrift som laddas med grön el förväntas öka andelen volymer som väljer inrikes sjöfart istället för fossildriven sjö eller vägtransport.



Genomförande

Projektet har genomförts i ett antal arbetspaket som arbetat parallellt och samordnats i ett transportkoncept.



Figur 3. Olika delperspektiv som skapar transportkonceptet

Fartygsutveckling

En förstudie genomfördes under 2021 där grundläggande förutsättningar togs fram. Det inkluderade bland annat lastflöde och operationsprofil och grundläggande parametrar kring fartygets storlek, arrangemang och energibehov. Utvecklingsarbetet av fartyget byggde i hög grad på data från fartyg i liknande storlek. Genom det kunde ett första koncept tas fram och utvärderas. Deltagarnas stora intresse möjliggjorde en fortsättning av projektet. Resultatet från förstudien är på så sätt utgångspunkten för den vidare studien (ELINORR).

Utvecklingsmetod är motsvarande den som användes i förstudien (Rogerson m.fl. 2023) men med ytterligare iterationer, fler delar och djupare analys i varje steg. Metoden är iterativ och dess huvudkomponenter så som applicerade framställs i Figur 4.

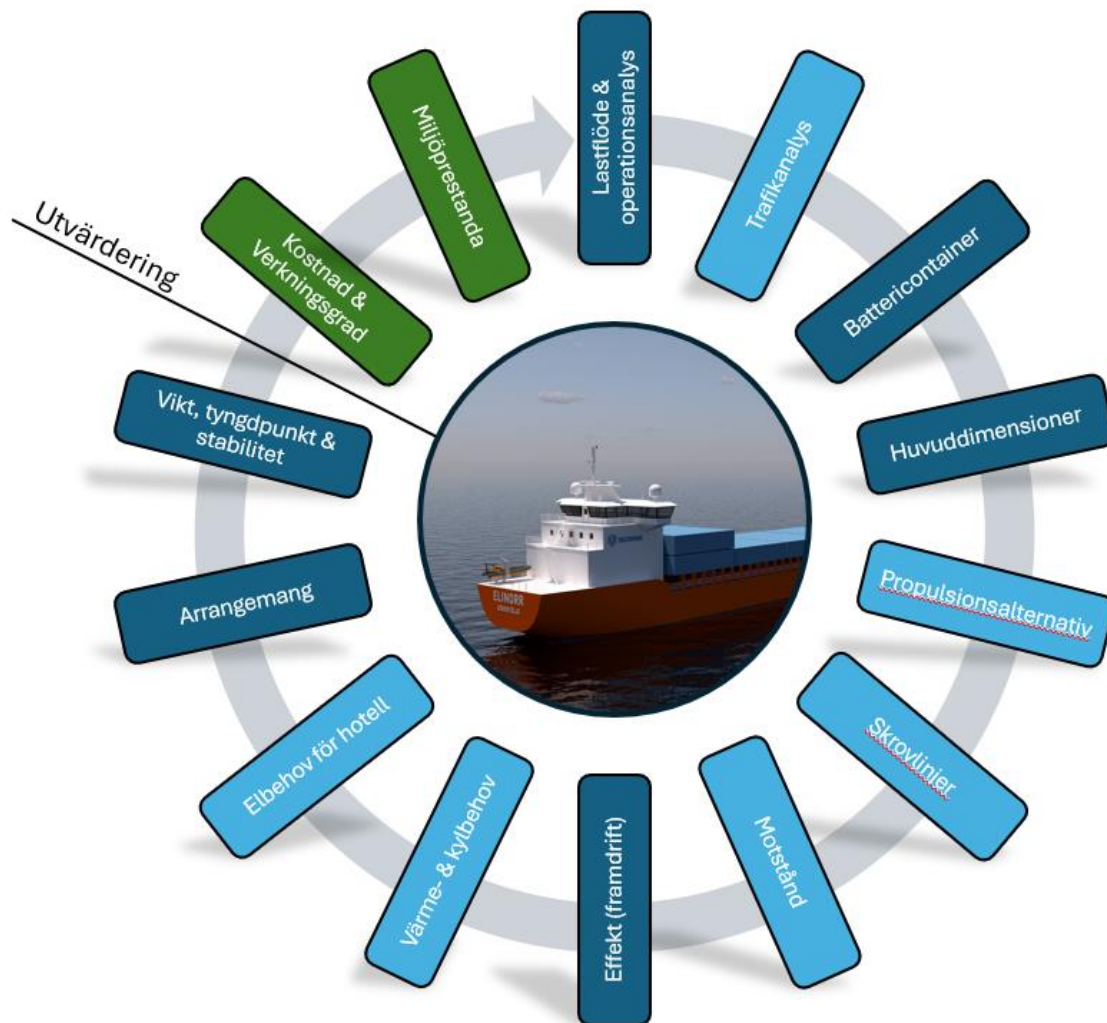
En grundläggande parameter för kostnadsoptimering har varit antal battericontainer. Alla designval har grundat sig att uppnå så hög verkningsgrad som rimligt möjligt, både för skrov, maskineri och propulsion.

Vissa delar av designkomponenterna har utvecklats tillsammans med projektpartners. Beräkningar för effekt för framdrift har genomförts av Berg Propulsion. Wallenius Marine har bidragit med kommentarer på fartygsdesignen.

Ett fartyg är ett komplext system att utveckla, med många parametrar och designval som påverkar varandra och fartygets utformning. För att kunna ta hänsyn till alla variabler följer traditionell fartygsdesign en iterativ process som liknas vid en spiral. Den börjar med en preliminär basis och ungefärliga parametrar, som längd och bredd, baserat på grundläggande



fraktbehov. Oftast utgår konceptet från ett referensfartyg med liknande operationsprofil. Därefter övervägs propulsionsalternativ, skrovlinjer, effektkrav, arrangemang och vikt, och första varvet på spiralen är färdigt. Vidare upprepas processen och för varje iteration blir designen mer specifik. Preliminära stabilitets- och viktkalkyler kommer i ett tidigt skede i processen, då dessa är viktiga parametrar när det gäller upphandling, kostnader och varvskontrakt. Efter att varvskontraktet sluts itereras designspiralen ytterligare med grundläggande design och följande mer specifik produktionsdesign som ger färdiga ritningar och diagram för tillverkning.



Figur 4. De huvudsakliga komponenterna som ingått i metodiken för ELINORR med avseende på fartygsutveckling.

Fartygskonceptet ELINORR har utvecklats enligt de inledande varven i designspiralen. Figur 4 beskriver alla steg i iterationsprocessen. De ljusblå delarna i figuren visar områden som lagts till i slutkonceptets utveckling jämfört med förstudiens. De mörkblå lådorna har genomgått ytterligare iterationer, medan de gröna delarna i figuren beskriver utvärderingskriterierna.



Avgränsningar

Arbetet har begränsats av de ekonomiska förutsättningar som finns med avseende på utveckling av fartyget. I praktiken innebär det att en översiktlig beskrivning (s.k. *outline description*) av fartyget har tagits fram med fokus på elektrifieringen. Den översiktliga beskrivningen ska inte ses som en komplett specifikation över hur fartyget ska byggas, utan ytterligare arbete behöver genomföras för att fastslå tekniska detaljer och slutgiltiga ritningar, framför allt med avseende på delar som inte rör den elektriska framdriften.

Utgångspunkt

En förstudie genomfördes under 2022 där grundläggande förutsättningar togs fram. Den inkluderade bland annat lastflöde, operationsprofil och grundläggande parametrar kring fartygets storlek, arrangemang och energibehov (Rogerson m.fl. 2023). Utvecklingsarbetet av fartyget byggde i hög grad på data från fartyg i liknande storlek. Genom det kunde ett första koncept tas fram och resultatet utvärderas tillsammans med inblandade projektdeltagare. Intresset från deltagarna var stort och utfallet från utvärderingen var positivt med tillräckligt hög precision för att låta genomföra en fortsättning av projektet. Resultatet från förstudien är på så sätt utgångspunkten för den vidare studien (ELINORR).

Vidareutveckling av fartyget

Den iterativa metoden som använts i förstudien utvecklades med fler steg och fler iterationer i ELINORR. Data som producerats i förstudien granskades ytterligare för att bekräfta att utgångspunkterna inte har förändrats, framför allt med avseende på last och flöde. I vidareutvecklingen av fartyget har tekniska detaljer arbetats fram med mycket högre precision än tidigare genom att ta fram ett skrovkoncept som är designat för det efterfrågade arbetet snarare än baserat på liknande fartyg i ungefär samma storlek.

Beskrivning av outline description

Projektet har tagit fram en översiktlig beskrivning (s.k. *outline description*). Den översiktliga beskrivningen ska ses som ett arbetsdokument som beskriver fartygets tekniska specifikation innehållandes funktionella- och preskriptiva krav. Den är en delmängd i arbetet mot att ta fram den översiktliga specifikationen (s.k. *outline specification*). Funktionella krav beskriver *vad* som ska uppnås, medan preskriptiva krav beskriver *hur* något ska genomföras. Arbetsprocessen i att bygga fartyget förväntas utveckla en översiktlig specifikation för att kunna gå vidare till en anbudsspecifikation (s.k. *tender specification*) med en komplett grundläggande design (*basic design*). Förfarandet innebär att innehållet iterativt utvecklas över tid mot en högre andel preskriptiva krav. Vid upphandling av varv eller underleverantörer för byggnation används en kombination av funktionskrav och preskriptiva krav.

Fartygsprojekteringen inom ELINORR fokuserar på storskalig elektrifiering och begränsas av projektets omfång. Områden som inte avsevärt påverkar storskalig elektrifiering beskrivs med funktionella krav jämfört med de delar som innehåller projektets fokus.

Se bilaga Outline Description för den översiktliga beskrivningen.



Kommersiellt perspektiv

Dialogmöten med representanter för varuägare och transportutförare har genomförts kontinuerligt under projektperioden. Möten har skett dels i grupp och dels enskilt med respektive aktör. Viktiga frågeställningar som behandlats har varit kravställning, potentiella volymer, alternativ för affärsupplägg, kostnader, risker och andrahandsmarknad.

Dessutom har möten genomförts med ytterligare aktörer som bidragit med viktig kunskapsinhämtning, såsom rederitjänstemän, försäkringsbolag, advokatbyrå, fartygsfinansiär, skeppsmäklare och hamnar.

För att bygga upp en så korrekt och välunderbyggd kostnadsmodell som möjligt har möten, intervjuer och dialog genomförts med båda hamnarna, transportköparen, två rederier, representanter för lotsområden, leverantörer av system och komponenter, reparationsvarv, försäkringsbolag, långgivare samt Sjöbefälsföreningen.

Beräkning av CO_{2e}-emissioner och energiförbrukning

I samarbete med projektdeltagaren Berg Propulsion och AP1 Fartygsutveckling har energiförbrukningen för ett års operation med statistiskt typiskt väder genomförts. Denna beräkning inkluderar inte den extra energi som behövs för gång i is, vilket undersöks i det parallella projektet *Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden*. Beräkningarna har genomförts med ansatser på mellan noll till tjugo batterimoduler (i containrar) ombord för att kunna användas som underlag för kostnadsberäkningar och emissionskalkyler. De framtagna värdena för årlig energiförbrukning och emissioner av växthusgaser jämförs med värden för olika transportkoncept på land erhållna från projektdeltagaren Scania.

Risakanalys

Risakanalys har fokuserat dels på risker relaterat till regelverk och standarder kopplat till fartygskonceptets design och utförande. En riskanalys har gjorts där det föreslagna konceptet har jämförts med de viktigaste av de styrande regelverken från IMO, klassällskap och flaggstat. Resultatet av detta har i en intern rapport delgivits AP1 fartygsutveckling. Dessutom har arbete genomförts avseende operationella risker och fartygets utformning. En projektintern granskning har genomförts i syfte att försöka identifiera risker som skulle kunna påverka det önskade godsflödet negativt. Analys har gjorts av hur stora marginaler som finns att tåla störningar eller fel med så små effekter på godsflöde och önskad tidtabell som möjligt.

Infrastruktur

Möten med hamnar har genomförts för att kartlägga eventuella utmaningar kopplat till operationer, samt laddningsmöjligheter i hamnar och dess tekniska och finansiella lösningar. Genom att kombinera projektmedlemmars gedigna expertis med återkoppling från hamnar har projektet kunnat besvara frågor kring infrastruktur och investeringsmöjligheter som ett steg mot en realiserbar lösning för konceptet ELINORR och liknande framtida fartygskoncept.



Transportkoncept

Transportkonceptet har knutit samman arbetet inom de övriga områden då det funnits beroenden mellan arbeten och val. Framför allt har flera workshops genomförts som samlat deltagare som arbetat i samtliga andra arbetspaket. Diskussioner vid dessa workshops har fokuserat på: Behov och kravställning, viktiga val, olika alternativ och slutgiltigt resultat. Dessutom har ett studiebesök genomförts ombord på det norska elektrifierade fartyget ASKO Therese.

Det har varit viktigt att inkludera flera av de viktiga aktörerna som kan implementera resultaten. I projektet har därför deltagit

- a) **varuägare**, med gods att transportera och som drivs av att minska CO2-utsläpp och elektrifierade lösningar,
- b) **transportoperatörer**, som genom sina erfarenheter av att transportera gods på svenska vatten bidragit med affärsmässiga frågeställningar, även om inte någon specifik transportoperatör pekats ut för kommande uppdrag
- c) **teknikleverantörer**, som bidragit med olika aspekter av teknisk utveckling för fartyget, såsom framdrivning och propeller,
- d) **infrastrukturaktörer**, såsom hamn, som behövs för att det ska gå att ladda fartyget.

Resultat

Följande kapitel redovisar de resultat och slutsatser som dragit i projektet, vilket inkluderar bland annat förklaringsmodeller för transportupplägget och fartygsutveckling och redovisande av fartygskonceptet inom ramen för projektet. Vidare klargörs kommersiella aspekter, så som finansiella val och möjliga affärsupplägg, och risker med dessa. Slutligen har miljöpåverkan beräknats med avseende på fartygskonceptets energiförbrukning och emission av växthusgasekvivalenter från använd energi. Eftersom resultatkapitlet är omfattande ges nedan en översikt för att hjälpa läsaren.

GODSTRANSPORT

SÖDERTÄLJE - SKELLEFTEÅ

- Godsflöde
- Avvikelse från grundflödet
- Kravbild
- Operationsprofil

FARTYGSUTVECKLING

- Fartygets huvudparametrar och klass
- Skrov och propellerarrangemang
- Lastutrymme
- Maskin-, drivlina och motorarrangemang
- Batterisystem
- Elektrisk huvudtavla
- Energibehov
- Skrovmotstånd
- Bränsleval

KOMMERSIELLAASPEKTER

- Partnerskap för transportlösningen
- Stycke gods eller befaktning
- Finansiering av fartyget
- Försäkringsfrågor och panträtt vid batterileasing
- Dedikerat upplägg eller ytterligare volym
- Möjliga affärsupplägg
- Containerar
- Avtalets komponenter
- Digitala lösningar för operativ effektivitet
- Kostnadskalkyler
- Andrahandsvärde

RISKANALYSER

- Risker relaterade till kravuppfyllnad av formella regelverk
- Risker relaterade till störningar i godsflödet
- Risker relaterade till kostnadsbild jämfört med transportalternativ

BERÄKNING AV MILJÖPÅVERKAN

- Energiförbrukning
- Elenergibehov beroende på val av antal battericontainers
- Emissioner av växthusgaser / CO₂e

INFRASTRUKTUR

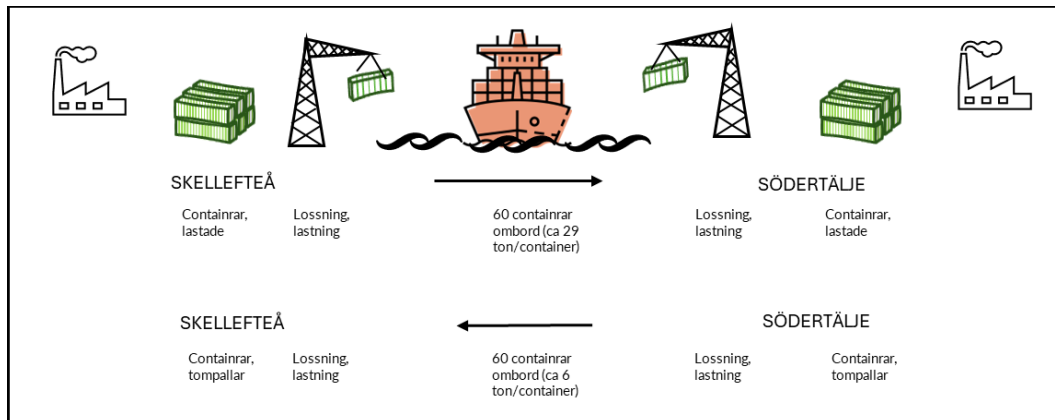
- Hamnarna Södertälje och Skellefteå
- Riskbaserad lotsplikt och farled
- Framtida utveckling av landström i hamnarna
- Regelverk
- Teknisk infrastruktur och operativa krav
- Avgiftsmodeller för OPS
- Nyckelfrågor inför investering av infrastruktur



Godstransport Södertälje - Skellefteå

I grunden handlar det om att ett antal containrar ska transporteras med last från Skellefteå till Södertälje. Där töms containrarna och fylls med tompallar för returtransport tillbaka till Skellefteå. Figur 5 visar en överskådlig bild av godsflödet. Behoven för godstransport diskuterades tidigt i projektet. Grundläggande önskemål från de ingående varuägarna inkluderar:

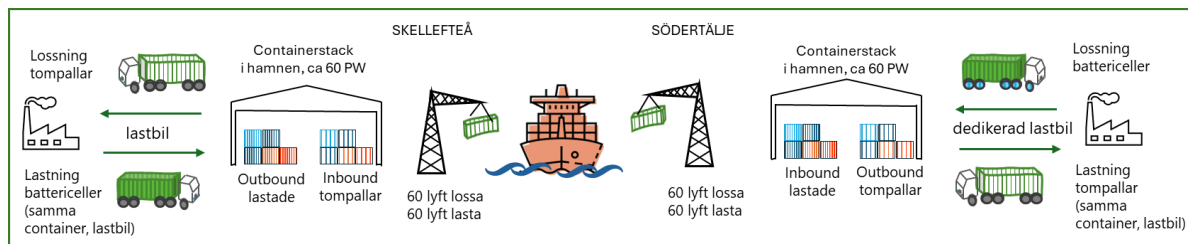
- Transporten ska vara sjöburen.
- Transporten ska till stor del vara elektrifierad.
- Avgång från Skellefteå till Södertälje 1 gång per vecka.
- Avgång ska ske 48 veckor om året, dvs året runt med uppehåll för 4 veckor på sommaren.
- Lasten består av containrar, med ett relativt stabilt flöde av 60 stycken pallet-wide 40-fotscontainrar.
- Lika många containrar transporteras i båda riktningar. I södergående riktning väger de mer, medan de i norrgående flöde väger mindre och innehåller tompallar som behövs för kommande lastning.



Figur 5. Överskådlig bild av godsflödet

Godsflöde

Flödet mellan avsändare och mottagare inkluderar även landbaserad transport där containrar transporteras till och från hamn, detta kan beskrivas enligt Figur 6 och efterföljande beskrivningar av varje moment.



Figur 6. Bild av godsflödet inklusive transport mellan fabrik och hamn.

Avsändande fabrik: En lastbil hämtar en pallet wide (PW) 40-fotscontainer i hamnen som innehåller tompallar avsedda för packning av battericeller. Containern körs till fabriken och tompallar lastas ur. Vid fabriken i Skellefteå fylls samma container med battericeller. När containern är färdiglastad kör lastbilen den till Skellefteå hamn alternativt lagringsyta i närheten av hamnen. Under veckan levereras 60 stycken lastade PW 40-fotscontainrar till hamnen.

Avsändande hamn: I hamnen står samma dag som fartyget ska anlända 60 stycken lastade PW 40-fotscontainrar. När fartyget anländer till hamnen har det redan 60 likadana containrar ombord, fast lastade med tompallar. Dessa containrar lossas vilket innebär 60 lyft. Dessutom lastas 60 containrar ombord vilket innebär 60 lyft. Det innebär totalt 120 lyft för hamnen. Inkommande containrar ställs på samma uppställningsyta där de lastade stod. Det behöver vara uppmärkt var lastade containrar respektive containrar innehållande tompallar står för att undvika hopblandning.

Transport med fartyg: Fartyget avgår med 60 containrar ombord. Transporten tar ca 65 timmar.

Mottagande hamn: I hamnen står samma dag som fartyget ska anlända 60 stycken pallet wide 40-fotscontainrar innehållande tompallar. När fartyget ankommer Södertälje lossas de 60 containrarna som innehåller battericeller, vilket innebär 60 lyft. Dessutom lastas 60 containrar med tompallar ombord vilket innebär 60 lyft. Det innebär totalt 120 lyft för hamnen. Inkommande containrar ställs på samma uppställningsyta där de som innehöll tompallar stod. Det behöver vara uppmärkt var lastade containrar respektive containrar innehållande tompallar står för att undvika hopblandning.

Mottagande fabrik: En lastbil hämtar en lastad PW 40-fotscontainer i Södertälje hamn. Containern körs till fabriken och battericeller lastas ur. Vid samma tillfälle lastas containern med tompallar. När containern är färdiglastad kör lastbilen den till Södertälje hamn. Lastbilen kör i skytteltrafik så att under en vecka hämtas 60 stycken lastade pallet wide 40-fotscontainrar containrar och levereras tillbaka till hamnen innehållande tompallar.

Avvikelse från grundflödet

Första gången fartyget sätts i trafik, eller efter ett uppehåll kommer flödet att se lite annorlunda ut. Inför igångsättande av trafiken behöver man beakta positionering av tomcontainrar. 180 containrar behövs totalt (60+60+60). Containrarna är dedikerade till flödet och behöver första gången positioneras till Skellefteå samt Södertälje. Till Skellefteå behövs 60 stycken containrar för att få igång flödet samt därefter 60 tomcontainrar för andra veckans produktion. Till Södertälje behövs 60 tomcontainrar redo att skickas norrut. Den allra första positioneringen av 60 tomcontainrar till Skellefteå kan ske med fartyget eller med landburen transport. Då man inte vill ha ett fartyg liggande i Skellefteå i en vecka för



att vänta på att containrar fylls från fabriken, ses positioneringen som ett undantag vid första tillfället som troligen löses med annat transportsätt. Tompallar av specifikt mått finns hos Northvolt.

Om man bortser från en eventuell positioneringsresa för de första 60 tomcontainrar till Skellefteå så kommer första gången fartyget anlöper Skellefteå bära ytterligare 60 stycken tomcontainrar. När fartyget anlöper behöver det finnas 60 stycken lastade containrar stående i hamnen. Vid detta första anlöp i Skellefteå lastas 60 containrar innehållande battericeller ombord. Det behöver också finnas 60 tomcontainrar ombord som kan lastas i fabriken följande vecka. Därmed blir det 120 lyft. Fartyget kör sedan till Södertälje, där de 60 containrarna lastas av. Samtidigt lastas 60 tomcontainrar ombord. Vid nästa resa är det återkommande flödet etablerat. I Södertälje körs containrar med last till fabriken och returneras till hamnen lastade med tompallar.

Inför ett uppehåll, t.ex. för fartygsunderhåll, eller sommaruppehåll i produktion, lämnas 60 stycken extra containrar i hamn. Mest troligt är att uppehållet tas efter att man lastat av containrar fyllda med battericeller i Södertälje, men att man då inte lastar ombord några tomcontainrar. Därmed behöver trafiken, när den återupptas inledas med lastning av 60 tomcontainrar i Södertälje för transport till Skellefteå. Därefter är det återkommande flödet återetablerat. Det behöver finnas utrymme för ytterligare 60 containrar i hamnen, dvs totalt 120st. Det är förstås inte nödvändigt att starta uppehållet efter leverans till Södertälje utan på liknande sätt kan uppehållet startas efter leverans av tompallar till Skellefteå. Dock är inte varv som fartyget kan komma att behöva besöka under uppehållet placerade i norra Sverige, varför ett uppehåll efter Södertälje skulle minska transportsträckan.

Kravbild

Flera faktorer har varit viktiga att samordna mellan fartygsutveckling, kommersiellt perspektiv, infrastruktur och riskanalys. Utöver beskrivning av vardera faktorn nedan listas samtliga i Figur 7 och val sammanfattas i Figur 8.

Hamnar att anlöpa	Frekvens	Typ av last
Dödvikt	Lastkapacitet	Dimensioner
Bränsle	Placering av batterier för framdrift	Väder

Figur 7. Faktorer som påverkar en kravbild för utvecklingen av ett fartygskoncept.

Hamnar att anlöpa: påtänkta hamnar har behövt undersökas för att det inte ska finnas några begränsningar baserat på fartygets utformning att anlöpa, exempelvis djupgående. Dessutom har antalet hamnar som anlöps påverkan på hastigheten för att upprätthålla den önskvärda frekvensen med avgång 1 gång per vecka från Skellefteå. Vilka hamnar har också diskuterats ur synvinkeln att komplettera med ytterligare godsvolymer. Efter diskussion i



projektgruppen fattades beslut att transportkonceptet i detta projekt endast anlöper Skellefteå och Södertälje. Dock undersöktes förhållanden i några ytterligare hamnar för att inte begränsa ett eventuellt användande av fartyget på andra rutter senare i fartygets livslängd.

Lastkapacitet: En stor del av diskussionerna har handlat om vilka godsvolymer som kan förväntas. Projektgruppen har försökt utforska om basflödet mellan fabriker i Skellefteå och Södertälje kunnat kompletteras med andra godsflöden. Ur ett kommersiellt perspektiv vore det bättre med högre godsvolymer och därmed högre lastkapacitet för att få skalfördelar. Dock är detta under förutsättning att ytterligare last hittas. Annars blir det mindre effektivt att köra med ett fartyg som inte utnyttjar sin lastkapacitet. Ur fartygsdesign-perspektiv är ett större fartyg att föredra för operation i is och en större lastkapacitet ger lägre energiåtgång per transporterad lastenhet, medan ett mindre fartyg har lägre effektbehov. Det har varit en komplicerad fråga där projektgruppen efter långa diskussioner landat i att designa fartyget för den kända lasten med möjlighet att lägga till lite ytterligare last och med hänsyn till att isklassrestriktionerna i Bottenviken kräver 4000 dwt.

Typ av last: för utformningen av fartyget hade det varit stor skillnad vilken godstyp som fartyget designas för. Det bestämdes därför ganska tidigt i projektet att utgå från den kända lasten och enbart designa fartyget för containerlast.

Hamnar att anlöpa	Skellefteå och Södertälje
Frekvens	Veckovis avgång från Skellefteå 48v/år
Typ av last	40-fots PW containrar, med möjlighet att bära bulklast
Dödvikt	>4 000 ton
Lastkapacitet	Minst 60st 40-fots PW containrar, gärna några fler
Dimensioner	40-fots PW containrar påverkar kravet, befintlig fartygsdata används, maxlängd 90m.
Bränsle	El samt backup-bränsle HVO eller metanol+HVO
Placering av batterier för framdrift	I containrar
Väder	Året runt, inklusive is

Figur 8. Översikt sammanställd kravbild för konceptet ELINORR.

Lättvikt: Som utgångspunkt har man använt referensfartygsdata från RISE och SSPA tidigare projekt. Fartygets lättvikt har estimerats med att använda referensfartygsdata med liknande dimensioner och isklass 1A och interpolera värden för att få så noggrann uppskattning som möjligt.

Dödvikt: Fartyget har en dödvikt över 4000 DWT som verifierats med stabilitetsberäkningar. Sjöfartsverket ställer tonnagekrav för skeppning i Norrland enligt



isklass och tid på året. Fartyg med isklass 1A och tonnage över 4000 DWT undviker trafikbegränsningar i Bottenviken och Bottenhavet.

Dimensioner: Krav på flödet består av 60 pallet wide 40-fot ISO-containerar. Detta ligger som grund till fartygets dimensioner. Befintlig RISE och SSPA fartygsdata har använts som grund till dimensionering. Längden har valts hållas under 90 meter, som möjligen ger en befrielse på lotsplikt i vissa hamnar (dock ej Södertälje).

Bränsle: Valet av bränsle för att komplettera batteridriften under vintertid eller vid annat extremväder har tagit utgångspunkten i att minimera växthusgasutsläppen. Fossil diesel är inte ett alternativ för fartyget även om det skulle vara lösningen med lägst kostnad. Kostnaden för att transportera godset med ELINORR jämförs med fossilfria alternativ på land så som godståg och lastbil (elektrifierade eller med förnybar diesel).

Placering av batterier för framdrift: ej integrerade utan i containerar som anpassas efter fartygets behov och det finns möjlighet att lyfta av och på

Dessutom har följande krav varit grundläggande:

Väder: Fartyget ska kunna fungera i alla väder. Detta innebär att det ska ha tillräcklig batterikapacitet eller bränsle ombord för att kunna ta sig fram utan en försening som inte kan köras i kapp. Det innebär också att fartyget behöver vara isklassat för att hantera vintern.

Frekvens: Veckovis avgång har varit ett skall-krav från mottagande fabrik. Detta har påverkat andra val, såsom hastighet. Kravbildningen sätts med hänsyn till industrisemester, så fartyget ska gå veckovis 48 veckor om året, med avbrott under 4 veckor på sommaren.

Operationsprofil

I Tabell 2 redovisas ruten fartyget seglar i förhållanden utan is samt hur fartygets operationella profil ser ut över en vecka. Totala sträckan under en vecka beräknas till 930 nautiska mil. Ruttens längd är avgörande att ta hänsyn till under fartygskonceptets utformning och dess krav på kapaciteten för batteriframdrift.

Tabell 2. Fartygets operationella profil över en vecka.

Delsträcka	Sträcka(nm)
Lasta i Skellefteå	-
Utsegling	15
Transit till Södertälje	418
Insegling	32
Lossa i Södertälje	-
Lasta i Södertälje	-
Utsegling	32
Transit till Skellefteå	418
Insegling	15
Lossa i Skellefteå	-
Summa	930



Fartygsutveckling

Vid utvecklingen av ett fartyg finns många parametrar och designval som påverkar varandra och fartygets utformning. Den iterativa processen beskrivs under avsnittet Genomförande. Detta delkapitel tar fram de centrala designparametrarna och beskriver mer i detalj de olika val som gjorts för att landa i det slutliga fartygskonceptet. Fartygskonceptet ELINORR presenteras i sin helhet tidigt i nedan kommande avsnitt, efterföljt av fördjupande avsnitt beskrivandes de tekniska lösningarna hos fartyget i mer i detalj inklusive: huvudparametrar, skrov och propellerarrangemang, lastutrymme, batterisystem, elektrisk huvudtavla, energibehov och skrovmotstånd. Fartygsprojekteringen inom ELINORR fokuserar på storskalig elektrifiering och begränsas av projektets omfång. Områden som inte avsevärt påverkar storskalig elektrifiering beskrivs med funktionella krav jämfört med de delar som varit fokus i projektet. Projektet har tagit fram en översiktlig beskrivning (outline description) i bilaga 1.

Vid sidan av fartygskostnad är anskaffningskostnad för batterier den enskilt största kostnaden, särskilt vid hög grad av elektrifiering (många batterier). Därmed har det varit viktigt med lågt energibehov som minskar behovet av batterier. Ett fartygs energiåtgång påverkas av hydrodynamiska parametrar, såsom skrovets utformning, t.ex. tröghetskrafter. En rapport från Lighthouse (Hägg m.fl. 2018) poängterar att vikt, storlek och placering av batteri spelar roll för fartygets stabilitet och hydrodynamiska motstånd. Verkningsgrad av skrov och framdrift är mycket viktigt för energibehov. Ett skrovkoncept är framtaget, designat för ett elektrifierat fartyg och arrangemang valt för hög verkningsgrad genom vattnet.

Fartygets huvudparametrar och klass

Fartygets huvuduppgift är att transportera last mellan hamnarna Skellefteå och Södertälje. Krav på flödet består av 60 stycken pallet wide 40-fots ISO-containrar. Lasten behöver kunna lämna Skellefteå veckovis årets alla veckor vilket även inkluderar vintersäsongen med restriktioner från is.

För att klara huvuduppgiften och de grundläggande krav som ställs kring denna har ett fartygskoncept (Figur 9, Figur 10) och en operationsprofil tagits fram. Fartygets huvudparametrar ses i Tabell 4. Fartygets dimensionering, designval och klassnoteringar baserar sig på centrala grundläggande krav och operationsprofil:

- Så låga utsläpp som möjligt men fortfarande konkurrenskraftigt gentemot landtransport, där låg energiförbrukning är en viktig del.
- Operation under vintertid i isförhållanden med batteri-hybrid propulsion.
- Möjligast hög utsträckning att använda laddström som bränsle för året runt trafik på ett sätt som är konkurrenskraftigt med alternativa transportmetoder på land.
- Den längsta sjörutten i världen (930 nm) som drivs av batteri-el (hittills).
- Brandsäkerhet (batterier och frakt av battericeller), navigation i kustnära områden och manövrering
- Egenskaper som förenklar att erhålla lotsdispens (se avsnittet *Riskbaserad lotsplikt och farled*)



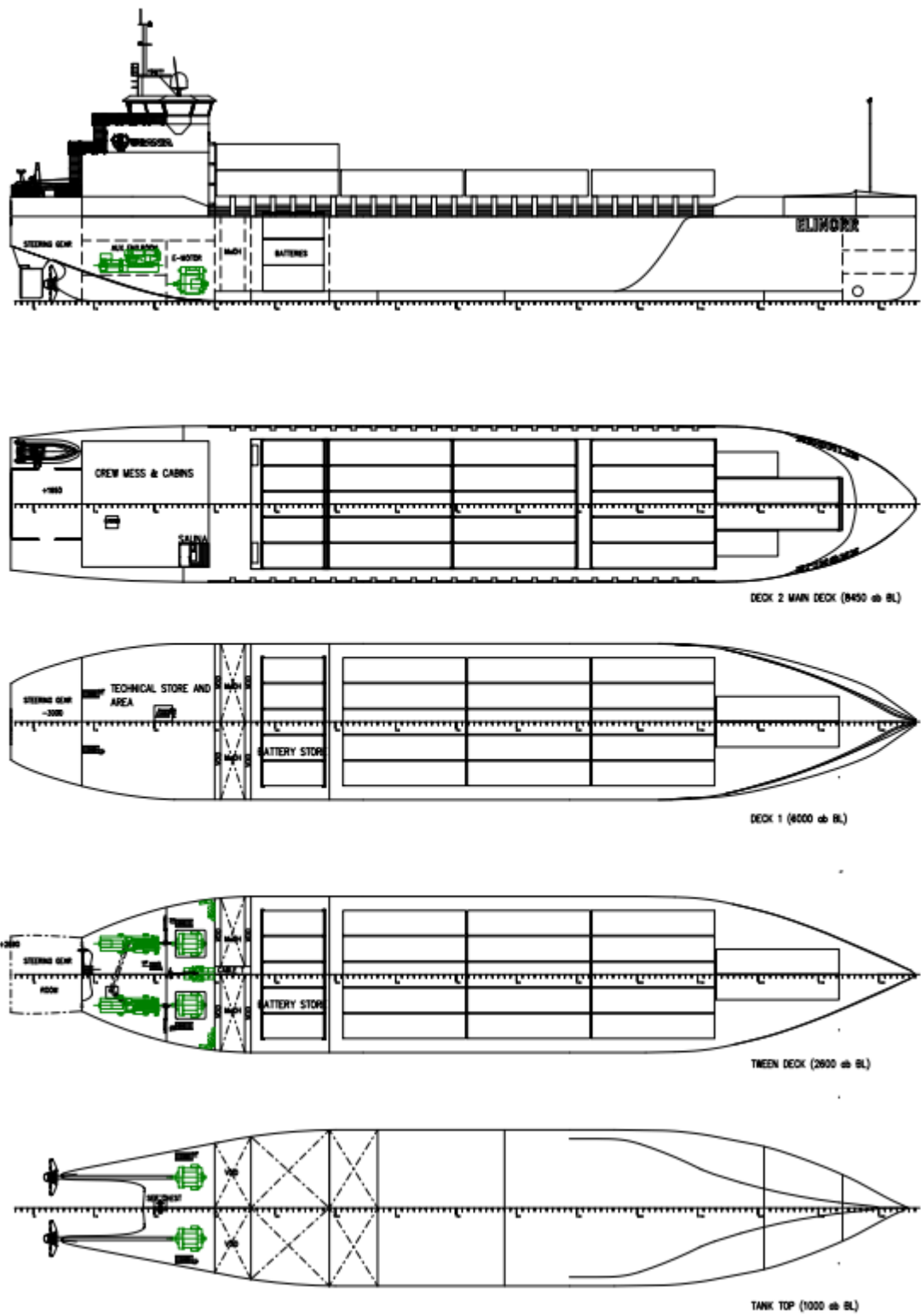


Figur 9. En översiktbild på fartygskonceptet med last ovanpå lastluckorna.

Fartyget föreslås byggas mot följande DNV klassnoteringar eller motsvarande hos annat internationellt klassningssällskap som är medlem i IACS: *DNV + 1A General dry cargo ship Container E0 Ice(1A) Battery(Power) Shore power*. Utöver det föreslås även klassnoteringar: *LFL()*, *Strengthened (IB)*, *TMON()*. En beskrivning av klassnoteringarna finns i Tabell 3, hämtade från DNVs klassregler (2024).

Tabell 3. Klassnoteringar med beskrivning.

Klassnotering	Beskrivning
1A	Designad och konstruerad enligt klassregler
General dry cargo ship	Konstruktions och säkerhetskrav för fraktfartyg
Container	Säkerhetsregler för containerfartyg
E0	Konstruktionskrav för periodvis obemannade maskinutrymmen
Ice(1A)	Fartyget skall kunna göra minst 5 knop i en ränna med krossis av tjocklek 1,0 m.
Battery(Power)	Batteridrift
Shore Power	Fartyget använder laddström
LFL()	Förslag Transport av vätska med flampunkt lägre än 43°C
Strengthened(IB)	Förslag Botten förstärkt för tung last
TMON()	Förslag Ökad propulsions säkerhet



Figur 10. Preliminært generalarrangemang.

Tabell 4. Fartygets huvudparametrar.

Parameter	Enhet	Data
Längd, O.A	Meter	<89,9
Bredd	Meter	<15,5
Djupgående	Meter	4,2
Propellerstorlek	Meter	Ø3,5 x 2 stycken
Fribord	Meter	4,23
Dödvikt	Ton	>4000
Deplacement	Ton	>6000
Lastkapacitet (TEU/FEU)	Antal	>120/60 Pallet Wide
Containeriserade batteri-TEU (bTEU)	Antal	15 (väderskyddade)
Besättningsstorlek	Antal	5 till 7
Maskinstyrka	kW	c:a 1650
Hastighet (max/marsch)	Knop	11/7
Räckvidd (HVO/MeOH)	Nm	c:a 6000/3000 vid 11 knop
Uthållighet	Dagar	>14
Propulsion		CPP (Twin skeg)
Isklass		IA
Lättvikt (preliminär)	Ton	1730

Skrov och propellerarrangemang

Elmotorer och batterier i arrangemanget för framdrift har framför allt använts i specialfartyg med kravställningar som inte går att uppnå utan dem. Dessa fartyg har nära på uteslutande krav på högre redundans samt ofta även krav på exceptionell manövreringsförmåga. Två sätt att möta detta på är genom flera propelleraxlar eller flera vridbara poddar, båda två arrangemang där elmotorer kan ingå som primära framdrivningsmotorer. Även batterier har integrerats i dessa arrangemang, till exempel för att uppnå en nära på helt tyst framdrift. Storskalig batterielektrifiering ger en möjlighet att dramatiskt minska miljöpåverkan om elen kommer från en fossilfri källa. Kostnaden för inköp och operation av fartyget kan öka jämfört med en förbränningsmotor kopplad till en enkel propelleraxel men kan samtidigt möjliggöra att kravbildens överhuvudtaget möts.

Regelverken från klassningsbolagen är förankrade i internationella överenskommelser inom bland annat sjösäkerhet, så som SOLAS, och är styrande för fartygsdesignen. Dessa ser i några avseenden annorlunda ut när en elmotor står för framdrivningen i stället för en traditionell förbränningsmotor. Framför allt ses fortfarande elmotorn som en okonventionell framdrift vilket ställer högre krav på sjösäkerheten ombord genom att kräva en redundant framdrivningsmetod om det skulle uppstå ett haveri i elmotorn. För specialfartyg med flera propelleraxlar eller flera vridbara poddar uppträder aldrig någon konflikt med regelverket



men för ett lastfartyg driver ett mer komplicerat arrangemang upp kostnaderna vilket påverkar totalekonomin negativt, allt annat lika.

För att bibehålla en försvarbar totalkostnad behöver skrov, framdriftssystem och energisystem ombord designas med maximal verkningsgrad. Designvalen inledningsvis rör i huvudsak det grundläggande arrangemanget, så som antal propelleraxlar, hur dessa ska drivas samt det elektriska distributionssystemet ombord.

Fartyget som utvecklas för att klara uppdraget är av ett mer ovanligt slag. Dels är lastkapaciteten förhållandevis liten i den allmänna trenden av att större är bättre eftersom skalekonomin får genomslag på fartyg: kostnaden växer normalt sett inte proportionerligt med lastkapaciteten. Dels har fartyget ett avsevärt lägre hastighetsbehov än motsvarande fartyg i samma storlek. Kombinationen gör att det finns god anledning att undersöka hur skrov och propeller kan utformas för att utvärdera konceptets ekonomiska förutsättningar.

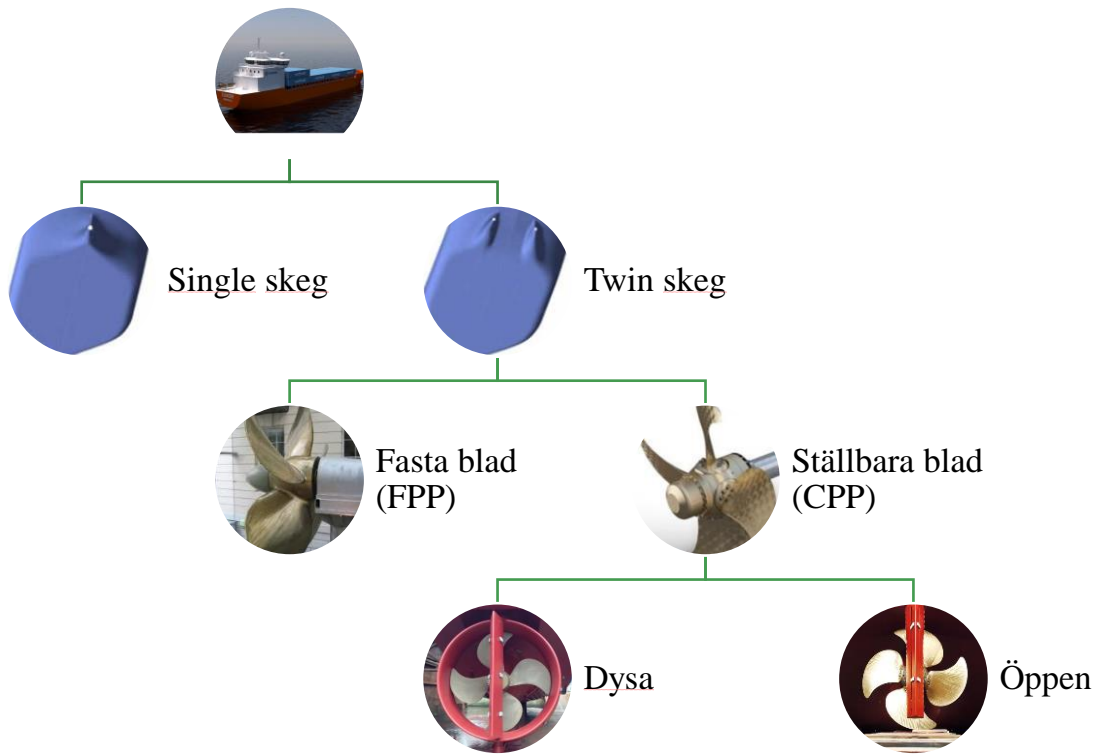
Möjliga designalternativ kan begränsas av olika designregler, teknikens mognadsgrad men inte minst av fartygets egna volym- och viktsbegränsningar, d.v.s. vad som faktiskt får plats innanför plåten i ett skrov. I ett sådant skede behöver designregler identifieras, olika tekniska lösningar kartläggas och en modell av ett skrov utformas för att testa olika koncept. Utvärderingen av vad som är lämpligast jämförs mot ett eller flera kriterier för att gå vidare med det mest lovande. För detta fartyg, där elektrifiering med hjälp av batterier står i fokus, och där den installerade batterikapaciteten som används för framdrift och annan elförbrukning ombord är den enskilt största kostnadsdrivaren i hela designen, är det kritiskt med hög verkningsgrad om man vill minimera kostnader.

Det finns goda indikationer på att ett arrangemang bestående av två axlar och ställbara propellrar ger de bästa hydrodynamiska egenskaperna. I det här fallet innebär det högst verkningsgrad genom vattnet. Även om investeringskostnaden för fartyget, exklusive kostnaden för batterier, initialt förväntas bli något högre jämfört med ett enklare arrangemang är det sannolikt den mest ekonomiska lösningen över tid. Designvalen för propulsionsarrangemang har gjorts på basis av dialog och uträkningar av Berg Propulsion, vägvalen redovisas i Figur 11, och vardera valt alternativ beskrivs under figuren.

Förklaringar till respektive vägval:

- **Twin skeg:** Skrovets friktionsmotstånd ökar lite men två propellrar med mera yta och betydligt mycket högre verkningsgrad än en singel skeg en-propeller-lösning.
- **Controllable pitch (CP) / Ställbara propellerblad:** Med ställbara propellrar, till skillnad från 'fixed pitch'-propellrar uppnår fartyget ca. 5 % bättre verkningsgrad, enligt beräkningar av Berg Propulsion. Detta ger också en högre max hastighet (11,5 knop respektive 10,5 knop) och funkar bättre i isgång.
- **Open nozzle:** En öppen propeller kan tänkas funka bättre i isgång.

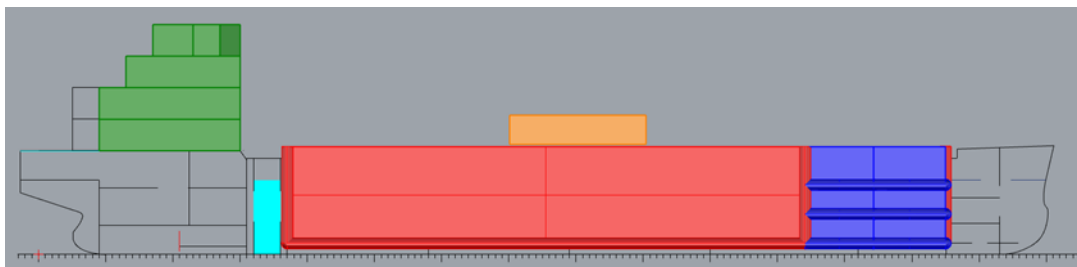


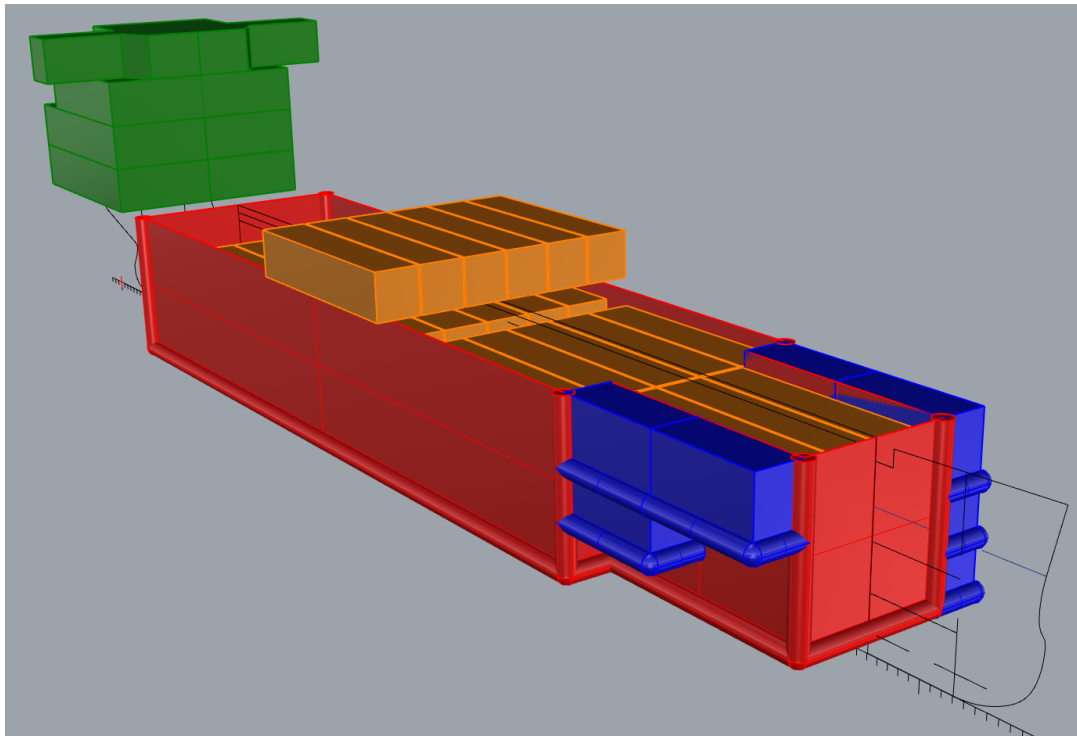


Figur 11. Val av propulsionsystem.

Lastutrymme

Fartygets lastutrymme har utrymmen för både last och battericontainers. Under lastlådan rymms det fem containers i bredd och tre i höjd. Battericontainrarna längst bak är i storlek TEU, och tanken är att det skall finnas plats för 15 under lastluckan. Resten av lastutrymmet är då menat för last, och rymmer 51 FEU containrar. Resten av lasten kan fraktas ovanpå lastluckan med 6 containrar i bredd. Antal beror mycket på hur tungt lastade containrarna är. En container lastad med battericeller kan tänkas vara fullt lastade och ELINORRs preliminära stabilitetsberäkningar har gjorts med totalt 78 FEU containrar och 15 battericontainrar.



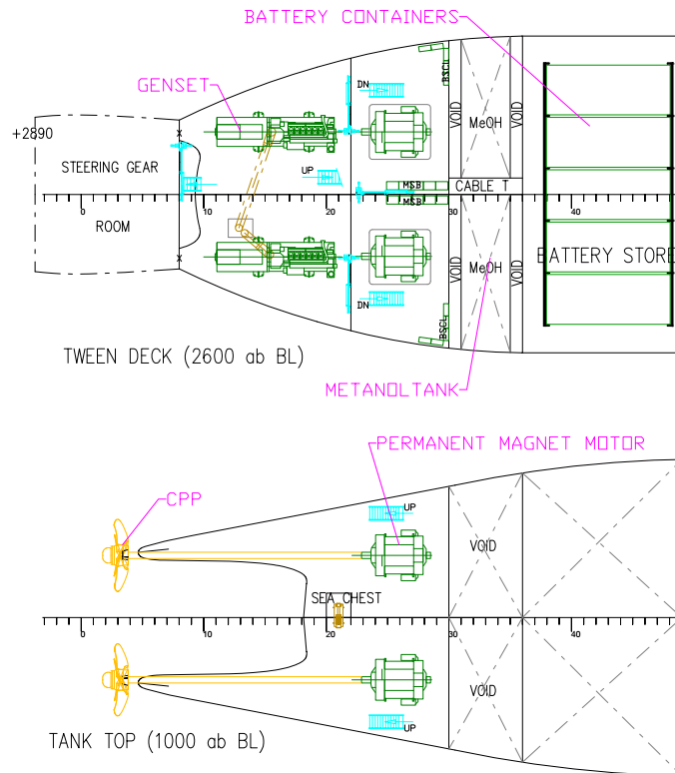


Figur 12. Översiktlig disponering av grundfunktioner uttryckta som volymer i fartygskonceptet

Maskin-, drivlina och motorarrangemang

Regelverk ställer krav på redundans för elektrisk framdrift. Till skillnad från traditionell förbränningsmotor, krävs det att fartyget skall ha minst två oberoende elmotorer. För single skeg, med bara en propeller, är lösningen att ha två separata elmotorer kopplade via en växellåda. Det är också möjligt med seriekoppling, då endera kan kopplas bort om det uppstår haveri. Twin skeg-uppsättningen möjliggör att ELINORR kommer att ha elmotor på vardera axeln, vilket innebär att krav på redundans uppfylls automatiskt.

Maskinupplägget kommer att vara i form seriehybrid. Två permanentmagnet elmotorer driver varsin propelleraxel. Två medelvarvsförbränningsmotorer driver generatorer. Dessa beskrivs i Figur 13 och Tabell 5. Förbränningsmotorerna sätts i gång då batterikapaciteten inte räcker till att producera tillräcklig effekt eller laddningen sjunker under en viss gräns. Tanken är att man skall kunna köra alla normala färder med batteriel och använda förbränningsmotorerna endast vid isgång och som redundans till batterisystemet, vid batterifel- eller nödfall, eller om fartyget måste öka hastighet under en längre period och batterikapaciteten inte är tillräcklig.



Figur 13. Preliminärt maskinrumsarrangemang.

Tabell 5. Uppställning maskinrumsarrangemang.

	Typ	Energi	Antal	Effekt var
Propelleraxel	Permanent-magnetmotor	EI	2	ca 850 kW
Generatorset	Förbränningsmotor	Dual fuel: metanol och diesel	2	ca 950 kWe

Batterisystem

Placeringen av batterier för framdrift förväntas ske i containrar. För att enkelt kunna anpassa hur mycket batterier som används ombord har projektet utgått ifrån placering av batterier i containrar. Detta har varit en utgångspunkt där integrerade batterier skulle kunna undersökas i framtida studier. En enkel jämförelse mellan containeriserade och integrerad batterisystem visas i Tabell 6.

Tabell 6. Jämförelse mellan lösningar för batterisystem i fartyg.

Containeriserad	Integrerad
<ul style="list-style-type: none"> • Modulär med ett interface mot fartyget • Flexibelt antal (MWh) • Standardiserad • Utbytbar • Underhåll på land • Möjliggör en ny affärsmodell för batterier 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan placeras på optimerade platser • Utbyte måste planeras i designfasen • Möjligen minskar kopplingar



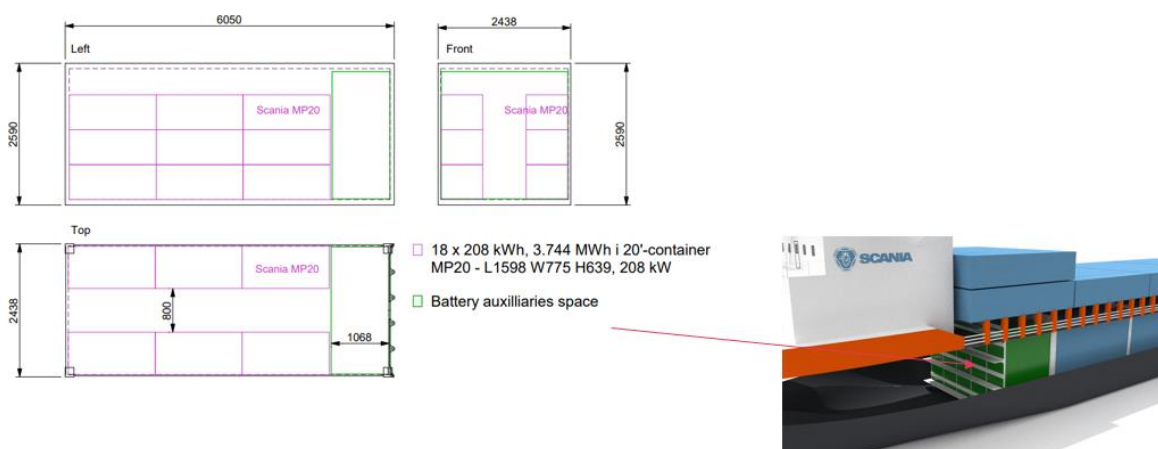
Ett grundläggande koncept har framställts för att testa realiserbarhet, för att ta fram dimensionerande faktorer så som antal och vikt per enhet. Detta behövs för att kunna utveckla skrovlinjer och hydrostater. Utveckling av en kommersiell battericontainer har på så sätt inte varit en del av arbetet, men konceptet som används bör förväntas vara rimligt genomförbart att bygga vidare på till en kommersiell produkt.

Battericontainers

Designfilosofin bakom battericontainerarna för framdrift (bTEU) bygger på en flexibel och modulär princip i en välkänd och lätthanterlig formfaktor, 20-fots ISO-containerar. De kopplas in mot fartygets elektriska huvudtavla och fartygets andra förekommande system så som kylvatten och brandsläckning med hjälp av demonterbara kopplingar.

En bTEU förväntas kunna lyftas av inom rimlig tid men utan krav på att det ska kunna ske under den vanliga lastningen eller lossningen. Det handlar snarare om att kunna byta ut en skadad eller utsliten enhet, göra service som inte är lämplig att genomföra ombord eller helt enkelt kunna anpassa antal bTEU:er ombord.

Totalt finns det plats för 15 bTEU:er under däck i en speciellt avsedd del av lastlådan. De står i rader om fem och staplade tre i höjd. Utrymmet är skilt från resten av lastlådan och maskinrummet. Klimatet är skyddat genom att lastluckor täcker utrymmet från väder. Figur 12 illustrerar lastlådan och Figur 14 visar batteriutrymmet ombord på fartyget. Det finns plats med maximalt 15 battericontainers under huvuddäck. Containerarna är placerade så att det finns utrymme för alla anslutningar akterut.



Figur 14. Översiktlig bild på en bTEU med 18 batterimoduler av typen MP20 från Scania och planerad plats i lastlåda (MeOH tank har tagits bort och maskinutrymme tomt i bilden), alla mått är i millimeter.

Innehållet i en bTEU är baserat på Scanias vattenkylda batterimodul MP20 som produceras i Södertälje och innehåller celler från Northvolts fabrik i Skellefteå, se exempel Figur 15. Totalt innehåller en bTEU 18st MP20 moduler med ett energiinnehåll på 208 kWh per modul. En översiktlig bild på arrangemanget finns i Figur 14. Ett urladdningsdjup på 80% ger det en total användbar energimängd på 3 MWh per bTEU. Utrymme närmast dörrarna är reserverat för placering av hjälputrustning. Mellan batterimodulerna finns det en gång. Total vikt för alla 18 batterimoduler uppgår till ca 20,7 ton vilket lämnar god viktmargin för att installera hjälputrustning. Investeringskostnaden för battericontainerarna beror på valet av antal enheter ombord. En uppställning av kostnadsalternativen redovisas i avsnittet



Kommersiella aspekter, med prisberäkningar för containeralternativ samt fartygskostnader mer i detalj.



Figur 15. Exempelbild på en battericontainer (bTEU).

Kostnaden för bTEU:er är den enskilt största kostnadsdrivaren i fartygskonceptet vid anskaffningen men varje bTEU står för minimala kostnader i den operativa fasen. Det finns stor anledning till att öka verkningsgraden av skrovet och framdriften där det är möjligt för att på så sätt minska den totala energiförbrukningen och därmed behovet av battericontainrar.



Figur 16. Placering av batterier ombord ASKO Therese.

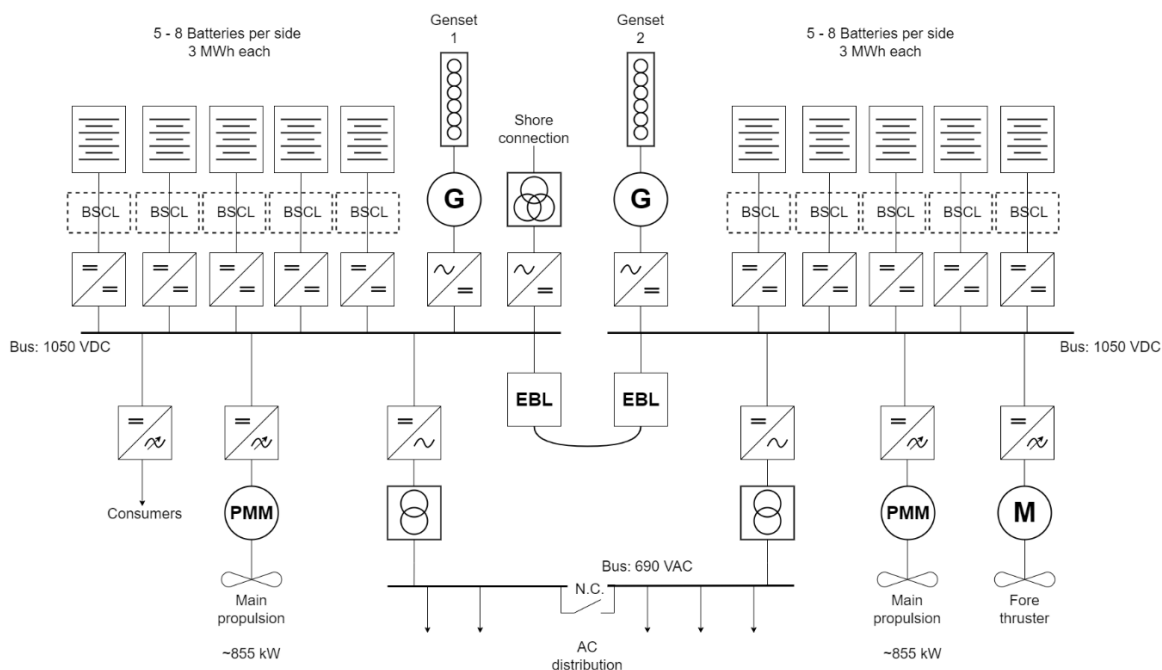
Figur 16 visar integrerade batterisystemet i RoRo fartyget ASKO Therese. En integrerad lösning möjliggör att batterierna kan placeras mera strategiskt nära botten och därmed sänka fartygets tyngdpunkt. Detta skulle medföra ökad stabilitet och eventuellt öka lastkapacitet. Flexibiliteten och fördelarna, beskrivna i Tabell 6 med battericontainers tänks ändå överträffa integrerad lösning. Förutom ger den modulära lösningen mera möjligheter för fartyget att operera olika rutter, i vilket fall det är enkelt att tillföra eller minska batterikapaciteten.

Elektrisk huvudtavla

Vidare föreslås en elektrisk huvudtavla för likström, där anledningen till just en DC-tavla är enkel. Batterier ger likströmsel, och att slippa transformera från lik- till växelström ger en högre verkningsgrad. Batterierna bör kopplas genom en så kallad ”battery short circuit limiter” (BCSL) för att säkra att ifall ett fel uppstår i batteriet kopplas det automatiskt ur.



Dessutom bör det finnas en spänningskonverterare, som ser till att spänningen på tavlan hålls jämn, eftersom spänningen sjunker i batteriet då det laddas ur. Ett principdiagram för huvudtavlan redovisas i Figur 17. Likströms huvudtavlor passar bra för effekter under 4 MW, och ELINORR kommer att ha ca 300 – 500 kW normalt på huvudtavlan, med maxeffekt på 1,8 MW. Orsaken att likströmssystem inte kan tåla högre effekter är att brytarna blir så komplexa. Moderna halvlederbrytare är väldigt snabba (10 mikrosekunder) och möjliggör användning av DC-tavlor i relativt höga spänningar. Även om ELINORRs effektbehov aldrig överstiger 4 MW, så används ändå två tavlor, kopplade med nödbrytare för redundans.

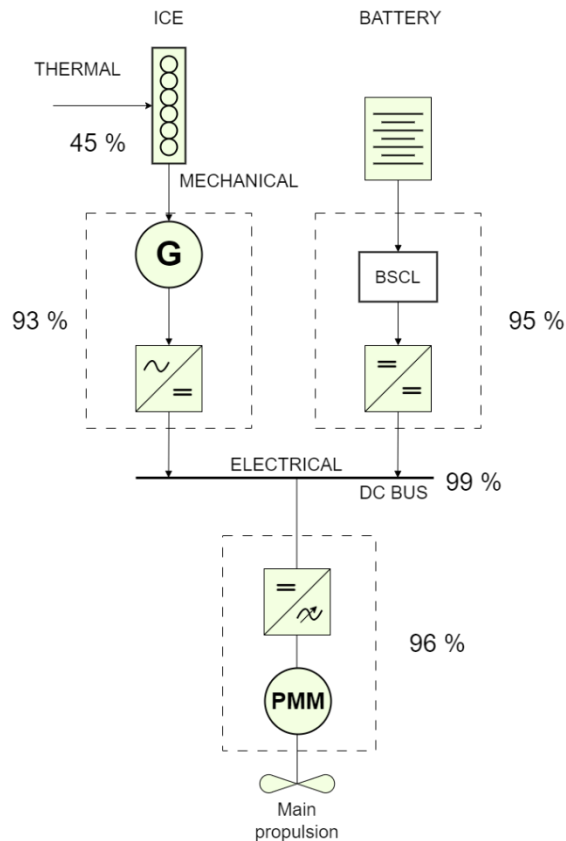


Figur 17. Principdiagram på elektrisk huvudtavla.

Energibehov

Centralt mål för fartygets samtliga designlösningar är att uppnå så hög verkningsgrad som möjligt, detta för att kunna driva fartyget med laddström som bränsle. Figur 18 redogör för de olika komponenternas verkningsgrader i fartygskonceptet. Som planerat kommer fartyget att kunna operera de normala isfria perioderna bara med batteriel, undantag så som hårt väder, nödsituationer och gång i is kräver en högre effekt och oförutsägbart mera energi. I dessa fall kan generatorerna sättas i gång och leverera den effekt som krävs för att fartyget ska möta tidtabell. Om fartyget drivs på 100% laddström och för en enkel resa blir energibehovet 28 MWh vid 7 knop och BF4 vind och sjöstillstånd. Detaljer kring energibehov för resor är beskrivet i Figur 43–Figur 45.



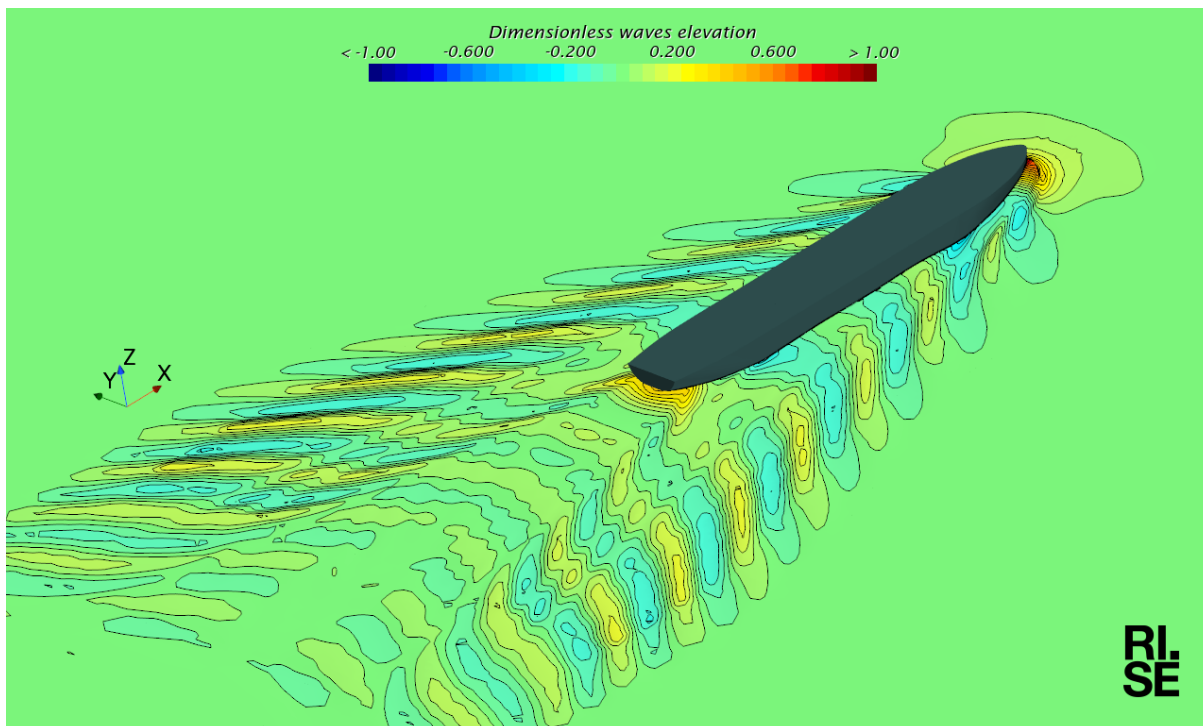


Figur 18. Verkningsgrader för de olika komponenterna i drivlinan och generator.

Skrovmotstånd

Skrovformen är baserad på referensfartyg från RISE/SSPA databas, med liknande dimensioner och isklass. Grundmotstånd för skrovet är baserat på CFD beräkningar, som utgår det minsta motståndet från vind och vågor visat i Figur 19. Ökat motstånd, från vind, vågor, strömmar och fouling av skrov och propeller, så kallad "sea margin" uppskattas traditionellt till 10 – 25 %. Denna procent beror dock mycket på hastighet och vindstyrka. Beräkning på effekts i olika väderförhållanden har utförts i samarbete med Berg Propulsion. Effektbehov för propellrar har tagits fram för Beaufort 0 (vindstill, inga vågor) och Beaufort 6 med vindstyrka på 12 m/s (se ISO 15016:2015) och signifikant våghöjd 2 m. Fartyget förväntas kunna möta detta väder och klara sig. Effektbehovet för 12 knop i Beaufort 6 är nära det effektkravet som ställs för isklass 1A. Denna beräknade propulsioneffekt bör vara minsta ca 1650 kW.





Figur 19. CFD modellresultat för beräkning av skrovotstånd. Skrovotstånd behövs för att ytterligare beräkna effektbehov för propulsion.

Gång i is

ELINORR opererar året om vilket ställer krav på propulsionseffekt och skrovstyrka. I Östersjön, Bottenhavet och Bottenviken tillämpas isregler, som är utvecklade tillsammans med finska och svenska sjöfartsmyndigheter. Vanligtvis har ett fraktfartyg, som ELINORR, som opererar i de norra delarna isklass 1A. Denna isklass tillåter operation under vintertid, men kräver att fartyget kör i en redan bruten isränna, alltså fartyget har ingen egen isbrytarförmåga i tjockare is. Skrovet ska däremot vara tillräckligt starkt för att tåla tryck och slag av isen. Detta betyder att skrovformen måste vara anpassad för gång i is och plåt och spant måste vara tillräckligt tjockt. För att få isbrytarassistens i Bottenviken krävs dwt >4000 ton.

Reglerna för gång i is ställer också krav för framdriftseffekt. ELINORR måste ha en propulsionseffekt på minst 1650 kW. Med denna effekt kommer batterierna att laddas ut väldigt fort. Förstudien (Rogerson m.fl. 2023) kom fram till att kostnaderna för den extra batterikapacitet som skulle behövas för batteridrift under vintertid i is inte kunde motiveras. Tanken är att förbränningsmotorerna producerar den nödvändiga effekt som krävs i isgång under vintertid. Förbränningsmotorer har en verkningsgrad på ca 45 – 50 %, vilket betyder att en hel del spillvärme produceras vid sidan om. Denna värme kan dock användas till godo för att värma upp vatten och hytter.

Hotellast

Baserat på Electric Load Table från ett annat liknande fartyg. Den totala elkonsumtion för navigation, hotell och system är uppskattat som konstant, oberoende av årstid till ca 150 kWe.



Värme- och kylbehov

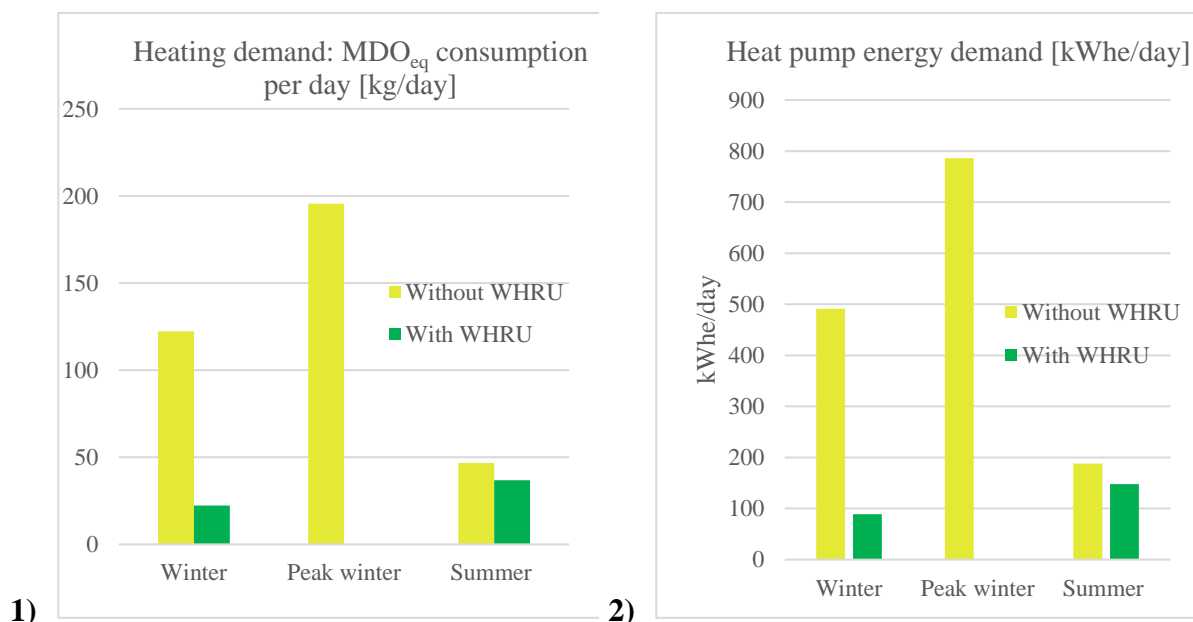
Fartygets värmebehov består av hotellvärme, dvs. uppvärmning av alla interna områden: hytter, mess, brygga, maskinrum, batterier, gemensamma utrymmen och varmt förbrukningsvatten. Vintertid är den dimensionerande faktorn, och det är tänkt att alla utrymmen borde ha en temperatur på 22°C. Uttemperaturen kan som lägst ligga vid -21°C enligt data från SMHI.

Kallaste månaden i Skellefteå är normalt februari och varmaste juli, med respektive medeltemperaturer på -9°C och 13°C. Batterikylning, el huvudtavla och proviantkylsystem står för kylbehovet.

Värme- och kylsystem

Värmebehovet för interna utrymmen och varmvatten för besättning bör uppfyllas av antingen direktverkande el, oljepanna, spillvärme eller värmepump eller kombination av dessa. Traditionellt brukar fartyg producera värme med bränsle. Verkningsgrad för moderna oljepannor är hög och installationen har låg CAPEX. För eldrivna fordon är värmepump ett attraktivt alternativ. Relativt låg värme kan uppgraderas till användbar värme med kompressionscykel som drivs av el. Det kan i snitt produceras 3 gånger den värme som läggs in i el.

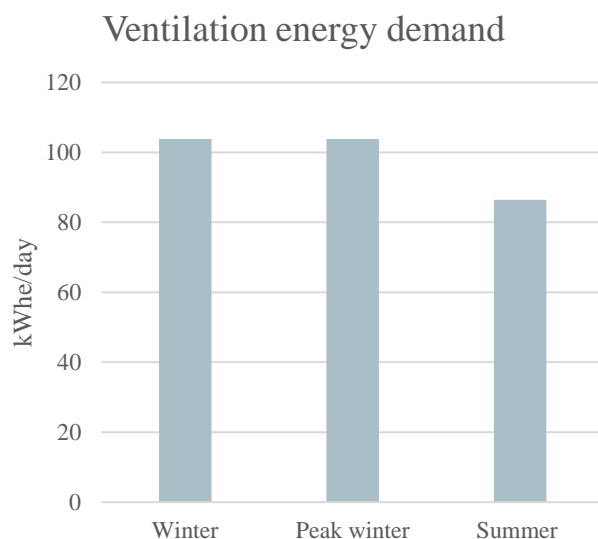
Värmepump behöver en viss temperaturgradient för att uppnå förväntad verkningsgrad. Det finns tillgång till spillvärme från generatorsets, på vintertid, då värmebehovet är som störst. El-motorerna har en relativt hög verkningsgrad på ca 0,9 vilket betyder att bara en liten del värme kan upptas. Kombinerad med värmepump kan ändå denna spillvärme minska behovet för eleffekt betydligt.



Figur 20. Vinter, kallaste vinterdagar- och sommarvärmebehov producerad med MDO eller motsvarande bränsle i jämförelse med el konsumtion för en värmepump.

På sommaren kan värmepumpen också användas, då havsvattnet från "seachest" är tillräckligt nog för kylbehovet på sommaren i operationsområdet. För proviant bör finnas kompressordrivna kylaggregat.

Ventilationsfläktar är eldrivna och på vintern måste generatorerna få tillräcklig luft för förbränning, vilket ökar ventileringsbehov på vintern.



Figur 21. Ventilation elbehov för sommar och vinter.

Bränsleval

Eftersom fartyget inte kan drivas till fulla på laddström under förhållanden då signifikanta tillskott till framdriftsmotståndet uppstår (se bl.a Rogerson m.fl. 2023), så krävs att fartygets energisystem är av hybridtyp och att detta delvis drivs med någon annan form av bränsle än laddström. Exempel på förhållanden som ger sådant högt tillskott till framdriftsmotståndet är gång i is annat än under lindrig is på korta sträckor längs ruten, samt kraftig vind och sjöhävning. Avgränsning för detta projekt har varit att endast välja systemlösningar som bedömt kommer att finnas kommersiellt tillgängliga inom fem år. Med detta i beaktande har API Fartygsdesign valt energisystemet att vara av seriehybridtyp och där eleffekt från det alternativa bränslet produceras med en förbränningsmotor av dual fuel-typ.

I Tabell 7 redovisas kvarvarande alternativ för bränsleval efter ovan beskrivna avgränsningar, och vidare vad som gör dem lämpliga eller olämpliga för fartygskonceptet utifrån tillkommande kriterier. Kriterierna baseras på huruvida tekniska utvecklingsrisker kan försenas, risken för minskat andrahandsvärde och därmed högre kostnad under avtalsperioden, samt möjlighet till flexibilitet både under och efter avtalsperioden.

Utifrån uppställningen i tabellen valdes bränslet till förbränningsmotorn som driver generatorm till att vara antingen metanol med dieselbränsle som pilotbränsle eller rent dieselbränsle. Dieselbränslet har valts att vara HVO, främst för att detta tillverkas i relativt stora mängder och har kända emissionsfaktorer avseende växthusgaser samt en prishistorik. Andra dieselbränslen med potentiellt låga emissioner av växthusgasekvivalenter, t.ex. eDiesel, har inte analyserats då vare sig pris eller emissionsfaktorer är kända annat än som parameterstudier i forskningsrapporter. Biodiesel, t.ex. FAME som RME, har inte heller



studerats på grund av dess olämplighet i marin miljö och de negativa drifterfarenheter som finns med bakterietillväxt i tankar ombord fartyg.

Tabell 7. Lämplighet av alternativa bränsleval utifrån konceptets avgränsningar.

Bränsletyp	Lämplighet eller Olämplighet
Kryogent bränsle (LNG/LBG/LH2)	Inte lämpligt på grund av: <ul style="list-style-type: none"> • Användande endast vid isgång – omöjligt hantera avkokningen på ett kostnadseffektivt och klimatvänligt sätt. • Mycket dyra system. • Volymkrävande
Ammoniak (NH ₃)	Inte lämpligt på grund av: <ul style="list-style-type: none"> • Projektrisk: ingen demonstrerad och certifierad lösning finns för vare sig energiomvandlare eller tankar. • Inga regler för tank- säkerhets- eller brandsystem färdiga för att konceptuellt rita en lösning. • Mycket giftigt
Trycksatt vätgas	Inte lämpligt på grund av: <ul style="list-style-type: none"> • Låg möjlig energimängd att bära med sig. • Projektrisk: ingen certifierade lösning för förbränningsmotorer/ generatoraggregat. • Kostnadsrisk, endast bränsleceller möjlig lösning beaktat projektrisk – mycket dyra system.
Metanol	Lämpligt på grund av: <ul style="list-style-type: none"> • Låg projektrisk – regler finns för tanksystem, bunkring, brandskydd etc. Certifierade system finns för energiomvandlare, pumpar etc. • Möjlighet att fritt välja blandning mellan grå (fossil) metanol och grön metanol: positivt för andrahandsvärde. Däremot har grå metanol höga emissionsfaktorer för CO₂e.
HVO	Lämpligt på grund av: <ul style="list-style-type: none"> • Obefintlig projektrisk med avseende på regler och tillgänglig certifierad utrustning. • Möjlighet att fritt välja blandning mellan fossil diesel och HVO: positivt för andrahandsvärde.

Kommersiella aspekter

Ett transportkoncept mellan Skellefteå och Södertälje med elektrifierad sjöfart är en teknisk och ekonomisk utmaning på grund av den, för batteridrivna fartyg, långa distansen och att fartområdet inkluderar isförhållanden på vintern vilka kräver isklass 1A och minst 4 000 DWT för isbrytarassistans enligt Sjöfartsverkets trafikrestriktioner. Samtidigt finns det goda möjligheter att optimera hela varukedjan in i minsta detalj och att övervaka flödet i realtid eftersom det rör sig om transport mellan två punkter med regelbundna lastvolym.

Eftersom godset ska gå direkt från fabrik till fabrik och rakt in i produktion är leveranssäkerhet en mycket viktig faktor. Det innebär att leveranskedjan behöver vara såväl robust som flexibel. Reservkapacitet är en nyckelfaktor att hantera oväntade avvikelser i form av förseningar. I och med kraven som kommer med isklassningen, finns överkapacitet både i lastkapacitet jämfört med kravet på 60 PW TEU och i propulsioneffekt jämfört med effektbehovet vid isfria förhållanden.



Väder är alltid en osäkerhet till sjöss och med extra propulsioneffekt finns möjlighet att i viss utsträckning ta igen förlorad tid. En utmaning som är svår att förutse orsakas av varierande isförhållanden under vintern. Vissa vintrar är svårare än andra och tillgången på statsisbrytarassistans är begränsad. Riktigt svåra isvintrar kan Sjöfartsverket välja att stänga mindre hamnar och lastageplatser eller kombinera trafikrestriktionerna med lastrestriktioner att tex minst 2 000 ton gods ska lastas/lossas för att is-assistans ska tillhandahållas.

Förutom de rent logistiska aspekterna finns det andra kommersiella delar att ta med i helhetsbedömningen. Ett litet, specialbyggt fartyg med delvis ny teknik har mycket osäkert andrahandsvärde, vilket i sin tur påverkar riskvärdering. Långa kontraktsåttaganden behövs för att säkra finansiering. Den största ekonomiska påverkan är troligtvis finansieringsupplägget givet den initialt stora investeringen. Även små skillnader kan ge effekt, en halv procents skillnad i ränta kan överstiga skillnaden i att minska hamnkostnaderna med 5%. Varje del i försörjningskedjan bör eftersträva optimala och kostnadseffektiva lösningar.

Det slutgiltiga affärsupplägget kommer att vara en sammanvägning av alla parter acceptans och fördelning av både kostnader som ansvar/risk i hela kedjan. Att ensidigt överföra alla risker och kostnader på en part kan resultera i ett onödigt högt riskpåslag per transporterad container, om det ens är möjligt att hitta en transportör villig att ta på sig den risken. Om varuägaren i stället är beredd att acceptera vissa risker själv, uppstår kostnaden endast om risken faktiskt inträffar.

Studien har utgått från ett så öppet förfarande som möjligt för att inte utesluta potentiella kommersiella lösningar och därigenom attrahera ett brett spektrum av anbudsgivare med olika lösningsförslag inför en eventuell upphandlingsfas. Samtidigt har möjliga lösningar utforskats och redovisats för att underlätta beslutsfattandet i realiseringsfasen, med insikten att deltagarna i detta tidiga skede möjligen inte redovisat samtliga detaljer eller intentioner fullt ut, vilket kan bero på strategiska överväganden och behovet av att skydda sin position.

Oavsett vilken kommersiell uppgörelse som väljs, rekommenderas att tidigt i processen anlita erfarna sjörettsadvokater för att säkerställa en djupgående förståelse av avtalens detaljer och möjliga finansieringsmöjligheter. Dessutom kan kunniga skeppsmäklare, med sin branschexpertis och breda nätverk av kontakter, bidra med värdefulla insikter och effektivt nå potentiella redare, vilket ofta är ett bättre alternativ än att förlita sig enbart på en konventionell upphandlingsportal. Sjöfartsbranschen kan upplevas som särskilt komplex och svårnavigerad för den som är ny inom branschen.

Partnerskap för transportlösningen

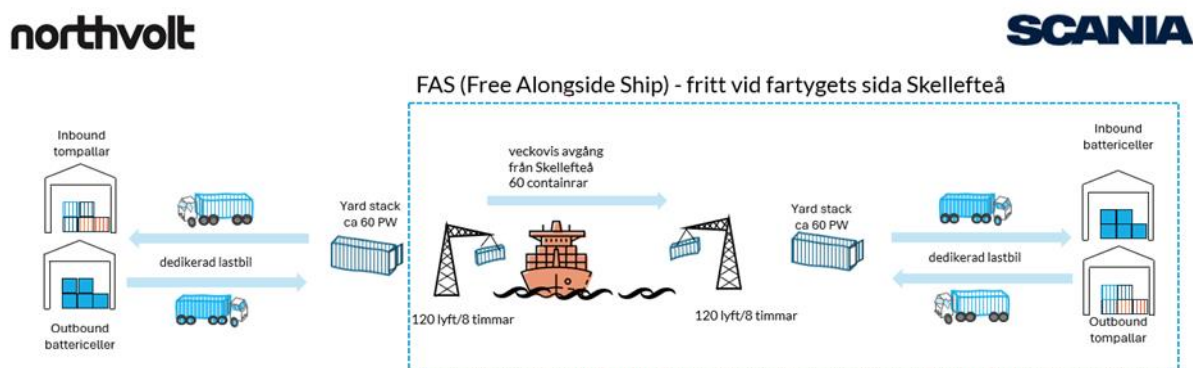
En viktig kommersiell aspekt att ta ställning till är hur involverade varuägarna vill vara i själva transportlösningen. Utmaningarna är många och om ELINORR ska kunna realiseras behöver parterna bygga upp ett nära samarbete och vara beredda att dela på riskerna både under utvecklingsfasen och över tid för att gemensamt optimera varje del i försörjningskedjan. En avgörande framgångsfaktor är att visa på långsiktiga åtaganden. Inom sjöfarten jämför redare möjligheter och risker på en global marknad. När fartyget är specialbyggt för en viss rutt blir andrahandsvärdet osäkert, och långa och stabila avtal behövs för att hantera risk kopplat till investeringen.

En utmaning är att synkronisera alla delar i kedjan – fartyg, hamnar, lastbilar och containrar - så att de kommer på plats samtidigt i realiseringsfasen. Även om vissa delar kan utvecklas



separat och integreras i efterhand, är en samordnad timing avgörande för att säkerställa en smidig och effektiv process i implementeringen.

I relationen mellan Northvolt och Scania är det överenskomna leveransvillkoret *FAS Skellefteå*. Northvolt ansvarar således för transport från sin fabrik till Skellefteå hamn och Scania blir ansvarig för transporten därifrån, inklusive sjötransporten till Södertälje hamn och vidare in till fabriken. Alltså är det Scania som blir avtalspart med ett rederi eller transportör.



Figur 22. Illustration av Scantias ansvar enligt FAS villkoret.

Styckegods eller befraktning

När containrar fraktas till sjöss görs detta vanligen som s.k. styckegods på ett containerfartyg. Transportören samordnar last från många olika varuägare som var och en betalar frakten för sina containrar baserat på önskad service. Lasten består av många olika varuägares containrar, ofta med helt olika ursprungs- och slutdestination. Transportören, som kan, men inte nödvändigtvis behöver vare sig äga eller driva fartyget, hanterar alla bokningar, tompositionering av containrar och all inlandstransport. Utöver frakten tillkommer vanligen olika varierande tillägg som täcker transportörens fluktuerande kostnader, till exempel bränsletillägg.

I allmänhet är det transportören som äger containrarna och ser till att en tom, hel och ren container skickas från en containerdepot till avsändaren. Den stuffade (fyllda) containern hämtas upp, transporteras till hamnen och lastas på fartyget. I destinationshamnen lossas containern och transporteras till slutgiltig mottagare som strippar (tömmer) den. Slutligen skickas den tömda containern till en containerdepot i väntan på att skickas på nya transportuppdrag. Översyn och eventuell reparation sköts också av transportören.

När en varuägare har större transportbehov, stort nog att fylla ett helt fartyg finns också möjligheten att avtala om (hel-)befraktning. Motparten kallas då bortfraktare, men i dagligt tal används även termen rederi. Det är inte avgörande huruvida godset är containeriserat eller ej, utan snarare om fartyget fraktar gods för enstaka varuägare eller många varuägare som avgör. Prisupplägget blir annorlunda jämfört med styckegods eftersom det i stället kan baseras på tid (hyra) eller per resa (frakt). Vid befraktning kommer kostnad per container kommer då variera för varuägaren och avtal med andra leverantörer utöver rederiet behöver upprättas och hanteras.



Ett stycke godsavtal innebär förenklad prissättning för varuägaren, där transportören sköter allt praktiskt och tar alla risker i hela kedjan. Fördelar för varuägaren är bland annat enklare logistik, ett enda avtal med en avtalspart och flexibilitet i volym. Nackdelar för varuägaren är mindre kontroll över transportkedjan vilket kan leda till osäkerhet kring leveranstid och prioritering av last. Transportören tar risken för att attrahera och samordna olika varuägares last för bästa fyllnadsgrad. Kostnader och associerade risker fördelas på många varuägare och containrar.

För Scania skulle ett stycke godsavtal innebära en avtalspartner som sköter all logistik till en fast frakt per container. Få oväntade kostnader utöver de överenskomna frakttilläggen eller uppgörelserna uppstår. Nackdelen är att priset per container kan bli högt. Transportören måste värdera alla kostnader och inkludera ett riskpåslag för samtliga risker i hela varukedjan och fördela dessa kostnader på ett fåtal containrar. Till detta kommer att riskerna inte delas mellan flera varuägare vilket ytterligare förstärker Scantias kostnadsbörda.

Med ett befракtningsavtal fördelas vissa risker direkt på varuägaren, vilket minskar riskpåslaget. Befraktningsavtal fördelar risker mellan varuägaren och rederiet och därmed uppstår extra kostnader endast om en risk faktiskt inträffar, det medför att kostnad per container kommer fluktuera över tid och från resa till resa. Fördelar är att varuägaren får större kontroll över transportkedjan och kan råda över avtal, prioriteringar, optimeringar osv. En förutsättning är att varuägaren har resurser och kunskap för att planera och hantera transporter effektivt.

För Scania skulle ett befракtningsavtal bland annat betyda att Scania även ska upprätta avtal med hamnarna, containerleverantör och åkerier, eventuellt även bränsleleverantören och fartygsagent beroende på exakt befракtningsupplägg. Valet mellan ett tidsbefraktningsavtal (time charter) eller resebefraktningsavtal (voyage charter) påverkar hur åtaganden, kostnader och risker som fördelas på respektive part.

Om ELINORR går vidare mot realisering kan upphandlingen baseras på ett relativt färdigt avtalskoncept, där Scania exempelvis väljer stycke gods befракtning. Detta underlättar jämförelsen mellan olika leverantörer, särskilt genom att göra kostnaden per fraktad container tydlig och genom att möjliggöra en enkel jämförelse av avtalsvillkor eftersom befракtningsformen är fördefinierad. Samtidigt är det viktigt att beakta att ett mer öppet förfarande, som syftar till att inkludera ett brett spektrum av kommersiella lösningar, riskerar att begränsas av färdigt avtalskoncept. Detta kan påverka anbudsgivares möjligheter att utforma mer innovativa och potentiellt kostnadseffektiva lösningsförslag som skulle kunna bidra med ytterligare mervärde.

Finansiering av fartyget

När det kommer till finansiering är fartyg betydligt mer utmanande än andra typer av fordon. Det byggs få identiskt lika handelsfartyg, till och med en serie om tjugo systerfartyg är ovanligt, medan exempelvis bilar och lastbilar byggs i tusental enligt standardiserade mallar. Massproduktion skapar större förutsägbarhet och gör det lättare att värdera och finansiera fordon.

Ett fartyg som är specialbyggt för en specifik rutt innebär högre kostnader, komplexa riskanalyser och en begränsad samt svårbedömd andrahandsmarknad, vilket ökar risken för finansiären. Flygplan och tåg är också kapitalintensiva men de är ofta en del av globala



leasingmarknader och är i större utsträckning standardiserade vilket gör finansieringen jämförelsevis enklare.

Det finns några huvudsakliga sätt att finansiera fartyg, att erbjuda lån med fartyget som säkerhet är vanligt. Långt ifrån alla kommersiella banker tar sig an fartygsfinansiering. Flera banker och finansieringsinstitut har valt att helt lämna fartygsfinansieringssektorn efter finanskrisen och nya kapitalregler.

I Sverige finns en offentlig institution inrättad av Sveriges riksdag (lag 1980:1097) Svenska Skeppshypotek, vars syfte är att stödja svenska sjöfarten genom att erbjuda långfristiga lån med fartyg som säkerhet. Upp till 70% belåningsgrad av fartygets värde kan erbjudas. Motsvarande värde registreras (intecknas) i fartygsregistret och ger långgivaren förmånsrätt vid konkurs eller utmätning. Resterande värde behöver täckas av rederiets egna medel.

Riktigt stora aktörer med betydande tillgångar kan ha möjlighet att använda andra säkerheter, exempelvis fastigheter för att säkra finansiering. Det finns aktörer som är villiga att ta hela investeringskostnaden och äga fartygen, med affärsmodellen att leasa ut dem till rederier, ofta genom ett bareboat avtal. De fokuserar ofta på hållbarhet och riskdelning för att säkra långsiktiga intäkter. Sådana bareboat avtal är långa (15-20 år) och kombineras med en köption i slutet av avtalet.

Oavsett finansieringsalternativ är det grundläggande kravet att säkerställa en kontinuerlig sysselsättning för fartyget och ett stabilt kassaflöde som kan täcka amorteringar & räntekostnader. Oavsett hur klimatvänlig, grön eller innovativ en investering är, kräver även den mest riskvilliga kreditgivaren tydliga bevis på dess förmåga att generera intäkter. Långa bindande kontraktsåtaganden mellan rederi och varuägare innebär lägre risk att intäkterna plötsligt upphör. Det är troligen enda alternativet i detta fall, med ett såpass specialbyggt fartyg som dessutom baseras på en helt ny och delvis oprövad teknik.

Stabila, erfarna och välkända parter har i allmänhet bättre förutsättningar att få finansiering och fördelaktiga räntor. Även om Scania är ett stabilt och välkänt företag, saknar de erfarenhet av rederiverksamhet och skulle sannolikt ha svårt att ensamt säkra finansiering för ELINORR. Ett välrenommerat rederi däremot bör, med stöd av långsiktiga avtal med Scania, ha god chans till finansiering. Om Scania även går in som delägare i fartyget kan detta ses som ett ytterligare bevis på djupt och långsiktigt engagemang.

Ett delägarande betyder inte att Scania är delaktig i själva driften, däremot kan ett sådant erbjuda vissa skattetekniska fördelar, tex avskrivningar och möjlighet att kvitta vinster mot förluster. Den som innehar avskrivningsunderlaget på fartyget har möjlighet att minska sin beskattningsbara vinst, vilket resulterar i en reducerad bolagsskatt på cirka 20 % av avskrivningsbeloppet. Detta kan vara en strategisk fördel vid skatte- och resultatplanering vilket indirekt kan sägas minska kostnaden per transporterad container. Reglerna är komplicerade och specialister inom sjörätt bör konsulteras för att reda ut alla detaljer.

När väl sysselsättningen, långsiktigheten och kassaflödet är påvisat gör kreditgivaren en riskbedömning för såväl teknik som andrahandsvärde. Kommande regelverk som FuelEU Maritime och EU ETS förväntas öka kostnaderna för fossila bränslen, vilket gör fossilfria och energieffektiva fartyg mer konkurrenskraftiga på sikt trots initialt högre investeringskostnader. Oprövad teknik betyder dock risker både i design- och konstruktionsprocessen och i framtida drift.



Försäkringsfrågor och panträtt vid batterileasing

En av de starkast kostnadsdrivande komponenterna för elektrifierade fartyg är batterierna för framdrivning. För att möjliggöra en snabbare omställning till fossilfri drift och samtidigt göra sin produkt mer attraktiv, erbjuder batteritillverkare ofta leasingavtal som ett alternativ till direkt köp. Leasingmodellen minskar behovet av höga initiala investeringar, vilket kan vara avgörande för att fler aktörer ska våga satsa på ny teknik. Samtidigt skapar leasing en flexibel lösning som ger rederierna möjlighet att byta ut eller uppgradera batterier när tekniken utvecklas. Detta är särskilt viktigt i en snabbt föränderlig marknad där både teknologin och prisbilden förväntas förbättras avsevärt under kommande år.

Trots fördelarna finns det också utmaningar med batterileasing för fartyg, framför allt kring försäkringar och finansiella aspekter. För att fullt ut dra nytta av leasingmodellen krävs tydliga avtal och samarbete för att skydda både fartygsägaren och leasinggivaren i de risker som är kopplade till äganderätt och ansvarsfördelning.

Idag finns det mycket få helelektriska fartyg som är försäkrade enligt traditionella försäkringsmodeller. Försäkringsbranschen befinner sig i en fas där man trevar kring hur riskerna för dessa fartyg ska bedömas och värderas, vilket innebär att det saknas etablerade praxis och standarder. Detta är ett resultat av att tekniken är relativt ny och oförutsägbar, vilket gör att försäkringsgivare är försiktiga i sina bedömningar.

Kasko-försäkringen (Hull & Machinery) täcker skador på fartygets skrov och maskineri, vilket normalt skulle inkludera batterierna som en del i framdrivningssystemet. Om batterierna hyrs kan en tilläggsförsäkring krävas för att täcka leasinggivarens intresse, vilket kan öka försäkringspremien. Ansvarsförsäkringen (Protection & Indemnity) för fartyget täcker miljöskador, tredjepartskrav och personalolyckor. Här kan avtalets utformning behöva justeras så att ansvaret fördelas om framdrivningsbatterierna skulle orsaka en olycka tex brand. Andra försäkringar kan också behöva ses över.

För närvarande är andelen helt batteriframdrivna fartyg så pass liten att försäkringsvillkoren inte skiljer sig från konventionellt framdrivna fartyg. I takt med att antalet batterifartyg ökar och eventuella försäkringsutbetalningar relaterade till batterier realiserar är det inte osannolikt att villkoren kan komma att revideras framöver.

Sjöpanträtt är en särskild typ av säkerhetsrätt i fartyg och styrs av internationella konventioner och sjölagen. Det är en prioriterad rättighet som följer fartyget, oavsett ägare, och används för att säkerställa betalning av särskilda skulder, tex obetalda löner till sjömän, kostnader för bärgning eller skador på tredje part. Sjöpanträtten är mycket stark och går före andra typer av panträtter, även en registrerad fartygsinteckning. Utifrån ett finansieringsmässigt perspektiv uppstår juridisk komplexitet kring panträtten i fartyget om batterierna hyrs. Panträtt i fartyg innebär i allmänhet hela fartyget inklusive all dess utrustning, de juridiska förhållandena behöver därför klarläggas när batterierna hyrs.

Dedikerat upplägg eller ytterligare volym

I projektet har godsflödet diskuterats ingående, särskilt om fartyget ska designas för ett dedikerat flöde eller samordnade varuflöden. Fartyget ELINORR kommer att ha viss överkapacitet i förhållande till Scantias behov, och att öppna denna kapacitet för andra flöden har både för- och nackdelar. Kompletterande gods kan sänka kostnaden per enhet, men innebär risk för förlorad tid, kontroll eller investeringar som inte genererar intäkter.



Förutom den viss överkapacitet som nämnts, diskuterades också möjligheten att använda tomcontainrarnas kapacitet på norrgående för extern last. Eftersom batteriernas tompallar ska returneras med fartyget tillbaka till Skellefteå och containertypen är ovanlig, uppstår ett flöde i båda riktningar, vilket skapar ett mer eller mindre slutet system.

Tompallarna kan sampackas till viss del, vilket frigör containrar på norrgående rutt. Denna lösning innebär fler hanteringsmoment i båda ändar av transportkedjan. I Södertälje krävs samordning för att stuffa containrarna med tompallar och extern last ska stuffas, antingen i hamnen eller så ska containern skickas till avsändande kund för stuffning där. I Skellefteå måste tompallarna strippas ur containrarna, mellanlagras och plockas i takt med att tomma containrar ska stuffas med pallade battericeller hos Northvolt. Det innebär att såväl fler pallar som containrar krävs i omlopp, inte minst om de dedikerade containrarna behöver lämna hamnområdet. Den extra tidsåtgången för dessa hanteringsmoment är svår att förutse och risker för förseningar och skador ökar.

Det var utom projektets avgränsningar att göra en detaljerad marknadsundersökning, och efter diskussion valde projektet att gå vidare med ett dedikerat flöde. Detta utgör ett case med möjlig uppsida, eftersom rederier och transportörer vid realisering sannolikt kommer att offerera innovativa lösningar utifrån sina bästa förutsättningar. Om lämpliga varuflöden finns att kombinera, kan det påverka prisbilden positivt.

Rederiets (transportörens) perspektiv

Ett dedikerat, fullt elektrifierat containerfartyg, för endast en kund med behov av en ovanlig containertyp, innebär en betydande investering, lång återbetalningstid samt höga risker för rederiet. Kostnader och risker ska fördelas på ett mycket litet antal containrar vilket innebär att varje containers avvikelse blir betydande för resultatet. Om kundens efterfrågan minskar är möjligheterna att finna alternativa intäktsmöjligheter få. Detta begränsar intäktsmöjligheterna och ökar risken.

Andra risker ur rederiets perspektiv är att hamnarna inte är redo infrastrukturmässigt, att miljölagstiftning och elektrifieringskrav kan förändras över tid och kan kräva ytterligare investeringar. På uppsidan finns möjlighet att poola emissioner, att marknadsföra sig som klimatvänlig och framtidssäkrad, att leveranskedjan kan slimmas och optimeras, en möjlighet att bygga upp know-how inför kommande miljökrav 2030 och 2050.

Även om fartyget är specialdesignat och infrastrukturen i hamnarna ännu inte är på plats, är ELINORR inte ett särskilt märkvärdigt projekt ur en redares perspektiv. Redare har lång erfarenhet av att hantera kostnader, risker och att utveckla lösningar för industriell sjöfart.

Den största finansiella osäkerheten ligger i fartygets andrahandsvärde. Även om långa avtal ingås med intentionen att de ska vara långsiktiga, finns alltid risken att avtal hävs eller att en avtalspart blir insolvent. I ett sådant scenario står redaren kvar med ett specialbyggt fartyg utan intäkter och ett mycket osäkert andrahandsvärde. Det gör investeringen betydligt mer riskfylld.

De operationella riskerna är bland annat kopplade till isläget. Exempelvis hur mycket flytande bränsle behövs för att stötta batteripropulsionen under vinterhalvåret, tillgänglighet av nödvändig isbrytarassistans för att hålla tidtabellen. Kompetens kring full batteridrift behöver byggas upp osv.



Varuägarens perspektiv

Scania vill bygga upp en hållbar transportkedja för de battericeller som Northvolt levererar till lastbilsfabriken med hög grad av elektrifiering. Forskningsstudien visar att batteridrivet fartyg är fysiskt möjligt och med rätt förutsättningar kostnadsmässigt fördelaktigt jämfört med landbaserade alternativ med samma grad av elektrifiering.

I andra logistiklösningar är Scania normalt sett inte delägare av fordon eller engagerade i transportörernas drift, utan fokuserar på att köpa transporttjänster. Samtidigt är Scania erfarna upphandlare som hittills har valt att inte lägga ut hela logistikkedjan på externa aktörer, eftersom de värdesätter att behålla kontrollen. De har dock uttryckt att de inte helt utesluter möjligheten att äga fordon eller engagera sig mer direkt, om en sådan lösning skulle vara avgörande för projektets genomförande.

Möjliga affärsupplägg

För stora och viktiga kunder erbjuder ibland transportörer en fast all-inklusive frakt per container, annars är det vanligt att containrar får en basfrakt plus ett antal tillägg. Tilläggen speglar kostnader med stor variation, tex bränsletillägg, valutatillägg. Basfrakten beräknas genom att alla fasta kostnader och divideras med antalet containrar fartyget fraktar vid en given fyllnadsgrad. På så sätt fördelas fasta kostnader per container och rörliga kostnader justeras genom olika tillägg. Beräkningarna bygger på att transportören kan optimera och dra nytta av sin storskalighet och därmed fördela risker på stora volymer. Kunden betalar bara frakt för de containrar den behöver transportera och transportören ansvarar för att fylla upp fartyget.

I projekt ELINORR, är det möjligt att göra på samma sätt, en transportör tar hand om hela logistiken och Scania kan få en all-inklusive frakt alternativt basfrakt plus rörlig kostnad per container. Skillnaden är att alla risker och kostnader slås ut på ett litet antal containrar och endast en kund. Fördelen att fördela risken på många varuägare saknas och möjligheten att komplettera med annan last är begränsad. Transportören kan kompensera genom att lägga en större riskpremie och vinstmarginal eftersom varje avvikelse i antal containrar påverkar relativt mycket. Ett annat sätt kan vara att inkludera ett minsta antal containrar per skeppning så att Scania betalar samma frakt oavsett antal containrar.

Om Scania vill ha större kontroll över logistiken än att överlåta allt till en transportör kan befraktning väljas som avtalsbas i stället för styckegodsavtal. Förutsatt att rederiet sköter nautiska fartygdriften (shipmanagement) är framför allt befракtningsformerna tidsbefraktning och resebefraktning lämpliga.

Vill Scania äga eller deläga fartyget tillkommer bareboat-befraktning, vilket skapar en s.k. befракtningskedja. Scania hyr ut fartyget till rederiet, som ansvarar för bemanning och drift. Därefter tecknas ett separat avtal mellan Scania och rederiet för själva sjötransporten. Exakt vilken befракtningsform som väljs beror på hur Scania och rederiet kommer överens om att 'cut the cake' – det vill säga, vem som tar ansvar för olika delar som exempelvis inköp av fartygsbränsle, containrar eller lastbilstransporter. Att lägga allt ansvar på rederiet är enklare men troligen mer kostsamt och innebär samtidigt mindre kontroll och inflytande för Scania. Fördelningen av ansvar och risk avgörs av hur involverad Scania önskar vara och vad rederiet kan acceptera i de olika momenten i transportkedjan



Tabell 8. Jämförelse avtalsformer mellan hamnarna.

Avtalsform	Scania	Transportör/ Rederi
Bareboat (hyra)	Äger och hyr ut ett obemannat fartyg för viss tid.	Ansvarar för nautiska & kommersiella driften av fartyget.
Timecharter (hyra)	Utöver hyra till rederiet, tillkommer fartygets reserelaterade kostnader tex bränsle, hamnavgifter, lots, stuveri. Separata avtal för lastbilstransporter, mellanlagring i hamn och köp/hyra av containrar behövs.	Hyr ut ett bemannat fartyg till en befektare för en viss tid. Svarar för den nautiska driften av fartyget.
Voyage charter (frakt)	Betalar frakt som inkluderar fartygets drift och alla reserelaterade kostnader. Separata avtal för lastbilstransporter, mellanlagring i hamn och köp/hyra av containrar behövs.	Tillhandahåller ett bemannat fartyg för viss angiven resa och en viss angiven last. Resor kan göras konsekutivt. Står för fartygets drift och alla reserelaterade kostnader, tex bränsle, hamn, lots, stuveri.
Styckegods	Betalar frakt som inkluderar alla kostnader i transportkedjan. Ett avtal med transportören.	Tillhandahåller en logistiklösning end-to-end och inkluderar förutom fartygets alla kostnader även containrar, lastbilstransport, lagerhyra.
Lastbil	Avtal om lastbilstransport mellan fabrik och hamn.	Åkeri
Mellanlagring	Avtal om uppställningsyta i hamnen	Hamnen
Lasthantering i hamn	Avtal om lastning & lossning av fartyget. (voyex)	Stuveri
Fartygsanlöp	Hamnumgälder, lotskostnad (voyex). Vissa kostnader som uppstår kategoriseras som opex, tex laddström och flytande bränsle.	Fartygsagent
Fartygsdrift	Ingår i avtalet utom i bareboat charter.	Rederi
Container	Ingår i priset vid styckegods, ej vid befraktning.	Containerleverantör/rederi

För Scantias del innebär det att valet av avtalspartner inte enbart bör baseras på lägsta pris, utan även premiera faktorer som samarbetsvilja, transparens, långsiktighet och finansiell stabilitet. Avtalspartnern bör dessutom dela Scantias hållbarhetsambitioner, ha dokumenterad erfarenhet och vara högt ansedd i branschen. Långsiktighet är en grundförutsättning, vilket gör att ett framtida byte av avtalspartner blir både komplicerat och kostsamt.



Containrar

Beslutet att transportkonceptet ELINORR ska transportera godset i 40-fots-pallet-wide-containrar har en påverkan på resterande operation, varför olika beslut kopplade till containertyp redogörs för i detta avsnitt. Det gäller framför allt containertyp, användningen av ett slutet system samt antalet containrar som behövs.

Containertyp

Valet av containertypen 40-fots PW är kostnadsdrivande jämfört med ordinära containrar. Tabell 9 sammanfattar en jämförelse mellan dessa två containertyper. Fördelen med 40-fots PW är att den invändiga bredden möjliggör två europa-pallar i bredd vilket ökar lastkapaciteten, dvs fler pallar får plats. Detta innebär färre antal containrar. Det är positivt för hanteringen, både vid lastning och lossning av pallar inuti containern och färre antal lyft av containrar i hamn samt lastbilar som transporterar containrar till och från hamn. Därmed innebär 40-fots PW i fallet ELINORR kortare hanteringstid.

Tabell 9. Jämförelse mellan containertyperna 40-fot standard respektive pallet wide

	JÄMFÖRELSE	
KOSTNAD	40-fots container pallet wide (PW)	40-fots container standard
Kostnad för ägarskap/leasing per container	(-) Högre (cirka 15–20%)	(+) Lägre
Fraktkostnad/pall	(+) Lägre (pga högre lastkapacitet, fler pallar/container)	(-) Högre (pga lägre lastkapacitet, färre pallar/container)
Hanteringskostnader	(+) Lägre (pga färre lyft av containrar och enklare lastning och lossning av pallar inuti containern)	(-) Högre (mer tidskrävande pga fler lyft av containrar och lastning och lossning av pallar inuti containern)
Underhållskostnader	(-) Något högre. Pga mer komplexa interiörer och konstruktioner (t.ex. hyllor eller stöttor för pallhantering). Båda containertyper kräver regelbundet underhåll.	(+) Något lägre. Båda containertyper kräver regelbundet underhåll.
Försäkringskostnader	Liknande, men lägre risk	Liknande
Avskrivning/livslängd	Liknande, vanligtvis livslängd på 10-15 år. PWs kan avskrivas snabbare vid intensiv användning.	Liknande
EFFEKTIVITET		
Lastkapacitet	(+) Högre ca 37% fler pallar (ca 33 pallar)	(-) Lägre (ca 24 pallar)
Antal som behövs	(+) Färre	(-) Fler (36 % fler containrar behövs)
Stapling i stack	(-) Lägre Har inte samma konstruktion som standard därför lägre stackhöjd	(+) Högre



Å andra sidan ska det noteras att det också finns nackdelar med användning av 40-fots PW containrar. Den första handlar om tillgänglighet, trots fördelarna med lastkapacitet har containertypen inte slagit igenom och få är tillgängliga i omlopp. Dessutom är kostnaden per container högre för ägarskap eller leasing, särskilt om den transportoperatör som ska utföra sjötransporten inte redan har 40-fot pallet wide-containrar i sin flotta. Tätt kopplat till detta är också eventuella positioneringskostnader för containrar om ELINORR ska nyttja transportörens utrustningsflotta. Underhållskostnader kan vara något högre för PW-containrar om det finns konstruktioner inuti dem för pallhantering. Dessutom kan inte pallet wide-containrar staplas lika högt som standardcontainrar, vilket gör att större landyta behövs för lagring i hamn. Det påverkar också hur många som kan staplas på varandra ombord, men i transportkonceptet ELINORR staplas max 3 under däck och ovanpå däck vilar de på lastdäck, vilket inte är ett problem.

En annan nackdel är att PW-containrar är svårare att ersätta, exempelvis om någon container skadas och behöver underhåll. Detta har att göra med den lägre tillgängligheten i Sverige och den längre positioneringssträcka som skulle behövas för att transportera en ytterligare container till Södertälje eller Skellefteå. Lång positionering av ersättningscontainer skulle också kunna innebära att det tar lång tid att få ersättningscontainer på plats. Eftersom fabriken inte vill stå utan godsflödena är därför ett visst antal extra containrar redan på plats i Södertälje att rekommendera, även om det innebär högre leasing/ägarkostnad. Risken får vägas mot möjligheterna att ersätta transport av en container med landtransport i lastbil alternativt användning av en standard 40-fotscontainer tills ersättningscontainer finns på plats.

Ur varuägares perspektiv kopplat till hantering är PW-alternativet att föredra då det innebär högre lastkapacitet och effektivare hantering och transport, särskilt om man räknar per pall. Däremot kan det för transportutföraren innebära högre kostnader per container, och denna högre kostnad lär föras vidare till varuägaren vid utformning av avtal.

Antal containrar i slutet system

Med tillräckligt antal 40-fots PW i egen regi (köpta eller leasade) kan dessa användas i ett slutet system (fram och tillbaka mellan Skellefteå och Södertälje). Detta är relevant eftersom containrarna behöver transporteras tillbaka till Skellefteå innehållande tompallar och därmed inte behöver beblandas med transportutförarens övriga utrustningsflotta. Här kan antingen varuägare eller transportutförare äga eller leasa containrar. I fallet ELINORR har varuägarna uttalat att de inte vill äga utrustning, i detta fall container, varpå transportutföraren behöver ta det ansvaret. Det kommer att synas i avtalet mellan varuägare och transportutförare eftersom det innebär en risk för en transportutförare som troligen inte redan har eller ser någon annan användning för containertypen 40-fot pallet wide. Även återförsäljningsvärdet kan vara lägre än för standardcontainrar. Det är därför inte självklart att transportutföraren i detta fall köper containrarna.

Om man jämför ägande kontra leasing så kräver ägande vanligtvis en högre initial investering men kan vara värt det om man har långsiktiga volymåtaganden, medan leasing kan vara mer flexibelt och lägre initiala kostnader, men kan över tid innebära ökade kostnader.

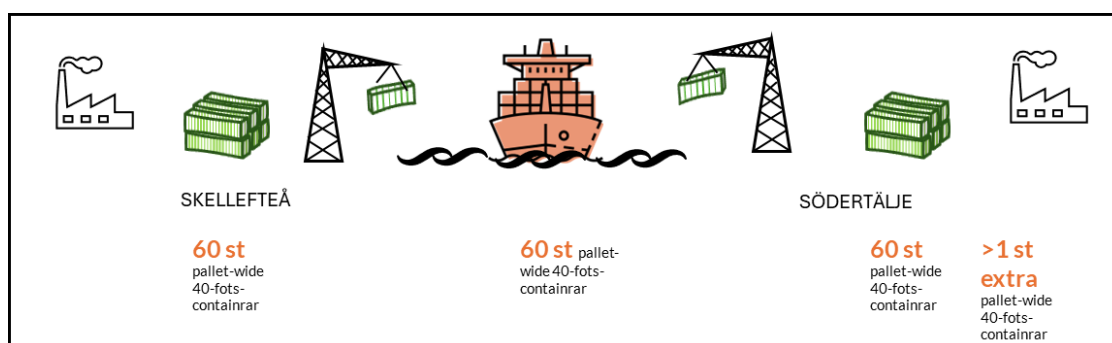
För ett fullständigt optimalt system kan hamnen nyttjas som enda mellanlagring. Landtransporterna optimeras så att en lastbil hämtar upp en container och levererar i lastporten i samma takt som fabriken behöver den. På tillbakavägen tar lastbilen med sig en tom-



container till hamnen. Det förutsätter att lastbilen har tillgång till hamnen och möjlighet att hämta/lämna containrar i container yarden dygnet runt. Annars får lastbilen schemaläggas så att tillräckligt antal containrar hämtas under hamnens öppettider och tillfälligt mellanlagras i fabriksområdet. Om yta och möjlighet till mellanlagring inom fabriksområdet helt saknas tillkommer transportkostnad, hyra och hantering på en mellanlagringsplats.

Detta upplägg förutsätter också lagringsyta i respektive hamn för minst 60 st containrar, vilket kommer regleras i avtal med hamnarna, om s.k. platshyra. Här noteras att containrar behöver kunna placeras i hamnen så att det är tydligt vilka som är lastade respektive tömda (innehåller tompallar). Dessutom bör beaktas i vilken utsträckning containrarna kan staplas.

Figur 23 åskådliggör att minst 180 containrar behövs i systemet för att hålla flödet rullande enligt schema. Det kan vara fördelaktigt att ha ett antal extra ifall skador upptäcks på någon container vid avsyning så att inte flödet stoppas eller kvantiteten som kan skickas påverkas. För att slippa onödiga transporter föreslås avsyning av tömd container i Södertälje.



Figur 23. Behov av containrar för ett återkommande flöde

En grov beräkning av kostnader för att införskaffa extra containrar visas i Tabell 10. Tabellen är endast för att ge en grov bild av storleken på kostnaderna samt jämföra leasing och ägande. Det tillkommer kostnader för förvaring av containrar i båda fall. Utifrån denna grova beräkning verkar leasingkostnader vara högre än ägande. Dock ska nämnas att kostnaderna beror på väldigt många saker, såsom tillgång och efterfrågan och för leasing även bindningstid och antal. Därmed ska nedan enbart ses som en indikation. I beräkningarna för att äga containrar har följande använts: 6-12% bankränta, 5-10 år tid annuitetslån, restvärde 0 SEK, UH-kostnad 5% av investering/år, vinstkrav 10% av investering/år.

Tabell 10. Grov jämförelse av kostnader för att leasa eller äga containrar.

Antal containrar (40 fot pallet wide)	LEASA (SEK/år)		ÄGA (SEK/år)	
	Min	Max	Min	Max
1	18 000	36 000	15 723	27 782
5	90 000	180 000	78 614	138 908
10	180 000	360 000	157 227	277 816
20	360 000	720 000	314 455	555 633

Containrar behöver underhållas och emellanåt repareras, antingen i egen regi eller externt, ett antal extra containrar bör finnas i omlopp för att direkt kunna ersätta containrar som behöver åtgärdas. Fördelen med ett slutet system är att det är enklare att övervaka var i



systemet återkommande skador uppstår och åtgärda rotorsaken, och att containrarna kan utrustas med RFID taggar för automatiserad spårning.

Avtalets komponenter

För att ett avtal ska komma till stånd måste båda parterna anse att risktagandet och priset är acceptabelt. Fartyget och godsflödet är så pass specifikt och begränsat att ett rederi har svårt att finna upplägget tillräckligt intressant givet de stora riskerna. Även om det finns en viss överkapacitet att boka annan last, är rutten och tidtabellen låst, transporten därtill långsam och möjligheterna till flexibilitet låg.

Avtalslängd, indexering och volymåtaganden

Ett långsiktigt avtal, till exempel 10 år, ger tillräcklig stabilitet och förutsägbarhet för båda parter. Transportören får en stabil omsättning och Scania får förutsägbara kostnader. Långa avtal bör innehålla överenskomna indexeringar för prisjusteringar relaterade till t.ex. valutarisker, inflation, bunkerpris, elpris och även klausuler som omfattar eventuella regulatoriska risker över tid.

Avtalet behöver hantera volymåtagandet över tid. Basvolymen är 60 st PW40 i veckan, variationer som inte är akuta bör kommuniceras 4–6 veckor i förväg för att rederiet ska kunna nyttja tillgänglig kapacitet på bästa sätt.

Rederiet måste planera och kommunicera fartygets dockningar och annat som påverkar fartygets service, så att Scania och Northvolt har tillräcklig tid att överbygga den tid fartyget beräknas vara ur service.

Servicenivå

Avtalet bör tydligt definiera leveransförpliktelser, punktlighet, reservplan och kvalitetsstandarder samt mätbara KPI:er för utvärdering och hur avvikelser kompenseras. Det skapar klara förväntningar, ansvarsområden och incitament att hålla den avtalade servicenivån. Transportören bör inte finna incitamentet att komplettera lasten så intressant att den överväger att betala sig ur eventuella förseningar.

Digitala lösningar för operativ effektivitet

Elektroniskt datautbyte (EDI) möjliggör informationsutbyte med minskad administrativ börda, färre fel samt påskyndar processen för orderläggning (bokning), dokumentation och fakturering.

Optimalt bör en robust digital plattform byggas upp som automatiserar administrationen och även möjliggör realtidsuppdatering. På så sätt kan alla parter alltid vara uppdaterade kring fartygets och containrarnas position. Signal på eventuella avvikelser kan därmed snabbt uppfattas och hanteras för att minska störningens omfattning.

I förlängningen kan autonoma lösningar mellan hamnens containerstack och fabriken integreras.



Kostnadskalkyler

En av de prestandaindikatorer projektet behöver beräkna och jämföra med transport på land är transportkostnad. Denna har valts till kostnad per år, där jämförelse görs mot tre alternativa landtransportsystem. De tre alternativen som jämförs mot är lastbilstransport hela vägen från Skellefteå till Södertälje samt två varianter av intermodal transport med inledande och avslutande transport med lastbil och mellanliggande transport med järnväg.

För samtliga alternativ fraktas containrarna i likadana 40-fots pallet wide-containerar som till sjöss. De jämförelsealternativ som använts är följande:

- 1) Transport med dragbil och flaksläp direkt från Northvolt till Scania, lastbil användande HVO.
- 2) Intermodal transport med inledande och avslutande transport med dragbil med flaksläp driven av HVO, mellanliggande transport med järnväg.
- 3) Intermodal transport med inledande och avslutande transport med dragbil med flaksläp driven av biogas, mellanliggande transport med järnväg.

Kostnad för dessa alternativ har erhållits från Scania i form av SEK/per container. Jämförelsen görs mot antagande av 60 containrar per vecka under 48 veckor/år, precis som för fartygstransporterna.

Kalkylerna baserar sig på ett snapshot med kostnader från tidigt 2024, det samma gäller kostnadsbilden för landtransporter. Det bör noteras att kostnader sedan dess kan ha gått upp, t.ex. har nybyggnadspriser för fartyg i Asien ökat baserat på flera anledningar, såsom hög efterfrågan på nya fartyg och kapacitetsbegränsningar vid varven. Dessutom har växelkurser ändrats.

Sammanfattningsvis står kapitalkostnader står för den i särklass största andelen av kostnaderna (ca 60% av övergripande medelvärde). Kapitalkostnaderna för batterier och fartyg har också hög osäkerhet. Det är därmed viktigt i arbetet med fartygsdesignen att i möjligaste mån minska osäkerheter och kostnader kopplat till just detta. Därefter är näst största kostnader från Sjöfartsverket och hamnar (ca 17%), vilket domineras av lotskostnader. Lotskostnaden kan minskas med lotsdispens vilket bör kunna ske inom ett halvt års operation längs rutten

Använd metod

Samtliga kostnader har beräknats med den så kallade successiv-metoden (Lichtenberg, 2000). Denna innebär att kostnader uppskattas med tripletter på formen minimalt möjlig, mest sannolik och maximalt möjlig. Metoden har i detta fall kombinerats med parametrisering på lägre detaljeringsnivå när så varit möjligt. Ett exempel på detta är att bränslepris för metanol beräknats som:

$$\text{Bränslekostnad (SEK/kWh)} = \frac{\text{bränslepris (Euro/kg)} * \text{växelkurs (SEK/Euro)}}{\text{energitäthet (kWh/kg)}}$$

Variabiliteten i detta specifika fall har valts enligt Tabell 11 nedan.



Tabell 11. Parametrisering vid beräkning av metanolpris per kWh.

	Min	Trolig	Max	
Bränslepris MeOH	1,2	1,25	1,3	Euro/kg
Växelkurs	11	11,5	12	SEK/Euro
Energitäthet MeOH	5,5	5,5	5,5	kWh/kg
Energipris MeOH	2,40	2,61	2,84	SEK/kWh

För detta exempel blir väntevärdet (M) och standardavvikelsen (S) för metanolens energipris:

$$M_{\text{energipris}} = \frac{2,4+3*2,61+2,84}{5} = 2,62 \text{ SEK/kWh och}$$

$$S_{\text{energipris}} = \frac{2,84-2,40}{5} = 0,09 \text{ SEK/kWh.}$$

Denna form av parametrisering (väntevärde M och standardavvikelse S) har sedan använts i beräkningar av total bränslekostnad per år, där använd mängd metanol varierar beroende på hur många battericontainrar som ställs ombord.

Enligt regler för summering av statistiska fördelningar summeras väntevärden normalt (summan av till exempel $M_{\text{metanolkostnad}}$ och $M_{\text{elkostnad}}$ är summan av de enskilda väntevärdena). Standardavvikelsen av två summerade normalfördelningar är dock inte summan av de enskilda fördelningarnas standardavvikelser. Däremot får de enskilda fördelningarnas varians, $V = S^2$ summeras.

Med exemplet ovan är alltså standardavvikelsen för normalfördelningen för summan av metanolkostnad och elkostnad:

$$S_{\text{metanolkostnad+elkostnad}} = \sqrt{S_{\text{metanolkostnad}}^2 + S_{\text{elkostnad}}^2}$$

Den framtagna kostnadsmodellen innehåller totalt ca 130 variabler samlat över alla kostnadsgrupper. Eftersom samtliga dessa parametrar innehåller mått av variabilitet över längre tidsrymd uppstår en svårighet att genomföra en normal variationskalkyl. Successivmetoden har fördelen att i en singular analysprocess beskriva osäkerheter/variabilitet och samtidigt ge information om vilka parametrar och kostnadsgrupper står för störst andel av medelvärde och osäkerhet/variabilitet. Denna övergripande information samt ett fåtal specifika variationskalkyler för att svara på särskilt intressanta frågor finns i avsnittet *Diskussion och känslighetsanalys*.

Normalt grupperas kostnader för fartyg under huvudgrupperna CAPEX (kapitalkostnader), OPEX (operationella kostnader) och VOYEX (resekostnader). Skillnaden mellan OPEX och VOYEX är att OPEX-kostnader uppstår vare sig fartyg genomför transporter eller ej. Ett exempel är att kostnad för bemanning är en operationell kostnad medan kostnad för lotsning är en resekostnad. Kostnadsmodellen är därför uppbyggd på undergrupper enligt Tabell 12.



Tabell 12. Huvud- och undergrupper rörande fartygskostnader.

Huvudgrupp fartygskostnader	Undergrupper fartygskostnader
CAPEX	Kapitalkostnader (räntor och amortering på externa lån samt avkastning på egen-investerat kapital) som delas upp mellan fartygskostnader och batterikostnader separat.
OPEX	Bemanning
	Underhåll
	Försäkring
	Avgifter och kostnader för att hålla fartyget i klassällskap
VOYEX	Energikostnader (laddström och tillsatsbränsle metanol och/eller HVO)
	Hamnkostnader (godshantering, trossföring, hamnavgifter, varuhamnsavgifter m.m.)
	Sjöfartsverkets avgifter (lotsning, beredskapsavgift, farledsavgift, godsavgifter)

CAPEX - Kapitalkostnader

Kapitalkostnaderna delas upp i två separata undergrupper för fartyget eftersom graden av elektrifiering önskas varieras: kostnader för fartyget och kostnader för batterierna. Detta för att tydliggöra att andelen av de totala kapitalkostnaderna från battericontainrarna som uppstår kan vara större än för fartyget i övrigt för de fall då många battericontainrar används. Fartygskostnader är baserat på byggnation i Asien. Vill man bygga i Europa blir det mer kostsamt (ca. 40-50%).

Kapitalkostnaderna för respektive undergrupp delas i sin tur in i följande poster:

- Årskostnad för externt annuitetslån
- Årskostnad för avkastning på eget investerat kapital

Anledningen att använda annuitetslån för analysen är att undvika problemet med varierande räntekostnader över tid om man väljer ett lån som amorteras, eller hur man ska beräkna kostnader och nyttor om lånet är amorteringsfritt och löses vid lånets slut med medel som byggts upp i kassa. Genom att göra analysen mot ett annuitetslån försvinner behovet att göra analysen som en tidsserie, och hur resultaten av denna tidsserie ska tolkas och värderas.

Eftersom vi har valt att endast titta på kostnader i termer av kassaflöde som behövs för att betala ränta + avbetalning på lån samt generera önskad avkastning på eget insatt kapital så använder vi inte andrahandsvärdet i beräkningarna. Andrahandsvärdet är intressant i separata kalkyler av bokfört värde – vi har valt att inte studera denna aspekt av den långsiktiga finansieringen då den lätt blir relativt komplicerad eftersom beskattningsregler m.m. börjar vara viktiga i sådana analyser. Frågan är dock viktig för en redare som kunde vara intresserad av att bygga fartyget, varför hur bokfört värde varierar över tid kunde vara av intresse att studera i ett kompletterande projekt.



Tabell 13. Parametrisering för beräkning av kapitalkostnader.

	Årskostnadspåverkande faktorer		
	Min	Trolig	Max
Externränta fartyg	7%	9%	10%
Löptid för lån fartyg	15	12	10
Externränta batteri	10%	12%	13%
Löptid för lån batteri	10	9	8
Investeringsbehov fartyg	120 000 000	150 000 000	170 000 000
Antal battericontainrar	Varieras från 0 till 20 st		
Kapacitet i varje battericontainer	3 500	3 500	3 500
Pris per kWh för battericontainer	4 000	4 500	5 000
Investeringsbehov batterier	Beror på antalet batteriercontainer		
Egeninvestering fartyg	25%	30%	35%
Egeninvestering batterier	30%	35%	40%
Avkastningskrav egen investering	9%	11%	12%

När kostnaderna utvärderats per år erhålls följande tabeller för de diskreta fallen med 5, 10 och 15 containrar:

Tabell 14. Kapitalkostnader med 5 battericontainrar.

	Min	Trolig	Max
Annuitetslån fartyg	8 563 981	14 417 590	20 750 038
Annuitetslån batteri	6 835 307	9 621 241	12 763 687
Internränta fartyg	2 700 000	4 770 000	7 140 000
Internränta batteri	1 890 000	2 970 625	4 200 000
Total kostnad per år:	19 989 287	31 779 456	44 853 724

För 5 battericontainrar, om kapitalkostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 32\,036\,276$ SEK/år och standardavvikelse $S = 2\,889\,259$ SEK/år.

Tabell 15. Kapitalkostnader med 10 battericontainrar.

	Min	Trolig	Max
Annuitetslån fartyg	8 563 981	14 417 590	20 750 038
Annuitetslån batteri	13 670 613	19 242 482	25 527 373
Internränta fartyg	2 700 000	4 770 000	7 140 000
Internränta batteri	3 780 000	5 941 250	8 400 000
Total kostnad per år:	28 714 594	44 371 322	61 817 411

För 10 battericontainrar, om kapitalkostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 44\,729\,194$ SEK/år och standardavvikelse $S = 3\,633\,955$ SEK/år.

För 15 battericontainrar, om kapitalkostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 57\,422\,122$ SEK/år och standardavvikelse $S = 4\,615\,408$ SEK/år.



Tabell 16. Kapitalkostnader med 15 battericontainrar.

	Min	Trolig	Max
Annuitetslån fartyg	8 563 981	14 417 590	20 750 038
Annuitetslån batteri	20 505 920	28 863 723	38 291 060
Internränta fartyg	2 700 000	4 770 000	7 140 000
Internränta batteri	5 670 000	8 911 875	12 600 000
Total kostnad per år:	37 439 900	56 963 188	78 781 098

OPEX – Operationella kostnader

De operationella kostnaderna är sådana som uppstår när fartyget är förberett för att med kort varsel kunna ta transportuppdrag oavsett om det gör några resor eller ej. Exempelvis krävs en besättning ombord, fartyget måste ha giltiga försäkringar och certifikat.

Bemanningskostnader

Bemanningskostnaderna baseras på intervjuer med en redare samt Sjöbefälsföreningen.

Tabell 17. Parametrisering av bemanningskostnader.

	Kostnadspåverkande faktorer			Enhet
	Lägst kostnad	Medel kostnad	Högst kostnad	
	Min	Trolig	Max	
Befälhavare	1	1	1	st
Förste styrman/Chief officer	1	1	1	st
Matros/däckspersonal (även utkik)	1	2	2	st
Kock/matros	1	1	1	st
Maskinchef/Teknisk chef	1	1	1	st
Motorman	0	0	1	st
Summa besättningsstorlek	5	6	7	st
Teknisk/operativ ledning; heltidstjänster	0,25	0,25	0,25	st
Befälhavare	42 000	44 000	45 000	SEK/mån
Förste styrman/Chief officer	32 137	34 006	35 859	SEK/mån
Matros/däckspersonal (även utkik)	25 389	26 521	27 942	SEK/mån
Kock/matros	26 362	26 610	28 429	SEK/mån
Maskinchef/Teknisk chef	35 351	37 407	39 445	SEK/mån
Motorman	25 389	26 521	27 942	SEK/mån
Teknisk/operativ ledning etc.	45 000	48 000	55 000	SEK/mån
Kompletta besättningar som behövs	2	2,05	2,1	st
Påslag sociala avgifter pension etc	38%	40%	42%	%
Befälhavare	1 391 040	1 515 360	1 610 280	SEK/år
Förste styrman/Chief officer	1 064 377	1 126 279	1 283 178	SEK/år
Matros/däckspersonal (även utkik)	840 884	1 756 751	1 999 753	SEK/år
Kock/matros	873 109	881 323	1 017 303	SEK/år
Maskinchef/Teknisk chef	1 170 815	1 238 907	1 411 496	SEK/år
Motorman	0	0	999 877	SEK/år
Teknisk/operativ ledning etc.	372 600	397 440	492 030	SEK/år



Till grund för kostnaderna ligger antaganden om fartygets besättningsstorlek och sammanställning samt deras löner. Avseende besättningsstorlek har projektet försökt efterlikna de bemanningsbeslut som finns för fartyg med liknande kustnära rutt och fartygsstorlek. Spridningen i parametrisering har försökt att ta hänsyn till konservativa beslut (större besättning) från Transportstyrelsen. Avseende lönekostnader har Europaavtalet använts och de tariffer det innehåller för år 2023. Det finns möjligheter att minska lönekostnaden för det fall fartyget registreras i annan flaggstat än Sverige och bemannas med sjömän och befäl från länder med lägre lönenivå. Parametriseringen av bemanningskostnaderna är gjord enligt Tabell 17.

Om bemanningskostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 7\,054\,984$ SEK/år och standardavvikelse $S = 620\,218$ SEK/år.

Försäkringskostnader

Försäkringskostnaderna har tagits fram efter intervjuer och dialog med bl.a. Swedish Club.

Försäkringskostnaden beror i hög grad på antalet battericontainrar ombord vilka har varierats från noll till tjugo stycken. Nedan visas fallet för 5 battericontainrar (Tabell 18). Notera att kostnad för försäkring av lasten inte är inkluderat eftersom vi inte kunnat få data om detta värde. Antingen redaren eller någon av avsändaren eller mottagaren av godset kan försäkra det. Vem som bör göra det för transporten till sjöss avgörs i hög grad av vilka Incoterms för transporten som väljs mellan de tre parterna nämnda ovan. Ytterligare forskning eller utredning om de ekonomiska förutsättningarna bör ta med detta i beaktande.

Parametriseringen av försäkringskostnaderna är gjord enligt Tabell 18 för exemplet med 5 battericontainers ombord.

Tabell 18. Parametrisering av försäkringskostnader för fallet med 5 battericontainers ombord.

	Kostnadspåverkande faktorer			
	Lägst kostnad	Medel kostnad	Högst kostnad	
	Min	Trolig	Max	
P&I/GT	6	6	6	SEK/(GT*år)
H&M Kasko rate	0,50%	0,50%	0,50%	av värde att försäkra
War & piracy rate	0,085%	0,085%	0,085%	av värde att försäkra
Antal battericontainers		5 stycken		stycken
Värde att försäkra, kasko	190 000 000	228 750 000	257 500 000	Batterier + fartyg

Om dessa omsätts till årskostnader erhålls följande:

Tabell 19. Årskostnader för försäkring för fallet med 5 battericontainers ombord.

	Kostnad, SEK/år			
	Min	Trolig	Max	
P&I ansvar fartyg	17 544	17 544	17 544	SEK/år
H&M kasko fartyg	950 000	1 143 750	1 287 500	SEK/år
War & piracy insurance	161 500	194 438	218 875	SEK/år
Lastförsäkring?	?	?	?	SEK/år



Om bemanningskostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 1\,344\,032$ SEK/år och standardavvikelse $S = 78\,975$ SEK/år för det diskreta valet av fem battericontainrar ombord.

Underhållskostnader

För att beräkna fartygets årliga underhållskostnader i medeltal har intervju och samarbete med Stockholms Reparationsvarv AB (SRVAB) genomförts. Tillsammans med Technical Manager Egil Gustafsson har en större och en mindre årsöversyn av fartyg under 2022 och 2023 gått igenom. Det ena av dessa var ett torrlastfartyg något större än ELINORR, det andra en produkttanker något mindre än ELINORR. Data om dessa underhållskostnader har parametriserats och översatts till ett fartyg av ELINORRs storlek. Kostnaderna inkluderar också vissa av de klassrelaterade kostnaderna för de fall dessa har fakturerats rederiet via SRVAB. Exempel på parametrar och kostnadsposter som ingått är:

- Blästring och grundmålning av ytor över vattenlinjen (skrov, däck, överbyggnad).
- Täckmålning av ytor över vattenlinjen.
- Målning av ytor under vattenlinjen.
- Av- och pålyft av livbåtar och annan utrustning för service.
- Service av däckutrustning (dävertar, vinschar m.m.).
- Svetsarbeten.
- Kontroller i tankar och void spaces, inkl utfärdande av ”*tank entry permits*”.
- Bogsering.
- Indockningskostnader.
- Kostnad för laddström till fartyget.
- Klassgodkännanden av utfört arbete och analyser.

Totalt har kalkylen baserats på cirka 40 kostnadsposter (t.ex. kostnad för färg per liter) och 15 parametrar (t.ex. ytors storlek, antal lyft etc).

Kostnadsmodellen kommer inte att delas i detalj med anledning av NDA. Kostnaderna är gjorda med antagande av en större indockning var 60e månad med en mellanliggande mindre indockning.

Kostnaderna innehåller inte kostnader för avhjälpande underhåll per år genomfört av besättningen, ej heller kostnader för planerat underhåll t.ex. av motorer. Anledningen till detta är avsaknad av data samt att specifikt motorunderhållet är så beroende av gångtid. Gångtiden i sin tur beror så starkt på maskinkoncept, antal battericontainrar ombord samt behov av extra energi vid gång i is att vi i detta skede inte kunnat beräkna dem.

När kostnaderna summeras erhålls följande summor:

Tabell 20. Underhållskostnader per år.

	Min	Trolig	Max	
Kostnad per år för indockning	771 745	812 364	852 982	SEK/år
Kostnad per år för klass	120 000	130 000	150 000	SEK/år
Summa	891 745	942 364	1 002 982	SEK/år



Om underhållskostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 944\,364$ SEK/år och standardavvikelse $S = 22\,247$ SEK/år.

Klasskostnader

Kostnaderna för att erhålla klassgodkännande och över tid hålla fartyget i klass är sannolikt den punkt där vi hittat minst information. Dessa kostnader är de som faktureras rederiet direkt av klassällskapet. Vi har antagit följande kostnadsmodell.

Tabell 21. Klasskostnader per år.

	Min	Trolig	Max	
Kostnad per år för klass	800 000	1 000 000	1 200 000	SEK/år
Summa	800 000	1 000 000	1 200 000	SEK/år

Om underhållskostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 1\,000\,000$ SEK/år och standardavvikelse $S = 80\,000$ SEK/år.

VOYEX - Resekostnader

Lotsnings- och farledskostnader

För att ta fram kostnader för farledsavgifter, godsavgifter samt lotskostnader har dialog förts med hamnarna och aktuella lotsstationer. Tariffer och kostnader för fartygsavgifter, lotsavgifter och godsavgifter har använts för 2023 (Sjöfartsverket 2022).

Kostnader för Sjöfartsverkets avgifter fördelas enligt Tabell 22. I beräkningen har hänsyn tagits till att ELINORR kommer att klassas med högsta möjliga rabatter för högsta miljöklass.

Tabell 22. Kostnadsmodell för avgifter från Sjöfartsverket.

	Totalt: SEK/år			Andel av total, %		
	Min	Trolig	Max	Min	Trolig	Max
Lotskostnad Skellefteå	1 116 480	1 116 480	1 330 560	29%	29%	30%
Lotskostnad Södertälje	2 400 960	2 400 960	2 829 120	63%	63%	63%
Farledsavg.+beredskapsavg.	60 060	60 060	60 060	2%	2%	1%
Godsavgift	255 629	255 629	255 629	7%	7%	6%
Summa	3 833 129	3 833 129	4 475 369			

Skillnaden mellan min, trolig och max orsakas av osäkerheter i tidsåtgång för lotsning. Viktigt är att det inom ett halvt år efter att fartyget sätts i drift på rutten finns god möjlighet för fartyget att ansöka om att få behörighet att lotsa sig själva. Det finns alltså en god möjlighet till besparing av 3.5-4.1 MSEK/år inom det första halvåret fartyget sätts i linjetrafik jämfört med ovan angiven årskostnad.

Om totalkostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 3\,962\,600$ SEK/år och standardavvikelse $S = 128\,450$ SEK/år baserat på 2023 års tariffer och kostnadsmodeller. När fartygets besättning erhållit godkännande att lotsa själva sjunker kostnader till $M = 315\,700$ SEK/år och standardavvikelse $S = 0$ SEK/år, också detta enligt 2023 års tariffer.



Kostnader för landtransporterna togs fram för 2022/2024 års kostnadsläge, och beräkningarna har inte uppdaterats med Sjöfartsverkets nya tariffer och kostnader. Men en jämförelse av skillnaderna mellan kostnader för 2023 och 2025 ger att:

- Summan av farledsavgifter, beredskap och godsavgifter har ökar med 189 000 SEK/år.
- Kostnad för lotsning har ökat med 746 000 SEK/år.

Kostnaden för farledsavgifter, beredskapsavgift och godsavgift har alltså ökat cirka 60% sedan 2023 för ELINORRs tänkta operationsprofil och lotsningen har ökat med cirka 20% under samma period.

Hamnkostnader

För att ta fram hamnkostnaderna har intervjuer gjorts med Skellefteå och Södertälje hamn. Med bas i dessa intervjuer samt hamntaxorna för 2024 projektet erhållit har en kostnadsmodell tagits fram. För att inte föra diskussionen i riktning mot eventuella skillnader i hamnarnas kostnader och hur Skellefteå respektive Södertälje hamn valt att fördela priser mot redare på olika avgiftsgrupper redovisas endast de totala kostnaderna. Alla antaganden är gjorda för en hantering av 60 containrar som lastas och 60 containrar som lossas i varje hamn per returresa.

Fördelningen av totala årskostnader för båda hamnarna ser ut enligt följande:

- Lyft- och hantering av containrar står för 58%-62%,
- varuhamnsavgifter för 24%-28%,
- fartygshamnavgifter för 8%-11% och
- trossföring för 3%-4% av årskostnaderna.

I och med fartygskonceptets två propelleraxlar med per propeller individuellt kontrollerbar stigning och tunneltruster i bogen antas att fartyget kommer att ha så hög grad av förmåga till manövrering i låg fart att behov av bogserbåtsupport näst intill aldrig kommer att uppstå. Kostnader för bogserbåtsupport har därför satts till noll. I syfte att minimera energiförbrukning ombord har det antagits att fartyget normalt inte tillverkar sitt eget färskvatten ombord. Baserat på antaganden om vattenförbrukning ombord och tillgängliga kostnader och avgifter för färskvatten i hamnarna har denna årskostnad beräknats till mellan 29 000 och 37 000 SEK/år. Som tidigare nämnts saknas idag kostnader för landinfrastruktur för laddning av batterierna. Sammanlagd kostnadsbild blir enligt följande tabell:

Tabell 23. Kostnadsmodell för hamnkostnader.

	Totalt: SEK/år			Andel av total, %		
	Min	Trolig	Max	Min	Trolig	Max
Fartygshamnkostnad	745 995	933 014	1 416 877	8%	10%	11%
Varuhamnskostnad	2 561 011	2 561 011	3 050 611	28%	28%	24%
Lyftkostnad containrar	5 448 960	5 448 960	8 040 960	60%	59%	62%
Trossföringskostnad	290 112	290 112	395 232	3%	3%	3%
Vattenkostnad	29 250	33 137	37 024	0%	0%	0%
Kostnad för bogserstöd	0	0	0	0%	0%	0%
Kostnad laddinfrastruktur	?	?	?	-	-	-
Summa:	9 075 328	9 266 234	12 940 705			

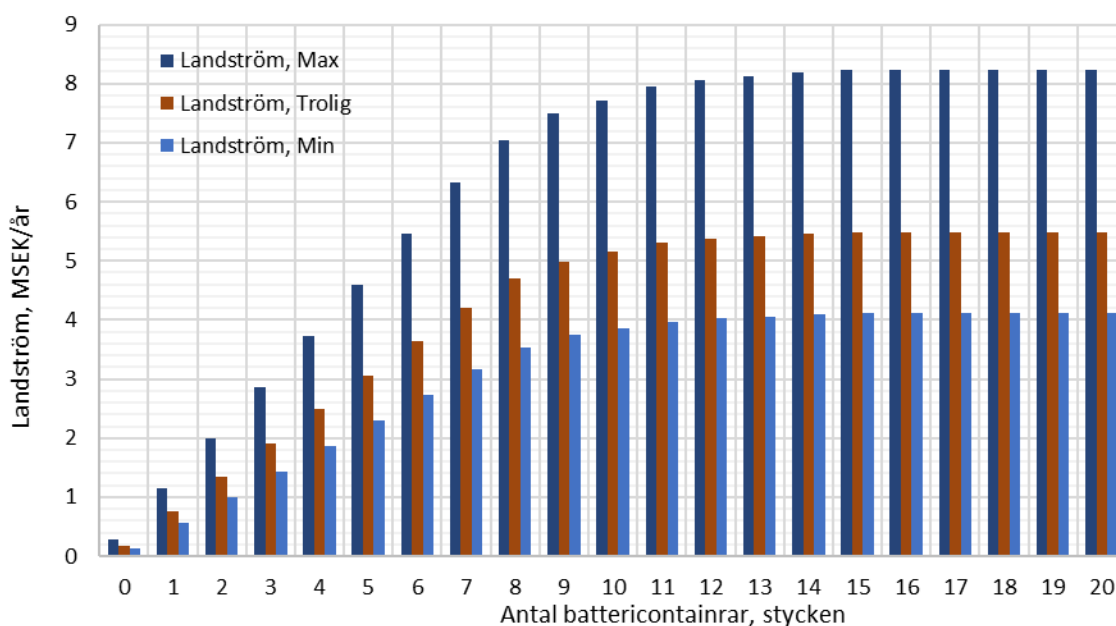


Om totalkostnaderna omsätts till väntevärde och spridning enligt successivmetoden erhålls väntevärde $M = 9\,962\,950$ SEK/år och standardavvikelse $S = 544\,770$ SEK/år.

Se också avsnittet om diskussion och känslighetsanalys avseende kostnader för en analys specifikt om möjligheterna att minimera hamnkostnaderna, och då med särskilt fokus på kostnader för lastning och lossning av fartyget.

Energikostnader

Oavsett val av antal battericontainrar för batteridrift måste en viss minsta mängd landström köpas. Detta beroende på att fartyget antas koppla in sig till landnätet då det ligger i hamn för att inte köra generatoraggregat under denna tid. Kostnaden för energimängden från laddström ökar successivt med ökat antal battericontainrar och börjar plana ut från cirka 8-12 battericontainrar. Anledningen till detta är att 8-12 containrar täcker de vanligast förekommande vind- och vågtillstånden längs rutten. Successivt fler antal battericontainrar behövs för extra resor som önskas göras enbart med batteriframdrift. Årskostnaden för laddström beroende på antalet battericontainers visas i Figur 24. Spridning i kostnaderna beror på antagen spridning i underliggande kostnad per kWh för laddströmmen. Kostnaden ska inkludera nätkostnader men inte tillkommande kostnad för hamnarnas landinfrastruktur. Vi har inte kunnat uppskatta denna då arbete fortfarande pågår i båda hamnarna med att ta fram koncept för både tekniska lösningar och affärsmodeller. Om kostnaden för detta blir kraftigt påverkande för total kostnad eller inte kan i hög grad antas bero på antalet fartyg som nyttjar anslutningen och vilka bidrag från EU och Sverige som installationerna i hamn kan komma att erhålla.

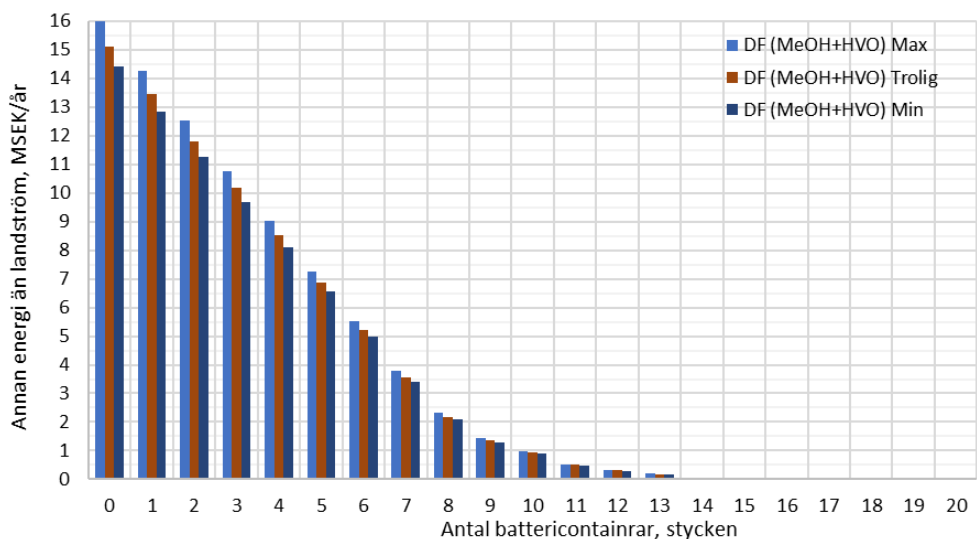


Figur 24. Årskostnad för laddström beroende på antal battericontainrar ombord.

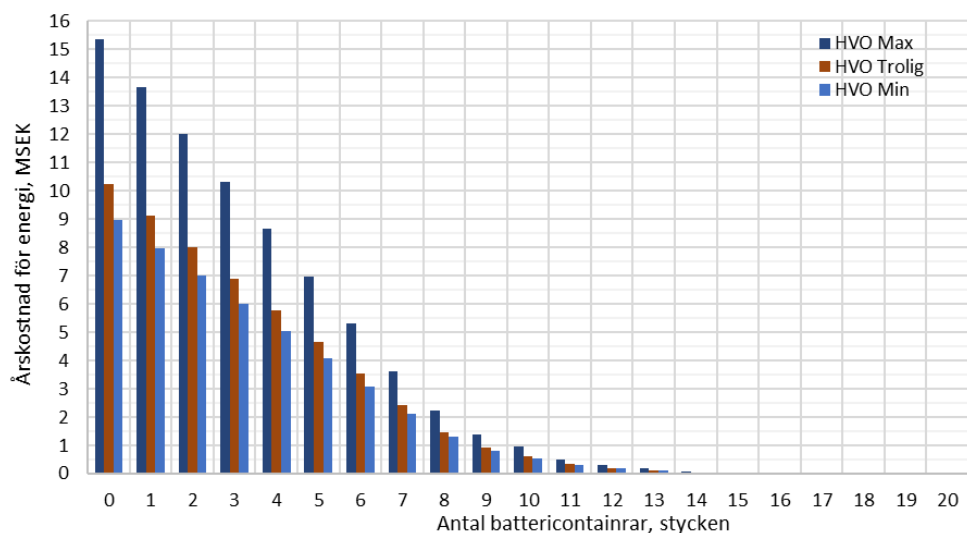
Förutom laddström måste också en viss mängd kompletterande bränsle köpas – ju färre battericontainrar ombord dess mer bränsle. För det framtagna konceptet skapas denna kompletterande energi ombord i två stycken förbränningsmotordriva generatoraggregat. Motorerna till generatoraggregaten är medelvarvsmotorer med kompressionständning. De kan drivas antingen av dieselbränsle eller metanol med dieselbränsle som pilotbränsle.



Dieselbränslet har ansatts att vara HVO, och metanol har ansatts att vara av icke-fossilt ursprung. För dessa två fall har kostnaden beroende på antalet battericontainrar ombord beräknats. På samma sätt som för laddström beror spridningen i kostnad på spridning i energikostnad per kWh för metanol respektive HVO. I detta fall är dock bränslena prissatta i USD/ton (för metanol) och Euro/m³ (för HVO). Detta innebär att även antagen variation på växelkurs mellan USD samt Euro mot SEK påverkar den sammanlagda spridningen för den årliga bränslekostnaden. De två fallen av val av antingen drift på metanol med HVO som pilotbränsle eller HVO visas i Figur 25 och Figur 26 nedan.



Figur 25. Årskostnad för metanol+HVO beroende på antal battericontainrar ombord.



Figur 26. Årskostnad för HVO beroende på antal battericontainrar ombord.

Den större spridningen för HVO jämfört med metanol + HVO beror primärt på bättre tillgång till historiska data om kostnader, men till mindre del på en antagen större spridning i växelkurs mellan Euro och SEK än mellan USD och SEK. Se delavsnitt ”Använda parametrar” för en översikt över antagna numeriska värden på samtliga dessa faktorer.

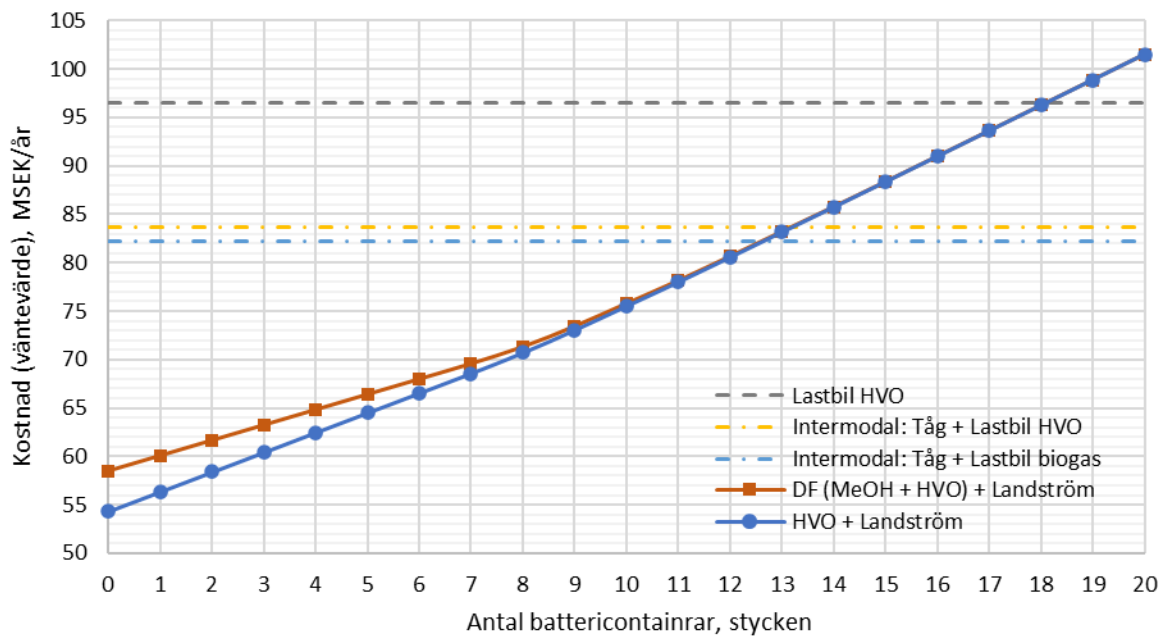
Den större absolutkostnaden för metanol beror primärt på mindre tillgänglig prishistorik – det lilla fåtal kostnadspunkter vi funnit har inte gått att korrelera i tid med motsvarande kostnad för HVO.



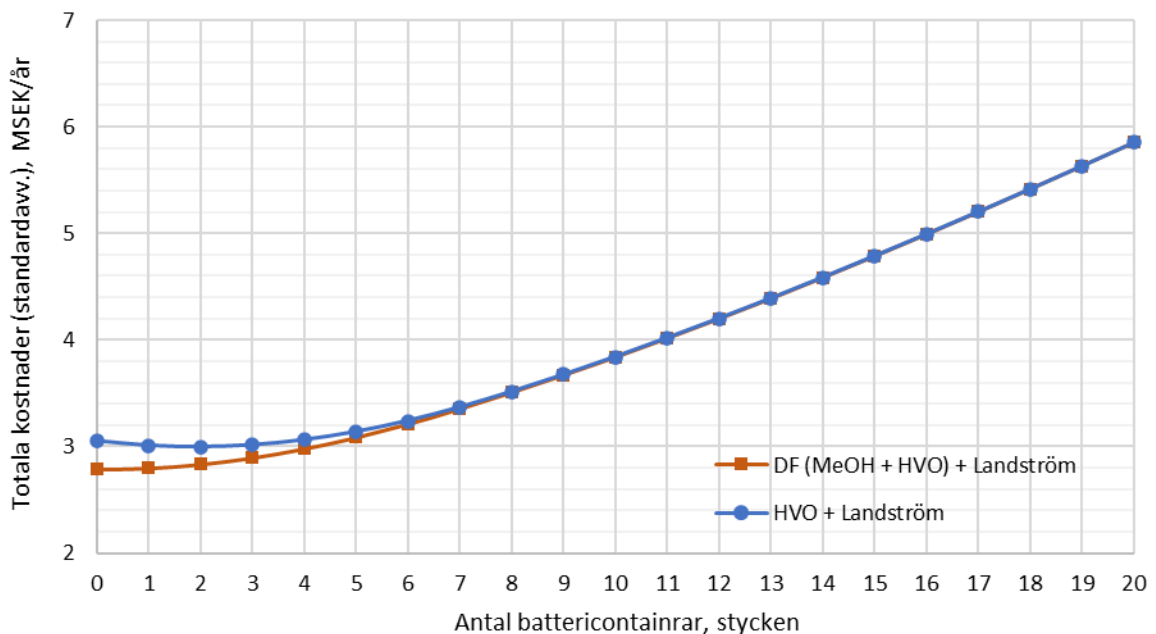
Man bör därför betrakta spridningen i pris mellan metanol och HVO i första hand som ett mått på potentialen för kostnadsbesparing med möjligheten att välja bränsle mellan HVO och metanol ganska fritt. Man kan ej från dessa beräkningar eller underliggande data dra slutsatsen att metanol generellt är dyrare än HVO.

Resultat av beräkningar: total årskostnad

När samtliga kostnadsgrupper (CAPEX, OPEX och VOYEX) summeras enligt successivmetoden erhålls årskostnaden, beskriven som väntevärde och en till denna kopplad standardavvikelse. När dessa plottas var och en för sig med variation av antalet anskaffade battericontainrar på x-axeln kan detta visualiseras med två grafer Figur 27 och Figur 28.



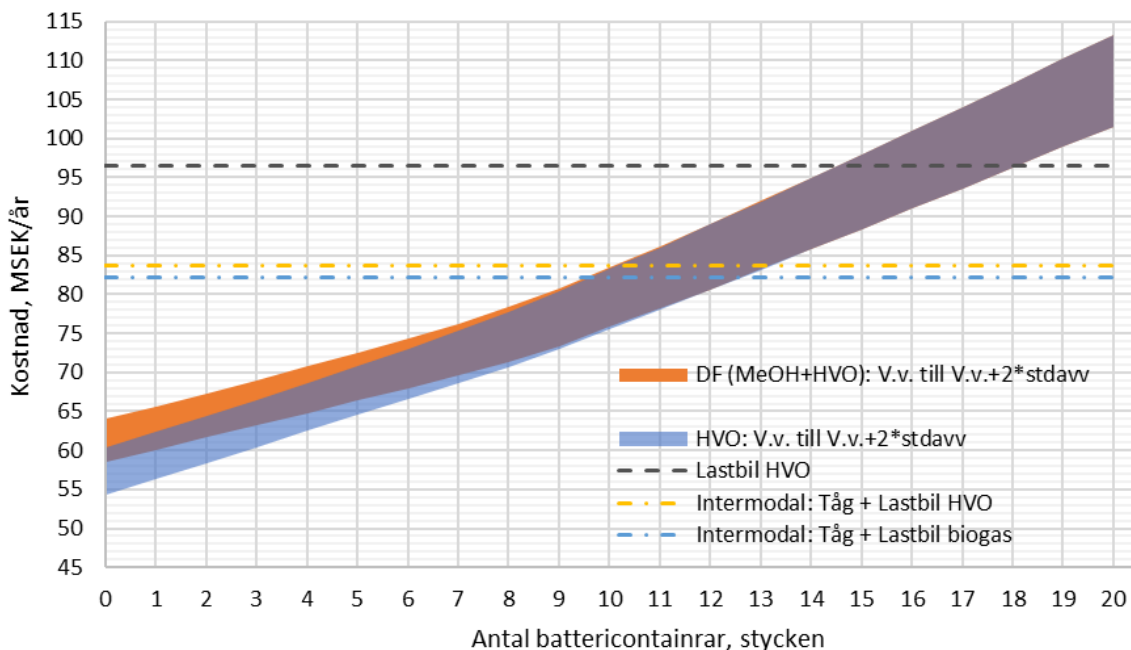
Figur 27. Väntevärde M för årskostnaden erhållen i MSEK beroende på antalet battericontainrar.



Figur 28. Standardavvikelse S för årskostnaden erhållen i MSEK beroende på antalet battericontainrar.

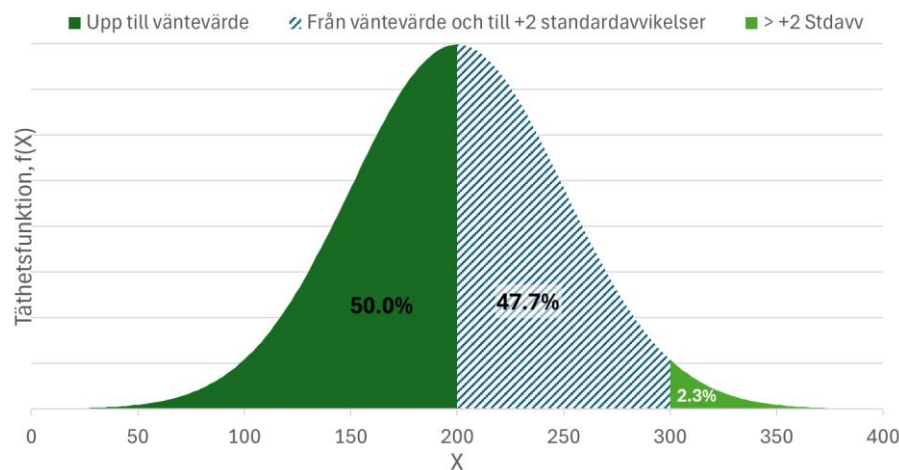


Om årskostnaden beskrivs i ett intervall för de två fallen med nedre värde valt som väntevärdet (50 % kumulativ sannolikhet) och det övre värdet som väntevärdet plus 2 gånger standardavvikelsen (ca 95% kumulativ sannolikhet) erhålls årskostnaden enligt Figur 29. I figuren har också årskostnaden för alternativa transportkoncept på land inkluderats som referens. För samtliga dessa landalternativ är godsflödet 60 containrar per vecka under 48 veckor per år. Se även Figur 30 för en visuell beskrivning av vilken yta som kostnadsbanden i Figur 29 motsvaras av i termer av täthetsfunktion (kurvformen) och sannolikhetsfunktion (ytan under kurvformen). Att kostnadsbanden sammanfaller från ca 10 battericontainrar beror på att det från denna punkt är så lite kompletterande energi som köps att priset på HVO och metanol inte spelar någon roll för totalkostnaden.



Figur 29. Årskostnad i intervall från väntevärde (50% s.l.) till väntevärde + 2*standardavvikelse (95% s.l.)

Om fartyget utrustas med 5 till 10 containrar verkar det finnas god möjlighet att kostnadsbilden kan understiga kostnad för landtransport, med reservation för de idag okända kostnaderna för laddningsinfrastruktur i hamnarna samt det vissa år ökade energibehovet orsakat av gång i is.



Figur 30. Exempel på normalfördelning: området i skrafferad blått/vitt motsvaras av banden i Figur 29



Tabeller som visar diskreta val av antal battericontrainrar för att förenkla jämförande av de olika kostnadsposterna på huvudgruppsnivå finns i Bilaga 2.

Tidtabell

För kostnadskalkylen har det antagits att lastning och lossning sker under tid med normaltaxa för stuveriet. Detta är oftast mellan vardagar 07:00–17:00. Tid utanför detta uppstår extra kostnad för hamnen, något den med högsta sannolikhet måste ta betalt av redaren. Samtidigt är denna tid på dygnet och veckan normalt den med högst timpris för el som laddar batterierna ombord. En undersökning har gjorts av hur stor möjlighet det finns att optimera fartygets liggetid i minst en och helst båda hamnarna så att:

- Lastning och lossning kan ske vardagar mellan 07:00–17:00 och
- möjliggöra maximalt med tid vid kaj tid med lågt timpris på el.

När tidtabellen läggs finns alltså tre viktiga aspekter att beakta om totalkostnad för lastning/lossning och köpt laddström önskas minimeras:

1. Kostnaden för stuveriet för att lasta och lossa containrar önskas minimeras.
2. Kostnaden för elektriciteten som används för att ladda batterierna önskas minimeras
 - a. Elpriset önskas minimeras.
 - b. använd energimängd önskas minimeras.

Punkt 1 minimeras genom att försöka få både lastning och lossning i båda hamnar att ske mellan 07:00 och 17:00 på vardagar. Tid före respektive efter detta ger ökade kostnader.

Punkt 2a minimeras genom att i så hög grad som möjligt i båda hamnar ladda fartyget vardagar efter klockan 22 och sluta laddning före klockan 07:00 om elpriset på något sätt är kopplat till timprisvariationen för de två hamnarna. Om hamnens elavtal är tydligt frikopplat från timprisvariation i sitt elprisområde utgår denna punkt. Om endast en hamn kan nå målet är Södertälje att föredra med anledning av sina historiskt högre elpriser. Det går att lägga ett schema som ger extra tid till kaj nattetid i en av hamnarna efter 22:00 och före 07:00.

Punkt 2b minimeras genom att hålla marschfarten så nära 7 knop som man operationellt vågar med hänsyn till risk för förseningar i veckoschemat orsakat av förseningar i något steg av hela veckocykeln.

Det visar sig att det bara finns två möjliga avgångsscheman som ger möjlighet till så nära 7 knops medelfart som möjligt och 12 timmars tid för laddning/lossning/lastning samt maximal liggetid vid kaj nattetid i Södertälje. Dessa är följande alternativa tidtabeller: båda kräver mellan 7.2 och 7.3 medelhastighet längs ruten (Tabell 24).

Båda dessa alternativ ger lastning och lossning under totalt 2 timmar utanför tid mellan 07:00-17:00 vardagar i Skellefteå och dessutom 9 timmars tid vid kaj (mellan 22:00 och 07:00 kommande dag) för möjlighet till billigare nattladdning i Södertälje.

Om hamnarna byter plats i tidtabellen ges istället möjlighet till 9 timmars laddning mellan 22:00 och 07:00 i Skellefteå och två timmars lastning/lossning utanför tid 07:00-17:00 i Södertälje.



Tabell 24. Möjliga avgångsscheman.

		Avgångsschema A	Avgångsschema B
Avgång	Södertälje	tisdag kl. 13	fredag kl. 13
	<i>Restid</i>	<i>66,5 timmar</i>	<i>66,5 timmar</i>
Ankomst	Skellefteå	fredag kl. 07:30	måndag kl. 07:30
	<i>Lastning/lossning/laddningstid</i>	<i>12 timmar</i>	<i>12 timmar</i>
Avgång	Skellefteå	fredag kl. 19:30	måndag kl. 19:30
	<i>Restid</i>	<i>66,5 timmar</i>	<i>66,5 timmar</i>
Ankomst	Södertälje	måndag kl. 14	torsdag kl. 14
	<i>Lastning/lossning/laddningstid</i>	<i>23 timmar</i>	<i>23 timmar</i>

Ytterligare studier bör beakta denna begränsning i möjliga kostnadsoptimala tidtabeller och i det arbetet detaljerat modellera timpris med mer aktuella prognoser och/eller historisk data. Förhoppningsvis finns då också en bättre kunskap om hamnarnas prismodell för landanslutningen att ta med i beaktande. Det kan vara så att det är mer totalkostnadsoptimalt att lasta och lossa då timpriset på el är lägst (dvs nattetid under helg om nuvarande timprisvariation fortsätter i framtiden). Och till sist beror utfallet av en sådan analys i hög grad på den valda batterikapaciteten på fartyget.

Diskussion och känslighetsanalys avseende kostnader

En viktig aspekt att beakta när kostnaderna jämförs mellan alternativen land- respektive sjötransport är att kostnaderna inte är i exakt samma kostnadsläge. Kostnaderna för landtransport är vad det bedömt kostar transportköparen (i princip fakturan från transportören). Kostnaderna för fartygstransport är vad redaren kommer att behöva betala hamnar, Sjöfartsverk, besättning och liknande. I kapitalkostnaden för redaren finns också ett visst påslag för vinst i form av ränta på eget kapital. Det finns också en bedömt relativt god marginal för belastningen i balansräkningen för avskrivning av fartyg och batterier i och med att restvärdet i princip satts lika med insats av eget kapital. Därför bedömer vi att kapitalkostnaderna är konservativa (höga).

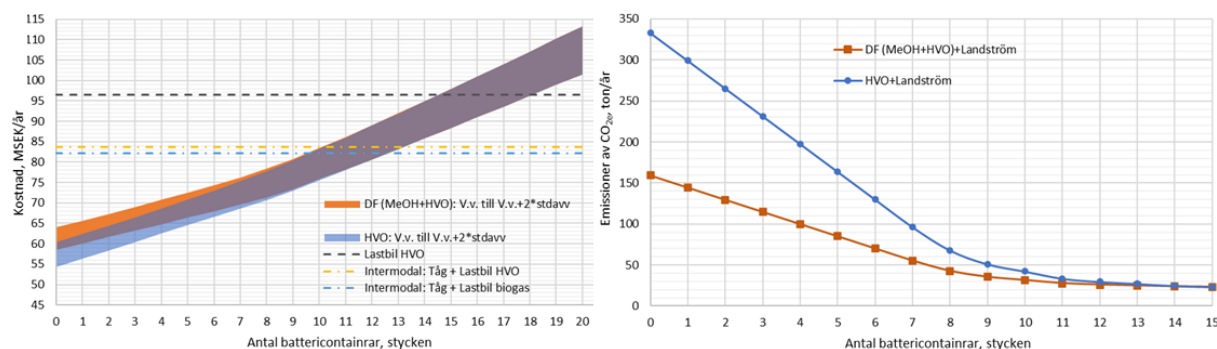
Trots detta är det en öppen fråga exakt hur mycket transportköparen måste betala en redare till dess att ett kontrakt tecknats. Primära faktorer i vad totalkostnaden blir bedöms vara:

- Redarens upplevda konkurrens med andra rederier.
- Kostnadsläge för nybyggnad (eller möjlig ombyggnad av existerande fartyg) vilket beror på konjunkturläget för skeppsvarv generellt, men även allmän världskonjunktur (t.ex. påverkar detta stålpriser).
- Val att gå med fartyget norr om Ålands skärgård vintertid eller ej – bedömt minst 5-10 MSEK investering kan sparas genom att välja isklass 1C istället för 1A.
- Av kreditgivare upplevd risk, vilken starkt påverkar möjlighet till förmånlig ränta och återbetalningstid på lån.
- Möjligheten att hitta riskvilligt kapital med fokus på gröna investeringar. Paradoxalt nog kan de stora investeringsbehoven vara bra för kapital med svårighet att finna tillräckligt stora investeringar.



Avseende känslighetsanalys för total kostnad är den i princip inbyggd i modelleringen när den gjorts med successiv-metoden.

Det visar sig att total kostnaden trots insatserna för att maximera konceptets energi-effektivitet ökar ju fler battericontainrar som ställs ombord, se Figur 31 (till vänster). Samtidigt så ger de initiala containrarna en kraftig reduktion av emission av växthusgaser, se Figur 31 (till höger). Figureerna visas också var för sig och i större format i Figur 29 och Figur 56.



Figur 31. Årskostnad (till vänster) och årsemissioner (till höger) beroende på antal battericontainrar ombord.

För denna rutt och de ansatta parametrarna i kostnadsberäkningar och emissionskalkylerna verkar fem till åtta battericontainrar (17 till 28 MWh installerad batterikapacitet) vara en bra balans som ger god möjlighet till lägre årskostnad än landtransportalternativen samt en nytta i termer av reducerade emissioner av växthusgaser som inte börjat nå punkten för reducerad kostnadseffektivitet.

Andrahandsvärde

Projektgruppen har identifierat ett antal områden som är viktiga för att ge ett högre andrahandsvärde vid framtagningen av ett fartyg som ELINORR (se översikt i Tabell 25).

Tabell 25. Översikt fördelar och nackdelar för andrahandsvärde som identifierades under framtagningen av ett elektrifierat transportkoncept för trafik i Östersjön

Fördelaktigt för andrahandsvärde	Negativt för andrahandsvärde
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilitet <ul style="list-style-type: none"> - Flera rutter möjliga - Flera marknader möjliga - Flera lasttyper möjliga - Flera bränsletyper möjliga - Val mellan el och andra bränslen - Valbar andel laddström för framdrift • Grön profil • Låg energiförbrukning, energieffektivt för sin storlek/kategori • Låga driftskostnader 	<ul style="list-style-type: none"> • Specialisering <ul style="list-style-type: none"> - Brist på infrastruktur för det bränsle fartyget är designat för - Fastlåsning i användande av batterier för framdrift - Risk för fastlåsning vid viss tillverkare/batterileverantör (för kommande behov att byta batterier) - Dimensioner eller egenskaper som hindrar användning i vissa hamnar eller farleder (t.ex. inre vattenvägar utanför Sverige) - Specialiserat för områden med is - Specialiserat för en viss typ av lastbärare • Höga driftskostnader • Osäkerhet kring framtida regelverk

Medan tabellen listar generella för- och nackdelar för andrahandsvärde, diskuteras i detta avsnitt också hur detta berör just ELINORR. För att få ett högt andrahandsvärde handlar det



om att fartyget ska vara flexibelt för att kunna gå på flera rutter och serva flera marknader. Det är då viktigt att fartyget inte är begränsat beträffande längd, djupgående, bredd, airdraft för att trafikera exempelvis Göta Älv och hamnar i Väneren eller andra inre vattenvägar och hamnar även utanför Sverige. Fartygets gröna profil lyfts fram som en möjlig stor fördel för andrahandsvärdet. Även låg energiförbrukning och att fartyget är energieffektivt för sin storlek eller kategori är fördelaktigt för andrahandsvärdet. Ett fartyg med låga driftskostnader ses som mer attraktivt för andrahandsvärde. Driftskostnaderna skulle för ett fartyg som ELINORR kunna vara jämförelsevis låga, exempelvis om andra bränslen har en högre kostnadsprofil.

Ytterligare flexibilitet som påverkar andrahandsvärdet är att fartyget har möjlighet att hantera flera bränslen. Då det råder osäkerhet om hur användningen av bränslen samt infrastruktur och även prishandling kommer utveckla sig kan en sådan flexibilitet vara fördelaktig. Detta inkluderar en flexibilitet beträffande val mellan användning av el och andra bränslen för framdrift. Här är fartygskonceptet ELINORR designat för att kunna vara flexibelt i vilken omfattning battericontainrar för framdrift används. Det är möjligt att lyfta av och på battericontainrar efter framtida behov och därmed ha fler eller färre ombord än vad som räknats med för just sträckan Södertälje-Skellefteå, eller för det fall andelen energi från laddström respektive alternativt bränsle önskas ändras av något skäl. Dessutom kan fartyget använda mer eller mindre andel av bränsle med fossilt ursprung (metanol tillverkad av naturgas eller lågsvavlig marin diesel- eller gasolja). Det finns därmed en stor möjlighet att välja kostnads- och emissionsnivå genom val av andel av energi tagen från laddström och resterande del tagen från metanol och/eller dieselbränsle med fossilt eller ickefossilt ursprung.

Projektgruppen har också pekat ut ett antal punkter som skulle kunna vara negativt för andrahandsvärdet. Framför allt handlar det om bränsleval, där val av ett bränsle som det inte finns infrastruktur för i andra geografiska områden skulle begränsa möjligheterna att använda fartyget där. Därför är flexibilitet viktigt, t.ex. att kunna använda olika bränslen. På samma sätt har det inom projektet framförts att användning av batterier för framdrift i sig kan vara en specialisering som kan vara en nackdel för andrahandsvärde. Det handlar exempelvis om oro kring batteriers livslängd. Eftersom standarder inte är utvecklade finns också risk för en fastlåsning vid en viss batterileverantör vilket kan också påverka när batterier kommer behöva bytas.

Generellt är också ett mycket specialiserat fartyg problematiskt för andrahandsvärde, då det gör det svårare att hitta alternativ användning. Det kan handla t.ex. om att fartyget är specialiserat för en viss typ av lastbärare. För ELINORR fattades beslut om att lastutrymmet designas för containrar. Dock är det möjligt att transportera containrar av olika storlekar. Det skulle också vara möjligt att transportera annat typ av gods, även om vissa justeringar kan behöva göras. Ett exempel som gör fartyget mer flexibelt är möjlighet att transportera bulklast och att lägga till lastrumsluckor. En eventuell nackdel för ELINORR är att fartyget är designat för att kunna hantera gång i is, medan det finns många geografiska områden där detta inte behövs. Att i sådana områden använda ELINORR-fartyget, innebär onödigt höga konstruktions- och driftskostnader som uppkommer på grund av att fartyget ska kunna klara isklassningen. Detta kan förstås vara negativt för ELINORRs konkurrenskraft i andra geografiska områden.

Dessutom är osäkerhet kring framtida regler en utmaning för att utvärdera andrahandsvärdet för ett fartyg såsom ELINORR. Utvecklingen för olika bränslen inom sjöfarten kommer också spela in.



Sammanfattningsvis har utvecklingen av ELINORR försökt ta hänsyn till låg energiförbrukning, flexibilitet med avseende på flera lasttyper, val mellan el och andra bränslen samt andel laddström. En undersökning gjordes av ett fåtal andra hamnar och farleder så att dessa inte skulle vara exkluderade för ELINORR att anlöpna och därmed öka flexibiliteten med avseende på andra rutter. Dessutom kan ELINORR köras på långa sträckor vilket illustreras i avsnittet *Alternativt möjliga rutter*. Dock är specialiseringen, t.ex. beträffande gång i is samt lastkapacitet fortfarande negativt för andrahandsvärde.

Alternativt möjliga rutter

Rutten till Skellefteå är 465 nautiska mil enkel väg, vilket motsvarar 860 km. För att visa hur långt fartyget når från Södertälje har Figur 32 tagits fram. Denna visar dels koncentriska ringar med 100 nm delning centrerade 2 nm söder om Landsort fyr. Rutt från Landsort till Södertälje är cirka 30 nautiska mil, varför avståndet från Landsort till Skellefteå är 435 nm. Figuren visar också de större hamnar som hamnar precis inom 465 nm ruttlängd från Södertälje. Dessa är Travemünde (420 nm), Kiel (450 nm), Grenå (460 nm) och Varberg (465 nm). Samtliga hamnar i Polen, Estland, Lettland, Litauen nås också. Dessutom nås samtliga hamnar i Finland upp till samma latitud som Skellefteå. För en annan referens har samma koncentriska ringar ritats med centrum i hamnen i Gdansk i Figur 33.



Figur 32. Visualisering av hur långt fartyget når för en rutt av 465 nm enkel väg.





Figur 33. Visualisering av hur långt fartyget når om det utgår från Gdansk. Rutt Södertälje-Skellefteå är 465 nm.

Risakanalyser

I projektet har också riskanalyser av det framtagna transport-konceptet ingått.

Risakanalyserna har genomförts med det övergripande målet att identifiera val i design av fartyg och transportkoncept som riskerar att minska sannolikheten att projekt målet på medellång sikt (till 2030) inte uppnås, dvs etablering av elektrifierad sjötrafik längs Sveriges östkust (t.ex. Skellefteå-Södertälje). De identifierade riskerna har också kommunicerats inom projektet för att om möjligt adresseras och helst sänkas via ändringar i transportkonceptet.

Tre huvudgrupper av risker med potential att reducera sannolikheten att projekt målet inte nås har analyserats:

1. Risker att fartygskonceptet inte anses uppfylla krav i formellt fastställda regelverk från klassällskap, flaggstat eller EU (och därmed riskerar att behöva designas om med förseningar och fördröjningar som följd)
2. Risker att konceptet är utformat så att det anses ha för stor risk för förseningar eller fullständig uppehåll i flödet av gods.
3. Risker att transportkonceptet blir utformat så att transportkostnaden jämfört med konkurrerande transportlösningar blir för hög, så att det väljs bort av detta skäl.



Dessa tre riskgrupper beskrivs översiktligt i separata följande underkapitel. Det har även tagits fram en icke-offentlig intern leverabel med krav- och regelanalys, inklusive slutsatser och rekommendationer. Denna har levererats till AP1 fartygsdesign för att om möjligt inarbetas i konceptet.

Risker relaterade till kravuppfyllnad av formella regelverk

I och med att, såvitt känt, inget fartyg med så här stor installerad batterikapacitet samtidigt byggts för alternativbränsle med låg flampunkt (metanol) har det bedömts finnas risker med klass- och flaggstatsgodkännande. Det finns ett fåtal fartyg med samma koncept med battericontainrar som används för inrikestransporter. Ett av dessa seglar inrikes i Kina i kustsjöfart, och ett annat på inre vattenvägar i Holland. Det har inte hittats något fartyg med liknande koncept med klassning för internationell fart. Ett exempel på steg på väg mot full elektrifiering av kustsjöfart kan sägas vara AtoB@Cs Electramarkklass som har ett fast batteri på 2 MWh som kan användas både för att driva hotellet i hamn utan behov att köra generator, samt för att driva propelleraxeln via elmotor. Se Tabell 26 för en sammanställning av viktigaste skillnader mellan ELINORR och de mest liknande fartygskoncepten identifierade.

Under våren 2024 analyserades det framtagna fartygskonceptets utformning avseende teknik och arrangemang mot de regelverk som har mest påverkan på fartygskonceptets utformning, för att säkerställa att fartyget inte avviker från formellt fastställda regelverk och i så hög utsträckning som möjligt reducera risker för långvarig dialog med klass och flaggstat för att få godkännande av fartyget. Analyserade regelverk är från både klassällskap (DNV, ABS samt LR), flaggstat (Sverige) samt IMO. Tabell 27 listar de viktigaste av de analyserade regelverken.

Tabell 26. Fartyg med batterier ombord.

Namn	Green Water 01	Alphenaar	ELINORR	Electramar
MMSI	Saknas, registrerat för inrikes trafik i Kina	244059204	Koncept	210545000
Byggår	2024	2019	-	2023
Operatör	COSCO	ZES	-	AtoB@C
LOA	120 m	90 m	< 89.9 m	89.95 m
BWL	23 m	10,5 m	< 15.5 m	15.95
D	5.5 m	3,6 m	4.2 m	6.1 m
Marschfart	10.5 knop		7-8 knop	10-12 knop
Lastkapacitet	700 TEU	104 TEU	140 TEU	7,650 m ³ + 100 TEU på däck
Dödvikt	10 000 ton	4 135 ton	4 000 ton	5 350 ton
Batterikapacitet	50 – 80 MWh	2 MWh	< 52 MWh	1 MWh
Användning av batterier	Propulsion och hotellet	Propulsion och hotellet	Propulsion och hotellet	Propulsion och hotellet



Tabell 27. Viktigaste regelverk som analyserats mot föreslaget koncept för ELINORR.

Regelverk	Benämning	Kommentar
SOLAS 74/78	Safety of Life at Sea. IMOs regler för hur ett fartyg ska byggas, utrustas och opereras för att vara säkert för besättning, passagerare och omgivande fartyg.	Chapter II-1 Part G Regulation 56, 57 (Fartyget ska uppfylla IGF-koden) Chapter II-2 Part G Special requirements Regulation 19 Carriage of dangerous goods (Fartyget ska uppfylla IMDG-koden).
IGF-code	International code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF)	
IMDG-code	The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) code	
MSC.1/Circ.1621	Interim guidelines for the safety of ships using methyl/ethyl alcohol as fuel	Addendum till IGF-koden för fartyg som drivs med alkoholbränsle.
TSFS 2009:98	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om brandskydd, branddetektering och brandsläckning på SOLAS-fartyg byggda den 1 juli 2002 eller senare	Detta är en svensk implementering av delar av IMO SOLAS och IMO FSS code. Gäller fartyg som går i internationell trafik.
TSFS 2022:52	Transportstyrelsens föreskrifter om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)	Svensk implementering av IMO IMDG-koden
TSFS 2019:4	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om maskininstallation, elektrisk installation och periodvis obemannat maskinrum	Detta är en svensk implementering av delar av IMO SOLAS.
TSFS 2017:89	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet på SOLAS-fartyg som använder gaser eller andra bränslen med låg flampunkt	Svensk implementering av IMO IGF-koden
TSFS 2011:96	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om finsk-svensk isklass	
EMSA	Guidance on the Safety of BESS on board ships EMSA v 1.0	
TSFS	Transportstyrelsens riktlinjer för elektrifiering av fartyg	Ersatta med EMSA-dokumentet ovan
DNV	DNV-RU-SHIP Pt.1 General regulations Ch.1 General regulations DNV-RU-SHIP Pt.4 Systems and components Ch.1 Machinery systems general DNV-RU-SHIP Pt.4 Systems and components Ch.8 Electrical installations DNV-RU-SHIP Pt.6 Additional Class Notations Ch.2 Propulsion power generation and aux systems	

Inget i konceptets utformning har dock identifierats som varande i tydlig konflikt med några krav i de analyserade regelverken. Genomgången visar att det är att föredra om fartyget kan byggas till förskrivande och rekommenderade krav i vald klass eftersom det innebär att man

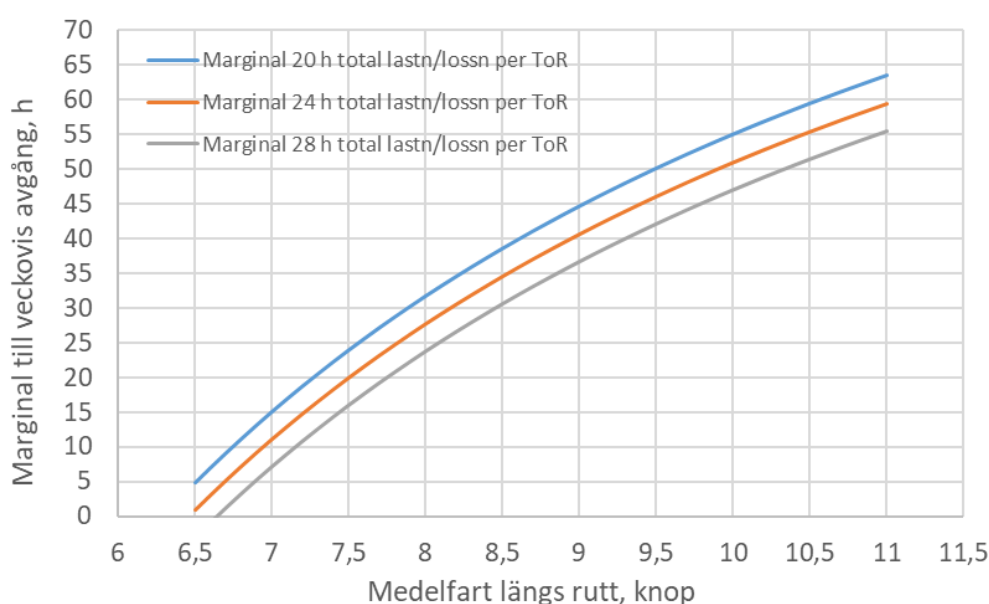


kan undvika den mycket höga risk som identifierats ifall fartyget skulle behöva godkännas enligt Transportstyrelsens regler för ”alternativ design”. Klassregler för klassnotationer Battery (Power), E0 (obemannat maskinrum) samt tillämpliga regler för fartyg i internationell trafik för el- och maskinsystem har analyserats och rekommendationer sammanställts, exempelvis beträffande redundans i fartygets system för att skydda mot enstaka fel i enskilda komponenter samt utrymningsvägar från batterirummet.

Ett fåtal förslag till ändring eller komplettering av koncept har identifierats och kommunicerats i en projektintern rapport till AP1 Fartygsutveckling. Inga tydliga avsteg från de föreskrivande regelverken har hittats. Eftersom både så här storskalig batteridrift och användande av bränsle med låg flampunkt (metanol) kräver genomförda och av klass och flaggstat godkända riskanalyser av de specifika detaljerade konceptet, kan inte detta garanteras till 100% i nuvarande utvecklingskede.

Risker relaterade till störningar i godsflödet

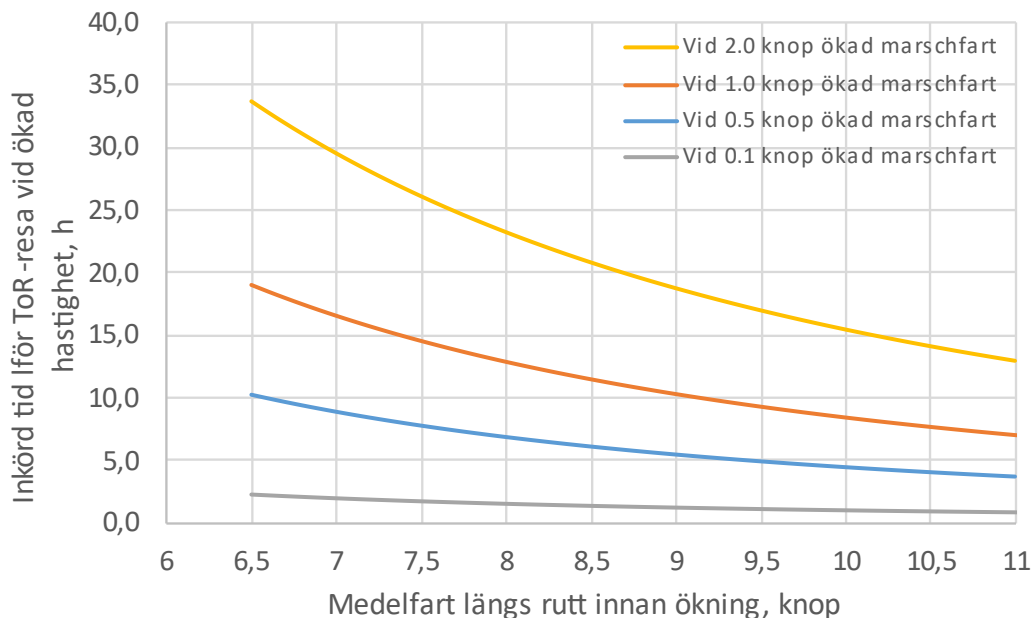
En bedömning har gjorts av möjligheterna att köra ikapp förseningar längs den studerade ruten och antagandet om veckovis avgång. Det visar sig att dessa möjligheter är goda. Om till exempel 7 knops marschfart väljs längs ruten och lastning och lossning tar 12 timmar i varje hamn finns 11 timmars marginal för att hålla en fast tidtabell med veckovis ankomst till Södertälje. Se Figur 34 för en beskrivning av hur den veckovisa tidsmarginalen varierar beroende på vald marschfart längs rutt och total tid för lastning och lossning i hamnarna. Redan vid farter mellan 7–7.5 knops medelfart uppstår stora marginaler. För de fall fartyget går med isbrytarassistans kommer isbrytaren att så långt som möjligt hålla fart hos assisterade fartyg, vare sig det är ett enskilt fartyg eller en konvoj som assisteras, att hållas till minst 7 knop men om möjligt upp emot 10 knop. Detta kommer i någon mån att kompensera för eventuell väntetid t.ex. i uppsamlingsplats för en konvoj som ska få isbrytarassistans, vid avlämning mellan hamnisbrytare och statsisbrytare utanför Skellefteå eller om fartyget kört fast i is. Risker avses belysas i mer detalj i det parallella projektet ”Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden”.



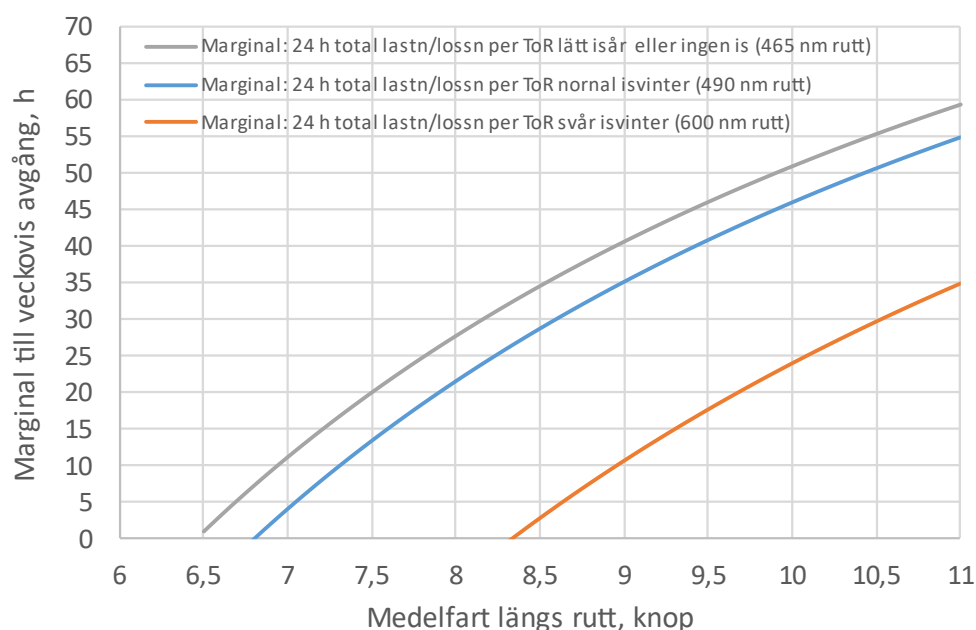
Figur 34. Marginal i antal timmar för veckovis ankomst till Södertälje på samma tid beroende på marschfart längs rutt och total tid för lastning och lossning i hamnar.



Ett annat mått på möjligheten att köra ikapp förseningar är att beskriva hur många timmar som maximalt går att köra ikapp längs en tur och retur (ToR) resa. I Figur 35 visas denna möjlighet beskriven för ökning av medelfart av 0.1 respektive 0.5 knop längs en hel ToR-resa uttryckt som antal timmar som kan köras ikapp. Om endast en enkelresa är möjlig för att köra ikapp tid blir möjligheten hälften av vad som visas i Figur 35.



Figur 35. Hur stor tid som kan köras in för en ToR-resa vid ökad fart beroende på vald marschfart och vid ruttlängd 465 nm.



Figur 36. Marginal för veckovis avgång (h) för olika isår om 12 tid för lastning och lossning i varje hamn.

Bedömt så ökar ruttens längd från 465 nm enkel väg utan is till mellan 465 och 490 nm ett normalt isår och till mellan 550 och 600 nm enkel väg ett svårt isår. Om de högre av dessa siffror används för att beräkna marginal för veckovis avgång samma tid beroende på medelhastighet längs ruttens erhålls marginalerna enligt Figur 36. För att ha samma



tidsmarginal (ca 11 timmar) som vid gång utan is måste medelfart för en ToR-resa vara minst 7.3 knop om ruten är 490 nm enkel väg och 9 knop om ruten är 600 nm enkel väg.

Generella möjliga orsaker till försening påverkande fartygets operation har tagits fram, även om de inte beräknats eller bedömts i termer av antal timmars försening eller sannolikhet att uppstå. Bedömt så ger det framtagna fartygskonceptet en reducerad sannolikhet för riskutfall av dessa jämfört med idag existerande fartyg som trafikerar liknande rutter som denna. Lista över orsaker till förseningar och hur vi bedömt att det framtagna fartygskonceptet tekniskt eller operationellt ändrar sannolikhet för riskutfall finns nedan:

- Fartyget kör fast i is
 - Risken är reducerad genom propulsion med dubbla propellrar och ställbar propellerstigning vilka ger hög möjlig tryckkraft och manöverförmåga.
 - Risken kan sänkas ytterligare genom att välja bort bulb på fartyget vilket kan sänka is-motståndet på bekostnad av något ökat vågbildningsmotstånd.
- Fartyget måste köra längre sträcka vid gång i is beroende på var bruten ränna placerats
 - Fartyget måste även om ruttens längd ökar från 465 nm vid gång utan is till 600 nm ett svårt isår endast öka medelfarten från 7 knop till 9 knop för bibehållen marginal av ca 11 h m.a.p. veckovis avgång. Om noll marginal accepteras ett svårt isår krävs ökning från 7 till 8.4 knop.
 - Fartyget har fartresurser att köra ikapp förlorad tid i relativt stor grad när det lämnat isfält.
- Fartyget drabbas av fel eller haveri i propulsion
 - Fartyget har hög grad av redundans. Fartyget har två propellrar och helt redundant propulsion styrbord/babord inklusive effektgenerering och effektfördelning till propulsion och hotell.
 - Fartyget har minst två (generatoraggregaten) och upp till ytterligare 15 (battericontainrarna) av varandra oberoende källor till propulsionseffekt.
 - Fartyget kan hålla 7.5 knops fart med endast en propeller i drift i de vanligast förekommande vind- och sjöstillstånden.
- Fartyget drabbas av fel eller haveri i styrning
 - Fartyget har dubbla roder med redundant och oberoende kontroll av varje roder. Vid behov kan ett roder låsas i önskad riktning och fartyget kan då gå till kaj med reducerad manöverförmåga.
- Fartyget hinner inte ladda batterierna under tid för lastning och lossning
 - Lagd tidtabell har 11 timmars marginal på veckobasis om marschfart är 7 knop och lastning och lossning tar 12 timmar i varje hamn. Det innebär nästan 50% marginal i tid för laddning (11 h/12 h) om marginal tas ut i samma hamn. C-tal för batteriladdning kan vara under 0.1 även om inte marginal nyttjas.
 - Fartyget kan genomföra resa med helt urladdade batterier vid behov i och med generatoraggregaten som nyttjas vid gång i is.
- Fartyget kan ej lasta och lossa i Södertälje
 - Det kan istället lossa/lasta i containerhamnen Norvik i Nynäshamn.



Operationellt finns också möjligheter för transportköpare att reducera effekterna av förseningar i godsflödet, oaktat varför och var i godsflödet för transport med fartyg som förseningen uppstår. Exempel på åtgärder som kan vidtas enskilt eller i kombination är följande:

- Ha ett parallellt flöde av ett fåtal containrar per vecka (en eller två) som skickas landvägen. Om försening sker för fartygstransporten så finns en viss mängd battericeller att bygga produkter med alltid tillgänglig.
- Ha en viss minsta lagernivå av celler lokalt i Södertälje för att hantera ett fåtal dagars försening.
- Ha en upphandlad färdig beredskap för mer omfattande transport av cellerna landvägen för det fall att fartyget förliser eller drabbas av så stor skada att det långvarigt (flera veckor eller månader) tas ur drift.

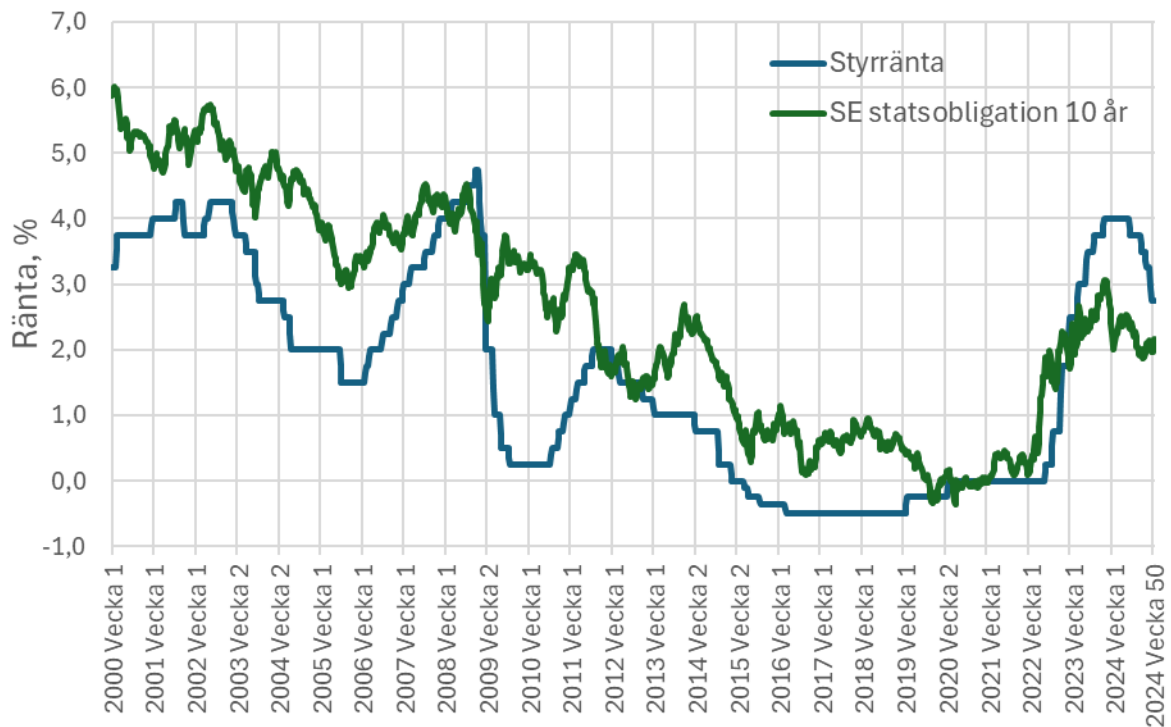
Vad som är optimal lösning eller kombination av lösningar är starkt beroende av specifika kostnader för exempelvis lagerhållning, beredskapsavtal och ej beräknat inom detta projekt.

Risker relaterade till kostnadsbild jämfört med transportalternativ

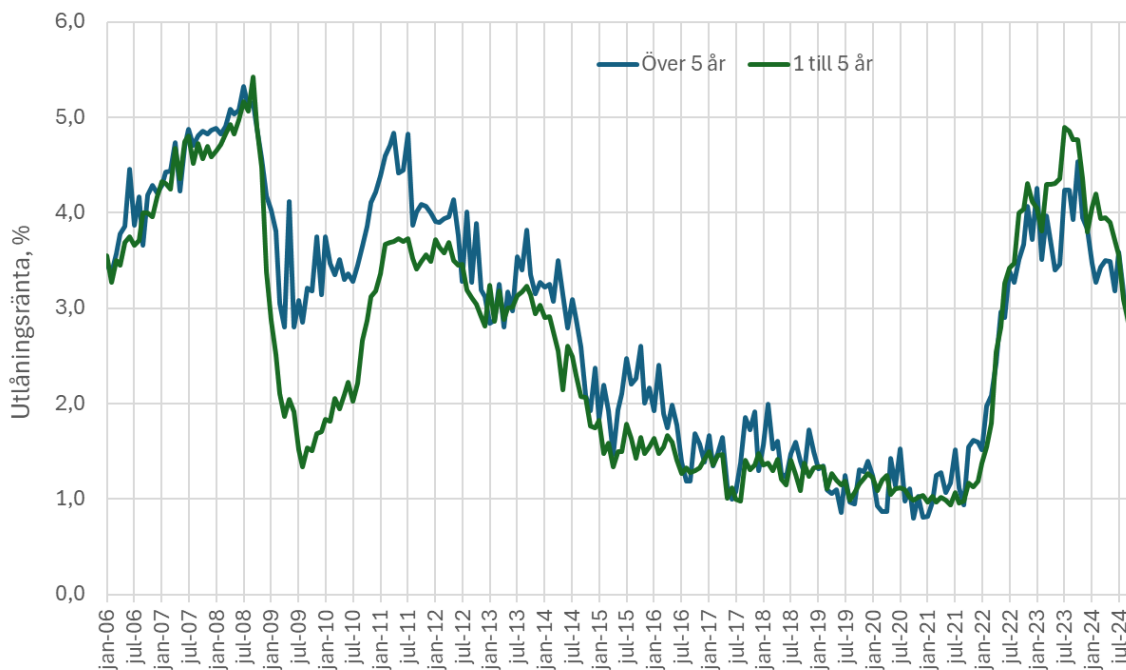
Eftersom priset per kWh batterikapacitet fortsatt bedöms minska är sannolikt denna kostnadspost en över tid minskande risk. Dessutom finns valet att välja kostnadsläge genom fler eller färre battericontainrar varför det går att kompensera eventuellt snabbare stigande batterikostnader än övriga kostnader. Vad gäller bemanningskostnader bedöms de vara en relativt låg risk i och med att de baseras på Europaavtalet och svenska lönenivåer. Bemanningkostnaden är en större andel av totalkostnaden för transportalternativ med lastbil hela sträckan än vad det är för fartyget. Därför bedöms eventuellt snabbare stigande lönekostnader än övriga kostnadsposter snarare stärka fartygets konkurrenskraft jämfört med åtminstone transport med lastbil. Även transport med järnväg bedöms, över tid, drabbas mer av stigande lönekostnader än fartygstransporten i och med att underhåll av järnvägsnätet är personalintensivt. Den största ekonomiska risken för fartygets konkurrenskraft ligger sannolikt i kapitalkostnaden för själva fartyget. De snabbt ökande miljökraven och utsläppskostnaderna för hela världsfloTTan och inte minst i EU ger redan nu långa leveranstider för nya fartyg inom många fartygskategorier. Detta gäller även inom komponentledet där inte minst elektrifieringstrenden resulterar i ibland fleråriga leveranstider av allt från elmotorer, växelriktare och specialiserade huvudtavlor och därmed ökade nybyggnads-kostnader. Detsamma gäller även t.ex. specialiserade förbränningsmotorer som kan använda bränslen med låga emissionsfaktorer avseende CO₂e.

Även räntenivån som kan erhållas för ett sådant fartyg som ELINORR spelar stor roll. Just nu är både styrränta och Svenska 10-års statsobligationer på väg ned, se Figur 37.





Figur 37. Styrränta och ränta för 10-åriga statsobligationer. Källa: www.riksbanken.se



Figur 38. Nylånränta för företag i procent. Källa: www.ekonomifakta.se

Detta är en generell observation och för ett mer ”spetsigt” och aktuellt svar i konkurrensfrågan och nybyggnadskostnader skulle sannolikt en eller flera av specialisterna skeppsmäklare, designföretag inom skeppsbyggnad, redare som vill ta reda på om de vill bygga fartyget och i så fall hur och var samt till sist möjligen även ett byggnadsvarv tas med aktivt i ett eventuellt kompletterande projekt.



Ett mått på räntekänsligheten är att om 10 containrar väljs så är med den valda parametreringen väntevärdet $M = 44\,729\,194$ SEK/år och standardavvikelse $S = 3\,633\,955$ SEK/år för kapitalkostnaden (se Tabell 15). Om både extern- och interränta ökar med 1% blir istället väntevärdet $M = 47\,185\,692$ SEK/år och standardavvikelsen $S = 6\,863\,197$ SEK/år.

Ett mått på investeringskostnadens påverkan på kapitalkostnaden är att om investeringsbehovet i fartyget ökar med 15 MSEK, med bibehållen ränta som ursprunglig parametrering, blir $M = 46\,656\,571$ SEK/år och standardavvikelsen $S = 6\,831\,141$ SEK/år.

Ändringar i kostnadsläge för HVO och metanol bedöms under överskådlig framtid följa varandra mätt i SEK/kWh (mätt i ändringar, inte absolutnivå) både för lastbilsbruk och användning i fartyg. Ett undantag för detta kan skapas genom att teckna långa kontrakt, vilka sannolikt ändå i någon grad kommer att följa andra energislag t.ex. lågsavvlig fartygsdiesel. Laddström skulle kunna bli en kostnadsrisk om beslut fattas om att anskaffa relativt många battericontainrar och priset av någon anledning stiger kraftigt. Ett exempel på orsak till det skulle kunna vara geopolitisk oro i närområdet liknande vad som skedde efter Rysslands inledda anfallskrig mot Ukraina. Om battericontainrarna leasas med möjlighet att inte förnya avtalet vid t.ex. varje års- eller halvårskifte minskar risken eftersom fartyget då kan välja att utrustas med färre containrar eller t.o.m. inga alls. Detta skulle alltså vara en kostnadsfördel jämfört med till exempel järnväg som inte kan byta energislag i sådant fall att elpriset stiger kraftigt.

Risker relaterade till affärsupplägg

Som nämns i avsnittet *Rederiets (transportörens) perspektiv*, finns det risk att något skulle hända som upplöser avtalet. Då fartyget är specialanpassat för det specifika upplägget påverkas andrahandsvärdet. Projektet har försökt beakta andrahandsvärde i viss mån, vilket beskrivs i avsnittet *Andrahandsvärde*.

Som visats i avsnittet *Alternativt möjliga rutter* (Figur 32, Figur 33) kan fartyget trafikera annan rutt söder om Södertälje till hamn upp till Varberg eller Grenå med samma eller bättre möjlighet till mycket låga emissioner. Det innebär att andra godsflöden skulle kunna komma i fråga, och med möjlighet till tätare avgångar än veckovis. Till exempel är det från Södertälje till Gdansk 295 nm. Det innebär att om fartyget håller 11 knop marschfart till sjöss och varje lossning och lastning tar 12 h tillsammans så kan fartyget genomlöpa två ToR-resor per vecka med 12 h kvar i marginal. Om fartyget ska hålla de cirka 7 knop som ruten till Skellefteå tänkts genomföras på så kan 1.5 ToR-resor per vecka genomföras, men med endast 9 h totalt marginal. Om marginal per ToR-resa ska vara de 11 till 18 h som tidtabellen till Skellefteå innebär, och 1.5 ToR-resor per vecka önskas, måste farten ökas till mellan 7.7 och 8.3 knop. Sammantaget innebär detta en stor möjlig kapacitetsökning om de närmaste hamnarna i Polen, Baltikum eller Tyskland kan trafikeras från Södertälje. Om ett godsflöde kan skapas som möjliggör liknande hög fyllnadsgrad så kommer med all sannolikhet liknande god miljöprestanda i termer av energiförbrukning och emission av växthusgaser att uppstå jämfört med transport på land. Om alternativet är att skicka godset som rullande last på RoPax eller RoRo-fartyg är det inte säkert att miljövinst uppstår med lika hög sannolikhet. Detta måste studeras närmare för att avgöra vad som är bästa alternativ.

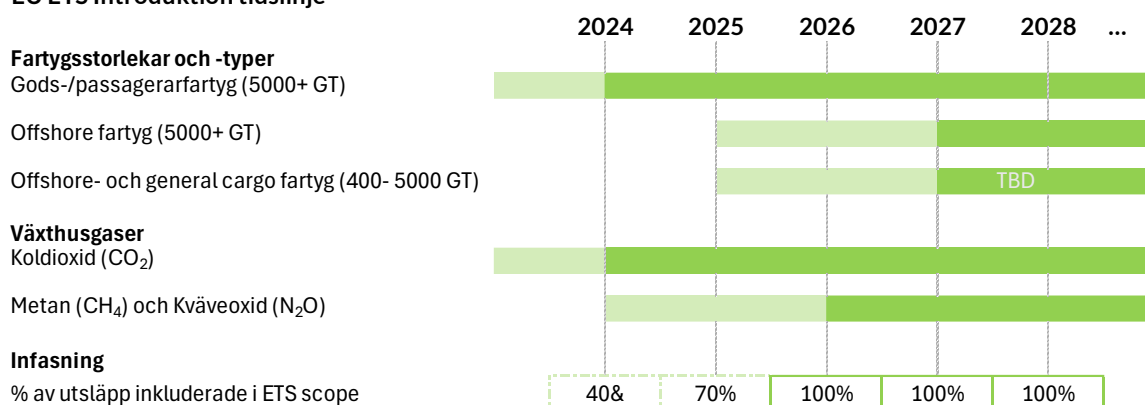


Risk med förändrat EU ETS

En eventuell risk, även relaterad till affärsupplägg, handlar om huruvida rådande miljöregler och emissionscertifikat tas för givna vid investerandet i fartygskonceptet. Certifikatet EU ETS medför tillkommande kostnader för fartyg från en viss storlek, och om fartyget uppnår den storleken idag finns risken att eventuella framtida kostnader på grund av regeländringar missas, vilket kan innebära att affärsupplägget behöver ändras.

För driften av ett fartyg av ELINORRS storlek kommer det till en början inte uppstå några kostnader för att köpa emissionscertifikat (EU ETS). ELINORR har ett nettotonnage (NT) på cirka 1 000 och ett bruttotonnage (GT) på väl under 5 000. Enligt nuvarande implementeringsstrategi och plan för ETS är alla fartyg som klassas som ”general cargo” med bruttotonnage mindre än 5 000 GT befriade från kostnader enligt ETS initialt. Planen för ETS introduktion illustreras i tidslinjen i Figur 39 nedan, där kan noteras att efter 2027 finns en möjlighet att fartyg klassade som ”general cargo” med bruttotonnage ner till 400 GT kan komma att inkluderas med kostnader. Beslutet ska tas efter utvärdering av hur utfallet blir för ETS generellt och efter ytterligare analyser av hur dessa fartyg påverkas ekonomiskt och operationellt.

EU ETS Introduktion tidslinje



Figur 39. Tidslinje enligt nuvarande implementeringsstrategi för ETS.

Beräkning av miljöpåverkan

Miljöpåverkan har beräknats med två parametrar; energiförbrukning och emission av växthusgasekvivalenter från använd energi. Att energiförbrukningen särredovisas och inte endast som en integrerad del av emissionerna motiveras med det enligt de flesta tillgängliga analyser sannolika bristen på energi med låga emissionsfaktorer. Vi har ansett att det är viktigt att specifikt sträva efter lägsta energiförbrukning som ett mål i sig själv, oaktat val av bränsle och dess emissionsfaktorer.

Energiförbrukning

Hägg m.fl. (2018) beskriver att ett fartygs körprofil innefattar att effektbehovet varierar över tid beroende på hur fartyget framförs, såsom hastigheter, accelerationer, variationer i vattenström, våghöjd, vind och istäcke. För att säkerställa att fartyget har tillräcklig effekt behöver hänsyn tas till dagar med hög effektförbrukning. I detta delavsnitt redogörs därför



för energiförbrukning över ett driftår, där rutter och olika förhållanden såsom vind undersökts.

Fartygets energiförbrukning över ett genomsnittligt driftår är av intresse av flera anledningar. De behövs som indata för kostnads kalkyler och emissionsberäkningar. De är också av generellt intresse ur ett hållbarhetsperspektiv när bristen på energi med låga emissioner av växthusgas under kommande översiktlig framtid (tio till tjugo år) beaktas. Det transportslag och transportkoncept som har lägst förbrukning av energi är viktigt för att få den gröna energi som finns tillgänglig att räcka till mer transporter.

Studerat energisystem på fartyg och systemavgränsning

Energisystemet ombord på fartyget har valts att vara det med högst systemverkningsgrad för drift på batterier, för att studera hur fartyget kan drivas på så hög andel laddström lagrat i batterier ombord som möjligt.

Systemavgränsningen för energiförbrukning vid laddströmskabeln avseende förbrukad el går från elnätet samt från bunkerintaget för flytande bränsle som kompletterar laddström.

Avseende emission av växthusgaser inkluderas utvinning/produktion av bränslet (WTG) transport av bränslet till fartyget (GTT) samt vid förbrukning ombord (TTW, se Figur 53 för förklaring av förkortningarna). Detta i enlighet med forskrifter i EU Fuel Maritime och emissions- och bränsleförbrukningsrapportering till EU MRV (*Monitoring, reporting and verification of maritime transport emissions*).

Som tidigare beskrivits i resultatet kommer bränslevalen som gjorts för fartygskonceptet vara antingen metanol med pilotbränslet dieselbränsle, eller rent dieselbränsle. Det finns dock inget som omöjliggör nyttjande av andra dieselbränslen i fartyget eftersom de kan antas vara av så kallad ”drop-in typ” – vi har valt att inte räkna kostnader och emissioner på dem i och med att deras kostnadsbild och emissionsfaktorer idag endast är kända från mycket småskalig produktion i forsknings- eller utvecklingssyfte

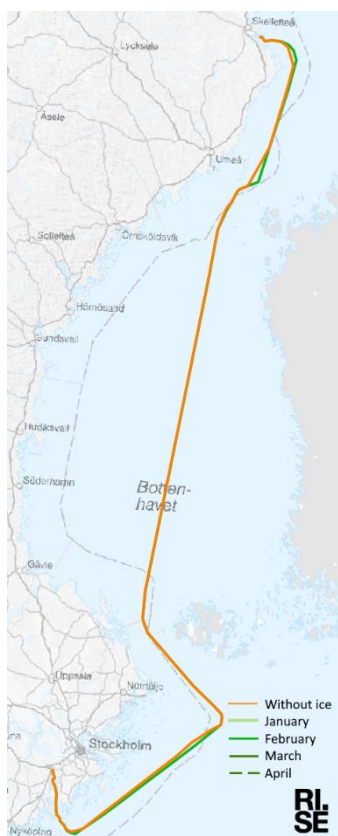
Rutter och tidtabell

Den kortaste och därför, i normala förhållanden, den mest energieffektiva ruten ELINORR-fartyget kan ta är cirka 465 nautiska mil (nm) eller 239 km. Perioder med is kommer ELINORR ibland ta en längre rutt – ett svårt isår upp till eller till och med över 550 nm. Vissa år kommer det att ske ofta eller för varje resa. Exakt vilken rutt och hur lång den blir beror på var andra fartyg och isbrytare skapat rännor i isen att följa. ELINORR kommer inte att ha möjlighet att bryta sin egen rutt – hon hade då behövt ha högsta isklass 1A Super istället för som nu 1A. Dessutom hade sannolikt stäven behövt utformas annorlunda och förmågan till isbrytning prioriterats över förmågan till lågt motstånd i förhållanden utan is. Vidare hade behovet av installerad effekt ombord ökat kraftigt med val av isklass 1A Super, vilket också hade ökat investeringskostnaden samt sannolikt sänkt verkningsgraden hos fartygets energisystem som helhet vid gång i förhållanden utan is. De sammanlagda kostnaderna för detta i termer av ökade investeringsbehov och energiförbrukning sammartid har bedömts vara för stor.

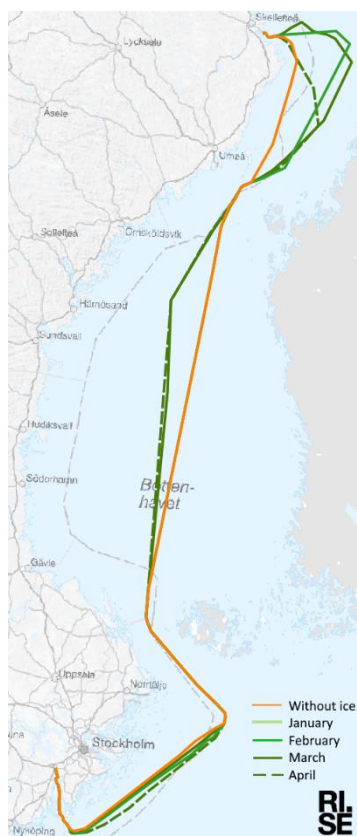
I parallellprojektet ”*Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden*”, finansierat via Trafikverket genom Lighthouse, har studier gjorts av AIS-data för vintrarna 2010/2011, 2014/2015 samt



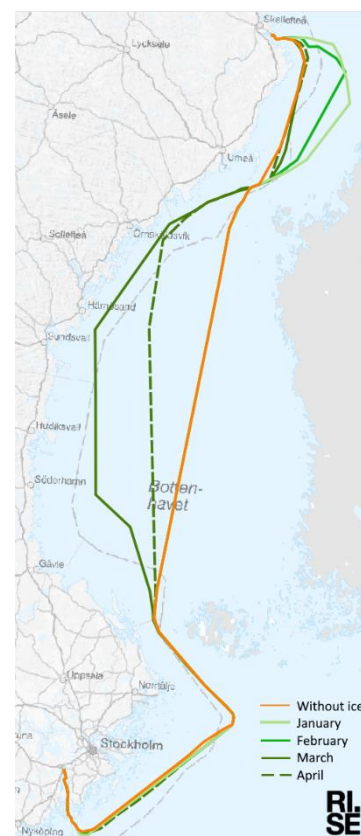
2017/2018. Genom att månadsvis jämföra skillnader i trafikmönster har förslag tagits fram för hur ruten förändras under vintern för olika typ-is-år. Ett lätt isår valdes vara 2014/2015, ett normalt isår 2017/2018 och ett svårt isår 2010/2011. De rutter som tagits fram visas i Figur 40 till Figur 42 nedan. ELLINORS rutt vid förhållanden utan is visas med ett tjockare orange streck i samtliga av figurerna.



Figur 40. Rutter ett lindrigt isår.



Figur 41. Rutter ett normalt isår.



Figur 42. Rutter ett svårt isår.

Energibehov ombord beroende på hastighet, vind- och vågtillstånd

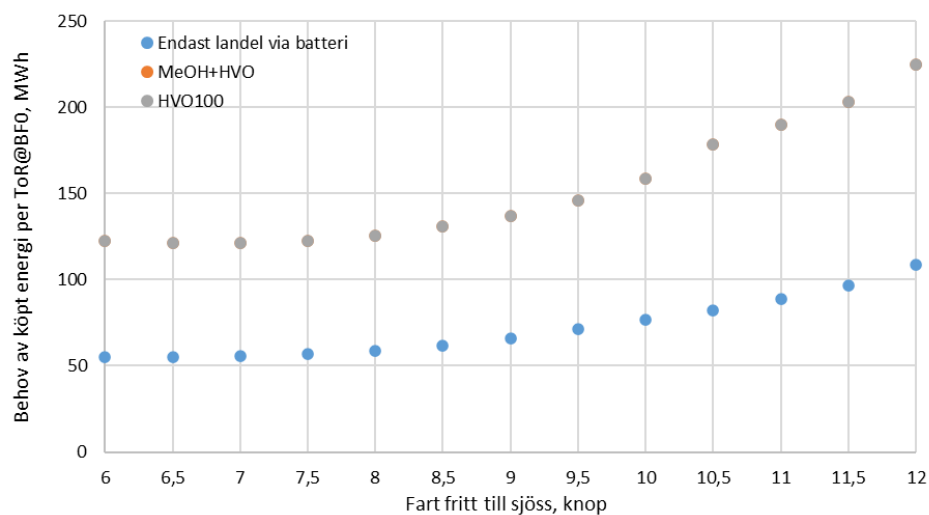
API i samarbete med Berg Propulsion har lämnat data om fartygets behov av effekt på propelleraxel beroende på fart genom vattnet och väder- och sjötillstånd för vindstyrka Beaufort 0, 4 respektive 6. Detta har, via modellen för rutt, omsatts till behov av elenergi från fartygets elektriska huvudbuss under antagande att samma vind- och sjötillstånd gäller under hela ruten. Behovet har sedan i ytterligare ett steg omsatts till behov av köpt energi under förutsättning att all energi ombord tas från samma källa, antingen laddström, metanol+HVO eller endast HVO.

Tabell 28 visar vindstyrka och vågtillstånd för respektive Beaufort (BF)-styrka. Efterföljande tre grafer (Figur 43-Figur 45) visar behovet av köpt energi per ToR-resa för Beaufort 0, 4 och 6 för hastighetsintervallet 6 till 12 knop. Det ser i vissa av figurerna ut som om data för MeOH+HVO saknas; det gör de inte, utan ligger så lika värdet för HVO100 att de döljs under denna dataserie.

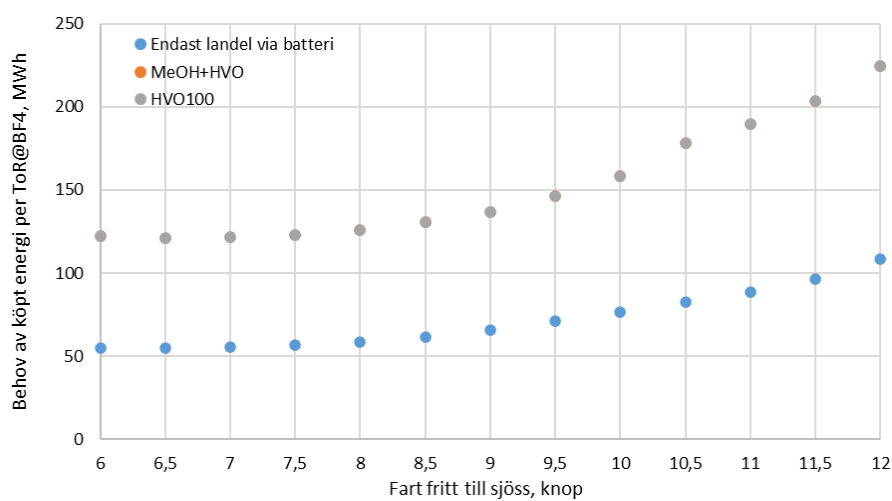


Tabell 28. Använd definition på Beaufort-skala uttryckt i vindstyrka (m/s) och signifikant våghöjd (m).

	Vindstyrka, m/s		30 minuter signifikant medelvåghöjd, m	
	Från	Till	Från	Till
BF0	0	0,2	0	0
BF1	0,3	1,5	0	0,2
BF2	1,6	3,3	0,2	0,5
BF3	3,4	5,4	0,5	1
BF4	5,5	7,9	1	2
BF5	8	10,7	2	3
BF6	10,8	13,8	3	4
BF7	13,9	17,1	4	5,5
BF8	17,2	20,7	5,5	7

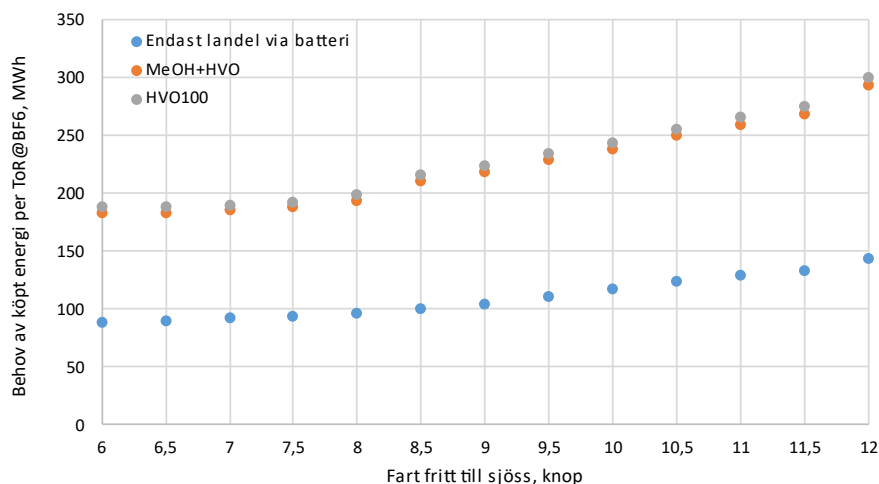


Figur 43. Behov av köpt energi (MWh) per ToR för vind- och sjöstillstånd Beaufort 0.



Figur 44. Behov av köpt energi (MWh) per ToR för vind- och sjöstillstånd Beaufort 4.





Figur 45. Behov av köpt energi (MWh) per ToR för vind- och sjötillstånd Beaufort 6.

Den lägsta hastighet som är möjlig på ruten är 6.5 knop. Om lastning och lossning av de totalt 100 till 130 containrar som ska hanteras sammanlagt tar 12 timmar i varje hamn så finns dock endast 1 h total marginal för att upprätthålla veckovis avgång på samma tid. 7 knops hastighet ger 11 h marginal och 8 knops hastighet 27.8 h marginal.

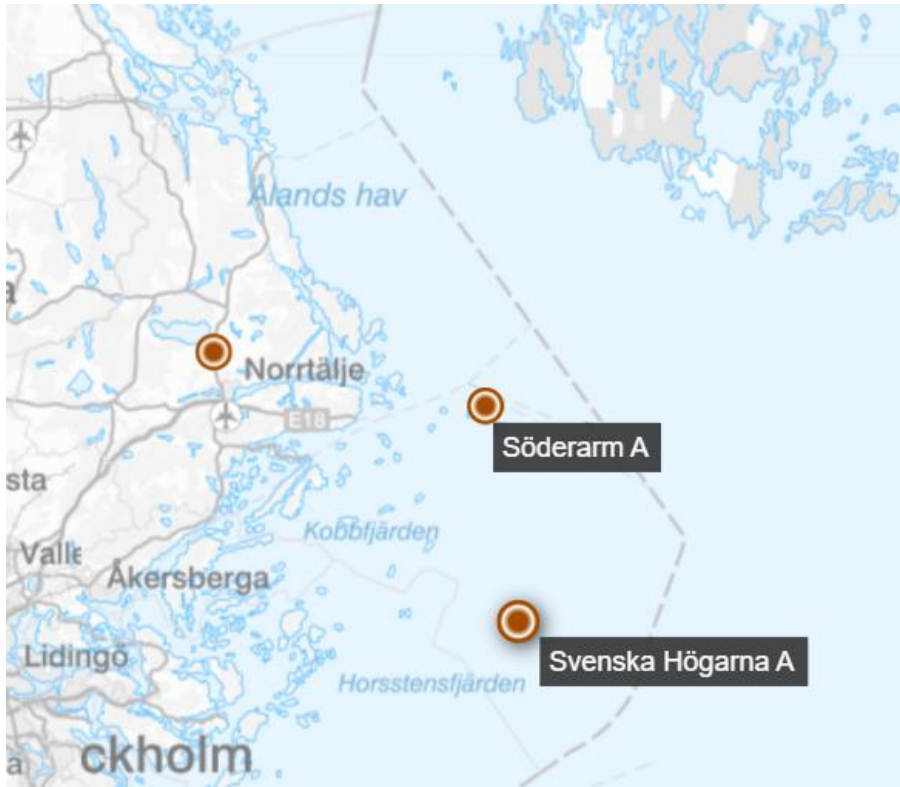
Genom att vikta energibehovet per resa och vädertillstånd med den relativa förekomsten av respektive vind- och sjötillstånd har det genomsnittliga behovet av energi per Tur och Retur (ToR) beräknats. Data för väderstatistik är erhållen från SMHI:s mätstationer vid Söderarm A (för vinddata) och vid Huvudskär O samt Finnskär W (för vågdata), och redovisas i Tabell 29 och Tabell 30. Väderstationens- och vågbojarnas placeringar illustreras i Figur 46 och Figur 47.

Tabell 29. Relativ förekomst av vindstyrka uttrycket i Beaufort-skala vid Söderarm A.

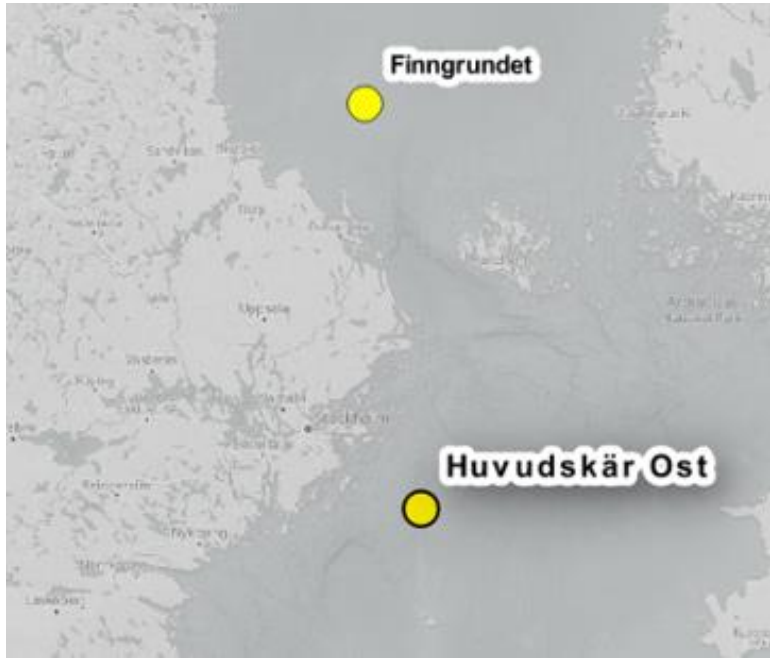
	30 min medelvindstyrka, m/s		Relativ förekomst vid Söderarm A
	Från	Till	
BF0	0	0,2	0,8%
BF1	0,3	1,5	3,4%
BF2	1,6	3,3	13,9%
BF3	3,4	5,4	25,5%
BF4	5,5	7,9	29,3%
BF5	8	10,7	19,3%
BF6	10,8	13,8	6,4%
BF7	13,9	17,1	0,8%
BF8	17,2	20,7	0,6%

För beräkningen av adderat vågmotstånd har data från SSPA-rapport (SSPA, 1998) ”Vågsamband och förväntad frekvens” också använts för mätplats Svenska Björn vilken ligger ca 90 km norr om Huvudskär Ost (i bäring 311 ° från Huvudskär Ost, ca NNV). Anledningen till detta är att denna data finns beskriven på spektral form med både våghöjd och vågperiod. Data från Huvudskär Ost och Finngrundet är beskrivna endast med våghöjd.





Figur 46: Placering av väderstation SöderarmA¹.



Figur 47. Plats för vågbojar Huvudskär O samt Finngrundet WR².

¹ <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=wind,stations=active>

² <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/matningar-i-havet/oceanografiska-matningar/vagbojar-1.180392>



Tabell 30. Relativ förekomst av signifikant våghöjd uttrycket i Beaufort-skala vid Huvudskär O och Finngrundet WR.

Vind	30 minuters signifikant medelvåghöjd, $H_{1/3}$ (m)		Relativ förekomst vid Huvudskär O (från 2001-05-11)	Relativ förekomst vid Finngrundet WR (från 2006-06-02)
	Från	Till		
BF0	0	0	0,05%	0,05%
BF1	0	0,2	4,45%	7,45%
BF2	0,2	0,5	23,50%	25,10%
BF3	0,5	1	36,50%	34,90%
BF4	1	2	28,50%	27,20%
BF5	2	3	5,65%	4,46%
BF6	3	4	1,17%	0,70%
BF7	4	5,5	0,16%	0,13%
BF8	5,5	7	0,02%	0,02%

Elenergibehov beroende på val av antal battericontainers

När det väder- och hastighetsberoende energibehovet viktas för 7 knops servicehastighet tillsammans med systemverkningsgrader för fartygets energisystem erhålls Tabell 31.

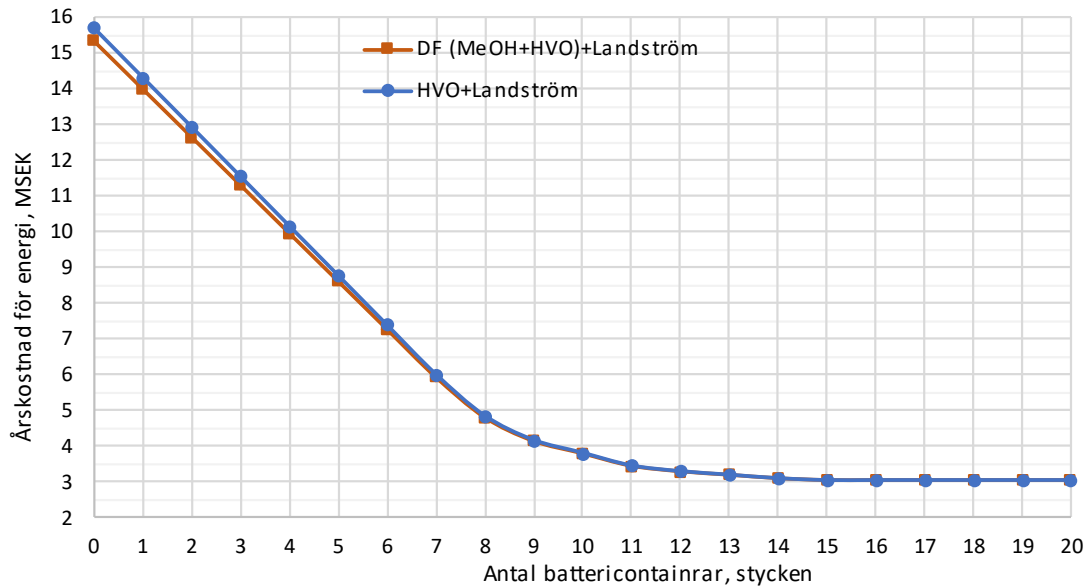
Tabell 31. Andel av energi på propelleraxlar som kan tillgodoses enbart från laddström per enkelresa vid 7 knop.

		Andel av energibehov på propelleraxlar som kan tillgodoses enbart från laddström vid 7 knop						
		Vind- och sjöstillstånd BFX						
		BF0	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6
Antal battericontainrar	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	1	13%	13%	12%	12%	10%	8%	6%
	2	27%	25%	24%	23%	20%	16%	12%
	3	40%	38%	36%	35%	31%	24%	19%
	4	54%	50%	48%	46%	41%	32%	25%
	5	67%	63%	60%	58%	51%	40%	31%
	6	81%	75%	72%	69%	61%	48%	37%
	7	94%	88%	84%	81%	72%	56%	43%
	8	100%	100%	96%	92%	82%	64%	49%
	9	100%	100%	100%	100%	92%	72%	56%
	10	100%	100%	100%	100%	100%	80%	62%
	11	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%
	12	100%	100%	100%	100%	100%	96%	74%
	13	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%
	14	100%	100%	100%	100%	100%	100%	87%
	15	100%	100%	100%	100%	100%	100%	93%
	16	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%
	17	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	18	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	20	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



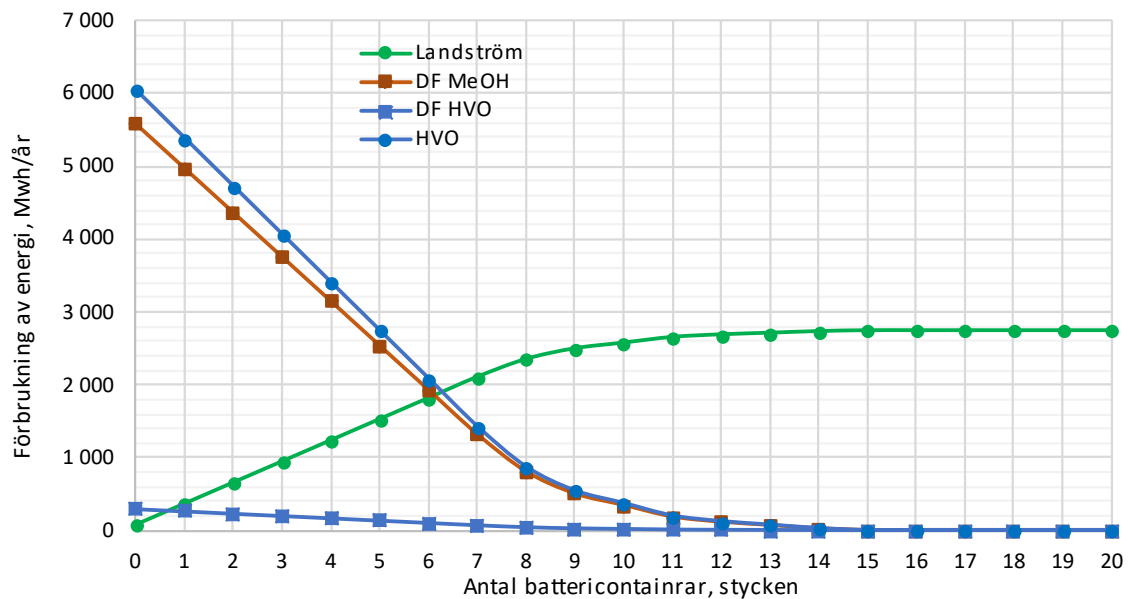
Tabellen redovisar hur stor andel av en enskild resas energibehov som kan erhållas från laddström lagrad i batterierna ombord. Som ett exempel skulle det vid BF4 behövas minst 10 battericontainers för att hela energibehovet för en resa ska kunna komma från laddström.

Om Tabell 31 uttrycket i MWh summeras med behovet av kompletterande energi erhålls följande graf i Figur 48, vilken beskriver det årliga energibehovet vid servicefart 7 knop. Det beskrivs med två linjer beroende på val av metanol+HVO eller enbart HVO som källa för kompletterande energi till laddström.



Figur 48. Totalt behov av energi, beroende på antal burna battericontainrar.

Fördelningen mellan energislagen laddström, metanol och HVO100 blir enligt Figur 49 nedan. För fallet att generera behövda tillsatsenergi med generator driven av dual-fuel motor (metanol+HVO) ska den sammanlagda årsförbrukningen i Figur 48 då beräknas som summan av laddström, DF MeOH och DF HVO i Figur 49.

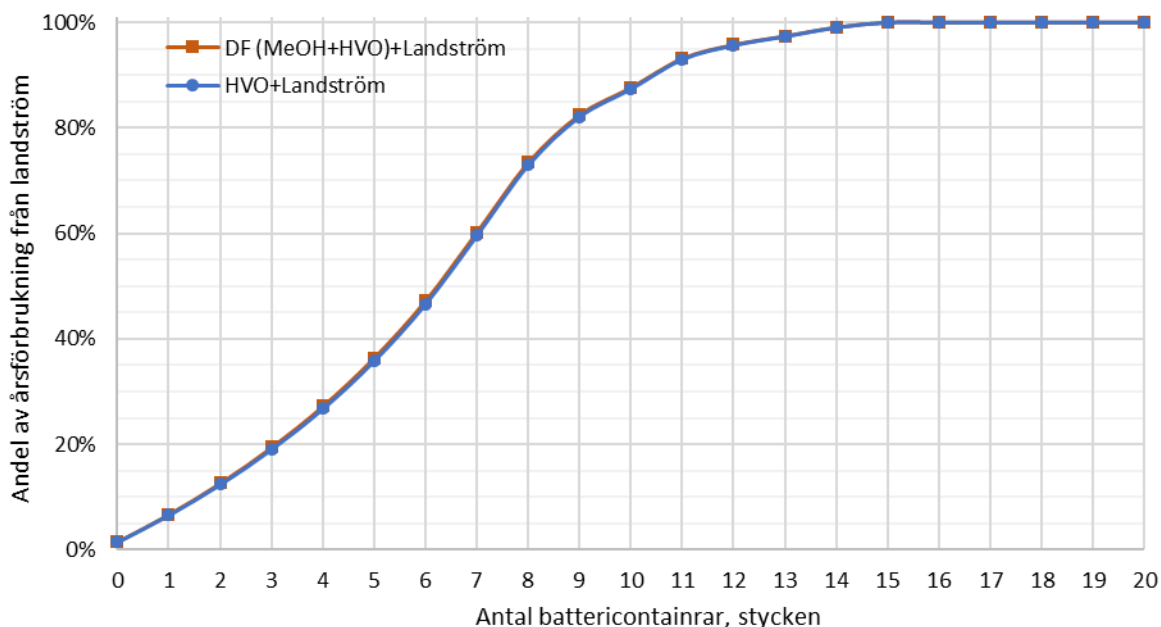


Not: fartygstransport av 60 containrar per vecka under 48 veckor per år utan tillägg mht isgång.

Figur 49. Fördelning av energi per energislag, beroende på antal burna battericontainrar.

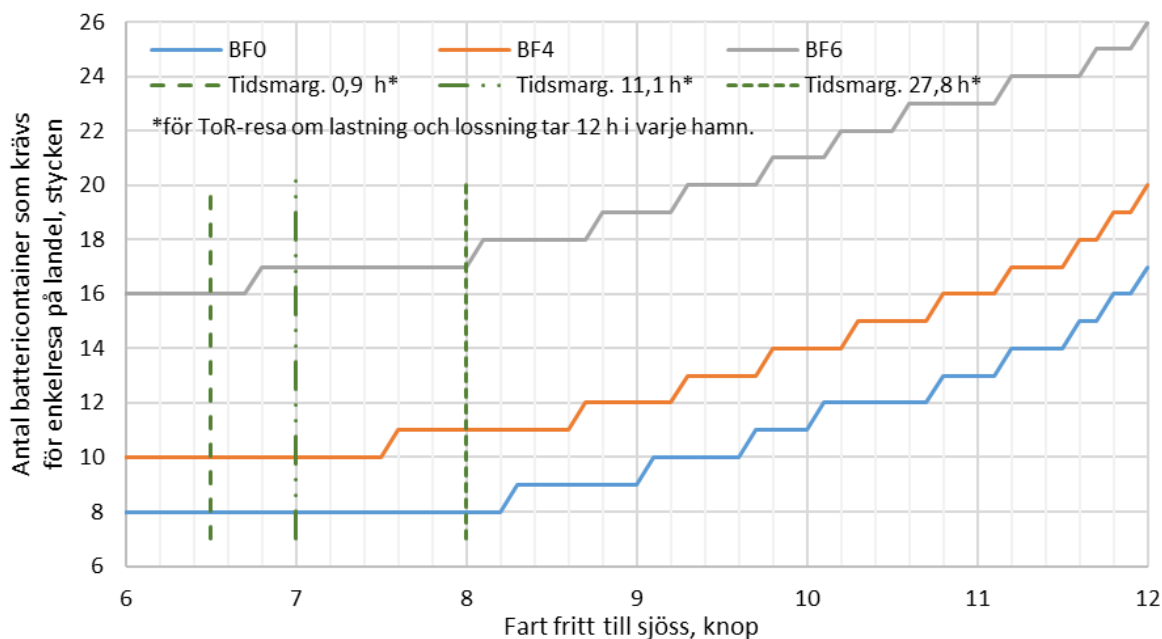


I Figur 50 redovisas hur andelen i procent av använd energi på årsbasis för laddström beroende på antal battericontainrar. Noterbart är den successivt minskade nyttan av fler battericontainrar än 7-8 stycken. Detta beror på att 7-8 battericontainrar täcker behovet för det vanligast förekommande vind- och sjöstillstånden. Vid högre vind och sjö krävs successivt snabbt mer energi på grund av att effektbehovet är icke-linjärt. För att täcka dessa relativt ovanliga energibehov per resa måste successivt allt fler battericontainrar bäras.



Figur 50. Procentuell användning av energi från laddström på årsbasis beroende på antal battericontainrar.

Om en beräkning görs av det lägsta antal battericontainrar som behövs ombord för att klara en resa helt på laddström beroende av vädertillstånd och fart fritt till sjöss under rutten, erhålls resultat enligt Figur 51. I denna figur är även beskrivet vilken tidsmarginal för veckovis avgång som erhålls för fart 6,5, 7 respektive 8 knop.



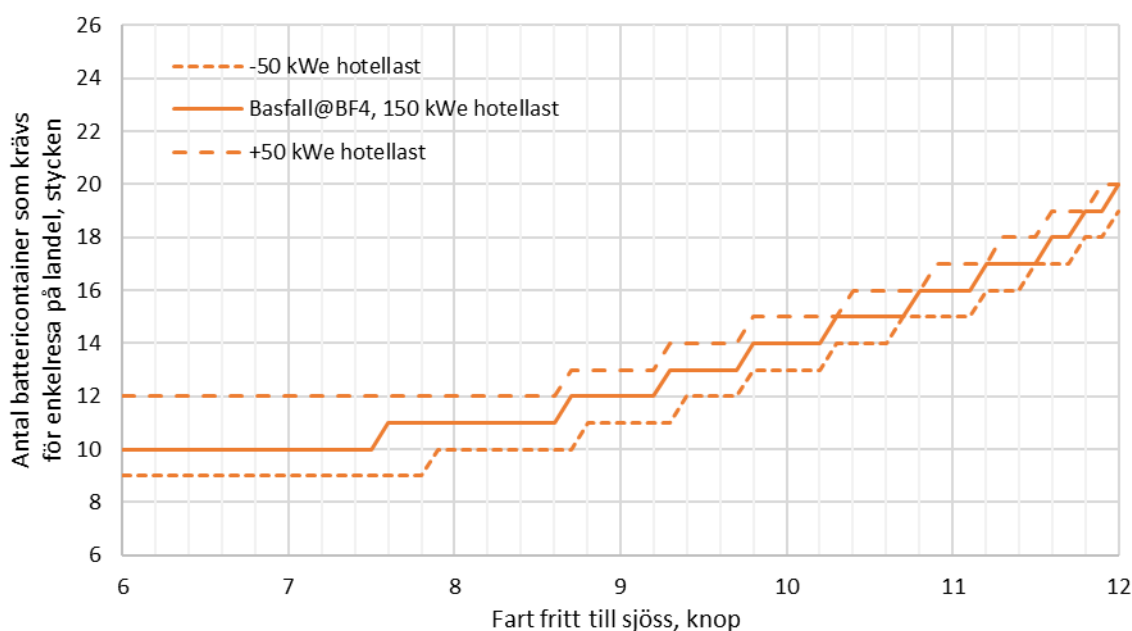
Figur 51. Minsta antal battericontainers som krävs för 100% drift på laddström.



Eftersom projektet velat maximera möjligheten till drift på laddström i så hög grad som möjligt väljs därför hastigheten fritt till sjöss till minst 7 knop. Vid mindre försening kan fortfarande 7.5 knop hållas utan att antalet behövda battericontainers ökar för vädertillstånd BF0 och BF4. Maximalt antal battericontainers ombord är 15 vilket innebär att oavsett vilken marschfart som väljs så klaras inte drift till 100% på laddström vid vädertillstånd BF6 och svårare, oberoende val av hastighet.

Känslighetsanalys m.a.p. hotelleffekt

Eftersom hotellasten är viktig för hur många battericontainers som krävs, så har en känslighetsstudie av detta gjorts specifikt för vädertillstånd BF4, och illustreras i Figur 52. Den ansatta hotellasten har varierats med 50 kWe upp respektive ned från 150 kW. Vid den lägre hotellasten 100 kWe minskar behovet av antal battericontainrar från 10 till 9. Vid den högre hotellasten 200 kWe ökar behovet av antal battericontainrar från 10 till 12 st.



Figur 52. Känslighetsanalys: minst antal behövda battericontainrar beroende på hotellast för att nå 100% drift på laddström.

Av känslighetsanalysen kan man dra slutsatsen att det finns ett värde av att minimera hotellasten, men kanske framför allt att det är av värde att så långt som möjligt inte öka hotellasten över 150 kWe. Den aspekt som tydligast kan driva mot ökad hotellast är generell ökad elektrifieringsgrad, t.ex. av fartygets värmesystem om denna genomförs på ett energiineffektivt sätt. Eftersom fartygets hotellaster generellt är den del i energiprofilen som är minst väl underbyggd är det en stark rekommendation att studera detta extra noga i ett eventuellt kommande projekt för forskning eller konceptframtagning.



Jämförelse med landtransport

Projekttagaren Scania har tagit fram energibehovet för transport av containrarna på land för tre olika transportkoncept drivna utan fossil energi:

1. Intermodal transport: lastbil+järnväg+lastbil, lastbil drivs med biogas.
2. Intermodal transport: lastbil+järnväg+lastbil, lastbil drivs med HVO100.
3. Vägtransport: lastbil driven med HVO100.

Med antagande om 55 eller 60 containrar per vecka under 48 veckor per år och de erhållna värdena på energiförbrukning per tur och retur (ToR) och container blir energibehovet enligt Tabell 32.

Tabell 32. Energiförbrukning för landtransportalternativ.

Alternativ	Energiförbrukning för landtransport, MWh/år Antal containrar per vecka:	
	55	60
Intermodalt Biogas	10 564	11 524
Intermodalt HVO	12 532	13 671
Vägtransport HVO	15 451	16 856
Vägtransport Diesel	15 316	16 709

Emissioner av växthusgaser / CO_{2e}

Se delavsnitt *Studerat energisystem på fartyg och systemavgränsning* samt *Bränsleval* tidigare i rapporten för en mer detaljerad beskrivning av vilka bränslen som valts att analyseras och varför dessa val gjorts.

Följande bränslen har studerats för fartyget och de alternativa transportlösningarna på land:

Tabell 33. Studerade bränslen i projektet för respektive transportkoncept.

	Transport på fartyg	Transport med enbart lastbil	Intermodal transport med lastbil och järnväg
Electricitet	X		X
Metanol	X		
HVO	X	X	X
Biogas			X
Diesel MK1 20 REDUX		X	
Diesel MK3		X	

Notera att drift med metanol även kräver en viss användning av dieselbränsle för att kunna använda metanolen i en dieselprocess – detta bränsle kallas pilotbränsle och är beroende på motorlast mellan 5% och 10% av totalt energiinnehåll. Pilotbränslet har antagits vara HVO.

Använda emissionsfaktorer och systemavgränsning

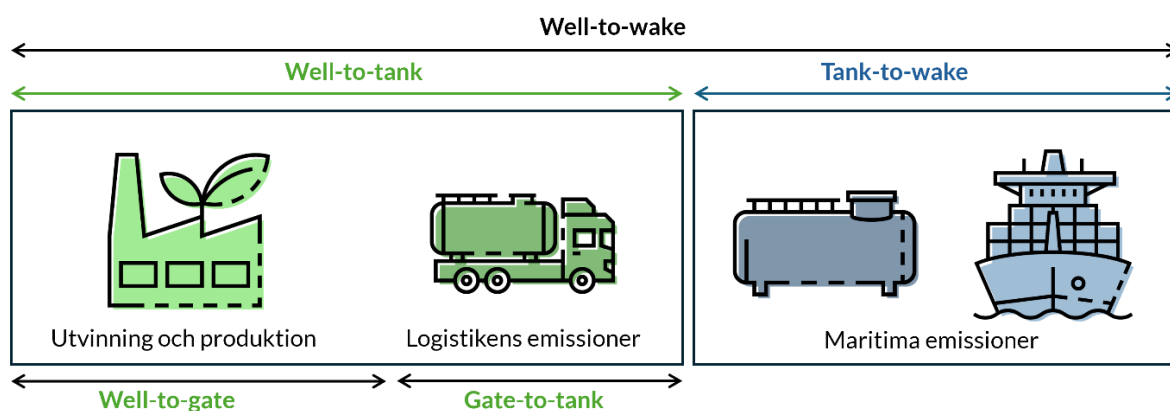
Fartyg med krav att köpa emissionscertifikat i EUs ETS-system kommer att basera behovet av sina certifikat på beräknade CO_{2e}-emissioner med emissionsfaktorerna gjorda för WTW



(well to wake). De av Scania framtagna emissionerna för landtransport är också baserade på WTW (vilket för fordon uttyds som well to wheel). WTW är emissionerna som uppstår i hela värdekedjan för bränslet: från dess eventuella utvinning av råvara till att bränslet använts i fordonet. De olika stegen kan delas in enligt följande nomenklatur:

- *WTG: well to gate* – utvinning och produktion av bränslet tills det lämnar produktionsställets ”grind”. Transport av råvara (tex slaktavfall för HVO) till produktionsstället inkluderas i detta steg.
- *GTT: gate to tank* – emissionerna som uppstår av transporter och logistik inklusive mellanlagring från det att bränslet lämnat produktionsstället tills det finns i fordonet som ska använda det-
- $WTG + GTT = WTT: well to tank$.
- *TTW: tank to wake* eller *tank to wheel*: emissionerna som uppstår vid användande av bränslet ombord. För el är det noll, för icke-fossila bränslen är det beroende på om emissioner av växthusgaser som inte är koldioxid uppstår vid användning förbränning av bränslet. Exempel på sådana emissioner är metan (CH_4), lustgas (N_2O) och sot/black carbon (BC) som kan bildas vid förbränning av både HVO och metanol.
- $WTG + GTT + TTW = WTT + TTW = WTW: well to wake$ eller *well to wheel*. Samtliga emissioner från alla steg i bränslets produktion, logistik och användning.

Se även Figur 53 nedan för en grafisk beskrivning av de olika systemavgränsningarna.



Figur 53. Beskrivning av olika systemavgränsningar för beräkning av emissionsfaktorer.

Systemavgränsningen för använt bränsle är WTW för både landtransporterna och fartygs-transporterna. I de flesta fall görs jämförelser endast mot andra transportkoncept som nyttjar bränsle från icke-fossila källor. I de fall jämförelser görs mot referenser som innehåller fossila komponenter (t.ex. diesel MK1 eller MK3) anges detta i varje fall. Framförallt görs sådana jämförelser för vissa av emissionsberäkningarna för att ge en uppfattning om besparing av växthusgasutsläpp, t.ex. i syfte att bedöma möjligheter att söka medel från klimatklivet eller EUs motsvarande stödsystem.

Samtliga emissionsberäkningar för biogas, HVO100, laddström och diesel MK1 och MK3 är gjorda med de värden som erhållits av Scania för landtransporterna (se Tabell 34). Notera att dessa är gjorda för högvarviga dieselmotorer för lastbil. Detta innebär att det skulle kunna bli mindre korrigeringar av dessa emissionsfaktorer för det bränsle som används i fartyget



eftersom detta avses få två stycken medelvarvsmotorer. Skillnaden kommer i så fall av att en medelvarvsmotor har något annorlunda emission av metan och lustgas, vilket för närvarande är de enda emissioner förutom koldioxid som avses inkluderas i IMOs och EUs planerade rapporteringssystem för växthusgasemissioner från fartyg. Skillnaden bedöms dock inte bli besvärande för beräkningarna i detta skede beaktat alla övriga osäkerheter, t.ex. den i detta stadiet relativt lågt detaljerade konceptuella fartygsdesignen.

Emissionsfaktor för biometanol är baserad på data från Södra Skogsägarnas metanolproduktion i Mönsterås med beräknat påslag för att transportera denna med tankbil med släp till Södertälje och med en tom returkörning. Dessa transporter har antagits ske med fossil diesel för att inte ge överoptimistiska värden på emissionsfaktorn. Dessutom har tillägg gjorts för emission av metan (CH₄) och lustgas (N₂O) i enlighet med metodiken i IMOs fjärde studie av växthusgas (IMO, 2020) med antagande att motorn är en medelvarvsmotor gående av 80% last i medeltal.

Tabell 34. Använda emissionsfaktorer baserat på använd energi.

	WTW, g CO _{2e} /kWh	Källa till information
HVO100	55,0	Scania
Electricitet	8,5	Scania (svensk elmix)
Biogas	52,6	Scania
Diesel MK1 20 REDUX	263,3	Scania
Diesel MK3	269 ³	Beräknat av data från Scania
Biometanol	25,4	Beräknat med bas i data från Södra

Erhållet värde från Södra är 16,3 g CO_{2e}/kWh WTG (well to gate). Beräknat värde för transport av 55 m³ metanol från Södras fabrik i Mönsterås till Södertälje hamn, inklusive tom returkörning, är 8.3 g CO_{2e}/kWh GTT (gate to tank). Här har antagits att transporten sker med en tankbil med släp och att använt bränsle är diesel MK1. För förbränningen ombord beräknas 0,83 g CO_{2e}/kWh TTW (tank to wake) för emissioner av lustgas och metan, båda orsakade av förbränningen i dieselmotorn ombord.

Totalt alltså WTW = WTG + GTT + TTW = 25.4 gCO_{2e}/kWh. För beräkningen av TTW har defaultvärden i enlighet med metoderna i appendix till IMOs fjärde studie av växthusgas (IMO, 2020) nyttjats.

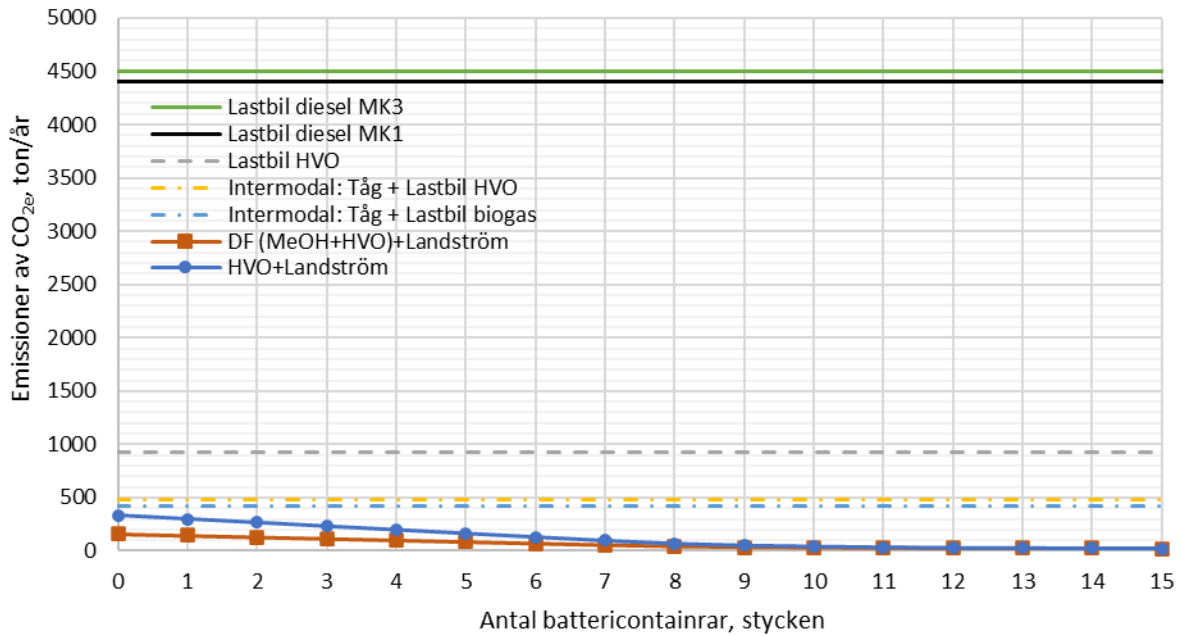
Enligt FuelEU (EU, 2023) omfattas fartyg över 5 000 GT av förordningen – denna innehåller krav på att rapportera WTW-data för emissionerna vilket alltså inkluderar TTW-delen. Dock innehåller i nuläget principerna för beräkning inga default-värden för exempelvis metan och lustgas formerad i förbränningen utan de är angivna som ”TBM” vilket står för ”to be measured”. Det bör också noteras att ELINORR har ett beräknat GT på väl under 5 000 vilket alltså innebär att tills vidare gäller inte kraven enligt FuelEU för henne. Gränsen på 5 000 GT är tänkt att omprövas senast 2028.

³ Enligt ”Klimatklivet – beräkna utsläppsminskning 2024-05-24” (Naturvårdsverket, 2024) ska 278.6 g CO_{2e}/kWh användas för Diesel MK3 och 28.1 g CO_{2e}/kWh för HVO100. Projektet har valt att istället använda samma emissionsfaktorer som nyttjas internt Scania för att kunna jämföras med emissionsdata beräknat med Scanias analysverktyg.

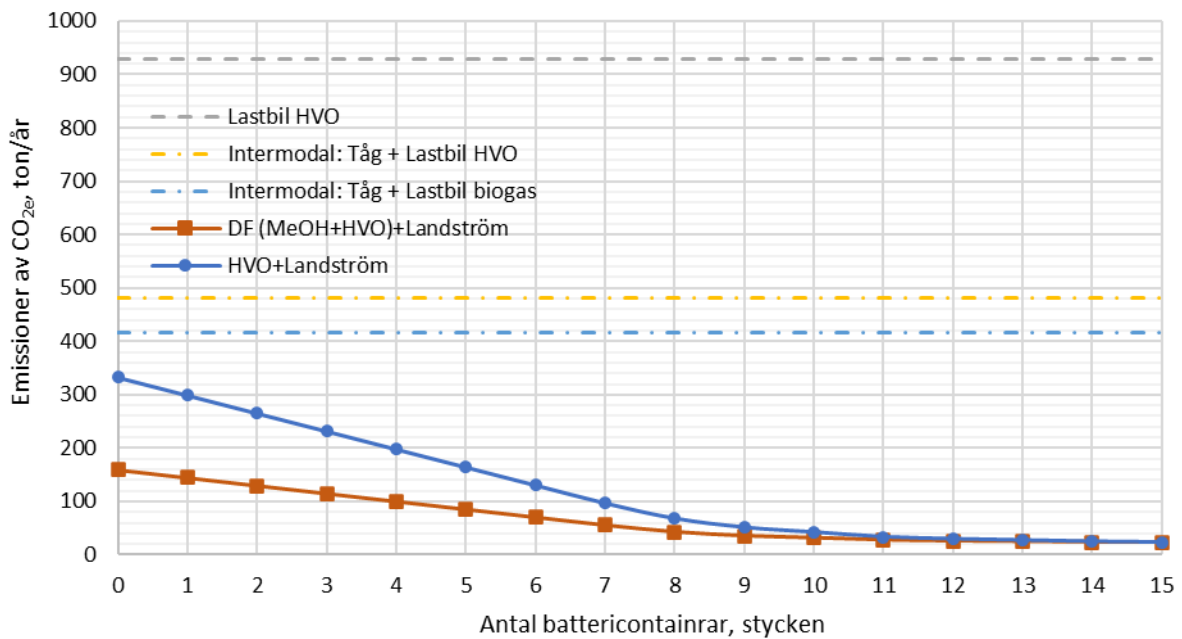


Resultat av beräkningar

I graferna i detta underkapitel redovisas de beräknade årsemissionerna för de olika analyserade transportkoncepten.

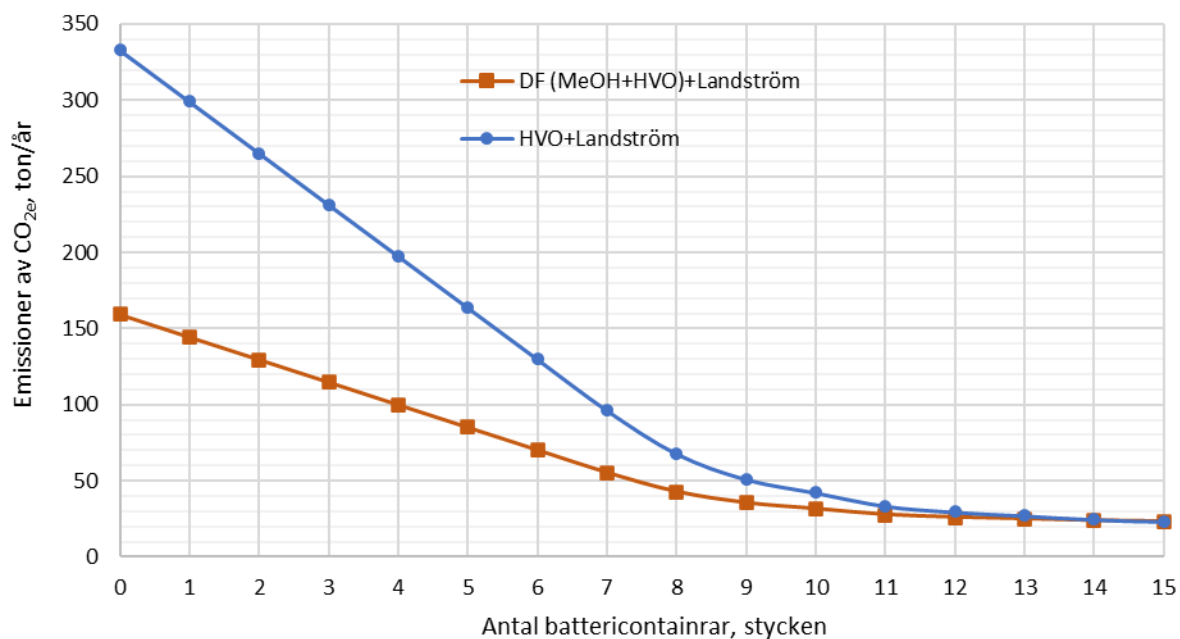


Figur 54. Emission från samtliga analyserade transportkoncept, ton CO_{2e}/år.



Figur 55. Emission från samtliga analyserade transportkoncept drivna med bränsle utan fossilt ursprung, ton CO_{2e}/år.





Figur 56. Emission från de båda alternativen av val av tillsatsbränsle till laddström, ton CO_{2e}/år.

Jämförelse med landtransport

Jämförelse för olika transportkoncept har gjorts för följande varianter:

- Sjötransport
 - ELINORR med 0-20 battericontainrar ombord: MeOH+HVO som tillsatsbränsle.
 - ELINORR med 0-20 battericontainrar ombord: HVO som tillsatsbränsle.
- Landtransport:
 - Transport hela vägen med lastbil driven på diesel (MK1).
 - Transport hela vägen med lastbil driven på diesel (HVO).
 - Intermodal transport: lastbil på HVO100 och järnväg.
 - Intermodal transport: lastbil på biogas och järnväg.

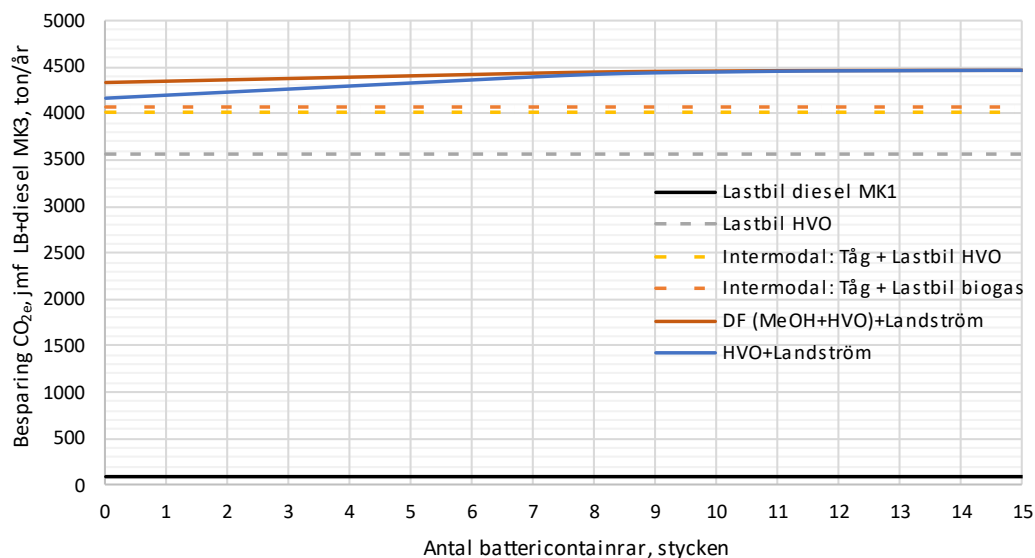
Referens för jämförelserna är transport hela vägen med lastbil driven på diesel (MK3). Samtliga beräkningar är gjorda för ett godsflöde av 60 containrar med last per vecka under 48 veckor per år. I Figur 57 visas de beräknade reduktionerna för olika transportalternativ jämfört med att skicka godset landvägen med lastbil driven med diesel MK3.

Att byta från diesel MK3 till MK1 för transport med lastbil hela vägen spar cirka 93 ton CO_{2e} per år (se Figur 57). Att välja lastbilstransport driven med HVO hela vägen ger en reduktion av CO_{2e} emissionerna med 3 565 ton CO_{2e} per år jämfört med lastbil drivan av diesel MK3 (se Figur 58). De intermodala transportalternativen med inledande och avslutande transport med lastbil och mellanliggande transport med järnväg spar ytterligare emissioner. Här ger valet att driva lastbilarna på biogas något större reduktion (4 077 ton reduktion CO_{2e}/år) jämfört med valet att driva lastbilarna med HVO (4 015 ton reduktion CO_{2e}/år). Se Figur 58.



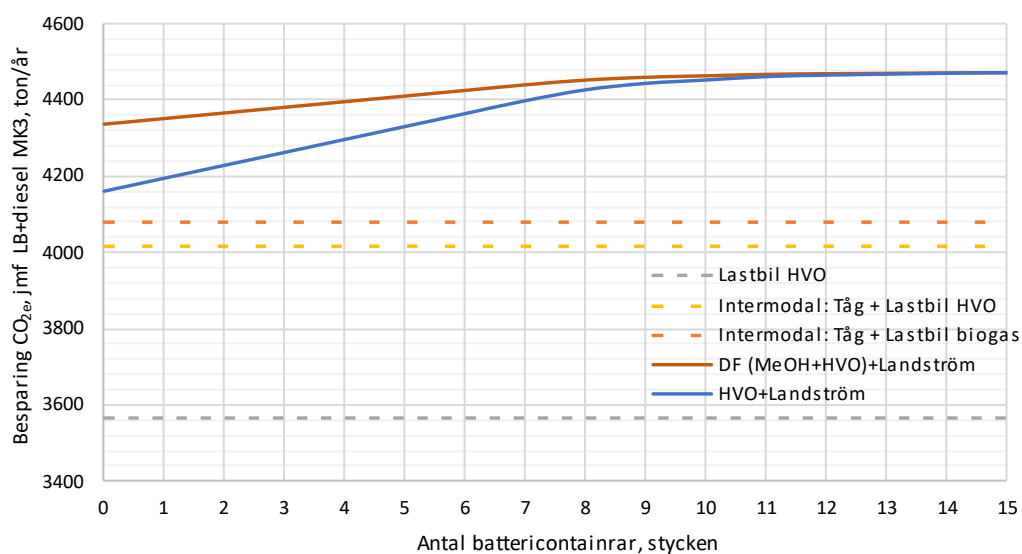
För fartygstransporterna kommer valet av biometanol med HVO som pilotbränsle ut med högre reduktion av emissioner av CO_{2e}. Reduktionen blir mellan 4 160 och 4 470 ton CO_{2e}/år om fartyget drivs på HVO. Om istället bränslet väljs som metanol med HVO som pilotbränsle blir reduktionen mellan 4 335 och 4 470 ton CO_{2e}/år. Ju fler battericontainrar fartyget har desto högre reduktion uppnås. I Figur 59 visas detta och beroende av antal battericontainrar samt valet av tillsatsbränsle till laddström.

Observera att emissionerna inte inkluderar emissioner från behov av extra energi från gång i is, vilket undersöks i det pågående parallella projektet *Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden*.



Figur 57. Reduktion av CO_{2e}-emissioner per år jämfört med transportalternativ lastbil driven med diesel MK3.

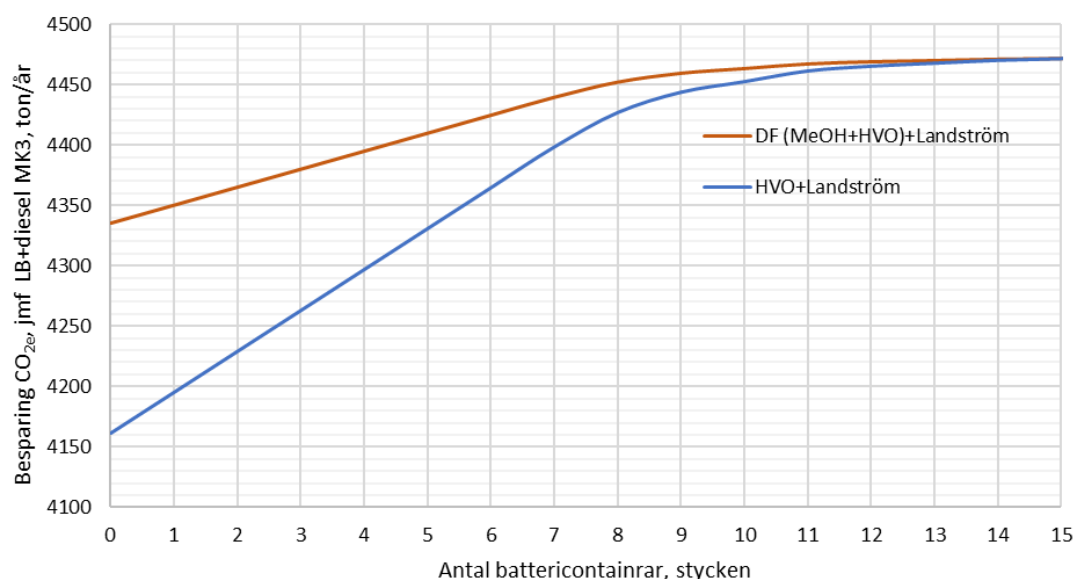
Om diesel MK1 döljs så att endast alternativ utan innehåll av bränsle med fossilt ursprung är kvar erhålls graf över besparingarna i CO_{2e}-emissioner per år enligt Figur 58.



Figur 58. Reduktion av CO_{2e}-emissioner per år jämfört med transportalternativ lastbil driven med diesel MK3, endast transportalternativ användande bränsle med låg CO_{2e}-emissionsfaktor.



Och om slutligen endast sjötransporten visas blir reduktionen av CO_{2e} enligt Figur 59. Att metanol ger högre besparing än HVO beror på att den biometanol vi kunnat hitta kända och certifierade emissionsdata för har väldigt låg emissionsfaktor. Den emissionsfaktor som använts för HVO har erhållits från Scania och är möjligen något konservativ (hög). Kurvorna bör därför läsas som att de verkliga emissionerna sannolikt ligger inom bandet som det båda kurvorna bildar. Man kan ej dra slutsatsen att metanol alltid är bättre bränsle avseende CO_{2e}-emissioner än HVO – det beror helt på de specifika emissionsfaktorerna som kommer att vara unika för olika produktions- och transportkedjor för bränslena. Noterbart är att skillnaden mellan kurvorna från cirka 14 battericontainrar faller samman eftersom det då behövs mycket lite tillsatsbränsle till land-elen lagrad i battericontainrarna.



Figur 59. Besparing av CO_{2e}-emissioner för transport av 60 containrar per vecka 48 veckor per år med fartyg beroende på val av bränsle.

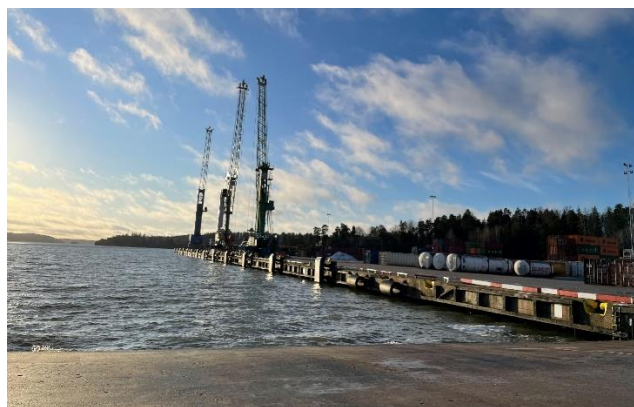
Infrastruktur

Inom projektets omfattning redovisas möjligheter och lösningar för de krav som ställs på infrastrukturen hos de hamnar som fartygskonceptet ska anlöpa. För att upplägget ska kunna realiserats behöver flera frågor kring infrastruktur besvaras, inte minst kring tekniska lösningar, men också rent finansiellt och operativt. Dessutom bör hänsyn tas utanför konceptet ELINORR, så att hållbara investeringar görs för ytterligare framtida behov.

Hamnarna Södertälje och Skellefteå

Södertälje Hamn är en TEN-T-hamn av riksintresse, belägen cirka 39 km söder om Stockholm. Hamnen hanterar en bred variation av gods, inklusive RoRo, container, samt flytande och fast bulk. Den har cirka 500–700 anlöp per år och erbjuder omlastning mellan fartyg, järnväg och lastbil för att möta olika logistikbehov. Pågående utvecklingsplaner inkluderar elektrifiering av järnvägen, förstärkning av kajer och installation av landström för fartyg.





Figur 60: Bild av kaj i Södertälje hamn

Skellefteå Hamn är av riksintresse och viktig för hanteringen av skogsprodukter och bulkgoods kopplat till regionens industri. Hamnen, som årligen hanterar cirka 1,7 miljoner ton gods, investerar i utökad infrastruktur och planerar nya kajer och muddring för ökad kapacitet. Skellefteå Hamn har även en stark hållbarhetsprofil med satsningar på fossilfri verksamhet och eldrivna kranar.

Tabell 35. Sammanfattning av egenskaper hos Södertälje- och Skellefteå Hamn.

Egenskap	Södertälje Hamn	Skellefteå Hamn
Klimat och isförhållanden	Måttlig påverkan av is, inte beroende av statsisbrytare	Påverkas av is; statsisbrytare krävs vintertid.
Godshantering	RoRo, container, flytande och fast bulk	Skogsprodukter, bulkgoods (smältmaterial, trävaror)
Max fartygskapacitet	200 m längd, 32 m bredd, 9 m djupgående	205 m längd, 35 m bredd, 8,3 m djupgående
Teknisk utrustning	Tre mobila kranar (max 123 ton)	Flera kranar; maxkapacitet 125 ton (eldriven)
Hållbarhetsprofil	Fossilfri hantering sedan 2016	Fossilfri strategi under utveckling
Lotsgränser för kategori 2 & 3 (L/B/D)	70 x 14 x 4,5 m	80/15/- 90/16/-
Farled risknivå	Nivå 4	Nivå 2
TEN-T hamn	Ja	Nej

Riskbaserad lotsplikt och farled

I december 2023 trädde nya regler för lotsning i kraft i Sverige, där lotsplikten blev mer riskbaserad. Syftet med förändringarna är att göra bedömningen av behovet av lotsning mer effektiv och anpassad till faktiska risker för såväl fartyg som lotsleder.

I Sverige är det krav på att anlita lots för navigering på svenskt inre vatten vid ankomst och avgång från svenska hamnar. Det nya systemet bygger på en kombination av kvantitativa och kvalitativa riskbedömningar. Både fartyg och lotsleder utvärderas för att säkerställa att rätt resurser används där de behövs som mest.



En av de mest betydande förändringarna är att lättnader införs för fartyg som regelbundet trafikerar en specifik lotsled. Dessa fartyg anses utgöra en lägre risk jämfört med fartyg som sällan använder samma rutt. Samtidigt har prövningar av lotsdispenser blivit mer riskbaserade. Ett förenklat dispensförfarande har också införts för fartyg som bedöms utgöra en lägre risk.

I TSFS 2022:94 Bilaga 1 anges lotspliktslinjer och risknivåer för respektive lotsled. Den totala risknivån kan vara lägst 2 och högst 8, och utgör summan av lotsledens risknivå och fartygets risknivå.

En lotsleds risknivå kan vara lägst 1 och högst 4, där 1 anger lägre risk och 4 anger högre risk. Ett fartygs risknivå fastställs efter bedömning av fartygets last och konstruktion samt av mängd och placering av dess brännolja. Den är ett värde från 0 till 4, där 1 anger lägre risk och 4 anger högre risk. Konceptfartyget i ELINORR uppskattas ha en risknivå 0.

Södertälje Hamn ligger 30 sjömil från lotsplatsen Landsort och ingår i Södertäljes Lotsområde. I farleden mellan Landsort och Södertälje Hamn är det maximala tillåtna djupgåendet 9 meter, den maximala fartygslängden 200 meter och bredden 32 meter. Dispens från de rekommenderade längderna går att ansöka hos Sjöfartsverket. Inom området finns flera platser med specificerade fartbegränsningar som tydligt framgår på sjökorten. Lotsleden till Södertälje har risknivå 4 och med konceptfartygets risknivå 0 så är den sammanlagda risknivån 4. Det innebär att fartyget kommer att vara lotspliktigt enligt reglerna Lotspliktsgränser L/B/D (m) för kategori 2 & 3 = 70/14,5/4,5

Inseglingen till Skellefteå Hamn är kort och max längd på fartyg är 205 m/ 35 m bredd/ 8,3 m djupgående till inre hamnen. Inga speciella restriktioner för fartyg under längd på 160 m utöver isklass. Under vintersäsong kan tillgängligheten variera i tid beroende av hur tillgängligheten är till stats-isbrytare som opererar vintertid i Bottenviken. Lotsleden till Skellefte Hamn har risknivå 2 och med konceptfartygets risknivå 0 så är den sammanlagda risknivån 2, vilket innebär att fartyget är föremål för undantag av lotsplikten.

Framtida utveckling av landström i hamnarna

Elektrifierade fartyg är en viktig del av sjöfartens gröna omställning och medför nya krav på hamninfrastruktur. För att effektivt reducera utsläpp från fartyg vid kaj krävs lösningar som inte bara uppfyller internationella standarder (IEC 80005-2:2016) utan också är anpassade till fartygens varierande behov. Eftersom det i viss mån är möjligt att använda samma anslutning för landström och laddström (beroende på exempelvis effektbehov) beskrivs utveckling kring landström nedan.

Södertälje Hamn satsar på att installera landström för att kunna möta framtida krav. Elektrifieringen av järnvägen och tillhandahållandet av landström för fartyg är en del av EU-stödda projekt genom *Connecting Europe Facility* (CEF) som hamnen är delaktiga i.

Skellefteå Hamn är i en fas av att integrera landström som en del av sin nya infrastruktur-satsning, inklusive den planerade kajen på Kallholmsfjärden. Här betonas användning av förnybar energi, och möjligheten att lagra energi lokalt i hamnen genom energilagringssystem (ESS) utforskas.



Regelverk

Transportstyrelsen har utfärdat föreskrifter och allmänna råd om landströmsförsörjning till fartyg, (TSFS 2024:58, 2024). Dessa regler gäller svenska fartyg och beskriver krav och rekommendationer för landströmsanläggningar som tas i bruk från och med föreskrifternas ikraftträdande. Målet är att säkerställa en säker och effektiv övergång till landström för att minska utsläpp och säkerställa att både fartyg och hamnar uppfyller nödvändiga standarder. I Tabell 36 beskrivs aspekter som föreskrifterna omfattar för att uppnå en trygg och tillförlitlig landströmsförsörjning.

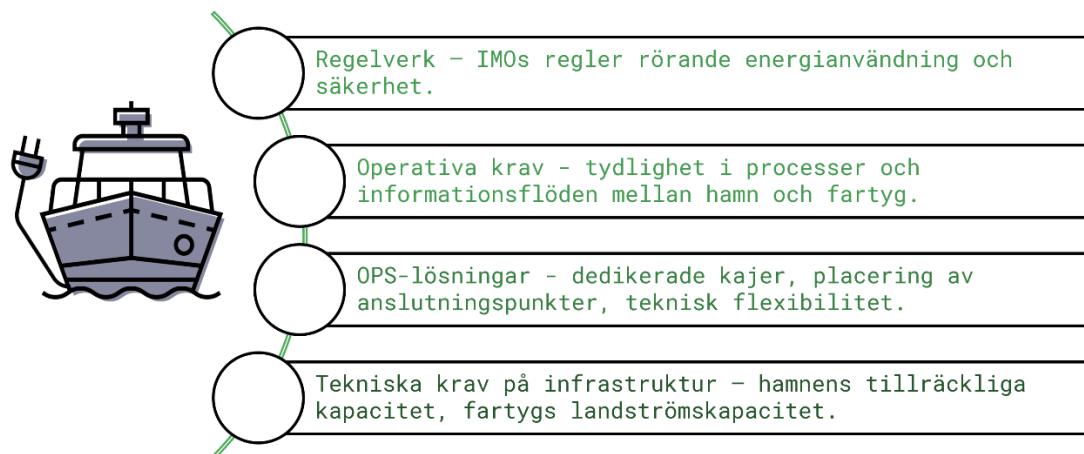
Tabell 36. Aspekter från TSFS 2024:58, Transportstyrelsens föreskrifter om landströmsförsörjning till fartyg.

Nr	Aspekter	Tydliggörande
1	Anpassning och Säkerhet	System för landström ska vara <i>anpassade</i> till fartygets drift och <i>säkerställa trygghet</i> för både besättning och utrustning. Risker som brand, elchocker eller skador på utrustning ska förebyggas.
2	Riskhantering	Hamnar och fartyg ska genomföra <i>riskanalyser</i> enligt vedertagna metoder. Särskild uppmärksamhet bör ges åt risker från vatten, is, vagabonderande strömmar och galvanisk korrosion.
3	Kompatibilitet	Fartygets elsystem ska vara <i>kompatibelt</i> med hamnens elkraftsystem, och kommunikationen mellan systemen ska fungera utan störningar. Här föreslås standarden IEC/IEEE 80005-2:2016 som vägledning.
4	Galvanisk separation och skydd	Landströmssystemet ska vara <i>galvaniskt separerat</i> för att <i>skydda</i> både fartygets och hamnens utrustning. Isolertransformatorer som följer standarden SS-EN IEC 61558-1 rekommenderas. Skyddsanordningar som reläskydd, åskskydd och fasföljdsomkoppling är obligatoriska.
5	Effektbehov och tydlig information	Systemet ska klara fartygets <i>maximala effektbehov</i> , särskilt vid lastning och lossning. Vid anslutningspunkten ska det finnas tydliga skyltar med <i>information</i> om spänning, frekvens och effekt samt rutiner för säker anslutning och fränkoppling.

Teknisk infrastruktur och operativa krav

För att ett containerfartyg ska kunna ladda i hamn krävs att både fartyg och hamnens infrastruktur uppfyller tekniska, operativa och regulatoriska krav, vilka summeras i Figur 61. Till att börja med bör hamnen ha tillräcklig kapacitet för att stödja snabbaddning av stora batterier och tillhandahålla kompatibla laddningssystem, exempelvis standarder för kontaktdon och spänningsnivåer. Laddningen måste kunna ske under lastning och lossning för att minimera stilleståndstid. Fartyg bör också laddas med ren energi för att stödja internationella klimatmål. Samtidigt är det viktigt att följa regler från IMO som rör energianvändning och säkerhet. För att möta behovet av laddström för ett batteridrivet containerfartyg krävs att hamnarna i Södertälje och Skellefteå undersöker möjligheterna att utveckla en lösning av OPS (Onshore Power Supply) som passar deras verksamhet och typ av fartyg som avser anlöpa till hamnen.





Figur 61. Sammanfattning teknisk lösning i hamnen för laddning och infrastruktur.

Vidare skulle en dedikerad kaj för det batteridrivna containerfartyget behöva anpassas för att leverera den höga effekt som krävs för laddning av batterifartyget och säkerställa smidiga anslutningar mellan fartygets system och infrastrukturen på land. Samtidigt skapar den också möjlighet att hantera utmaningar relaterade till strömförsörjning, kabeldragning och placering av anslutningspunkter på kajen. För att möjliggöra effektiv laddning av elektrifierade fartyg finns flera tekniska lösningar som adresserar olika behov och förutsättningar i hamnar och på fartyg. Dessa OPS-lösningar omfattar kabelbaserade system, energilagring, och innovativa laddningsteknologier.

En OPS-lösning kräver bland annat:

- Ställverk och transformatorer för att hantera hög effekt.
- Frekvensomvandlare för kompatibilitet med olika fartygssystem.
- Säkerhetssystem som kopplar fartyg och land i enlighet med gällande standarder.

Erfarenheter från andra projekt visar att dedikerade OPS-kajer underlättar effektiv resursanvändning och säker drift. Placering av anslutningspunkter och teknisk flexibilitet är avgörande för att tillgodose fartygens varierande behov. Valet av teknik bör beakta framtida krav och standarder samtidigt som lösningen stödjer internationella klimatmål. Denna beskrivning baseras på information från Costa m.fl. (2022a) som belyser tekniska och infrastrukturella möjligheter för hamnar att stödja en mer hållbar och elektrifierad sjöfart.

En del av den tekniska lösningen föreslås också innehålla operativa krav. Innan ett fartyg anlöper en hamn med krav på anslutning till landström så rekommenderas det att hamnen har tydliga processer för detta. Tydlighet om vilken information som i god tid bör lämnas av fartyget till hamnen för att säkerställa att hamnen kan förbereda anslutningen och att fartyget kan kopplas in på ett säkert och effektivt sätt. Fartyget å sin sida bör kontrollera att dess elsystem är kompatibelt med hamnens elförsörjning. Detta innebär att vidimera exempelvis spänning, frekvens och typ av jordning. Rent operativt kan sådant bekräftats via ett enkelt frågeformulär som fartyget besvarar exempelvis i samband med att de gör sin fartygsanmälan till hamnen. Då information har mottagits kan hamnen planera för att möta fartygets behov vid anlop, inklusive effektkrav och specifika anslutningspunkter.

Slutligen har större containerfartyg ofta hög energiförbrukning under hamnuppehåll och det ställer tekniska krav på hamnen och på dessa fartyg. Men genom att utrusta fartygen med landströmskapacitet enligt IEC 80005–1 kan de ansluta till hamnens elnät och stänga av sina hjälpmotorer, vilket minskar utsläppen. Rent teknisk är den normala standarden för

anslutningsspänning för containerfartyg 6.6kVAC enligt IEC 80005–1 IEC Annex D pkt D 5.1. För höga effektbehov, över 4 MVA, kan två parallella anslutningar nyttjas för en maximal effekt av 7.5MVA (Annex D pkt D7.1). Om endast en kabel mellan hamn och fartyg används med en maxström på 350A, kan maximalt 4MVA överföras. Max ström för en standard anslutningsspänning på 6.6kVAC är 350 Ampere, medan för en spänning på 11kVAC så kan strömmen ligga på antingen 350A eller 500A.

För laddning av batterier för framdrift är placering och laddningseffekt viktigt att beakta (Hägg m.fl. 2018). Exempelvis kan energiöverföring ske med lägre effekt för fartyg som ligger länge vid kaj, medan kortare tid vid kaj kräver högre effekt. För ett fartygskoncept likt ELINORR, räcker inte effekten för att ladda de battericontainrar som finns ombord (t.ex. 15 containrar) under den planerade lastnings- och lossningstiden på 12 timmar, om landanslutning sker med endast en kabel och 6.6kVAC. Däremot om en kabel och 11kVAC nyttjas kan 15 containrar laddas på kortare än 10 timmar laddningstid, eftersom den högre anslutningsspänningen tillåter en högre ström. Detsamma gäller för två anslutna kablar och 6.6kVAC spänning – då kan fler än 15 containrar laddas på under 10 timmar. Se Tabell 37 och Tabell 38 för en sammanställning av ström i landsanslutningskabel per fas vid olika kombinationer av antal battericontainrar ombord, val av spänning hos laddströmsanslutning, samt olika laddningstid. Notera att för alternativet med endast en kabel på 6.6kV i tabellerna är flera strömalternativ överstrukna, då de överstiger maxvärdet på 350 Ampere.

Tabell 37. Ström per fas i kabel för laddström vid 15 battericontainrar för olika laddningstid, antal landströmskablar och spänning.

		15 battericontainers			
		Fasström landkabel, A			
Anslutningsström	Antal kablar	@6.6kV, 1 kabel	@6.6kV, 2 kablar	@11kV, 1 kabel	@11kV, 2 kablar
		Laddningstid, h	10	535	267
	11	486	243	292	146
	12	445	223	267	134
	13	411	206	247	123
	14	382	191	229	115
	15	356	178	214	107
	16	334	167	200	100

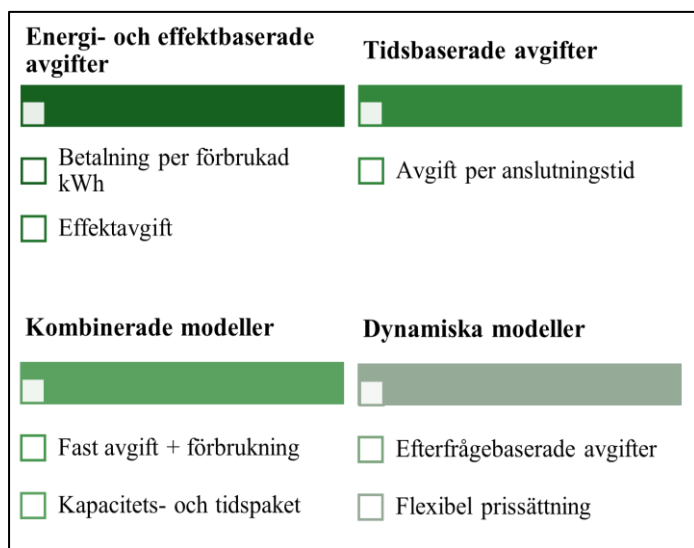
Tabell 38. Ström per fas i kabel för laddström vid 10 battericontainrar för olika laddningstid, antal landströmskablar och spänning.

		10 battericontainers			
		Fasström landkabel, A			
Anslutningsström	Antal kablar	@6.6kV, 1 kabel	@6.6kV, 2 kablar	@11kV, 1 kabel	@11kV, 2 kablar
		Laddningstid, h	10	356	178
	11	324	162	194	97
	12	297	148	178	89
	13	274	137	164	82
	14	255	127	153	76
	15	238	119	143	71
	16	223	111	134	67



Avgiftsmodeller för OPS (Onshore Power Supply)

När fartyg använder landström, OPS, vid hamnuppehåll är det viktigt att hamnen har avgiftsmodeller som är tydliga och att det framgår vad fartyget betalar för. Det rekommenderas att det står beskrivet i hamntaxan. För att nå klimatneutralitet har exempelvis Göteborg- och Gävle hamn infört en avgiftsmodell med en fast avgift för anslutning och ett rörligt pris för elkonsumtion. Detta ses som en del av deras långsiktiga arbete mot hållbarhetsmål, snarare än en infrastrukturinvestering att återbetala via avgifter. Figur 62 belyser relevanta exempel på hur olika avgiftsmodeller skulle kunna se ut, vilka vidare beskrivs mer i detalj.



Figur 62. Exempel på hur olika avgiftsmodeller skulle kunna se ut.

Avgifter baserade på energi och effekt kan antingen innefatta att fartyg betalar baserat på den mängd el de använder under sitt hamnuppehåll, alltså per förbrukad kWh, vilket direkt speglar deras energibehov. Det kan också innebära en fast avgift baserad på det maximala effektbehovet, exempelvis antal ampere eller megawatt, vilket täcker infrastrukturen som krävs för att tillhandahålla kapaciteten.

Vidare kan avgiftsmodeller baseras på tid, avgift per anslutningstid. Det innebär att fartyg kan betala en fast kostnad per timme eller dygn för att anslutna till OPS-systemet. Detta motiverar fartyg att optimera sina hamnuppehåll och minska onödig anslutningstid.

Avgiftsmodeller kan också kombineras och inkludera både en fast anslutningsavgift och rörliga kostnader baserade på förbrukad el. Detta ger förutsägbarhet för hamnar, och incitament för fartyg att effektivisera sin energianvändning. En annan kombination skulle vara att erbjuda ett kapacitets- och tidspaket baserat på fartygstyp, storlek och hamnuppehåll. Till exempel högre avgifter för stora containerfartyg och lägre för mindre fartyg med korta uppehåll.

Slutligen föreslås exempel på dynamiska modeller, vilka inkluderar en modell för efterfrågebaserade avgifter, där priser justeras beroende på belastning i hamnen eller tillgänglighet på elnätet, samt en för flexibel prissättning, där hamnar kan ge rabatter för fartyg som anlöper under tider med låg efterfrågan på el, vilket bidrar till jämnare energiförbrukning.

Nyckelfrågor inför investering av infrastruktur

Sammanfattningsvis ger detta arbete bland annat svar på inledande frågor kring infrastrukturen kopplad till laddning av fartyg i hamn. Utöver dessa har ytterligare utvärderingsfrågor sammanställts, vilka rekommenderas för hamnverksamheter att reflektera över och besvara inför framtida investeringar för en elektrifierad sjöfart. Dessa nyckelfrågor är uppställda i Tabell 39 nedan.

Tabell 39. Nyckelfrågor inför investering av infrastruktur.

Vilka fartygstyper bör prioriteras vid utveckling av laddinfrastruktur?	Hur kan hamnar bäst identifiera vilka fartyg som sannolikt kommer att anlöpa och vilka behov de har? Är det realistiskt att hantera flera olika typer av fartyg, och vilka konsekvenser får det för investeringar och lösningar?
Hur kan hamnar undvika överinvesteringar samtidigt som de möter framtida behov?	Vilka steg bör ingå i en förstudie för att säkerställa att infrastrukturen är anpassad för aktuella och framtida trafikbehov? Är mobila lösningar en hållbar strategi?
Hur kan hamnar bäst samordna laddinfrastruktur med andra pågående projekt?	Om grävarbeten redan planeras, vilka åtgärder kan säkerställa att laddinfrastruktur inkluderas eller förbereds för i ett tidigt skede? Hur kan goda underlag tas fram för kabeldragning och liknande?
Vilken roll bör klimatmål spela i besluten om laddinfrastruktur?	Kan hamnar se investeringar som en del av sitt hållbarhetsarbete, även om de inte förväntas ge ekonomisk avkastning? Hur kan detta balanseras med kravet på ekonomisk hållbarhet?
Hur kan hamnar finansiera investeringar i laddinfrastruktur?	Är det rimligt att förvänta sig att fartyg ska täcka hela kostnaden, eller krävs nya modeller för samfinansiering? Vilken betydelse har bidrag som CEF för att möjliggöra dessa investeringar?
Hur påverkar lokal konkurrens och energikostnader valen av infrastruktur?	På vilket sätt påverkar tillgången till kajplatser och energileverantörer beslut om investeringar? Hur kan hamnar i regioner med höga elkostnader konkurrera?
Hur kan hamnar förbereda sig på oförutsedda operativa utmaningar?	Vilka strategier kan användas för att hantera förseningar orsakade av exempelvis is, väder eller bristande tillgänglighet? Vilka konsekvenser får detta för logistik och ekonomi? Förseningar till följd av is, väderförhållanden eller prioriteringar av andra fartyg kan skapa kedjefeffekter för varuflöden och fartygens schema.
Hur kan hamnar säkerställa flexibilitet i sina lösningar?	Är det möjligt att skapa laddinfrastruktur som är kompatibel med olika typer av fartyg och laddningslösningar? Hur kan en långsiktig strategi utformas för att hantera tekniska förändringar?



Nyttiggörande och nästa steg

Projektet vill bidra till att elektrifierad sjöfart kan ersätta traditionellt bränsle samt vägtransporter, på kort sikt för specifik sträcka till Södertälje och på lång sikt teknikutveckling som möjliggör uppskalning av elektrifierad sjötrafik på fler rutter. Nyhetsvärdet berör framför allt elektrifiering av sjöfart på en längre sträcka, beaktanden för operation i is samt kombinationen av fartygsdesign och affärsupplägg.

Projektet utvecklar unik kunskap, särskilt med avseende på att sträckan är väsentligt längre än befintliga rutter som elektrifierats (internationellt såväl som nationellt). Därmed kan kunskap om elektrifiering av sjöfarten appliceras i nya sammanhang, och är relevant för utveckling mot elektrifiering även på längre sträckor. Ett fartyg som kan klara längre sträckor är en relevant utveckling för att kunna hantera godsleveranser längs med svenska kusten.

Projektet har också identifierat viktiga frågeställningar kopplat till framdrift i is för ett elektrifierat fartyg av denna storlek. Här har projektet redan bidragit i skapandet av ett parallellt projekt ”*E-ship in Ice*”, finansierat av Trafikverket via Lighthouse. ELINORR har där kunnat bidra med information för att det projektet ska kunna genomföra simuleringar. Informationen som delgivits är huvudsakligen skrovdesign, propulsionsdesign, verkningsgrader för maskinerier samt analys av sannolika förändringar i rутten över året för olika isår. Genom det parallella projektet har ytterligare organisationer fått kunskap om ELINORR-projektet, då det projektet leds av Chalmers, och även Sjöfartsverket deltar.

Viktigt i projektet har också varit att flera perspektiv beaktats för att inte enbart ta fram ett fartygskoncept utan ett transportkoncept. Kunskap om kopplingen till affärsupplägg är mycket viktigt för realisering, och ett bredare systemperspektiv än endast teknikutveckling.

Projektet bidrar även till forskning inom överflyttning till sjöfart eller ökad användning av sjöfart. I många projekt med nya upplägg eller överflyttning fastnar man på att det saknas godsflöden och varuägare som är beredda att förbinda sig. I detta projekt har det däremot funnits varuägare som initiativtagare, med konkret godsflöde och som förespråkare för användning av sjöfart. Projektet bidrar därmed med gott exempel till både forskning och diskussioner om överflyttning av gods till sjöfart.

Projektets ansats har varit att korta tid till realisering genom att undersöka hur ett transportkoncept skulle kunna se ut och belysa viktiga val och alternativ. Ambitionen från Scania kvarstår att när godsvolymerna når den beräknande nivån använda sig av sjöfart in till Södertälje. Projektet har visat att det är möjligt att använda elektrifierad sjöfart för denna typ av sträckor samt att det är konkurrenskraftigt ur ett kostnadsperspektiv, särskilt för stora volymer. Dessutom är det fördelaktigt med lägre emissioner. Scania tror på elektrifierad sjöfart i framtiden. Konkreta projektresultat kan tillämpas av de behovsägare som ingår i projektet, där Scania står redo att diskutera omsättning i verklighet efter projektets avslut, där först interna diskussioner behöver föras och därefter transporten upphandlas. Dessa diskussioner är inte begränsade till sträckan Skellefteå -Södertälje, utan kan mycket väl innefatta andra sträckor, exempelvis till Europa. Söderut finns också fördelen att fartyget inte behöver vara konstruerat för att klara isklass, vilket ger ännu bättre möjligheter för elektrifiering.

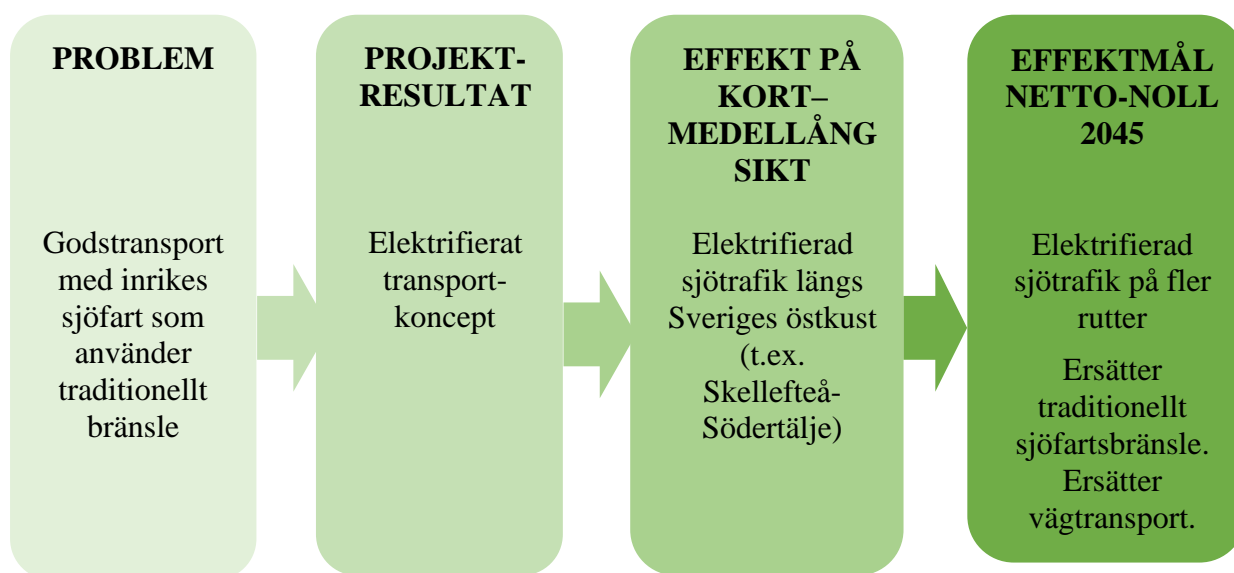


Under projektets gång har arbetssättet med flera workshops och möten med ingående parter möjliggjort att teknikleverantörer, transportleverantörer, varuägare och hamnar kunnat dela erfarenheter och kunskap. I december 2024 hölls ett slutseminarium för kunskapsspridning.

Resultaten är inte heller begränsade till projektparter. Slutrapporten och presentation vid Triple Fs vårkonferens sprider kunskapen till fler personer med intresse för elektrifiering av sjöfarten. Även om detaljer är för specialfallet Skellefteå-Södertälje har projektet eftersträvat att noggrant beskriva val och alternativ så att resultatens tillämpbarhet i andra situationer ska kunna bedömas. På detta sätt kan kommande intressenter av elektrifierad sjöfart tillgodogöra sig och bygga vidare på projektets resultat, även om förutsättningar skiljer sig åt. Ett exempel är ifall ett framtida fartyg inte behöver förhålla sig till gång i is, om det enbart ska trafikera söder om Åland. Andra relevanta sträckor behandlas i rapporten inklusive viktiga faktorer för hamnar som skulle ta emot ett elektrifierat fartyg av denna storlek.

Eftersom projektresultat beskriver ett fartygskoncept med information om fartygets utformning, såsom skrovform, ger detta värdefull information som också kan användas för andra frågeställningar än specifikt elektrifiering. Skrovformen kan exempelvis användas i andra forskningsprojekt, där den redan innan projektets slut använts som en plattform för att utvärdera t.ex. vindframdrift.

Projektet har inte begränsat sig till projektparter, utan genomfört möten med andra relevanta intressenter, såsom försäkringsbolag och teknikleverantörer, till vilka information om projektet också spridits. Under projektet har ytterligare gods och varuägare som skulle kunna vara relevanta undersökts. Även om det inte identifierades sådana godsflöden så kvarstår möjligheten att knyta ytterligare volymer till upplägget.



Figur 63. Effektlogik.



Diskussion

Tillsammans med användning av andra bränslen har elektrifiering av sjöfarten sin plats i minskningen av användningen av fossila bränslen. Som beskrevs i Figur 63 vill projektet ELINORR bidra till användning av elektrifierad sjöfart för godstransporter. Elektrifierad sjöfart med batteridrift som laddas med grön el i stället för fossildriven sjö eller vägtransport kan bidra till lägre växthusgasutsläpp, ökad användning av förnybar energi i transportsektor och minskad användning av fossila bränslen.

Hittills har elektrifiering inom sjöfarten fokuserat på korta sträckor, av förklarliga skäl möjliggörs laddning oftare och färre dyra batterier behövs. I projektet ELINORR har godstransport mellan Norrland och Södertälje undersökts. Det finns få exempel på elektrifierade containerfartyg, och ELINORR bidrar med ett konkret exempel vid sidan av Yara Birkeland och det fartygskoncept för Göta Älv som utvecklades av Sjöling m.fl. (2020). Dessutom är körsträckan lång och en ytterligare komplikation är is vintertid. Att konceptet trots detta visat sig ha potential att vara kostnadsmässigt konkurrenskraftigt är lovande för kommande elektrifiering av sjöfarten.

Gång i is

En av de stora utmaningarna för ett elektrifierat fartyg som trafikerar Sveriges norra östkust är is, eftersom det kräver mer energi, vilket inte behövs när det inte är is. Samtidigt står batterier för en hög kostnad, och fartyget skulle behöva bära med sig batterikapacitet och vikt som bara behövs en kortare period (Rogerson m.fl. 2023). Enligt Laasma m.fl. (2022) ses därför hybridlösningar som passande vid kalla förutsättningar.

Medan ELINORR liknar finska färjan Elektra beträffande att en hybridlösning används för att klara isgång, och har en liknande storlek i längd och bredd är det ett helt annat användningsområde. Elektra är en färja som transporterar både passagerare och bilar (Rasul och Kim 2024) medan ELINORR är utformad för godstransport av containrar. Färjan opererar på en rutt 1,6 km fram och tillbaka många gånger under en dag. Den toppar upp laddning i hamn men laddar fullt först efter avslutad körning (Love 2018). Därmed är sträcka och energibehov väldigt annorlunda, utöver de stora skillnaderna i fartygets utformning.

Det bör påpekas att ELINORRs utformning i vissa avseenden är överdimensionerat om fartyget skulle användas på annan rutt där det inte kommer möta is. Det innebär högre kostnader både investeringsmässigt och under drift än vad som krävs. Därmed behöver fartygsdesign anpassas om ett elektrifierat fartyg ska trafikera rutter utan is, och även kostnadsberäkningar påverkas.

Ytterligare studier skulle behövas beträffande gång i is i Östersjön. Det gäller dels att mer träffsäkert kunna förutspå motstånd från isgång för att förstå vilken kraft som behövs för framdrift samt energibehov. För att stötta sådan utveckling har ELINORR gett input till det angränsande projektet *“Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden” (E-ship in Ice)* där ELINORR bidrar med information om tillämpning och som konkret exempel ruttvariation över året beroende på hur svårt ett isår är. Däremot har resultat från E-ship in Ice inte kunnat tas in i arbetet med projektet ELINORR på grund av tidsramarna, där delresultat från *E-ship in Ice* planeras först efter ELINORR avslutats som projekt. Bättre information om energibehov vid



gång i is kan ge ytterligare detaljer kring energibehov för fartygskonceptet ELINORR. Särskilt intressant vore fortsatta analyser kring vad det skulle innebära för kostnader för extra svåra isår, vilket är viktigt beslutsunderlag för att kunna välja hur många batteri-containerar som ställs ombord.

Längre sträcka

Liksom förstudien (Rogerson m.fl. 2023) visar ELINORR att det är möjligt att använda elektrisk framdrift på en längre sträcka än vad vi tidigare sett. Energiförbehovet överstiger den batterikapacitet i den sammanställning av tidigare fartyg som gjorts av Rasul och Kim (2024). Därmed bidrar ELINORR till att visa att det är möjligt med elektrifierad sjöfart inte bara för kortare sträckor. Den långa räckvidden illustreras tydligt i Figur 32 och Figur 33 som visar att ett fartyg likt ELINORR skulle kunna trafikera såväl Gdansk-Gävle som Gdansk-Göteborg. Därmed kan resultaten vara av intresse för annan trafik i Östersjön.

Dock är en förutsättning för möjligheten att kunna driva fartyget till full på laddström på en så lång rutt som Södertälje-Skellefteå den låga hastigheten (7-7.5 knop) vilket i det specifika fallet möjliggörs av behov av en veckovis avgång. En högre hastighet är tekniskt möjlig men skulle innebära fler batteri-containerar och därmed högre kostnader. Ett alternativ är en lägre grad elektrifiering.

Givet att hastigheten är så avgörande är det viktigt att ta in även affärsmässiga perspektiv där en lägre hastighet innebär att fartyget är uppbundet vilket kan jämföras med att ett fartyg som går fortare hinner med annan trafik som skulle kunna innebära en annan intjäningsmöjlighet. Det är därmed inte säkert att fartygsoperatörer är villiga att acceptera låg hastighet för att nå långa sträckor i jämförelsebara situationer. Fortsatta studier skulle därför vara intressant kopplat till avvägningen mellan hastighet, batterikostnad och kapacitetsutnyttjande av fartyget (antal ton transporterade per år).

Fartygsutveckling

Beträffande fartygsutvecklingen finns i denna rapport en översiktlig beskrivning med fokus på den elektriska framdriften. Detta innebär att ytterligare arbete behövs innan en komplett grundläggande design kan överlämnas till varv för att bygga ett sådant fartyg. Det finns en mängd tekniska beslut och avgränsningar där antal batterier och isklass är bland de viktigaste, följt av val av generatortyp och placering av batteri-containerar. Även behov av värme, kyla och hotell-el bör undersökas i mer detalj än vad som funnits utrymme för i detta projekt.

Om man vill ta konceptet vidare mot ett verkligt fartyg behöver en så kallad anbudsspecifikation (*tender specification*) tas fram, i vilken man detaljerar fartygsdesignen ytterligare ett varv i designspiralen, och som kan användas som grund för anbudsinfordran från ett varv. En sådan brukar vara ca. 50-70 sidor text på engelska. Övriga dokument som bör tas fram eller uppdateras är: GA, linjer, lättviktskalkyl, preliminär trim- och stabbok, fribordsberäkning, fart-/effektkalkyl, elbalans, single-line diagram och EEDI. Andra förberedelser för anskaffning bör göras av den blivande fartygsägaren, eventuellt med stöd av en välrenommerad fartygsdesigner och eventuellt en mäklare.

Stabilitetsberäkningar omfattar i detta arbete endast intakt stabilitet, det vill säga fartygsstabiliteten för planerade lastfall i normala förhållanden. Stabilitetsberäkningar i skadat skick har inte utförts och kräver en ytterligare utveckling och design av fartygets



tankar och vattentäta skott. Storlek och placering av ballast-, färskvatten, gråvattentankar kommer i ett senare skede i designfasen.

Stabilitetsberäkningarna har utförts bara med FEU containrar som är lastade med tunga battericeller, vilket betyder att varje container är nära maxkapacitet vad det gäller vikt. Ifall containrarna skulle vara lastade med lättare produkter kunde möjligen flera containrar lastas ombord ovanför lastluckan. Dessa lastfall kräver dock utredning med ytterligare stabilitetsberäkningar.

Projektet har inte heller valt vilket bränsle som ska användas som komplement till batteriframdrift utan redogör för två möjligheter: metanol respektive HVO.

Batterier för framdrift

Beträffande antal batterier har beslutsunderlag tagits fram beträffande årskostnad, energiförbrukning, emissioner per år och hastighet som kan hjälpa till för beslut om önskad utsträckning av batteriframdrift. Fartygsdesign och stabilitet samt vikt är baserat på plats för 15 battericontainrar. Baserat på underlagen för val av antal containrar är det troligt att färre kommer att finnas ombord, vilket antal som väljs baseras på aktiva val mellan kapitalkostnad och besparing i CO_{2e}-emission. Färre battericontainrar ger mer utrymme för last. Utrymmet är dock dimensionerat till kortare 20-fots (TEU) containrar.

Det finns också osäkerheter kopplat till livslängd på batteri som kan studeras vidare. T.ex. saknas kunskap om hur batteriernas användning påverkar livslängden, såsom fel vid urkoppling eller laddning. Det finns också osäkerheter kopplat till försäkring av batteriframdrivna fartyg, eftersom de fortfarande är så pass ovanliga. En annan fråga kopplar till kompetens som behövs för att framföra ett fartyg som ELINORR (elektrifierat). Då kunskapen inte ingår i befintlig utbildning behöver troligen rederiet stå för utbildningen.

I projektet ELINORR har batterier placerats i containrar vilket skapar flexibilitet. Dock skulle batterier istället kunna var integrerade i fartyget, som i ASKO Therese. Fortsatta studier skulle kunna jämföra battericontainrar och integrerade batterier, exempelvis beträffande kostnader.

Kommersiellt perspektiv

Projektet har belyst ett antal viktiga frågeställningar, samt gett förslag på möjligt upplägg. Om man vill ta konceptet vidare mot ett verkligt fartyg behöver ägarfrågan och finansiering klargöras. Finansieringen har varit utanför ramarna för detta projekt men kräver att någon eller några är villiga att gå in som blivande fartygsägare. För att en fartygsägare ska vara villig, krävs att varuägare är beredda att teckna långa avtal. Det är troligen också fördelaktigt om batterileverantören på något sätt är delaktig i finansieringen, exempelvis genom leasing.

En stor effekt har lastmängd eller volym som fartyget ska transportera. Som beskrivet i rapporten undersöktes alternativa godsflöden men det är troligt att detta kan undersökas närmare.

Ett baskrav har handlat om veckovis leverans av varor. Även om eventuella störningar omnämnts skulle det kunna undersökas i mer detalj. Framtida studier skulle kunna undersöka störningskänslighet för sjöfart jämfört med väg (lastbil- eller intermodal transport), exempelvis jämföra statistiskt historiskt utfall avseende förseningar mellan de



olika transportslagen. Det kan också vara intressant att särskilja vintertid (dec-mars) och resten av året.

Beträffande kostnadsanalysen så finns förstås möjligheter att göra denna mer detaljerad när mer detaljerade val gjorts, såsom kostnader för underhåll när antalet containrar och maskinsystem valts i mer detalj. Specifikt har antaganden gjorts beträffande kostnader för klassällskap som skulle nyttigt att följa upp, vilket skulle ge bättre antaganden i kommande liknande analyser.

Riskanalys

Det har inte studerats hur stora förseningar som typiskt uppstår längs denna eller liknande rutter, vare sig för landtransportalternativen eller för fartygstransport. Ej heller har specifika studier av orsakerna till förseningar studerats. Detta är en potentiellt viktig aspekt för en eventuell fortsättning av projektet.

Vad som är optimal lösning eller kombination av lösningar för att minska risken för förseningar behöver ta in kostnader för lagerhållning och ev. back-up plan att hantera godsflödet. Detta skulle kunna studeras i detalj i ett eventuellt uppföljande projekt där denna del skulle behöva studeras av transportköparen, och eventuellt även redare i ett betydligt närmare samarbete.

Beräkning av miljöpåverkan

Sammanfattningsvis slår det framtagna transportkonceptet med fartyg landtransporterna på grund av hög hydrodynamisk verkningsgrad hos fartyg och propulsion, hög energi-verkningsgrad hos maskinerier, låg hastighet, låg emissionsfaktor på laddström i Sverige samt hög fyllnadsgrad hos fartyget. Att fartygstransporten har möjlighet att ge lägre emissioner längs ruten jämfört med landtransporten beror primärt på följande faktorer:

- Det mycket låga behovet av energi, vilket beror på en kombination av ruttens längd, behovet att endast ha en avgång per vecka samt fartygets höga fyllnadsgrad av last. Detta ger möjlighet till den mycket låga medelhastigheten på strax över sju knop. Om en för ett mindre fartyg ”normal” marschfart på mellan 12 till 14 knop skulle nyttjas skulle fartyget slås av åtminstone de intermodala transportalternativen på land – både avseende energiförbrukning och emission av växthusgas.
- För de ännu lägre emissionsnivåer som uppstår med större antal battericontainrar ombord beror dessa på en kombination av hög verkningsgrad för den batterielektriska drivlinan samt de låga emissionsfaktorerna för Nordisk och Svensk elmix. Detta innebär att om fartyget skulle trafikera andra hamnar söder om Östersjön (t.ex. i Polen, Lettland, Tyskland) skulle emissionsnivåerna bli högre. Exakt hur stora de skulle bli beror då på en kombination av antal battericontainrar ombord, hur dessa laddas (hur mycket elenergi som laddas i respektive hamn fartyget anlöper) samt vilka emissionsfaktorer som den köpta laddströmmen har. Det är värt att notera att det finns stor möjlighet att stor användning av laddström ger ökad emission jämfört med att använda alternativt bränsle (HVO eller metanol) med låga emissionsfaktorer. Det är också värt att notera att länderna söder om Östersjön har betydligt större variation över tid för hur emissionsfaktorerna ser ut jämfört med Norge, Sverige, Åland och Finland. Det innebär att den som önskar driva ett fartyg användande stor del laddström som bränsle på trafik i hamnar söder om Östersjön på



ett sätt som reducerar växthusgasemissioner även måste beakta dygns- vecko- och månadsvariation för emissionsfaktorerna för elektricitet i de länder som trafikeras. För studier och förståelse för hur emissionsfaktorerna historiskt varierar över timme, dag, månad och år kan t.ex. kartorna på www.electricitymaps.org användas.

- Den mycket höga fyllnadsgrad av fartyget som uppstår eftersom det modellerade flödet är stabilt över tid samt att fartygskonceptet som tagits fram är anpassat för det prognosticerade flödet. Om ett ”mer normalt” fartyg av större storlek modellerats hade energiförbrukning och emissioner varit betydligt större än nu beräknat.

En förenkling är att beräkningarna gjorts med antagande av att samma vind- och sjötillstånd råder under hela ruten på varje enkelresa. Årsvariation av väder har spridits ut på samtliga 96 enkelresor med samma frekvens som de förekommer över året. Detta medför att resor i låga vind- och sjötillstånd får en underskattad energiförbrukning medan resor i högs vind- och vågtillstånd får en överskattad energiförbrukning. Detta innebär att både energiförbrukningen och antalet behövda containrar är konservativt beräknad (överskattad). Det innebär också att den beräknade andelen av energi laddström sannolikt är konservativt beräknad (underskattad i detta fall). I själva verket är det endast mycket sällan samma vind- och vågtillstånd under en hel ToR. För att få bättre statistik av beroendet skulle en tidssimulering av energibehovet per enkelresa behöva göras. Detta skulle kunna genomföras i RISE simuleringsprogramvara Seaman och användande plats- och tidsupplöst data över vind- och vågtillstånd från t.ex. EUMETSAT eller Copernicus som källa för väderpåverkan. Det har inte varit möjligt att göra inom ramarna för detta projekt, men skulle vara en värdefull utökning i ett eventuellt kompletterande projekt.

Som nämnts tidigare behövs mer bakgrund för energitillskott som krävs på grund av gång i is. Behov av statistik för olika typer av isår över hur energitillskottet varierar över tidsrymder av flera decennier, har bollats vidare till det parallella projektet ”*Ice-going performance prediction and voyage planning of electric ships operated between Norrland and southern Sweden*”.

Infrastruktur och hamnperspektiv

Dessutom är laddningsmöjlighet i hamnar som ett elektrifierat fartyg anlöper avgörande. Även om undersökningen inom ELINORR visat att möjligheter finns i de specifika hamnarna så kan andra hamnar stå inför utmaningar kopplat till exempelvis tillgänglig laddkapacitet och kostnader kopplat till att bygga upp efterfrågad laddinfrastruktur. Hamnar har också olika förutsättningar i närhet till energileverantör, där de i ELINORR-projektet ingående hamnarna bör ha goda förutsättningar för dialog om kommande laddinfrastruktur då de är kommunägda och hamn och energibolag ingår i samma koncern. Flera tidigare projekt (se t.ex. Costa m.fl. 2022a, Bisschop m.fl. 2021 och Rogerson m.fl. 2022) har pekat på att energilager som laddar under en längre period kan behövas och detta kan studeras ytterligare kopplat till effektbehov.

För hamnarna handlar det också om att de behöver serva flera olika fartyg, vilket exempelvis kan innebära prioriteringar. I just Södertälje och Skellefteå fanns vid tidpunkten för undersökningen ingen hög konkurrens om kajplats. Men det är möjligt att i en annan hamn finns mindre flexibilitet beträffande tidtabell och tid för laddning. I en hamn med hög beläggning kan det också få konsekvenser i form av förseningar. Det är skillnader i typ av trafik, t.ex. om det elektrifierade fartyget går på återkommande tidtabell eller ej.



Referenslista

Anwar, S., Zia, M.Y.I., Rashid, M., Rubens, G.Z.D. och Enevoldsen, P. (2020) Towards Ferry Electrification in the Maritime Sector. *Energies*, 13(24), p.6506.

Bisschop, R., Andersson, P., Forsberg, C. och Hynynen, J. (2021). Lion Fire II - Extinguishment and Mitigation of Fires in Lithium-ion Batteries at Sea. RISE Report 2021:111. RISE Research Institutes of Sweden, Borås. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1620646/FULLTEXT02.pdf>

Costa, N., Williamsson, J., Ekholm, J., Santén, V., Rogerson, S. och Borgh, M. (2022a) Connecting vessels to shoreside electricity in Sweden. Report no. RR41199360-01-00-A, SSPA. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1902176/FULLTEXT01.pdf>

Costa, N., Ekholm, J., Rogerson, S., Janhäll, S., Besker, T., Linders, T (2022b) Standards for shoreside charging for battery-powered vessels: Technical Report. Report no. RR41221552-01-00-A. SSPA

Dervishllari, E. och Svemark, H. (2020) Life Cycle Cost Analysis of an Electrified Inland Waterway Vessel Concept. Master thesis, Chalmers University of Technology.

EU (2023) FuelEU, Regulation (EU) 2023/1805. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805>

Hägg, M., Pettersson, S., Rylander, R., Östling, J., Borg, M., Broman, M. Daun, V., Ellis, J., Lundbäck, O., Santén, V. och Wikander, M. (2018) Elektrifiering av sjöfarten en nulägesbeskrivning av teknik och marknadsläge inom maritim elektrifiering och analys av behov och möjligheter för elektrifiering inom sjöfarten. Lighthouse. https://lighthouse.nu/images/pdf/elektrifiering_webb.pdf

IMO, 2020: Fourth IMO GHG Study 2020, Jasper Faber et al. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

Knight, S. (2017) 'Elektra': Commercial battery ferries become a reality. *Maritime Journal*. Online. Available at: <http://www.maritimejournal.com/news101/vessel-buildand-maintenance/ship-and-boatbuilding/elektra-commercial-battery-ferriesbecome-a-reality>

Kyunghwa K., Kido P., Jongwoo A., Gilltae, R. och Kangwoo C. (2016) A study on applicability of Battery Energy Storage System (BESS) for electric propulsion ships, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), June 2016. 203-207

Laasma, A., Otsason, R., Tapaninen, U., & Hilmola, O. -P. (2022). Evaluation of Alternative Fuels for Coastal Ferries. *Sustainability*, 14(24), 16841. <https://doi.org/10.3390/su142416841>

Lichtenberg, Steen, (2000) Proactive management of uncertainty using the successive principle - a practical way to manage opportunities and risks, Polyteknisk Press, ISBN 8750208225

Lindgren, S. och Vierth, I. (2017) Vad styr valet av trafikslag för godstransporter? En kunskapsöversikt". VTI notat 3-2017, VTI, Linköping, Sverige.



Love, A. (2018) The Elektra: Finland's first hybrid-electric ferry. Ship Technology. <https://www.ship-technology.com/features/elektra-finlands-first-hybrid-electric-ferry/?cf-view>

Naturvårdsverket, 2024: Klimatklivet – Beräkna utsläppsminskning, 2024-05-24 <https://www.naturvardsverket.se/49c414/globalassets/amnen/klimat/klimatklivet/vagledning-berakna-utslappsminskning-240524.pdf>

Rasul, M. J., och Kim, J. (2024) Comprehensive review and comparison on battery technologies as electric-powered source in marine applications. Journal of Energy Storage, Vol. 88, 111509. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111509>.

Regeringskansliet. 2018. Effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter – en nationell godstransportstrategi,

Rogerson, S., Olsson, T., Sjöling, S., Bach, A. (2023) Hållbara försörjningskedjor med eldriven sjöfart mellan Norrland och Södertälje. Lighthouse reports, Lighthouse. https://lighthouse.nu/images/Rapporter/FS27_2022_Ha%CC%8Allbara_fo%CC%88rso%CC%88rjningskedjor_med_eldriven_sjo%CC%88fart_mellan_Norrland_och_So%CC%88der ta%CC%88lje.pdf

Rogerson, S., Costa, N., Williamsson, J., Ekholm, J., Besker, T., Janhäll, S., Linder, T. and Anderberg, P. (2022) Seacharging. Investing the need for standardised charging infrastructure for maritime electrified vessels. RISE report 2022:149

Siljama, P. (2023) Potential for using battery-electric energy systems onboard ships sailing in Sweden. Master Thesis. Aalto University. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/72ddcda4-297b-4e8a-bbed-7de8173e1e06/content>

Sjöfartsverket (2021) Överflyttningsanalys – land till sjö. En analys av godsflödet i Sverige och dess möjligheter för överflytt från väg till sjö. Dnr 20-00942. Wahlström, J. och Jäderland, M.

Sjöfartsverket (2022) Prislista farleds- och lotsavgifter fr.o.m. 2023-01-01

Sjöfartsverket (2023) Prislista farleds- och lotsavgifter fr.o.m. 2024-01-01

Sjöfartsverket (2024) Prislista farleds- och lotsavgifter fr.o.m. 2025-01-01

Sjöling, S., Borgh, M. och Santén, V. (2020). Battery Electric Inland Waterway Vessel. Report, SSPA.

Byström L., Allenström. B (SSPA, 1998). Vågsamband och förväntad frekvens. Rapport 984491-2,

Stelling, R, Woxenius, J., Lammgård, C., Petersson, B., Christodoulou, A. (2019) Förlängda sjöben: när- och kustsjöfartens potential, Triple F-rapport 2019.1.21. <https://triplef.lindholmen.se/sites/default/files/2023-11/slutrapport-2018.1.4l-forlangda-sjoben-och-kustsjofartens-potential.pdf>.

Styhre, L., Rogerson, S., Santén, V. and Green, L. (2022) Aktörssamverkan för ökad och hållbar närsjöfart, IVL report no C 698



Transportstyrelsen (2022) TSFS 2022:94 Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om lotsning. https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202022_94.pdf

Transportstyrelsen (2024) TSFS 2024:58 Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om landströmsförsörjning till fartyg. https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202024_58.pdf



Bilagor

Bilaga 1: Översiktlig beskrivning / Outline description

Inklusive bilaga ELINORR General Arrangement Preliminary revision



Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	1 (19)

BILAGA

Elektrifierad sjötransport Norrland – Södertälje: ELINORR – Fartygsutveckling

Outline Description

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	2 (19)

Revision History

Rev.	Publish Date	Description of changes	Signature
A	2025-01-07	Initial version	PSI
B	2025-01-29	Revised version according to comments	PSI

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	3 (19)

Nomenklatur

Benämning eller förkortning	Betydelse
(container) Bay	Från fartyget sett, tvärgående placering med containrar
bTEU	batteri-TEU (containeriserade batterier i TEU)
CO _{2e}	Koldioxidekvivalent, mätt i GWP100 för CO ₂ , CH ₄ och N ₂ O
DNV	Det Norske Veritas (klassificeringssällskap),
FEU	Forty-foot Equivalent Unit (container, används för last)
Förnybart bränsle	Bränsle med minimal klimatpåverkan mätt i CO _{2e}
GWP100	Global Warming Potential över ett 100-årsperspektiv
HVO	Hydrerad Vegetabilisk Olja
IACS	International Association of Classification Societies
ISO 1496-1:2013	Series 1 freight containers – Specification and testing – Part 1: General cargo containers for general purposes.
MeOH	Metanol (CH ₃ OH)
PW	Pallet Wide (containermått)
(container) Row	Från fartyget sett, längsgående placering av container
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit (container, används för last)

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	4 (19)

Contents

Revision History	2
Nomenklatur	3
1 General	6
Allmänt.....	6
Klassnoteringar och regler.....	7
Operationsprofil.....	7
2 Hull Systems	10
20 General Hull Work	10
23 Cargo Area.....	10
3 Hatches and Cargo Handling Equipment	11
30 Hatches.....	11
31 Cargo securing	11
33 Cranes	11
37 Ventilation System for Cargo Holds.....	11
4 Ship Equipment	12
40 Maneuvering Machinery and Equipment.....	12
41 Navigation Equipment	12
42 Communication Equipment.....	12
44 Workshops and Store Rooms.....	12
45 Lifting and Transport Equipment for Machinery.....	13
48 Special Equipment & bTEUs.....	13
5 Crew and Passenger Equipment	13
50 Lifesaving, Protection, Medical and Security Equipment	13
51 Insulation, Partitions, Ceilings, Doors, Windows	13
54 Furniture, Inventory, Entertainment Equipment.....	14
55 Galley/Pantry Equipment, Provision Plants, Laundry/Ironing Equipment	14
56 Provision Cranes and Derricks	14
57 Ventilation, Air Condition and Heating Systems	14
58 Sanitary and Waste Systems.....	15
6 Main Machinery	16
62 Electric Main Propulsion.....	16
63 Propellers, Transmission	16
64 Hot Water Boiler	16
65 Diesel engines for Main Electric Power Production	17



Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	5 (19)

66 Other Aggregates for Electric Power Production.....	17
7 Machinery Systems	17
70 Fuel Systems.....	17
71 Lube Oil Systems.....	17
72 Cooling Systems.....	17
73 Compressed Air Systems	17
74 Exhaust Systems and Air Intakes	17
75 Hot Water Systems.....	17
79 Automation Systems for Machinery	17
8 Common Systems.....	17
80 Ballast and Bilge Systems	17
81 Fire Fighting Systems	18
86 Electrical Power Supply.....	18
87 Common Electrical Distribution Systems	18
88 Electric Cables	18
89 Electrical Consumers Systems.....	18

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	6 (19)

1 General

Allmänt

Fartyget är designat för internationell trafik enligt SOLAS med det grundläggande dimensionerande kravet att kunna frakta en minsta last om 60 stycken Pallet Wide 40'-containrar (PW FEU). Avgång ska kunna ske veckovis från Skellefteå mot Södertälje, årets alla veckor, alltså även då det förväntas finnas is och restriktioner med tillhörande krav på isklass och dödvikt för att anlöpa Skellefteå hamn.

Framdriften ska vid normalväder och under isfri del av året ske med hjälp av batterier som laddas med ström från land vid hamnuppehåll. Vid avvikande väder eller under den del av säsongen det finnas is kan ett förnybart bränsle användas som stöd. Det har i tidigare utredning inte ansetts ekonomiskt försvarbart att i alla lägen använda batterier.

Batteriinstallationen har enligt tidigare utredning ansetts vara lämpligast att genomföras genom en modulär, skalbar och standardiserad lösning baserad på 20'-containrar (bTEU). Det är möjligt att lyfta av bTEU:er med befintlig hamninfrastruktur vid behov av underhåll och service.

Tabell 1. Dimensioner för fartyget. (* stor variation med väderförhållande, se rapport "Energibehov beroende på val av antal battericontainers")

	Enhet	Data
Längd, O.A	Meter	<89,9
Bredd	Meter	<15,5
Djupgående	Meter	4,2
Propellerstorlek	Meter	3,5 x 2
Fribord	Meter	4,2
Dödvikt	Ton	>4000
Lastkapacitet (TEU/FEU)	Antal	>120/60 Pallet Wide
Containeriserade batteri-TEU (bTEU)	Antal	15 (väderskyddade)
Besättningsstorlek	Antal	8 till 9
Maskinstyrka	kW	c:a 1650
Hastighet (max/marsch)	Knop	11/7
Räckvidd (HVO/MeOH)	nm	c:a 6000/3000 vid 11 knop
Räckvidd (15 bTEU)	nm	c:a 750 vid 7 knop*
Uthållighet	Dagar	>14
Propulsion		CPP (Twin skeg)
Isklass		IA

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	7 (19)

Klassnoteringar och regler

Fartyget föreslås byggas med svensk flagg mot följande DNV klassnoteringar eller motsvarande hos annat internationellt klassningssällskap som är medlem i IACS:

DNV +1A General dry cargo ship Container EO Ice(1A) Battery(Power) Shore power

Utöver det föreslås även klassnoteringar: *LFL()*, *Strengthened (IB)*, *TMON()*,

Följande regelverk föreslås som minimum uppfyllas i designen:

- International Convention for Safety of Life at Sea (SOLAS)
- Cyber secure (essential)
- The International Regulations for Tonnage Measurements
- International Regulations for preventing collision at sea (COLREG)
- Maritime Labour Convention 2006
- The International Convention for Prevention of Pollution from Vessels (MARPOL)
- International Code on intact stability (IS CODE)
- Anti-fouling Systems Convention (AFS)
- Ballast Water Management Convention (IBWMC)
- IBC-koden
- IMDG-koden
- IGF-koden
- Andra lagar och regler som Klass och Flaggstat ställer krav på.
- F-AMC (Enhanced Fire Protection for Accommodation, Machinery, and Cargo areas)

Ytterligare kan följande klassnoteringar övervägas.

- NAUT (AW) (Requirements to bridge design, instrumentation, location of equipment and bridge procedures with extended requirements to bridge design and instrumentation as well as automatic grounding avoidance system and information on the maneuvering characteristics of the ship)

Operationsprofil

Den dimensionerande operationsprofilen för fartyget är helt elektrisk drift under isfria förhållanden i lugnt sjötillstånd. Hastigheten är beräknad för att klara en tur- och returresa varje vecka. Hotellasten (energiförbrukning utöver framdrift) har beräknats till 150 kW i transit och är adderad till den totala energiförbrukningen i tabellen.

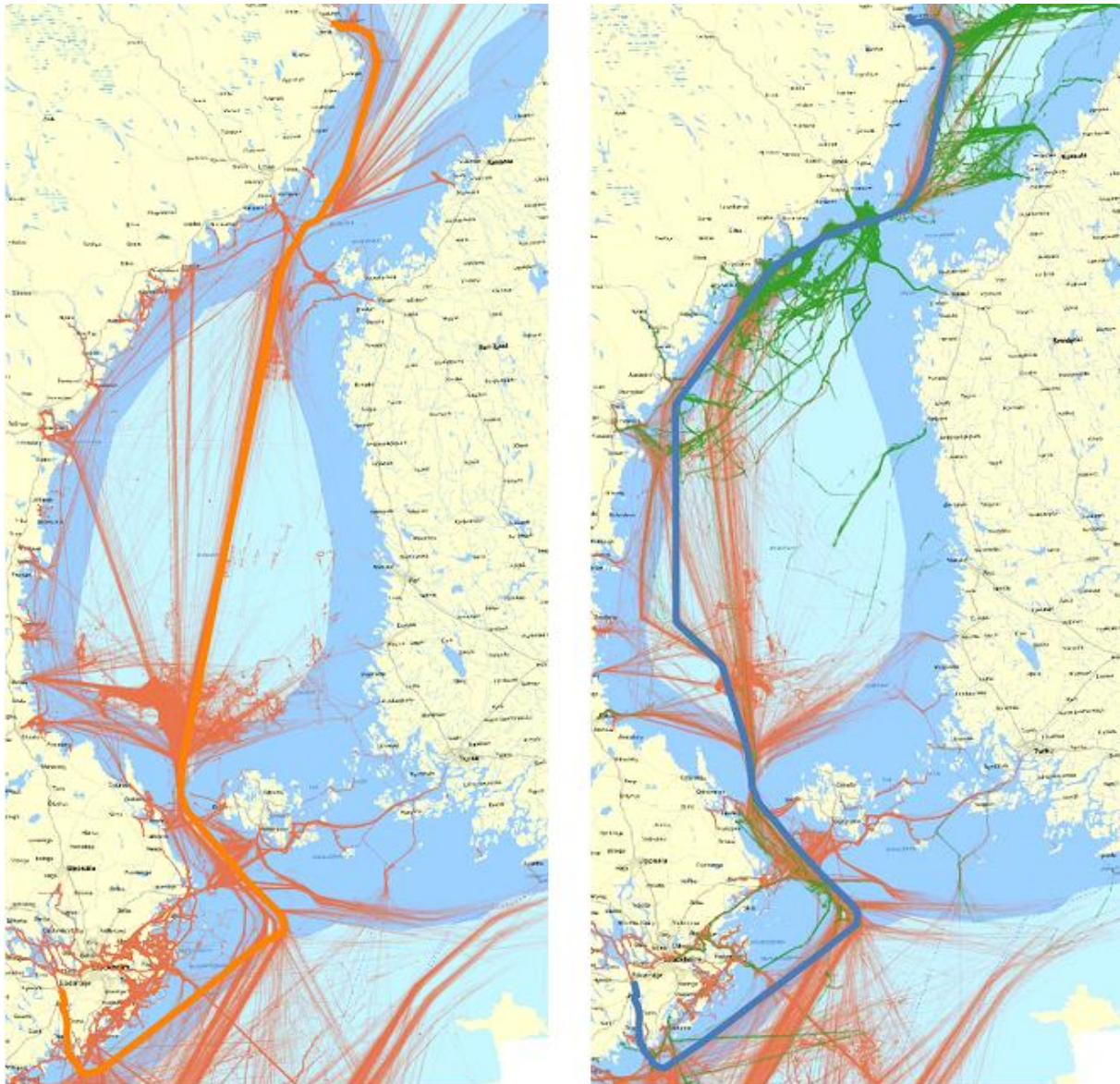
Vintertid förväntas det behövas ett tillskott av energi för att behålla värmen ombord. Under tuffa vinterförhållanden måste generatorsets vara igång, vilket betyder att det finns tillgänglig spillvärme från förbränningsmotorerna som kan användas för att mätta värmebehovet. Lastning och lossning förväntas fartyget vara inkopplat med landström för att samtidigt ladda bTEU:er ombord.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	8 (19)

Dimensionerande operationsprofil batteri, sommartid utan is	Sträcka	Fart	Tid
<i>Enhet</i>	<i>Nautiska mil</i>	<i>Knop</i>	<i>Timmar</i>
Lastning i Skellefteå hamn	-	-	6,0
Utsegling från Skellefteå hamn	15	7,0	2,1
Transit till Södertälje	418	7,0	59,7
Insegling till Södertälje hamn	32	7,0	4,6
Lossa i Södertälje hamn	-	-	6,0
Lasta i Södertälje hamn	-	-	6,0
Utsegling från Södertälje hamn	32	7,0	4,6
Transit till Skellefteå	418	7,0	59,7
Insegling till Skellefteå hamn	15	7,0	2,1
Lossa i Skellefteå hamn	-	-	6,0
Summa	930 nm	-	156,9 h

Dimensionerande operationsprofil bränsle, vintertid svår isutberedning	Sträcka	Fart	Tid
	<i>Nautiska mil</i>	<i>Knop</i>	<i>Timmar</i>
Lastning i Skellefteå hamn	-	-	6,0
Utsegling från Skellefteå hamn (assistans från hamnisbrytare)	20	5,0	4,0
Transit förbi Ålands hav (assistans från stadsisbrytare)	420	11,0	38,2
Transit till Södertälje	75	7,0	10,7
Insegling till Södertälje hamn	35	7,0	5,0
Lossa i Södertälje hamn	-	-	6,0
Lasta i Södertälje hamn	-	-	6,0
Utsegling från Södertälje hamn	35	7,0	5,0
Transit till Ålands hav	75	7,0	10,7
Transit till Skellefteå (assistans från stadsisbrytare)	420	11,0	38,2
Insegling till Skellefteå hamn (assistans från hamnisbrytare)	20	5,0	4,0
Lossa i Skellefteå hamn	-	-	6,0
Summa	1100 nm	-	139,8 h

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	9 (19)



Figur 1 – Jämförelse mellan det minst krävande lastfallet, sommartid (t.v.), och det mest krävande lastfallet, vintertid med svår isutberedning (t.h.). Baserad på AIS-analys av fartyg i området under sommarhalvåret samt för mars 2018. Orangea linjer är handelsfartyg, gröna linjer isbrytare och den blå linjen en medelrutt för ett handelsfartyg under svåra isförhållanden.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	10 (19)

2 Hull Systems

Skrovdesignen skall förberedas för att kunna förlängas vid en parallell midskeppssektion nära LCG för att kunna ta fler containrar, d.v.s. ytterligare en stack TEU eller FEU beroende på behov. Vid en förlängning efter installation av arrangemang i maskinrum behöver sannolikt effekten på maskinerna ökas för att klara effektkraven för finsk-svensk isklass (se TSFS 2011:96 samt klassningssällskapets regler).

Dimensionerande krav:

- Göta kanal, slussar
- Södertälje sluss

20 General Hull Work

Skrov och överbyggnad ska designas och byggas i stål.

Skrovkonstruktion, skrovformning och material bör uppfylla isklass IA

Alla delar av fartygets skrov och överbyggnad ska designas och byggas mot Klassningsbolagets regler.

Skrovet ska designas för att effektivt kunna bära och klara av den dimensionerande lasten.

Arrangemanget av däck, lastlåda, lastluckor och överbyggnad ska byggas så som definierat i Generalarrangemanget.

Alla material som används ska följa Klassningssällskapets regler och levereras tillsammans med certifikat.

23 Cargo Area

Lastlådan ska utformas som ett stort utrymme med skild avdelning för battericontainers bTEU. Container bays avskiljs med containergejdrar, enligt arrangemangritning. Lastutrymmet skall kunna konverteras till att rymma bulklaster. Luckorna till lastlådan skall kunna skydda bulklaster från väder.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	11 (19)

3 Hatches and Cargo Handling Equipment

Lastlåda med luckor, ämnad för containerlast.

Gejdrar för containrar, både i lastlåda och på förkant av överbygge.

Under däck kommer 51 PW FEU och 15 TEU containrar kunna placeras i gejdrar som mest fem i bredd och tre i höjd per stack. På väderdäck, ovanpå lastluckorna, kan upp emot två lager containrar placeras med sex i bredd vilka kan nå helt ut mot skrovsidorna.

Geidrarna skall vara installerade så att de kan enkelt tas bort. Detta skall vara möjligt för att möjliggöra fartyget att rymma bulklast.

30 Hatches

Alla luckor för att tillsluta lastlådan skall

- Vara täta från läckage
- Kunna låsas
- Kunna lyftas av kranen i hamn
- Bära last ovanpå

31 Cargo securing

Lastlådan ska utrustas med gejdrar för att kunna stapla PW 40'-containrar.

Överbyggets förkant ska utrustas med gejdrar och stöd att skydda och underlätta vid lastning av containrar.

Väderdäck ska utrustas med låsanordningar för att kunna lasta containrar på lastluckorna ut mot skrovsidorna.

33 Cranes

Lasten ska lossas och lastas med hjälp av hamnens egna kranar.

37 Ventilation System for Cargo Holds

Ventilation av lastlådan för frakt av battericeller behövs ej. Om fartyget ska tänkas frakta annan last, kan det vara nödvändigt att lastutrymmet är både ventilerat och uppvärmt.

Batteridelen av lastlådan skall ventileras enligt klassregler

Varje battericontainer (bTEU) är försörd med egen ventilation, och är en del av batterisystemsleverantören. Fläktarna drivs av BMS och är kopplade till fartygets elsystem.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	12 (19)

4 Ship Equipment

Container för batterier till framdrivning (bTEU) är byggda efter mått som motsvarar standardiserade 20-fots containrar (TEU) enligt ISO 1496-1:2013. Dessa kan vid behov kan lyftas av och hanteras med hjälp av kranar och annan standardiserad utrustning i hamnen.

40 Maneuvering Machinery and Equipment

Fartyget ska utrustas med:

- 2 st. propellrar av typen ”Controllable Pitch”. Propellrar och axelkonstruktion bör uppfylla isklass 1A.
- 2 st. roder av typen semi-balanced rudder med iskniv (ice knife)
- 2 st. av varandra oberoende elektrohydrauliska styrväxlar.
- En elektrisk förlig bogpropeller av tunneltyp med externt skydd i skrovet av nättyp (*grid*).

41 Navigation Equipment

Bryggan ska designas och utformas enligt SOLAS kap. IV och V med avseende på kommunikation och säker navigation. Den ska även följa Klassningssällskapets regler enligt de klassnoteringar som används.

Bryggan ska utformas för att säkerställa säker drift och optimalt synfält under alla förhållanden. Både vid framdrift med avseende på sikt förut och mot fartygssidan samt vid lastning eller lossning.

Arbetsstationer för navigering och manövrering ska anordnas för att möjliggöra effektiv drift med en person under normala driftförhållanden. Utöver detta ska:

- Arbetsstationsytan ska vara tillräcklig för att tillåta minst två operatörer att använda utrustningen samtidigt.
- Arrangemanget av instrument och reglage ska tillåta användning av alla instrument och kontroller som behövs för att navigera och manövrera i alla normala arbetsställningar.
- Utrustning som används för att manövrera fartyget, samt all navigerings- och övervakningsutrustning ska vara integrerad i konsolen eller i paneler i taket i den främre delen av arbetsstationen.

Integrerade navigationssystem med ECDIS, radar och obligatorisk navigationsutrustning ska integreras i arbetsstationens konsol. Dessa ska överensstämma med både Klassningssällskapets och lagstadgade regler.

42 Communication Equipment

System för att kommunicera extern och internt ska installeras. Dessa ska baseras på krav från SOLAS, LSA-koden och klassnoteringar.

Extern kommunikation ska baseras på GMDSS-kodens krav för A1.

44 Workshops and Store Rooms

Fartyget ska utrustas med två separata verkstäder för:

- Mekanisk utrustning och en maskinverkstad.
- Elektrisk utrustning.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	13 (19)

Känslig utrustning ska förvaras i separata skåp och utrymmen, för att undvika kontaminering av t.ex. damm, färg och olja/oljedimma.

Avfall ska förvaras i ett separat rum på huvuddäck med utrymme för att dela upp i olika fraktioner.

45 Lifting and Transport Equipment for Machinery

Maskinrum och andra tekniska rum ska utrustas med rälsar och lyftpunkten för att enkelt kunna lyfta utrustning vid underhåll.

Luckor ska finnas för att kunna lyfta in och ur utrustning från maskinrum och andra tekniska utrymmen, anpassade i storlek efter utrustningen i utrymmena.

Utrustning ska kunna flyttas smidigt till respektive verkstäder med hjälp av rälsar eller lyftpunkter.

Minst en extern kran ska finnas för att kunna ta ombord utrustning så som reservdelar och provision. Avlastningsplatsen ombord ska göra det möjligt att smidigt flytta godset till avsedd plats.

48 Special Equipment & bTEUs

Fartyget är utrustat med ett modulärt system för batterier ombord för framdrift anpassade till 20'fots containrar (bTEU).

bTEU:er ska placeras i en speciellt avsedd del av lastlådans aktra del.

5 Crew and Passenger Equipment

En studie baserad på liknande fartyg har gjorts för att ta fram den totala volymen för överbygget (*superstructure*). I denna förväntas alla funktioner som behövs för besättningen kunna inrymmas. Ett detaljerat generalarrangemang för besättningens utrymmen har därför inte tagits fram. Den dimensionerande faktorn har varit en besättning av 8 personer med hytter för 9, exkl. sjukhytt.

50 Lifesaving, Protection, Medical and Security Equipment

All säkerhets- och räddningsutrustning ska uppfylla krav från både SOLAS och Flaggstaten.

Evakueringsstationer ska finnas på både styrbord och babord sida av fartyget, anpassad efter besättningens storlek.

En snabbgående räddningsbåt ska finnas ombord och effektivt kunna sjösattas/återställas av en person (exklusive besättning i den snabbgående räddningsbåten).

Ytterligare rekommenderas en frifalls livbåt för besättning i aktern av fartyget.

Sjukhytt ska finnas ombord och ska anpassas efter området som fartyget trafikerar.

Brandsläckningsutrustning och dess placering ska anpassas efter last och arrangemang av överbyggnaden.

51 Insulation, Partitions, Ceilings, Doors, Windows

Alla externa ytor ska isoleras för komfort mot kyla och värme.

Interna ytor ska isoleras med avseende på värmebalans, ljud och vibrationer.

Brandisolering ska utföras enligt krav i SOLAS, från Flaggstaten och Klassningssällskapet.

Alla hytter och dagrum ska ha minst en hyttventil (*porthole*) av härdat glas mot utsidan.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	14 (19)

Fönster på bryggan ska vara väl anpassade för att tåla väder och vind för området som fartyget är tänkt att trafikera.

54 Furniture, Inventory, Entertainment Equipment

Utrustning i hytter och allmänna utrymmen ska vara anpassade efter både Flaggstatens och Klassningssällskapets regler.

Designen av ytor och utrustning ska vara av hög kvalitet och skandinaviskt snitt samt enkel att underhålla och byta ut.

Dagrummen ska vara anpassade efter besättningens storlek där minst ett rum ska vara tillräckligt stort för att samla hela besättningen samt besökare.

Besättningen ska kunna göra ett ombyte till arbetskläder i ett separat omklädningsrum med kapacitet för minst hela besättningen.

55 Galley/Pantry Equipment, Provision Plants, Laundry/Ironing Equipment

Byssan ska vara utrustad för att tillgodose besättningen med lagade måltider. Den ska vara placerad i anslutning till en matsal som rymmer hela besättningen samtidigt.

Frys-, kyl- och torrproviant ska kunna förvaras ombord anpassad efter fartygets besättning och uthållighetskrav (c:a 20 dagar).

Utrustning för att tvätta och torka både kläder och sängkläder ska finnas i ett eget utrymme. För arbetskläder ska det finnas en egen tvättmaskin och torkanläggning.

56 Provision Cranes and Derricks

Lastning av provision, reservdelar och annan utrustning ska ske med en kran av en person. Lyftkapaciteten ska vara tillräckligt stor för att kunna ta ombord maskindelar och pallar med provision. Lyftet ska kunna ske från kajen till en plats ombord där det enkelt kan transporteras vidare till avsedd plats.

57 Ventilation, Air Condition and Heating Systems

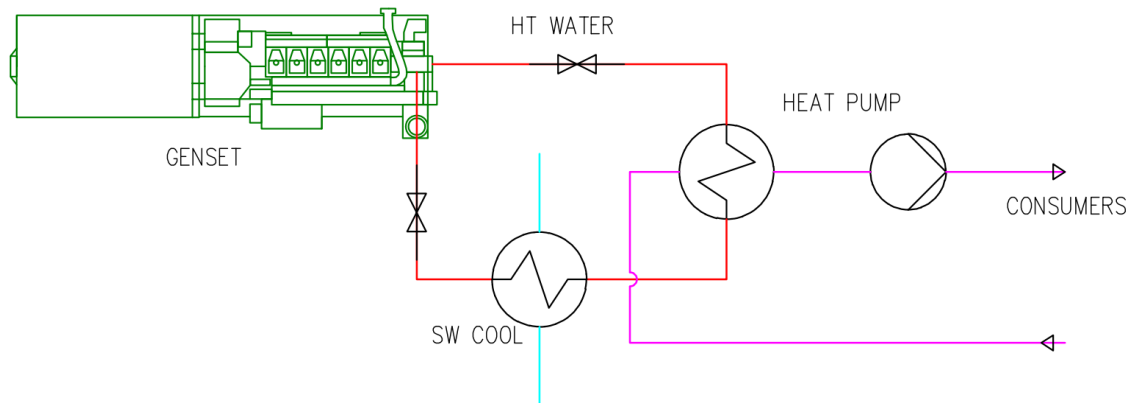
Värme och kylsystem skall med värmepump.

Generatorernas förbränningsmotorkylvattenkrets skall ha en värmeväxlare så att det finns möjlighet för att återvinna spillvärme, Figur 2 nedan visar principdiagram för värmeåtervinning. Liknande värmeåtervinning från permanentmagnetmotorerna kan också vara ett alternativ, med värmepump kan värme-effekten från dessa ökas med en COP på 2 - 4.

Värmepumpen kan också vara kopplad till havsvattensystem, för att kunna producera kyla på sommaren.

Kylaggregat skall finnas för proviant.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	15 (19)



Figur 2. Exempeldiagram på spillvärmeåtervinning.

58 Sanitary and Waste Systems

Fartyget ska utrustas med ett system för att förse utrymmen med dricksvatten, både varmt och kallt, till ändamålsenliga utrymmen. Tillförselsystemet ska vara energieffektivt och bland annat till vara på spillvärme för att minimera el-/energibehovet där det är genomförbart.

Avloppsvatten ska hanteras ombord med godkänd utrustning med en kapacitet som minst motsvarar uthållighetskraven vid full beläggning ombord.

Sopor ska kunna hanteras ombord i separerade kärl för olika fraktioner i ett eget rum som är enkelt för besättningen att nå och tömma.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	16 (19)

6 Main Machinery

Fartyget ska utrustas med ett dubbelt axelarrangemang, ställbara propellrar och elektriska elmotorer för framdrift utan växellåda (direktdrift). En hög verkningsgrad ska prioriteras för det installerade systemen.

Energibehovet ska i normalfallet, gång i is och extremväder undantaget, täckas av batterier som laddas med landström. Generatorer ska endast användas i undantagsfall. Den installerade generatorkapaciteten motsvarar maximal propulsioneffekt och hotellast fördelat på två stycken generatorer. Dessa är drivna av medelvarvmotorer med nominal effekt på 950 kW var (totalt 1900 kW). De ska gå primärt på metanol med diesel/(HVO) som pilotbränsle.

62 Electric Main Propulsion

Elmotorer 850 kW (var) för att möta krav om minsta installerad effekt för isklass IA.

Lågvarviga permanentmagnetsmotorer med ett varvtalsintervall upp till 110 - 120 rpm.

Hög verkningsgrad ska prioriteras.

63 Propellers, Transmission

Propellrar:

- Två (2) ställbara propellrar ska installeras (CPP).
- Propellerdiameter c:a 3,5 meter.
- Propellrar ska vara dimensionerade för Finsk-Svensk isklass IA enligt Klassningsbolagets regler.

Propelleraxlar:

- Två propelleraxlar ska installeras.
- Axlar ska dimensioneras efter krav på isklass IA och Klassningsbolagets regler.
- Installationen av axel och lager ska genomföras enligt Klassningssällskapets anvisningar och beräkningar med avseende på uppställning och vibrationer.
- Ett aktivt system för övervakning av korrosion ska installeras enligt tillverkarens anvisningar.

Axeltätningar och genomföringar (*stern tubes*):

- Tätningar ska installeras på varje axel.
- Tätningarna ska vara kylda och vattensmorda.
- Korrosionsskydd av skrovgenomföringen (*stern tube*) ska vara enligt Klassningssällskapets och färgleverantörens anvisningar.

CPP servosystem:

- Hydrauliskt ställbart system för propellrarna ska installeras.
- Ett redundant system för att OD-utrustningen (*Oil Distributor*) ska installeras.

64 Hot Water Boiler

Fartygets värmebehov skall primärt vara producerat med hjälp av värmepump och spillvärme från maskiner och elmotor. Utöver spillvärme kan batteriel användas för uppvärmning om ingen spillvärme finns till förfogande. Alternativt kan en HVO driven ångpanna installeras, för att täcka maxeffekt då ingen spillvärme finns tillgänglig. Pannan termiska effekt bör vara ca 100 kW_t.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	17 (19)

65 Diesel engines for Main Electric Power Production

Generatoraggregat är antingen två stycken drivna av dual fuel medelvarvsmotorer som producerar 850–950 kW_e var. Bränsle skall primärt vara metanol med diesel (eller HVO) som pilotbränsle.

66 Other Aggregates for Electric Power Production

Nödgenerator som placeras ovanför vattentätt däck (huvuddäck) så högt som möjligt Effekt på nödgenerator 200 - 400 kW_e.

7 Machinery Systems

70 Fuel Systems

Fartygets tankar och system anpassade för två bränslen (Dual fuel). Diesel (eller HVO) som pilotbränsle och Metanol som huvudbränsle.

71 Lube Oil Systems

Detaljer angående smörjningssystem kommer i ett senare skede i fartygsdesignen

72 Cooling Systems

Förbränningsmotorernas kylvattensystem skall vara kopplat till värmeväxlare för värmeåtervinning.

73 Compressed Air Systems

Detaljer angående luftsystem kommer i ett senare skede av fartygsdesignen.

74 Exhaust Systems and Air Intakes

Ventilation av maskinutrymmen skall dimensioneras för att förse huvudmaskinerna tillräcklig syreintag. Ventilation av maskinrummet bör vara ca 23 000 m³/h.

75 Hot Water Systems

Varmvattensystem skall vara kopplat till värmeåtervinning från generatorerna och permanentmagnetmotorerna. Ytterliga detaljer angående varmvattensystem kommer i ett senare skede av fartygsdesignen.

79 Automation Systems for Machinery

Automationsystem och komponenter skall designas så att det uppfyller klassreglernas krav för obemannat maskinutrymme DNV klassnotering E0 (eller motsvarande).

8 Common Systems

Gemensamma system

80 Ballast and Bilge Systems

Detaljer angående ballastsystem, läns pumpar och utrustning kommer i ett senare skede av fartygsdesignen.

Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	18 (19)

81 Fire Fighting Systems

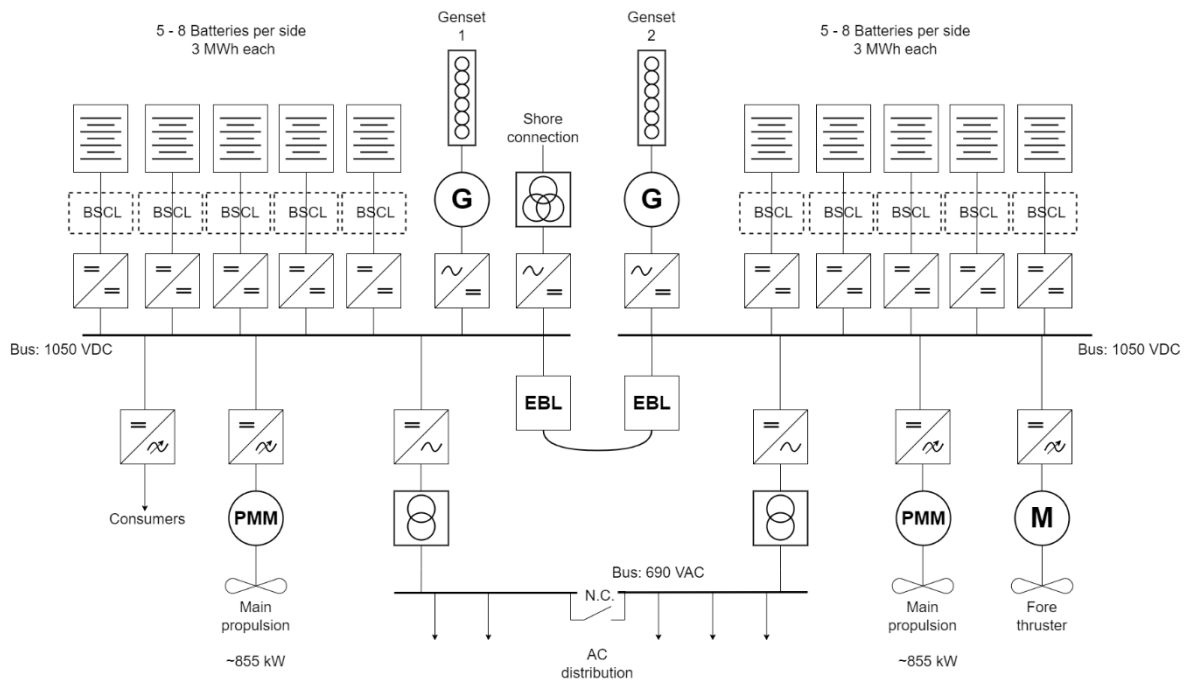
Brandbekämpningssystem skall vara anpassat för batteridrivet fartyg. Systemet bör uppfylla klassregler krav på förbättrad branddetektion och brandbekämpning i besättnings-, last- och maskinutrymmen DNV klassnotering F-AMC (eller motsvarande).

86 Electrical Power Supply

Alla system och propulsion skall huvudsakligen drivas av installerade batterier.

87 Common Electrical Distribution Systems

El distribution system inklusive el-tavla skall vara typen DC. Batterierna är kopplade genom en "battery short circuit limiter" (BSCL) till huvudtavlan. Spänningen på huvudtavlan skall vara 1050 V.



Figur 3. Principdiagram av elektrisk huvudtavla.

88 Electric Cables

Detaljer på elektriska kablar kommer i ett senare skede i fartygsdesignen.

89 Electrical Consumers Systems

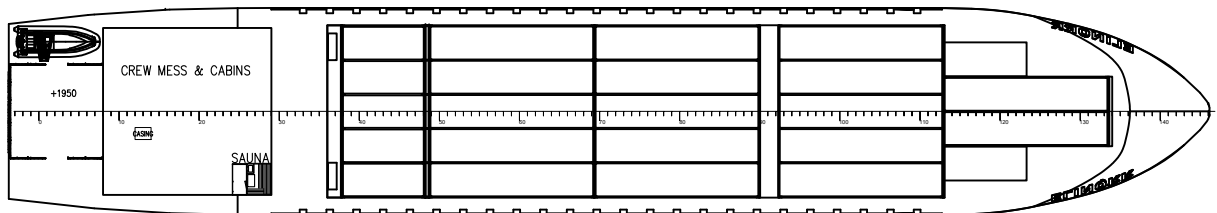
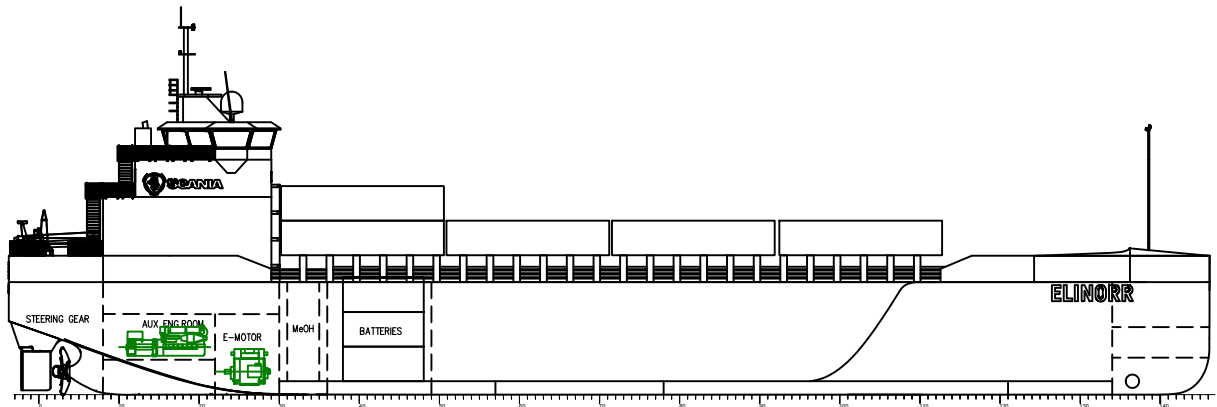
El system för övrig utrustning som navigationssystem, pumpar skall vara kopplade till eltavla med växelström på 690 VAC. Se principbild Figur 3.



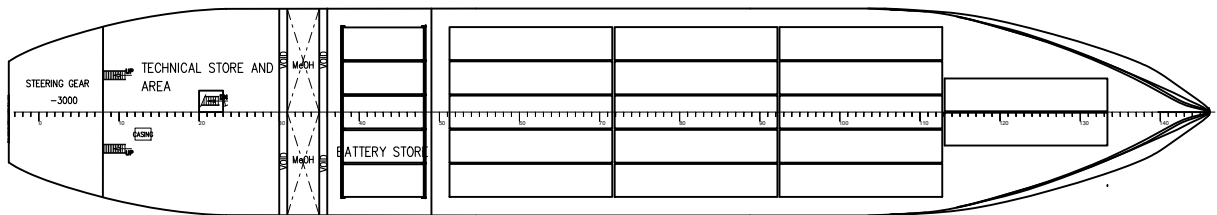
Uppgjord (även faktaansvarig om annan)	Titel	Dokumentnummer.	Rev.
Tobias Olsson	ELINORR Outline description	N/A	B
Dokumentansvarig (Godkänd)	Filnamn	Datum	Sid.nr.
Tobias Olsson / Paul Siljama	Outline description_rev_B_SR layout	2025-01-29	19 (19)

Bilagor

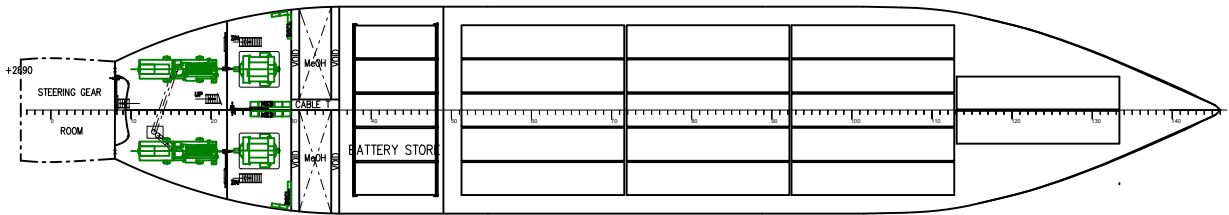
- ELINORR General Arrangement Preliminary revision



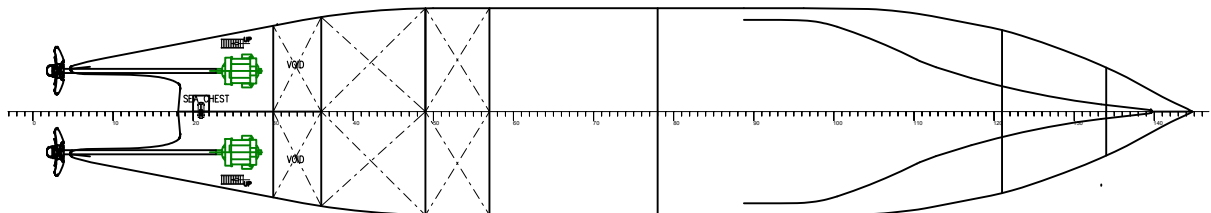
DECK 2 MAIN DECK (8450 ab BL)



DECK 1 (6000 ab BL)



TWEEN DECK (2600 ab BL)



TANK TOP (1000 ab BL)

PARTICULARS:

LENGTH OVER ALL	89,90 m
BREADTH MOULDED	15,5 m
DRAUGHT DESIGN	4,20 m
DEADWEIGHT	4751 ton
LIGHTSHIP	1724 ton
ICE CLASS	IA
SERVICE SPEED	7 kts

PRELIMINARY

Bilaga 2: Kostnads kalkyler – Diskreta val av antal battericontainrar

För att förenkla jämförande av olika kostnadsposter på huvudgruppsnivå visar fyra tabeller diskreta val av antal battericontainrar ombord: 0, 5, 10 respektive 15 stycken (Tabell 40 till Tabell 43 nedan).

Tabell 40. Sammanställning av årskostnad på huvudgruppsnivå för noll battericontainrar ombord.

		Antal battericontainers:		Intern andel av		Grups andel av	
		0	Medelvärde	Stdavv	medel:	spridning:	medel:
CAPEX	Externränta+amortering lån fartyg	14 513 358	2 437 211	75%	88%	33%	86%
	Externränta+amortering lån batteri	0	0	0%	0%		
	Internränta fartyg	4 830 000	888 000	25%	12%		
	Internränta batteri	0	0	0%	0%		
OPEX	Försäkringskostnader	883 344	58 500	9%	1%	17%	5%
	Bemanningskostnader	7 054 984	620 218	71%	97%		
	Underhållskostnader	944 364	22 247	10%	0%		
	Klassningskostnader	1 000 000	80 000	10%	2%		
VOYEX	SjöV	3 961 577	128 448	14%	2%	50%	9%
	Hamnar	9 962 947	773 075	34%	83%		
	El	193 536	27 648	1%	0%		
	Alternativt bränsle DF (MeOH+HVO)	15 150 852	318 504	52%	14%		
Summa:		58 494 961	2 799 979				

Tabell 41. Sammanställning av årskostnad på huvudgruppsnivå för fem battericontainrar ombord.

		Antal battericontainers:		Intern andel av		Grups andel av	
		5	Medelvärde	Stdavv	medel:	spridning:	medel:
CAPEX	Externränta+amortering lån fartyg	14 513 358	2 437 211	45%	71%	48%	87%
	Externränta+amortering lån batteri	9 692 543	1 185 676	30%	17%		
	Internränta fartyg	4 830 000	888 000	15%	9%		
	Internränta batteri	3 000 375	462 000	9%	3%		
OPEX	Försäkringskostnader	1 344 032	78 975	13%	2%	16%	4%
	Bemanningskostnader	7 054 984	620 218	68%	97%		
	Underhållskostnader	944 364	22 247	9%	0%		
	Klassningskostnader	1 000 000	80 000	10%	2%		
VOYEX	SjöV	3 961 577	128 448	16%	2%	36%	9%
	Hamnar	9 962 947	773 075	41%	71%		
	El	3 217 536	459 648	13%	25%		
	Alternativt bränsle DF (MeOH+HVO)	6 880 649	144 559	29%	2%		
Summa:		66 402 365	3 097 085				



Tabell 42. Sammanställning av årskostnad på huvudgruppsnivå för tio battericontainrar ombord.

		Antal battericontainers:		Intern andel av		Grupper andel av	
		10		medel:	spridning:	medel:	spridning:
		Medelvärde	Stdavv				
CAPEX	<i>Externränta+amortering lån fartyg</i>	14 513 358	2 437 211	32%	45%	59%	89%
	<i>Externränta+amortering lån batteri</i>	19 385 087	2 371 352	43%	43%		
	<i>Internränta fartyg</i>	4 830 000	888 000	11%	6%		
	<i>Internränta batteri</i>	6 000 750	924 000	13%	6%		
<hr/>							
OPEX	<i>Försäkringskostnader</i>	1 804 719	99 450	17%	2%	14%	3%
	<i>Bemanningskostnader</i>	7 054 984	620 218	65%	96%		
	<i>Underhållskostnader</i>	944 364	22 247	9%	0%		
	<i>Klassningskostnader</i>	1 000 000	80 000	9%	2%		
<hr/>							
VOYEX	<i>SjöV</i>	3 961 577	128 448	20%	1%	27%	8%
	<i>Hamnar</i>	9 962 947	773 075	49%	49%		
	<i>El</i>	5 403 279	771 897	27%	49%		
	<i>Alternativt bränsle DF (MeOH+HVO)</i>	932 130	19 547	5%	0%		
Summa:		75 793 194	3 849 342				

Tabell 43. Sammanställning av årskostnad på huvudgruppsnivå för femton battericontainrar ombord.

		Antal battericontainers:		Intern andel av		Grupper andel av	
		15		medel:	spridning:	medel:	spridning:
		Medelvärde	Stdavv				
CAPEX	<i>Externränta+amortering lån fartyg</i>	14 513 358	2 437 211	25%	28%	65%	93%
	<i>Externränta+amortering lån batteri</i>	29 077 630	3 557 028	51%	59%		
	<i>Internränta fartyg</i>	4 830 000	888 000	8%	4%		
	<i>Internränta batteri</i>	9 001 125	1 386 000	16%	9%		
<hr/>							
OPEX	<i>Försäkringskostnader</i>	2 265 407	119 925	20%	4%	13%	2%
	<i>Bemanningskostnader</i>	7 054 984	620 218	63%	95%		
	<i>Underhållskostnader</i>	944 364	22 247	8%	0%		
	<i>Klassningskostnader</i>	1 000 000	80 000	9%	2%		
<hr/>							
VOYEX	<i>SjöV</i>	3 961 577	128 448	20%	1%	22%	6%
	<i>Hamnar</i>	9 962 947	773 075	51%	46%		
	<i>El</i>	5 757 386	822 484	29%	52%		
	<i>Alternativt bränsle DF (MeOH+HVO)</i>	0	0	0%	0%		
Summa:		88 368 777	4 795 681				



Triple F står för **Fossil Free Freight**, som anspelar på programmets syfte - att bidra till att minska godstransporternas koldioxidutsläpp i Sverige. Triple F är Trafikverkets forskning- och innovationssatsning och Lindholmen Science Park står som värd i samarbete med VTI och RISE. Programmet startade 2018 och kommer som längst pågå till 2030.

