

Vesiliikenteen matkamalli VILTTI

Päästölaskennan ja -ennusteen menetelmäkuvaus

Tuomas Kiiski



Julkaisupäivämäärä 17.9.2026
Julkaisun nimi Vesiliikenteen matkamalli VILTTI: Päästölaskennan ja -ennusteen menetelmäkuvaus
Tekijät Tuomas Kiiski
Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä Liikenne- ja viestintävirasto Traficom
Julkaisusarjan nimi ja numero Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 11/2026 ISSN (verkkojulkaisu) 2669-8781 ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-425-033-7
Asiasanat Vesiliikenne, merenkulku, kasvihuonekaasupäästöt, päästölaskenta, vaikutusarviointi
Tiivistelmä Tässä julkaisussa kuvataan vesiliikenteen matkamalli VILTTIn menetelmä. Siinä esitetään mallin rakenne, lähdeaineistot, laskentaperiaatteet ja tulosten tulkintaan liittyvät rajoitteet, mutta ei laskennan tuloksia. Tulokset julkaistaan erillisinä tulosraportteina, joissa ilmoitetaan, mihin malliversioon ne perustuvat. VILTTI on Liikenne- ja viestintävirasto Traficomin kehittämä vaikutusarviointityökalu. Malli erottaa alusliikenteen polttoaineenkulutuksesta, energiantarpeesta ja kasvihuonekaasupäästöistä sen osuuden, joka syntyy Suomen kuljetustarpeesta. Kuljetustarve määräytyy kuljetettavan tavarantoiminnan ja matkustajien mukaan riippumatta siitä, mikä alus kuljetuksen suorittaa. Suomi on riippuvainen vesikuljetuksista. Kuljetustarpeesta syntyvien vaikutusten erottaminen edellyttää kuljetusten seuraamista lähtöpaikasta määräpaikkaan, myös silloin kun kuljetus jatkuu välisataman kautta aluksilla, jotka eivät käy Suomessa lainkaan. Malli koostuu kahdesta osasta. Päästölaskentamalli muodostaa kuljetusketjut Tullin Uljas-tietokannan ja Traficomin meriliikennetilastojen tiedoista. Se laskee etappikohtaisen polttoaineenkulutuksen ja päästöt ulkoisista lähteistä saatavilla suureilla ja jyvittää niistä Suomen kuljetustarpeeseen kuuluvan osuuden aluslajikohtaisten sääntöjen mukaan. Ennustemalli käyttää päästölaskennan tuloksia lähtötasona ja laskee tulevien vuosien tulokset skenaariossa annetuilla kuljetuskysynnän, energiatehokkuuden ja sääntelyn kehityspoluilla. Ennustelaskenta tuottaa myös sääntelyvajeen, eli sen päästö määrän, joka on vähennettävä, jotta alusten kasvihuonekaasuintensiteetti ei ylitä sääntelyn asettamaa enimmäistasoa. VILTTI korvaa aiemmin päästölaskennassa käytössä olleen MERIMA-mallin. Uusi malli hyödyntää kattavampaa tietopohjaa ja on laskennallisesti merkittävästi tehokkaampi, mikä mahdollistaa yksityiskohtaisemmat tarkastelut. Tulokset eivät ole vertailukelpoisia kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion, MRV-raportoinnin tai päästökaupan luku- ja seurauksen kanssa, koska nämä perustuvat eri rajauksiin. Merkittävimmät epävarmuudet liittyvät lähdeaineistojen kattavuuteen, epäsuoran liikenteen muodostamiseen ja ennusteissa liikenteen rakenteen jäädyttämiseen lähtövuoden tasolle.
Yhteyshenkilö Tuomas Kiiski
Raportin kieli Suomi
Luottamuksellisuus Julkinen

Traficom in tutkimuksia ja selvityksiä 11/2026

Kokonaissivumäärä 57
Jakaja Traficom
Kustantaja Traficom

Utgivningsdatum 17.9.2026
Publikation VILTTI – en färdmodell för vattentrafiken Metodbeskrivning av utsläppsberäkningen och utsläppsprognosen
Författare Tuomas Kiiski
Tillsatt av och datum Transport- och kommunikationsverket Traficom
Publikationsseriens namn och nummer Traficoms forskningsrapporter och utredningar 11/2026 ISSN (elektronisk publikation) 2669-8781 ISBN (elektronisk publikation) 978-952-033-7
Ämnesord vattentrafik, sjöfart, växthusgasutsläpp, utsläppsberäkning, konsekvensbedömning
Sammandrag I denna publikation beskrivs metoden för resemodellen för vattentrafik VILTTI. Publikationen presenterar modellens struktur, källmaterial, beräkningsprinciper och de begränsningar som gäller tolkningen av resultaten, men inte beräkningsresultaten. Resultaten publiceras i separata resultatrapporter, där det anges vilken modellversion de bygger på. VILTTI är ett konsekvensbedömningsverktyg som utvecklats av Transport- och kommunikationsverket Traficom. Modellen särskiljer den andel av fartygstrafikens bränsleförbrukning, energibehov och växthusgasutsläpp som uppstår av Finlands transportbehov. Transportbehovet bestäms av det gods och de passagerare som transporteras, oberoende av vilket fartyg som utför transporten. Finland är beroende av vattentransporter. Att särskilja de konsekvenser som uppstår av transportbehovet kräver att transportererna följs från avsändningsort till bestämmelseort, också när transporten fortsätter via en omlastningshamn med fartyg som inte alls anlöper Finland. Modellen består av två delar. Utsläppsberäkningsmodellen bildar transportkedjorna utifrån uppgifter ur Tullens databas Uljas och Traficoms sjötrafikstatistik. Den beräknar bränsleförbrukningen och utsläppen per etapp med storheter från externa källor och hänför av dessa den andel som hör till Finlands transportbehov enligt fartygsspecifika regler. Prognosmodellen använder resultaten från utsläppsberäkningen som utgångsnivå och beräknar resultaten för kommande år utifrån de utvecklingsbanor för transportefterfrågan, energieffektivitet och reglering som anges i scenariot. Prognosberäkningen ger också ett regleringsunderskott, vilket beskriver skillnaden mellan den beräknade växthusgasintensiteten och den högsta nivå som tillåts enligt regleringen. VILTTI ersätter den tidigare använda MERIMA-modellen. Den nya modellen utnyttjar ett mer omfattande dataunderlag och är beräkningsmässigt betydligt effektivare, vilket möjliggör mer detaljerade granskningar. Resultaten är inte jämförbara med den nationella växthusgasinventeringen, MRV-rapporteringen eller utsläppshandelns siffror, eftersom dessa bygger på andra avgränsningar. De största osäkerheterna gäller källmaterialets täckning, bildandet av den indirekta trafiken och att trafikens struktur i prognosen fryses till utgångsårets nivå.
Kontaktperson Tuomas Kiiski
Språk Finska
Sekretessgrad offentlig
Sidonantal 57
Distribution Traficom

Förlag
Traficom

Date of publication 17.9.2026
Title of publication VILTTI – a voyage model for waterborne transport: Methodology description of the emission calculation and emission forecast
Author(s) Tuomas Kiiski
Commissioned by, date Finnish Transport and Communications Agency Traficom
Publication series and number Traficom Research Reports 11/2026 ISSN (e-publication) 2669-8781 ISBN (e-publication) 978-952-033-7
Keywords waterborne transport, maritime transport, greenhouse gas emissions, emission calculation, impact assessment
Abstract This publication describes the methodology of the VILTTI waterborne transport model. It presents the structure of the model, the source data, the calculation principles and the limitations relevant to interpreting the results, but not the results themselves. Results are published in separate result reports, which state the model version they are based on. VILTTI is an impact assessment tool developed by the Finnish Transport and Communications Agency Traficom. The model separates out the share of shipping fuel consumption, energy demand and greenhouse gas emissions that arises from Finland's transport needs. Transport needs are determined by the goods and passengers carried, regardless of which vessel performs the transport. Finland depends on waterborne transport. Separating out the impacts arising from these transport needs requires following consignments from origin to destination, including where a consignment continues via a transshipment port on vessels that never call at a Finnish port. The model consists of two parts. The emission calculation model builds the transport chains from data in the Finnish Customs Uljas database and Traficom's maritime traffic statistics. It calculates fuel consumption and emissions for each leg using parameters obtained from external sources and assigns the share attributable to Finland's transport needs according to rules specific to each vessel category. The forecast model uses the results of the emission calculation as its baseline and calculates results for future years along the development paths for transport demand, energy efficiency and regulation specified in the scenario. The forecast also produces a regulatory gap, which describes the difference between the calculated greenhouse gas intensity and the maximum level permitted under the regulation. VILTTI replaces the previously used MERIMA model. The new model draws on a more comprehensive database and is considerably more efficient computationally, which allows for more detailed analyses. The results are not comparable with the national greenhouse gas inventory, MRV reporting or emissions trading figures, as these are based on different scopes. The main uncertainties relate to the coverage of the source data, the construction of indirect traffic, and the freezing of the traffic structure at the base year level in the forecast.
Contact person Tuomas Kiiski
Language Finnish
Confidentiality level Public
Pages, total 57

Distributed by Traficom
Published by Traficom

Sisällysluettelo

Vesiliikenteen matkamalli VILTTI	1
Keskeiset käsitteet ja lyhenteet	10
1 Johdanto	14
1.1 Taustaa	14
1.2 VILTTI-malli ja sen käyttötarkoitus	16
1.3 Keskeiset erot MERIMA-malliin	17
1.4 Menetelmäkuvausten rooli ja lukuohje	18
2 Päästölaskentamallin rakenne ja rajaukset	18
2.1 Mallin luonne	18
2.2 Mallin kattama liikenne	19
2.3 Matkojen määräytyminen	19
2.4 Tarkastelun ulkopuolelle jäävä toiminta	21
3 Päästölaskentamallin aineistot	21
3.1 Aineistokokonaisuus	21
3.2 Tavara- ja liikennetiedot	22
3.3 Alusten tekniset tiedot	23
3.4 Polttoaineenkulutus- ja päästötiedot	23
3.5 Satamatiedot	24
3.6 Polttoaineiden ominaisuudet ja päästökertoimet	24
3.7 Reitti- ja etäisyyssiedot	25
3.8 Hyötykuormaa koskevat tiedot ja oletukset	25
3.9 Syöteaineistojen muodostaminen	26
4 Kuljetusketjujen muodostaminen	27
4.1 Lähtökohta	27
4.2 Kauppatilastojen esikäsittely	28
4.3 Painojen täsmäyttäminen	28
4.4 Tavaralajien yhteismitallistaminen	29
4.5 Kauppaerien kiinnittäminen matkoille	29
4.6 Epäsuoran liikenteen tunnistaminen	30
4.7 Epäsuorien matkojen muodostaminen	31
4.8 Muu liikenne	32
5 Päästölaskenta ja jyvitys	32
5.1 Laskennan kulku	32
5.2 Etapin polttoaineenkulutus ja päästöt	33
5.3 Vaikutusten jyvitys	33
5.4 Tyhjät kuljetusyksiköt ja painolastimatkat	35
5.5 Vaikutusten kohdistus	35
5.6 Tulosten erittely	36
6 Päästöennustemallin rakenne ja rajaukset	37
6.1 Ennustemallin tausta ja käyttötarkoitus	37
6.2 Mallin luonne	38
6.3 Ennusteen kattavuus ja rajaukset	39
6.4 Ennusteen lähtötaso	40
7 Ennustemallin syötetiedot	41
7.1 Kuljetuskysyntä	41
7.2 Energiatehokkuuden kehityspolku	42
7.3 Sääntelyviitekehykset	43
8 Päästöennustelaskenta	45
8.1 Laskennan kulku	45
8.2 Ennusteen tulokset	47

9	Tulosten vertailtavuus	48
10	Epävarmuudet ja tulkinnan rajat.....	49
10.1	Lähdeaineistoihin liittyvät epävarmuudet	50
10.2	Päästölaskennan menetelmälliset valinnat.....	50
10.3	Ennustemallin epävarmuudet	51
10.4	Tulkinnan rajat	52
10.5	Kehityskohteet	52
	Lähdeluettelo	55

Alkusanat

Alusliikenteen päästöihin kohdistuvat sääntelyvaatimukset ovat viime vuosina kasvaneet merkittävästi, ja on oletettavaa, että niiden määrä kasvaa edelleen. Samalla tarve tuottaa luotettavaa, ajantasaista ja läpinäkyvää tietoa Suomen kuljetustarpeen aiheuttaman alusliikenteen vaikutuksista on korostunut sekä kansallisessa että kansainvälisessä päätöksenteossa. Aiemmat päästölaskentamallit ovat palvelleet viranomaisia, ministeriöitä ja muita sidosryhmiä pitkään, mutta toimintaympäristön muutos, tietoaisteiden kehittyminen ja uuden sääntelyn vaatimukset ovat tehneet mallien uudistamisesta välttämätöntä.

Tässä raportissa esiteltävä työ jatkaa yli vuosikymmenen mittaista kehityspolkua, jonka aikana Suomen merikuljetusten päästölaskentaa on vaihteittain laajennettu, tarkennettu ja päivitetty vastaamaan kulloisiakin tietotarpeita. VILTTI-mallin kehitystyö käynnistyi Traficomissa syksyllä 2023, ja malli on toteutettu virkатыönä. Alkuperäisenä tavoitteena oli suoraviivainen korvaaja MERIMA-mallille, mutta työn kuluessa tavoitetaso nousi: uudet aineistot mahdollistivat laskennan perustamisen todellisiin aluksiin, ja sääntelyn kehitys teki tarpeelliseksi ulottaa tarkastelu myös tulevaan.

Työn laajin osuus ei ole ollut itse laskenta vaan sen edellytysten rakentaminen. Useista lähteistä saatava liikenne-, alus- ja päästötieto on yhdistetty yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, jonka pohjalta Suomen kuljetustarpeen osuus voidaan erottaa. Työssä on voitu hyödyntää aiempien mallien ja niiden kehittäjien tekemää arvokasta perustyötä, jonka ansiosta kehitystä on ollut mahdollista jatkaa aiempaa pidemmälle. Haluamme kiittää kaikkia työhön osallistuneita yhteistyötahoja heidän tuestaan ja aineistoistaan.

Kehitystyössä ja raportin valmistelussa on hyödynnetty tekoälyä erityisesti mallin koodauksessa ja tekstin tuottamisen tukena. Se on ollut arvokas väline teknisen toteutuksen sujuvoittamisessa ja siten osaltaan nostanut työn kunnianhimon tasoa. Vastuu työn sisällöstä sekä siinä mahdollisesti olevista virheistä ja puutteista on kuitenkin yksin tekijällä.

Mallit ja niiden tuottamat tulokset eivät ole koskaan lopullisia, vaan ne elävät yhdessä toimintaympäristön, teknologian ja käytettävissä olevan tiedon kanssa. Uusi malli on nimeltään VILTTI, ja se kattaa päästö- ja ennustelaskennan Suomen kuljetustarpeen mukaiselle alusliikenteelle. Toivomme, että sen tuloksista on jatkossa vähintään yhtä paljon hyötyä kuin mallin rakentaminen on tuottanut oivalluksia tekijälleen, ja että työ luo perustan tuleville päivityksille ja jatkokehitykselle.

Espoossa 14.9.2026

Tuomas Kiiski
Yksikönpäällikkö
Merenkulun tieto- ja kehitys
Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Keskeiset käsitteet ja lyhenteet

Seuraavassa taulukossa määritellään asiakirjassa käytettävät keskeiset käsitteet ja lyhenteet.

Taulukko 1. Menetelmäkuvauksessa käytettävät keskeiset käsitteet ja lyhenteet

Käsite / lyhenne	Selitys
CO ₂ / CO ₂ e	Hiilidioksidi ja hiilidioksidiekvivalentti. Jälkimmäinen kokooa hiilidioksidin, metaanin (CH ₄) ja typpioksiduulin (N ₂ O) lämmitys-vaikutuskertoimien mukaisesti.
CPA	Classification of Products by Activity. VALMA-mallissa käytetty hyödykeluokitus, joka muunnetaan SITC-päälukiksi.
Cross-trade	Epäsuoran kuljetusketjun se osuus, jolla alus liikennöi yksinomaan Suomen ulkopuolisten satamien välillä kuljettaen Suomeen tulevaa tai Suomesta lähtevää tavaraa. Osuus ei näy meriliikennetilastoissa, vaan se muodostetaan laskennallisesti. Koska liikennöivä alus ei ole tiedossa, laskennassa käytetään sijaisalusta.
Eksogeeninen kysyntä	Mallin ulkopuolelta annettu kuljetuskysyntä, jota käytetään ennusteen syötetietona.
Energiaintensiteetti (EE)	Aluksen energiantarve kuljetustyöyksikköä kohden (MJ/t·mpk).
Energiatehokkuuden kehityspolku	Skenaariossa annettava oletus siitä, miten aluskannan energiaintensiteetti muuttuu suhteessa lähtövuoteen.
ETA	Euroopan talousalue. Käytetään alueellisen kohdistuksen perusteena.
Etappi	Yhden aluksen yksittäinen siirtymä satamasta toiseen. Mallin perusyksikkö: kulutus ja päästöt lasketaan etappikohtaisesti, ja jyvitys tehdään samalla tasolla.
EU ETS	EU:n päästökauppajärjestelmä. Rajan ylittävän matkan merivaikutus jaetaan puoliksi ETA-alueen ja sen ulkopuolisen osuuden kesken.
FuelEU Maritime	EU:n asetus, joka asettaa meriliikenteessä käytetyn energian kasvihuonekaasuintensiteetille asteittain tiukkenevat raja-arvot.
IMO-numero	Aluksen yksilöllinen tunnistus.
Jyvitys	Etapin polttoaineenkulutuksen ja päästöjen erottaminen aluksella olevalle lastille ja matkustajille. Jyvityspäätös vaihtelee aluslajeittain.
Kasvihuonekaasuintensiteetti (FE)	Aluksella käytetyn energian kasvihuonekaasupäästöt energiayksikköä kohden (gCO ₂ e/MJ), laskettuna lähteeltä vanaveen.

Kauppaerä	Kuukausikohtainen meritse kulkeneen kaupan kokonaismäärä tietyssä tavaralajissa Suomen ja jonkin muun maan välillä. Ei sisällä tietoa siitä, kuinka monessa erässä, millä aluksilla tai minkä satamien kautta tavarat on kulkenut. Toimii kysynnän kokonaismääränä, johon kyseisen kuukauden matkat kiinnitetään. Yksi kauppaerä voi jakautua usealle matkalle, ja samalla matkalla voi kulkea useiden kauppaerien osuuksia.
Kiinnittäminen	Kauppaerän liittäminen siihen matkaan tai matkoihin, jolla tai joilla se on kuljetettu.
Kohdistaminen	Etapin vaikutuksen sijoittaminen sen mukaan, missä ja millaisessa toiminnassa se syntyy: merellä vai satamassa, ETA-alueella vai sen ulkopuolella sekä rahti- vai matkustajaliikenteessä.
Kuljetusketju	Tavaran kulku lähtömaasta määrämaahan. Voi koostua yhdestä tai useammasta matkasta, jotka voivat olla peräkkäisiä tai rinnakkaisia, sekä niiden etapeista. Alus voi vaihtua ketjun aikana.
Kuljetustilametri	Yhtenäinen mittayksikkö kuljetusyksiköiden tilantarpeelle ja aluksen kapasiteetille. Katkaa sekä kontit että kumipyöräkuljetukset, jolloin ne ovat keskenään vertailukelpoisia.
Kuljetustyö (TW)	Kuljetetun tavaramäärän ja kuljetusmatkan tulo (t·mpk). Kuvaa tehtyä kuljetussuoritusta.
Kysyntäkerroin	Ennustevuoden ja lähtövuoden tavaramäärän tai keskimatkan suhde. Skaalaa lähtötason kuljetustyön.
Liikennesuunta	Kuljetuksen suunta: tuonti tai vienti.
Lähteeltä vanaveteen (well-to-wake)	Päästöjen laskentaperiaate, joka kattaa polttoaineen käytön lisäksi sen tuotanto- ja toimitusketjun päästöt.
Lähtötaso	Tarkasteluvuoden tuloksista johdettu aineisto, jonka pohjalta ennustevuodet lasketaan. Muodostuu aluskohtaisesta energia-profiilista ja tavaravirroittaisesta kuljetustyöstä.
Massaperusteinen alus	Irto- ja kuivalastialus, proomu tai säiliöalus, jonka lasti tunnetaan painona

Matka	Yhdestä tai useammasta etapista koostuva aluskuljetus, joka kiinnitetään kauppa-erään. Viennissä matka on suoraa liikennettä, jos se päättyy määrämaahan, ja epäsuoraa, jos se päättyy jälleenlastaustamahan. Tuonnissa matka on suoraa liikennettä, jos se alkaa lähtömaasta, ja epäsuoraa, jos se alkaa jälleenlastaustamasta. Epäsuoran matkan täydentävä osuus lähtömaan ja jälleenlastaustataman tai jälleenlastaustataman ja määrämaan välillä on cross-trade-matka. Yksi kauppaerä voi jakautua usealle matkalle, ja samalla matkalla voi kulkea useiden kauppaerien osuuksia.
MERIMA	Aiempi Suomen laivaliikenteen ja kansainvälisten merikuljetusten suorien ja epäsuorien päästöjen laskentaan ja seurantaan käytetty laskentamalli.
MLT	Meriliikennetilastoissa käytetty tavaralajiluokitus.
MRV	EU:n meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen tarkkailu-, raportointi- ja todentamisyjärjestelmä. Julkinen aineisto julkaistaan THETIS-MRV-tietokannassa.
Net-Zero Framework	Kansainvälisessä merenkulkujärjestö IMO:ssa esillä ollut, ei tällä hetkellä voimassa oleva, maailmanlaajuinen sääntelyviitekehys, jossa on kaksi tavoitetasoa: perustavoite ja suoran vaatimustenmukaisuuden tavoite.
Osakuormakerroin (PLF)	Part load factor. Kunkin matkan osuus etapin kokonaislastista silloin, kun sama etappi esiintyy useammalla matkalla. Käytetään massaperusteisilla ja ropax-aluksilla.
Reitti	Satamat ja niiden järjestys, jonka kautta matka kulkee määräpaikkaansa. Reitti määrää kuljetun etäisyyden ja siten polttoaineenkulutuksen.
Ropax-alus	Alus, joka kuljettaa samalla matkalla sekä rahtia että matkustajia.
Sijaisalus	Todellinen alus, jota käytetään laskennassa silloin, kun liikennöivä alus ei ole tiedossa. Valitaan aluslajin ja kapasiteetin perusteella.
SITC	Standard International Trade Classification. Kansainvälinen tavaralajiluokitus, jonka pääluokkatasoa (SITC1) mallissa käytetään.
STEAM	STEAM (Ship Traffic Emission Assessment Model) on Ilmatieteen laitoksen kehittämä laskentamalli, joka arvioi laivaliikenteen reaaliaikaisia päästöjä ja polttoaineenkulutusta yhdistämällä alusten paikannustietoja niiden teknisiin ominaisuuksiin.

Säiliöstä vanaveteen (tank-to-wake)	Päästöjen laskentaperiaate, joka kattaa polttoaineen käytön aluksella.
Säätelykatto	Säätelyviitekehyyksen kullekin vuodelle asettama kasvihuonekaasuintensiteetin yläraja.
Säätelyvaje	Päästömäärä, joka syntyy aluksen lähtötason kasvihuonekaasuintensiteetin ja säätelykaton erotuksesta, kerrottuna ennustevuoden energiantarpeella (t CO _{2e}).
Tarkasteluvuosi	Toteutunut vuosi, jonka aineistoihin päästölaskenta perustuu.
Tavaravirta	Tavaralajin ja liikennesuunnan yhdistelmä, jolle kysyntäkerroin muodostetaan ennustelaskennassa. Yhteen tavaravirtaan sisältyy useita kuljetusketjuja.
Transito	Suomen satamien kautta kulkeva liikenne, jonka lähtö- ja määräpaikka ovat Suomen ulkopuolella. Ei kuulu Suomen ulkomaankauppaan.
Täyttöaste	Oletus siitä, kuinka suuri osa kontti- tai ro-ro-aluksen kuljetustilametrikapasiteetista on käytössä.
Uljas	Tullin tilastotietokanta, josta saadaan meritse kulkevan kaupan tavaratiedot.
UN/LOCODE	Sataman kansainvälinen tunnistekoodi.
VALMA	Traficomin valtakunnallinen liikennemalli, joka sisältää henkilö- ja tavaraliikenteen mallit. Kuljetuskysynnän ennusteet tuotetaan mallijärjestelmän avulla.
VILTTI	Vesiliikenteen matkamalli. Traficomin kehittämä vaikutusarviointityökalu, joka erottaa alusliikenteen polttoaineenkulutuksesta, energiantarpeesta ja kasvihuonekaasupäästöistä Suomen kuljetustarpeen mukaisen osuuden. Koostuu päästölaskentamallista ja ennustemallista.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Suomi on riippuvainen vesikuljetuksista. Riippuvuus johtuu Suomen maantieteellisestä sijainnista ja ulkomaankaupan rakenteesta, joka nojaa perinteisesti bulkkivirtojen kustannustehokkaaseen kuljettamiseen. Vuonna 2025 ulkomaan tavaraliikenteen tonneista yli 90 prosenttia ja ulkomaan matkustajaliikenteen määrästä lähes puolet kulki meritse (Tilastokeskus 2026a, Tilastokeskus 2026b). Rannikko- ja sisävesiliikenne tukevat alueellista saavutettavuutta sekä kotimaan matkustaja- ja tavaraliikenteen toimivuutta.

Merenkulku on kansainvälistä liiketoimintaa, jossa toimijakenttä ja toimintaympäristö muuttuvat nopeasti. Meritse kulkevan kaupan määrään ja reiteihin vaikuttavat muun muassa geopolittiset jännitteet, talouden suhdanteet ja teollisuuden rakennemuutokset. Venäjän hyökkäyssodan seurauksena raakaöljyä on vuodesta 2022 alkaen tuotu enenevässä määrin muun muassa Norjasta, ja Lähi-idän tilanteen vuoksi osa Euroopan ja Aasian välistä kuljetuksista on ajoittain siirtynyt Suezin kanavalta Hyväntoivonniemen kautta kulkevalle reitille.

Samalla merenkulun kansainvälinen ympäristösääntely kiristyy. Meriliikenne on tullut EU:n päästökauppajärjestelmän piiriin, FuelEU Maritime -asetus asettaa käytetyn energian kasvihuonekaasuintensiteetille tiukkenevat raja-arvot, ja Kansainvälisessä merenkulkujärjestössä IMO:ssa valmistellaan maailmanlaajuisia ohjauskeinoja. Sääntely vauhdittaa osaltaan aluskannan uusiutumista ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottoa. Sääntelyviitekehykset ja niiden käsittely mallissa kuvataan luvussa 7.3.

Alusliikenteen vaikutuksia voidaan tarkastella esimerkiksi aluksittain, varustamoittain tai lipuittain, samoin kuin sen mukaan, missä satamissa tai millä vesialueilla alus käy. Näistä kaikkein vaikeimmin rajattava on maa-kohtainen tarkastelu eli tietyn maan kuljetustarpeesta aiheutuvat alusliikenteen vaikutukset. Suomelle tämä tarkastelu on kuitenkin sekä kilpailukyky- että huoltovarmuuskysymys. Kansainvälistä ympäristösääntelyä koskevien kantojen muodostaminen ja sääntelyyn ennakkovaikuttaminen edellyttävät tietoa alusliikenteen polttoaineen- ja energiankulutuksesta sekä kasvihuonekaasupäästöistä. Sääntelyn kustannusvaikutusten arviointi edellyttää tietoa siitä, kuinka suuri polttoaineen- ja energiankulutus sekä päästöt ovat sääntelyn piiriin kuuluvilla Suomen kuljetusketjujen osuuksilla. Varautumisessa ja liikennejärjestelmän suunnittelussa on tunnettava, millä aluksilla ja mitä reittejä pitkin keskeiset tavara- ja matkustajavirrat kulkevat.

Alusliikenteen vaikutusten seurannan tietopohja on kehittynyt huomattavasti viime vuosina, mutta merkittäviä haasteita esiintyy edelleen. Kansainvälisten raportointivelvoitteiden myötä tietoa on aiempaa paremmin saatavilla muun muassa polttoaineiden alueellisista myyntimääristä sekä aluskohtaisesta polttoaineenkulutuksesta ja päästöistä, joskin vuosisummina. Merkittäviä kehitysaskelia on otettu myös AIS-tietoihin perustuvassa mallinnuksessa. Alusten kuljettamaa hyötykuormaa koskeva tieto on sen sijaan jäänyt jälkeen, erityisesti kansainvälisissä, monivaiheisissa kuljetusketjuissa. Kunkin maan tullitilastot kuvaavat tyypillisesti maan omaa ulkomaankauppaa tavaralajeittain tarkasti, mutta maan läpi kauttakulkuna kulkevasta tavarasta vastaavaa tietoa ei kerätä. Kansallisiin meriliikennetilastoihin kerätään lastitiedot satamakäynneittäin, eli kussakin satamassa lastatut ja puretut tavaralajit ja kuljetusyksiköt. Aluksen koko lastia ne eivät kuitenkaan kerro. Kaupallisista lähteistä on saatavilla aluskohtaisia lastitonneja satamittain, mutta niiden tavaralajitarkkuus on karkea eikä yhteismittainen tullitilastojen luokituksen kanssa.

Maakohtaisesta kuljetustarpeesta johtuvan alusliikenteen vaikutusten tarkastelu edellyttää kuljetustarpeen yksilöityä määritelmää ja sen soveltamista aluskohtaisesti aina kullekin matkan etapille. Käytännössä Suomen kuljetustarpeen osuus aluksen vuotuisesta kulutuksesta ja päästöistä riippuu aluksen toiminta-alueesta, toimintatavasta ja lastityypistä. Esimerkiksi säännöllisessä Suomen ja Ruotsin välisessä liikenteessä jokainen matka alkaa tai päättyy Suomen satamaan, jolloin Suomen osuus kattaa käytännössä aluksen koko vuoden toiminnan. Satunnaisesti Suomessa käyvän aluksen kohdalla kyse on yksittäisistä matkoista. Suomen kuljetustarpeeseen kuuluu lisäksi epäsuoraa liikennettä, jossa lasti jälleenlastataan välisatamassa ja jatkaa matkaansa aluksilla, jotka eivät käy Suomessa lainkaan. Kummassakin tapauksessa Suomen kuljetustarpeen aiheuttamaa liikennettä voi olla vain osa aluksen lastista.

Suomen kuljetustarpeesta johtuvan alusliikenteen vaikutusten erottelu edellyttää kolmea asiaa:

- käyttökelpoista tietopohjaa, joka on muodostettava hajallaan olevista rekisteri-, tilasto- ja liikenneaineistoista,
- yhtenäisiä sääntöjä siitä, miten kuljetusketjut muodostetaan ja miten kulutus ja päästöt jaetaan niille, ja
- työkalua, jolla säännöt voidaan soveltaa automaattisesti laajoihin tietoa-aineistoihin.

Näihin vaatimuksiin vastaa vesiliikenteen matkamalli VILTTI.

1.2 VILTTI-malli ja sen käyttötarkoitus

Vesiliikenteen matkamalli VILTTI on Liikenne- ja viestintävirasto Traficommin kehittämä vaikutusarviointityökalu. Malli erottaa alusliikenteen polttoaineenkulutuksesta, energiantarpeesta ja kasvihuonekaasupäästöistä sen osuuden, joka syntyy Suomen kuljetustarpeesta. Kuljetustarve määräytyy kuljetettavan tavarat ja matkustajien mukaan riippumatta siitä, mikä alus kuljetuksen suorittaa.

Tarkastelun lähtökohta on matka, joka palvelee Suomen ulkomaan tavarakauppaa, matkustajaliikennettä, kotimaan vesiliikennettä tai suomalaisten satamien kauttakulkuliikennettä. Matka koostuu yhdestä tai useammasta etapista eli aluksen siirtymästä satamasta toiseen. Epäsuorassa liikenteessä lasti jälleenlastataan välisatamassa, ja matkaan kuuluu myös täydentävä cross-trade-matka, joka kulkee kokonaan Suomen ulkopuolella. Alus on väline, jolla matka toteutuu: samalla etapilla voi kulkea usean matkan lasteja, joten etapin vaikutuksesta jyvitetään kullekin matkalle vain sitä vastaava osuus.

Tarkastelu kattaa niin tavarakuin matkustajaliikenteen sekä ulkomaanettä kotimaanliikenteessä.

Mallia käytetään

- vesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen ja energiankulutuksen arviointiin tarkasteluvuodelle,
- vaikutusten erittelyyn muun muassa kuljetusketjuittain, liikennesuunnittain, alustyypeittäin ja tavaralajeittain,
- tulevan kehityksen arviointiin annetuilla kysyntä-, energiatehokkuus- ja sääntelyoletuksilla, sekä
- sääntelyvaikutusten tarkasteluun eri sääntelyviitekehyksissä.

Malli koostuu kahdesta osasta: **päästölaskentamalli** erottaa tarkasteluvuoden alusliikenteestä Suomen kuljetustarpeen osuuden ja jyvittää sen kuljetusketjuille, ja **ennustemalli** käyttää tarkasteluvuoden tuloksia lähtötasona ja laskee niistä tulevat vuodet skenaarion mukaisesti. Osat voivat toimia yhdessä tai erikseen. Päästölaskenta voidaan suorittaa itsenäisesti, jolloin saadaan muodostettua tarkasteluvuoden vaikutukset kuljetusketjuittain. Ennustelaskenta voidaan periaatteessa suorittaa myös ilman päästölaskentaa, kunhan sen keskeisin syötetieto, määrämuotoinen liikennetieto, on saatavilla. Osat on kuitenkin tarkoitettu käytettäväksi yhdessä: kun ennusteen lähtötasona on mallin oma päästölaskenta, tarkasteluvuosi ja ennustevuodet ovat keskenään vertailukelpoisia ja muodostavat yhtenäisen aikasarjan.

Mallia ei ole tarkoitettu yksittäisen aluksen tai varustamon päästöjen laskentaan tai todentamiseen eikä alusten koko toiminnan kattavaan päästöinventaarioon.

1.3 Keskeiset erot MERIMA-malliin

VILTTI korvaa aiemmin käytössä olleen MERIMA-mallin, jolla Suomen alusliikenteen päästöjä on laskettu ja seurattu vuodesta 2009. Viimeiset MERIMA-tulokset koskivat vuotta 2021, ja ne julkaistiin vuonna 2022 (Salanne ym. 2022). Uudistamiselle on kaksi syytä: MERIMA-mallin toteutustapa on tullut teknisen käyttöikänsä päähän, ja uudet aineistot mahdollistavat aiempaa tarkemman ja kattavamman tarkastelun.

Kuljetusketjulähtöinen perusajatus on säilytetty, samoin tarkastelun raja- alusliikenteen suoriin päästöihin. VILTTI eroaa kuitenkin MERIMASTA muun muassa seuraavilla tavoilla:

1. Laskentateho mahdollistaa laajan tietopohjan käytön. VILTTI hyödyntää aluskohtaisia rekisteri- ja tilastoaineistoja koko laajuudessaan.
2. Tarkastelu perustuu todellisiin aluksiin. Keskimääräisiä tyyppialuksia ei käytetä, vaan laskenta perustuu aina todelliseen alukseen ja sen omiin tietoihin. Jos reitillä liikennöinyt alus ei ole tiedossa, käytetään sijaisalusta.
3. Polttoaineenkulutustiedot otetaan pääsääntöisesti sellaisinaan ulkoisista lähteistä. Ratkaisu parantaa tulosten vastaavuutta raportoidun tiedon kanssa, mutta samalla mallin tulokset periytyvät lähdeaineistojen laadusta, kattavuudesta ja päivitysrytmistä. Riippuvuutta käsitellään luvussa 10.1.
4. Vaikutukset voidaan jyvittää kuljetettaville tavaralajeille. Etapin kulutus ja päästöt jakautuvat tavaralajeille niiden osuuksien suhteessa.
5. Tyhjien kuljetusyksiköiden siirrot ovat mukana. Tyhjinä palaavat kontit ja perävaunut kuluttavat polttoainetta tuottamatta kuljetus- suoritetta, ja VILTTI käsittelee ne omana kokonaisuutenaan.
6. Malli tuottaa tulevaisuustarkasteluja. Toteutuneen kehityksen ohella VILTTI:llä voidaan arvioida tulevaa kehitystä annetuilla kysyntä-, energiatehokkuus- ja sääntelyoletuksilla, sekä tarkastella vaikutuksia eri sääntelyviitekehyksissä.

1.4 Menetelmäkuvauksen rooli ja lukuohje

Tämä asiakirja on VILTTI-mallin menetelmäkuvaus. Se kertoo, miten tulokset muodostuvat – niiden rajaukset, lähdeaineistot, laskentaperiaatteet, jyvityssäännöt ja epävarmuudet – ja miten niitä on tulkittava. Asiakirjassa ei esitetä tuloksia, vaan ne julkaistaan erillisinä raportteina, joista ensimmäinen koskee vuotta 2023. Menetelmäkuvaus on luettavissa ilman tulosraporttia, mutta tuloksiin on suositeltavaa perehtyä sen avulla.

Menetelmäkuvausta päivitetään mallin kehittyessä. Tämä kuvaus koskee malliversiota 1.0, päivätty 14.9.2026. Kukin tulosraportti ilmoittaa, mihin menetelmäkuvauksen versioon se perustuu. Itse mallia ei julkaista. Menetelmän läpinäkyvyys turvataan tällä menetelmäkuvauksella. Malli on toteutettu avoimen lähdekoodin ohjelmistoilla: syöteaineistot muodostetaan R-kielellä ja päästö- sekä ennustelaskenta Julia-kielellä.

Luku 2 kuvaa päästölaskentamallin rakenteen ja rajaukset, luku 3 käytettävät aineistot. Luvut 4–5 kuvaavat tarkasteluvuoden päästölaskennan ja luvut 6–8 ennustelaskennan. Luvut 9–10 käsittelevät tulosten vertailtavuutta, epävarmuuksia ja tulkinnan rajoja. Asiakirjan alussa on käsiteluetelo.

2 Päästölaskentamallin rakenne ja rajaukset

2.1 Mallin luonne

Päästölaskentamalli muodostaa syötetietojen perusteella tarkasteltavan alusliikenteen ja laskee sille polttoaineenkulutuksen ja päästöt. Laskennassa käytetään päästö- ja kulutussuureita, jotka on koottu ulkoisista lähteistä ja täydennetty laskennallisesti niiltä osin kuin arvoja ei ole saatavissa. Suomen osuus näistä erotetaan aluslajikohtaisten jyvityssääntöjen mukaan. Ulkomaanliikenteessä erottaminen kattaa kuljetusketjun koko matkan: viennissä Suomen satamasta määrämaahan ja tuonnissa lähtömaasta Suomen satamaan. Laskenta tuottaa polttoainemassan, energiasällön (MJ) sekä päästöt hiilidioksidina (CO₂) ja hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂e), joissa metaani ja typpioksiduuli on otettu huomioon. Päästöt lasketaan sekä säiliöstä vanaveteen (tank-to-wake) että lähteeltä vanaveteen (well-to-wake). Säiliöstä vanaveteen -tarkastelu kattaa polttoaineen käytön aluksella ja lähteeltä vanaveteen -tarkastelu lisäksi polttoaineen tuotantoketjun päästöt.

Mallin menetelmällinen ydin on Suomen alusliikenteen osuuden erottaminen laajemmasta kokonaisuudesta. Tämä edellyttää kahta asiaa. Ensin on muodostettava Suomen liikenne lastierineen koko kuljetusketjun matkalta, myös siltä osin kuin kuljetus ei näy Suomen satamatiedoissa. Tämä sisältää

aineistojen yhdistämisen ja muokkaamisen sekä puutteellisten ja virheellisten tietojen korjaamisen. Tämän jälkeen etapin päästöt jyvitetään aluksella oleville lastierille. Jyvitysperuste vaihtelee aluslajeittain sen mukaan, mitä aluksen hyötykuormasta tiedetään.

2.2 Mallin kattama liikenne

Päästölaskentamalli kattaa neljä liikenteen kokonaisuutta:

- meritse kulkeva ulkomaankauppa, mukaan lukien epäsuorat kuljetusketjut, joissa Suomeen tuleva tai Suomesta lähtevä tavara kulkee osan matkasta muiden satamien kautta,
- satamien kautta kulkeva transitoliikenne, jossa tavarán lähtö- ja määräpaikat ovat Suomen ulkopuolella mutta kuljetus käyttää Suomen satamia,
- kansainvälinen matkustajaliikenne, kuten matkustaja-autolautat ja ris-teilyalukset, ja
- kotimaan tavara- ja matkustajaliikenne.

Ulkomaankuljetukset luokitellaan liikennesuunnan mukaan tuontiin ja vientiin. Liikennesuunta on yksi tulosten erittelyulottuvuus.

2.3 Matkojen määräytyminen

Päästölaskentamalli jäsentää ulkomaankaupan kuljetuksen neljällä tasolla.

Kauppaerä on kysyntätaso: kuukausikohtainen meritse kulkeneen kaupan kokonaismäärä tietyssä tavaralajissa Suomen ja jonkin muun maan välillä. Tiedot kauppaerästä sisältävät muun muassa ajankohdan, tavaralajin, tavaramäärän sekä lähtö- ja määrämaan. Aineistosta ei ilmene, kuinka monessa erässä, millä aluksella tai minkä satamien kautta tavara on kulkenut. Transito ei ole Suomen ulkomaankauppaa, joten siitä ei ole kauppaerätietoa.

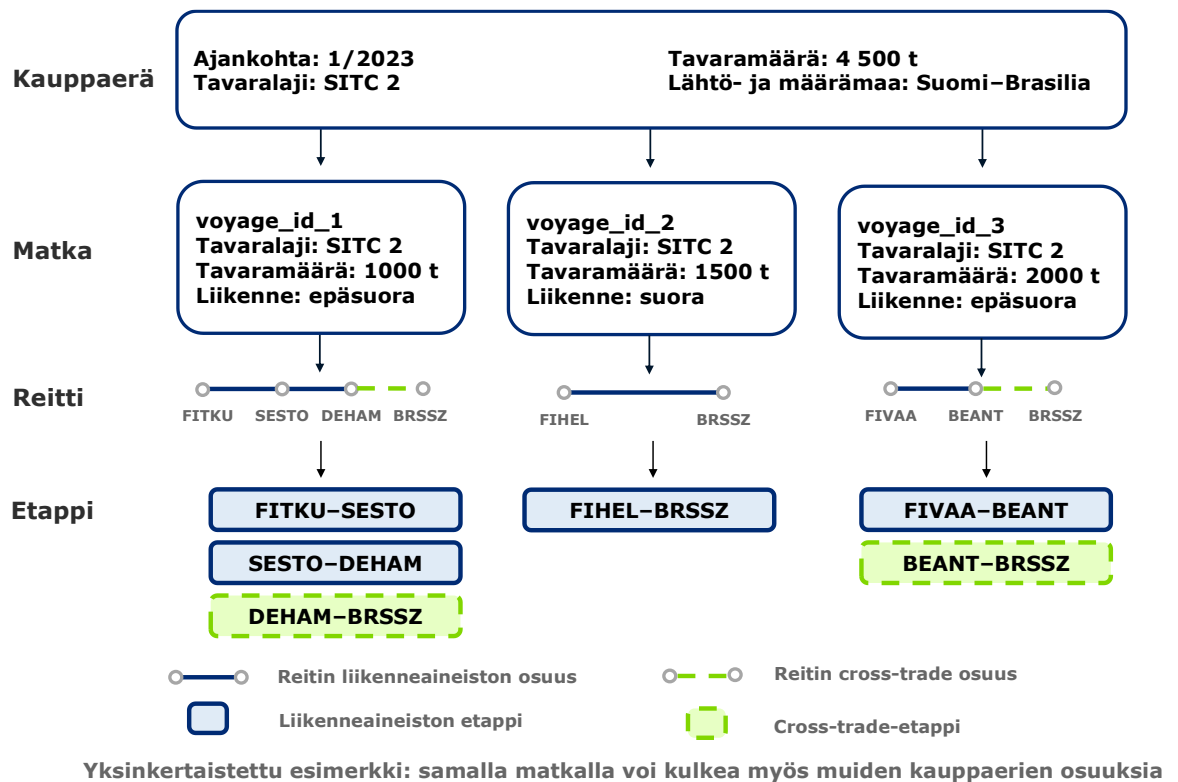
Matka on toteutunut aluskuljetus, joka tunnistetaan meriliikennetilastoista ja kiinnitetään kauppaerään. Yksi kauppaerä voi jakautua usealle matkalle, ja matkalla voidaan kuljettaa useisiin kauppaeriin kuuluvaa lastia. Matka on suoraa liikennettä, jos se päättyy määrämaahan tai alkaa lähtömaasta, ja epäsuoraa, jos toinen pää on jälleenlastaussatama.

Reitti kertoo, minkä satamien kautta matka kulkee määräpaikkaansa. Reitti määrää kuljetun etäisyyden ja siten polttoaineenkulutuksen. Epäsuoran matkan reitti täydennetään jälleenlastaussataman ja lähtö- tai määrämaan välisellä osuudella, koska tavarán tiedetään kulkeneen tämän

osuuden meritse, vaikka kuljettanutta alusta ei tunneta. Koska reitti on erillinen taso matkan ja etapin välissä, samalle matkalle voidaan määrittää vaihtoehtoisia reittejä ja verrata niitä keskenään.

Etappi on laskentataso: yhden aluksen yksittäinen siirtymä satamasta toiseen. Reitti koostuu yhdestä tai useammasta etapista. Etappi on mallin perusyksikkö: polttoaineenkulutus ja päästöt lasketaan etappikohtaisesti, ja Suomen osuus erotetaan niistä samalla tasolla. Muut tulokset saadaan laskemalla etappien tulokset yhteen ja erittelemällä ne halutulla tavalla. Kauppaerän kokonaisvaikutus on sille jyvitettyjen etappiosuuksien summa.

Kuva 1 havainnollistaa tasojen suhdetta. Esimerkin kauppaerä on kuljetettu kolmella matkalla, joista yksi päättyy määrämaahan ja kaksi jälleenlastaus-satamaan. Jälkimmäisten reitit täydentyvät cross-trade-etapilla määrämaahan.



Kuva 1. Kauppaerä, matka, reitti ja etappi. Esimerkki on yksinkertaistettu: samalla matkalla voi kulkea myös muihin kauppaeriin kuuluvaa lastia.

Kotimaan liikenteessä ja transitoliikenteessä matkat saadaan suoraan meriliikennetilastoista ilman kiinnittämistä kauppaeriin. Matkojen muodostaminen ja ulkomaankaupan kauppaerien kiinnittäminen matkoille kuvataan luvussa 4.

2.4 Tarkastelun ulkopuolelle jäävä toiminta

Tarkastelun ulkopuolelle jäävät alusliikenteen mahdollistavien liikennejärjestelmätason tukitoimintojen vaikutukset, kuten jäänmurto, satamahinaus, luotsaus ja väylänhoito. Tukitoiminnot palvelevat koko liikennejärjestelmää, eikä niiden vaikutuksia voida jyvittää yksittäiselle kuljetukselle. Koska malli kattaa vain tavara- ja matkustajakuljetukset, myös muu kuin kuljetustoiminta jää tarkastelun ulkopuolelle, esimerkiksi offshore- ja kalastusalukset.

Malli ei erittele talviolosuhteiden vaikutusta tuloksissa. Laskennan syötetietona käytettävät polttoaineenkulutustiedot ovat aluskohtaisia vuositason arvoja, joissa talviolosuhteiden vaikutus sisältyy keskiarvoon. Vaikutus on siten mukana tuloksissa kokonaistasolla, mutta sitä ei voida eritellä yksittäisille matkoille, kausille tai jääolosuhteille. Erittelyä ei mahdollistaisi myöskään lähdeaineisto, sillä jääolosuhteista ja avustustapahtumista ei ole käytettävissä matkakohtaista tietoa riittävän kattavasti.

3 Päästölaskentamallin aineistot

3.1 Aineistokokonaisuus

Päästölaskentamallin aineistot kootaan useasta rekisteri-, tilasto- ja liikenne-lähteestä, yhdistetään ja muunnetaan syöteaineistoiksi, jotka malli lukee. Syöteaineistot ovat muun muassa aluksia (ship), matkoja (voyage), etappeja (leg), lastia (cargo), polttoaineita (fuel) ja satamia (port) koskevat aineistot. Kuva 2 esittää tämän kulun.



Kuva 2. Aineiston kulku lähdeaineistoista päästölaskentamallin tuloksiksi

Taulukko 2 esittää keskeisimmät lähdeaineistot. Aineistot kuvataan tarkemmin luvuissa 3.2–3.8 ja syöteaineiston muodostaminen luvussa 3.9.

Taulukko 2 Päästölaskentamallin keskeisimmät lähdeaineistot

Aineisto	Lähde
Meritse kulkeva kauppa	Tulli, Uljas
Meriliikennetilastot	Traficom
Alusten tekniset tiedot	S&P Global
Alusten polttoaineenkulutus- ja päästötiedot	MRV THETIS
Alusten reitti-, polttoaineenkulutus- ja päästötiedot	Ilmatieteen laitos, STEAM-malli
Polttoaineiden ominaisuudet ja päästökertoimet	EU:n MRV-asetus ja FuelEU Maritime -asetus
Konttiliikenteen reittitiedot	Konttivarustamoiden verkkosivut
Satamien väliset etäisyydet	S&P Global

3.2 Tavara- ja liikennetiedot

Tullin Uljas-tietokanta sisältää meritse kulkevan kaupan tiedot. Aineistosta saadaan kauppaerän ajankohta kuukauden tarkkuudella, tavaralaji SITC-luokituksen mukaisena, tavaramäärä sekä kaupan lähtö- ja määrämaa. Aineistoon on merkitty, onko kuljetus ylittänyt Suomen rajan aluksessa, jolloin se tilastoidaan merikuljetukseksi, sekä se, onko tavara kuljetettu konteissa. Aineisto ei sisällä tietoa reitistä, aluksesta eikä siitä, kuinka monessa erässä tavara on kuljetettu.

Traficomien meriliikennetilastot perustuvat alusten satamakäynteihin Suomen satamissa. Aineisto kattaa myös sisävesiliikenteen. Siitä saadaan tiedot alusliikenteestä Suomen satamissa sekä kuljetetun tavarantoiminnan määristä ja lajeista. Meriliikennetilastot ovat kotimaan liikenteen ja matkustajaliikenteen pääasiallinen lähdeaineisto.

Aineistoissa käytetään eri tavaralajiluokituksia: Tullin tiedoissa SITC-luokitusta ja meriliikennetilastoissa MLT-luokitusta. Tavaramäärien täsmäyttäminen ja luokitusten yhteismitallistaminen kuvataan luvuissa 4.3 ja 4.4.

3.3 Alusten tekniset tiedot

Alusten tekniset tiedot ovat pääosin peräisin S&P Globalin kaupallisesta alustietokannasta. Aineistosta saadaan muun muassa aluksen bruttovetoisuus, kuollutpaino, aluslaji, rakennusvuosi ja jääluokka sekä muita päästö-laskennassa tarvittavia teknisiä ominaisuuksia. Alukset yhdistetään eri lähteaineistojen välillä IMO-numerolla.

Alustiedot ovat edellytys sille, että laskenta perustuu todelliseen alukseen ja sen omiin tietoihin. Niitä käytetään myös sijaisaluksen valinnassa (luvussa 4.7).

3.4 Polttoaineenkulutus- ja päästötiedot

Aluskohtaiset polttoaineenkulutus- ja päästötiedot otetaan lähtökohtaisesti ulkoisista lähteistä annettuina. Kulutus jaetaan merikulutukseen ja satamakulutukseen, joista jälkimmäisellä tarkoitetaan laiturissa olon (at berth) aikaista kulutusta; satamassa tapahtuva ohjailu (maneuvering) luetaan merikulutukseen. Laskenta edellyttää molempia tietoja muodossa, jossa niitä ei ole valmiina saatavilla: merikulutus tonneina merimailia kohden ja satamakulutus tonneina satamakäyntiä kohden.

Merikulutus saadaan vähintään 5 000 bruttovetoisuuden aluksista EU:n MRV-järjestelmästä, joka perustuu alusten omaan raportointiin, ja tätä pienemmistä aluksista Ilmatieteen laitoksen STEAM-mallista. MRV-aineisto sisältää vuositason summia ja tunnuslukuja, joista lasketaan sekä aluksen kuljettu matka että merikulutus, kun satamakulutuksen osuus on erotettu pois.

Satamakulutus saadaan STEAM-mallista niiltä osin kuin tieto on käytettävissä, ja puuttuvilta osin se johdetaan tilastollisesti saman aluslajin ja kokoluokan aluksista. Aineistosta erotettu satamakulutus jaetaan aluksen vuotuisella satamakäyntimäärällä satamakäyntikohtaiseksi.

Lähteestä saatua tietoa käytetään silloin, kun se ei ole selvästi virheellinen. Virheellisyys havaitaan vertaamalla arvoa saman aluslajin ja kokoluokan aluksiin: poikkeuksellisen alhainen kulutus viittaa puutteelliseen raportointiin. Tällaisissa tapauksissa tieto haetaan muusta lähteestä tai johdetaan ääritapauksessa laskennallisesti.

Samoista aineistoista saadaan myös aluksen käyttämät polttoainelaadut. MRV-aineistossa laadut johdetaan raportoiduista tiedoista päästökertoimien

avulla. Polttoainelaatu määrää, mitä päästökertoimia alukseen sovelletaan, joten se on edellytys sekä säiliöstä vanaveteen (tank-to-wake) että lähteeltä vanaveteen (well-to-wake) laskettaville päästöille.

Eräille aluslajeille käytetään erikseen sovitettuja kulutusmalleja. Esimerkiksi hinaajien operointiprofiili poikkeaa muusta aluskannasta: nopeus on alhainen ja koneen kuormitus samanaikaisesti suuri, joten tavanomaiset nopeuteen ja konetehtoon perustuvat kulutusmallit soveltuvat tällaiseen käyttöön heikosti. Kotimaan raakapuun vesikuljetuksissa laskennan viitearvoina käytetään Metsätehon raportoimia lukuja (Poikela & Strandström 2024).

3.5 Satamatiedot

Satamatiedot muodostavat oman lähdeaineistonsa. Kustakin satamasta on tiedossa UN/LOCODE-tunnus sekä se, sijaitseeko satama Euroopan talousalueella (ETA) vai sen ulkopuolella.

UN/LOCODE-tunnus on satamien yksilöivä tunniste, jonka avulla eri lähdeaineistojen satamatiedot yhdistetään toisiinsa. ETA-tieto määrää etapin alueluokan, jota käytetään tulosten alue-erittelyssä sekä sääntelyviitekehysten soveltamisessa.

Luokituksessa on otettu huomioon EU:n päästökaupassa määritellyt naapurimaiden konttien jälleenlastaussatamat, joita ovat Tanger Med ja East Port Said. Matkat näihin satamiin luetaan ETA-alueen sisäisiksi, mutta satamissa tapahtuva kulutus ei sisälly ETA-alueen kulutukseen.

3.6 Polttoaineiden ominaisuudet ja päästökertoimet

Polttoainelaatujen ominaisuudet ja päästökertoimet muodostavat oman lähdeaineistonsa. Kustakin polttoainelaadusta on tiedossa lämpöarvo, hiilipitoisuus sekä metaani- ja typpioksiduulipäästökertoimet. Kaasumaisilla polttoaineilla tiedot on eritelty konetyypeittäin, koska metaanivuoto riippuu käytettävästä konetekniikasta.

Säiliöstä vanaveteen (tank-to-wake) laskettavat päästökertoimet on otettu MRV-asetuksen liitteestä I (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2015). Lähteeltä vanaveteen (well-to-wake) laskettavat päästöt edellyttävät lisäksi lähteeltä säiliöön (well-to-tank) laskettavia kertoimia, jotka kattavat polttoaineen tuotanto- ja toimitusketjun. Nämä on otettu FuelEU Maritime -asetuksen liitteestä II (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2023). Samasta liitteestä saadaan myös lämmitysvaikutuskertoimet, joilla metaani ja typpioksiduuli muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi.

Päästökertoimet ovat mallin parametreja, ja niitä päivitetään sääntelyn muuttuessa. Arvot eivät ole mallin omia, vaan ne otetaan sellaisinaan edellä mainituista lähteistä.

3.7 Reitti- ja etäisyystiedot

Suurin osa reittitiedoista on peräisin Traficomın meriliikennetilastoista, jotka kattavat ulkomaanliikenteen osalta verrattain hyvin Suomen satamissa käyvien alusten reitit. Tieto koskee lähtökohtaisesti Itämeren osuuksia. Pienten alusten reittitietoja on eräissä tapauksissa täydennetty STEAM-mallista.

Konttiliikenteessä syöttöliikenteen reitit saadaan meriliikennetilastoista. Manner-Euroopasta eteenpäin jatkavan konttiliikenteen reittiverkosto on muodostettu kansainvälisten konttivarustamoiden verkkosivuillaan julkaisemista reititystiedoista. Tiedot on kerätty käsin vuoden 2025 tilanteesta, koska varustamot julkaisevat vain voimassa olevan reittiverkoston eikä historiatietoa ole saatavissa riittävän kattavasti.

Bulkkiliikenteen cross-trade-osuuksilla yksityiskohtaisia reittitietoja ei ole saatavissa Euroopasta eteenpäin, joten näillä osuuksilla käytetään lähtö- ja määräsataman välistä suoraa meritse kuljettua etäisyyttä.

Etappien etäisyydet on kerätty S&P Globalin tuottamasta etäisyystietokannasta. Tiedoista on muodostettu etäisyysmatriisi, joka vuoden 2023 osalta kattaa noin 20 000 satamaparia. Matriisi perustuu vakioituihin satamien välisiin etäisyyksiin, joten samalle satamaparille käytetään aina samaa etäisyyttä riippumatta siitä, mihin matkaan etappi kuuluu.

Etapeille, jotka voivat kulkea Kielin kanavan kautta, matriisi sisältää lisäksi Jyllannin niemimaan kiertävän pidemmän etäisyyden. Reitti valitaan automaattisesti aluksen syväyksen perusteella: kanavaan mahtuvien alusten oletetaan käyttävän sitä ja suurempien kiertävän niemimaan.

Euroopan ja Aasian välisessä liikenteessä matriisi sisältää etäisyydet sekä Suezin kanavan että Hyväntoivonniemen kautta kulkevalle reitille. Reitti ei määräydy aluksen ominaisuuksista, vaan se asetetaan laskennassa erikseen.

3.8 Hyötykuormaa koskevat tiedot ja oletukset

Kontti- ja ro-ro-aluksilla vaikutukset jyvitetään kuljetettujen kuljetusyksiköiden perusteella. Jyvitys edellyttää, että kuljetusyksiköiden tilantarve ja aluksen kapasiteetti ilmaistaan samalla mittayksiköllä ja että kapasiteetista käytössä oleva osuus tiedetään. Kumpakaan tietoa ei saada suoraan lähteineistoista, vaan ne muodostetaan jäljempänä kuvatulla tavalla.

Nykyaikaiset ro-ro-alukset voivat kuljettaa samanaikaisesti sekä perävau-
nuja että kontteja, joten kuljetusyksiköiden tilantarve on ilmaistava yhte-
näisellä mittayksiköllä. Laskennassa käytetään tähän kuljetustilametriä.
Myös aluksen kapasiteetti ilmaistaan samassa yksikössä, jolloin lasti ja alus
ovat suoraan verrannollisia.

Kuljetusyksiköiden tilantarve määritetään siten, että 20 jalan kontti vastaa
kuutta kuljetustilametriä, 40 jalan kontti kahtatoista ja puoliperävaunu
13,6:ta kuljetustilametriä. Konttikapasiteetti kerrotaan luvulla kuusi ja kais-
tametrikapasiteetti otetaan mukaan sellaisenaan. Näiden summa muodos-
taa aluksen kuljetustilametrikapasiteetin.

Linjaliikenteessä toimivat kontti- ja ro-ro-alukset käyvät useissa satamissa
ja kuljettavat samanaikaisesti myös muiden maiden lasteja, joten aluksen
täyttöaste vaihtelee satamaväleittäin eikä sitä voida päätellä Suomen sata-
mien lastaus- ja purkaustiedoista. Kapasiteetista oletetaan siksi käytössä
olevan kiinteä aluslajikohtainen osuus: konttialuksilla 70 prosenttia ja ro-
ro-aluksilla 60 prosenttia. Kuljetusyksikön osuus etapin vaikutuksesta mää-
rättyy sen viemien kuljetustilametriä suhteena tähän lukemaan.

Konttiliikenteen 70 prosenttia vastaa Clean Cargo -menetelmän pitkään
käyttämää oletusta, joka perustui varustamojen raporttoiman käyttöastetie-
don keskiarvoon (Smart Freight Centre, 2026).

Ro-ro-alusten 60 prosenttia on mallin oma oletus. Se on asetettu alan ylei-
siä oletusarvoja matalammaksi: EcoTransIT World käyttää ro-ro-aluksille
70 prosentin ja ropax-aluksille 64 prosentin käyttöastetta (EcoTransIT
World, 2024), joskin massaperusteisena eikä siten suoraan vertailukelpoi-
sena. Matalampi oletus on perusteltu, koska lyhyen matkan ro-ro-liiken-
teessä toteutuneet täyttöasteet jäävät tyypillisesti globaaleja mallinnusole-
tuksia matalammiksi tiheän vuorovälin ja suuntaepätasapainon vuoksi. Ma-
tala oletus kasvattaa yksittäiselle kuljetusyksikölle jyvitetävää osuutta
aluksen päästöistä, joten valinta ei aliarvioi Suomen liikenteelle jyvitetäviä
päästöjä.

Ropax-aluksilla samalla matkalla kuljetetaan sekä rahtia että matkustajia.
Aluksen vaikutukset jyvitetään ensin näiden kesken aluskohtaisilla, MRV-
aineistosta saatavilla vuosikohtaisilla rahti- ja matkustajaosuuksilla. Rahti-
osuudelle ei sovelleta täyttöasteoletusta. Suomessa käyvät ropax-alukset
liikennöivät pääsääntöisesti kiinteillä yhteysväleillä, joiden toinen pää on
aina Suomessa, joten kuljetusyksiköt ovat kokonaisuudessaan tiedossa.

3.9 Syöteaineistojen muodostaminen

Lähdeaineistot eivät sellaisenaan sovellu laskentaan. Ne yhdistetään ja
muunnetaan syöteaineistoiksi, joihin tiedot on jäsennetty luvussa 2.3

kuvatuille tasoille ja saatettu laskennan edellyttämään muotoon. Muodostaminen kattaa tavaralajiluokitusten yhteismitallistamisen, kuljetusten kytke-
misen aluksiin sekä reittien ja etappien muodostamisen. Säännöt kuvataan
luvuissa 4 ja 5.

Muodostamiseen kuuluu myös puutteellisten ja virheellisten tietojen käsit-
tely, jota laajoissa tietoaaineistoissa esiintyy tyypillisesti. Virheelliset arvot
tunnistetaan tilastollisin menetelmin ja käsitellään puuttuvina. Puuttuvat
arvot paikataan ensisijaisesti regressiomallilla, jossa selittävinä tekijöinä
ovat aluslaji ja aluskoko. Jos havaintoja on liian vähän luotettavan regres-
siomallin muodostamiseksi, käytetään lähimmän naapurin menetelmää tai,
jos sekään ei ole mahdollista, aluslajikohtaista mediaania.

Cross-trade-liikenteessä liikennöivä alus ei ole tiedossa, joten laskennassa
käytetään sijaisalusta. Valintaperuste kuvataan luvussa 4.7.

Muodostaminen on mallin laajin yksittäinen kokonaisuus, ja se on toteu-
tettu R-kielellä. Työ on pääosin automatisoitu, mutta lähdeaineistojen puut-
teellisuus rajoittaa automatisointia. Noin 60 prosenttia työstä voidaan
tehdä ohjelmallisesti, ja loppuosa edellyttää tapauskohtaista käsittelyä. Esi-
merkiksi sisävesi- ja puskuproomu liikenteen tietoja on täydennettävä käsin
jokaisen tarkasteluvuoden osalta erikseen.

Valmiit syöteaineistot ovat verrattain laajoja. Vuoden 2023 laskennassa ne
kattavat noin 1 800 alusta, 1 000 satamaa, 80 000 matkaa ja 115 000
etappia. Täydennettyjen tietojen osuus ja niiden merkitys tulosten tulkin-
nalle käsitellään luvussa 10.1.

4 Kuljetusketjujen muodostaminen

4.1 Lähtökohta

Kuljetusketjujen muodostaminen perustuu kahteen aineistoon, joista kum-
pikaan ei yksin riitä. Tullin meritse kulkevan kaupan tilastot kertovat, mitä
on kuljetettu, milloin ja minkä maiden välillä, mutta eivät sitä, millä aluk-
sella. Meriliikennetilastot kertovat, mikä alus on käynyt Suomen sata-
massa, milloin ja kuinka paljon tavaraa se on lastannut tai purkanut, mutta
eivät sitä, mihin maahan tavara on matkalla tai mistä se on peräisin.

Aineistojen yhdistäminen on edellytys alusliikenteen muodostamiselle. Yh-
distämistä vaikeuttaa neljä seikkaa:

1. painotiedoissa esiintyy eroja,
2. tavaralajiluokitukset eivät ole rinnasteisia,
3. sama kuljetus voi kirjautua aineistoihin eri ajankohtina, ja

4. meriliikennetilastoista näkyy vain ketjun ensimmäinen matka, joten jälleenlastauksen jälkeinen matka jää tuntemattomaksi.

Kolme ensimmäistä ratkaistaan aineistojen esikäsittelyllä ja kiinnittämisellä, neljäs epäsuoran liikenteen tunnistamisella.

Matkustajaliikenne, kotimaan liikenne, transito ja tyhjien kuljetusyksiköiden siirrot muodostetaan suoraan meriliikennetilastoista (luku 4.8).

4.2 Kauppatilastojen esikäsittely

Tullin julkaisemissa meritse kulkevan kaupan tilastoissa osa tavaramääristä on salattu tietosuojasyistä: rivillä on ilmoitettu kaupan arvo mutta ei tavarain painoa. Puuttuvat painotiedot johdetaan arvosta tavaralajikohtaisen yksikköhintan avulla. Hinta haetaan porrastetusti, ensisijaisesti mahdollisimman tarkalla tasolla (SITC2 tai SITC3) ja tarvittaessa yleisemmältä tasolta (SITC1). Täydennetyt rivit skaalataan siten, että tarkemman tason tavaralajien summa vastaa ylemmän tason tunnettua kokonaismäärää. Skaalaus tehdään liikennesuunnittain.

Aineistoa käsitellään lisäksi kahdella tavalla. Kauppaerät, joiden vastapuolen maata ei ole yksilöitävissä mihinkään tiettyyn maantieteelliseen alueeseen (tyypillisesti Q-alkuiset maakoodit), sulautetaan tunnettujen maiden riveille niiden osuuksien suhteessa. Eräitä tavaralajiryhmiä puretaan tarkemmalle tasolle, koska ryhmän sisällä aluslaji ja kuljetustapa poikkeavat toisistaan: puutavara eritellään lajeittain, ja mineraaliöljyt jaetaan raakaöljyyn ja jalostettuihin tuotteisiin.

4.3 Painojen täsmäyttäminen

Tullin meritse kulkevan kaupan tilastojen ja meriliikennetilastojen painotiedoissa esiintyy eroja. Osa eroista johtuu kirjauskäytännöistä ja siitä, että sama kuljetus voi kirjautua aineistoihin eri ajankohtina. Todennäköisin syy on kuitenkin painon erilainen määrittely. Tullin tiedoissa paino on nettopaino, kun taas meriliikennetilastojen painoissa voi olla mukana pakkauksen paino tai pyörästysvirheitä. Ero on suurin tavaralajeissa, joissa pakkauksen osuus on merkittävä, ja pienin bulkkitavarassa.

Painojen täsmäyttäminen on edellytys jatkokäsittelylle. Jos kokonaismäärät eivät vastaa toisiaan, kiinnittämisessä jää ylijäämää jompaankumpaan aineistoon, eikä ylijäämää voi tulkita: se voi olla joko aitoa epäsuoraa liikennettä tai tilastointieroa.

Tullin tavaramäärät muunnetaan siksi meriliikennetilastojen mukaisiksi tavaralajiryhmittäin. Bulkkitavara siirtyy sellaisenaan, korkean pakkausasteen tavaroille käytetään kiinteää kerrointa, ja muut tavaralajit skaalataan

siten, että liikennesuunnan kokonaismäärä vastaa meriliikennetilastojen kokonaismäärää.

4.4 Tavaralajien yhteismitallistaminen

Aineistojen tavaralajiluokitukset eivät ole rinnasteisia. SITC-luokitus kuvaa tavaraa, ja siitä on käytettävissä useita tarkkuustasoja. Mallissa käytetään pääluokkatasoa SITC1, jossa tavarat jaetaan kymmeneen luokkaan; tätä on pidetty riittävänä tarkkuutena kiinnittämisen ja tulosten erittelyn kannalta. Meriliikennetilastojen MLT-luokitus on useimpien tavaralajien osalta tätä tarkempi, mutta suuryksiköissä kuljetettu tavara kirjautuu kaatoluokkiin, jotka eivät varsinaisesti kuvaa kuljetettua tavaraa.

Osa meriliikennetilastojen luokista on yhdistettävissä Tullin luokitukseen suoraan ja rajaa lastin yksiselitteisesti: raakaöljyä kuljettava matka on kuljettanut SITC-pääloukan 3 tavaraa. Kaatoluokat sen sijaan eivät rajaa lastia lainkaan.

Luokitukset yhteismitallistetaan siten, että kullekin meriliikennetilastojen luokalle määritetään vastaavuustaulukolla ne SITC-pääloukat, joita se voi sisältää. Rajaavien luokkien kohdalla vastaavuus on kapea, ja kaatoluokkien kohdalla kaikki pääloukat ovat mahdollisia.

Aluslaji rajaa lastia kahdessa tapauksessa. Ajoneuvojenkuljetusaluksen lasti rajautuu SITC-pääloukkaan 7 riippumatta siitä, mikä tavaralaji sen matkalle on merkitty, ja bulkkialuksen lasti rajautuu bulkkitavaraan. Näissä tapauksissa aluslaji ohittaa tavaralajiluokan.

4.5 Kauppaerien kiinnittäminen matkoille

Kun painot on täsmäytetty ja tavaralajit yhteismitallistettu, Tullin kauppaerät kiinnitetään matkoille. Meriliikennetilastojen matka kertoo, kuinka paljon kuljetuskapasiteettia on ollut käytössä, ja kauppaerä kertoo, mitä tavaraa on kulkenut. Kiinnittämisessä nämä yhdistetään.

Konttiliikenteessä kiinnittäminen on suoraviivainen. Tullin aineistoon on merkitty, onko tavara kulkenut kontissa, ja tällainen kauppaerä kiinnitetään saman kuukauden konttialusten matkoille. Tavaralajilla ei ole merkitystä, koska konttialus kuljettaa samalla matkalla kaikkia tavaralajeja.

Muussa liikenteessä kiinnittäminen etenee portaittain siten, että ensin sovelletaan tiukimpia ehtoja ja niistä joustetaan asteittain, kunnes kaikki kiinnitettävissä oleva tavara on kiinnitetty. Ehdot ovat kahdessa ulottuvuudessa:

Tavaralajiehto määräytyy luvussa 4.4 kuvatusta vastaavuudesta.

Alue- ja aikaehto rajaa kiinnittämisen tiukimmillaan saman kuukauden, liikennesuunnan ja maaparin sisälle. Ehdosta joustetaan portaittain: maapari korvataan logistisella klusterilla, sen jälkeen kuukausirajaus poistuu ja lopulta liikennesuunta jää ainoaksi ehdoksi. Viimeinen porras kattaa koko vuoden, mikä kompensoi tullausajankohdan ja matkan välistä aikaviivettä.

Kiinnittämisen järjestys määräytyy sen mukaan, kuinka hyvin matkan lasti tunnetaan. Ensin käsitellään bulkkikuljetukset, joissa yksi matka vastaa tyypillisesti yhtä kauppaerää ja jotka kiinnitetään suoraan pareittain. Bulkissa rajaus toimii molempiin suuntiin: bulkiksi luokiteltu kauppaerä kiinnitetään bulkkialusten matkoille, ja bulkkialusten kapasiteetti varataan bulkkitavaralle eikä sitä täytetä myöhemmillä portailla muulla tavaralla. Tämän jälkeen käsitellään aluslajin määräämät erikoistapaukset ja sitten muut tunnistettavat tavaralajit. Viimeisenä käsitellään kaatoluokkien matkat, joilla kiinnittäminen perustuu pelkästään alue- ja aikaehtoon. Portaiden lopuksi kaikki jäljelle jäänyt kapasiteetti kiinnitetään väljin ehdoin.

Kun kauppaeriä ja matkoja on portaassa useita, kiinnittäminen tehdään suhteellisesti: kumpikin osapuoli luovuttaa jäljellä olevasta määrästä osuuden, joka vastaa sen osuutta portaan kokonaismäärästä. Näin yksi kauppaerä voi jakautua usealle matkalle ja yhdellä matkalla voi kulkea useiden kauppaerien osuuksia, kuten kuvassa 1 on esitetty.

Jokaisesta kiinnittämisestä tallennetaan, millä portaalla se on tehty, jolloin tulosten luotettavuutta voidaan arvioida kiinnittämistavan mukaan. Menetelmän toimivuutta arvioidaan jäännöksen avulla: toimivassa kiinnittämisessä lähes kaikki kauppaerät ja lähes kaikki matkojen kuljetuskapasiteetti tulevat kiinnitettyä. Merkittävä jäännös paljastaisi joko aluslajin, jolle ei löydy vastaavaa kauppavirtaa, tai tavaralajin, jolle ei löydy kuljetuskapasiteettia.

Kiinnittämisen jälkeen matkalle määritetään reitti ja etapit luvussa 3.7 kuvatuista reitti- ja etäisyystiedoista. Konttiliikenteessä reitti muodostetaan reittiverkostosta, joka voi sisältää välisatamia. Muussa liikenteessä ja silloin kun yksityiskohtaista reittitietoa ei ole saatavissa, reitti on lähtö- ja määräsataman välinen suora yhteys. Kunkin etapin etäisyys saadaan etäisyysmatriisista.

4.6 Epäsuoran liikenteen tunnistaminen

Kaikki Suomen meritse kulkeva ulkomaankauppa ei kulje Suomen satamien kautta suoraan määrämaahan. Osa tavarasta siirretään Euroopan pääsatamissa toiselle alukselle, jolloin meriliikennetilastoista näkyy vain ketjun ensimmäinen matka ja loppuosa jää tuntemattomaksi.

Epäsuora liikenne tunnistetaan vertaamalla Tullin ilmoittamaa kauppaa siihen tavaramäärään, joka on kiinnitetty Suomen satamissa käyneille matkoille. Erotus on lähtökohtaisesti epäsuoraa liikennettä, mutta se sisältää myös eroja, jotka johtuvat aineistojen luokittelu- ja kirjausajankohtien eroista. Erotus puhdistetaan kahdessa vaiheessa:

Ensimmäisessä vaiheessa erotus netotetaan kunkin maaparin sisällä valitussa aikaikkunassa. Sama kuljetus voi kirjautua aineistoihin eri tavaralajiluokkaan tai eri kuukaudelle, jolloin ylijäämä yhdessä luokassa vastaa alijäämää toisessa. Netotus poistaa nämä erot ennen jatkokäsittelyä. Aikaikkunan pituus valitaan aineiston mukaan.

Toisessa vaiheessa maat ryhmitellään logistisiin klustereihin ja erotus netotetaan klusterin sisällä. Klusterin negatiivinen nettoerotus tarkoittaa, että klusterin kautta kulkee enemmän tavaraa kuin Tullin mukaan klusterin maiden kanssa käydään kauppaa; kyse on tällöin muiden maiden kauppavirroista, jotka kulkevat samojen satamien kautta. Vasta klusterin positiivinen nettoerotus on aitoa epäsuoraa liikennettä, ja se jaetaan takaisin yksittäisille maille niiden oman erotuksen suhteessa.

4.7 Epäsuorien matkojen muodostaminen

Epäsuoralle liikenteelle muodostetaan matkat, koska toteutunutta aluskuljetusta ei ole tiedossa. Muodostaminen etenee neljässä vaiheessa:

1. Kuljetusmuoto ja jälleenlastaussatama

Kullekin tavaralajille määritetään pääasiallinen kuljetusmuoto: kontti, kuivabulk vai nestebulk. Tavaralajeissa, joissa sekä kontti että bulkki ovat mahdollisia, kuljetusmuoto määräytyy erän koon perusteella; kynnyksen ylittävät erät kulkevat bulkkina ja sitä pienemmät kontissa. Jälleenlastaus-satama valitaan kuljetusmuodon ja liikennesuunnan mukaan, ja bulkki- sekä konttiliikenteessä käytetään eri satamia.

2. Matkojen määrä ja ajoitus

Bulkkiliikenteessä vuoden tavaramäärä jaetaan tavaralajikohtaisella eräkoolla, mikä antaa matkojen lukumäärän. Matkat ajoitetaan kuukausille toteutuneen kuukausijakauman mukaisessa suhteessa. Konttiliikenteessä muodostetaan yksi matka kuukautta ja maaparia kohden, ja saman maaparin eri tavaralajit kulkevat samalla matkalla.

3. Kuljetusyksiköt

Konttiliikenteessä ja ro-ro-liikenteessä tavaramäärä muunnetaan kuljetusyksiköiksi vakioidulla kaavalla ja edelleen kuljetustilametreiksi luvussa 3.8 kuvatulla tavalla.

4. Aluksen valinta

Kullekin matkalle osoitetaan sijaisalus. Aluslaji määräytyy kuljetusmuodon ja tavaralajin perusteella, ja aluksen koko valitaan pienimmäksi sellaiseksi, jonka kapasiteetti riittää erälle. Valinnassa käytetään aluksia, joita ei ole jäävähvistetty, koska epäsuorat matkat kulkevat jäättömällä merialueilla. Jokaiselle lastatulle matkalle muodostetaan vastaava paluumatka ilman lastia.

Reitin päätesatamat määritetään tavaralajin ja liikennesuunnan perusteella niin, että ne vastaavat kyseisen kauppavirran tyypillisiä satamia. Euroopan ja Aasian välisessä konttiliikenteessä osa matkoista ohjataan Hyväntoivonniemen kautta luvussa 3.7 kuvatulla tavalla.

Ison-Britannian liikenne käsitellään erikseen. Kun suorat alusyhteydet on vähennetty meritse kulkevasta kaupasta, jäljelle jäävän liikenteen oletetaan kulkevan Ruotsin kautta ro-ro-aluksilla, koska tämä reitti on lyhyempi kuin Manner-Euroopan kautta kiertävä.

4.8 Muu liikenne

Kotimaan liikenteen, transitoliikenteen ja matkustajaliikenteen matkat muodostetaan suoraan meriliikennetilastoista, koska niissä ei ole kauppaserätasoa eikä kiinnittämistä Tullin tietoihin tarvita. Kotimaan liikennettä tarkastellaan erillisenä kokonaisuutena lukuun ottamatta Ahvenanmaan ro-pax-liikennettä, joka käyttää samaa laivatilaa kuin Ruotsiin linkittyvä ulkomaan meriliikenne ja käsitellään sen mukaisesti.

Tyhjien kuljetusyksiköiden siirrot saadaan niin ikään meriliikennetilastoista. Ne kulkevat pääosin samoilla matkoilla kuin lastatut yksiköt, ja erona on ainoastaan se, että tavaralajina on tyhjä yksikkö. Oma matka muodostuu vain silloin, kun yhteysvälillä ei kulje lastissa olevia kuljetusyksiköitä. Siirrot ovat suoraa liikennettä.

5 Päästölaskenta ja jyvitys

5.1 Laskennan kulku

Päästölaskenta etenee etappi kerrallaan: ensin lasketaan etapin polttoaineenkulutus ja siitä aiheutuvat päästöt, tämän jälkeen vaikutukset jyvitetään aluksen kuljettamalle lastille ja matkustajille aluslajikohtaisten sääntöjen mukaan. Lopuksi tulokset eritellään alueittain, liikenneluokittain, tavaralajeittain sekä aluksen ominaisuuksien mukaan.

5.2 Etapin polttoaineenkulutus ja päästöt

Etapin polttoaineenkulutus muodostuu merikulutuksesta ja satamakulutuksesta. Merikulutus lasketaan kertomalla etapin pituus aluksen merimaili-kohtaisella kulutuksella.

Satamakulutus otetaan huomioon erikseen lähtö- ja saapumissatamassa siten, että kummallekin satamalle kohdistetaan puolet aluksen satamakäyntikohtaisesta kulutuksesta. Painolastimatalla saapumissataman kulutusta ei lasketa. Alus voi käyttää yhtä tai useampaa polttoainelaatua, joille sovelletaan luvussa 3.6 kuvattuja kertoimia.

Polttoaineenkulutuksesta johdetaan energiasisältö ja päästöt. Hiilidioksidi ja energiantarve saadaan suoraan kulutuksesta. Lisäksi otetaan huomioon metaani, mukaan lukien koneiden metaanivuoto, sekä typpioksiduuli. Hiilidioksidiekvivalentit päästöt muodostetaan yhdistämällä nämä kaasut niiden lämmitysvaikutuskertoimien mukaisesti.

5.3 Vaikutusten jyvitys

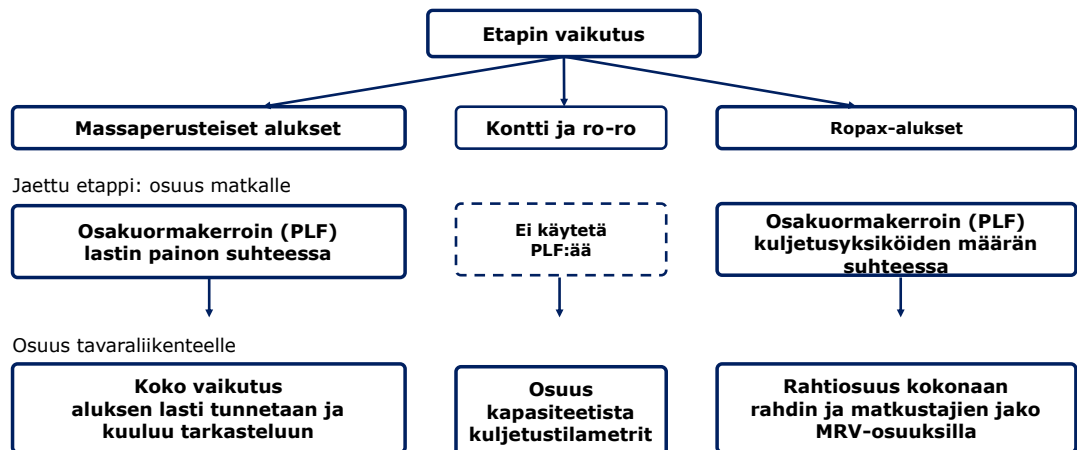
Etapin vaikutus jyvitetään aluksen kuljettamalle lastille ja matkustajille. Jakoperuste määräytyy aluslajin mukaan, koska aluslajit eroavat toisistaan sekä lastin luonteen että käytettävissä olevien tietojen osalta. Kuvassa 3 esitetään jyvityksen periaatteet aluslajeittain.

Massaperusteisilla ja ropax-aluksilla jyvitys tehdään kahdessa vaiheessa. Sama etappi voi esiintyä useammalla matkalla, kun aluksen yhdellä siirtymällä satamasta toiseen kulkee useiden matkojen lasteja. Vaikutus jaetaan tällöin ensin näiden matkojen kesken, jotta sitä ei lasketa useaan kertaan. Tähän käytetään osakuormakerrointa (part load factor, PLF), joka kertoo kunkin matkan osuuden etapin kokonaislastista; saman etapin kertoimet summautuvat yhteen. Vasta tämän jälkeen matkalle tullut vaikutus jyvitetään edelleen aluksen lastille, massaperusteisilla aluksilla lastin massan ja ropax-aluksilla kuljetusyksiköiden määrän suhteessa.

Kontti- ja ro-ro-aluksilla ensimmäinen vaihe jää pois. Näiden alusten kuljetuskapasiteetti on kiinteä ja lasti mitataan yksikköinä, joten matkan osuus voidaan laskea suoraan aluksen kapasiteettiin vertaamalla sitä muiden matkojen lastiin. Osuus on matkan kuljetustilametrit jaettuna aluksen käytökelpoisella kapasiteetilla, joka saadaan nimelliskapasiteetin ja aluslajikohtaisen täyttöasteen tulona. Kyse ei siis ole matkojen välisestä jaosta vaan aluksen kuormitusasteesta, ja käyttämättä jäävää kapasiteettia vastaava osuus etapin vaikutuksesta jää kohdistamatta lastille.

Etappi tulkitaan lastimatkaksi, jos siihen liittyy joko lastitonneja tai kuljetusyksiköitä. Jos kumpaakaan ei ole, etappi on painolastimatka ja käsitellään sen mukaisesti. Yksikköperusteisilla aluslajeilla lasti on muunnettu

lastissa oleviksi kuljetusyksiköiksi jo aineiston esikäsittelyssä: tonnit jaetaan kuljetusyksiköiden keskimääräisillä painoilla ja tulos muunnetaan kuljetustilametreiksi. Näin jakoperusteen edellyttämä yksikkötieto on käytettävissä myös silloin, kun lasti on alun perin ilmoitettu vain massana. Massaperusteisella aluksella, jonka lasti on kirjattu vain kuljetusyksikköinä, koko etapin vaikutus kohdistuu kyseiselle matkalle, jottei päästöjä jää jyvittämättä aineiston puutteen vuoksi; vaikutus jää tällöin matkatasolle, koska ilman lastin massaa sitä ei voi jyvittää edelleen tavaralajeille.



Kontti- ja ro-ro-aluksilla osuus lasketaan kiinteään kapasiteettiin, koska muun lastin määrää ei tunneta. Matkustaja- ja risteilyaluksilla vaikutus kohdistuu kokonaisuudessaan matkustajaliikenteelle.

Kuva 3. Tavaraliikenteen jyvityksen periaatteet aluslajeittain

5.3.1 Massaperusteiset alukset

Irto- ja kuivalastialuksilla sekä säiliöaluksilla aluksen koko lasti on tiedossa ja se kuuluu tarkasteltavaan kuljetukseen. Etapin vaikutus jyvitetään siksi kokonaisuudessaan tälle lastille. Lastin sisäinen jako tavaralajeille tehdään painon suhteessa, mutta se ei vaikuta Suomelle jyvittettävään kokonaisuuteen.

5.3.2 Kontti- ja ro-ro-alukset

Kontti- ja ro-ro-aluksilla aluksen muuta samanaikaista lastia ei tunneta, joten jyvitys perustuu kuljetustilametreihin ja luvussa 3.8 kuvattuun täyttöasteoletukseen.

5.3.3 Ropax-, matkustaja- ja risteilyalukset

Ropax-aluksilla vaikutus jyvitetään ensin rahdin ja matkustajaliikenteen kesken luvussa 3.8 kuvatuilla aluskohtaisilla osuuksilla. Rahtiosuus kohdistuu tämän jälkeen kokonaisuudessaan aluksen kuljettamille kuljetusyksiköille, koska ne kaikki kuuluvat tarkasteltavaan liikenteeseen. Jos etappi on jaettu useamman matkan kesken, rahtiosuudesta erotetaan ensin osakuormakertoimella kyseisen matkan osuus kuljetusyksiköiden lukumäärän

suhteessa. Näin esimerkiksi Suomen ja Ruotsin välillä liikennöivällä ropax-aluksella Ahvenanmaalle purettava lasti ja Ruotsiin jatkava lasti saavat kumpikin oman osuutensa yhteisen etapin vaikutuksesta.

Matkustaja- ja risteilyaluksilla vaikutus kohdistuu kokonaisuudessaan matkustajaliikenteelle. Risteilyaluksilla Suomen liikenteeksi luetaan koko se osuus, joka alkaa aluksen edellisestä ulkomaisesta satamasta ja päättyy seuraavaan ulkomaiseen satamaan Suomen jälkeen. Ratkaisu vastaa mallin lastilähtöistä peruseriaa: Suomen satamakäynti on syy koko tälle osuudelle, eikä matkustajien jakautumisesta ole tietoa, jonka perusteella osuutta voisi pienentää.

5.4 Tyhjät kuljetusyksiköt ja painolastimatkat

Osa konteista ja perävaunuista kulkee tyhjinä, kun yksiköitä palautetaan sinne, missä niille on kysyntää. Tyhjä yksikkö vie aluksella saman tilan kuin lastattu, joten sitä käsitellään jyvityksessä kuten lastattua yksikköä. Aluksilla, joilla kulkee sekä bulkkia että kuljetusyksiköitä, jyvitys perustuu massaan, joten tyhjien yksiköiden viemä kuljetustilamäärä muunnetaan massaksi kertoimella 0,4 tonnia kuljetustilametriä kohden. Näin tyhjien yksiköiden osuus matkan päästöistä erottuu lastista ja raportoidaan tyhjien kuljetusyksiköiden siirtona.

Alukset eivät myöskään kulje aina lastattuina. Kun alus siirtyy tyhjänä paikasta toiseen noutaakseen lastin, kyse on painolastimatka. Painolastimatka liitetään siihen lastattuun matkaan, johon se liittyy. Jos matkoja on useita, painolastimatkan vaikutus jaetaan niiden kesken kuljetustyön suhteessa. Jos liitääntä ei löydy, painolastimatka kantaa päästönsä omana eränään.

5.5 Vaikutusten kohdistus

Etapin vaikutus kohdistetaan kolmella ulottuvuudella, jotka ovat laskennassa voimassa samanaikaisesti: **toiminnan**, **alueen** ja **liikennelajin** mukaan.

Toiminta

Vaikutus erotellaan merellä ja satamassa syntyvään osuuteen. Merivaikutus on etapin ajon aikana syntyvä osuus, ja satamavaikutus muodostuu lähtö- ja saapumissataman kulutuksesta luvussa 5.2 kuvatulla tavalla.

Alue

Vaikutus kohdistetaan sen mukaan, missä se syntyy. Jaottelun perusteena käytetään Euroopan talousalueen rajaa, joka vastaa nykyisen sääntelyn soveltamisaluetta. Jos etapin lähtö- ja päätesatama ovat molemmat ETA-

alueella, koko merivaikutus kohdistuu ETA-alueelle. Jos molemmat ovat sen ulkopuolella, merivaikutusta ei kohdisteta ETA-alueelle. Jos etappi ylittää ETA-alueen rajan, merivaikutus jaetaan valitun säännön mukaisesti; oletuksena käytetään EU:n päästökaupan mukaista puolitus. Satamavaikutus kohdistetaan kokonaisuudessaan sen alueen mukaan, jolla satama sijaitsee. Poikkeuksena ovat luvussa 3.5 kuvatut naapurimaiden jälleenlataussatamat.

Liikennelaji

Vaikutus erotellaan rahdin ja matkustajaliikenteen kesken luvussa 5.3 kuvatulla tavalla.

Ulottuvuudet ovat toisistaan riippumattomia, joten kustakin suureesta muodostuu kahdeksan erillistä osuutta. Alueellisen kohdistuksen perusteella etapit luokitellaan lisäksi neljään liikenneluokkaan (Taulukko 3).

Taulukko 3. Liikenneluokat

Liikenneluokka	Kuvaus
Kotimaan liikenne	Liikenne kahden suomalaisen sataman välillä
ETA-alueen sisäinen liikenne	Etapin molemmat päät ETA-alueella
Rajat ylittävä liikenne	Etappi ylittää ETA-alueen rajan; merivaikutus jaetaan puoliksi
Kolmansien maiden välinen liikenne	Etapin molemmat päät ETA-alueen ulkopuolella

5.6 Tulosten erittely

Tulokset voidaan raportoida kokonaismäärinä tai eriteltyinä yhden tai useamman ryhmittelytekijän mukaan. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi **tavaralaji, liikennesuunta, liikenneluokka, alue, aluslaji** sekä **aluksen koluokka, ikäluokka, jääluokka** ja **lippuvaltio**. Sama etappikohtainen tulos voidaan siten esittää monesta eri näkökulmasta ilman, että kokonaismäärä muuttuu.

Tavaralajikohtaisessa erittelyssä käytetään SITC-luokituksen pääluokkia. Kontti- ja ro-ro-aluksilla erittely tehdään lastattujen kuljetusyksiköiden suhteessa, ja tyhjät yksiköt erottuvat omaksi eräkseen. Transitoliikenteestä ei eroteta Suomen osuutta, koska se ei ole Suomen ulkomaankauppaa, vaan koko kuljetus raportoidaan transitona.

Päästöjen ja energiankulutuksen lisäksi laskenta tuottaa **tunnuslukuja**, jotka kuvaavat suoritteita ja niiden suhdetta vaikutuksiin. Näitä ovat *kuljetustyö* eli kuljetetun tavaramäärän ja kuljetusmatkan tulo, *energiaintensiteetti* eli energiantarve kuljetustyötä kohden sekä *kasvihuonekaasuintensiteetti* eli kasvihuonekaasupäästöt energiayksikköä kohden. Tunnusluvut ovat sekä tuloksia sinänsä että lähtötaso ennustelaskennalle, kuten luvussa 6.4 kuvataan.

6 Päästöennustemallin rakenne ja rajaukset

6.1 Ennustemallin tausta ja käyttötarkoitus

VILTIn kehittämiseen liittyi alusta asti tarve tuottaa ennustelukuja myös alusliikenteen päästöistä. Luvussa 1.1 kuvatut sääntelytarpeet edellyttävät tietoa myös siitä, mihin kehitys johtaa ja mitä sääntely eri viitekehyksissä vaatisi.

Liikennehallinnossa on tuotettu pitkään valtakunnallisia liikenne-ennusteita. Meriliikenteen osalta näissä on keskitytty meritse kulkevien tonniennustamiseen, ja arviot ovat aiemmin perustuneet alan toimijoiden haastatteluihin (Traficom, 2022). Traficom aloitti vuonna 2023 valtakunnallisen liikennemallin VALMAN kehittämisen, jonka yhteydessä käynnistettiin myös tavaraliikenteen ennusteiden kehitystyö (jatkossa tavaraliikennemalli).

Tavaraliikennemalli tuottaa koti- ja ulkomaan kuljetusvirtojen hyödykelajikohtaiset ja kuljetusmuotokohtaiset kehitysennusteet, jotka voidaan sijoittaa kotimaan liikenneverkolle. Euromääräiset hyödykelajikohtaiset kotimaan tuotokset sekä ulkomaankaupan virrat tuotetaan yleisen tasapainon mallilla (Refinage) ja muunnetaan nykytilanteen kuljetusmääriin perustuvilla kertoimilla tonnimääriksi. Ensimmäiset merikuljetusten volyymiennusteet ovat käytettävissä syksyllä 2026.

Tavaraliikennemalli kuvaa vienti- ja tuontikuljetusten reitittymistä ensisijaisesti kotimaan liikenneverkolla, eikä sen tuloksista voida suoraan arvioida meriliikenteen reittejä ja päästöjä. Tähän vastaa VILTTI-mallin ennustelaskenta, joka ottaa kuljetuskysynnän annettuna ja kääntää sen alusliikenteen energiantarpeeksi ja päästöiksi.

Työnjaosta seuraa, että kuljetuskysyntä on ennustemallissa eksogeeninen, eli järjestelmän ulkopuolelta määräytyvä. Malli ei muodosta kysyntää itse eikä ota kantaa sen uskottavuuteen, vaan laskee, mitä annettu kysyntä merkitsee alusliikenteen kannalta. Malli on siten tarkoitettu vaihtoehtojen vertailuun eikä todennäköisimmän kehityksen ennustamiseen (luku 6.2). Kysyntäaineiston kytkeminen malliin edellyttää tavaralajiluokitusten

yhteensovittamista ja kuljetusetäisyyksien muodostamista, jotka kuvataan luvussa 7.1.

6.2 Mallin luonne

Ennustemalli käyttää päästölaskennan tuloksia lähtötasona ja laskee niiden pohjalta tulevien vuosien ennusteet. Ennustelaskennassa ei muodosteta tulevia matkoja, reittejä eikä kuljetusketjuja, vaan lähtötason tuloksia muunnetaan skenaarion mukaisesti.

Mallinnuksessa liikenteen rakenne pidetään muuttumattomana lähtövuoden tasolla. Tämän oletuksen mukaisesti ennustevuosina liikennöivät samat alukset samoilla reiteillä kuin lähtövuonna. Muuttuvia tekijöitä ovat ainoastaan kuljetusmäärät sekä alusten energia- ja kasvihuonekaasuintensiteetti. Ratkaisu perustuu aineiston saatavuuteen: kuljetuskysynnän kehityksestä on laadittu ennusteet, mutta alusmäärien, aluskokojen, reittien sekä kuljetusten jakautumisen muutoksista ei ole saatavilla riittävää ennusteaineistoa.

Aluskannan uusiutuminen otetaan huomioon energiatehokkuuden kehityksessä keskimääräisenä oletuksena. Liikenteen rakenteellisia muutoksia, kuten siirtymää suurempiin aluksiin tai reittien muuttumista, malli ei sen sijaan tavoita. Kun päästölaskenta on ajettu useammalta vuodelta, rakenteen muutoksesta voidaan jatkossa johtaa trendi ja ottaa se ennusteessa huomioon.

Ennustelaskenta perustuu lähteeltä vanaveteen (well-to-wake) laskettuihin kasvihuonekaasupäästöihin, jotka saadaan päästölaskennasta. Sääntelyviitekehukset asettavat rajansa koko polttoaineketjun päästöille, joten lähtötason on oltava samalla perusteella laskettu.

Skenaario koostuu kolmesta kehityspolusta:

- kuljetuskysyntä, joka kattaa sekä kuljetettavan tavaramäärän että keskimääräisen kuljetusetäisyyden
- energiatehokkuus, joka kuvaa aluskannan teknisen ja operatiivisen tehokkuuden kehitystä, ja
- kasvihuonekaasuintensiteetti, jonka kehitystä rajoittaa valittu sääntelyviitekehys.

Kukin kehityspolku muuntaa yhtä lähtötason suuretta: kysyntä kuljetustyötä, energiatehokkuuden kehityspolku aluksen energaintensiteettiä ja sääntely sen kasvihuonekaasuintensiteettiä.

Malli on deterministinen. Sama syöte tuottaa aina saman tuloksen, eikä laskennassa ole satunnaisuutta, todennäköisyysjakaumia tai luottamusvälejä.

Tulos on siten ehdollinen eikä todennäköisin: se kertoo, mihin päästöt asetuvat, jos kuljetuskysyntä kehittyy annetun aineiston mukaisesti, jos energiatehokkuus paranee valitun polun mukaisesti ja jos jokainen alus täyttää sääntelyn vaatimuksen. Malli ei ota kantaa siihen, kuinka todennäköisiä nämä ehdot ovat. Epävarmuus tuodaan näkyviin vertaamalla eri oletuksilla laskettuja ajoja, ei yksittäisen ajon vaihteluvälinä. Determinismin vastine on täydellinen toistettavuus: tulos on jäljitettävissä, ja mikä tahansa muutos siinä palautuu johonkin muutokseen syötteessä tai oletuksissa.

Ennustevuodet ovat mallin parametri, ja mikä tahansa vuosi voidaan laskea. Vuodet eivät kuitenkaan ole yhtä luotettavia: mitä kauemmas lähtövuodesta mennään, sitä suurempi osa tuloksesta seuraa oletuksista ja sitä pienempi havainnoista. Erityisesti aluskannan ja liikenteen rakenteen pysyminen lähtövuoden mukaisena on kohtuullinen oletus lähivuosille ja selvästi heikompi tarkastelujakson loppupäässä.

Tulokset eritellään samoilla periaatteilla kuin päästölaskennassa, jolloin tarkasteluvuosi ja ennustevuodet muodostavat yhtenäisen aikasarjan.

6.3 Ennusteen kattavuus ja rajaukset

Ennuste kattaa tässä malliversiossa ulkomaan tavaraliikenteen eli Suomen tuonnin ja viennin, joille kysyntäarviot saadaan VALMA-mallin tavaraliikenne-ennusteesta.

Ropax-alukset sisältyvät ennusteeseen kokonaisuudessaan. Kysyntäennuste koskee niiden rahtiliikennettä, ja matkustajaliikenteen päästöjen oletetaan kehittyvän samassa suhteessa kuin rahtiliikenteen.

Kolmansien maiden välinen liikenne sisältyy ennusteeseen siltä osin kuin se on osa Suomen tuonnin tai viennin kuljetusketjua. Kun etappi ei kosketa Suomen satamaa, sen kaupan suunta päätellään matkan lähtö- ja määräsatamasta. Etapille sovelletaan samaa kysyntäkerrointa kuin saman tavaratyyppien Suomen satamaan liittyvälle etapille, jolloin ketjun osat kehittyvät yhdenmukaisesti eikä päästöä kirjata kahteen kertaan.

Kotimaan liikennettä ei ennusteta, koska sille ei ole käytettävissä kysyntäennustetta. Sen päästöt raportoidaan tarkasteluvuoden osalta päästölaskennassa, eivätkä ne sisälly ennusteen tuloksiin. Malliin sisältyy jo nyt tekninen valmius tuottaa kotimaan liikenteen ennuste, jolloin kysyntäkerroin laskettaisiin suhteessa mallin omaan lähtötasoon, ja se voidaan ottaa käyttöön, mikäli soveltuva kysyntäennuste on saatavissa.

Muun matkustajaliikenteen osalta kysyntäennustetta ei ole käytettävissä. Näiden alusten tarkasteluvuoden päästöt pidetään vakiona ja lisätään ennusteen kokonaispäästöihin sellaisinaan. Vakiona pitäminen tarkoittaa, että näiden alusten päästöt eivät ennusteessa kasva eivätkä vähene, vaikka

kyse on kasvavasta ja sääntelyn piiriin kuuluvasta liikenteestä. Valinta on läpinäkyvä, mutta se on otettava huomioon ennustevuosien kokonaislukuja luettaessa.

Transitoliikenne ei sisälly ennusteeseen. Transito ei ole Suomen ulkomaankauppaa, eikä sen kehitystä koskevaa kysyntäennustetta ole näköpiirissä.

6.4 Ennusteen lähtötaso

Lähtötaso johdetaan tarkasteluvuoden päästölaskennan tuloksista, ja se koostuu kahdesta aineistosta: **aluskohtainen energiaprofiili** sisältää aluksen energiaintensiteetin ja kasvihuonekaasuintensiteetin, ja **kuljetustyö** on eritelty tavaravirroittain. Kaikki suureet lasketaan aluksen rahtiliikenteen etapeista, ropax-alusten osalta kuitenkin jäljempänä kuvatulla tavalla.

Kuljetustyö on mallin oma suure eikä sitä lueta ulkoisesta kysyntäennusteesta. Ulkoista kysyntäennustetta käytetään ainoastaan kertoimien muodostamiseen, ja kertoimia sovelletaan mallin omaan kuljetustyöhön.

Aluskohtainen energiaprofiili

Kullekin alukselle lasketaan energiaintensiteetti eli energiantarve tehtyä kuljetustyötä kohden (MJ/t·mpk) sekä kasvihuonekaasuintensiteetti eli kasvihuonekaasupäästöt kulutettua energiayksikköä kohden (gCO₂e/MJ). Jälkimmäinen lasketaan lähteeltä vanaveteen, jotta se on vertailukelpoinen sääntelykaton kanssa. Suureet ovat aluksen ominaisuuksia, jotka riippuvat sen koneesta ja polttoaineista eivätkä vaihtelevat tavaralajin, liikennesuunnan tai alueen mukaan. Profiili muodostetaan aluksen kaikista rahtietapeista, joten se kuvaa aluksen toimintaa mallin rajauksessa eikä sen koko vuoden liikennettä.

Ropax-aluksilla energiaprofiiliin sisältyy myös matkustajaliikenteen energiankulutus ja päästöt, kun taas kuljetustyö kattaa vain rahdin. Ratkaisu seuraa luvun 6.3 oletuksesta. Koska osoittajassa on myös matkustajaliikenteen energia mutta nimittäjässä vain rahdin kuljetustyö, ropax-alusten energiaintensiteettiluku ei ole sellaisenaan vertailukelpoinen pelkkää rahtia kuljetavien alusten kanssa. Ennustelaskennan kannalta tämä ei ole ongelma, koska profiilia käytetään vain saman aluksen oman lähtötason muuntamiseen, mutta aluskohtaisia tunnuslukuja ei tällä perusteella pidä verrata alustyyppien välillä.

Kuljetustyö tavaravirroittain

Lähtötason toinen osa on kuljetustyö eli kuljetetun tavaramäärän ja kuljetusmatkan tulo (t·mpk), joka lasketaan päästölaskennassa etappitasolla. Etapin kuljetustyö jaetaan aluksella kuljetetuille tavaralajeille niiden

tonniosuuksien suhteessa. Kontti- ja ro-ro-aluksilla jako painotetaan lisäksi lastissa olevien kuljetusyksiköiden osuudella, ja tyhjät yksiköt saavat oman erän.

Jaettu kuljetustyö kootaan aluksittain ja eritellään kolmella ulottuvuudella: **tavaralaji SITC-pääluokkina, liikennesuunta** ja **alue**. Erittely tehdään vain kuljetustyölle, koska kysyntä kehittyy eri tavaravirroissa eri tahtia. Alue-ulottuvuutta käytetään keskimääräisen kuljetusetäisyyden muodostamiseen ja lähtötason rakenteen tarkasteluun. Kysyntäkerroin annetaan tavaralajin ja liikennesuunnan tasolla, joten kuljetustyö kootaan tälle tasolle ennen ennustelaskentaa.

Tyhjien kuljetusyksiköiden kuljetustyö sulautetaan ennen ennustelaskentaa saman aluksen lastattuun liikenteeseen tavaralajien kuljetustyön suhteessa. Näin tyhjäsiirrot kehittyvät lastatun liikenteen mukana eivätkä jää erilleen kysynnän kehityksestä. Jos aluksella ei ole lastattua liikennettä, tyhjäsiirrot jäävät omaksi eräkseen. Sulauttamisesta seuraa, että tyhjäsiirtojen osuus kuljetustyöstä pysyy lähtövuoden mukaisena: kaupan epätasapainon muutos, joka todellisuudessa vaikuttaa tyhjäsiirtojen tarpeeseen, ei näy ennusteessa.

Lähtötason vuoden on oltava sama kuin se vuosi, johon kysyntäaineiston kertoimet on suhteutettu. Muussa tapauksessa kysynnän kehitys laskettai-siin eri vuodesta kuin päästöjen lähtötaso.

7 Ennustemallin syötetiedot

7.1 Kuljetuskysyntä

Eksogeenisena syötteenä (luku 6.1) käytetään talous- ja kauppaennusteita tai muita kysyntäarvioita. Kysyntäaineisto muodostetaan kahdesta osasta, jotka muokataan samaan muotoon. Lähtövuoden rivit johdetaan Tullin meritse kulkevan kaupan tilastoista ja ennustevuosien rivit VALMA-mallin tavaraliikenne-ennusteesta. Molemmissa on liikennesuunta, tavaralaji SITC-pääluokkana, tavaramäärä ja keskimääräinen kuljetusetäisyys merimailleina. Molemmat suureet vaikuttavat kuljetustyyöhön: tavaramäärä kertoo, paljonko kuljetetaan, ja etäisyys sen, kuinka pitkälle.

Lähtövuoden rivit muodostetaan seuraavasti: Tullin tilastoista otetaan merikuljetuksina kulkenut kauppa alueittain ja tavaralajeittain. Kullekin alueelle liitetään etäisyys, joka on määritetty Helsingin ja alueen pääsataman välisenä meritse kuljettuna etäisyytenä. Tavaravirran keskimääräinen kuljetusetäisyys lasketaan tonneilla painotettuna keskiarvona, jolloin se kuvaa sitä, kuinka pitkälle kyseisen tavaralajin vienti tai tuonti tosiasiaassa suuntautuu.

Tullin tilastoissa osa kaupasta on kirjattu maakoodeille, jotka eivät vastaa yksittäistä maata. Tällaisia ovat esimerkiksi toimitukset aluksiin, määrittelemättömät maat ja alueet sekä avomeri. Näille kirjatut tavaramäärät jyvitetään varsinaisille alueille saman tavaralajin ja liikennesuunnan sisällä tonniosuuksien suhteessa. Menettely on tarpeen, koska näille riveille ei ole etäisyystietoa eikä niitä voida jättää poiskaan ilman, että tavaravirran kokonaismäärä pienenee.

Ennustevuosien rivit saadaan VALMAN tavaraliikennemallista. Myös näissä keskimääräinen kuljetusetäisyys lasketaan tonneilla painotettuna keskiarvona. Molempien osien etäisyydet muodostetaan samalla alue-etäisyydestaulukolla, jotta etäisyyskerroin kuvaa kaupan maantieteellisen jakauman muutosta eikä lähteiden välistä eroa etäisyyden määrittelyssä. Etäisyys on aluekohtainen tunnusluku eikä toteutunut kuljetusmatka; toteutuneet matkat sisältyvät mallin omaan kuljetustyöhön, jota etäisyyskerroin muuttaa vain suhteellisesti.

Aineistojen yhteensovittaminen edellyttää kahta ratkaisua. Aluejako otetaan ulkoisesta kysyntäennusteesta sellaisenaan, jotta lähtövuosi ja ennustevuodet ovat yhteismitallisia; alue voi olla yksittäinen maa tai laajempi alue, kuten Kaakkois-Aasia. Tavaralajiluokitus sen sijaan muunnetaan mallin käyttämään muotoon: VALMA-aineisto on CPA-luokiteltua, ja se muunnetaan SITC-pääluokiksi muunnosavaimella. Muunnos on välttämätön, koska kysyntäkerroin muodostetaan tavaralajin ja liikennesuunnan yhdistelmälle ja sen on kohdattava lähtötason vastaava luokka.

Kansainvälisen liikenteen kysyntäkertoimet lasketaan suhteessa saman aineiston lähtövuoteen: tietyn tavaralajin ja liikennesuunnan tuleva tavaramäärä jaetaan sen lähtövuoden määrällä, ja vastaavasti keskimatkalle. Kysyntäaineiston on siksi sisällettävä myös lähtövuoden rivit. Koska kerroin sidotaan tavaralajiin ja liikennesuuntaan, sama kaupan kasvu skaalaa johdonmukaisesti sekä Itämeren osuuden että mahdollisen jatko-osuuden ilman päästöjen kaksinkertaista laskentaa.

Lähtövuoden ja ennustevuosien tavaramäärät ovat peräisin eri lähteistä. Jos ulkoisen kysyntäennusteen lähtötaso poikkeaa Tullin tilastojen mukaisesta tasosta, kysyntäkerroin sisältää tämän eron kaupan kehityksen ohella. Asiaa käsitellään luvussa 10.3.

7.2 Energiatehokkuuden kehityspolku

Energiatehokkuuden kehitys on yksi mallin kolmesta parametrasta, joilla vaihtoehtoisia tulevaisuudenkuvia tuotetaan. Sille annetaan skenaariossa kehityspolku, ja polkua vaihtamalla nähdään, miten tehostumisen vauhti vaikuttaa energiantarpeeseen ja päästöihin.

Polku annetaan kertoimena, joka kuvaa muutosta suhteessa lähtövuoteen. Se voi olla esimerkiksi porrasmainen, jolloin ennustejakso jaetaan kausiin ja kullekin kaudelle määritetään oma kumulatiivinen muutos, tai se voi noudattaa jotain muuta muotoa. Kausikohtainen muutos on kumulatiivinen kokonaisvähennys suhteessa lähtövuoteen eikä vuosivauhti.

Polku on aluskannan tason oletus, jota sovelletaan kunkin aluksen omaan energiasuhteeseen samansuuruusena suhteellisenä muutoksena riippumatta aluksen iästä, koosta tai tyypistä. Yksittäisille aluksille voidaan tarvittaessa antaa oma kerroin, joka ohittaa yleisen polun. Todellisuudessa tehostuminen jakautuu epätasaisesti: uuden aluksen runko ja kone eivät muutu, joten sen tehostuminen on lähinnä operatiivista, kun taas vanhan aluksen korvautuminen uudella tuottaa kertaluokkaa suuremman muutoksen. Polku kuvaa siksi aluskannan keskimääräistä kehitystä eikä yksittäisen aluksen kehitystä.

Polku kuvaa nimenomaan teknistä ja operatiivista energiatehokkuutta, kuten aluskannan uusiutumista, koneteknisiä parannuksia ja operoinnin tehostumista. Polttoaineiden vihertyminen käsitellään erikseen kasvihuonekaasuintensiteetin puolella, jottei samaa vähennystä lasketa kahteen kertaan. Polulle ei ole vakiintunutta ulkoista lähdettä, joten se on käyttäjän valittavissa.

7.3 Sääntelyviitekehikset

Sääntelyn kehitys on kolmas parametreista, joilla vaihtoehtoisia tulevaisuudenkuvia tuotetaan. Se vaikuttaa ennusteeseen kasvihuonekaasuintensiteetin kautta: valittu viitekehys määrittää kullekin vuodelle suurimman sallitun kasvihuonekaasuintensiteetin eli sääntelykaton, joka ilmaistaa kasvihuonekaasupäästöinä kulutettua energiayksikköä kohden. Laskennassa aluksen kasvihuonekaasuintensiteettinä käytetään lähtötason arvon ja sääntelykaton pienempää lukemaa, kuten luvussa 8.1 kuvataan.

Sääntelykatto on käytännössä oletus siitä, että alus noudattaa sääntelyä. Jos aluksen lähtötason kasvihuonekaasuintensiteetti ylittää katon, laskennassa käytetään kattoa, eli oletetaan aluksen alentaneen intensiteettiään esimerkiksi polttoainevalinnoillaan. Ennusteen päästöluvut kuvaavat siten sääntelyn mukaista kehitystä, ja se, kuinka paljon muutosta tämä edellyttää, näkyy sääntelyvajeena.

Sääntely koskee vain ennustevuosia. Lähtövuoteen ei kohdistu sääntelykattoa, koska tässä kuvatut velvoitteet eivät olleet silloin voimassa. Tästä seuraa, että aluskohtainen kasvihuonekaasuintensiteetti on mitattu vuodelta, jolloin polttoainevalintoihin ei kohdistunut päästökustannusta eikä intensiteettivaatimusta. Siirtymä sääntelemättömästä lähtötasosta vaatimuksen

mukaiseen tasoon tapahtuu mallissa kerralla ensimmäisenä ennustevuonna.

Oletus on täsmällinen: katon ylittävän aluksen intensiteetti asettuu täsmälleen kattoon. Mallissa ei ole FuelEU:n yhdistämis-, tallettamis- ja lainausmekanismeja (pooling, banking ja borrowing), joilla vaatimus käytännössä täytetään laivastotasolla eikä aluskohtaisesti, eikä mahdollisuutta alittaa vaatimus seuraamusmaksua vastaan. Malli ei myöskään rajoita vaihtoehtoisen polttoaineen saatavuutta tai hintaa. Nämä oletukset vaikuttavat samaan suuntaan, joten ennustetut päästöt kuvaavat pikemminkin sääntelyn täysimääräisen teknisen toteutumisen alarajaa kuin todennäköisintä toteumaa. Malli ei myöskään ota kantaa siihen, millä polttoaineilla vaatimus täytetään; se asettaa ainoastaan katon kasvihuonekaasuintensiteetille.

Kattoa sovelletaan kaikkeen liikenteeseen. Sekä FuelEU Maritime että EU:n päästökauppa rajaavat soveltamisalansa kahdella tavalla: aluskoon mukaan, jolloin pienimmät alukset jäävät velvoitteiden ulkopuolelle, ja maantieteellisesti, jolloin ETA-alueen sisäiset matkat ja satamakäynnit kuuluvat soveltamisalaan täysimääräisesti, ETA-alueen ja kolmannen maan väliset matkat vain osittain ja kokonaan ETA-alueen ulkopuolinen liikenne ei lainkaan. Malli ei tee kumpaakaan rajausta, vaan katto kohdistuu jokaiseen alukseen kokoluokasta riippumatta ja aluksen koko energiaan riippumatta siitä, missä se on kulutettu. Mallin sääntely toimii siis maailmanlaajuisena vaatimuksena, ja vähennys on tästä syystä yliarvio. Vaikutus on suurin kolmansien maiden välisessä liikenteessä sekä pienten alusten kotimaanliikenteessä. Rajoite ei koske IMO:n viitekehystä, joka on maailmanlaajuinen; sille katon soveltaminen aluksen koko energiaan on oikein. Rajaukseen tarvittava tieto on mallissa jo laskettuna, mutta sitä ei toistaiseksi viedä ennusteeseen.

Katon lisäksi sääntelykehykset sisältävät huojennuksia ja erillisvelvoitteita, joita malli ei tunne. Merkittävin niistä on jäävahvistetuille aluksille ja jäissä kulkemisen vaatimalle lisäenergialle myönnettävä määräaikainen huojennus, joka on Suomen liikenteessä poikkeuksellisen olennainen, koska jäävahvistettujen alusten osuus on täällä suuri. Vastakkaiseen suuntaan vaikuttaa satamasähkövelvoite, joka poistaa vuodesta 2030 alkaen osalta alustyypeistä satamassaolon aikaiset päästöt. Yhteisvaikutuksen suuntaa ei voi päätellä ilman laskentaa, mutta ennustevuosien luvut eivät sääntelyn osalta ole täydellinen kuvaus velvoitteista.

Viitekehys on valittavissa. Vaihtoehtoina ovat EU:n FuelEU Maritime -asetus sekä Kansainvälisen merenkulkujärjestön Net-Zero Framework. Jälkimmäistä ei ole tätä kirjoitettaessa hyväksytty, vaan sen hyväksymiskäsittely on kesken; mallissa käytetään valmistelussa olevan luonnoksen mukaisia tavoitetasoja.

Net-Zero Frameworkissa on kaksi tavoitetasoa, ja molemmat ovat mallissa valittavissa:

- Perustavoite on vähimmäisvaatimus. Aluksen, jonka kasvihuonekaasuintensiteetti ylittää perustavoitteen, on hankittava korvausyksiköitä
- Suoran vaatimustenmukaisuuden tavoite on tiukempi. Sen alittava alus ansaitsee ylijäämäyksiköitä, jotka se voi myydä.

Mallissa tasot eroavat toisistaan ainoastaan sääntelykaton tasossa. Korvaus- ja ylijäämäyksiköitä ei lasketa, kuten luvussa 8.2 todetaan. Tiukempi tavoitetaso tuottaa siten pienemmät ennustetut päästöt ja suuremman sääntelyvajeen.

Perustavoitteen saavuttaminen ei tarkoita, että alus olisi vaatimustenmukainen ilman lisäkustannuksia: yksikkövelvoite jatkuu perustavoitteen ja suoran tavoitteen välisellä alueella. Mallissa tätä ei lasketa, joten perustavoitteella laskettu sääntelyvaje kuvaa etäisyyttä perustavoitteeseen eikä vaatimustenmukaisuuden kokonaiskustannusta. Koska tavoitetasot ovat todellisuudessa voimassa samanaikaisesti, kumpikaan ajo ei kuvaa IMO:n järjestelmää sellaisenaan vaan tilannetta, jossa vain toinen taso olisi olemassa.

Molemmat tasot ovat mallissa mukana, koska niiden välinen ero on itsessään olennainen tieto. Ajamalla ennuste molemmilla tasoilla nähdään, kuinka suuri liikkumavara jää perustavoitteen ja suoran vaatimustenmukaisuuden välille.

Toisin kuin energiatehokkuuden kehityspolku, sääntelykattojen arvoja käyttäjä ei voi asettaa vapaasti vaan ne perustuvat voimassa olevaan tai valmistettavaan sääntelyyn. Kattoarvot ovat mallin parametreja, ja ne päivitetään sääntelyn muuttuessa.

8 Päästöennustelaskenta

8.1 Laskennan kulku

Ennustelaskennan perusyksikkö on laskentarivi, joka on aluksen ja tavaravirran yhdistelmä. Tavaravirta määräytyy tavaralajin ja liikennesuunnan mukaan. Yhdellä aluksella on yhtä monta riviä kuin se kuljettaa eri tavaravirtoja, ja yhdessä tavaravirrassa on yhtä monta riviä kuin siinä liikennöi aluksia. Merkitään alusta kirjaimella *a*, tavaravirtaa kirjaimella *v* ja ennustevuotta kirjaimella *t*. Ennustevuoden tulokset lasketaan kullekin riville seuraavasti:

Kuljetustyö

$$TW(a, v, t) = TW(a, v, 0) \times M_{\text{määrä}}(v, t) \times M_{\text{matka}}(v, t) \quad (1)$$

Energiantarve

$$E(a, v, t) = TW(a, v, t) \times EE(a) \times M_{ee}(t) \quad (2)$$

Päästöt

$$P(a, v, t) = E(a, v, t) \times \min[FE(a), \text{katto}(t)] \quad (3)$$

Säätelyvaje

$$V(a, v, t) = E(a, v, t) \times \max[FE(a) - \text{katto}(t), 0] \quad (4)$$

Alaindeksi 0 tarkoittaa lähtötasoa. Merkinnoista käy ilmi, millä tasolla kukin suure määräytyy:

- TW eli kuljetustyö on rivikohtainen: se riippuu sekä aluksesta että tavaravirrasta
- EE ja FE eli energiantensiteetti ja kasvihuonekaasuintensiteetti ovat aluksen ominaisuuksia: samat kaikilla kyseisen aluksen riveillä
- M_määrä ja M_matka eli kysyntäkertoimet ovat tavaravirran ominaisuuksia: samat kaikilla kyseisen tavaravirran riveillä
- M_ee eli energiatehokkuuden kehityspolku ja katto eli säätelykatto riippuvat vain vuodesta: samat kaikilla riveillä

Säätely ohjaa kasvihuonekaasuintensiteettiä alaspäin ajan myötä, mutta lähtötasoltaan kattoa puhtaammat alukset eivät oletusarvoisesti heikkene: laskennassa käytetään aina pienempää arvoa.

Laskenta on kertolaskujen ketju, jossa ei ole takaisinkytkentöjä: mikään myöhempi vaihe ei vaikuta aiempaan, eivätkä alusten tai tavaravirtojen valinnat vaikuta toisiinsa. Rakenteesta seuraa kaksi ominaisuutta. Energiantarve reagoi kuljetuskysyntään ja energiatehokkuuteen mutta ei sääntelyyn, kun taas päästöt reagoivat kaikkiin kolmeen kehityspolkuun; säätely vaikuttaa käytetyn energian laatuun, ei sen määrään. Lisäksi tulos on purettavissa osiinsa, sillä kunkin kehityspolun osuus kokonaismuutoksesta saadaan ajamalla malli ilman kyseistä kerrointa.

Ennusteen kokonaistulos on kaikkien laskentarivien summa. Kysyntäkerroin muodostetaan tavaravirran tasolla, mutta laskenta tehdään rivitasolla, koska energiantensiteetti ja kasvihuonekaasuintensiteetti vaihtelevat aluksittain.

Lähtövuosi lasketaan samalla laskennalla kuin ennustevuodet. Sen kysyntä- ja energiatehokkuuskertoimet ovat ykkösiä, eikä sääntelykattoa sovelleta, joten tulokseksi tulee lähtövuoden oma taso. Lähtövuoden rivi toimii siten sekä vertailukohtana samassa taulukossa että laskennan tarkistuksena, koska sen on täsmäittävä päästölaskennan tulokseen. Kuva 4 esittää laskennan yhdellä rivillä lukuarvoina.

Alus A, tavaravirta SITC 2 vienti

Lähtötaso päästölaskennasta	Kehityspolku skenaariosta	Ennustevuosi
TW rivikohtainen 240 milj. t-mpk	M määrä 1,20 - M matka 1,05 tavaravirran ominaisuus	302 milj. t-mpk
EE aluskohtainen 0,20 MJ/t-mpk	M ee 0,85 vuosikohtainen	0,17 MJ/t-mpk
FE aluskohtainen 92 gCO ₂ e/MJ	katto 78 - käytetään pienempää vuosikohtainen	78 gCO₂e/MJ

Rivin tulos

Energiantarve = 302 milj. × 0,17
51 milj. MJ

Päästöt = 51 milj. × 78
4 010 t CO₂e

Sääntelyvaje = 51 milj. × (92 - 78)
714 t CO₂e

Kasvihuonekaasuintensiteetti ovat lähteeltä vanaveteen. Luvut ovat hypoteettisia.

Ennusteen kokonaistulos on kaikkien laskentarivien summa.

Kuva 4. Ennustelaskenta yhdellä laskentarivillä. Lähtötason suuret muunnetaan kehityspoluilla ennustevuoden arvoiksi, joista lasketaan rivin päästöt ja sääntelyvaje. Luvut ovat hypoteettisia.

8.2 Ennusteen tulokset

Ennusteen tulokset esitetään vuosittain. Ensisijaiset tulossuureet ovat ulkomaan tavaraliikenteen kokonaispäästöt hiilidioksidiekvivalentteina sekä sääntelyvaje.

Sääntelyvaje on se päästömäärä, joka syntyy siitä, että aluksen lähtötason kasvihuonekaasuintensiteetti ylittää sallitun katon. Vaje kuvaa, kuinka paljon päästöjä on vähennettävä tai kompensoitava, jotta sääntelyn vaatimus täyttyy. Koska soveltamisalaa ei rajata (luku 7.3), vaje on yläraja todelliselle veloitteelle, ja se kannattaa lukea suhteellisena mittarina: vaje kertoo luotettavasti, mihin aluksiin ja alustyyppihin muutospaine kohdistuu ja missä suhteessa, mutta ei veloitteen absoluuttista suuruutta.

Vaje mahdollistaa jatkolaskennat, joissa arvioidaan sääntelyn kustannusvaikutuksia Suomen ulkomaankaupan kuljetuksille. Arviointi ei kuitenkaan ole suoraviivaista: vajeen kattaminen esimerkiksi vaihtoehtoisilla polttoaineilla edellyttää korvaavan polttoaineen energiasisällön, kasvihuonekaasuintensiteetin ja saatavuuden huomioon ottamista. Nykyisessä

malliversiossa tätä laskentaa ei ole toteutettu, vaan malli tuottaa ainoastaan vajeen suuruuden. Päästöluku ja sääntelyvaje ovat saman asian kaksi puolta, eikä niitä voi laskea yhteen: päästöluku kuvaa sääntelyn mukaista kehitystä ja vaje sen edellyttämää vähennystä. Vaje lasketaan aina valittua kattoa vasten, joten yksittäinen ajo ei kerro, mihin alus asettuu suhteessa molempiin IMO-tavoitetasoihin; se selviää vertaamalla molemmilla tasoilla laskettuja tuloksia, kuten luvussa 7.3 todetaan. Malli ei myöskään laske ylijäämää suoran vaatimustenmukaisuuden tavoitteen alittaville aluksille.

Tulokset voidaan eritellä liikennesuunnittain ja tavaralajeittain, koska kysyntäkerroin muodostetaan näillä tasoilla. Tätä tarkempaa erittelyä ei esitetä, koska se olisi vain lähtövuoden rakenne skaalattuna.

Ennustetaulukon lähtövuoden luku ei ole sama kuin Suomen meriliikenteen toteutunut kokonaispäästö, koska ennusteesta on rajattu pois transito- ja kotimaan liikenne ja koska muu matkustajaliikenne käsitellään vakiona. Ero on tunnettu ja laskettavissa, mutta se on syytä huomata verrattaessa ennusteen lukuja päästölaskennan lukuihin.

Ennuste soveltuu kuljetuskysynnän muutoksen päästövaikutuksen arviointiin annetulla aluskannalla, sääntelyn tavoitetasojen vertailuun, vähennystarpeen suuruusluokan ja kohdentumisen arviointiin sekä päästöjen rakenteelliseen tarkasteluun tavaralajeittain ja liikennesuunnittain. Se ei sovellu yksittäisen aluksen tai varustamon päästöjen ennustamiseen, koska kehityspolut ovat koko aluskannalle yhteisiä oletuksia. Se ei sovellu EU:n päästökaupan kustannusten tai vaatimustenmukaisuuden laskentaan, koska laskenta on lähteeltä vanaveteen -perusteinen, kun taas päästökauppa kattaa aluksen omat päästöt, eikä päästökaupan soveltamisalan jako kulje ennusteessa mukana. Päästökauppa ei myöskään ole intensiteettikatto vaan päästöjen hinnoittelu, joten mallin ainoalla sääntelymekanismilla ei voi kuvata sen ohjausvaikutusta. Se ei myöskään sovellu sellaisten toimenpiteiden arviointiin, jotka vaikuttavat toimijoiden käyttäytymiseen, reitteihin tai aluskannan rakenteeseen, eikä todennäköisyyksien esittämiseen. Ennustetulosten tulkintaa käsitellään luvussa 10.4.

9 Tulosten vertailtavuus

Mallin tuloksille ei ole tässä vaiheessa mielekästä vertailukohtaa. Mallin las-tilähtöinen perusluonne rajaa vertailukelpoiset tarkastelut hyvin kapeaksi joukoksi. Vertailu, joka perustuu alusten kokonaispäästöihin tietyllä alueella ja ajanjaksolla, mittaa aluksia ja maantiedettä, kun taas malli mittaa kuljetusketjuja. Kyse on kahdesta eri kohteesta, eikä lukujen erosta voi päätellä kummankaan oikeellisuutta.

Aiemmin käytössä ollut MERIMA-malli on lähin vastine, koska sekin tarkastelee Suomen ulkomaan meriliikennettä kuljetusketjulähtöisesti. Vertailua

rajoittaa kuitenkin se, että mallien rajaukset ja menetelmät eroavat toisistaan ja että tuoreimmat MERIMA-tulokset koskevat vuotta 2021 ja ensimmäiset VILTTI-tulokset vuotta 2023. Kun sekä tarkasteluvuosi, rajausta että menetelmä eroavat, lukujen erosta ei voi päätellä, mikä osuus siitä johtuu mistäkin.

Tilanne muuttuu, kun useamman tarkasteluvuoden laskenta on käytettävissä. Vuosien vertaaminen keskenään kertoo, kehittyvätkö tulokset odotetulla tavalla, ja tekee poikkeamien tunnistamisen mahdolliseksi. Samalla vertailu MERIMA-mallin tuloksiin muuttuu mielekkäämmäksi, kun tarkasteluvuosien ero ei enää selitä osaa erosta.

Aluskohtaisella tasolla vertailukohtina olisivat MRV-järjestelmä ja STEAM-malli, mutta ne eivät ole mallista riippumattomia: ne ovat sen omaa lähteaineistoa. Vertailussa ei siten todennettaisi tulosten oikeellisuutta vaan korkeintaan se, että jyvitys toistaa syötetietonsa. Sekään ei varmentaisi menetelmää, koska mallin muodostamat matkat voivat poiketa lähteaineiston liikennetiedoista, vaikka aluskohtaiset kulutussuureet olisivat samat.

Malli ei myöskään korvaa Suomen kansallista kasvihuonekaasuinventaariota eivätkä sen tulokset ole verrannollisia inventaarion lukuihin. Inventaariossa vesiliikenteen päästöt kohdennetaan polttoaineen myyntipaikan mukaan, kun taas malli erottaa Suomen liikenteen osuuden kuljetusketjuittain. Sama alus voi tankata Suomessa mutta liikennöidä muualla, ja päinvastoin.

Mallia kehitetään ja lähteaineistot muuttuvat, joten eri versioilla lasketut tulokset eivät myöskään ole keskenään vertailukelpoisia. Kukin tulosraportti ilmoittaa, mihin menetelmäkuvausten versioon se perustuu. Aikasarjan yhtenäisyys turvataan laskemalla aiemmat tarkasteluvuodet uudelleen aina, kun mallia on muutettu.

10 Epävarmuudet ja tuloksin rajat

Tulosten luotettavuus riippuu kahdesta toisistaan erillisestä tekijästä: lähteaineistojen laadusta ja mallin omista menetelmällisistä valinnoista. Malli laskee kuljetusketjun polttoaineenkulutuksen etapeittain ja johtaa siitä muut vaikutussuureet. Laskennassa käytettävät aluskohtaiset arvot saadaan pääsääntöisesti ulkoisista lähteaineistoista, joista muodostetaan mallin tarvitsema syöteaineisto. Kulutuksen taso määräytyy siten lähteaineistoissa, ja tulokset periytyvät niiden laadusta, kattavuudesta ja päivitysrytmistä. Menetelmälliset valinnat vaikuttavat lopputulokseen tästä riippumatta.

10.1 Lähdeaineistoihin liittyvät epävarmuudet

Tarkimmillaan liikennetiedot ovat kuljetusketjun ensimmäisellä tai viimeisellä etapilla, joka perustuu suoraan meriliikennetilastoihin. Tällöin sekä alus että kuljetettu erä ovat tunnistettavissa, joten aluskohtainen päästö-tieto voidaan jyvittää luotettavasti.

Heikoimmillaan liikennetiedot ovat cross-trade-liikenteessä eli kuljetuksissa, jotka tapahtuvat kokonaan Suomen satamien ulkopuolella. Esimerkiksi lähetys Malesiasta Saksaan, joka jatkaa sieltä erillisellä aluksella Suomeen, näkyy meriliikennetilastoissa vain Saksan ja Suomen välisen etapin osalta. Ketjun alkupää päätellään Tullin kauppätietojen ja Suomen satamiin kohdistuneiden matkojen erotuksesta. Tällaisen osuuden osalta ei tiedetä, millä aluksella tai millä eräkoolla kuljetus on tosiasiaa tehty, joten laskennassa käytetään sijaisalusta ja oletettua eräkokoa.

Aluskohtaiset päästösuureet nojaavat valtaosin MRV-järjestelmän raportoituihin tietoihin ja STEAM-mallin tuottamiin lukuihin. Aineistoa täydennetään tarvittaessa muista lähteistä ja tilastollisin menetelmin. Täydentäviin aineistoihin ja tilastollisesti johdettuihin arvoihin liittyy suurempi epävarmuus kuin suoraan raportoituihin tietoihin, joskaan viimeksi mainitutkaan eivät ole virheettömiä eikä niiden oikeellisuutta voida laskennassa todentaa. Laskennassa käytetään parasta saatavilla olevaa tietoa, joten epävarmuus määräytyy viime kädessä lähdeaineistojen laadun ja kattavuuden mukaan eikä ole laskentamenetelmällä poistettavissa.

Osa lähdeaineistoista on puutteellisia siinä määrin, ettei niitä voida käsitellä ohjelmallisesti. Luvussa 3.9 kuvatulla tavalla noin 60 prosenttia syöteaineistojen muodostamisesta voidaan automatisoida, ja loppuosa edellyttää tapauskohtaista käsittelyä. Käsin tehtävään täydentämiseen liittyy sekä epävarmuutta että riski siitä, että eri raportointivuosien käsittely poikkeaa toisistaan.

10.2 Päästölaskennan menetelmälliset valinnat

Päästölaskennassa tehdään useita oletuksia, jotka vaikuttavat tuloksiin suoraan. Merkittävimpiä ovat seuraavat:

Epäsuorien matkojen muodostaminen. Cross-trade-osuuksille määritetään kuljetusmuoto, jälleenlastaussatama, eräkokoa, matkojen lukumäärä ja sijaisalus ilman havaintoa toteutuneesta kuljetuksesta. Nämä ovat mallin merkittävimpiä yksittäisiä epävarmuuslähteitä.

Kiinnittämisen portaat. Kauppaerien kiinnittäminen matkoille tehdään portaittain löystyvillä ehdoilla. Väljillä portailla tehty kiinnittäminen on epävarmempi kuin tiukoilla ehdoilla tehty. Kiinnittämisporras tallennetaan, joten tulosten luotettavuutta voidaan arvioida kiinnittämistavan mukaan.

Täyttöasteoletukset. Kontti- ja ro-ro-alusten kapasiteetin käyttöaste on kiinteä oletus, koska todellista täyttöastetta ei voida päätellä Suomen satamien tiedoista. Oletus vaikuttaa suoraan siihen, kuinka suuri osuus etapin päästöistä jyvitetään yksittäiselle kuljetusyksikölle.

Reittiverkoston ajankohta. Konttiliikenteen reittiverkosto on kerätty kertaluonteisesti, eikä sitä päivitetä vuosittain. Reittiverkostot muuttuvat, joten poikkeama toteutuneesta kasvaa ajan myötä.

Talviolosuhteet. Kuten luvussa 2.4 todetaan, talviolosuhteiden vaikutus sisältyy tuloksiin kokonaistasolla mutta ei ole eriteltävissä.

10.3 Ennustemallin epävarmuudet

Ennustemallin epävarmuudet ovat luonteeltaan erilaisia kuin päästölaskennan: ne eivät koske havaintojen puutteita vaan tulevaisuutta koskevia oletuksia. Koska malli laskee yhden kehitysuran kerrallaan (luku 6.2), epävarmuus ei näy yksittäisessä tuloksessa. Ennusteluku on yhtä tarkka kuin sen epävarmin oletus, ja se on luettava yhdessä alla lueteltujen oletusten kanssa.

Liikenteen rakenteen jäädyttäminen. Ennusteessa liikennöivät samat alukset samoilla reiteillä kuin lähtövuonna, kuten luvussa 6.2 kuvataan. Rakenteelliset muutokset, kuten siirtymä suurempiin aluksiin tai reittien muuttuminen, eivät näy tuloksissa. Tämä on ennusteen merkittävin yksittäinen rajoite. Virheen suunta ei ole yksikäsitteinen — suurempi aluskoko pienentäisi päästöjä suoritetta kohti, pidentyvät reitit kasvattaisivat niitä — mutta vaikutus kasvaa sitä suuremmaksi, mitä kauempana ennustevuosi on lähtövuodesta.

Energiatehokkuuden kehityspolku. Käyttäjän valitsema polku (luku 7.2) vaikuttaa suoraan ennustettuun energiantarpeeseen ja päästöihin. Koska polku on koko aluskannalle yhteinen, mutta todellinen tehostuminen syntyy pääosin aluskannan uusiutumisesta, tehostumisen ajoitus on ennusteessa todennäköisesti liian aikainen ja tasainen, ja jos kannassa on paljon vanhaa tonnistoa, pitkän aikavälin tehostuminen jää aliarvioiduksi.

Sääntelyn noudattamista koskeva oletus. Luvussa 7.3 kuvatut oletukset (täsmällinen noudattaminen, joustomekanismien puuttuminen ja rajaa-maton soveltamisala) yliarvioivat vähennystä, joten ennustetut päästöt ovat pikemminkin sääntelyn täysimääräisen teknisen toteutumisen alaraja kuin todennäköisin toteuma. Huojennusten ja erillisvelvoitteiden puuttumisen yhteisvaikutuksen suuntaa ei voi päätellä ilman laskentaa.

Sääntelyn keskeneräisyys. IMO:n Net-Zero Frameworkia ei ole hyväksytty, joten sen tavoitetasot perustuvat valmistelussa olevaan luonnokseen. Tasot voivat muuttua hyväksymiskäsittelyssä.

Kysyntäaineiston lähteiden yhteensopivuus. Kysyntäkerroin muodostetaan Tullin tilastoihin perustuvan lähtövuoden ja ulkoisen kysyntäennusteen ennustevuosien suhteena. Lähteiden tasoerot siirtyvät kertoimeen sellaisinaan, eikä eroa voi laskennallisesti erottaa kaupan kehityksestä. Sama koskee keskimääräistä kuljetusetäisyyttä, joka on aluekohtainen tunnusluku eikä toteutunut kuljetusmatka.

Kuljetuskysynnän ja energiantarpeen lineaarinen suhde. Energiantarve skaalautuu suoraan kuljetustyön mukana: jos kysyntä kasvaa viidenneksen, energiantarve kasvaa viidenneksen samalla aluskannalla. Todellisuudessa lisäsuorite edellyttää joko parempaa täyttöastetta, lisää matkoja tai uusia aluksia, ja näillä on erilaiset energiaseuraukset. Virheen suunta riippuu siitä, miten kasvu jakautuu näiden kesken.

Lähtövuoden ainutkertaisuus. Kaikki aluskohtaiset energia- ja kasvihuonekaasuintensiteetit ovat yhdeltä vuodelta. Jos jonkin aluksen lähtövuosi on ollut poikkeuksellinen esimerkiksi liikennöintialueen, telakoinnin tai jäätälven vuoksi, poikkeama monistuu koko ennustejaksolle. Vaikutus on yksittäisen aluksen tasolla merkittävä ja koko aluskannan tasolla vähäisempi.

Matkustajaliikennettä koskevat oletukset. Luvussa 6.3 kuvatut matkustajaliikenteen oletukset eivät perustu matkustajamäärien ennusteeseen, joten rahdista poikkeava kehitys ei näy tuloksissa.

10.4 Tulkinnan rajat

Mallin raja-alue ei ole selvärajainen maantieteellinen tai ajallinen leikkaus. Suomen kuljetustarpeesta johtuva alusliikenne määrittyy epäsuorasti kuljetusketjujen kautta eikä palaudu karttaan tai kalenteriin rajattavaan yksikköön. Raja-alue on siksi tulkinnanvarainen, ja sen sisältö on luettavissa tämän asiakirjan jyvityssäännöistä.

Mallia ei ole tarkoitettu yksittäisen aluksen tai varustamon päästöjen laskentaan tai todentamiseen. Aluskohtaiset luvut ovat Suomen liikenteelle erotettuja osuuksia, eivät aluksen kokonaispäästöjä. Ennustetulokset osoittavat, mihin annetut oletukset johtavat, eivätkä ne kuvaa todennäköisintä kehitystä (luku 6.2). Niitä on siksi suositeltavaa tarkastella ensisijaisesti kehityssuuntina ja eri syötevalintojen välisinä eroina.

10.5 Kehityskohteet

VILTTI on kehitetty käytettävissä olevan aineiston ehdoilla, ja syöteaineistojen muodostaminen on ollut ensimmäisessä vaiheessa työn laajin osuus. Syöteaineistojen kehittäminen on yksi keskeisistä jatkokehityskohteista. Lisäksi ennustemalliin on tunnistettu useita kehityskohteita, joiden avulla

liikenteen rakennetta, aluskannan muutosta ja sääntelyn vaikutuksia voidaan kuvata nykyistä realistisemmin.

Syöteaineistojen automaatioaste. Nykyisin noin 60 prosenttia syöteaineistojen muodostamistyöstä voidaan tehdä ohjelmallisesti, ja tavoitteena on yli 90 prosenttia. Vuonna 2027 käyttöön otettava merenkulun tiedonhallintajärjestelmä NEMO voi osaltaan edistää tätä tavoitetta.

Useamman tarkasteluvuoden hyödyntäminen. Nykyisessä malliversiossa liikenteen rakenne pidetään lähtövuoden tasolla, koska päästölaskennalla on toistaiseksi muodostettu vain yhden vuoden tilanne. Toinen tarkasteluvuosi antaa ennen muuta havaintoon perustuvan mittarin niille suoureille, jotka nyt ovat oletuksia: aluskannan uusiutumisenopeuden, samojen alusten toteutuneen tehostumisen ja polttoainejakauman muutoksen. Kahden vuoden erotus kelpaa oletusten kalibrointiin ja suuruusluokan tarkistukseen, mutta ei sellaisenaan ekstrapoloitavaksi kehitysuraksi, koska yksittäisten vuosien välillä vaikuttavat myös ohimenevät tekijät. Liikenteen rakenteen trendin johtaminen edellyttää useampaa tarkasteluvuotta.

Energiatehokkuuden aluskohtaistaminen. Luontevin jatkokehitys on korvata aluskannalle yhteinen kehityspolku (luku 7.2) aluskohtaisella tarkastelulla, jossa aluksen ikä, alustyyppin mukainen käyttöikä ja korvaavan aluksen energiatehokkuus määräävät, milloin ja kuinka paljon aluskannan tehokkuus paranee. Tällöin tehostuminen seuraisi kannan uusiutumisesta laskennallisesti sen sijaan, että se annettaisiin oletuksena. Aluksen rakennusvuosi on jo lähtöaineistossa, joten kyse on ennen muuta laskentarakenteen muutoksesta.

Päästökaupan mukainen laskentaperuste. Ennuste tuotetaan lähteeltä vanaveteen -perusteisena, koska sääntelykatot on annettu sillä perusteella. EU:n päästökauppa sen sijaan kattaa aluksen omat päästöt, ja sen soveltamisala riippuu matkan päätepisteistä. Kumpikin tieto lasketaan jo tarkasteluvuoden päästölaskennassa, mutta kumpaakaan ei toistaiseksi kuljeteta ennusteeseen. Niiden lisääminen mahdollistaisi päästökaupan kannalta vertailukelpoiset ennusteluvut ja edellyttäisi oletusta siitä, millä polttoaineilla sääntelyn vaatimus täytetään.

Sääntelyn joustojen ja soveltamisalan tarkentaminen. Luvussa 7.3 kuvatuista rajoitteista koon ja liikennealueen mukainen raja, jääluokkahuojennus ja satamasähkövelvoite ovat toteutettavissa mallissa jo laske- tulla tiedolla ja siksi lähimpänä toteutusta. Joustomekanismien mallintami- nen sen sijaan edellyttää aluskohtaista päätöslogiikkaa ja kuuluu jäljem- pänä kuvattuun kustannustarkasteluun.

Kustannusvaikutusten laskenta. Laajin yksittäinen kehityskohde on kyt- keä malliin aluskohtainen kustannustarkastelu, jossa aluksella on käytettä- vissään useita vaihtoehtoja — fossiilisen polttoaineen käytön jatkaminen ja

maksuvelvoitteen kantaminen, biopolttoaineen sekoittaminen, siirtyminen vaihtoehtoiseen polttoaineeseen, yhdistämismekanismin käyttö tai aluksen korvaaminen uudella — ja valinta määräytyy näiden kustannusvertailusta. Tällöin sääntelyn noudattaminen olisi laskennan tulos eikä oletus, ja samalla saataisiin tieto siitä, millä polttoaineella vaatimus täytetään. Kerros ei kuitenkaan poista epävarmuutta vaan siirtää sen polttoaineiden ja päästöoikeuksien hintakehitykseen, joten sitä ei kannata rakentaa ilman herkkyystarkastelua. Lisäksi on huomattava, että aikarahtauksessa polttoaineen maksaa rahtaaaja ja muutostyön varustamo, mikä hidastaa siirtymää enemmän kuin puhdas kustannusvertailu antaisi ymmärtää.

Herkkyystarkastelun vakiointi. Useiden oletusyhdistelmien ajaminen on tarkoitus vakioida osaksi raportointia niin, että tuloksena esitetään vaihteluväli eikä yksittäistä lukua.

Kotimaan liikenteen ennuste. Kotimaan liikenteen ennuste otetaan käyttöön, kun soveltuva kuljetuskysyntäennuste on saatavissa (luku 6.3).

Päästölaskenta ja ennustelaskenta muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jossa tilastoihin perustuva tarkasteluvuosi asettuu osaksi pidempää, oletuksiltaan läpinäkyvää tarkastelujaksoa.

Lähdeluettelo

EcoTransIT World (2024): Environmental Methodology and Data Update 2024, versio 3.2, 23.2.2024. https://www.ecotransit.org/wp-content/uploads/20240308_Methodology_Report_Update_2024.pdf

Euroopan parlamentti ja neuvosto (2015). Asetus (EU) 2015/757 meriliikenteen hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta, raportoinnista ja todentamisesta sekä direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta. Konsolidoitu toisinto 1.1.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:02015R0757-20250101>

Euroopan parlamentti ja neuvosto (2023). Asetus (EU) 2023/1805 uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä ja direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32023R1805>

Poikela, A., Strandström, M. (2024) Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot – 2. päivitys Liiteraportti 1: Ainespuun korjuun ja kaukokuljetuksen suorat CO₂ -päästöt ja energiankulutus 2022 Metsäteho Oy, saatavilla: <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2024-5-paastoselvitys.pdf>

Salanne, I., Mäkelä, K., Tikkanen, M. (2022): MERIMA Suomen laivaliikenteen tavarakuljetusten päästöt -mallit, saatavilla: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/MERIMA_tulosraportti_2005-2019_31052021.pdf

Smart Freight Centre (2026): Clean Cargo Ocean Containership Greenhouse Gas Emission Intensity Calculation Methods, saatavilla: <https://www.smartfreightcentre.org/en/skills/library/clean-cargo-emissions-calculation-method/> Tilastokeskus (2026a). Ulkomaan meriliikenne 2025. Suomen virallinen tilasto. <https://stat.fi/fi/tilasto/uvliik>

Tilastokeskus (2026a). Ulkomaan meriliikenne 2025. Suomen virallinen tilasto. <https://stat.fi/fi/tilasto/uvliik>

Tilastokeskus (2026b). Ilmaliikenne 2025. Suomen virallinen tilasto. <https://stat.fi/fi/tilasto/ilmaliik>

Traficom (2022). Valtakunnalliset liikenne-ennusteet 2022. <https://www.traficom.fi/files/media/publication/VLE%202022.pdf>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom
PL 320, 00059 TRAFICOM
p. 029 534 5000
traficom.fi

TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto