TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto

Valtakunnallinen liikenteen mallijärjestelmä: Tavaraliikenteen malli

Miikka Niinikoski, Valtteri Koski,
Ari Sirkiä, Konsta Tarkkala,
Ilpo Ratinen, Katja Ojala,
Jarkko Jalovaara ja Juha Honkatukia

Luonnos
11.11.2026

Traficomin julkaisuja
XX/2026

Sisältö

1 Johdanto 4

2 Lähtöaineistot 8

2.1 Kuljetusvirta-aineistot 8
2.1.1 Kotimaan kuljetusvirrat 8
2.1.2 Ulkomaan kuljetusvirrat 9

2.2 Talousennuste 9

2.3 Aineistojen tavaraluokitukset ja niiden yhdistely 10

3 Tarjonnan kuvaus 12

3.1 Aluejako 12
3.1.1 Kotimaa 12
3.1.2 Ulkomaat 12

3.2 Liikenneverkko 13
3.2.1 Kotimaan verkkokuvaus 13
3.2.2 Ulkomaan verkkokuvaus 14

3.3 Kuljetustavat, ajoneuvo- ja alusluokat 16
3.3.1 Ajoneuvokantamalli 17
3.3.2 Ajoneuvojen keskikuormitus 18

3.4 Kustannusfunktiot 18
3.4.1 Kustannusfunktioiden rakenne 19
3.4.2 Tiekuljetuksen kustannukset 21
3.4.3 Rautatiekuljetuksen kustannukset 22
3.4.4 Alusliikenteen kustannukset 24
3.4.5 Kustannustiedosto 26

4 Tuotosmalli 27

4.1 Johdanto 27

4.2 REFINAGE: alueellinen tasapainomalli 28

4.3 Tuotosten muodostaminen 30
4.3.1 Kotimaan tuotokset talousennusteessa 31
4.3.2 Ulkomaankaupan virrat talousennusteessa 32
4.3.3 Talousennusteen tihentäminen maakunnasta mallialueisiin 32
4.3.4 Palveluiden skaalaaminen pois talousennusteesta 33
4.3.5 Talousennusteen deflatointi 34

4.4 Hyödykeryhmittely 35
4.4.1 Ennusteryhmien muokkaaminen 37
4.4.2 Tavararyhmämäärien erot kotimaan- ja ulkomaan malleissa 38

4.5 Tonnimuunnokset 38

4.6 Tuotosmallin tulokset 40
4.6.1 Kotimaan mallin aluedata 40
4.6.2 Ulkomaan mallin aluedata 40

5 Kotimaan suuntautumis- ja kuljetustavanvalintamalli 41

5.1 Mallin estimoinnin lähtökohdat 41
5.1.1 Estimoinnin lähtöaineistot 41
5.1.2 Mallityypin valinta 45

5.2 Strukturoitu Nested Logit -malli 46
5.2.1 Mallin kuvaus 46
5.2.2 Estimoidut mallirakenteet 47

6 Ulkomaan reitinvalintamalli 49

6.1 Estimoinnin lähtöaineistot 51
6.2 Reittien ominaisuustiedot 55
6.3 Reitinvalintamalli 56
7 Logistiikkamoduuli 58
7.1 Mallin rakenne 59
7.2 Lähtötiedot 60
7.3 Mallin estimointi ja estimointiaineisto 60
7.4 Mallin käyttö 62
8 Ajoneuvomatriisin muodostaminen ja sijoittelu verkolle 63
9 Kotimaan reitinvalintamallit 64
9.1 Tieliikenne 64
9.2 Rautatieliikenne 64
9.3 Alusliikenne 64
10 Mallin validointi 65
10.1 Validoinnin lähtökohdat 65
10.2 Kotimaan verkon kuljetusten kuljetustapa- ja pituusjakaumat 66
10.3 Ulkomaan kuljetusten reitit 70
10.4 Mallin joustot 71
11 Mallin käyttö 72
11.1 Ennusteen lähtökohdat ja niiden muokkaaminen 72
11.2 Ennusteajon käynnistäminen 73
11.3 Ennusteajon tulokset 74
Lähteet 76
Liitteet 78
Liite 1 Tilastojen muuntaminen karkeampaan tavaraluokitukseen 78
Liite 2 Ulkomaiden rajapaikat 89
Liite 3 Kotimaan rajapaikat 90
Liite 4 Kotimaan liikenteen alusliikennettä kuvaava laivatyyppi 91
Liite 5 Tavaraliikenteen mallissa käytetyt ajoneuvoluokkien keskikuormitukset 91
Liite 6 Tuotosmallissa käytetyt tavararyhmäkohtaiset tonnimuunnoskertoimet (€/kg) 92
Liite 7 Ulkomaan tavaravirtamatriisien ulkomaiden aluenumerointi 93
Liite 8 Tavaraliikenteen kotimaan rataverkko ja liikennepaikat 94
Liite 9 Tavaraliikenteen kotimaan vesitieverkko ja satamat 95
Liite 10 Ulkomaan reitinvalintamallin kertoimet 96

1 Johdanto

Tavaraliikenteen mallin yleiskuvaus

Tavaraliikenteen malli on osa Suomen valtakunnallista liikenteen mallijärjestelmää (Valma). Tavaraliikenteen malli tuottaa tietoa Suomen tavaraliikenteen kysynnästä ja sen muutoksista erilaisten toimintaympäristön muutosten seurauksena. Mallin tuloksia hyödynnetään liikenne-ennusteiden laadinnassa sekä politiikkatoimenpiteiden ja hankkeiden vaikutusten arvioinnissa.

Tavaraliikenne ymmärretään taloudesta johdettuna kysyntänä. Tästä syystä tavaraliikenteen mallissa liikenteen kysyntä perustuu pitkälti talousmalliin. Kysyntämallin taustalla on maakuntatasolla taloutta mallintava alueellinen yleisen tasapainon malli REFINAGE. Talousmalli tuottaa tavaraliikennemallille tiedon kotimaan tuotannon ja kulutuksen sekä viennin ja tuonnin arvoista hyödykkeittäin. REFINAGE-mallia on käytetty erilaisten tulevaisuusskenaarioiden arviointiin myös muilla hallinnonaloilla ja se mahdollistaa yhdenmukaisten lähtökohtaskenaarioiden käyttämisen liikenne-ennusteita laadittaessa.

Tavaraliikenteen tarjonnan kuvaus pohjautuu henkilöliikenteen mallin kanssa yhteiseen liikenneverkkojen kuvaukseen. Yhteinen verkkokuvaus mahdollistaa henkilö- ja tavaraliikenteen virtojen kuvaamisen samanaikaisesti liikenneverkolla.

Tavaraliikenteen suuntautumisen ja kuljetustapavalintojen kannalta keskeinen valintoihin vaikuttava tekijä ovat kustannukset. Kuljetuskustannukset on määritetty mallissa hyödykeryhmittäin ja kuljetustavioittain kuljetusmatkojen, kuljetusaikojen sekä lastin käsittelyyn liittyvien kustannusten pohjalta.

Kotimaan sisäisen tavaraliikenteen lisäksi tavaraliikenteen malli kuvaa Suomen vienti- ja tuontikuljetuksia, joille mallinnetaan reitti- ja kuljetustapavalinnat. Näiden mallintamiseksi on tavaraliikenteen mallia varten liikenneverkkokuvausta laajennettu kattamaan myös keskeiset kuljetusreitit Suomen ulkopuolella.

Tavaraliikenteen kysynnän lähtökohtana kotimaan mallissa käytetään Refinage-mallin euromääräisiä tuotannon, välituotekäytön, lopputuotekäytön sekä viennin ja tuonnin arvoja maakunnittain. Hyödykelajikohtaiset arvot ryhmitellään kuljetusvirtojen mallinnusta varten 26 hyödykeryhmään. Kunkin hyödykeryhmän euromääräiset arvot muunnetaan kuljetuskysynnän lähtö- ja määräpäiden tonnimääräisiksi tuotoksiksi (generaatioiksi ja attraktioiksi).

Maakunnittaiset tuotokset jaetaan mallissa käytettävien alueiden tarkkuuteen. Kotimaan kuljetuksille tuotetaan mallilla suuntautuminen ja kuljetustapavalinnat generaatioiden ja attraktioiden välille.

Vienti- ja tuonti noudattaa lähtökohtana annettua talousmallin mukaista vientiä ja tuontia jaoteltuna EU-maihin ja EU:n ulkopuolisiin maihin. Suuntautuminen näiden maaryhmien sisällä vastaa nykytilannetta hyödykeryhmittäin. Vienti- ja tuontikuljetuksille mallinnetaan kuljetusreitti ja käytetyt kuljetustavat Suomen alueiden ja ulkomaan markkina-alueiden välille.

Mallinnetuista kotimaan sekä kansainvälisten kuljetusten virroista muodostetaan kuljetustapakohtaiset hyödykeryhmittäiset osamatriisit sekä kokonaistonnimatriisit, jotka tihennetään kuntatasolta tarjontamallin aluejakoa vastaavaksi ja sijoitel-

laan liikenneverkolle. Rataverkon ja vesiliikenteen sijoittelutulosten pohjalta voidaan arvioida juna - ja alusmäärien kehitystä karkealla tasolla. Tieliikenteessä tonnimääräiset kuljetusvirrat muunnetaan verkkosijoittelua varten myös ajoneuvomääräisiksi virroiksi. Ajoneuvomatriisi jakautuu kolmeen ajoneuvoluokkaan: perävaunuttomiin kuorma-autoihin, puoliperävaunuyhdistelmiin ja täysperävaunuyhdistelmiin.

Mallin keskeisiä tuloksia ovat tiedot tavarakuljetusten kysynnästä kuljetustavoittain ja hyödykeryhmittäin mallin alueparien välillä sekä näiden kysyntäaineistojen sijoittelusta saatavat liikennemäärä- ja suoritetiedot.

Liikennemäärätietoja voidaan hyödyntää yksittäisten liikenneverkon kohtien liikenteen koostumuksen tarkasteluun. Sijoittelutuloksista voidaan tarkastella myös tiettyä liikennejärjestelmän osaa käyttävän liikenteen suuntautumisen tarkasteluun. Suoritetietojen pohjalta voidaan tuottaa tietoa mm. kuljetusten kustannuksista ja päästöistä sekä niiden muutoksista.



Kuva 1 Tavaraliikenteen mallin kokonaisuus

Mallin käyttökohteet

Tavaraliikenteen mallin avulla voidaan tuottaa tietoa tavaraliikenteen kysynnästä sekä kuljetustapa- ja reittivalinnoista. Erilaisten muutosten arviointi tapahtuu mallin eri osien avulla.

Kuljetuskysynnän muutokset ovat seurausta talouden muutoksista, joita arvioidaan REFINAGE-mallin avulla. Eri hyödykeryhmien kuljetuskysyntään (kuljetusten tonnimääräisiin tuotoksiin) vaikuttavia REFINAGE-malliin kuvattavia tekijöitä ovat mm.

- Työvoiman saatavuus (väestökehitys)
- Investoinnit toimialoittain
- Verotuksen muutokset

Kuljetusten suuntautumiseen vaikuttavat kuljetusten lähtö- ja määräpäiden tuotosten muutosten lisäksi kuljetusjärjestelmässä (liikenteen tarjonnassa) tapahtuvat muutokset. Tarjontamalliin kuvattavat muutokset voivat vaikuttaa kuljetusten suuntautumisen lisäksi kuljetustapajakaumaan sekä kuljetusten reittivalintoihin. Tarjontamalliin kuvattavia tekijöitä ovat esim.

- Liikenneväylien kehittämisinvestoinnit
- Väylien nopeustasojen muutokset
- Väylien käytön rajoitukset
- Kuljetuskustannusten muutokset kuljetusmuodoittain (ml. verotuksen muutokset)

Malliin voidaan kuvata myös tieliikenteen ajoneuvokannan muutoksia. Ajoneuvosuoritteisiin vaikuttavia muutoksia ovat esim. eri ajoneuvoluokkien mittojen ja painojen muutokset sekä käyttövoimien ja niiden hintojen muutokset. Ajoneuvokannan muutosten arviointiin on kehitetty erillinen ajoneuvokantamalli osana Valma mallijärjestelmää.

Mallin rajoitteita ja epävarmuuksia

Malliversio 1.0 on valmistunut lokakuussa 2026. Mallia on mahdollista jatkossa kalibroida vastaamaan paremmin havaittuja kuljetustapajakaumia. Myös mallin tuotosten kohdentumista osa-alueille on mahdollista tarkentaa.

Malli ei toistaiseksi kuvaa kaikkea Suomen liikenneverkolla kulkevaa tavaraliikennettä. Jatkossa mallia täydennetään puuttuvien osien kuvaamiseksi. Täydennysten tarkkuustaso riippuu käytettävissä olevista tietoaineistoista. Seuraavassa on kuvattu mallin tämänhetkisiä rajoitteita.

Keskeinen mallin kehittämisen haaste on ollut tavaravirtoja koskevien lähtötietojen hajanaisuus. Tietoja tavaraliikenteen kysynnän kokonaisuudesta mallin lähtökohdaksi on yhdistelty hyödyntäen eri tilastoja ja muita tietoaineistoja. Yhdistellyt tietoaineistot sisälsivät osin päällekkäistä tietoa ja osin tieto oli puutteellista. Mallijärjestelmä kuvaa nyt eri tietolähteistä muodostetun parhaan käsityksen mukaista nykytilaa. Tietojen tarkentuessa voidaan myös mallijärjestelmää vastaavasti tarkentaa paremman tiedon pohjalta.

Mallijärjestelmä ei kuvaa logistiikkajärjestelmää ja jakeluliikennettä yksityiskohtaisesti. Kysyntämalli tuottaa hyödykevirrat suoraan tuotannon ja käytön välille

huomioimatta terminaaleja tai kauppaa kuljetusten välikohteina. Malliin toteutettu logistiikkamoduuli suuntaa tieliikenteestä osan uudelleen kulkemaan merkittävimpien logistiikkakeskusten kautta, mikä parantaa mallin sijoittelutuloksia. Ensi vaiheessa melko yleisellä tasolla toimivaa logistiikkamoduulia on mahdollista jatkossa tarkentaa esim. määrittelemällä tarkemmin käytettävät välipisteet tavaralajikohtaisesti, kuvaamalla eri toimijoiden erillisiä terminaaliverkkoja tai tarkentamalla logististen kustannusten kuvausta mallissa.

Malli ei kuvaa transitoliikennettä. Transitoliikenteen määrä Suomen liikenneverkolla on vähentynyt merkittävästi Venäjän Ukrainaan tekemän hyökkäyssodan ja sitä seuranneiden talouspakotteiden vuoksi. Transitoliikenne kyetään kuvaamaan malliin jatkossa. Mallin kuljetusvirtojen lähtökohtana oleva REFINAGE-malli kuitenkaan kuvaa kansainvälistä kauppaa Suomen ulkomaankauppaa lukuun ottamatta, joten transitoliikenteen virtojen tuottamiseksi on laadittava erillinen menettely. Myöskään ulkomaankuljetusten kuljetustavan ja reitinvalintamalli ei sovellu sellaisenaan transitoliikenteen vaihtoehtoisten reittien arviointiin.

Malli kuvaa hyödykkeiden tuotannon ja käytön synnyttämää tavaraliikennettä. Palvelusektorin kuljetukset (esim. pesulohin vietävä pyykki tai vuokralaitteiden kuljetukset) eivät ole mallissa kuvattuna. Tonnimääräisesti merkittävä mallista tässä vaiheessa puuttuva ryhmä ovat maa-aineskuljetukset. Näiden lisäksi tieverkolla liikkuu myös muita raskaita ajoneuvoja, jotka eivät kuljeta tavaraa. Näiden mallista vielä puuttuvien raskaiden ajoneuvojen täydentäminen on tarpeen, jotta tieverkon kuormitukset ja ruuhkautuminen kuvautuvat todenmukaisesti.

Ennusteessa käytetään euromääräisten arvojen muuntamiseen tonnivirroiksi lähtökohtaisesti nykyistä tonni/euro suhdetta hyödykeryhmittäin. Suhde voi muuttua hyödykeryhmän mukaan esim. jalostusasteen muuttuessa hyödykeryhmän sisällä sekä hyödykeryhmän euromääräisiin arvoihin sisältyvien palveluiden osuuden muuttuessa. Muunnoskertoimien muuttaminen vaikuttaa merkittävästi mallin tuloksena saatavien kuljetusvirtojen volyymeihin.

2 Lähtöaineistot

2.1 Kuljetusvirta-aineistot

Kuljetusvirta-aineistot kuvaavat osa-alueiden välisten kuljetusten havaittua suuntautumista ja kuljetustapavalintoja. Mallin kertoimet sovitetaan estimoinnissa vastaamaan näitä havaittuja valintoja.

Malliestimoinnin kannalta käytettävissä oleviin kuljetusvirta-aineistoihin liittyy haasteita. Keskeisin haaste liittyy yhtenäisen lähtöpaikasta määräpaikkaan eri kuljetusmuodoilla kattavan kuljetusvirta-aineiston puuttumiseen. Eri lähteistä kerätyt kuljetusvirta-aineistot kuvaavat vain yksittäisellä kuljetustavalla tehtäviä osakuljetuksia esim. terminaaleista käyttöön, varastosta tukkukauppaan tai satamasta toiseen satamaan.

Eri aineistojen kattavuus, niissä käytetyt tavaralajiluokitukset ja aineistojen alueellinen tarkkuus poikkeavat toisistaan. Seuraavassa on kuvattu keskeiset estimoinnissa käytetyt kuljetusmuotokohtaiset aineistot.

2.1.1 Kotimaan kuljetusvirrat

Kotimaan malliestimointia varten on pyritty eri kuljetusmuotojen havainnoista muodostamaan mahdollisimman tarkka aineisto, jossa luokitukset saadaan yhtenäisiksi. Muodostettu aineisto, jossa kunkin kuljetusmuodon vuosien 2017–2022 virrat on kuvattu vuoden 2021 kunta-aluejaon ja 12 tavaralajin tarkkuudessa. Kotimaan estimointiaineiston muodostaminen on kuvattu tarkemmin luvussa 5.1.

Tiekuljetukset
Kotimaan mallin estimoinnissa tiekuljetusten havaintoaineistona on käytetty Tieliikenteen tavarankuljetustilaston vuosien 2017–2022 aineistoja. Aineisto on muodostettu Tilastokeskuksessa kyselytutkimuksen havainnoista tuotetuista vuosittaisista kunta-kunta tonnimääräisistä kuljetusvirroista.

Aineistosta on suodatettu pois havainnot, joiden lähtö- tai määräpaikan tarkenteena on raja-asema tai satama. Aineiston tavaralajit on yhdistelty tutkimuksen 45 luokasta estimoinnissa käytettyyn 12 hyödykeryhmään.

Rautatiekuljetukset
Suomessa rautatiekuljetukset muodostuvat vahvoista yksittäisten kuljetusasiakkaiden tiettyjen tavaralajien virroista. Yksityiskohtaiset tiedot kuljetuksista sisältävät operaattoreiden ja kuljetusasiakkaiden liikesalaisuustietoja, joita ei ole käytetty mallin kehittämisessä.

Rautatiekuljetusten havaintoaineisto on muodostettu perustuen operaattoreilta saatuihin liikennepaikkojen välisten kokonaistonnimäärien pohjalta. Aineistoa on rikastettu asiantuntija-arvioin esim. täydentämällä puuttuvia tietoja kuljetetuista hyödykelajeista estimoinnissa käytetyssä 12 hyödykelajin tarkkuudessa. Liikennepaikkakohtaiset tiedot on yhdistelty kuntaparien välisiksi virroiksi. Käytetty lähtödata kuvaa vuosien 2017, 2021 ja 2022 tilannetta. Välivuosien tavaravirrat on täydennetty interpoloimalla.

Kotimaan aluskuljetukset
Kotimaan aluskuljetusten havaintoaineisto on muodostettu PortNetin tiedoista. Aineisto kattaa kaikki vuosina 2017–2022 kotimaan satamien väliset vesiliikenteen kuljetukset PortNetin käyttämässä tavaralajilukituksessa.

2.1.2 Ulkomaan kuljetusvirrat

Ulkomaan kuljetusten mallin estimoinnissa on käytetty havaintoaineistona Tullin toimittamia ulkokaupan tullausilmoitusten sekä EU sisäkaupan ilmoitusten tietoja vuodelta 2021. Tullin aineistojen keskeisiä tietoja ovat alkuperä- ja määrämaat sekä tavaran arvot ja paljoudet.

Tullin aineisto ei sisällä tarkkaa tietoa ulkomaankaupan kuljetusten tarkemmista lähtö- ja määräpäistä Suomessa tai kuljetusten käyttämistä reiteistä. Mallin estimointia varten aineistoa rikastettiin näiden tietojen osalta muiden käytettävissä olevien tietolähteiden avulla, mm. Traficomin ylläpitämän meriliikenteen tilaston (MLT) tietoja satamakäynneistä. Ulkomaankapan reitinvalintamallin estimointiaineiston muodostaminen on kuvattu kappaleessa 6.1.

2.2 Talousennuste

Tavaraliikenne ymmärretään taloudesta johdettuna kysyntänä. Tämän takia tarvitaan talousennuste määrittelemään liikkuvien tonnien kehitystä tulevaisuuteen. Talouden ennustamiseen on valikoitunut alueellinen yleisen tasapainon mallin nimeltä REFINAGE. Talousennusteen raportteja käsittelemällä, saadaan johdettua tavaraliikenteen kysyntämalliin syötteenä käytettävät tavararyhmäkohtaiset tonnimäärät. Talousmallissa simuloitavat tavararyhmät pohjautuvat CPA-tuoteluokitteluun.

REFINAGE-malli toimii lisensoidulla GEMPACK-mallinnus ohjelmistolla, joka on suunniteltu talouden mallinukseen (Horridge et. al., 2018) ja sen käyttämän TABLO-koodin on rakentanut Juha Honkatukia perustuen Australiassa tehtyyn pohjatyöhön (mm. MONASH-malli). Mallista saadaan euromääräisiä tuloksia maakuntatasolla, josta ne myöhemmin jaetaan liikennemallin käyttämille alueilla

REFINAGE:n toimintaperiaatteita ja sen käyttöä tavaraliikennemallissa avataan kappaleessa 4.

2.3 Aineistojen tavaraluokitukset ja niiden yhdistely

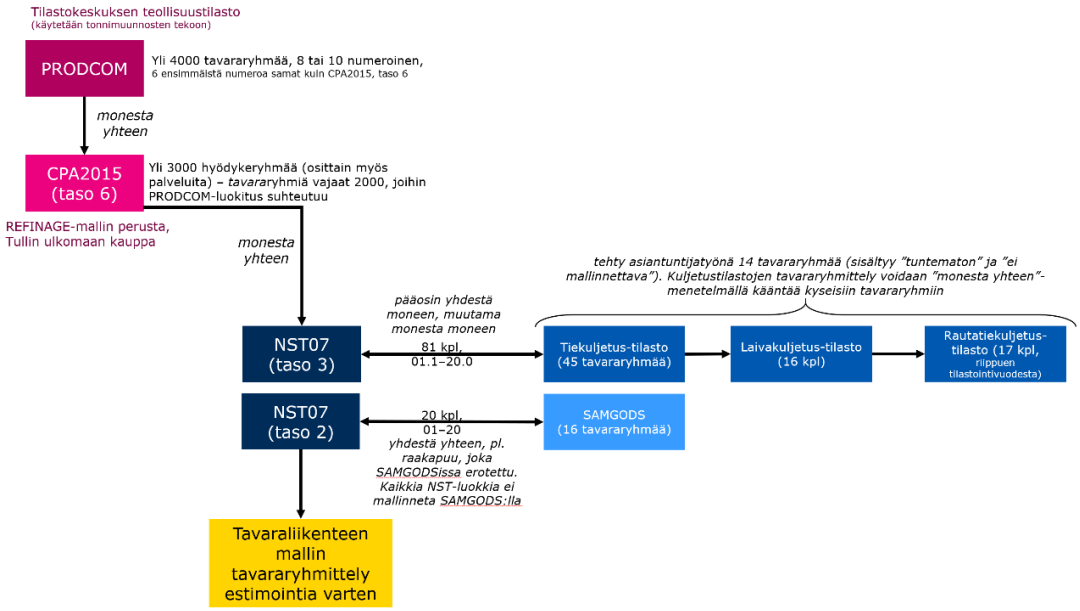
Edellä kuvatut tavaraliikenteen mallin lähtökohtana käytetyt aineistot ja REFINAGE-malli jakavat hyödykkeet erilaisiin hyödykeryhmiin. Ryhmittely riippuu kunkin aineiston muodostamistavasta ja käyttötarkoituksesta. Alle on listattu tavaraliikenteen mallissa käytetyt aineistot ja niissä käytetyt luokittelut.

Taulukko 1. Tavaraliikennemallissa käytetyt lähtötietoaineistot ja niissä esiintyvät tavararyhmittelyt.

Tilasto	Käyttötarkoitus	Tavaraluokittelu
REFINAGE talousennuste	Koti- ja ulkomaanmallin tonnikysynnän johtaminen Kotimaan mallin estimointi	CPA-pohjainen hyödykeluokittelu
Tilastokeskus: Tiekuljetustilasto	Kotimaan mallin estimointi Logistiikkamoduuli	Muunneltu NST-luokittelu (Nomenclature for Transport Statistics)
Tullin ulkomaankauppatilasto	Ulkomaan mallin estimointi Ulkomaan tonnikysynnän jakaminen ulkomaan alueille €/kg-kertoimien laskenta	CPA-luokittelu ja SITC-luokittelu (Standard International Trade Classification)
Tilastokeskus: Teollisuustuotantotilasto	€/kg-kertoimien laskenta	PRODCOM -luokittelu (PRODuction COMmunautaire = Community Production)
VR: Rautatiekuljetustilasto	Kotimaan mallin estimointi	Tavararyhmätieto tuotettu asiantuntijatyönä. Ei muuten saatavilla
PortNet tietokanta: Suomen satamakäyntien ilmoitusjärjestelmä	Kotimaan mallin estimointi	Ei standardin mukaista luokittelua. Yhdistely tehty asiantuntijatyönä
Traficom: meriliikenteen tilasto (MLT) - johdettu PortNet tiedoista	Ulkomaan mallin estimointi	Ei standardin mukaista luokittelua. Yhdistely tehty asiantuntijatyönä

Tavaraliikennemallin estimointia ja käyttöä varten ryhmät on sovitettu vastaaman toisiaan. Jotta tilastot saatiin mahdollisimman hyvin vastaamaan toisiaan, jouduttiin luokitteluita karkeistamaan 12 tavararyhmän luokitukseen. Tähän karkeaan tavararyhmittelyyn saatiin jokaisen käytetyn tilaston tavararyhmittely kääntymään. Estimointiryhmien nimet ja selitteet löytyvät liitteistä (Taulukko 18. Tavaraliikenteen mallin karkeampi 12 tavararyhmän tavaraluokittelu - estimointiryhmät). Samassa liitteessä myös muita taulukkoja mallissa käytettyjen aineistojen suhteutumisesta estimointiryhmiin.

Lähtökohdaksi ryhmittelylle otettiin CPA-standardi, koska sekä REFINAGE-malli että Tullin ulkomaankauppa ovat saatavissa tässä luokituksessa. Lisäksi PRODCOM-luokitus on alisteinen CPA-standardille, sillä PRODCOM-koodien kuusi ensimmäistä numeroa ovat identtiset CPA-numeroiden kanssa. CPA-standardin tasolta 6 on mahdollista muuntaa nk. monesta-yhteen-logiikalla NST-standardiin, minkä myötä luokittelu luotiin pitkälti NST-standardin tasoon 2 perustuen. Lisäksi toivottavaa oli, että tavaraliikennemallin käyttämät hyödykeryhmät olisivat yhdistettävissä Ruotsissa käytössä olevan tavaraliikennemalli SAMGODS:in käyttämään luokitteluun (perustuu NST-standardiin, muttei täysin vastaa sitä, sillä raakapuu on SAMGODS-mallissa erillinen tavararyhmä).



Kuva 2. Käytettyjen aineistojen tavararyhmittelyn muuntaminen yhdestä luokittelusta toiseen. Lopputuloksen karkeampi 12 tavararyhmän estimointiaineisto.

Tilastojen hyödykeluokitusten relaatiotaulut ja tarkempi selvitys muuntoprosessista löytyy liitteistä. Katso *Tilastojen muuntaminen karkeampaan tavaraluokitukseen*.

3 Tarjonnan kuvaus

3.1 Aluejako

3.1.1 Kotimaa

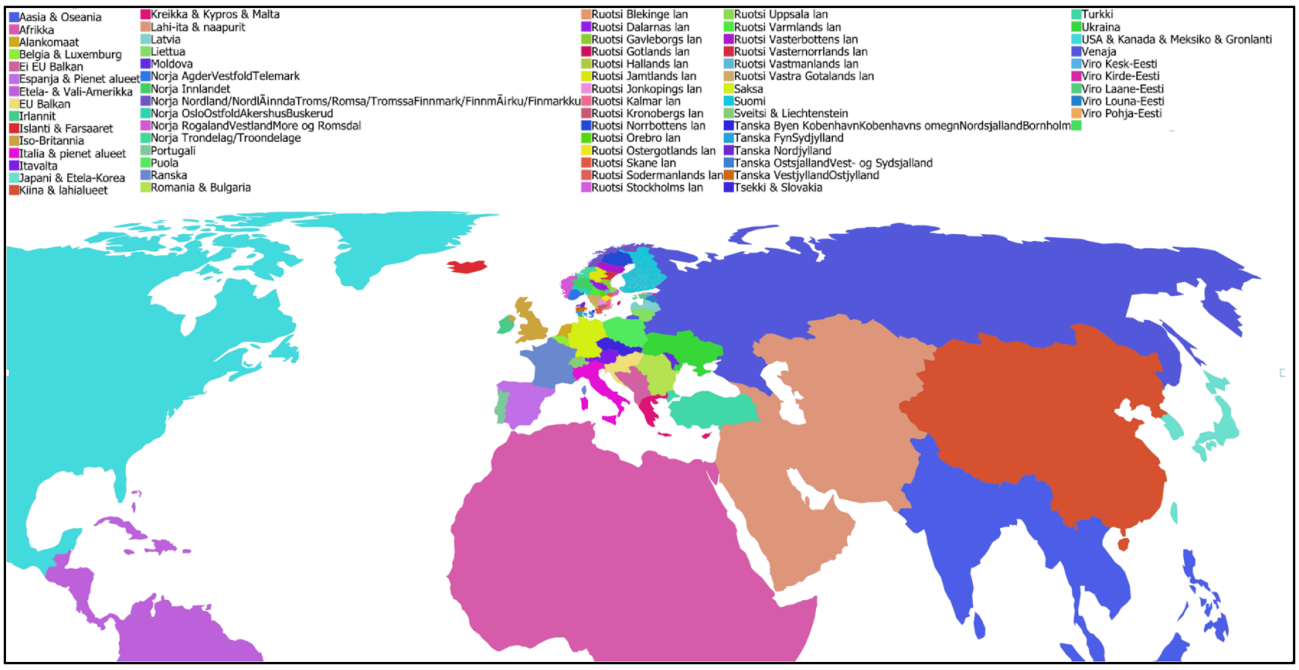
Valma mallijärjestelmä toimii aluejaossa, joka sisältää noin 9000 osa-aluetta suomessa. Aluejako on yhteinen henkilö- ja tavaraliikenteen malleille. Mallin aluejakoa voidaan muuttaa erilaisten tarkkuustasojen tarkastelujen mahdollistamiseksi.

Tavaraliikenteen mallin estimointi on tehty kunta-aluejaon tarkkuudessa, koska estimoinnissa käytettävät aineistot eivät mahdollista tarkempaa tarkkuustasoa. Mallia on myös mahdollista käyttää kunta-aluejaossa tai muissa karkeistetuissa osa-aluejoissa, mikä lyhentää mallin ajoaikaa huomattavasti. Kunta-aluejaon käyttäminen on suositeltavaa suuntaa antavien tarkastelujen tekemiseen.

Mallin keskeisenä lähtötietona käytettävät REFINAGE-talousmallin tulokset tuotetaan maakuntatarkkuudessa, josta ne tihennetään maankäyttötietojen perusteella tarkempiin osa-aluejakoihin.

3.1.2 Ulkomaat

Suomen ulkopuolella aluejako vastaa Euroopan osalta pääosin valtionrajoja. Suomen lähialueilla Viro, Ruotsi, Norja ja Tanska on kuitenkin kuvattu tarkemmin. Euroopan ulkopuolella aluejako on sitä vastoin karkeampi. Mallin aluejaon tarkkuus palvelee reitinvalintamallin tarkkuustasoa. Etenkin Euroopan ulkopuolelle suuntautuvien kuljetusten reitittyminen on mallissa kuvattu karkealla tasolla.



Kuva 3. Tavaraliikenteen mallin ulkomaan aluejako

3.2 Liikenneverkko

3.2.1 Kotimaan verkkokuvaus

Kotimaan osalta verkkojen kuvaus perustuu pitkälti samoihin tietoihin ja kuvaustapoihin kuin henkilöliikenteen tarjontamalli. Verkkojen muodostaminen on kuvattu erillisessä muistiossa *Valtakunnallisen liikenne-ennustemallin tarjontamallin muodostamisen periaatteet*. Seuraavassa on esitetty tavaraliikenteen osalta tehtyjä tarkennuksia eri verkkokuvaukseen.

Tieverkko

Tieliikenteen osalta verkkokuvaus on yhteinen henkilöliikenteen kanssa. Tieliikenteen verkkokuvauksen käyttö tavaraliikenteen mallinnuksessa on kuitenkin edellyttänyt seuraavia tarkennuksia ja oletuksia

- Tiekuljetukset voivat käyttää pääosin kaikkea tieverkkoa. Suurten kaupunkien keskusta-alueille on kuitenkin kuvattu raskaiden ajoneuvojen rajoituksia. Kattavaa tietoa rajoituksista ei ole. Rajoituksia voidaan jatkossa kuvata myös muille, nyt rajoittamattomille alueille tai yksittäisille tienkohdille. Rajoitukset on kuvattu siten, että rajoitusalueen läpi ei pääse ajamaan, mutta jokaiselle osa-alueelle pääsee yhtä reittiä myös eri ajoneuvoluokkien raskailla ajoneuvoilla.

Rataverkko

Rataverkon kuvaus pohjautuu henkilöliikenteen rataverkon kuvaukseen. Tavaraliikenteen osalta kuvaukseen on tehty seuraavia tarkennuksia ja täydennyksiä.

- Vain henkilöliikenteelle sallituilta rataosilta on poistettu tavaraliikenteen kuljetustapa.
- Tavaraliikenteelle on määritetty keskinopeudet todellisten kulkutietojen pohjalta. Keskinopeustiedot on tuotettu Finntrafficin LIIKE -järjestelmän tiedoista.
- Tavaraliikenteen liikennepaikat on kuvattu rataverkkoselostuksen mukaisesti. Tavaraliikennepaikat on luokiteltu sen perusteella, käytetäänkö niitä raakapuun, muun tavaran vai molempien lastaamiseen.
- Muiden kuin valtion omistuksessa olevat rataverkon osat (teollisuusraiteet) ja niillä sijaitsevat liikennepaikat kuvattu verkkoon erikseen suurimpien teollisuuslaitosten osalta. Tietoa täydennetään mallin jatkokehityksessä.
- Tavarajunat on kuvattu verkolle linjastona. Jokainen linkki muodostaa oman junalinjansa.
- Tavaraliikennepaikoille on kuvattu suora syöttö aluesentroidista (alueen keskipiste) kun liikennepaikka sijaitsee osa-alueen sisällä. Tällä on pyritty kuvaamaan teollisuuslaitosten ratapihoja, joille ei tarvita erillistä liityntäkuljetusta.

Rataverkko ja liikennepaikat on esitetty liitteen 6 kartassa.

Kotimaan alusliikenne

Kotimaan alusliikenteen kuvaus sisältää rannikon ja sisävesien satamat sekä laivaväylät ja niitä käyttävän linjaston. Kotimaan alusliikenne sisältää myös uiton, jonka ominaisuudet vastaavat mallissa raakapuun laiva- / proomukuljetusta.

- Linjastossa jokainen laivaväylälinkki on oma laivalinjansa
- Kotimaan kuljetuksille on määritelty vain yksi alustyyppi, jolla on vakionopeus. Keskikuormitus riippuu kuljetettavasta hyödykkeestä.
- Satamat on luokiteltu sen mukaan, voidaanko niissä lastata raakapuuta, muuta tavaraa vai molempia. Kuvaus vastaa logiikaltaan rataverkon kuvausta.
- Kotimaan vesikuljetukset joukkoliikennesijoitteluna, liityntäkuljetustapana käytetään tiekuljetusta
- Satamaan on kuvattu suora syöttö aluesentroidista kun satama sijaitsee osa-alueen sisällä. Tällä on pyritty kuvaamaan teollisuuslaitoksia, joille ei tarvita erillistä liityntäkuljetusta.

Kotimaan vesiliikenteen verkko ja satamat on esitetty liitteen 7 kartassa.

3.2.2 Ulkomaan verkkokuvaus

Ulkomaan kuljetusten reitinvalintamalli on rakennettu siten, että kukin valittavissa oleva reitti muodostuu kolmesta osuudesta:

1. Kotimaan osuus Suomen osa-alueelta satamaan tai maaraja-asemalle
    - Ominaisuudet kotimaan verkkokuvauksesta
2. Raja-asemien välinen osuus: satama-satama tai maaraja-maaraja
    - Laivayhteys Suomen satamasta Euroopan satamaan
    - Suora laivayhteys Suomen satamasta Euroopan ulkopuoliseen satamaan
    - Lyhyt maayhteys Suomen ja naapurimaan raja-asemien välillä
3. Ulkomaan osuus ulkomaan satamasta tai maarajalta ulkomaan alueelle
    - Maayhteys Euroopan satamasta osa-alueille Euroopassa
    - Jatkoyhteys laivalla Euroopan satamasta muun maanosan osa-alueelle
    - Maayhteys Euroopan ulkopuolisesta satamasta osa-alueelle (lyhyt virtuaalinen linkki)
    - Maayhteys maaraja-asemalta Euroopan osa-alueelle

Ulkomaan reitinvalintamallin keskeisin tulos on ulkomaan liikenteessä käytettävä Suomen satama tai maaraja-asema. Maaliikenteen yhteydet sekä yhteydet Euroopan ulkopuolelle on kuvattu mallissa karkealla tasolla. Reitinvalinta mallissa perustuu pitkälti kotimaan yhteyksiin satamiin sekä kotimaan ja ulkomaan satamien välisiin laivayhteyksiin. Seuraavassa on kuvattu eri kuljetusmuotojen ulkomaan verkot keskittyen laivaliikenteen kuvaukseen.

Alusliikenne

Ulkomaan alusliikenteen kuvaus kattaa laivayhteydet Suomen ja ulkomaiden satamien välillä sekä konttilaivojen jatkoyhteydet Euroopan satamien ja muiden maanosien välillä.

Satamat on kuvattu klusteroituna tarkkuustasolla, joka vastaa mallin aluejaon tarkkuustasoa ulkomailla. Käytännössä kutakin markkina-aluetta Euroopan ulkopuolella vastaa yksi satamaklusteri. Euroopassa on kuvattu useampia satamaklustereita markkina-aluetta kohden, mikäli niillä on katsottu olevan merkitystä ulkomaankuljetusten reitinvalinnan kannalta. Ulkomaiden satamatamaklusterit on esitetty liitteissä (Ulkomaiden rajapaikat)

Kotimassa satamia on niin ikään klusteroitu mallin estimointivaiheessa. Kotimaan satamatamaklusterit on esitetty liitteissä (Kotimaan rajapaikat). Mallia käytettäessä on satamaklustereita mahdollista jakaa tarkemmin yksittäisiksi satamiksi.

Satamien ominaisuustietoina on kuvattu niiden maksimisyväys sekä tavaralajikohtaisia luokittelutekijöitä, jotka on kuvattu tarkemmin ulkomaan reitinvalintamallin yhteydessä luvussa 6.

Laivayhteydet Suomen ja ulkomaiden satamien välillä on poimittu vuoden 2021 meriliikennetilastosta. Yhteydet on kuvattu siten että yhtä laivaa käyttäen mahdollinen yhteys Suomen ja ulkomaan sataman välillä kuvautuu yhdeksi laivalinjaksi. Näin ollen useissa satamissa välipysähdyksiä tekevä linjaliikenne kuvautuu useampana erillisenä laivayhteytenä.

Laivalinjojen ominaisuuksina on kuvattu niiden pituus, matka-aika sekä frekvenssi (lähtöjen määrä vuodessa). Matka-aika on määritetty kullekin laivatyypille ja yhteydelle tyypillisen syväyksen ja sitä vastaavan keskinopeuden mukaisena.

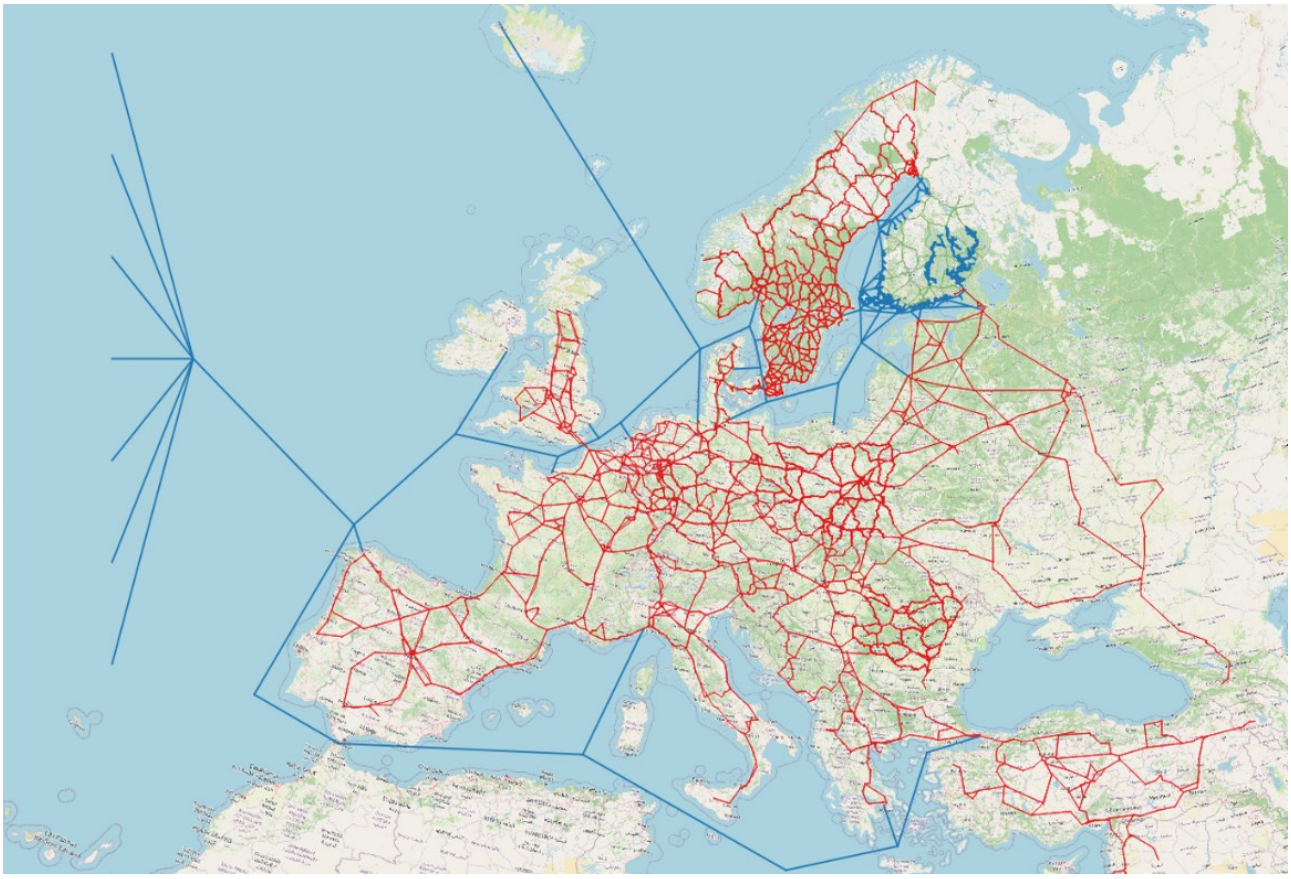
Konttilaivoille on kuvattu jatkoyhteydet keskeisistä Euroopan satamista muihin maanosiin. Näille yhteyksille on kuvattu pituus ja matka-aika, mutta ei frekvenssiä.

Tieverkko

Tieverkon kuvaus Suomen ulkopuolella kattaa manner-Euroopan. Verkkokuvauksen pohjana on käytetty Sampers -mallin verkkoa ja sen nopeustasoja. Verkkokuvausta on karsittu siten että se kattaa vain Suomen ulkomaanyhteyksien kannalta olennaisen verkon. Verkko on yhdistetty Suomen maarajoilla kotimaan verkkoon.

Rataverkko

Ulkomaan verkolle ei ole kuvattu erikseen tavaraliikenteen rataverkkoa. Ulkomaan satamasta tai raja-asemalta tavaraliikenteen vastukset on laskettu tieverkon ominaisuuksien mukaisesti, koska jatkoyhteyden todellisista kuljetustavoista ei ole käytettävissä tietoa eikä valintamallin estimoinnille ole edellytyksiä.



Kuva 4. Tavaraliikenteen mallin ulkomaan verkkokuvaus, Pohjakartta ©OpenStreetMap

3.3 Kuljetustavat, ajoneuvo- ja alusluokat

Tiekuljetuksissa on käytössä viisi ajoneuvoluokkaa, joiden ajoneuvomäärät, suoriteosuudet ja käyttövoimajakaumat saadaan ajoneuvokantamallista. Tiekuljetuksille lasketaan yksi keskimääräistetty kuljetuskustannus, jota käytetään suuntautumis- ja kuljetustavanvalintamallin vastuksena. Mallin tuloksena saatu tiekuljetusten kysyntä jaetaan kolmelle sijoittelussa käytetylle luokalle, joissa kevyet N2-luokan kuorma-autot on yhdistetty muihin perävaunuttomiin kuorma-autoihin ja HCT-rekat muihin täysperävaunuyhdistelmiin.

Rautatieliikenteessä dieseljuna on käytössä koko tavaraliikenteen rataverkolla ja sähköjuna vain sähköistetyillä osuuksilla.

Alusliikenteessä eri laivatyypit ovat käytössä ulkomaan liikenteessä, jossa tiettyjä reittejä operoidaan tietyillä laivatyypeillä. Kotimaan alusliikenteessä on käytetty vain yhtä laivatyyppiä, jolla voidaan operoida kaikkien kotimaan satamien välillä. Katso kotimaan edustavat laivatyypit liitteissä (Liite 4).

Rautatie- ja alusliikenteessä käytetään liityntäkuljetustapana tiekuljetusta. Liityntä rautatieliikenteestä alusliikenteeseen tai päinvastoin ei ole mallissa mahdollista. Liityntäkuljetus voi käyttää koko kuorma-autoille sallittua tieverkkoa, mutta liityntälinkkiä tieverkolta alus- tai rautatiekuljetukseen voi käyttää joko yleinen tai raakapuun liityntäluokka tai molemmat riippuen siitä mitä tavaralajeja kyseisessä terminaalissa voidaan käsitellä.

Taulukko 2. Kuljetustavat ja ajoneuvoluokat.

Kuljetus-tapa	Ajoneuvoluokka	Nimi mallijärjestelmässä	Nimi mallijärjestelmässä (sijoittelu)	mode sijoitte-lussa
Tielii-kenne	Kuorma-auto, N2 (<12t)	truck_2n	truck	k
	Kuorma-auto, KAIP (12 t - ~40t)	truck		
	Puoliperävaunuyhdist. KAPP (~40t)	semi_trailer	semi_trailer	y
	Täysperävaunuyhdist, KATP (<64t)	trailer-truck	trailer-truck	y
	HCT-rekka, HCT (<76t)	trailer_truck_76t		
Rautatie-liikenne	Sähköjuna	freight_train_J	freight_train_J	J
	Dieseljuna	freight_train_D	freight_train_D	D
Laivalii-kenne	Konttilaiva	container_ship	container_ship	C
	RoRo / RoPax	roro_vessel	roro_vessel	R
	Kuivalasti / irtolasti	general_cargo	general_cargo	G
	Öljytankkeri	oil_tanker	oil_tanker	O
	Tuotesäiliölaiva	product_tanker	product_tanker	P
	LNG säiliölaiva	lng_carrier	lng_carrier	L
	Kotimaan laivaliikenne	ship_W	ship_W	W
Liityntä	Yleinen tavaraliikenteen liityntäluokka			F
	Raakapuun liityntäluokka			T

3.3.1 Ajoneuvokantamalli

Ajoneuvokantamalli tuottaa tietoa Suomen ajoneuvokannan rakenteen ja käyttövoimien muutoksista. Ajoneuvokantamalli on dokumentoitu erillisessä Traficomin julkaisussa (Viri & Koski, 2026).

Ajoneuvokantamalli tuottaa ennusteen raskaiden ajoneuvojen kannasta ja käyttövoimista vuosi vuodelta etenevänä laskentana. Laskennan lähtötiedoiksi annetaan:

- Nykyinen ajoneuvokanta
- Nykyinen tiekuljetussuorite hyödykeryhmittäin, ajoneuvoluokittain, pituusluokittain
- Ennustettu kuljetussuorite hyödykeryhmittäin, ajoneuvoluokittain, pituusluokittain
- Ajoneuvokustannus, ja -kulutus eri ajoneuvoille ja käyttövoiman hinnoittelutiedot

Ajoneuvokantamalli käyttää lähtötietonaan tavaraliikennemallilla ennustettua kuljetuskysyntää, jonka lähtötietona käytetään ajoneuvokantamallin tuottamaa tietoa ajoneuvoluokkien ja käyttövoimien jakaumasta. Mikäli muutokset ajoneuvokannassa poikkeavat merkittävästi perusennusteen lähtökohdista, voi ajoneuvokanta- ja tavaraliikennemallia olla tarpeen ajaa iteroiden.

Ajoneuvokantamalli tuottaa tuloksenaan tavaraliikennemallin ajoa varten hyödykelajikohtaisesti ajoneuvoluokkien ja käyttövoimien jakaumista.

Ajoneuvokantamallin tulokset tuotetaan viisiportaisessa luokituksessa, joka on esitetty edellä taulukossa 2. Luokituksen lähtökohdat löytyvät ajoneuvokannan raportin luvusta 2 (Viri & Koski, 2026).

Tavaraliikennemallia varten tulokset yhdistellään kolmeen luokkaan. Jatkossa tavoitteena on siirtyä myös tavaraliikennemallissa paremmin nykyistä ajoneuvokantaa kuvaavaan viisiportaiseen luokitteluun, mutta nyt käytettävissä olevat tavaraliikenteen tiedot ja niiden pohjalta tuotettu tavaraliikenteen malli perustuvat tilastoinnissa käytössä olevaan kolmiportaiseen luokitukseen.

3.3.2 Ajoneuvojen keskikuormitus

Tiedot ajoneuvojen keskikuormituksista on muodostettu tieliikenteen tavarankuljetustilaston aineistosta hyödykeryhmittäin ja ajoneuvoluokittain. Keskikuormitukset ja ajoneuvoluokkien osuudet ovat mallin ensimmäisessä julkaisuversiossa hyödykeryhmäkohtaisia vakioita. Käytetyt keskikuormitukset on esitetty liitteissä 5 (Taulukko 28 Mallissa käytetyt ajoneuvoluokkien keskikuormitukset ja tyhjien paluukuormien kertoimet.).

Ajoneuvokantamalli tuottaa tavaraliikennemallin lähtötiedoksi tiedon eri ajoneuvoluokkien osuuksista matkan pituuden funktiona. Tämä logiikka voidaan mallin jatkokehityksessä sisällyttää myös tavaraliikennemallin kuljetuskustannusten laskentaan, jolloin keskikuormitus ja keskimääräinen kuljetuskustannus tonnikilometriä kohden muuttuu kuljetusmatkan muuttuessa. Samalla myös tiekuljetusten jaossa eri ajoneuvoluokille voidaan ottaa huomioon kuljetusmatkan pituus.

3.4 Kustannusfunktiot

Tavaraliikenteen mallin estimoinnissa, käytössä ja valmiiden matriisien sijoitteluissa (reitinvalinnassa) käytetään kuljetustapa- ja tavaralajikohtaisia kustannuksia kuvaamaan kuljetustapojen ja reittien välistä paremmuutta alueparien välillä. Tätä varten on luotu funktiot kuvaamaan kuljetuksesta aiheutuvaa kustannusta. Tässä kappaleessa käsitellään kustannusfunktioiden rakennetta ja logiikkaa.

Kuljetusketjun kokonaiskustannus koostuu useista tekijöistä ja vaikuttavat tekijät vaihtelevat kuljetustapakohtaisesti. Kuljetuskustannuksen laskennassa lähtöpaikan ja määränpään välinen kustannus muodostuu kolmesta komponentista:

- matkan pituudesta aiheutuvasta kilometriperusteisesta kustannuksesta (€/t/km), ns. kilometrikustannuksesta
- matkan ajasta aiheutuvasta aikaperusteisesta kustannuksesta (€/t/h), ns. liikennöinnin aikakustannuksesta
- tavaran lastaamisesta ja purusta aiheutuvasta kustannuksesta, ns. terminaalikustannuksesta (€/t)

Laskemalla kustannusten komponentit yhteen (kilometrikustannus kerrotaan matkan pituudella ja aikakustannus kerrotaan matkan ajalla. Mahdollisen paluumatkan kustannukset huomioidaan sekä kilometri- että aikaperusteisissa kustannuksissa), saadaan lähtö- ja määränpään välinen kokonaiskustannus. Kokonaiskustannus on hyödykelaji- ja kuljetustapariippuvainen. Jokaiselle realistiselle kuljetusvaihtoehdolle lasketaan kustannusoptimaalinen reitti. Kuljetustapakohtainen liikenneverkko tuottaa vaihtoehdot reiteille ottaen huomioon reittien pituudet, nopeusrajoitukset ja muut reitin mahdolliset rajoitteet.

Käytännössä yllä mainitut kustannuskomponentit määritetään mallijärjestelmän ulkopuolella ja annetaan mallin lähtötiedoksi json -tiedostona. Mallijärjestelmässä

alueparien väliset eri kuljetusmuotojen matkanpituudet ja matka-ajat lasketaan verkkosijoittelusta ja yhdistetään kustannuskomponentteihin. Näin muodostuu kustannusmatriisi, jota malli käyttää alueparein välisenä vastuksena.

Tavaran kuljettamiseen on vaihtoehtoina erilaisia kuljtetustapoja ja näiden sisällä erilaisia ajoneuvotyyppejä, joilla on omat ominaisuudet ja rajoitteet. Mikäli jokin kuljetusmuoto tai -tyyppi ei ole tavaralajiin soveltuva, tai siihen liittyy muita ylitsepääsemättömiä rajoitteita, ei sitä lasketa vaihtoehtojen joukkoon. Mikäli vaihtoehtoja ei muista syistä ole rajattu, on jokaiselle tavaralajille laskettu kunkin alueparin välille kustannus kohdassa 3.3. kuvatuille ajoneuvo- ja alusluokille.

Tavaraliikennemallin kustannusfunktiot teetettiin syksyllä 2024 konsulttityönä, jossa yhdenmukaisettiin ja yksinkertaistettiin aiemmin asiantuntijatyönä tehtyjä kustannusfunktioita, nojaten kuitenkin vanhoissa funktioissa olleeseen rakenteeseen. Kustannusfunktiot rakentuvat lähtökohtaisesti Väyläviraston vuonna 2024 julkaisemiin vuoden 2022 tie- ja rautatieliikenteen hankearvioinnin yksikköarvoihin (Metsäranta et. al., 2024) ja vuoden 2022 alusliikenteen yksikkökustannuksiin (Solakivi et.al., 2024). Konsulttityössä haastateltiin lisäksi erinäisiä logistiikka-alan ammattilaisia heidän omista havainnoistaan kuljetuksiin liittyen. Tilastokeskuksen ja Traficomin julkaisemaa tiekuljetusten kuljetusmäärä- tilastoa hyödynnettiin mm. ajoneuvotyyppien keskikuormitusten laskennassa.

Ajoneuvokannan osalta tieliikenteessä käytössä oleva viisiportainen luokittelu käyttää lähtötietoina pitkälti vastaavia yksikköarvoja (Metsäranta et al., 2024), jotka ovat käytössä tavaraliikenteen mallissa, mutta varsinainen käyttövoimakustannuksen osuus lasketaan vuosittain kulutuksen ja polttoainehinnan mukaan. Laskenta on raportoitu ajoneuvokannan dokumentaatiossa (Viri & Koski, 2026).

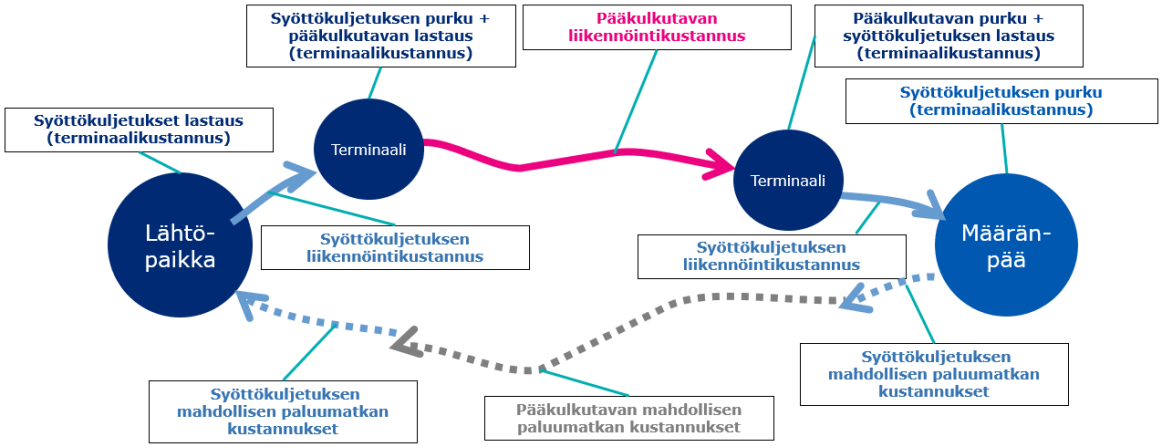
3.4.1 Kustannusfunktioiden rakenne

Kuljetuskustannukset muodostuvat eri kustannusvaiheista, jotka vaaditaan tavaran kuljettamiseen alueiden A ja B välillä. Alla olevassa kuvassa on esitetty kuljetuksen kustannusvaiheet, jotka ovat vastaavat kaikissa kuljetusmuodoissa (tie-, rautatie ja aluskuljetus). Tavaran lastaus- ja purku ovat kustannusvaiheet, jotka yhteenlaskettuna muodostavat edellisessä kappaleessa mainitun terminaalikustannuksen. Liikennöinnin- ja mahdolliseen paluumatkaan liittyvä kustannus sisältää niin kilometriperusteisen- kuin matka-aikaperusteisi kustannuksen edellisestä kappaleesta.



Kuva 5. Kustannusten muodostuminen. Kuljetettavan matkan eri kustannusvaiheet.

Rautatie- ja aluskuljetuksien osalta kuljetuksen kokonaiskustannus on kombinaatio eri kuljetustapojen kuljetusosuuksia. Tämä johtuu siitä, että tavaraa harvoin lähetetään suoraan rautatieasemalta toiselle tai satamasta toiseen satamaan. Myös kuljetukset pelkästään rautateitä tai laivaa käyttäen ovat mahdollisia, mikäli liikenneverkko tämän sallii (käytännössä suurten tehtaiden väliset kuljetukset tai tehtaan ja sataman väliset kuljetukset). Usein kuitenkin osa matkasta tulee tehdä tiekuljetuksena. Matkan alku- ja/tai loppupäässä tehtävää autokuljetusta kutsutaan syöttökuljetukseksi. Näin ollen rautatie- ja aluskuljetus kustannukset muodostuvat useimmiten alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 6. Alus- ja rautatiekuljetusten kokonaiskustannus, kun lasketaan syöttökuljetuksen kustannus mukaan. Syöttökuljetus tavaraliikenteen mallissa aina tiekuljetus.

Eri kuljetustapojen kustannuskomponenttien sisältö käydään tarkemmin läpi seuraavissa kappaleissa. Huomionarvoista on, että vaikka tässä tekstissä puhutaan esim. tuntihinnoista on kaikki aikayksiköt funktioissa muunnettu minuuteiksi, koska sijoitteluun käytettävä EMME-ohjelmisto tulkitsee minuutteja. Pituusyksiköt ovat kilometrejä. Lopullinen kustannus on aina muodossa €/tonni.

3.4.2 Tiekuljetuksen kustannukset

Tiekuljetusten kustannusfunktion muoto on:

$$road\ total\ cost\ (€/t)_{c,v} = vehicle_hour_cost(€/t)_{c,v} + vehicle_km_cost(€/t)_{c,v} + terminal_cost\ (€/t)_{c,v}$$

Näistä 'vehicle_hour_cost' (aikaperusteinen kustannus) ja 'vehicle_km_cost' (kilometriperusteinen kustannus) muodostavat tavaralaji (c)- ja ajoneuvoluokkakohtaiset (v) liikennöinnin kustannuksen ja paluumatkan kustannukset, jotka näkyvät kustannusvaiheita selittävässä kuvassa sivulla 19. Tavaralajikohtainen 'terminal_cost' (terminaalikustannus) muodostuu saman kuvan lähtöpään ja määränpään yhteenlasketuista terminaalikustannuksista tavaralaji - ja ajoneuvokohtaisesti. Komponenttien tarkempaa sisältöä avataan seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 2 (sivu 17) näyttää mallissa käytetyt ajoneuvoluokat, joiden mukaan funktion komponenttien suuruus vaihtelee. Kustannusfunktioiden komponentit vaihtelevat myös estimointiryhmittelyn tavararyhmien mukaan (12 kpl), jotka löytyvät erillisestä taulukosta (Taulukko 18, liitteet). Funktioissa suurin yksittäinen variaatiota aiheuttava tekijä tavaralajien välillä on ajoneuvojen keskikuormitus. Tavaraliikenteen malli ei optimoi eräkokoja, joten jokaisen tavaralaji-ajoneuvotyyppi kombinaation kuljetusten keskikuormitus on kiinteä.

Tiekuljetuksen terminaalikustannus

Tiekuljetuksen terminaalikustannus muodostuu lastauksen ja purun aiheuttamista kustannuksista. Kaikissa autoluokissa oletetaan ainoastaan kuljettajan lastaavan ja purkavan kuormaa (ei muuta työvoimaa). Kustannus muodostuu kuljettajan palkasta ja kaluston tuntikohtaisesta pääomakulusta, jotka kerrotaan kuormaukseen ja purkuun kuluvalla ajalla. Kuormauksen aikaa pystyy varioimaan hyödykelaji- ja ajoneuvotyyppikohtaisesti. Luvut on jaettu keskikuormituksella ja tyhjänäajon osuudella.

Tiekuljetusten terminaalikustannukseen sisältyvät erät:

- Kuljettajan tuntipalkka
- Kuljettajan välillinen tuntipalkka
- Kaluston tuntikohtainen pääoma- ja yleiskulu
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin

Tiekuljetuksen liikennöintikustannus

Tieliikenteen liikennöintikustannus muodostuu aikaperusteisesta kustannuksesta sekä kilometriperusteisesta kustannuksesta. Kustannusfunktiossa on mahdollisuus ottaa huomioon myös suoraan linkeille kuvattavia kustannuksia (esim. tietullit), joka annetaan mallille verkkokuvauksen linkkiattribuuttina.

$$\textbf{Tieliikenteen liikennöinnin kustannukset:} = \frac{\text{Aikaperusteiset kustannukset} + \text{Kilometri-perusteiset kustannukset} + \text{Linkeiltä laskettavat kustannukset}}{\text{Keskikuormitus}}$$

Aikaperusteiset liikennöintikustannukset muodostuvat kuljettajan tuntikustannuksesta, johon on lisätty ajoneuvoon jyvitetty pääoman tuntikustannus. Aikaperusteinen liikennöinnin kustannus (tuntia kohden) muodostuu muuten samoin kuin terminaalikustannus, mutta luvuissa huomioidaan tyhjänäajo. Tämän jälkeen aikakustannus (€/h/t) kerrotaan verkkosijoittelusta saatavalla matka-ajalla, kun terminaalikustannus (€/h/t) puolestaan kerrotaan tavararyhmäkohtaisella lastausajalla. Raskaiden ajoneuvojen maksiminopeus on kustannuslaskennassa rajoitettu 86 kilometriin tunnissa.

Kilometriperusteiset liikennöintikustannukset muodostuvat käyttövoiman kustannuksesta sekä muista operoinnin kustannuksista. Tieliikenteen käyttövoimakustannusta määritettäessä huomioidaan ennustettu sähköistymisen osuus ajoneuvoluokassa. Kulu kilometriä kohden kerrotaan verkolta saatavalla matkan pituudella (mukaan lukien tyhjänäajo takaisin).

Tiekuljetusten kilometriperusteiset kustannukseen sisältyvät erät:

- Käyttövoiman hinta kilometriä kohden
- Käyttövoimaveron hinta kilometriä kohden
- Renkaiden ja varaosien hinta kilometriä kohden
- Korjauksen ja huollon hinta kilometriä kohden
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin
- Tyhjänä ajon kerroin

3.4.3 Rautatiekuljetuksen kustannukset

Rautatiekuljetusten kustannusfunktion muoto on:

$$rail\ total\ cost\ (€/t)_{c,t} = time(€/t)_{c,t} + dist(€/t)_{c,t} + num_terminals(€/t)_{c,t}$$

Näistä 'time' (aikaperusteinen kustannus) ja 'dist' (kilometriperusteinen kustannus) muodostavat tavaralaji (c)- ja junatyyppikohtaiset (t) liikennöinnin kustannuksen ja paluumatkan kustannukset, jotka näkyvät kustannusvaiheita selittävässä kuvassa sivulla 19. Muuttuja 'num_terminals' (terminaalikustannus) muodostuu saman kuvan lähtöpään ja määränpään yhteenlasketuista terminaalikustannuksista. Komponenttien tarkempaa sisältöä avataan seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 2(sivu 17) näyttää mallissa käytetyt junatyypit, joiden mukaan funktion komponenttien suuruus vaihtelee. Kustannusfunktion komponentit vaihtelevat myös estimointiryhmittelyn tavararyhmien mukaan (12 kpl), jotka löytyvät erillisestä taulukosta (Taulukko 18, liitteet). Funktioiden suurin yksittäinen variaatiota aiheuttava tekijä tavaralajien välillä on käytettävien vaunujen määrä. Tavaraliikenteen malli ei optimoi eräkokoja, joten jokaisen tavaralaji-junatyyppi kombinaation kuljetusten vaunumäärä on kiinteä (tavaralajikohtainen oletus junapituudesta).

Rautatiekuljetuksen terminaalikustannus

Rautatiekuljetuksen terminaalikustannus muodostuu junan lastaamisesta ja purusta aiheutuvista kustannuksista sekä niin veturiin kuin vaunuihin kohdistuvasta pääomakustannuksesta lastauksen ajalta. Kaikki edellä mainitut ovat riippuvaisia

junan terminaalissa kulutetusta ajasta (lastaus- ja purkuaika). Terminaalissa kulutettu aika on määritelty tietyn mittaiseksi tavararyhmäkohtaisesti (mm. vedettävien vaunujen määrän mukaan sekä tavaran käsittelytahdin mukaan). Veturin terminaalissa kuluttama aika ei välttämättä ole sama kuin vaunujen terminaalissa seisoma aika.

Rautatiekuljetusten terminaalikustannukseen sisältyvät erät:

- Veturinkuljettajan tuntikustannus
- Vaihtotyöjohtajan tuntikustannus
- Veturin pääomakustannus/vaunupäiväkustannus tuntia kohden (sis. kiinteät kulut)
- Veturin aikakustannus tuntia kohden (kuluneen ajan ja ajan arvon tulo)
- Lastaus- ja purkuhenkilöstön kustannus työstettyä tonnia kohden
- Vaunun pääomakustannus (sis. kiinteät kulut) kerrottuna vaunujen määrällä
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin

Rautatiekuljetuksen liikennöintikustannukset

Rautatieliikenteen liikennöintikustannus muodostuu tieliikenteen tapaan aikaperusteisesta kustannuksesta sekä kilometriperusteisesta kustannuksesta, jotka kerrotaan verkolta saatavalla matka-ajalla sekä matkan pituudella.

Aikaperusteinen kustannus muodostuu terminaalikustannuksen tapaan veturiin kohdistuvista aikakustannuksista, jotka tosin sisältävät hieman eri kustannuksia kuin terminaaliajan kustannuksissa (katso sisältyvät komponentit alla), ja kuljettajan työn tuntikustannuksista. Aikaperusteisissa liikennöintikustannuksissa huomioidaan myös tyhjänäajon osuus, sekä ns. *roundtrip number*- luku. Roundtrip number-luku kuvastaa matkaa, jonka veturi joutuu ajamaan tuodakseen matkaan tarvittavat vaunut oikeaan lähtöpaikkaan. Näin ollen veturin matka-aika on pidempi kuin vaunujen matka-aika. Vaunuihin kohdistuvia kuluja ei huomioida aikaperusteisissa liikennöintikustannuksissa, vaan ne sisältyvät kilometriperusteisiin liikennöintikustannuksissa.

Rautatiekuljetuksien aikaperusteiseen liikennöintikustannukseen sisältyy:

- Veturinkuljettajan tuntikustannus
- Veturin pääomakustannus/vaunupäiväkustannus tuntia kohden (sis. kiinteät kulut)
- Veturin aikakustannus tuntia kohden (kuluneen ajan ja ajan arvon tulo)
- Käyttövalmiushuolto (yleiset siivoukset, pesut, säiliöiden tyhjennykset yms. Ovat suhteessa matkan pituuteen)
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin
- Tyhjänäajon kerroin
- Veturin kulut kerrotaan roundtrip-numberilla (ks. selitys yllä)

Kilometriperusteinen kustannus muodostuu rautatiekuljetuksissa sekä veturin, että vaunujen osalta käyttövoimakustannuksista yksikön kuljettua kilometriä kohden, ratamaksuista sekä kunnossapitokuluista kilometriä kohden. Kaikki veturin kustannukset kerrotaan tyhjänäajon osuudella, roundtrip number-luvulla sekä hallintokulujen kertoimella. Vaunujen kustannukset kerrotaan vaunujen määrällä, mutta ei roundtrip number- luvulla.

Rautatiekuljetuksien matkaperusteiseen liikennöintikustannukseen sisältyy:

- Veturin käyttövoiman kustannus kilometriä kohden (sis. veron osuuden erikseen)
- Vaunun käyttövoiman kustannus kilometriä kohden (sis. veron osuuden erikseen)
- Veturin ratamaksun osuus kilometriä kohden
- Vaunun ratamaksun osuus kilometriä kohden kerrottuna vaunujen määrällä
- Veturin kunnossapito kulu kilometriä kohden
- Vaunun kunnossapito kulu kilometriä kohden kerrottuna vaunujen määrällä
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin kaikkiin kustannuksiin
- Veturin kulut kerrotaan roundtrip-numberilla (ks. selitys yllä)
- Tyhjänäajo huomioidaan kaikissa kustannuksissa

3.4.4 Alusliikenteen kustannukset

Aluskuljetusten kustannusfunktion muoto on:

$$ship\ total\ cost\ (€/t)_{\ c,s,d} = time(€/t)_{c,s,d} \ + \ dist(€/t)_{c,s,d} \ + \ terminal_cost(€/t)_{c,s,d}$$

Näistä time (aikaperusteinen kustannus) ja dist (kilometriperusteinen kustannus) muodostavat liikennöinnin tavararyhmä (c)-, alustyyppi(s)- ja alussyväysperusteiset (d) matkakustannukset (mahdollinen paluumatkan tyhjänäajo sisältyy), jotka näkyvät sivun 19 kustannusvaiheita selittävässä kuvassa. Muuttuja 'terminal_cost' (terminaalikustannus) muodostuu saman kuvan lähtöpään ja määränpään yhteenlasketuista terminaalikustannuksista. Komponenttien tarkempaa sisältöä avataan seuraavissa kappaleissa.

Taulukko2 (sivu 17) näyttää mallissa käytetyt alustyypit, joiden mukaan funktion komponenttien suuruus vaihtelee. Alusliikenteen kustannukset vaihtelevat myös alustyypin syväyksen mukaan alustyyppien sisällä. Tämän lisäksi kustannusfunktion komponentit vaihtelevat estimointiryhmittelyn tavararyhmien mukaan (12 kpl), jotka löytyvät erillisestä taulukosta (Taulukko 18, liitteet). Funktioiden suurin yksittäinen variaatiota aiheuttava tekijä tavaralajien välillä on keskikuormituksen suuruus. Tavaraliikenteen malli ei optimoi eräkokoja, joten jokaisen tavaralaji-alustyyppi-syväys kombinaation kuljetusten keskikuormitus on kiinteä.

Alusliikenteen terminaalikustannus

Alusliikenteen terminaalikustannus muodostuu hieman eri tavalla riippuen alustyypistä. Perusidea on kuitenkin sama kuin muissa kuljetustavoissa (tie- ja rautatiekuljetuksissa); terminaalikustannus muodostuu aluksen lastaamisesta ja purusta aiheutuvista kustannuksista (työn kustannuksesta) sekä aluksen satamassaolo ajasta aiheutuvista kustannuksista (mm. miehistön aikakustannuksia, polttoainekustannuksia, sataman perimästä alusmaksusta yms.).

Lastaamisen kustannuksen laskennan logiikka vaihtelee alustyypin mukaan, kun taas aluksen satamassaolo ajan kustannuksen logiikka pysyy samana alustyypistä riippumatta. Yksikköarvot, terminaaliajat ja niistä riippuvat kokonaiskustannukset ovat niin alustyyppi-, syväys- ja tavaralajiriippuvaisia.

Aluskuljetuksien satamassaolo ajan terminaalikustannuksiin sisältyy:

- Miehityskulut tuntia kohden
- Pääomakulut tuntia kohden
- Vakuutusmaksu tuntia kohden
- Polttoanekulut satamassa vietettyä tuntia kohden
- Yleiskustannus tuntia kohden
- Korjaus- ja kunnossapitokulut tuntia kohden
- Alusmaksu tonnia kohden
- Tavaramaksu tonnia kohden

Irtolastialuksen terminaalikustannus muodostuu kokonaisuudessaan satamassaolo ajan kustannuksesta, johon on lisätty käsittelytoimien (partaan yli) tonnihinta. Tonnihinta vaihtelee tavararyhmittäin, hinnat saatu erillisen konsulttiselvityksen kautta.

Konttialuksen terminaalikustannus muodostuu kokonaisuudessaan satamassaolo ajan kustannuksesta, johon on lisätty keskimääräinen kontin käsittelyn tonnihinta. Tonnihinta voi vaihdella tavararyhmittäin, hinnat saatu erillisen konsulttiselvityksen kautta.

Säiliöaluksen terminaalikustannus muodostuu kokonaisuudessaan satamassaolo ajan kustannuksesta, johon on lisätty keskimääräinen säiliön/lastin käsittelyn tonnihinta. Tonnihinta voi vaihdella tavararyhmittäin. Tarkkaa tietoa nestebulkin käsittelyhinnoista ei ole saatavilla, konsulttiselvityksen mukaan hinnat vastaavat parhaiten irtolastin käsittelyhintoja, näin ollen hinnat ovat samat kuin irtolastilla.

Roro-/ropaxaluksen terminaalikustannus muodostuu kokonaisuudessaan satamassaolo ajan kustannuksesta, johon on lisätty keskimääräinen roro/ropax käsittelyn tonnihinta (lastin operointikulu). Tonnihinta voi vaihdella tavararyhmittäin.

Aluskuljetuksen liikennöintikustannukset

Alusliikenteen liikennöintikustannus muodostuu muiden kuljetusmuotojen tapaan aikaperusteisesta kustannuksesta sekä kilometriperusteisesta kustannuksesta, jotka kerrotaan verkolta saatavalla matka-ajalla sekä matkan pituudella.

Aikaperusteinen liikennöintikustannus muodostuu satamassaoloajan tapaan aluksen operoinnista aiheutuvista kustannuksista (mm. miehistökulut, pääomakulut, yleiskustannukset yms.). Polttoaineen kustannus ei kuitenkaan satamassaoloajasta poiketen ole mukana liikennöinnin aikaperusteisissa kustannuksissa, vaan se huomioidaan liikennöinnin kilometriperusteisissa kustannuksissa. Myöskään alus- tai tavaramaksua ei huomioida liikennöintikustannusten yhteydessä. Liikennöinnin aikakustannuksissa huomioidaan kuitenkin hallintokulujen lisä sekä tyjänäajon osuus, toisin kuin terminaalikustannuksissa.

Aluskuljetuksien aikaperusteiseen liikennöintikustannukseen sisältyy:

- Miehityskulut tuntia kohden
- Pääomakulut tuntia kohden
- Vakuutusmaksu tuntia kohden
- Yleiskustannus tuntia kohden
- Korjaus- ja kunnossapitokulut tuntia kohden
- Hallintokulujen lisäkustannuskerroin
- Tyhjänäajon kerroin

Kilometriperusteinen kustannus muodostuu aluksen ajonaikaisesta polttoainekustannuksesta kilometriä kohden. Kustannus kerrotaan tyhjänäajon osuudella.

Aluskuljetuksien matkaperusteiseen liikennöintikustannukseen sisältyy:

- Ajonaikaisen polttoainekulutuksen kustannus kilometriä kohden
- Tyhjänäajon kerroin

3.4.5 Kustannustiedosto

Tavaraliikenteen kuljetuskustannusten kustannusfunktioiden komponentit annetaan mallille lähtötiedoksi json-tiedostona. Samaan tiedostoon sisältyy sekä henkilöliikenteen- että tavaraliikenteen yksikkökustannukset. Tiedoston sisältö on kuvattu tarkemmin mallin käyttöohjeissa (https://traficom.github.io/valma-docs/).

4 Tuotosmalli

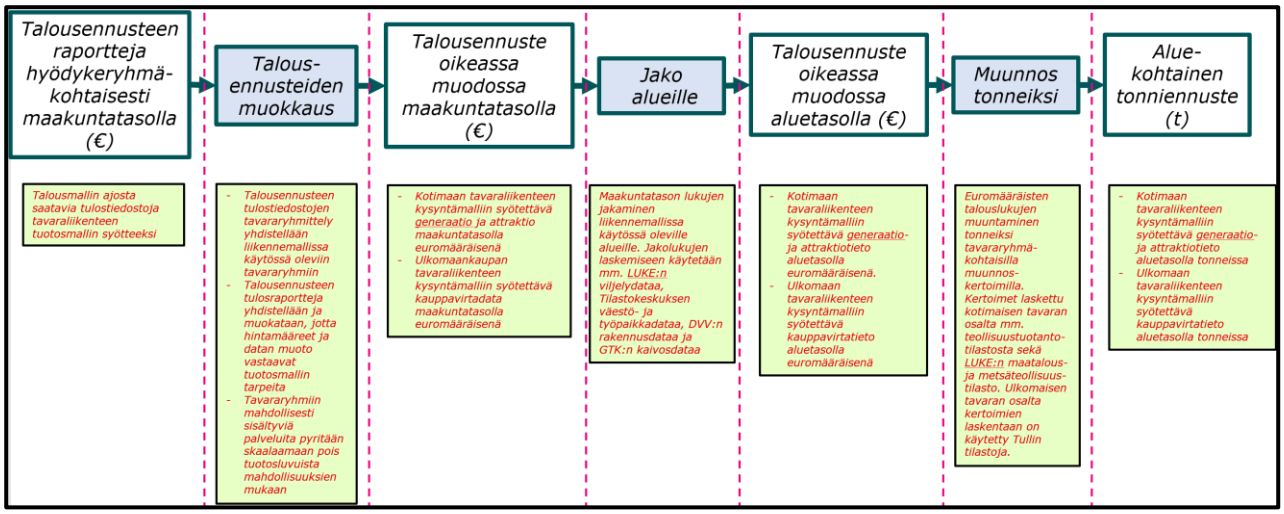
4.1 Johdanto

Tavaraliikenteen tuotosmalli tuottaa lähtökohdat tavaraliikenteen kysyntämallille. Tavaraliikennettä muodostuu, kun tavaraa kuljetetaan valmistuspaikasta sen käyttöpaikkaan. Tuotosmallilla pyritään ennustamaan mahdollisimman realistisesti kuinka paljon tuotteita tietty alue tuottaa ja vastaavasti, kuinka paljon sama alue kuluttaa tulevaisuudessa. Tuotosmallin tulokset toimivat siten kysyntämallin syötteenä. Kysyntämalli määrittelee lopuksi kuljetusten suuntautumisen ja kuljetustavat. Ulkomaan tavaraliikenteen osalta tuotosmalli kuitenkin tuottaa myös suuntautumistiedon.

Kotimaan sisäisen tavaraliikenteen tuotosmalli ennustaa aluekohtaisesti, kuinka paljon jokainen kotimainen alue tuottaa sekä kuluttaa eri tuoteryhmiä (kotimaassa valmistettuja). Kun alue tuottaa tuotteita, se "generoi" liikennettä; tonnit liikkuvat tuotospaikasta eri käyttöpaikkoihin. Tavaraliikenteen kotimaan mallissa tätä kutsutaan *generaatioksi*. Kun alue kuluttaa tavaratonneja, se "attrahoi" liikennettä itseensä. Tavaraliikenteen kotimaan mallissa tätä kutsutaan *attraktioksi*. Kyseinen aluedata toimii syötteenä tavaraliikenteen kotimaan kysyntämalliin. Lopullinen tavaraliikenteen kotimainen kysyntä saadaan ajamalla kotimaan kysyntämallia, joka määrittää liikenteen suuntautumisen, kuljetustavanvalinnan ja sijoittumisen liikenneverkolle alueiden generaatioiden ja attraktioiden perusteella.

Ulkomaankaupan tavaraliikenteen tuotosmalli puolestaan ennustaa, kuinka paljon tuotteita jokainen alue tuottaa vientiin sekä kuinka paljon alueet käyttävät tuontituotteita. Malli määrittää tämän lisäksi vientitavaroiden määränpään (ulkomaanalue) sekä tuontituotteiden alkuperän (ulkomaanalue). Tällä tavalla malli tuloksena saadaan taulukkomuotoinen data, josta on luettavissa kuinka paljon tavaraa jokaisen kotimaan alueen ja ulkomaan alueiden välillä liikkuu (tuonti ja vienti erikseen). Kyseinen tavaravirtadata toimii syötteenä ulkomaankaupan tavaraliikenteen kysyntämalliin, joka sitten määrittää ulkomaan tavaraliikenteen kuljetustavanvalinnan ja sijoittumisen (suuntautumista ei määritetä kysyntämallissa, koska se on valmiiksi määritetty ulkomaan tavaraliikenteen tuotosmallissa).

Tavaraliikenteen tuotosmallissa tuotteiden määrät ja tuotos-/käyttöpaikat johdetaan talouden näkymistä. Alueellinen talous määrittää, miten paljon eri tuotteita tuotetaan ja käytetään kyseisellä alueella. Tuotosmallin syötteeksi tarvitaan siksi alueellisia talousennusteita. Talousennusteet saadaan talousmallista nimeltään REFINAGE. REFINAGE on maakuntatasolla taloutta mallintava alueellinen yleisen tasapainon malli. Tuotosmalli muokkaa talousmallista saatuja tuloksia tarvittavaan muotoon, yhdistelee niitä, muuntaa euromääräiset arvot tonneiksi ja jakaa maakuntatason luvut liikennemallissa käytössä oleville alueille. Yleiskuvaus tavaraliikenteen tuotosmallin työvaiheista löytyy sivulta 28. Tavaraliikenteen kysynnän lähtökohtana ovat näin ollen kansantalouteen ennustetut muutokset, jotka heijastuvat eri tuotteiden kysyntään ja sitä kautta kuljetusmääriin.



Kuva 7. Tavaraliikenteen tuotosmallin työvaiheet.

4.2 REFINAGE: alueellinen tasapainomalli

Kansantalouden muutoksia ennustamaan/skenarioimaan on valikoitunut REFINAGE-talousmalli. Mallia on käytetty erilaisten tulevaisuusskenaarioiden tarkasteluun myös muilla hallinnonaloilla ja se mahdollistaa yhdenmukaisten lähtökohtaskenaarioiden käyttämisen liikenne-ennusteita laadittaessa. REFINAGE, joka on alueellinen yleisen tasapainon malli, skaalautuu myös hyvin liikennemallin tarpeisiin. Tulokset saadaan maakuntatasolla, josta niitä on helpompi jakaa liikennemallin pienalueisiin valtakunnan tasolla oleviin tuloksiin verrattuna.

Yleisen tasapainon mallit ovat yleisesti johdonmukainen tapa tarkastella tulevaisuuden taloutta. Mallissa talouden eri toimijat pyrkivät maksimoimaan omaa hyötyään annettujen budjettirajoitteiden raameissa. Muita yleisen tasapainomallin hyviä puolia ovat kokonaisvaltainen lähestymistapa, joka ottaa huomioon niin toimialakohtaisen kilpailun, tuotemarkkinat, ulkomaankaupan ja työmarkkinat. Yksittäiset muutokset taloudessa heijastuvat näin ollen kaikkiin talouden toimijoihin (World Bank Group, 2026).

REFINAGE-malli toimii lisensoidulla GEMPACK-mallinnusohjelmistolla, joka on suunniteltu talouden mallinukseen (Horridge et. al., 2018) ja sen käyttämän TABLO-koodin on rakentanut Juha Honkatukia perustuen Australiassa tehtyyn pohjatyöhön (mm. MONASH-malli).

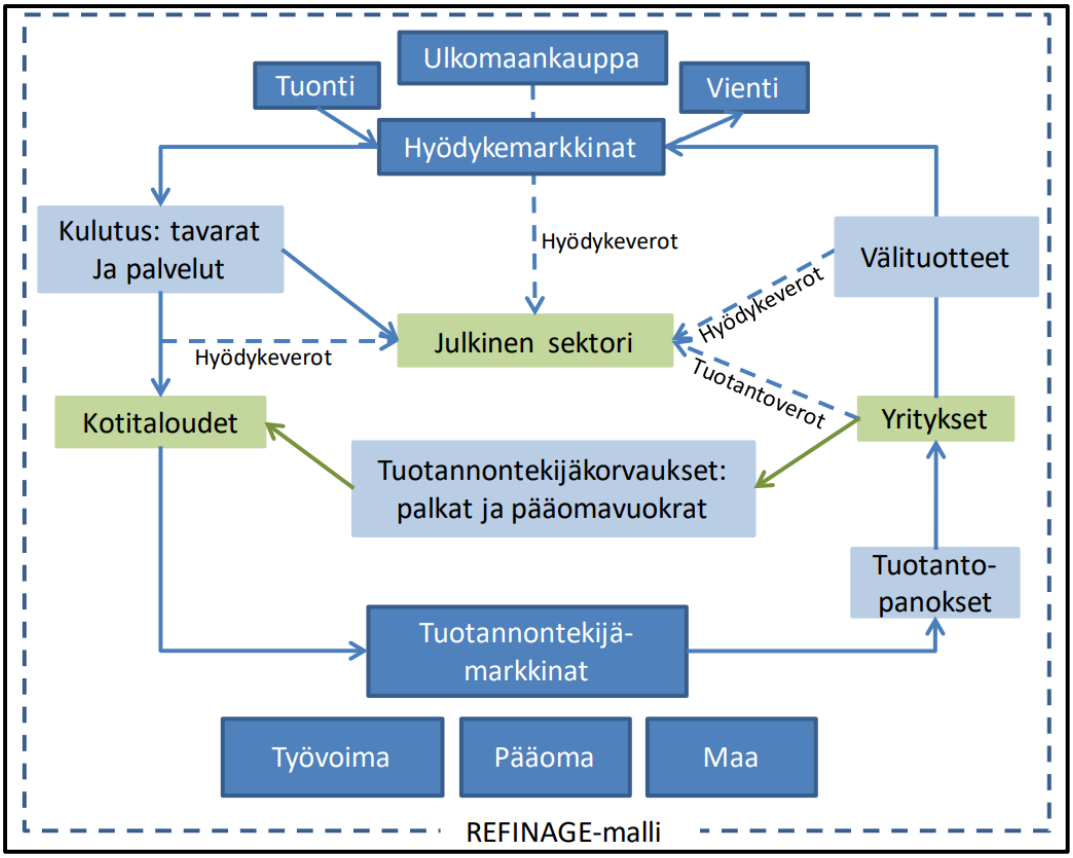
REFINAGE, kuten muutkin yleisen tasapainon mallit, nojaa kolmeen perusperiaatteeseen (Honkatukia, 2009):

1. *Yleisyys - Malli käsittelee eksplisiittisesti useiden talouden toimijoiden optimointikäyttäytymistä*. Malli kuvaa siis taloutta ***yleisesti***, eikä jonkin yksittäisen toimijan osalta. Kuten yllä mainittiin, talouden toimijat tekevät päätöksensä maksimoimalla oman hyötynsä. Näin ollen esim. hintojen nousu tulee johtamaan siihen, että harvempi talouden toimija todennäköisesti valitsee tuotteen.

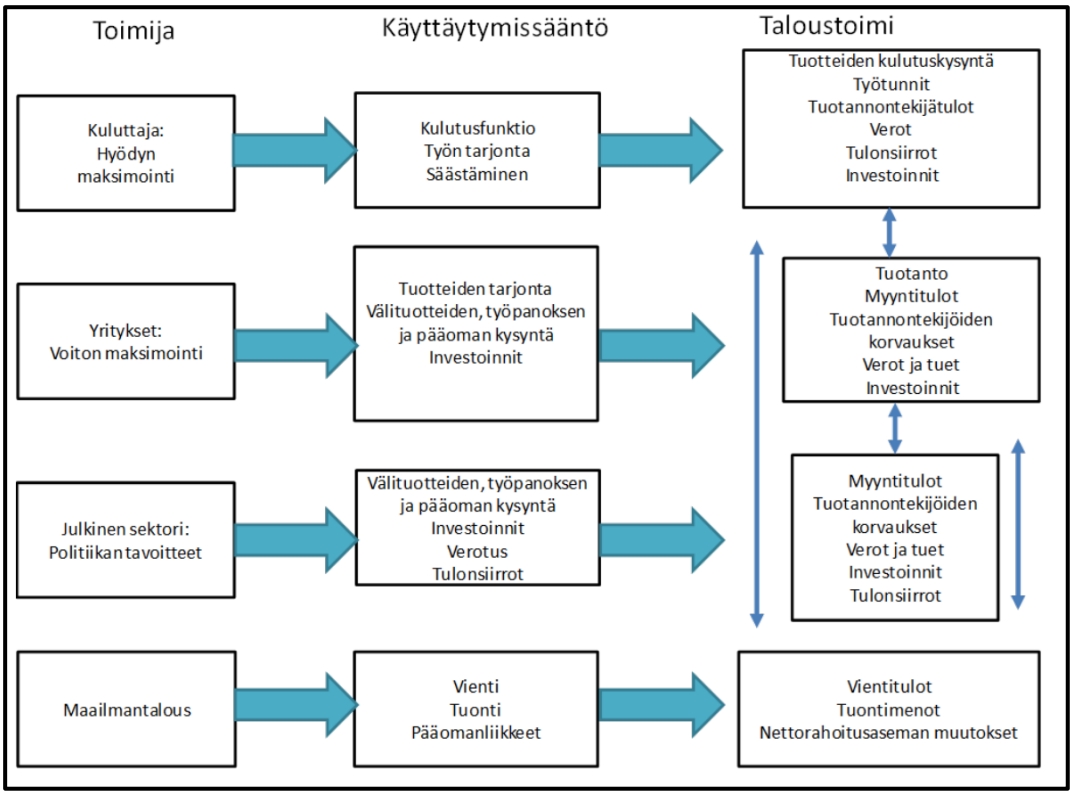
2. *Markkinatasapaino - Malli kuvaa kysyntä- ja tarjontapäätösten vaikutuksen hyödykkeiden ja tuotannontekijöiden hinnanmuodostukseen kaikilla markkinoilla*. Käytännössä muutos tietyllä markkinalla vaikuttaa myös toiseen markkinaan, joka puolestaan vaikuttaa kolmanteen markkinaan jne. Markkinat ovat ***tasapainossa*** keskenään ja näin ollen jatkuvassa vuorovaikutuksessa toistensa kanssa.

3. *Numeerisuus - Mallin kaikki yhtälöiden kertoimet ja parametrit arvioidaan tietokantojen perusteella.* Kaikki malleihin syötetty tieto perustuu mm. kansantalouden tilinpidon kautta saataviin tilastoihin (mm. tuotos- ja käyttötaulut, tulonjakoa ja tulonmuodostusta kuvaavat tilastot, hinta- sekä tulojoustoja kuvaavat tilastot jne.), joiden perusteella malli ennustaa tulevaa talouskehitystä. Kaikki ennusteet perustuvat tietokantaan ja ovat ***laskettavissa***.

Talousmallin sisällä toimivien toimijoiden keskinäisiä suhteita on kuvattu kuvassa Kuva 8 ja toimijoiden omaa optimointikäyttäytymistä kuvassa Kuva 9. Yksityiskohtaisempi selitys REFINAGE:n toimintaperiaatteista löytyy mm. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarjan julkaisusta *Alueellisen taloustiedon tietokanta* (Honkatukia et. al., 2019).



Kuva 8. REFINAGE-malli. Kansantalouden alueellinen tasapainomalli ja sen toimijoiden vuorovaikutus. Lähde: Honkatukia et al. 2019.



Kuva 9. Toimijoiden ja taloustoimien väliset yhteydet yleisen tasapainonmalleissa. Lähde: Honkatukia et al. 2019.

Yleisen tasapainon mallit ovat myös ajan saatossa saaneet kritiikkiä osakseen. Muun muassa McKitrick (1998) väittää, että mallien rajoitteet ja oletukset vaikuttavat liian paljon mallien tuloksiin. Toinen malleja kohtaan nostettu kritiikki on niiden käyttäytymisfunktioiden liittyvä yksinkertaisuus. Dixon ja Rimmer ovat vuonna 2013 vastanneet kritiikkiin; yleisen tasapainon mallit ovat järjestelmällinen tapa tarkastella taloutta, jossa oletukset toki saavat oman painoarvonsa. Hyvä tapa validoida mallien toimivuutta on tehdä historiatarkasteluja mallien avulla. Mallit ovat yleisesti pystyneet melko hyvin kuvaamaan mennyttä kehitystä. Tämä vastaa myös toiseen kritiikkiin siitä, ettei mallien monimutkaisuus välttämättä tee ennusteista parempia (katso myös Dixon et. al., 2016).

Kritiikki tiedostaen, on REFINAGE valikoitunut tavaksi ennustaa/skenaarioida tulevaisuuden alueellisia tuotanto- ja kulutusmääriä tavaraliikenteen mallinnusta varten. Ratkaisevina seikkoina valintaan on ollut mallin laaja käyttö eri hallinnonaloilla, sen skaalautuvuus liikennemallin tarpeisiin sekä sen johdonmukainen tapa tarkastella kansantaloutta tulevaisuuteen. Kyseessä on ennuste tulevaisuuden talouskehityksestä, johon aina liittyy epävarmuustekijöitä.

4.3 Tuotosten muodostaminen

REFINAGE-malli tuottaa raportteja monesta eri kansantalouden tunnusluvusta eri tasoilla. Mallista saa esimerkiksi tulostettua raportteja BKT-kehityksestä, kotitalouksien käytössä olevasta tulosta tai verokertymistä vuosittain. Tavaraliikenteen mallin syötteiksi muokattavat raportit muistuttavat jokseenkin kansantalouden tilinpidon käyttö- ja tarjontatauluja. Niistä on luettavissa tavararyhmäkohtainen tuotos ja käyttö maakunnittain, mutta tämä vaatii joidenkin raporttien yhdistelyä sekä raportoitujen hintojen ymmärrystä.

Tavaraliikenteen tuotosmallia syötteeksi REFINAGE:sta tulostettavat raportit ovat nimeltään USE(c,s,u,d), USE_BAS(c,s,u,d), TRADE(c,s,r,d), ROWDEM(c,r,d) ja EXP_MAR(c,r,d). Raportit tulostuvat poikkileikkausvuosille, joten jokainen raportti tulee tulostaa erikseen haluamalleen ennustevuodelle ja syöttää tuotosmalliin, jotta kysyntämalliin syötettävät tonniennusteet saadaan muodostettua kyseiselle ennustevuodelle. Seuraavissa alakappaleissa käydään läpi talousennusteraporttien käsittely ja yhdistely, jonka avulla tuotetaan tavaraliikenteen tuotosmalliin syötettävät tonnisennusteet.

4.3.1 Kotimaan tuotokset talousennusteessa

Kotimaan tuotoksella tarkoitetaan kaikkea kotimaassa tuotettua tavaraa, joka myös käytetään kotimaassa. Kotimaisten tuotteiden kysyntää kutsutaan kotimaiseksi attraktioksi, koska alue vetää puoleensa tavaraliikennettä puoleensa. Jos maakunnan talousennusteessa ennustetaan kuluttavan tiettyä tuotetta 40 miljoonan euron edestä, on maakunnan attraktio 40 miljoonaa euroa kyseisessä maakunnassa (eurot muunnetaan tonneiksi tuotosmallin myöhemmässä vaiheessa). Mikäli maakunta myös tuottaa samaista tuotetta 20 miljoonan euron edestä kotimaahan, on maakunnan kotimaan generaatio 20 miljoonaa euroa. Kotimaahan suuntautuva kotimainen tuotos on näin ollen kotimaan generaatio. Tavaraliikenteen näkökulmasta generaatio muodostaa maakunnasta lähteviä tuotteita ja attraktio muodostaa maakuntaan saapuvia tavaroita. Tavarat voivat myös siirtyä maakuntien sisällä, eivätkä näin ollen välttämättä poistu maakunnasta.

Attraktio luetaan REFINAGE:n tulosraportista nimeltä USE_BAS, joka sisältää maakuntakohtaista käyttötietoa perushintaan kuluttajan mukaan. Raportista poistetaan vienti- ja tuonti (löytyvät omilta riveiltä raportissa), koska ulkomaankauppavirrat käsitellään erikseen. Tuotteiden käyttö jaetaan väli- ja lopputuotekäyttöön (talousennusteen käyttäjädimension mukaan). Tavoitteena on, että mallin jatkokehittämisessä voidaan jakoa loppu- ja välituotteisiin hyödyntää kuvaamaan paremmin kuljetusten suuntautumista. Käytettävissä olevien kuljetusvirta-aineistojen pohjalta ei erillisiä suuntautumismalleja kuitenkaan voitu ensimmäiseen malliversioon estimoida. Maakuntakohtaiset kotimaan attraktiot käsitellään tavararyhmittäin perushintaisina, koska tonnimuunnoskertoimet on laskettu tilastoista, jotka ovat pääasiassa perushintaisia.

Generaatio luetaan REFINAGE:n tulosraportista nimeltään TRADE, joka sisältää maakuntakohtaista tuotostietoa perushintaan. Raportista poistetaan tuontiarvot (löytyvät omilta riveiltään). Tämän lisäksi raportista vähennetään viennin arvo ROWDEM-raportin avulla (sisältää samat dimensiot kuin TRADE, mutta raportoi vientiarvoja perushintaan), koska ulkomaankauppavirrat käsitellään erikseen. Tuotteet jaetaan väli- ja lopputuote käyttötarkoituksiin TRADE-raportin kauppavirtojen määränpäiden mukaan (käytetään USE-raportin jakaumaa väli- ja lopputuotteisiin ja sovelletaan tätä TRADE-kauppavirtaraportin määränpäiden mukaan). Maakuntakohtaiset kotimaan generaatiot käsitellään tavararyhmittäin perushintaisina, koska tonnimuunnoskertoimet on laskettu tilastoista, jotka ovat pääasiassa perushintaisia.

4.3.2 Ulkomaankaupan virrat talousennusteessa

Ulkomaankaupan osalta tuotoksen muodostaminen on melko samanlainen prosessi kuin kotimaan attraktioiden ja generaatioiden johtaminen. Ulkomaankaupan kohdalla tuotosmalli pyrkii kuitenkin ennustamaan sekä tavaran lähtöpaikan ja käyttöpaikan. Tuonnissa tuotteen attraktiopää maakuntatasolla määrittyy suoraan talousmallista kotimaisen attraktion tapaan, ja tuotteiden alkuperä määrittyy käytettävissä olevista Tullin tilastojen mukaan. Viennissä tuotteen generaatiopää määrittyy myös talousmallista ja sen määränpää saadaan johdettua Tullin saatavissa olevista tilastoista.

Tuonnin maakunta- ja hyödykelajikohtaiset arvot luetaan REFINAGE:n tulosraportista nimeltä USE. USE on muodoltaan täysin samanlainen raportti kuin kotimaan attraktion luomiseen käytetty USE_BAS, mutta tässä tulosraportissa hintoihin sisältyy myös kaupan ja kuljetuksen marginaalit (USE_BAS raportissa perushinta). Raportista huomioidaan vain tuonnin arvo, jonka voi lukea erillisiltä riveiltä. Tuotteiden käyttötarkoitus (väli- tai loppukäyttö) määritetään USE-raportissa määritetyn käyttäjän mukaan. Tuloksena saadaan tavararyhmäkohtainen tuonti euroissa maakuntatasolla. Tullin tilastoista lasketaan jokaisen yksittäisen tuottajamaan osuus Suomen tavararyhmäkohtaisesta tuonnista (nykytilan mukainen jakauma). Jakaumia soveltamalla saadaan kauppavirtadata, jossa käyttäjäpää on Suomen maakunta ja tuottajapää on jokin liikennemallissa käytössä olevista ulkomaanalueista. Lista ja kartta tavaraliikennemallissa käytettävistä ulkomaanalueista löytyy kappaleesta 3.1.2. Raportin hinnat vastaavat perushintaa, jossa on mukana marginaalit. Kyseiset hinnat vastaavat melko hyvin Tullin tuontitilastoja (joista tonnimuunnos lasketaan), jotka ovat raportoitu CIF-arvoisena.

Viennin maakunta- ja hyödykelajikohtaiset arvot luetaan REFINAGE:n tulosraportista nimeltä EXP_MAR. Raportti kuvaa viennin arvoa tuotosmaakunnan mukaan. Raportin hinnat vastaavat perushintaa, jossa on mukana kaupan ja kuljetuksen marginaalit. Viennin osalta tavaraliikenteen malli ei ota kantaa siihen, mihin tuotetta käytetään - tuotteita ei siis eritellä väli- ja lopputuotekäyttöön. Tuloksena saadaan tavararyhmäkohtainen vienti euroissa maakuntatasolla tuotekohtaisesti. Tullin tilastoista lasketaan jokaisen yksittäisen määränpäämaan osuus Suomen tavararyhmäkohtaisesta viennistä (nykytilan mukainen jakauma). Jakaumia soveltamalla saadaan kauppavirtadata, jossa käyttäjäpää on yksi tavaraliikenteen mallin ulkomaanalue ja tuottajapää on Suomen maakunta. Lista ja kartta tavaraliikennemallissa käytettävistä ulkomaanalueista löytyy kappaleesta 3.1.2. EXP_MAR-raportin hinnat (perushinta + marginaalit) vastaavat melko hyvin Tullin vientitilastoja (joista tonnimuunnos lasketaan), jotka ovat raportoitu FOB-arvoisena.

4.3.3 Talousennusteen tihentäminen maakunnasta mallialueisiin

Talousennusteen tuottamia maakuntakohtaisia arvoja täytyy tihentää Valmassa käytössä oleviin pienalueisiin. Tihentämiseen käytetään mm. väestö-, työpaikka-, pinta-ala- ja kiinteistötilastoja/-paikkatietoja. Koska kaikkia tilastoja ei saada riittävän tarkalla tasolla, lasketaan ensin erilliset jakoluvut karkeammalle, kuntakohtaiselle, aluejaolle (tilastot paremmin tihentämiseen soveltuvia, mutta eivät riittävän tarkkoja - tällaiset paikkatiedot ovat esim. peltomaa- ja rakennuspaikkatiedot). Kuntiin jaettua ennustetta tihennetään vielä tarkemmaksi käyttämällä tihentämiseen hieman huonommin soveltuvia muuttujia (ainoastaan väestö- ja työ-

paikkatietoja), jotka kuitenkin saadaan raportoituna todella tarkkana paikkatietona. Tihennyskertoimia yhdistelemällä saadaan tulokseksi yksi kerroin, joka jakaa talousennusteen tuottaman maakuntakohtaisen tavararyhmäennusteen liikennemallin alueille. Jakolukujen laskennassa käytetyt tilastot saadaan mm. LUKE:n, SYKE:n, DVV:n, GTK:n ja Tilastokeskuksen tietokannoista (joko yleisessä jakelussa tai tilattuna).

Jakokertoimet lasketaan erikseen tavaran tuotokselle (generaatio) ja sen käytölle (attraktio), koska eri tekijät vaikuttavat näiden jakautumiseen. Laskennan taustalla on asiantuntija-arvio siitä, mikä käytössä olevista tilastoista selittää parhaiten tietyn tavararyhmän jakaantumista maakuntatasolta mallialuetasolle.

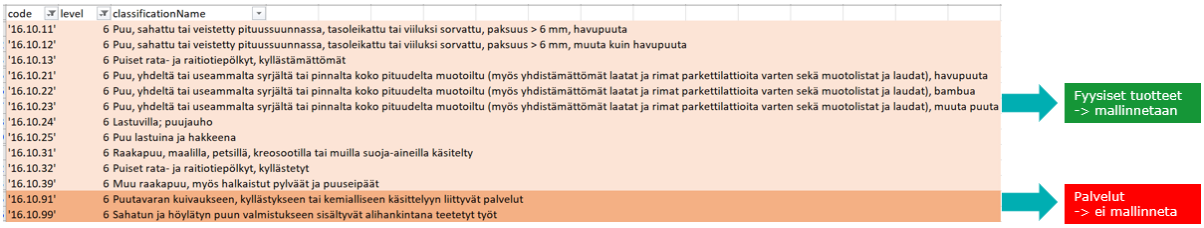
Huomionarvoista on, että Valman aluejako on joissain tapauksissa liian tiheä, jotta toimialakohtaisia työpaikkoja saisi tietosuojasyistä raportoida. Näiden tapausten takia laskentakaavaan on pienellä painotuksella lisätty kaikkien työpaikkojen osuus koko kunnan työpaikosta määrittämään tavararyhmän jakaantumisen alueille, ellei toimialakohtaista työpaikkatietoa ole saatavilla. Kokonaistyöpaikkojen määrä ei olennaisesti vaikuta laskentaan, jos kaikki työpaikkatiedot ovat saatavilla.

Ulkomaan tuotosmallissa kotimaan pään maakuntakohtaiset luvut jaetaan pienalueille samoja jakolukuja käyttäen kuin kotimaan tuotosmallin luvut. Vientituotteiden tuotos jakaantuu alueille samalla tavalla kuin generaatio kotimaan tuotosmallissa ja tuontituotteiden tuonti jakaantuu alueille samalla tavalla kuin attraktio kotimaan tuotosmallissa.

4.3.4 Palveluiden skaalaaminen pois talousennusteesta

Kansantalouden tilinpito, ja näin ollen myös REFINAGE-mallin tulokset, raportoidaan CPA-hyödykeluokituksessa (CPA = Classification of Products by Activity). Hyödykeluokitus on EU:n ylläpitämä, ja käsittää kaikki tavarat ja palvelut, jotka on kohdistettu tietylle NACE- toimialaluokituksen toimialoille. CPA-luokituksesta muunnellaan tavaraliikenteen mallin käyttötarkoitukseen paremmin soveltuva tavararyhmä-luokittelu. Katso kappaleesta 4.4 tarkempi selvitys tavaraliikenteen mallin tavararyhmien määrittelystä ja niiden suhteutumisesta talousennusteen tavararyhmiin.

Tavaraliikenteen malli, nimensä mukaisesti, on ***tavaran*** kuljettamisen valintoja simuloiva malli. REFINAGE:n tulokset, johon tavaraliikenteen malli nojaa, tuottaa talousennusteen CPA-luokkien mukaan, joissa mukana on myös palveluiden tuotoksen arvoa. Tämän takia REFINAGE:n talousennusteesta tulee skaalata pois palveluiden osuus jokaisesta hyödykeluokasta, jotta talousennusteen luvut vastaisivat mahdollisimman hyvin tavaraliikenteen mallin tarpeita. Mikäli euromääräinen tuotos on palveluiden sisältymisen takia liian suuri, menee myös tonnimuunnos väärin. Alla esimerkki CPA2015-hyödykeluokasta 16.1 *Puutavara, sahattu ja höylätty,* jossa osa luokaan kuuluvista tuotteista ovat fyysistä tavaraa ja osa palveluita.



Kuva 10. CPA-tuoteluokka 16.1 Puutavara, sahattu ja höylätty ja siihen luokkaan sisältyvät nimikkeet. Tavaraliikenteen mallissa ei ole tarkoitus mallintaa palveluiden tuotoksesta syntyviä euroja. Lähde: Tilastokeskus. URL: https://stat.fi/fi/luokitukset/cpa/cpa_1_20150101?code=16.10

Palveluiden osuutta REFINAGE:n tuottamasta talousennusteesta skaalataan pois laskemalla Teollisuustuotantotilaston (PRODCOM-tavaraluokituksessa - sisältää vain fyysistä tavaraa) tavararyhmäkohtainen suhde käytetyn talousennusteen tavararyhmäkohtaiseen tuotokseen. Tämän jakoluvun tulona saadaan tavararyhmäkohtaiset skaalauskertoimet. Kyseisiä kertoimia sovelletaan talousennusteiden skaalaamiseen. Oletuksena on, ettei skaalaamisen jälkeen euromääräisissä luvussa ole mukana palveluita.

On hyvä tiedostaa, ettei yllä esitetty skaalaustapa ole optimaalinen. Teoreettisesti teollisuustuotantotilastossa on tosiaan vain fyysisiä tuotteita, kun taas kansantalouden tilinpidon (joita talousennuste kuvaa) arvot sisältävät myös palveluita. Käytännössä ei voi kuitenkaan suoraan todeta, että tilastojen välinen erotus johtuisi ainoastaan palveluiden osuudesta. Tilastot mittaavat nimittäin hieman eri asioita. Teollisuustuotantotilastossa on eriteltynä kaikki yritysten ulkopuolelle myyty tuotanto. Kansantalouden tilinpidon tuotos osaltaan sisältää myös yritysten sisäisen tuotannon. Tämä näkyy selvästi esimerkiksi metallikaivannaisten tavararyhmässä, jossa teollisuustuotantotilaston tuotosarvo on selkeästi pienempi kuin kansantalouden tilinpidossa. Ero ei kuitenkaan johdu ainoastaan siitä, että tavararyhmään sisältyisi paljon palveluita, vaan siitä että mm. kivimursketta murskataan paljon omaan käyttöön rakennustyömailla. Ne ovat siis yhtiöiden sisäisiä siirtoja, jotka näkyvät kansantalouden tilinpidossa, mutta eivät teollisuustuotantotilastossa. Kyseisessä tapauksessa skaalauskerroin määritetään asiantuntija-arvion mukaan.

Metodin puutteet tiedostaen, on skaalaus tehty yllä olevalla tavalla. Koska palveluiden osuus kuitenkin halutaan poistaa CPA-luokkien arvosta ja muita menetelmiä ei ole ollut käytettävissä käytössämme olevilla datoilla, on ongelma ratkaistu näin.

Mikäli tavararyhmää ei oletuksen mukaisesti valmisteta Suomessa (katso kappale 4.4.2), nollataan talousennusteessa mukana oleva tuotos kyseisten skaalauskertoimien avulla.

4.3.5 Talousennusteen deflatointi

Kaikista talousennusteen luvuista on laskettu inflaation vaikutus pois (luvut on deflatoitu). Ennustetut vuodet ovat tällä tavalla vertailukelpoisia keskenään, hinnat ovat ns. reaalihintoja. Reaalihinnat vastaavat sen vuoden hintoja, jolta €/kg-kertoimet on laskettu.

Talousennusteiden muuntamiseen on käytetty REFINAGE:n itse raportoimaa BKT-deflaattoria (näin saadaan REFINAGE:n sisäinen inflaatio laskettua pois). REFINAGE ei kuitenkaan pyri ennustamaan inflaatiota, vaan mallin sisäinen inflaatio on suuntaa antava.

4.4 Hyödykeryhmittely

REFINAGE-mallissa hyödykeryhmiä on yhteensä 55 kpl ja ne perustuvat CPA-tuoteluokitteluun (CPA = Classification of Products by Activity). Näistä 55:stä ryhmästä 30 sisältää fyysisiä tuotteita, eli tavaraa (muut sisältävät enimmäkseen palveluita). Muut tuoteluokat sisältävät ainoastaan palveluita, eivätkä näin ollen sovellu tavaraliikenteen mallin käyttötarkoituksiin.

Tavaraliikenteen mallien estimointiin käytetyt kuljetustilastot eivät kuitenkaan taivu yhtä hienojakoiseen tavararyhmä-luokitteluun, kuin REFINAGE:n tuottama talousennuste. Tämän takia talousennusteen tavararyhmiä joudutaan yhdistelemään karkeampaan 12 ryhmän tavararyhmäjakoon. Kappaleessa 2.3 on selitetty tarkemmin karkeamman tuoteluokituksen muodostamisen periaatteet eri lähtöaineistoista. Kuljetustilastot raportoidaan monessa eri tavaraluokituksessa. Ymmärrys luokitusten suhteutumisesta toisiinsa on tärkeää, ettei tuotteita tipu pois tilastoista yhdistelyn yhteydessä tai vastaavasti ettei sama tuote löydy kahdesta eri paikasta tilastojen yhdistelyn jälkeen.

Mallit estimoidaan karkeammassa tavararyhmittelyssä (12 tavararyhmää, ks. Taulukko 18), mutta ennusteet lasketaan hienojakoisemmassa tavararyhmittelyssä (joka pohjautuu talousmallin tavararyhmittelyyn, ks. Taulukko 19). Karkeampaa tavararyhmittelyä kutsutaan estimointiryhmittelyksi ja hienojakoisempaa tavararyhmittelyä kutsutaan ennusteryhmittelyksi. Mallissa yhdelle estimointiryhmälle laskettuja kertoimia sovelletaan jokaiseen ennusteryhmään, joka on osa kyseistä estimointiryhmää. Näin jokaiselle ennusteryhmälle (jotka pohjautuvat talousmallin tavararyhmittelyyn) saadaan kuitenkin erilliset tavaravirtaennusteet (kaikilla oma kysyntä).

Talousennuste tulostuu alla näkyvässä hyödykeryhmittelyssä (listattuna ainoastaan ne ryhmät, jotka sisältävät fyysistä tavaraa). Kyseistä ryhmistä skaalataan palveluiden osuus pois kappaleessa 4.3.4 esitettyjen skaalauskertoimien avulla. Alla näkyvässä taulukossa on listattuna niin tarkempi ennusteryhmä, kuin karkeampi estimointiryhmä (johon ennusteryhmä kuuluu). Ennuste- ja estimointiryhmien selitteet löytyvät liitteistä (Liite 1).

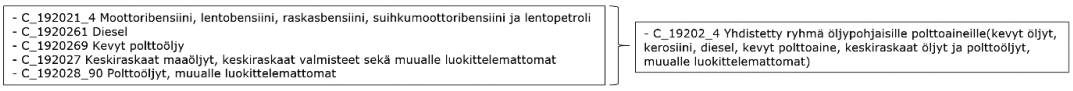
Taulukko 3. REFINAGE-talousmallin tavararyhmien suhteutuminen tavaraliikenteen mallin tavararyhmittelyihin. Listattuna kaikki fyysisiä tuotteita sisältävät tuoteluokat ja niiden tavaraliikenteen mallissa käytetyt lyhenteet. Listattuna myös estimointiryhmät, joihin ennusteryhmät kuuluvat.

REFFINAGE-ennusteen tuoteluokka	REFINAGE-ennusteluokan selite	Ennuste-ryhmä	Estimointi-ryhmä
C_01	Maatalous- ja riistataloustuotteet sekä niihin liittyvät palvelut	marita	mameka
C_02	Metsätaloudesta ja siihen liittyvistä palveluista saadut tuotteet	metsat	metsat
C_03	Kala- ja muut kalastustuotteet, vesiviljelytuotteet sekä kalastusta avustavat palvelut	kalevi	mameka
C_05	Kivihiili ja ruskohiili	krhiil	energy
C_061	Raakaöljy	rkoljy	energy
C_062	Maakaasu (nesteytetty tai kaasumaisessa tilassa)	kaasu	energy
C_07_9	Metallimalmit sekä muut kaivostoiminnasta ja louhinnasta saadut tuotteet	metkai	kaivan
C_0892	Turve	turve	energy
C_10_2	Elintarvikkeet, juomat ja tupakkatuotteet	elint	elint
C_13_5	Tekstiilit, vaatteet sekä nahka ja nahkatuotteet	tekst	tekst
C_16	Puutavara, puu- ja korkkituotteet (pl. huonekalut), olki- ja punontatuotteet	puukor	puukor
C_17	Paperi- ja paperituotteet	papsel	papsel
C_18	Painatus- ja tallennuspalvelut	pappai	papsel
C_191_201	Koksi sekä briketit ja niiden kaltaiset kiinteät polttoaineet	kokbri	energy
C_192021_4	Moottoribensiini, lentobensiini, raskasbensiini, suihkumoottoribensiini ja lentopetroli	oljytu	oljytu
C_1920261	Diesel	oljytu	oljytu
C_1920269	Kevyt polttoöljy	oljytu	oljytu
C_192027	Keskiraskaat maaöljyt, keskiraskaat valmisteet sekä muualle luokittelemattomat	oljytu	oljytu
C_192028_90	Polttoöljyt, muualle luokittelemattomat	oljytu	oljytu
C_20_1	Kemikaalit ja kemialliset tuotteet sekä lääkkeiden lähtöaineet ja lääkevalmisteet	kemlaa	kemiat
C_22	Kumi- ja muovituotteet	kummuo	kemiat
C_23	Muut ei-metalliset mineraalituotteet	minkai	kaivan
C_241_3	Rauta, teräs ja rautaseokset, putket ja profiiliputket sekä niihin liittyvät tarvikkeet (terästä) sekä muut ensimmäisen jalostusasteen teräs	rauter	metkot
C_244_9	Jalometallit ja muut varimetallit sekä metallien valupalvelut	jaloml	metkot
C_25	Metallituotteet (ei kuitenkaan koneet ja laitteet)	mltuot	metkot
C_26_7	Tietokoneet, elektroniset ja optiset tuotteet sekä sähkölaitteet	elektr	metkot
C_28	Koneet ja laitteet, muualle luokittelemattomat	konela	metkot
C_29_30	Moottoriajoneuvot, perävaunut ja puoliperävaunut sekä muut kulkuneuvot	majon	metkot
C_31_3	Huonekalut, muut tehdasvalmisteet sekä koneiden ja laitteiden korjaus- ja asennuspalvelut	huonek	metkot
C_37_39	Viemäröintipalvelut, jätevesiliete, jätteiden keruu-, käsittely- ja loppusijoituspalvelut sekä kunnostuspalvelut ja muut jätehuoltopalvelut	jate	jate

4.4.1 Ennusteryhmien muokkaaminen

Polttoaineiden (öljytuotteiden) yhdistäminen

Talousennusteeseen tulostuu 5 eri hyödykeryhmää, jotka kaikki sisältävät (fossiilisia) polttoaineita (katso Taulukko 3). Tavaraliikenteen valintamallin osalta ei ole tarkoituksenmukaista luoda näin tarkkoja ennusteita yksittäisille polttoaineluokille. Tästä syystä kyseiset hyödykelajit on yhdistetty samaksi polttoaineiden hyödykelajiksi. Yhdistely tapahtuu alla olevan kuvauksen mukaisesti. Yhdistetyn tavararyhmän nimi on C_19202_4 Yhdistetty ryhmä öljypohjaisille polttoaineille (kevyt öljyt, kerosiini, diesel, kevyt polttoaine, keskiraskaat öljyt ja polttoöljyt, muualle luokittelemattomat) ja sen lyhenne tavaraliikenteen mallityössä on "oljytu".



Kuva 11. Polttoaine-hyödykeryhmien samaksi ryhmäksi ennusteen laskemista varten.

Polttoaineiden (öljytuotteiden) jakaminen runkokuljetuksiin ja jakelukuljetuksiin

Kotimaan mallissa öljytuotteiden (polttoaineet) tavararyhmä on yhdistämisen jälkeen vielä jaettu öljytuotteiden runkokuljetuksen tavararyhmään ("oljyru") ja öljytuotteiden jakelun tavararyhmään ("oljytu"). Jako on tehty, koska käytössä aineistojen pohjalta ei kyetty estimoimaan kuljetustavan valintamallia, vaikka rannikon laivakuljetukset ovat merkittävässä roolissa hyödykelajin kuljetuksissa.

Talousmallin tuottamassa ennusteessa käytännössä kaikki kotimaiset öljytuotteet jalostetaan Porvoon jalostamolla (Sköldvik), josta ne siirtyvät runkokuljetuksena suurempiin jakeluterminaaleihin ympäri Suomea. Jotta malli tavaraliikennemalli pystyy jakamaan Sköldvikistä lähtevää generaatiota mahdollisimman realistisesti attraktiopäihin, täytyy runkokuljetusten olla mukana mallissa omana tavararyhmänään. Öljytuotteiden runkokuljetukseen on mallissa vaihtoehtona vain juna tai laiva (runkokuljetuksia ei oleteta kulkevan rekalla).

Nykytilanteen kuljetustilastoista lasketaan Skölvikistä jakeluterminaaleihin lähtevä osuus kaikesta tuotoksesta. Tätä osuutta soveltamalla saadaan laskettua se määrä öljytuotteita, joka lähtee Sköldvikistä runkokuljetuksena jakeluterminaaleihin. Loppuosa Sköldvikin öljytuotteiden tuotoksesta pysyy öljytuote-tavararyhmänä ja se jaellaan alueille niiden öljytuotteiden attraktion suuruuden mukaan, käytännössä tämä muodostaa Etelä-Suomen polttoainejakelun. Runkokuljetustavararyhmän attraktio löytyy malliin määritellyistä terminaalipaikoista. Kun tuotteet ovat kuljetettu runkokuljetuksena terminaaleihin, muuttuu tuote mallissa jälleen normaaliksi öljytuotteeksi, jonka generaatio on terminaalin alueella. Täältä öljytuotteet jaellaan alueille normaalisti talousmallin alueille määrittämien attraktioiden mukaan.

Muiden tavaralajien osalta runkokuljetusten käsittelyyn on käytetty erillistä logistiikkamoduulia (katso kappale 7). Öljytuotteiden osalta runkokuljetukset kuitenkin ajetaan useimmiten laivalla tai junalla. Näitä kuljetustapoja logistiikkamoduuli ei tue. Estimointiaineistossa runkokuljetukset eivät näy riittävän kattavasti, jonka takia ne pitää jakaa kiinteillä kertoimilla terminaaleihin. Jako runkokuljetukseen ja

jakeluun tehdään vain kotimaan tuotosmallin puolella (ei ulkomaan tuotosmallissa).

4.4.2 Tavararyhmämäärien erot kotimaan- ja ulkomaan malleissa

Todellisuudessa Suomessa ei tuoteta kaikki hyödykelajeja, joita REFINAGE:n talousennusteessa on mukana. Malliteknisistä syistä talousmalli antaa jonkin verran kotimaista tuotantoa myös raakaöljylle ja maakaasulle, joita kuitenkaan ei Suomessa tuoteta tai tuotanto on hyvin vähäistä. Tämän takia tavaraliikenteen kotimaan mallissa otetaan pois hyödykeryhmien C_061 Raakaöljy ja C_062 Maakaasu tuotos. Kotimaan mallissa näitä hyödykeryhmiä ei ole mukana lainkaan. Ulkomaan mallissa sen sijaan kyseiset hyödykeryhmät ovat osa tuontia, mutta luonnollisesti eivät ole mukana viennissä. Näin ollen liikennemallissa käsiteltävien tavararyhmien määrät eroavat kotimaan- ja ulkomaan mallien välillä.

Talousennusteen fyysisten tuotteiden hyödykeryhmiä on alun perin 30 kpl, joista 5 polttoaineryhmää yhdistetään yhdeksi hyödykeryhmäksi, joka vuorostaan jaetaan kotimaan tuotosmallin puolella vielä runkokuljetuksen tavararyhmään ja normaalin öljytuotteisiin (ulkomaan mallissa tätä ei tehdä). Kotimaan mallista otetaan vielä pois kaksi hyödykeryhmää, joita ei todellisuudessa valmisteta Suomessa. *Tavaraliikenteen ennuste lasketaan kotimaan mallissa näin ollen 25 eri tavararyhmälle (fossiiliset polttoaineet jaettu runkokuljetukseen ja jakeluun). Ulkomaan mallissa tuonnissa 26 (fossiilisia polttoaineita ei ole jaettu runkokuljetukseen ja jakeluun) eri tavararyhmää ja viennissä 24 tavararyhmää (fossiilisia polttoaineita ei ole jaettu runkokuljetukseen ja jakeluun).*

4.5 Tonnimuunnokset

Talousennusteen tuottamat euromääräiset generaatiot ja attraktiot (kotimaan tuotosmallissa) sekä ulkomaankauppavirrat (ulkomaan tuotosmallissa) muunnetaan siirreltäviksi tonneiksi tilastoista laskettujen tonnimuunnoskertoimien (todellisuudessa €/kg-kertoimet) avulla. Liikenne-ennusteita laadittaessa siirreltävät tavaramäärät kalibroidaan vastaamaan nykytilannetta estimointi-tavararyhmien tasolla, jonka jälkeen ennuste muuttuu talousennusteen mukaisesti ajan myötä. Tonnimuunnoskertoimien vaikutus ennusteeseen jää näin ollen melko pieneksi. Tonnimuunnos määrittää ainoastaan ennuste-tavararyhmien määrien jakautumisen estimointi-tavararyhmien sisällä. Ulkomaan-mallissa nykytilanne on kalibroitu vastaamaan Tullin tilastoja ennusteryhmätasolla. €/kg-kertoimet määrittävät kuitenkin miten ennustettu kaupan arvon muutos (euroissa) muuttuu kuljetettujen tonnien muutokseksi myös ulkomaan-mallissa.

Tonnimuunnoskertoimet lasketaan erikseen kotimaisille tavaroille ja ulkomaisille tavaroille. Oletuksena on, että ulkomailta tulevien- sekä ulkomaille menevien tavaroiden jalostusaste eroaa kotimaan sisällä liikkuvista tuotteista. Samaa käytäntöä on sovellettu mm. Ruotsin SAMGODS-mallissa (Edwards et. al. 2019).

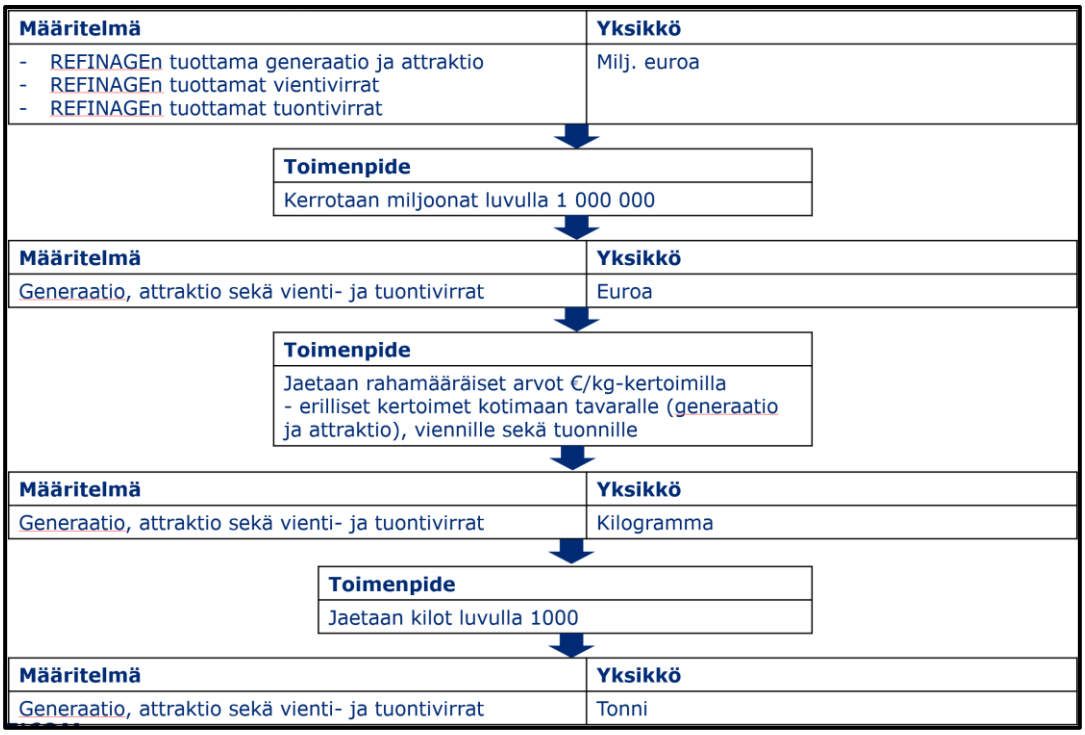
Muunnosta varten jokaiselle ennuste-tavararyhmälle laskettiin arvon ja painon välinen suhde (€/kg) tilastoista. Tavararyhmäkohtaiset euromäärät muunnetaan €/kg-suhdetta käyttäen kilogrammoiksi, josta eteenpäin tonneiksi. Ongelmalliseksi muunnoksen tekee tavararyhmien heterogeenisuus, ennusteryhmiin sisältyy paljon kilohinnaltaan eriarvoisia tuotteita.

€/kg-suhteet on laskettu kotimaan tavaran osalta Tilastokeskuksen ylläpitämän Teollisuustuotantotilaston pohjalta. Vienti- ja tuontituotteille on laskettu €/kg-suhteet Tullin ylläpitämän Uljas-tietokannan tilastoista. Käytetyissä tilastoissa on paljon tuotteita, jotka on raportoitu volyymeissa, kappalemäärinä tai pinta-aloina, tällaisille tuoteryhmille jouduttiin arvioimaan painoja. Metodi ei tuota tarkkoja tuloksia, mutta vertailun perusteella kuitenkin realistisempia tuloksia kuin jos kyseiset tuotteet jätettäisiin pois aineistosta kokonaan. Talousennusteen euromääräiset hinnat on deflatoitu sen vuoden hintaan, jonka tilastoista €/kg-suhteet on laskettu. Näin talousennusteen hinnat vastaavat €/kg-suhteen laskennassa käytettyjä hintoja.

€/kg-suhde pidetään kiinteänä läpi ennusteen. Oletuksena on, etteivät tavararyhmien jalostusasteet olennaisesti muutu suhteessa toisiinsa tulevaisuudessa. Selkeitä viitteitä tällaisesta kehityksestä ei ole tilastojen perusteella havaittavissa (on tutkittu mm. Tullin tilastoja, joissa vuosivaihtelut ovat hyvin suuria, eikä olla löydetty selkeitä trendejä tavararyhmäkohtaisesti. Tällä hetkellä €/kg-suhde on laskettu 2020-luvun alun keskiarvona, osassa tilastoja 2021-2022, osassa 2021-2023).

Prosessi, jossa talousennusteen (REFINAGE) ennustamat rahamääräiset tuotokset ja kulutukset muunnetaan tavararyhmäkohtaisesti tonneiksi, on esitetty alla olevassa kuvassa. Kotimaan tuotosmallissa generaatio ja attraktio muunnetaan tavararyhmäkohtaisten kotimaan €/kg-kertoimen mukaan. Ulkomaan tuotosmallissa vientivirrat muunnetaan tonneiksi tavararyhmäkohtaisia viennin €/kg-kertoimia soveltamalla, kun taas tuontivirrat muunnetaan tavararyhmäkohtaisilla tuonnin €/kg-kertoimilla.

Valma 1.0. versiossa käytetyt €/kg-suhteet löytyvät listattuna liitteissä (Taulukko 29).



Kuva 12. Tavararyhmäkohtainen tonnimuunnos. Jokainen tavararyhmä muunnetaan erillisillä €/kg-suhteilla talousennusteen rahamääräisestä ennusteesta tonneiksi (jotka toimivat tavaraliikenteen kysyntämallin syötteenä).

4.6 Tuotosmallin tulokset

4.6.1 Kotimaan mallin aluedata

Tuotosmallin tuloksena saadaan aluedata Valma:n käyttämässä aluejaossa. Kotimaanmallin käyttämä aluedata-tiedoston muoto on esitettynä sivulla 42 (Taulukko 6). Aluedata kuvaa mallialueiden tavararyhmäkohtaista attraktiota ja generaatiota tonneissa. Generaatio kuvastaa alueella tuotettavia tonneja, kun taas attraktio kuvastaa alueella kulutettavia tonneja. Kotimaan malli suuntaa tonneja tuotannosta kulutukseen attraktiopään tonneja kokotekijänä käyttäen. Tavaraliikenteen mallissa kysyntämatriisia ei balansoida tuotosmallin tuotosten suhteen, joten lopputuloksena saatavan kysyntämatriisin määräpäihin saapuva tonnimäärä ei vastaa suoraan attraktiona käytettyä tuotosta.

Aluedataa muokkaamalla (sekä generaatio- että attraktipäätä) pystytään kuitenkin tekemään yksityiskohtaisia tarkasteluita mm. uusien tuotantopaikkojen vaikutuksista liikenteeseen. Esimerkiksi paperitehtaan avaaminen lisää paperituotteiden generaatiota määritetyllä alueella, ja vastaavasti lisää raakapuun attraktiota samalla alueella. Lähtötietojen muokkaamista on käsitelty kappaleessa 11.1.

Kotimaan mallin aluedata tuotetaan paikkatietona GeoPackage-muodossa.

4.6.2 Ulkomaan mallin aluedata

Tuotosmallin tuloksena saadaan kauppasuunta- ja tavararyhmäkohtaiset matriisit, jotka kuvaavat kotimaan alueen ja ulkomaan alueen välistä kauppaa. Matriisin muoto esitetään alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4 Esimerkki yhden tavaralajin tuonnin/viennin kysyntämatriisista.

	0	**1**	**…**	**66**	**67**
0	97,2	0	…	0	21,9
1	0	32,8	…	0	0
…	…	…	…	…	…
8464	1500,3	0,3	…	50000,5	16000,4
8465	0	809,8	…	0	35,7

Matriiseja on yhteensä 2 (tuonti/vienti) x 26 (tavararyhmät) = 52 kappaletta per ennustevuosi[1]. Ulkomaan mallin lähtötietoina toimivia matriiseja voi muokata tarkasteluja varten samaan tapaan kuin kotimaan aluedataa.

Matriisien sarakkeet kuvaavat ulkomaan alueita (yhteensä 68 kpl). Ulkomaan alueiden numeroinnin selitteet löytyvät liitteistä (Taulukko 30) ja alueet kartalla näkyvät sivulla 12 (Kuva 3). Kotimaan alueet löytyvät matriisin riveiltä. Numerointi vastaa Valma:ssa yleisesti käytössä olevaa aluejakoa, mutta alue_id:t on sortattu pienimmästä suurimpaan ja sen jälkeen annettu niille juokseva indeksinumerointi (alkaen nollasta). Kotimaan alueiden sijainnin pystyy tarkastamaan kotimaan mallin aluedatasta (GeoPackage), jossa alueet löytyvät paikkatietona.

Ulkomaan mallin aluedata tuotetaan OMX-tiedostona.

[1] Kaksi matriisia sisältää ainoastaan 0-arvoja. Kaasun ja raakaöljyn vientiä ei ole, joten niiden tavaralajien vientimatriisi ovat "tyhjiä".

5 Kotimaan suuntautumis- ja kuljetustavanvalintamalli

5.1 Mallin estimoinnin lähtökohdat

Tässä osuudessa kuvataan kotimaan tavaraliikennemallin lähtökohdat, mallirakenne sekä mallinnettuja tuloksia.

Kotimaan estimointiaineiston käsittely on laadittu Python ohjelmointikielellä ja estimoinnit itsessään on toteutettu valintamalleihin erikoistuneella ALOGIT-ohjelmalla. Kotimaan tavaraliikennemallin estimoiminen vaatii useita erilaisia aineistolähteitä, joiden aineistokuvaus on esitetty kohdassa 5.1.1.

5.1.1 Estimoinnin lähtöaineistot

Kuljetusvirta-aineistot

Regressiomallien ja diskreettien valintamallien estimointi edellyttää aineistoa yksilöllisistä havaintotapahtumista alueiden välillä estimoitavin kuljetustavoin. Kotimaan kuljetustapa- ja suuntautumismalli estimoitiin aggregoidulla tavaravirta-aineistolla, jossa havaintoyksikkönä olivat alueiden väliset tavaravirrat. Menettely on tavaraliikennemallinnuksessa yleinen, koska lähetyskohtaisia valinta-aineistoja on harvoin saatavilla kattavasti ja mallin ensisijaisena käyttötarkoituksena on kuljetusmuotojen markkinaosuuksien ennustaminen. Aggregoitu aineisto vastaa mallin sovelluskohdetta, jossa tarkastellaan tavaravirtojen jakautumista kuljetusmuotojen kesken alueellisella tasolla.

Tavaraliikenteen kotimaan mallissa havaintoaineisto on muodostettu Tilastokeskuksen, Väyläviraston, Traficomin sekä rautateiden tavaraliikenteen operaattoreiden tähän tarkoitukseen luovuttaminen kuljetusvirta-aineistojen pohjalta. Estimointiaineiston muodostamisessa käytetyt aineistot olivat

- tieliikenteen tavarankuljetustilaston kunta-kunta matriisit vuosilta 2017-2022 tavaralajeittain
- rautatieliikenteen vuosien 2017 ja 2022 kuljetusvirrat liikennepaikkojen välillä tavaralajeittain
- aluskuljetukset kotimaan satamien välillä 2017-2022

Eri kuljetusvirta-aineistoista koostettu estimointiaineisto kuvaa vuosien 2017 ja 2022 välillä kuntien välisiä tonnivirtoja kuljetustilastokohtaisella hyödykelajilla ja kuljetustavalla. Vastaanotetut eri formaatissa olleet tilastot on yhdenmukaistettu ja niiden sisältöä on validoitu ja muokattu muun muassa seuraavissa määrin

- Poistamalla tilastointivirheet, kuten kuntaparin välillä poikkeavat havainnot, joita ei asiantuntija-arvioiden pohjalta oikeasti ilmene
- poistamalla maa-aineskuljetukset
- poistamalla kuntien sisäiset raide- ja meriliikennekuljetukset
- yhtenäistämällä hyödykelajijaottelun estimoitaviin ja ei-estimoitaviin tavaralajeihin

Käytettävissä ollut rautatieliikenteen aineisto ei kattanut kaikkia muiden kuljetusmuotojen aineistoissa hyödynnettävissä olleita eri vuosien tietoja, eikä sen tarkkuus täysin vastannut tavaralajien tai maantieteellisen tarkkuuden osalta muita liikennemuotoja. Aineistoa täydennettiin asiantuntija-arvioilla. Kyseisissä täyden-

nyksissä tarkastettiin tavaraliikenteen raidepaikkojen sijainnit, lopetetut raidepaikat, hyödykelajin tyyppi otosparin välillä sekä arviointiin merkittävien tavaralajien kohdalla tärkeimmät lähtö- ja määränpääsijainnit. Koska aineistoa oli saatavilla vain vuosille 2017 ja 2022, laadittiin puuttuville välivuosille arvioi kuljetetuista tavaroista interpoloimalla.

Taulukko 5. Esimerkki yhtenäistetystä kuljetustilaston havaintoaineistosta

Vuosi	Lähtökunta tunnus	Määränpääkunta tunnus	Kuljetustilastokohtainen tavaralajin tunnus	Otos (t)
2017	91	423	42	15280
2021	638	153	16	9306

Generaatiot ja attraktiot

Tavaraliikenteen tuotosmallina käytetyn REFINAGE talousmallin tulosten pohjalta muodostettuja aluekohtaisia lähtevien ja saapuvien kuljetusten määriä käytetään kotimaan suuntautumis- ja kuljetustavanvalintamallin generaatioina ja attraktioina. REFINAGE mallin toimintaa ja sen käyttö tavaraliikenteen tuotosten muodostaminen on kuvattu luvussa 4.

Koska kansantalouden virrat on kuvattu maakuntatarkkuudessa ja mallin estimointi tehtiin kunta-aluejaossa, on tavaraliikenteen tuotokset ositettu aluetilastojen pohjalta kuntiin sekä mallin käyttöä varten tiheämpiin osa-alueisiin. Tuotosten tihentäminen on kuvattu kohdassa 4.3.3.

REFINAGE-mallin taulukoiden käsittelyn avulla on laadittu kotimaan tavaraliikenteen tuotosmalli, joka voidaan edelleen aluejakokertoimien avulla tihentää kuntiin estimointia varten, ja alueisiin mallintamiseksi. Seuraavassa taulukossa on esitetty esimerkki tuotosmallin lopputuloksesta tiheässä aluejaossa sekä kuntajaossa. Esimerkissä ainoastaan tavararyhmän elint (elintarvikkeet) tiedot. Riveillä alueen määrittäviä tunnuksia. Sarakkeissa alueen tavararyhmäkohtainen attraktio (määritetty tonneissa) ja generaatio (määritetty tonneissa).

Taulukko 6. Esimerkki tuotosmallista tavararyhmän elint (elintarvikkeet) osalta.

Alueen tunnus	Kunnan tunnus	att_elint (T)	gen_elint (T)
101	202	235	1046
102	202	25400	55
1306	1344	45302	125064
1344	1344	64	6413

Hyödykelajijaottelu estimoinnissa

Suomen tavaraliikenteessä kuljetettavat tavaralajit eroavat toisistaan muun muassa kuljetustavan, arvon, tyypillisen kuljetusmäärän ja lähtö- ja määräpaikan sijainnin pohjalta. Tämä tulee huomioida estimoinneissa, jotta voidaan luoda erilaisille hyödykelajeille erilainen malli samalla huomioiden mallikohtainen riittävä havaintoaineiston otoskoko. Refinage tuotosmalli antaa kokonaiskuvan tavaraliiken-

teessä kuljetettavista tavaralajeista, kun taas kuljetustilastoista havaittavat otokset kuvaavat yksittäisten kuntien välisten tavaravirtojen suuruutta ja käytettyjä kuljetustapoja.

Käytetyissä lähteissä on käytetty erilaisia hyödykeryhmittelyjä, jotka yhtenäistettiin estimointiprosessia varten. Hyödykelajien ryhmittely on avattu tarkemmin kappaleessa 4.4. Hyödykelajijaottelusta laadittiin sekä karkeampi 12 tuotteen että tiheämpi 25 hyödykelajin jaottelu. Karkeampi luokittelu laadittiin yhdistämään Refinage-mallin jaottelu kuljetustapojen jaotteluihin estimointiprosessia varten, sillä

1) kuljetustapatilastoissa käytettyjä hyödykeryhmiä ei voitu erotella tarpeeksi tarkoiksi hyödykeryhmiksi ja
2) parannettiin aineiston riittävyyttä hyödykelajikohtaisissa estimoinneissa.

Tarkempaa 25 luokittelun ryhmää puolestaan hyödynnetään tuotosmallina esittämään alueiden väliset tuotokset ja vetovoimat. Näiden kahden jaon välille laadittiin linkitys soveltaakseen tarkempien tuotosmallin ryhmien mallintamisen karkeasti estimoiduilla ryhmillä. Ohessa on esitetty mallissa käytetyt karkeammat ja tarkemmat hyödykelajijaottelut.

Taulukko 7. Estimoinneissa ja mallintamisessa käytetyt hyödykelajijaottelut

Tarkka tunnus (refinage id)	Tarkka nimi	Karkea tunnus (hyödykelaji id)	Karkea nimi
C_01	marita	1	mameka
C_02	metsat	2	metsat
C_03	kalevi	1	mameka
C_05	krhiil	3	energy
C_07_9	metkai	4	kaivan
C_0892	turve	3	energy
C_10_2	elint	5	elint
C_13_5	tekst	6	tekst
C_16	puukor	7	puukor
C_17	papsel	8	papsel
C_18	pappai	8	papsel
C_191_201	kokbri	3	energy
C_19202_4	oljytu	9	oljytu
C_20_1	kemlaa	10	kemiat
C_22	kummuo	10	kemiat
C_23	minkai	4	kaivan
C_241_3	rauter	11	metkot
C_244_9	jaloml	11	metkot
C_25	mltuot	11	metkot
C_26_7	elektr	11	metkot
C_28	konela	11	metkot
C_29_30	majon	11	metkot
C_31_3	huonek	11	metkot
C_37_39	jate	12	jate

Vastuslaskenta

Kuljetustilaston havaintoparien välisten kuljetusten kokonaisvaltainen ymmärrys tarvitsee aineistoa itse liikenneverkosta. Kyseistä prosessia, jossa lasketaan kaikkien mahdollisten alueparien välille liikennejärjestelmästä johdettujen tekijöiden, kuten pituuden ja ajan tekijöiden vaikutus, kutsutaan vastuslaskennaksi. Koska

kotimaan tavaraliikenteen havaintoaineisto on tilastoitu kunnallisella tasolla, laskettiin vastukset myös vastaavalla liikenneverkon tarkkuudella. Liikenneverkkoa on esitelty tarkemmin kappaleessa 3.2.

Kotimaan tavaraliikenteen estimointeja varten on koostettu kuljetustapakohtaisesti seuraavia alueparien välisiä tietoja: pituus (km), aika (min), (mahdolliset) tiemaksut (€) ja kanavamaksu (€). Lisäksi raide- ja meriliikenteen liityntäosuuksille on laskettu erikseen vastukset pituudelle, ajalle ja tiemaksuille.

Kustannusten määrittely

Tavaraliikenteessä tuotteiden siirtymää alueparien välillä optimoidaan kuljetuskustannusten pohjalta. Yritykset laativat kustannusoptimointia hyödykelaji- ja kuljetustapakohtaisesti ja tämä optimointiprosessi tulee yrittää arvioida ja kuvata mahdollisimman tarkasti kuljetustilaston sekä valitulle vaihtoehdolle että vaihtoehtoisille realistisille vaihtoehdoille. Kustannuslaskennan periaatteet on esitetty yksityiskohtaisesti kappaleessa 3.3.

Estimointia varten kuljetuskustannukset on arvioitu otoksen alueparille ja sen kuljetustavalle sekä muille vaihtoehtoisille aluepareille ja kuljetustavoille. Kustannuksissa lasketaan kokonaiskustannus, joka muodostuu lasketuista vastuksista ja yksikkökustannuksista. Yksikkökustannukset on koostettu erilliseen kustannukset json-tiedostossa, jossa ne on kuvattu hyödykelaji-pääkuljetustapa-sijoittelukuljetustapa kohtaisella tasolla. Kustannuksien laskentaan on käytetty seuraavia kustannuskomponentteja

- pituusvastuksesta ja pituuden yksikkökustannuksesta (tie-, rautatie- ja meriliikenne),
- aikavastuksesta ja ajan yksikkökustannuksesta (tie-, rautatie- ja meriliikenne),
- mahdollisesta verkolle linkkikohtaisesti kuvatusta tiemaksun vastuksesta ja tiemaksun yksikkökustannuksesta (tieliikenne, pääkuljetustapa ja liityntätapa),
- kanavakustannuksen (saimaan kanava) vastuksesta ja kanavakustannuksen yksikkökustannuksesta (meriliikenne),
- terminaalikustannus (tie-, rautatie- ja meriliikenne),
- kaluston osuus kuljetuksista hyödykelajilla (tieliikenne).

Kustannuslaskennan pohjalta muodostetaan kuljetuskustannukset (€/t) hyödykelajeille ja kuljetustavoille alueiden välillä.

Euro-tonni jakokertoimet

Tuotosmallin käsittelyn lopputuloksena saadaan hyödykelajikohtaisesti alueelta tuotettuja ja alueelle saapuvia euroja, jotka muunnetaan tonneiksi vastaamaan kuljetustilastoissa esiintyvien havaintojen yksikköä ja skaalaa. Hyödykelajikohtaiset kotimaan euro-tonni jakokertoimet on koostettu tilastoimalla toimialaluokituskohtaisia tavaroiden painoja ja niiden arvoa, ja sovitettu yhteen karkeamman hyödykelajijaottelun kanssa. Tuotosmallin euromääräisten arvojen muuntaminen tonneiksi on kuvattu kappaleessa 4.5.

5.1.2 Mallityypin valinta

Tavaraliikenteen state-of-the-art estimointimallit ovat pääosin lineaarisia regressiomalleja tai logistisia regressiomalleja. Lineaarisilla regressiomalleilla estimoidaan lineaarinen suhde riippumattomien ja riippuvien muuttujien välillä, kun taas logit-malleilla estimoidaan todennäköisyyksiä tapahtumalle ja kuinka vahvasti erilaiset tekijät selittävät tätä tapahtumaa. Alla on esitetty tiivistys kummastakin mallityypistä ja niiden vahvuuksista ja heikkouksista

Lineaarinen regressio

- Kun pyritään mallintamaan muuttujaa funktion avulla minimoimalla erotusten neliö havaittujen riippumattomien ja riippuvien tekijöiden välillä, ns. pienimmän neliösumman menetelmä
- Yksinkertainen ymmärtää ja toteuttaa, ja tarjoaa hyvä pohjan siirtyä kokeilemaan estimointia muillakin mallityypeillä
- Laajasti käytetty tavaraliikennemalleissa
- Olettaa lineaarisen suhteen muuttujien välillä, minkä vuoksi tilanteissa, joissa muuttujien suhde ei ole lineaarinen tai ilmiö on monimutkaisemmin selitettävissä, johtaa malli todennäköisesti huonoon ennustettavuuteen tai alisovitettuun lopputulokseen
- Hyvin herkkä poikkeaville havainnoille, jotka voivat merkittävästi vääristää estimaatteja

Logistinen regressio

- Käytetään tilanteissa, jossa estimoitavat riippuvat ovat kategorisia, yleensä binäärisiä. Mallinnetaan skalaarin arvon sijaan todennäköisyyttä jonkin tilanteen tapahtumiselle hyödyntämällä sigmoid-funktiota
- Erinomainen toimivuus tilanteissa, joissa luokitellaan tapahtumia mm. kuljetus tapahtui / ei tapahtunut, kuljetustapana on tieliikenne / ei ole tieliikenne
- Poikkeavat havainnot eivät vääristä estimaatteja yhtä helposti kuin lineaarisessa regressiossa sigmoid-funktion vuoksi
- Herkkä kollineaarisuudelle mikäli riippumattomat muuttujat korreloivat toistensa kanssa
- Tarvitsee laadukasta havaintoaineistoa hyvien estimaattien tuottamiseksi

Tavaraliikenteen kotimaan estimointimallin kehittäminen aloitettiin suoran lineaarisen regressiomallin implementaatiolla. Tavaraliikenteen estimointeja on tehty onnistuneesti 90-luvulla, jolloin mallin formaatti tunnettiin nimellä Kraftin malli. Kyseinen malli perustuu painovoimamalliin (gravitation model), jonka tarkoituksena on kuvata ja selittää lineaarisella funktiolla erilaisten tekijöiden painovoimasta johtuvaa käyttäytymisen vaikutusta. Esimerkiksi alueet, joilla hyödykelajin tuotanto tai käyttö on merkittävästi edustettuna, kuten elintarvikkeiden kulutus suurissa kaupungeissa, saavat suuremman painoarvon kyseisellä mallityypillä.

Lineaarinen regressiomalli saatiin kehitettyä estimointeja varten nopeasti, mutta mallinnetut tulokset eivät olleet luotettavia. Vaikka tässä vaiheessa mallikehitystä monien kriittisten estimoinnin lähtöaineistojen koostaminen ja validoiminen olivat vielä merkittävästi alkutekijöissään, havaittiin merkittävimmäksi haasteeksi puutteet kuljetustilastoissa. Karkean hyödykelajien jaottelun pohjalta monille hyödykelajeille ei kyetty koostamaan tarpeeksi laajaa otoskokoa kuljetustavoittain esti-

mointien suorittamiseksi lineaarisella regressiomallilla. Tästä johtuen estimointiaineiston lähtöaineiston kehityksessä mallityypin kehitys siirrettiin lineaarisesta regressiomallista logit-mallinnukseen, tarkemmin strukturoiduksi nested logit -pohjaiseksi malliksi.

5.2 Strukturoitu Nested Logit -malli

5.2.1 Mallin kuvaus

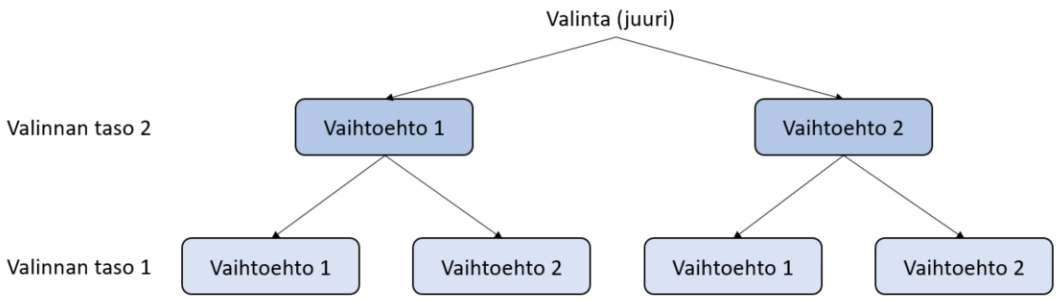
Diskreettejä valintamalleja on useita, minkä vuoksi sopivaa logit-mallityyppiä valitessa tulee perustella

- minkälaisen tapahtuman todennäköisyyttä ollaan mallintamassa,
- minkälaista havaintoaineistoa on saatavilla ja
- minkälaisia muuttujia tapahtuman mallintaminen tarvitsee.

Yleisimpiin logit-mallityyppeihin kuuluvat binäärinen ja multinomiaalinen logit. Koska tavaraliikenteen mallintamisessa käsitellään tapahtumatodennäköisyyksiä useille erilaisille kuljetustavoille ja alueille, mallivaihtoehtoehdoksi valikoitui multinomiaalinen logit malli (MNL), jolla voidaan estimoida yli kahden vaihtoehdon valintatilanteita. Koska vaihtoehtoja lopputulemalle on kahden sijaan kolme tai enemmän, estimoidaan MNL-mallilla todennäköisyyttä valintatapahtumalle, jossa valinta on osa laajempaa vaihtoehtokokoelmaa.

MNL-mallin rajoittava tekijä on IIA-periaate (independency of irrelevant alternatives), jossa mallin tekijöiden oletetaan olevan riippumattomia toisistaan. Tällöin jo olemassa olevien vaihtoehtojen väliset valintatodennäköisyydet eivät saisi muuttua, mikäli valintakokoelmaan lisätään uusia vaihtoehtoja. IIA-periaate toimii merkittävänä rajoittavana tekijänä, sillä kerätyn havaintoaineiston pohjalta ei voida varmistaa millä tavoin erilaiset kuljetusoperaattorit ovat painottaneet kuljetusvaihtoehtoja suhteessa määränpäävaihtoehtoihin ja miten valittuun vaihtoehtoon on päädytty. Logit valintamalleista löytyy kuitenkin mallityyppi nimeltään nested logit model, joka löyhentää IIA-periaatteen rajoitusta strukturoimalla erilaiset vaihtoehtotilanteet hierarkkiseen järjestykseen. Nested logit -mallissa valinnan vaihtoehtoehdot sijoitetaan valintatilanteiden mukaan erilisille tasoille, jolloin valintaa mallinnetaan tasokohtaisesti ja mallinnetun valinnan tulos vaikuttaa myös seuraavalla tasolla.

Esimerkiksi kuljetustilastopohjaisessa estimoinnissa kuljetustavat ja niiden vaihtoehdot voidaan sijoittaa yhdelle tasolle, ja määränpäät ja niidet vaihtoehdot voidaan sijoittaa toiselle tasolle. Tällöin tasojen sisällä tehtävät valinnat eivät ole riippuvaisia toisilla tasoilla tehtävistä valinnoista. IIA-periaatteen on silti oltava voimassa kunkin tason sisällä. Vaihtoehtojen ja niiden mahdollisten tasojen ymmärtäminen on paikoin monimutkaista, minkä vuoksi nested logit -malleja havainnollistetaan puumallien avulla kuvan 1 tavoin selventämään jokaisella yksittäisellä tasolla olevia vaihtoehtoja sekä kokonaisvalintaa.



Kuva 13. Havainnollistettu esimerkki nested logit -mallin puurakenteesta

5.2.2 Estimoidut mallirakenteet

Mallin kehitystyön edetessä estimointeja on laadittu erilaisille mallirakenteille. Rakenteet jotka ovat estimointien edetessä pysyneet pitkälti samoina sisältäen sekä puhtaasti suuntautumismalleja, että nested logit -malleja rakenteella, jossa ensin estimoidaan suuntautuminen ja sitten kuljetustavanvalinta. Estimointien aikana kokeiltiin myös estimoida rakenteella, jossa ensin estimoidaan kuljetustavanvalinta ja toisena suuntautuminen. Kyseisellä mallirakenteella ei kuitenkaan saatu vahvoja tuloksia.

Eräiden hyödykelajien kohdalla rakenteellinen nested logit –malli supistettiin pelkäksi tieliikenteeseen pohjautuvaksi suuntautumismalliksi saatavilla olevan havaintoaineiston ja logiikan pohjalta. Esimerkiksi elintarvikkeiden kohdalla kuljetustilastot koostuivat lähes täysin tieliikenteen havainnoista muutamaa meriliikenteen havaintoa lukuun ottamatta, mikä tuki valintaa tehdä kyseiselle hyödykelajille puhdas suuntautumismalli. Lisäksi asiantuntija-arvioiden pohjalta arvioitiin Suomen kotimaan liikenteessä elintarvikkeiden kulkevan lähes täysin tieliikennevetoisesti tukien päätöstä estimoida vain suuntautuminen.

Taulukossa 1 on esitetty estimoidut mallirakenteet, muuttujien kertoimet sekä T-arvot malliversion 1.0 malleille. Valintaa on painotettu kuljetetun tonniotoksen suuruudella.

Kuljetustapakohtaisille kustannuksille on estimoitu erilliset kertoimet, vaikka käytettyjen kustannusmuuttujien tarkoituksena on ollut kuvata kuljetusten euromääräisiä kustannuksia sellaisenaan. Kuljetustapakohtaisten kertoimien estimoituminen viittaa siihen, ettei kaikkia kuljetusmuodon valintaan vaikuttavia kustannustekijöitä ole kyetty sisällyttämään käytettyihin kustannusfunktioihin. Vaihtoehtoisesti se voi viitata siihen, että kuljetusmuotoihin liittyy kustannusten lisäksi myös muita arvostuksia tai preferenssejä, joita malli ei suoraan huomioi.

Euromääräisten kuljetuskustannusten käyttö mallissa on nähty tärkeänä, koska se mahdollistaa esimerkiksi maksujen, verojen ja muiden kustannusmuutosten vaikutusten suoraviivaisen kuvaamisen mallissa. Jatkossa voidaan tarkastella kustannusmuuttujien edelleen kehittämistä tai vaihtoehtoisesti estimoida erillisiä kertoimia kuljetusetäisyydelle ja kuljetusajalle. Etäisyys ja kuljetusaika ovat kuitenkin vahvasti korreloituneita muuttujia, mikä vaikeuttaa niiden erillisten vaikutusten luotettavaa estimointia.

Taulukko 1. Kotimaan malliparametrit

Tunnus	Mallirakenne	Tekijä	Kerroin	T-arvo
mameka	Suuntautuminen	B_tie_log_kust	-2.524	-23.3
metsat	Suuntautuminen >kuljetustavanvalinta	Vakio_rata	-21.01	-1272.9
		Vakio_meri	-3.472	-89.1
		B_tie_log_kust	-10.5	-1332.9
		B_tie_kust	-0.1836E-02	-5.2
		B_rata_kust	-0.637	-3168.6
		B_rata_aux_kust	-0.5492	-4721.1
		B_meri_kust	-1.215	-770.6
		B_meri_aux_kust	-1.071	-1437.0
		Dcoeff	0.176	66.2
energy	Suuntautuminen >kuljetustavanvalinta	Vakio_meri	-0.455	-29.8
		B_tie_log_kust	-6.372	-1505.1
		B_meri_kust	-0.7298	-1007.4
		Dcoeff	0.4063	17.4
kaivan	Suuntautuminen>kulje-tustavanvalinta	Vakio_rata	-4.693	-2864.0
		Vakio_meri	-2.05	-454.1
		B_tie_log_kust	-3.326	-5154.8
		B_rata_kust	-0.3821	-3769.9
		B_meri_kust	-0.3723	-2102.0
		Dcoeff	0.5823	33.5
elint	Suuntautuminen	B_tie_log_kust	-1.581	-25.5
tekst	Suuntautuminen	B_tie_log_kust	-2.878	-14.0
puukor	Suuntautuminen>kulje-tustavanvalinta	Vakio_rata	-5.487	-812.9
		Vakio_meri	15.68	170.8
		B_tie_log_kust	-2.509	-1287.8
		B_tie_kust	-0.1279	-685.0
		B_rata_kust	-0.3868	-767.0
		B_rata_aux_kust	-0.1279	-685.0
		B_meri_kust	-1.354	-351.5
		B_meri_aux_kust	-0.1279	-685.0
		Dcoeff	0.3667	13.5
papsel	Suuntautuminen>kulje-tustavanvalinta	Vakio_rata	-4.325	-2955.1
		Vakio_meri	23.65	999.8
		B_tie_log_kust	-3.848	-3345.9
		B_rata_kust	-0.3054	-2061.3
		B_meri_kust	-1.091	-1526.3
		Dcoeff	0.3784	21.6
oljyru	Kuljetustavanvalinta	Vakio_rata	-4.005	-1.5
		B_rata_kust	-0.4502E-01	-1.6
		B_rata_aux_kust	-0.3885	-6.2
		B_meri_kust	-0.1296	-1.2
oljytu	Suuntautuminen	B_tie_kust	-0.1175	-13.3
kemiat	Suuntautuminen>kulje-tustavanvalinta	Vakio_rata	-5.498	-890.7
		Vakio_meri	8.118	463.5
		B_tie_log_kust	-1.006	-508.5
		B_tie_kust	-0.7305E-01	-916.8
		B_rata_kust	-0.1156	-579.0
		B_rata_aux_kust	-0.7305E-01	-916.8
		B_meri_kust	-0.6536	-886.6
		B_meri_aux_kost	-0.7305E-01	-916.8
		Dcoeff	0.3589	11.8
metkot	Suuntautuminen>kulje-tustavanvalinta	Vakio_rata	-3.945	-1658.9
		Vakio_meri	11.67	629.7
		B_tie_log_kust	-2.452	-1658.9
		B_tie_kust	-0.3947E-01	-754.2
		B_rata_kust	-0.3088	-0.2463
		B_rata_aux_kust	-0.2463	-1635.2
		B_meri_kust	-0.7799	-901.8
		B_meri_aux_kust	-0.6487	-765.6
		Dcoeff	0.3772	24.9
jate	Suuntautuminen	B_tie_log_kust	-3.314	-30.3

6 Ulkomaan reitinvalintamalli

Tavaraliikenteen ulkomaanmallin tärkein tarkoitus on mallintaa, miten tuonti- ja vientikuljetusten tavaravirrat kohdistuvat Suomen satamiin ja rajanylityspaikoille, mikä mahdollistaa ulkomaankaupan kuljetusten realistisen sijoittelun Suomen liikenneverkolle. Pelkkä satama tai rajanylityspaikka Suomen päässä ei kuitenkaan yksinään määritä, mikä reitti millekin kuljetukselle on houkuttelevin, vaan kuljetuksia tilaavat tahot pyrkivät optimoimaan kuljetusketjun kokonaisuudessaan vastaamaan tarpeitaan. Siksi myös reitinvalintamallissa mallinnetaan kuljetusreittiä kokonaisuudessaan kotimaan alueen sekä ulkomailla sijaitsevan lähtö-/päätepisteen välillä. Tavaravirtojen käyttämistä todellisista reiteistä ja niiden ominaisuuksista ulkomailla on kuitenkin vain vähän tietoa, minkä vuoksi mallinnuksessa on keskitytty kotimaan osuuteen ja ulkomaan osuudella ominaisuudet kuvataan karkeammalla tasolla.

Malli saa lähtötietona kuljetuskysynnän, eli tonneiksi muunnetut tavaralajikohtaiset kauppavirrat kotimaan alueiden ja maaklusterien välillä, ja jakaa nämä virrat reiteille. Maakuljetusten osalta reitti määritellään yksikäsitteisesti käytetyn rajanylityspaikan perusteella, ja merikuljetusten kohdalla satamaparin perusteella (kotimaan ja ulkomaan satama). Reitti sisältää myös tiedon kuljetusmuodosta ja alustyypistä rajaa ylittäessä. Ulkomaan satama voi olla joko ensimmäinen/viimeinen satama ennen maakuljetusta (erityisesti ro-ro- ja bulk-kuljetukset), tai välikäsittelysatama (erityisesti konttikuljetukset), mistä reitti määrä-/lähtömaahan on yksikäsitteinen. Satamaparit mallintavat lastinkäsittelyä eivätkä laivojen fyysistä liikettä - laivoilla voi olla välisatamia myös reitin määrittelevien satamien välillä.

Valittavan reitin määrittävät koti- ja ulkomaan satamat sekä maarajapaikat on klusteroitu estimoinnin ja mallintamisen yksinkertaistamiseksi. Reitinvalintamallissa käytettäviä ulkomaan satamaklustereita on yhteensä 30 ja kotimaan merisatamaklustereita 21. Lisäksi Saimaan kanavan kuljetuksia varten on määritetty neljä satamaklusteria Saimaan rannikolla. Maarajanylityspaikat on klusteroitu viiteen klusteriin. Kullekin klusterille on määritetty edustava satama/rajapaikka, jonka perusteella esimerkiksi välimatkat ja kuljetusajat eri klusterien välillä lasketaan. Klusterit ja edustavat rajapaikat on selitetty taulukossa 7.

Reitinvalintamalli mallintaa samalla implisiittisesti kuljetusmuodon valintaa suurelle osalle kuljetusta. Maarajan ylittävät reitit on eroteltu maantie- ja rautatiekuljetuksiin, ja niiden oletetaan käyttävän samaa kuljetusmuotoa koko matkan. Laivakuljetuksissa ulkomaan alku-/loppupään kuljetuksen (sataman ja lähtö-/kohdepisteen välillä) ominaisuudet vastaavat maantiekuljetusta eikä malli tuota tietoa tällä osuudella käytetystä kuljetustavasta. Vain merikuljetusten Suomen sisäisen osuuden kuljetusmuoto jää reitinvalintamallissa määrittämättä, ja käsitellään mallissa vastaavasti kuin kotimaankuljetusten reitinvalinta.

Ulkomaan tavaraliikennemalli ei käsittele transitokuljetuksia. Tällä hetkellä transitokuljetusten merkitys on vähäinen. Jatkossa voidaan transitokuljetukset lisätä malliin Suomen liikenneverkkoa kuormittavana lisäkysyntänä.

Taulukko 8. Koti- ja ulkomaan satamien ja rajanylityspaikkojen klusterointi mallin estimointia varten.

Ulkomaan satamaklusteri	***Edustava satama***	**Kotimaan satama-/ rajapaikkaklusteri**	***Edustava rajapaikka***
Baltia	*Tallinna*	Hamina, Kotka, Loviisa	*Hamina*
Ruotsi (Itämeri)	*Tukholma*	Sköldvik, Tolkkinen	*Sköldvik*
Ruotsi (Pohjanlahti)	*Holmsund (Uumaja)*	Helsinki	*Helsinki*
Ruotsi (Pohjanmeri)	*Göteborg*	Inkoo, Kantvik	*Inkoo*
Norja	*Oslo*	Hanko, Lappohja	*Hanko*
Tanska	*Aarhus*	Parainen, Förby, Pohjankuru	*Parainen*
Puola	*Gdynia (Gdansk)*	Turku, Naantali	*Turku*
Saksa (Itämeri)	*Travemünde*	Uusikaupunki	*Uusikaupunki*
Saksa (Pohjanmeri)	*Bremerhaven*	Rauma, Eurajoki	*Rauma*
Benelux	*Rotterdam*	Pori	*Pori*
Iso-Britannia	*Felixstowe*	Kaskinen	*Kaskinen*
Irlanti	*Dublin*	Vaasa	*Vaasa*
Islanti	*Reykjavík*	Kokkola, Pietarsaari	*Kokkola*
Ranska (Pohjanmeri)	*Le Havre*	Kalajoki, Rahja	*Kalajoki*
Espanja ja Portugali	*La Coruña*	Raahe	*Raahe*
Italia	*Savona*	Oulu	*Oulu*
Kreikka	*Pireus (Ateena)*	Kemi, Tornio	*Kemi*
Turkki	*Istanbul*	Lappeenranta, Joutseno, Imatra, Ristiina	*Lappeenranta*
Persianlahti	*Jebel Ali (Dubai)*	Varkaus, Savonlinna	*Varkaus*
Kiina	*Tianjin*	Siilinjärvi, Ahkilahti, Iisalmi, Kuopio	*Siilinjärvi*
Japani	*Nagoya*	Joensuu, Kitee, Nurmes, Juuka, Savonranta	*Joensuu*
Kaakkois-Aasia	*Singapore*	Eteläinen Venäjän raja (maantie)	*Vaalimaa*
Afrikka	*Abidjan (Norsunluu-rannikko)*	Eteläinen Venäjän raja (rautatie)	*Vainikkala*
Pohjois-Amerikka	*Houston*	Pohjoinen Venäjän raja (maantie)	*Vartius*
Etelä-Amerikka	*Itaqui (Brasilia)*	Ruotsin raja (maantie)	*Tornio*
Venäjä (Suomenlahti)	*Pietari*	Norjan raja (maantie)	*Kilpisjärvi*

6.1 Estimoinnin lähtöaineistot

Valintamallin estimoinnin pohjana on todelliseen kuljetusdataan perustuva tietoaineisto, joka kattaa kuljetetun tavaran määrän sekä kullekin kuljetukselle valitut sekä valitsematta jääneet mahdolliset reitit vastusattribuutteineen. Estimointiaineisto on muodostettu hyödyntäen useampaa eri ulkoista tietoaineistoa.

Keskeisimmät mallin estimoinnissa käytetyt aineistot on saatu käyttöön Suomen Tullilta, ja kattavat vuonna 2021 Suomesta viedyt ja Suomeen tuodut tavaraerät. Aineistot sisältävät yhteensä n. 15,4 miljoonaa havaintoa, joiden yhteismassa on 98,0 miljoonaa tonnia. Yksi havaintorivi aineistoissa vastaa usein yhtä kuljetuserää, mutta yksi havainto voi sisältää myös useita kuljetuseriä pidemmältä ajalta.

Ilmoitusmenettelyt ja siten Tullin tiedonkeruu eroavat jonkin verran vienti- ja tuontikuljetusten samoin kuin EU:n sisä- ja ulkokauppaan liittyvien kuljetusten osalta, joten käytännössä käytössä on neljä hieman keskenään erilaista aineistoa. Kaikki aineistot sisältävät tullauserän ilmoitetun tavaralajin cpa6-tasolla, tullausarvon, sekä nettomäärän kilogrammoissa ja joissain tapauksissa vaihtoehtoisissa yksiköissä tavaralajista riippuen. Taulukossa 8 on eritelty, mitä tietoa mikäkin näistä aineistoista sisältää, ja kuinka suurelle osalle havainnoista kyseiset tiedot ovat vuoden 2021 aineistossa saatavissa.

Taulukko 9. Ulkomaankaupan tullaushavaintoaineistojen ominaisuudet. Aineistojen attribuuttien kattavuus on ilmoitettu sekä suhteessa havaintorivien määrään että havaintojen kokonaismassaan (ensimmäinen/toinen prosenttiluku).

	Ulkokauppa Tuonti	Ulkokauppa Vienti	Sisäkauppa Tuonti	Sisäkauppa Vienti
Havaintojen lukumäärä	1,1 milj.	2,2 milj.	8,3 milj.	3,7 milj.
Havaintojen massa yht.	29,5 milj. t	18,1 milj. t	24,0 milj. t	26,4 milj.
Postinumero tiedossa	41/82 %	98/98 %	83/93 %	92/93 %
Määrä-/lähtömaa tiedossa	100/100 %	100/100 %	100/100 %	100/100 %
Lähetysmaa tiedossa	100/100 %	-	100/100 %	2/4 %
Suomen tullitoimipaikka tiedossa	36/75 %	80/96 %	-	-
Meri-/maaraja pääteltävissä tullitoimipaikasta*	6/73 %	33/90 %	-	-
Kuljetusmuoto rajalla tiedossa	99/100 %	100/100 %	98/100 %	99/100 %
Kotimaan kuljetusmuoto tiedossa	99/100 %	100/100 %	-	-
Kuljetusvälineestä mahdollisesti yksilöivää tietoa**	54/84 %	-	-	-
Konttikuljetukset eritelty	100/100 %	100/100 %	-	-
Ajallinen tarkkuus	Kuukausi	Kuukausi	Kuukausi	Kuukausi

**Jos aineistossa ilmoitettu tullitoimipaikka sijaitsee satamakaupungissa tai rajanylityspaikalla, sen on tulkittu useimmiten viittaavan tavaran saapuneen/lähteneen kyseisen sataman/rajanylityspaikan kautta. Tämä ei kaikissa tapauksissa pidä paikkaansa.*
***Kuljetusvälinetunnus-kenttä sisältää monilla ulkotuontihavainnoilla esimerkiksi käytetyn auton/trailerin rekisterinumeron, lennon numeron tai aluksen nimen. Joissain havainnoissa tieto on yleisempi, esim. "train", eikä riitä kuljetusvälineen yksilöintiin.*

Tarkimmat käytössä olevat tiedot koskevat ulkotuontia, jonka aineisto kattaa paitsi tiedot tavaran lähetysmaasta (kuten lisäksi sisätuontiaineisto) ja Suomen

rajatoimipaikasta (kuten lisäksi ulkovientiaineisto), myös yksilöivää tietoa käytetystä kuljetusvälinetunnuksesta. Tämä mahdollistaa laivojen satamakäyntidatan yhdistämisen osaan tullihavainnoista, mikä puolestaan auttaa varmistamaan todellisuudessa käytetyn kotimaan sataman samoin kuin liittämään havaintoon tiedon merikuljetuksen edellisestä/seuraavasta satamasta.

Laivakäynneistä saatu tietoaineisto on peräisin Traficomin ylläpitämästä meriliikenteen tilastointijärjestelmästä (MLT). [tarkempaa kuvailua aineistosta ja ehkä datankeruusta?]. Aineisto kattaa Suomen satamissa käyneet alukset tunnistetietoineen sekä satamakäyntiä edeltäneen ja seuraavan sataman.

MLT-datasta saadaan myös tieto satamakäyntien tavaralajista. Tavaralajitieto on MLT:n omassa jaottelussa (33 luokkaa), joka suurelta osin voidaan muuntaa Valmassa käytettyyn tavaralajijakoon. Osa MLT:n tavaralajeista sisältää useampaan Valman ryhmään kuuluvaa tavaraa (esim. "Kasviöljyt, eläinrasvat") tai ei sisällä varsinaista tavaralajitietoa lainkaan ("Erittelemätön kappaletavara", "Muut teol. tuotteet", "Muut luokittelem. tuotteet"). Taulukossa Taulukko 10 on esitetty vertailut tulli- ja MLT-aineistojen tuonnin ja viennin tavaramääristä vuonna 2021 Valman tavararyhmäjaossa. Eroavaisuudet sekä laivattujen tonnien kokonaissummassa että tavaralajikohtaisissa määrissä havainnollistavat tavararyhmittelyn hankaluutta sekä eroja aineistojen tuottamismenetelmissä.

Taulukko 10. Tullaus- ja MLT-aineiston vuoden 2021 laivakuljetusten vertailu tavararyhmittäin.

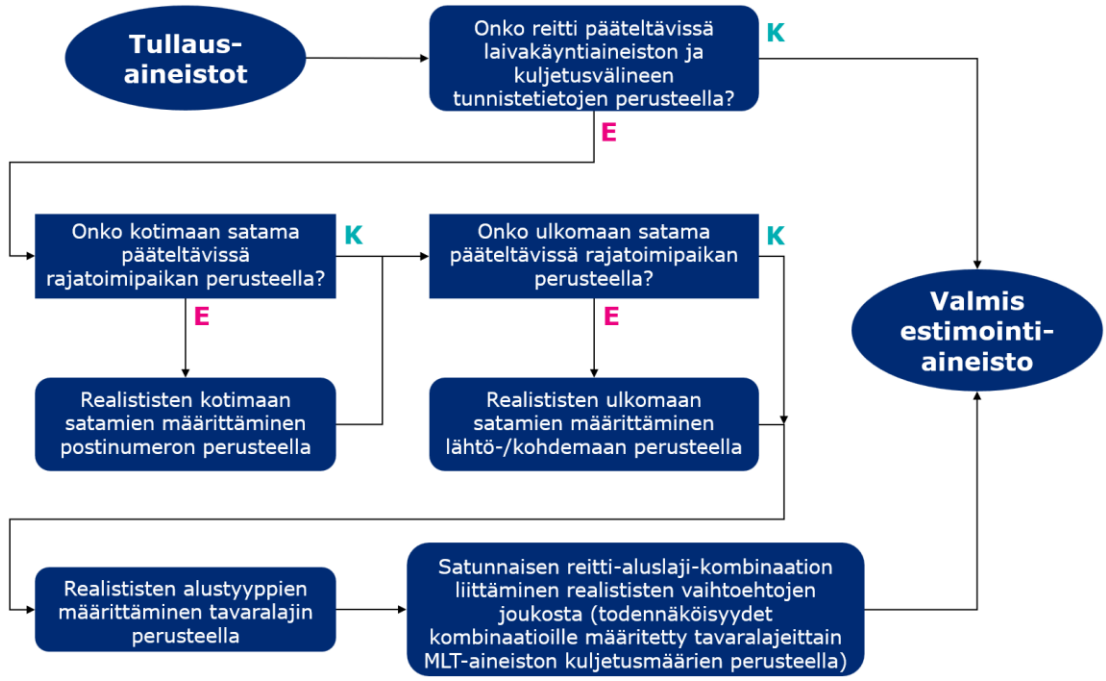
Tavara-ryhmä	Tuontimäärä tulliai-neistossa (kt)	Tuontimäärä MLT-aineistossa (kt)	Vientimäärä tulliai-neistossa (kt)	Vientimäärä MLT-aineistossa (kt)
1	820	180	570	470
2	1 850	3 460	260	280
3a	2 410	2 340	490	150
3b	8 260	8 070	-	-
3c	190	-	170	-
4	8650	9 320	2 410	3 760
5	2 210	1 480	740	360
6	140	20	60	10
7	1 180	90	5 460	4 330
8	530	450	12 170	11 300
9	3 970	4 140	5 320	6 610
10	5 150	2 770	6 440	3 070
11	3 690	4 980	5 000	6 550
12	1 240	-	1 180	-
NA	~0	5 620	150	5 520
YHT	**40 290**	**43 060**	**40 420**	**42 610**

Tulliaineisto ja MLT-data antavat molemmat kattavan poikkileikkauksen Suomen ulkomaankaupan kuljetuksiin, mutta kumpikaan ei yksinään riitä reitinvalintamallin estimoinnin pohja-aineistoksi. Tullausaineisto sisältää kuljetuksen päätepisteet riittävällä tarkkuudella, mutta valitun reitin tiedot hyvin vaillinaisesti. MLT-data taas kattaa laajasti Suomessa käytetyn sataman, ja melko tarkasti myös ulko-

maan sataman, mutta ei lainkaan tietoa tavaran määrä-/lähtömaasta tai suuntautumisesta Suomen sisällä. Reitinvalintamallin estimointia varten aineiston tulisi kuitenkin sisältää tiedot sekä kuljetusten päätepisteistä että valitusta reitistä.

Ulkokaupan tuonnin osalta joillekin kuljetuksille on edellä mainitun kuljetusvälinetiedon kautta mahdollista yhdistää tullihavainnot varmuudella käytettyyn reittiin. Näillä havainnoilla estimoituja malleja voisi periaatteessa käyttää sellaisenaan myös sisätuonnin sekä viennin tarkasteluun, mutta tämä tuottaisi malliin todennäköisesti vinoumaa: kuljetettava tavara yhden tavaralajin sisälläkin eroaa sisä- ja ulkokaupan sekä tuonnin ja viennin välillä, samoin kuin satamien ja reittien ominaisuudet, jolloin reitinvalinnan ei voi olettaa olevan symmetristä näiden välillä. Lisäksi ne ulkotuonnin havainnot, joihin laivatieto saadaan yhdistettyä, eivät välttämättä ole edustava otos edes kaikesta ulkotuonnista.

Aineiston edustavuuden varmistamiseksi ja kaikkien kauppavirtojen (sisä- ja ulkokaupan tuonti ja vienti) saamiseksi mukaan tullihavaintoja rikastettiin määrittämällä puuttuvat reitit satunnaisesti. Reitit liitettiin siten, että käytettyjen reittien suhde tavararyhmittäin noudattelisi lopputilanteessa MLT-aineistosta saatua jakaumaa. Tuloksena on siis eräänlainen osittain synteettinen populaatio vuoden 2021 ulkomaankaupan kuljetushavaintoja, joka tunnetuilta tilastollisilta ominaisuuksiltaan vastaa todellista dataa, mutta jonka yksittäisten havaintojen ominaisuudet ovat osin fiktiivisiä. Logiikka aineiston rikastamiseksi on pääpiirteittäin esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Pääpiirteittäinen prosessi synteettisen reittitiedon liittämiseen ulkomaankaupan havaintoaineistoon.

Maata pitkin Suomen rajan ylittävistä kuljetuksista suurimpaan osaan ulkokaupan havaintoja datassa on tieto käytetystä rajanylityspaikasta kohtuullisella varmuudella, mutta sisäkaupan havainnoista tieto puuttuu. Maarajan ylittävästä sisäkaupasta ylivoimaisesti suurin osa tapahtuu kuitenkin Ruotsin kanssa (minkä lisäksi pieni määrä maakuljetuksia esim. Tanskasta tulee myös lähes varmasti Ruotsin kautta), joten käytännössä kaiken voidaan olettaa tulevan maanteitse Tornion kautta.

Maata pitkin rajat ylittävien kuljetusten osalta ei ole saatavissa kattavaa tavaralajikohtaista dataa siitä, missä suhteessa tavaraa kulkee minkäkin rajanylityspaikan kautta. Niihin ulkokaupan maakuljetushavaintoihin, joiden rajanylityspaikka ei ole suoraan tiedossa, ei siis voida liittää satunnaista rajapaikkaa ulkoisen aineiston osalta, kuten laivahavaintojen osalta on tehty. Rajapaikka on kuitenkin tiedossa riittävän suuressa osassa tullihavaintoja eri tavararyhmille, että näitä havaintoja voidaan käyttää määrittämään suhteet, joilla myös muihin havaintoihin voidaan liittää rajapaikkatieto. Norjaan ja Venäjälle suuntautuva kauppa käsiteltiin erikseen: Norjan tapauksessa mahdolliset edustavat rajanylityspaikat ovat Kilpisjärvi ja Tornio; Venäjän tapauksessa Vainikkala, Vaalimaa ja Vartius. Kiinan, Turkin, Ukrainan ym. maarajahavainnot käsiteltiin yhdessä Venäjän kanssa.

Erityisesti sisäkaupan osalta aineiston kuljetusmuototiedoissa on mahdollista epävarmuutta siinä, millä kuljetusmuodolla ro-ro-aluksessa olevaan kuorma-autoon/perävaunuun lastatun tavaran tulkitaan ylittävän raja. Tullin käyttämien määritelmien mukaan dataan merkitään rajaa ylittäessä aktiivinen kuljetusmuoto, eli kyse on näissä tapauksissa aluskuljetuksesta. Osa tulli-ilmoitusten tekijöistä saattaa kuitenkin ilmoittaa kuljetusmuodoksi maantiekuljetuksen, jolloin myös malliestimoinnissa käytettyyn aineistoon päätyy liian paljon maarajakuljetuksia. Tämän vinouman laajuutta on vaikea arvioida datasta itsestään.

Lopullisen rikastetun tulliaineiston koostumus on esitetty taulukossa 11. Havainnoista on karsittu ne, joista puuttuu malliestimoinnin kannalta olennaisia tietoja, kuten postinumero.

Taulukko 11. Tulliaineistoon pääteltyjen reittien varmuustaso jaoteltuna vientiin ja tuontiin, ulko- ja sisäkauppaan sekä laiva- ja maakuljetuksiin.

	Ulkokauppa Tuonti	Ulkokauppa Vienti	Sisäkauppa Tuonti	Sisäkauppa Vienti
Koko reitti (satama-satama) päätelty datasta	63 895 (58 %) 10,2 Mt (77 %)	650 (0 %) ~0,0 Mt (0 %)	6 979 (0 %) ~0,0 Mt (0 %)	2 367 (0 %) 0,1 Mt (0 %)
Vain kotimaan satama päätelty datasta	12 266 (11 %) 0,3 Mt (2 %)	333 307 (74 %) 13,1 Mt (87 %)	105 694 (2 %) 2,3 Mt (10 %)	35 741 (1 %) 13,1 Mt (20 %)
Vain ulkomaan satama päätelty datasta*	63 (0 %) 2,3 Mt (17 %)	72 (0 %) ~0,0 Mt (0 %)	1 (0 %) ~0,0 Mt (0 %)	27 (0 %) ~0,0 Mt (0 %)
Satamat täydennetty kokonaan stokastisesti	34 251 (31 %) 0,6 Mt (4 %)	116 158 (26 %) 1,9 Mt (13 %)	6 139 602 (98 %) 19,1 Mt (90 %)	2 885 756 (99 %) 18,4 Mt (80 %)
Maaraja päätelty datasta	29 262 (59 %) 8,6 Mt (90 %)	319 930 (55 %) 1,6 Mt (68 %)	0 0 Mt	0 0 Mt
Maaraja täydennetty stokastisesti	20 083 (41 %) 1,0 Mt (10 %)	261 871 (45 %) 0,7 Mt (32 %)	0 0 Mt	0 0 Mt
Maaraja oletettu kiinteästi	0 0 Mt	0 0 Mt	144 000 (100 %) 0,4 Mt (100 %)	98 548 (100 %) 1,2 Mt (100 %)

**Osa tavarasta on tullattu muussa EU-maassa, minkä perusteella on kourallisessa tapauksia voitu kohtuullisella tarkkuudella päätellä satama, jossa tavaraa on käsitelty, vaikka koko reitin tietoja ei olisikaan saatu yhdistettyä.*

6.2 Reittien ominaisuustiedot

Reitinvalintamalli arvioi eri reittien valituksi tulemisen todennäköisyyttä riippuen reittien ominaisuuksista. Keskeisin valintaan vaikuttava ominaisuus on kuljettamisesta syntyvä kustannus kullakin reitillä. Kunkin reitin kustannukset (€/t) on laskettu kuljetusmatkan, kuljetusajan ja terminaalikäsittelyjen perusteella erikseen eri tavararyhmille ja alustyypeille pohjautuen erilliseen selvitykseen kuljetuskustannusten muodostumisesta. Kustannukset on laskettu erikseen Suomen sisäiselle ja ulkoiselle kuljetusosuudelle. Suomen ulkoisen osuuden kustannukset on lisäksi laskettu erikseen Suomen sataman ja edellisen/seuraavan käsittelysataman, sekä tämän sataman ja kuljetuksen lähtö-/määrämaan välille.

Maata pitkin tapahtuvien kuljetusosuuksien kustannus arvioidaan Suomen sisällä vastaavasti kuin kotimaan kuljetusmallissa, käyttäen tavararyhmästä riippuen eri yksikköarvoja ja ajoneuvotyyppijakaumia. Maakuljetuksen yksikkökustannukset on oletettu samoiksi kuin Suomen sisällä, mutta tiekuljetusten ajoneuvotyyppijakauma poikkeaa kotimaan kuljetuksista. Maakuljetuksen kustannus on laskettu kokonaisuutena halvimman reitin perusteella. Kotimaan maakuljetusosuuden kuljetustapajakauman on malliversiossa 1.0. oletettu vastaavan kotimaan mallin kuljetustapajakaumaa kyseisen alueparin välillä.

Merikuljetusten kuljetusmatkat on poimittu aiemmin meriliikenteen päästölaskennassa käytössä olleen merima -mallin aineistoista. Kuljetusaika on laskettu etäisyyden perusteella erityyppisille ja eri syväyksisille aluksille käyttäen Alusliikenteen yksikkökustannukset 2022 -julkaisussa (Solakivi ym. 2024) raportoituja keskinopeuksia. Alustyypit on mallissa ryhmitelty karkealla tasolla neljään ryhmään: konttialukset, ro-ro-alukset, säiliöalukset sekä irtolastialukset. Ro-ro-alukset sisältävät myös matkustaja-autolautat; säiliöalukset kattavat niin kemikaali-, öljy- kuin kaasusäiliöaluksetkin; ja irtolastialuksiin kuuluvat kaikki kuivaa bulkia tai break bulkia kuljettavat alukset. Kunkin satamaparin ja alustyypin kustannus on valittu sen perusteella, mille syväykselle arvioidut kustannukset minimoivat tonnikustannuksen, kun terminaalikustannukset lasketaan mukaan. Laskennassa käytettävää maksimisyväystä rajoittavat Suomen pään sataman ominaisuudet.

Kuljetusreittien laivaosuuksiin on kustannuksen lisäksi liitetty tieto laivayhteyden frekvenssistä (laivamatkaa/vuosi) reitinvalintaan mahdollisesti vaikuttavana tekijänä. Frekvenssi on laskettu MLT-aineistosta kullekin alustyypille ja satamaklusteriparille erikseen.

Reitinvalintaan vaikuttaa kustannuksen ja frekvenssin lisäksi oletettavasti lukuisia muita tekijöitä, joista osasta olisi periaatteessa mahdollista, joskin raskasta kerätä tietoa mallin estimointia ja mallinnusta varten. Tällaisia ovat erityisesti satamien ominaisuudet, kuten erityyppisen tavaran lastaus- ja varastointikapasiteetti, sekä esimerkiksi rautatieyhteyksien kapasiteetti tuotantolaitoksen ja Suomen sataman välillä. Reittien kustannuksissa ja muissa valintaperusteissa on myös vaihtelua yritysten välillä, esimerkiksi satamien yhteydessä sijaitsevien varastojen ja satamapalveluille neuvoteltujen hintojen myötä. Näiden vaikeasti arvioitavien satamakohtaisten erojen vaikutusta reitinvalintaan on otettu mallissa huomioon satamien palvelutasovakioiden avulla, jotka on kuvattu tarkemmin seuraavassa alaluvussa 6.3.

6.3 Reitinvalintamalli

Ulkomaankaupan reitinvalintamalli on rakenteeltaan multinominaalinen logit-malli. Diskreetti valintamalli on luonteva lähestymistapa reitinvalintaan, sillä klustereiden välillä on rajallinen määrä mahdollisia reittejä, joilla on tunnettuja ja tuntemattomia valintaan vaikuttavia ominaisuuksia. Mallin kertoimien ja vakioiden estimointiin käytettiin Alogit-ohjelmistoa.

Estimoinnissa on käytetty luvun 4.4 taulukossa kuvattua 12 tavaralajin ryhmittelyä, joista tavaralaji 3 (energia) jaettiin edelleen kolmeen luokkaan: hiili ja turve (3a), raakaöljy (3b) ja maakaasu (3c). Kullekin tavaralajille on estimoitu erikseen tuonnin ja viennin mallit, joten yhteensä ulkomaankuljetusten reitinvalinnalle on estimoitu 28 valintamallia.

Estimoiduissa malleissa on selittävänä muuttujana käytetty erityisesti reitin käytöstä koituvia kustannuksia. Oletuksena on, että yritykset valitsevat lähtökohtaisesti keskipitkän aikavälin kokonaiskustannukset minimoivan kuljetusreitin, mutta kaikkia todelliseen kustannukseen vaikuttavia tekijöitä ei voida arvioida tarkasti. Tällöin todellisuudessa valikoituu käyttöön myös reittejä, joille mallissa laskettu kustannus ei ole pienin mahdollinen. Erot lasketun ja todellisen kustannuksen välillä voivat johtua esimerkiksi eroista varastointitarpeessa eri satamissa, terminaalikäsittelyn tehokkuudesta, lähtö-/määräpaikan sijainnin epätarkkuudesta (erityisesti ulkomaan päässä), kuljetuksen aikakriittisyydestä, vähäisestä kapasiteetista kuljetusreitillä tai terminaalissa, tai ylipäätään merkittävästä erosta todellisen tavaran kuljetuskustannuksessa suhteessa tavararyhmän keskiarvoon. Näiden erojen vaikutusta reitinvalintaan paikataan sisällyttämällä valintamallin hyötyfunktioon muita muuttujia, kuten laivayhteyden frekvenssin (tiheämpi yhteys vähentää varastointitarvetta laskien todellisia kustannuksia) sekä vakiotermejä koskien käytettyjä satamia, rajanylityspaikkoja ja aluslajeja.

Reittien kustannuslaskennassa on mukana terminaalikäsittelystä tonnia kohden eri tavaralajeille koituvat kustannukset. Nämä ovat mallissa samat kaikille satamille, mikä ei todellisuudessa pidä paikkaansa. Satamien laadullisia eroja on mallinnettu yksinkertaistaen ryhmittelemällä kotimaan satamaklusterit alustyypeittäin palvelutasoluokkiin (2–3 luokkaa) ja sisällyttämällä reittien hyötyfunktioihin näiden luokkien mukaiset vakiotermit. Palvelutasoluokat on määritetty erikseen eri tavararyhmille. Luokittelu on esitetty taulukossa 12.

Lisäksi maareittien hyötyfunktioihin on sisällytetty omat vakiotermit maakuljetukselle (useimmilla tavararyhmillä erikseen itä- ja länsirajalle, jos aineisto mahdollistaa näiden estimoinnin), ja Saimaan kanavan kautta kulkeville reiteille on mukana erillinen vakiotermi. Näin valintamallissa saadaan arvioitua näiden reittien valintatodennäköisyyttä myös siltä osin, miltä pelkkien kustannusten arviointi ei riitä kuvaamaan houkuttelevuutta suhteessa laivaukseen merisataman kautta.

Estimoinnin pohjana olevan tietoaineiston laajuus ja laatu vaihtelee tavaralajien välillä merkittävästi, minkä myötä eri tavaralajeille, samoin kuin viennille ja tuonnille, on estimoitu rakenteeltaan hieman erilaiset mallit. Keskeisiä eroja mallien välillä ovat kustannuksen käsittely (kokonaiskustannus / erikseen koti- ja ulkomaanosuudelle), tarjottavat vaihtoehdot (oletetaanko kaikkien alustyyppien olevan mahdollisia kaikille havainnoille, vai ainoastaan havaitun alustyypin) sekä satamien palvelutasovakiot (mikä satama määritetään mihinkin luokkaan; onko jokaisen vakion estimoimiselle riittävästi dataa).

Taulukko 12. Satamien palvelutasoluokat ulkomaan mallissa

Satama	Konttitavara	Kuorma-autot	Irtolasti	Nestebulk
FIVAA		D_roro_lk2		
FIUKI		D_roro_lk2	D_irto_lk2	
FITKU		D_roro_lk2	D_irto_lk2	D_sail_lk2
FISKV				D_sail_lk1
FIRAA			D_irto_lk1	
FIPOR			D_irto_lk2	D_sail_lk2
FIPAR				
FIOUL	D_kont_lk2			
FIKOK			D_irto_lk1	
FIKJO				
FIKEM	D_kont_lk2		D_irto_lk1	
FIKAS			D_irto_lk2	
FIINK			D_irto_lk2	
FIHKO		D_roro_lk1		
FIRAU	D_kont_lk1	D_roro_lk2	D_irto_lk1	
FIHMN	D_kont_lk1	D_roro_lk2	D_irto_lk1	D_sail_lk2
FIHEL	D_kont_lk1	D_roro_lk1	D_irto_lk2	

Kustannukset on laskettu erikseen matkan kolmelle osalle: kotimaan lähtö-/määräpisteen ja rajanylityspaikan; kotimaan sataman ja siitä katsottuna edellisen/seuraavan ulkomaan käsittelysataman (maakuljetuksissa 0); sekä ulkomaan sataman ja määrä-/lähtömaan välille, mutta osalle tavararyhmistä käytetään mallissa vain näiden summaa. Oletuksena on, että todellisuudessa kaikkien osuuksien kustannusten vaikutus valintatodennäköisyyteen on sama. Mutta koska kotimaan osuuden kustannukset voidaan arvioida paljon ulkomaan osuutta tarkemmin, on sen vaikutus reitinvalintaan helpommin todettavissa, jolloin koti- ja ulkomaan kuljetusosuuksille erillisen kertoimen estimointi tuottaa tarkemman mallin.

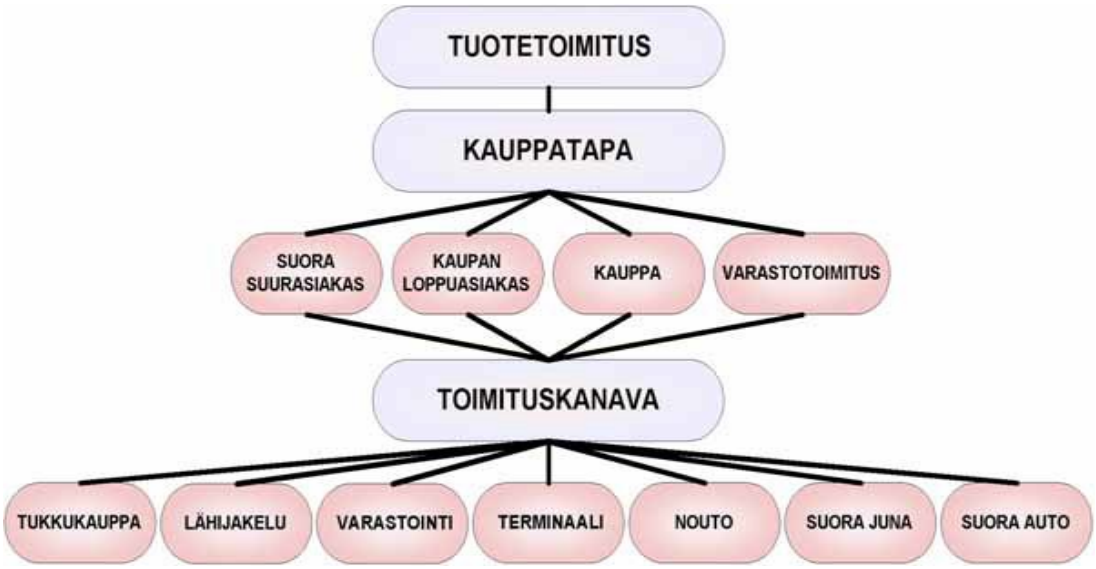
Useimpien tavararyhmien malleissa estimoitu kerroin kustannukselle on yhteinen eri alustyyppien välillä. On kuitenkin oletettavissa, että reiteille laskettujen kustannusten painoarvo eroaa jonkin verran riippuen käytetystä alustyypistä. Esimerkiksi kontti- ja ro-ro-aluksilla yhteyden frekvenssi voi olla suhteessa tärkeämpi valintaan vaikuttava tekijä kuin irtolasti- tai säiliöaluksella johtuen liikennöinnin luonteesta. Toisaalta kuljetettavan tavaran vaihtelu on tavararyhmienkin sisällä suurta (esimerkiksi puolijalostetut metallituotteet ja pienelektroniikka kuuluvat samaan tavararyhmään, samoin suurissa erissä kuljetettavat peruskemikaalit ja vähittäispakatut lääkkeet ja kosmetiikkatuotteet) ja erityyppistä tavaraa kuljetetaan erilaisilla aluksilla, jolloin kustannuksen painoarvo alustyyppien välillä voi vaihdella myös tavarasta itsestään johtuen. Näistä syistä osalle tavararyhmistä estimoiduissa malleissa on laskettu erilliset kertoimet eri alustyyppien kustannuksille.

Malliversion 1.0 kertoimet on esitetty liitteen 8 taulukossa.

7 Logistiikkamoduuli

Tavaraliikenteen mallin hyödykevirrat kuvaavat kauppavirtaa myyjän ja ostajan välillä. Mallin hyödykevirtojen määrittämisessä ei ole aikaisemmin otettu huomioon kuljetusten reittiä tuotannosta käyttöön, joka voi sisältää välipysähdyksiä logistiikkakeskuksissa, esimerkiksi tukkukaupoissa, varastoissa ja terminaaleissa.

Kuljetuksen todelliseen reitittymiseen vaikuttavat sekä hyödykkeen kauppatapa että toimituskanava, jotka ovat osin riippuvaisia toisistaan alla esitetyn kuvan mukaisesti.



Kuva 15. Kuljetuksen reitittymiseen vaikuttavia tekijöitä

Käytettävissä olevalla tietopohjalla ei malliin ole mahdollista kuvata kauppatapoja ja toimituskanavia yksityiskohtaisesti. Nyt toteutettu logistiikkamoduuli toimii karkealla tasolla. Jatkossa moduulia on tietopohjan salliessa mahdollista tarkentaa kuvaamaan kauppatavan ja toimituskanavan valintaa vaiheittain sekä ottamaan huomioon eri tavaralajien logistisia kustannuksia yksityiskohtaisemmin.

Logistiikkamoduulin avulla tavaraliikenteen pohjakysyntää voidaan tieliikenteen osalta tarkentaa siten, että kysyntä reititetään uudelleen matkoiksi lähtöpaikasta logistiikkakeskukseen ja logistiikkakeskuksesta määräpaikkaan. Logistiikkamoduuli on implementoitu tavaraliikenteen mallin mallijärjestelmään siten, että tavaralajikohtaista pohjakysyntää muokataan kysyntämallin ajon jälkeen ennen loppusijoittelua niiden tavaralajien osalta, joiden oletetaan käyttävän logistiikkakeskuksia osana tavarakuljetuksia.

Logistiikkamoduuli käsittelee vain kotimaan ja ulkomaan tiekuljetuksia Suomessa. Rautatie- ja aluskuljetuksissa väliterminaalit on jo valittu kuljetustavan valinnan yhteydessä (satamat ja rautateiden tavaraliikennepaikat). Kotimaan rautatie- ja aluskuljetukset ovat pääosin suoria kuljetuksia teollisuuslaitosten välillä pois lukien raakapuukuljetukset metsästä teollisuuslaitoksille.

7.1 Mallin rakenne

Logistiikkamoduuli on kaksitasoinen logit-malli, joka määrittää ensimmäisellä tasolla jokaiselle OD-parille todennäköisyyden vierailla logistiikkakeskuksessa (detour route). Toisella tasolla malli määrittää eri logistiikkakeskusten vierailutodennäköisyydet ehdolla, että logistiikkakeskus on valittu ensimmäisellä tasolla. Tuloksena saadaan jokaiselle OD-parille logistiikkakeskusten vierailutodennäköisyys sekä todennäköisyys sille, että logistiikkakeskuksessa ei vierailla lainkaan (direct route).

Yllä esitettyjen eri vaihtoehtojen todennäköisyydet määritetään kuten logit-mallissa yleensäkin, eli määrittämällä kustannusfunktio (hyötyfunktio), jonka arvot eri vaihtoehdoille kuvaavat eri vaihtoehtojen todennäköisyyttä. Mitä pienempi kustannusfunktion arvo tietyllä vaihtoehdolla on, sitä suuremman todennäköisyyden vaihtoehto saa.

Logistiikkamoduulissa yksittäisen tavaralajin kustannusfunktion arvot saadaan tavaralajia vastaavasta vastusmatriisista, jonka arvoja muokataan logistiikkamoduulin estimoitujen parametrien perusteella. Parametrit kuvaavat eri tavaralajeille sitä, kuinka paljon yhden OD-parin välinen kuljetuskustannus pienenee, kun kuljetaan logistiikkakeskusten kautta. Lisäksi vastusmatriisin logistiikkakeskuksen sisältäviin matkoihin lisätään kustannusta vähentävä logistiikkakeskuksen pinta-alan kokotekijä, joka kuvaa eri logistiikkakeskusten kautta kulkevien matkojen kustannusten pienenemistä toisiinsa nähden. Kustannusfunktiot suorille ja logistiikkakeskusten kautta kulkeville matkoille ovat muotoa

$$cost_{detour}(i,j,k,t) = w_{1a} \cdot C_{ik}^{t} + w_{1b} \cdot C_{kj}^{t} + w_2 + \mathrm{w}_3 * \log(size_k)$$

$$cost_{direct}(i,j,k,t) = w_4 \cdot C_{ij}^{t} + \mathrm{w}_5$$

jossa w on estimoitu parametrivektori, C^t on tavaralajia t vastaava vastusmatriisi ja $size_k$ on logistiikkakeskuksen k pinta-ala.

Todennäköisyyksien määrittämisen jälkeen alkuperäistä tavaralajikohtaista pohjakysyntää muokataan siten, että jokaisen OD-parin kysyntä jaetaan mallilla määritettyjen todennäköisyyksien mukaan joko suoraan kysyntään (origin -> destination) tai logistiikkakeskusten kautta kulkevaan kysyntään (origin -> logistiikkakeskus ja logistiikkakeskus -> destination). Uusi kysyntämatriisi D^n on tällöin muotoa

$$D^n{}_{ij} = P(suora)_{ij} \cdot D_{ij}$$

$$D^n{}_{ik} = D_{ik} + P(lc = k)_{ij} \cdot D_{ij}$$

$$D^n{}_{kj} = D_{kj} + P(lc = k)_{ij} \cdot D_{ij}$$

jossa $P(suora)_{ij}$ on suoran kuljetuksen todennäköisyys OD-parilla ij, $P(lc = k)_{ij}$ on logistiikkakeskuksen k valintatodennäköisyys OD-parilla ij ja D on alkuperäinen kysyntämatriisi.

7.2 Lähtötiedot

Logistiikkamoduulin lähtötietoina käytetään tavaralajikohtaista vastusmatriisia, jota käytetään myös muualla tavaraliikennemallissa. Uutena lähtötietona malli käyttää tavaralajikohtaista logistiikkakeskusten pinta-alaa sijoittelualueittain, joka luetaan zonedata -lähtötiedostosta (geopackage). Mikäli jollekin tavaralajille ei ole määritelty logistiikkakeskusten pinta-alaa sijoittelualueittain, käytetään logistiikkamoduulissa yleistä logistiikkakeskusten pinta-alaa sijoittelualuetta kohti, joka luetaan myös zonedata -lähtötiedostosta. Mikäli yksittäisen sijoittelualueen logistiikkakeskuksen pinta-alaksi on asetettu 0, sijoittelualueella ei oleteta sijaitsevan logistiikkakeskusta lainkaan, eikä todennäköisyyksiä vierailla kyseisen sijoittelualueen kautta määritetä lainkaan.

Uusimmissa mallin lähtötiedoissa logistiikkakeskusten pinta-alat on määritetty DVV:n rakennuskannan pohjalta siten, että yleisiksi logistiikkakeskusten pinta-aloiksi on valittu jokaisesta maakunnasta viisi pinta-alaltaan suurinta logistiikkakeskusta. Tämän lisäksi on erikseen määritetty elint -tavararyhmälle omat logistiikkakeskusten pinta-alat vastaavalla tavalla DVV:n rakennuskannan pohjalta. Muille tavaralajeille ei ole määritetty omia logistiikkakeskusten pinta-aloja lähtöaineistoon.

7.3 Mallin estimointi ja estimointiaineisto

Malli on estimoitu käyttämällä tilastokeskuksen tavarakuljetustilastoa mallin koulutusdatan muodostamiseen. Koulutusdata koostuu suorien kuljetusten ja logistiikkakeskusten kautta kulkevien kuljetusten osuuksista OD-pareittain. Koulutusdatan kuljetusten osuudet on määritetty tilastokeskuksen tavarakuljetustilaston pohjalta seuraavasti:

Jokaiselle tavararyhmälle on ensin määritetty tilaston pohjalta suorien kuljetusten osuus logistiikkakeskusten kautta kulkevista kuljetuksista kuudelle eri maakunnan OD-parille (Helsinki-Turku, Helsinki-Tampere, Turku-Helsinki, Turku-Tampere, Tampere-Turku ja Tampere-Helsinki). Koska aineistossa yksittäisiä datapisteitä ei voi matkaketjutiedon puuttumisen takia liittää toisiinsa luotettavasti, logistiikkakeskusten kautta kulkevien kuljetusten määritelmäksi päätettiin valita kaikki sellaiset kuljetukset, joiden lähtö- tai määräpaikka sisältää logistiikkakeskuksen. Tämän määritelmän mukainen logistiikkakeskusten matkamäärä on todennäköisesti hiukan todellisuutta suurempi, mutta toisaalta tällä määritelmällä logistiikkakeskusten kautta kulkevien matkojen määrityksessä mahdollisimman vähän dataa jätetään huomiotta.

Kaiken datan huomioiminen nähtiin tärkeänä kahdesta syystä. Ensinnäkin aineisto on jo valmiiksi verrattain harvaa, ja monissa maakunnissa matkamäärät ovat datassa jo valmiiksi pieniä, joten datan huomioimatta jättämisellä datan kattavuus voisi pienentyä entisestään. Toiseksi aineisto ei sisällä matkaketjutietoja, joten datan huomiotta jättämisellä voisi olla erisuuruisia vaikutuksia kuljetusosuuksiin maakuntatasolla, jonka takia maakuntien välisten kuljetusosuuksien vertailukelpoisuus voisi kärsiä merkittävästi.

Kun kuudelle eri OD-parille määritettiin yllä olevan menetelmän avulla suorien kuljetusten ja logistiikkakeskusten kautta kulkevien kuljetusten osuudet, jaettiin logistiikkakeskusten kautta kulkeva osuus vielä kahdeksi erilliseksi osuudeksi (lähtöpaikan maakunnan logistiikkakeskuksen osuus ja määräpaikan maakunnan

logistiikkakeskuksen osuus). Tämän jaon tavoitteena oli paremmin kuvata logistiikkakeskusten keskinäistä valintaa. Matkaketjutiedon puuttumisen takia logistiikkakeskusten osuudet jaettiin vain karkeasti lähtöpaikan ja määräpaikan ympäristön logistiikkakeskuksiin. Osuudet määritettiin laskemalla kuljetusosuudet lähtöpaikasta logistiikkakeskukseen ja logistiikkakeskuksesta määräpaikkaan sellaisilla matkoilla, joiden pituus vastaa noin 10 kilometrin tarkkuudella kyseisen OD-parin etäisyyttä. Oletuksena on, että lähtöpaikasta logistiikkakeskukseen kulkevien matkojen osuus vastaa suurin piirtein lähtöpaikan ympäristössä olevaan logistiikkakeskukseen kulkevaa osuutta ja vastaavasti logistiikkakeskuksesta määräpaikkaan kulkevien matkojen osuus vastaa suurin piirtein määräpaikan ympäristössä olevaan logistiikkakeskukseen kulkevaa osuutta.

Lopullinen koulutusdata yksittäiselle tavaralajille koostuu täten kuudesta OD-parista joissa lähtö- ja määräpaikkoja vastaavat maakunnat ovat Helsinki-Turku, Helsinki-Tampere, Turku-Helsinki, Turku-Tampere, Tampere-Turku ja Tampere-Helsinki. Jokaiselle OD-parille on määritetty koulutusdatassa suorien kuljetusten osuus, lähtöpaikan ympäristössä olevan logistiikkakeskusten kuljetusten osuus ja määräpaikan ympäristössä olevan logistiikkakeskusten kuljetusten osuus kokonaiskuljetusmäärästä. Estimoinnissa muut käytettävät lähtötiedot vastaavat täysin mallin lähtötietoja, joita ovat tavaralajikohtainen vastusmatriisi ja tavaralajikohtainen logistiikkakeskusten pinta-ala sijoittelualueittain. Esimerkki yksittäiselle tavaralajille käytetystä estimoinnin koulutusdatasta on esitetty alla Taulukossa 13.

Taulukko 13. Estimoinnissa käytetty koulutusdata elektr-tavararyhmälle. Suorien kuljetusten kohdalla logistiikkakeskuksen alue on jätetty merkitsemättä.

Lähtömaakunta	**Määrämaakunta**	**Lähtöalue mallissa**	**Määräalue mallissa**	**Logistiikkakeskuksen alue mallissa**	**Kuljetusten osuus**
Helsinki	Turku	642	12669	-	47%
Helsinki	Turku	642	12669	1705	31%
Helsinki	Turku	642	12669	13103	22%
Helsinki	Tampere	642	8204	-	79%
Helsinki	Tampere	642	8204	2818	12%
Helsinki	Tampere	642	8204	8816	9%
Turku	Helsinki	12669	642	-	48%
Turku	Helsinki	12669	642	13103	30%
Turku	Helsinki	12669	642	1705	22%
Turku	Tampere	12669	8204	-	87%
Turku	Tampere	12669	8204	13103	9%
Turku	Tampere	12669	8204	8816	4%
Tampere	Helsinki	8204	642	-	84%
Tampere	Helsinki	8204	642	8816	9%
Tampere	Helsinki	8204	642	2818	7%
Tampere	Turku	8204	12669	-	77%
Tampere	Turku	8204	12669	8816	16%
Tampere	Turku	8204	12669	13103	8%

7.4 Mallin käyttö

Logistiikkamoduuli on integroitu osaksi tavaraliikenteen mallia siten, että se ajetaan automaattisesti ajon aikana. Logistiikkamoduulilla käytössä on vain yksi config-parametri nimeltään "LOGISTICS_ITERATIONS". Tämä parametri kertoo kuinka monta kertaa logistiikkamoduuli muokkaa tavaralajikohtaista pohjakysyntää logistiikkamoduulin perusteella. Oletuksena iteraatioiden määrä on 0, jolloin logistiikkamoduuli ei ole käytössä lainkaan. Logistiikkamoduulin iteraatioiden määrää ei ensimmäisessä malliversiossa ole mahdollista muuttaa Valma UI:n kautta.

Iteraatioiden määrän ollessa 1 logistiikkamoduuli jakaa tavaralajikohtaisen pohjakysynnän estimoitujen parametrien pohjalta suoriin kuljetuksiin ja yhden logistiikkakeskuksen kautta kulkeviin kuljetuksiin. Iteraatioiden määrän ollessa 2 logistiikkamoduuli jakaa ensimmäisen iteraatiokierroksen tuloksena saadun kysynnän uudestaan suoriin ja logistiikkakeskusten kautta kulkeviin kuljetuksiin, jolloin tuloksena saatu kysyntämatriisi sisältää myös kahden eri logistiikkakeskuksen kautta kulkevat tavarakuljetukset. Iteraatioiden määrä kuvaa siis sitä, kuinka monta kertaa logistiikkamoduuli sallii yksittäisen kuljetuksen käyvän eri logistiikkakeskuksessa matkan varrella.

Logistiikkamoduuli on estimoitu sillä oletuksella, että yksittäinen kuljetus voi sisältää maksimissaan yhden vierailun logistiikkakeskuksessa. On perusteltua olettaa, että yksittäisellä matkalla logistiikkakeskusvierailusta saatu hyöty pienenee, mitä enemmän logistiikkakeskusvierailuja on jo aikaisemmin matkan aikana tehty. Tämän takia eri määrille logistiikkakeskusvierailuja tulisi mallissa olla estimoituna omat parametrien arvot. Näiden parametrien estimoiminen luotettavasti ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä tavarakuljetustilasto ei sisällä matkaketjutietoa, eikä siten logistiikkakeskusvierailujen keskinäistä järjestystä ole mahdollista kuvata käytettävissä olevalla lähtöaineistolla.

Koska mallin estimoinnissa yksittäinen kuljetus sisältää maksimissaan yhden vierailun logistiikkakeskuksessa, mallin käyttö useammalla kuin yhdellä iteraatiolla nostaa logistiikkakeskusten kautta kulkevien kuljetusten määrää merkittävästi. LAM-pistevalidoinnin perusteella jo kahden iteraation ajon tulokset nostavat useilla väylillä liikennemäärät epärealistisen suuriksi. Tämän takia yli yhden iteraation ajoja logistiikkamoduulissa ei voida vielä pitää luotettavina.

8 Ajoneuvomatriisin muodostaminen ja sijoittelu verkolle

Tavaraliikenteen mallin yhtenä lopputuloksena tuotetaan kuorma-autoliikenteen matriisit, joita käytetään henkilöliikenteen mallin tieliikennesijoitteluissa lisäkysyntänä. Sijoittelu tehdään malliversiossa 1.0 vain kotimaan liikenneverkolle sisältäen kuitenkin myös viennin ja tuonnin kuljetusten kotimaan verkkoa käyttävän osuuden. Kuorma-automatriisit tuotetaan kolmelle eri ajoneuvoluokalle

- Kuorma-autot
- Puoliperävaunuyhdistelmät
- Täysperävaunuyhdistelmät

Ajoneuvoluokkien osuuksille käytetään mallissa hyödykelajikohtaista kiinteää jakaumaa, jolla kokonaissuorite jaetaan ensin ajoneuvoluokille. Tämän jälkeen ajoneuvoluokkakohtainen suorite muunnetaan ajoneuvoiksi käyttäen kiinteitä hyödykelaji- ja ajoneuvoluokkakohtaisia keskikuormituksia.

Ajoneuvoluokkien osuuksien ja keskikuormitusten määrittäminen on tehty tilastokeskuksen tieliikenteen tavarankuljetustilaston tietojen pohjalta. Ajoneuvoluokkien osuudet on määritetty erikseen kotimaan ja ulkomaan liikenteelle. Ulkomaan liikenteessä painottuvat enemmän puoliperävaunuyhdistelmät johtuen eri maiden regulaation eroista.

Tyhjät paluukuljetukset lisätään ajoneuvomatriisiin täysien kuljetusten vastasuunnalle kysyntämatriisin transpoosina, jota kerrotaan hyödykelajikohtaisesti tyhjien paluukuljetusten osuudella.

Tavaralajikohtaiset keskikuormitukset sekä tyhjien paluukuormien osuus on esitetty liitteen 4 taulukossa. Nämä sekä ennustevuodesta riippuen muuttuvat ajoneuvoluokkien osuudet annetaan ennusteen lähtötietoina samassa Json -tiedostossa kuljetuskustannusten kanssa.

Ajoneuvomatriisit tallennetaan malliajosta vain ajoneuvoluokkakohtaisina kokonaiskysyntämatriiseina, vaikka laskenta tehdään hyödykelajikohtaisesti.

Mallin jatkokehityksessä ajoneuvoluokkien osuudet on mahdollista määrittää matkan pituuteen perustuen. Karkea malli matkan pituuteen perustuville osuuksille on jo muodostettu ajoneuvokantamallia varten. Ajoneuvokantamalli käsittelee ajoneuvoja viidessä luokassa sijoittelussa käytetyn kolmen luokan sijaan. Mallin jatkokehityksessä voidaan myös ajoneuvoluokkien määrää lisätä, jolloin raskaiden ajoneuvoyhdistelmien yleistymisen vaikutus keskikuormituksiin ja ajoneuvomääriin saadaan paremmin huomioitua.

9 Kotimaan reitinvalintamallit

Tavaraliikenteen reitinvalinnat sekä kuljetusten aika- ja etäisyyslaskennat tehdään Bentley OpenPaths Emme -ohjelmistolla. Tavaraliikenteen valinnoissa ei huomioida tieliikenteen ruuhkamatka-aikoja.

Reitinvalinta tapahtuu kustannusten perustella. Kustannuksina käytetään hankearvioinnin ohjeistuksen mukaisia ajoneuvoluokkakohtaisia ajan ja matkan kustannuksia, jotka ovat lähtökohtana myös kuljetustapa- ja suuntautumismallissa käytetyille kustannuksille.

9.1 Tieliikenne

Tieliikenteen reitinvalinta ja kuljetuskustannusten laskenta tehdään Emmen autoliikennesijoitteluna ilman ruuhkaviivytyksiä viidelle ajoneuvoluokalle (sekä jokaiselle luokalle erikseen sähköistettynä). Liikenneverkkokuvauksessa on asetettu rajoitteita raskaiden ajoneuvojen kuljetustavoille keskusta-alueilla.

Raskas liikenne suosii moottoriteitä ja muita sujuvia tieyhteyksiä reitinvalinnassa, mikä teknisesti on toteutettu siten että raskaiden ajoneuvojen nopeus noudattaa teiden nopeusrajoituksia silloinkin, kun se on yli 90 km/h. Kuljetustapa- ja suuntautumismalliin sekä vaikutusten arviointeihin menevät kustannusmatriisit on kutenkin laskettu niin että maksiminopeus on rajoitettu 86 kilometriin tunnissa.

9.2 Rautatieliikenne

Rautatiekuljetusten reitinvalinnat tehdään Emmen joukkoliikennesijoitteluna. Tavaraliikenteen junia ei ole kuvattu yksittäisen junan kulkua kuvaavana linjastona vaan kullekin tavaraliikenteelle sallitulle linkille on kuvattu yhden linkin kattava tavaraliikenteen linja. Linkin matka-aika on kuvattu LIIKE-järjestelmästä saatujen tavarajunien todellisten kulkutietojen pohjalta.

Veturityyppejä on sijoittelussa kaksi: diesel- ja sähköveturi. Dieselveturit kulkevat koko rataverkolla, ja sähköveturit vain sähköistetyillä radoilla. Koska sähköveturin käyttö on halvempi, rahti käyttää sähköveturia koko junakuljetukseen silloin kun tämä on mahdollista. Jos vain osa kuljetusreitistä on sähköistetty, kuljetus kulkee joko kokonaan dieselveturilla tai osittain sähkö- ja osittain dieselveturilla, riippuen siitä kummalle vaihtoehdolle muodostuu alhaisimmat kokonaiskustannukset. Veturin vaihdon kustannus on mallissa 5 000 euroa.

Myös liityntäpaikkatyyppejä on kaksi. Raakapuukuljetuksille on määritetty oma lastauspaikkatyyppi (T) ja kaikki muut hyödykelajit käyttävät yleisiä lastauspaikkoja (F). Reitinvalinta liityntäkuljetukselle on tavallisen kuorma-auton mukainen. Liitynnän matka-aika on kuitenkin korotettu painolla 30, jotta rahti kulkisi mahdollisimman lyhyen reitin kautta junan lastauspaikalle.

9.3 Alusliikenne

Kotimaan alusliikenteen reitinvalinnat tehdään Emmen joukkoliikennesijoitteluna. Laivoja ei ole kuvattu yksittäisen laivan kulkua kuvaavana linjastona vaan kullekin alusliikenteen linkille on kuvattu yhden linkin kattava linja. Kaikki kotimaan vesikuljetukset kulkevat samalla yleisellä alustyypillä, jolla on pääsy kaikkiin vesiväyliin ja satamiin. Reitinvalinta liityntäkuljetukselle on tavallisen kuorma-auton mukainen. Liitynnän matka-aika on kuitenkin korotettu painolla 30, jotta rahti kulkisi mahdollisimman lyhyen reitin kautta satamaan.

10 Mallin validointi

10.1 Validoinnin lähtökohdat

Mallia on validoitu sen kehittämisen aikana vertaamalla mallin tuloksia tilastoituihin kuljetustapaosuuksiin ja suoritemääriin sekä kuljetusmuotokohtaisiin pituusjakaumiin. Ulkomaan reitinvallintamallin tuloksia on lisäksi verrattu tavaralajikohtaisiin satamaklusterikohtaisiin kuljetusmääriin. Haastavaksi validoinnin tekee yhtenäisen vertailuaineiston puuttuminen.

Validoinnissa käytetty vertailuaineisto on koostettu eri tilastolähteistä, joiden yhdistämiseksi on jouduttu tekemään tietoihin korjauksia. Vertailua on tehty vuoden 2024 tilastotietoihin. Mallin tulokset perustuvat talousennusteen vuoden 2025 tilanteeseen. Mallin validoinnissa esitetyt tulokset on tuotettu ilman logistiikkamoduulia.

Kuljetetut tonnimäärät perustuvat Tullin tietoihin viennin ja tuonnin volyymeista sekä kotimaan kuljetusmuotokohtaisten tilastojen tietoihin. Eri tilastoissa samat kuljetetut tonnit kertautuvat, koska liikennemuotokohtaisissa tilastoissa esim. viennin ja tuonnin kuljetukset satamista sisämaahan tilastoituvat myös kotimaan kuljetuksiksi. Samoin kotimaan kuljetuksissa liityntäkuljetus esim. raakapuun rataverkon lastauspaikalle näkyy tilastoissa kahtena eri tonnimääränä. Toisaalta kotimaan verkon tilastoiduissa kuljetussuoritteissa ei tieliikenteen osalta näy ulkomaisen kaluston suoritteen osuus, koska tieliikenteen tavarankuljetustilasto kattaa vain suomeen rekisteröidyn kaluston kuljetukset.

Malliestimoinnissa käytetystä kotimaan aineistosta on poistettu lähtödatoissa rajaasemille ja satamiin suuntautuva liikenne. Tilastojen päällekkäinen osuus vastaa noin kahta kolmasosaa viennin ja tuonnin kokonaistonnimäärästä. Vastaavasti voidaan olettaa, että noin yksi kolmasosa viennin ja tuonnin kokonaistonnimäärästä ei näy kotimaan verkon kuljetuksina, vaan osa jää esim. satamissa sijaitseville tuotantolaitoksille.

Mallitulosten vertailukohtana esitetyt tonnimäärät ja suoritteet kuvaavat eri aineistoja yhdistelemällä muodostettua parasta käsitystä kuljetuskysynnästä. Vertailuluvuista on poistettu tieliikenteen tavarankuljetustilaston sisältämät kuljetukset, joita malli ei tässä vaiheessa käsittele. Näitä ovat maa-aineskuljetukset sekä erilaisiin palveluihin liittyvät kuljetukset, esim. vuokralaitteiden siirrot.

Vertailut tonnimäärien ja suoritteiden osalta on tehty kokonaiskuljetusmäärien osalta sisältäen sekä ulkomaankaupan että kotimaan kuljetukset, koska näiden yksiselitteinen erottelu tilastoista ei ole mahdollista.

Kuljetusten pituusjakaumia on vertailtu vain kotimaan kuljetusten osalta, koska näihin on mahdollista tuottaa vertailukohta tieliikenteen tavarankuljetustilaston aineistosta sekä rautatieliikenteen ja alusliikenteen aineistoista. On kuitenkin huomioitava, että yksittäisten kuljetusmuotojen tilastot kuvaavat vain kyseisen kuljetustavan osuutta ja liityntäkuljetukset rataverkon terminaaleihin ja satamiin näkyvät vertailuaineistossa lyhyinä kuljetuksina tieliikenteessä.

Ulkomaan reitinvalintamallin tuloksia on verrattu meriliikenteen tilaston mukaisiin kuljetuksiin sekä tullin tiedoista luvussa 6 kuvatulla päättelylogiikalla muodostettuun estimoinnin pohja-aineistoon.

10.2 Kotimaan verkon kuljetusten kuljetustapa- ja pituusjakaumat

Mallin tuottamien tulosten vertailussa on keskitytty mallin tuottaman kuljetustapajakauman sekä kuljetussuoritteen määriin. Kuljetetut tonnit ja kuljetussuoritteet hyödykelajeittain sekä kuljetusten jakautuminen kuljetustavoille mallin nykytilanteessa ja vertailuaineistossa esitetty taulukoissa 13 ja 14.

Malliversio 1.0 tuottaa vertailukohtana olevaan aineistoon verrattuna 4 % pienemmän kokonaistonnimäärän, mutta kokoanissuoritteen määrä on noin 10 % suurempi. Malli tuottaa siis todellista pidempiä kuljetusmatkoja.

Taulukko 14. Hyödykelajikohtaiset tonnimäärät niiden jakautuminen kuljetustavoille kuljetuksen kotimaan osuudella

	Malli V1.0				**Vertailutieto 2025**				**Ero**	
	1000t/v	Tie	Raide	Alus	1000t/v	Tie	Raide	Alus	1000t/v	(%)
01_mameka	7 260	100 %	0 %	0 %	8 069	100 %	0 %	0 %	-809	-10 %
02_metsat	47 340	68 %	32 %	1 %	60 816	79 %	20 %	2 %	-13 476	-22 %
03_energy	4 880 (*	88 %	9 %	4 %	4 648	94 %	2 %	4 %	232	5 %
04_kaivan	23 363	86 %	13 %	1 %	22 777	88 %	9 %	3 %	586	3 %
05_elint	14 594	100 %	0 %	0 %	12 549	100 %	0 %	0 %	2 045	16 %
06_tekst	483	99 %	1 %	0 %	339	100 %	0 %	0 %	145	43 %
07_puukor	17 210	95 %	5 %	0 %	21 534	97 %	3 %	0 %	-4 324	-20 %
08_papsel	14 372	59 %	41 %	0 %	16 402	65 %	34 %	0 %	-2 030	-12 %
09_oljytu	31 913	87 %	1 %	12 %	17 928	84 %	1 %	15 %	13 985	78 %
10_kemiat	13 239	89 %	10 %	1 %	18 005	90 %	9 %	1 %	-4 766	-26 %
11_metkot	19 298	91 %	9 %	0 %	19 681	89 %	9 %	1 %	-383	-2 %
12_jate	7 159	100 %	0 %	0 %	7 296	100 %	0 %	0 %	-137	-2 %
Yht	**201 110**	**84 %**	**14 %**	**2 %**	**210 044**	**86 %**	**11 %**	**2 %**	**-8 933**	**-4 %**

**) Luvusta puuttuvat raakaöljy ja kaasu, joille ei mallinneta kotimaan kuljetusosuutta.*

Taulukko 15. Hyödykelajikohtaisen kuljetussuoritteen kokonaismäärä ja jakautuminen kuljetustavoille kuljetuksen kotimaan osuudella

	Malli V1.0				**Vertailutieto 2025**				**Ero**	
	milj. ajonkm/v	Tie	Raide	Alus	ajonkm/v	Tie	Raide	Alus	ajonkm/v	(%)
01_mameka	1 754	100 %	0 %	0 %	1 868	100 %	0 %	0 %	-115	-6 %
02_metsat	12 091	52 %	47 %	1 %	9 193	53 %	44 %	2 %	2 898	32 %
03_energy	822	74 %	17 %	9 %	594	85 %	2 %	13 %	228	38 %
04_kaivan	5 118	84 %	14 %	2 %	3 836	75 %	13 %	11 %	1 282	33 %
05_elint	2 805	100 %	0 %	0 %	3 144	100 %	0 %	0 %	-339	-11 %
06_tekst	99	100 %	0 %	0 %	81	100 %	0 %	0 %	18	22 %
07_puukor	4 136	93 %	7 %	0 %	3 891	100 %	0 %	0 %	245	6 %
08_papsel	2 819	45 %	54 %	0 %	3 196	51 %	49 %	0 %	-377	-12 %
09_oljytu	5 970	71 %	1 %	27 %	4 809	61 %	2 %	36 %	1 161	24 %
10_kemiat	2 633	84 %	14 %	2 %	3 441	73 %	25 %	2 %	-807	-23 %
11_metkot	3 961	86 %	13 %	0 %	3 860	76 %	23 %	1 %	101	3 %
12_jate	1 026	100 %	0 %	0 %	995	100 %	0 %	0 %	31	3 %
Yht	**43 233**	**74 %**	**22 %**	**5 %**	**38 907**	**73 %**	**21 %**	**7 %**	**4 326**	**11 %**

Merkittävimmät erot mallin ja vertailuaineiston välillä ovat raakapuun (02_metsat) tie- ja raidekuljetuksissa. Raakapuun osalta tiekuljetuksena kuljetettavat tonnit jäävät mallissa selvästi vertailutietoa pienemmiksi. On kuitenkin todennäköistä, että vertailutiedon tonnimäärissä näkyy edelleen raidekuljetusten liityntäkuljetuksia, koska korjausta vertailuaineistoon ei ole voitu tehdä tarkasti tavaralajeittain. Raakapuun kuljetussuorite on mallissa suurempi kuin vertailuaineistossa, mikä johtuu varsinkin raidekuljetusten pitkistä kuljetusmatkoista mallissa.

Myös öljytuotteiden (9_oljytu) tiekuljetusten tonnimäärissä ja suoritteissa on merkittävä ero vertailutietoon. Malli tuottaa liikaa öljytuotteiden kuljetussuoritetta tieverkolle. Öljytuotteiden kuljetuksissa on erotettu alus- tai raidekuljetuksella kuljetettava runkokuljetuksen osuus jo tuotosmallissa tiekuljetuksena tehtävästä jakelukuljetuksesta. Jako on tehty, koska käytettävissä oilleen aineiston perusteella ei koko kuljetusketjulle saate tuotettua uskottavaa suuntautumis- ja kuljetustavanvalintamallia. Tehdyn ratkaisun takia jakelukuljetuksen tuotos saattaa nyt näyttäytyä mallissa liian suurena.

Kuljetussuorite jakautuu kuljetustavoille melko hyvin. Raiteille ja aluskuljetuksiin päätyy mallissa niitä tavaralajeja, joita todellisuudessakin kuljetetaan muuten kuin tiekuljetuksina. Raidekuljetusten osuus kuljetetuista tonneista on hieman liian suuri. Aluskuljetusten suoritteen osuudeksi jää mallissa 5 % kun vertailutiedoissa osuus on 7 %. Merkittävin ero aluskuljetusten suoritteissa syntyy mineraalituotteiden (04_kaivan) kuljetuksista, mikä sisältää lähinnä sementtikuljetuksia. Aluskuljetusten osuus näissä jää selvästi pienemmäksi kuin vertailuaineistossa.

Hyödykelajikohtaisia tonnimääriä voidaan korjata vastaamaan paremmin vertailutietoa tuotosmallia (euro-tonnimuunnosta) muokkaamalla. Kuljetusten keskipituuksiin vaikuttavat mallissa sekä kysyntämallin parametrit, käytetyt vastukset (kustannusfunktiot) että tuotosten jakautumien osa-alueille.

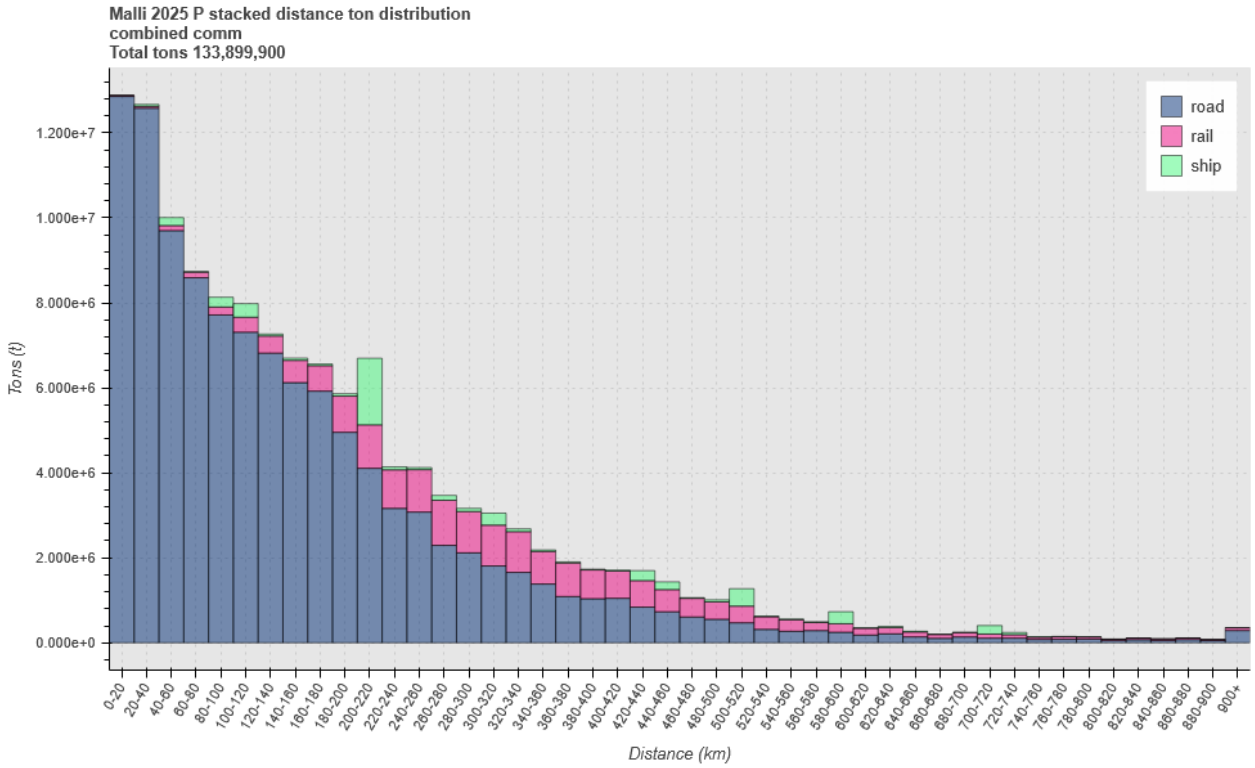
Tuotosten jakautuminen osa-alueille vaikuttaa myös kuljetustapavalintoihin. Tämän lisäksi kuljetustapajakaumaa voidaan parantaa kuljetustapakohtaisten vakiotermien kalibroinnilla, mikä on vielä malliversion 1.0 osalta työn alla.

Kuljetusten pituus- ja kuljetustapajakauma on esitetty kuvassa 16. Kaikilla alle 500 km kuljetusetäisyyksillä tiekuljetukset dominoivat kuljetustapavalintoja. Rautatiekuljetusten osuus kasvaa etäisyyden kasvaessa ja laivakuljetukset painottuvat tiettyjen alueparien välisille yhteyksille.

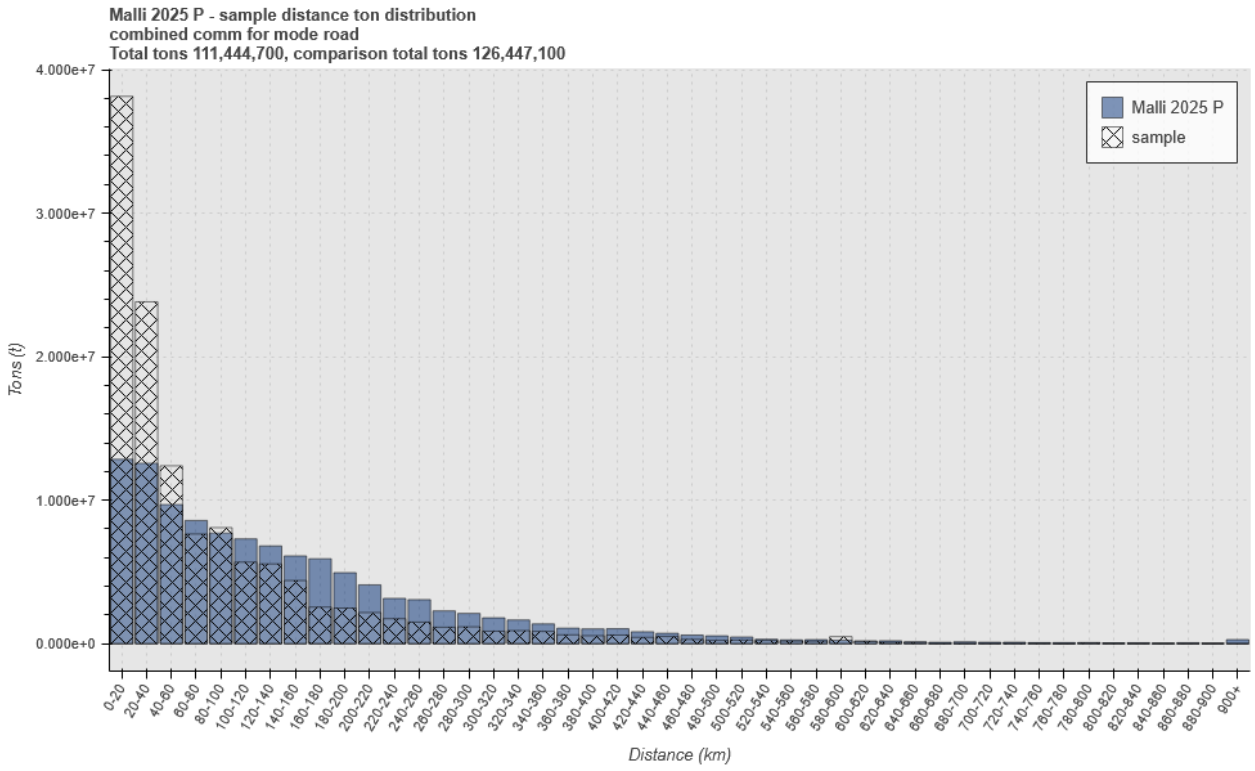
Kuljetustapakohtaiset pituusjakaumat ja mallin nykytilanteessa ja estimoinnin lähtökohtana käytetyissä aineistoissa esitetty kuvissa 17-19. Tiekuljetusten pituusjakaumaa tarkasteltaessa on yleisesti huomattava, että jakelukuljetusten tonnit kertautuvat vertailukohtana käytetyssä datassa. Mallin tulokset on tuotettu ilman logistiikkamoduulin ajoa, eikä mallia ole tässä vaiheessa kehitetty jakelukuljetusten tarkempaa mallinnusta ajatellen. Logistiikkamoduuli lisää tiekuljetuksia jakamalla pitkiä kuljetuksia osakuljetuksiksi, mikä vastaa vertailutietojen logiikkaa. Logistiikkamoduuli kasvattaa tieliikenteessä kuljetettuja tonnimääriä ja korjaa kuljetusten pituusjakaumaa vastaamaan paremmin vertailudataa.

Rautatiekuljetusten pituusjakauman huippu asettuu pidemmälle etäisyydelle kuin vertailuaineistossa. Osaltaan tähän voi vaikuttaa havaintoaineistossa yksittäinen suuri yli 500 km virta, jota malli ei pysty toistamaan. Vertailuaineisto sisältää vain

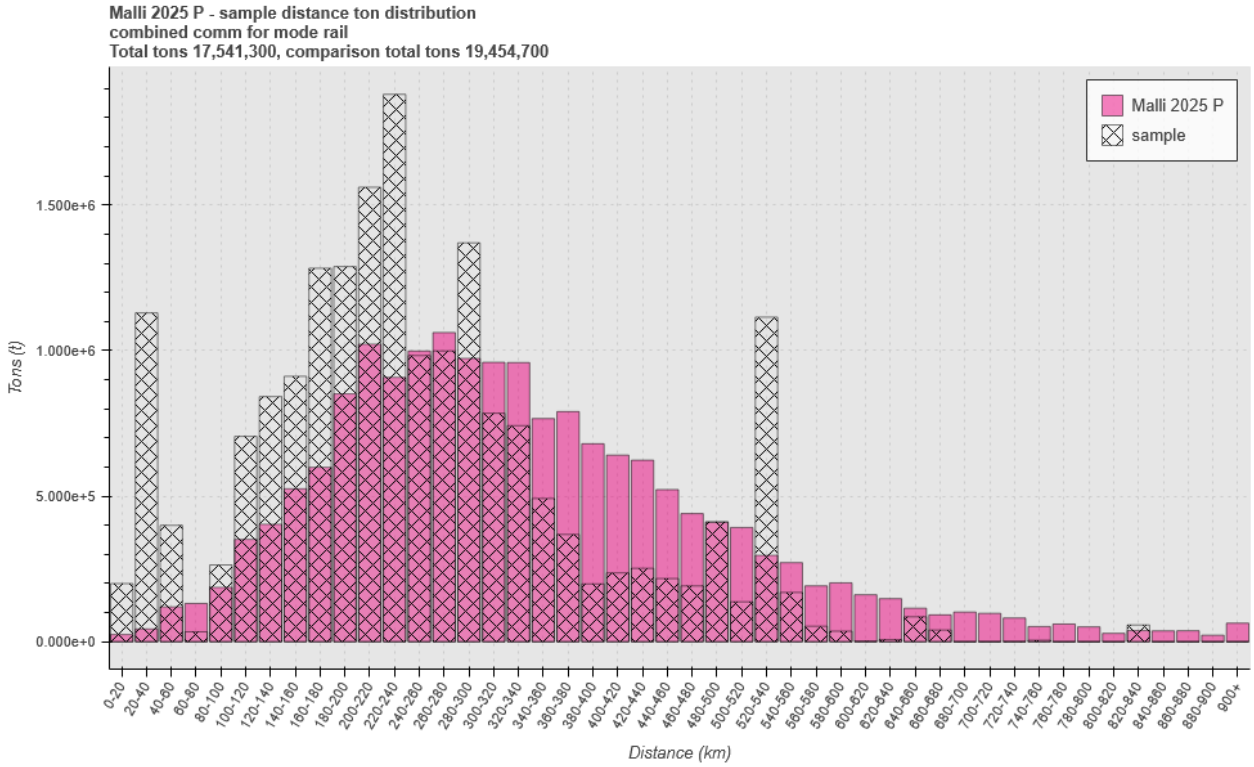
pääkuljetustavan kuljetusetäisyyden, mutta mallin tuottamassa aineistossa etäisyys sisältää osalla virroista myös liityntäkuljetuksen osuuden.



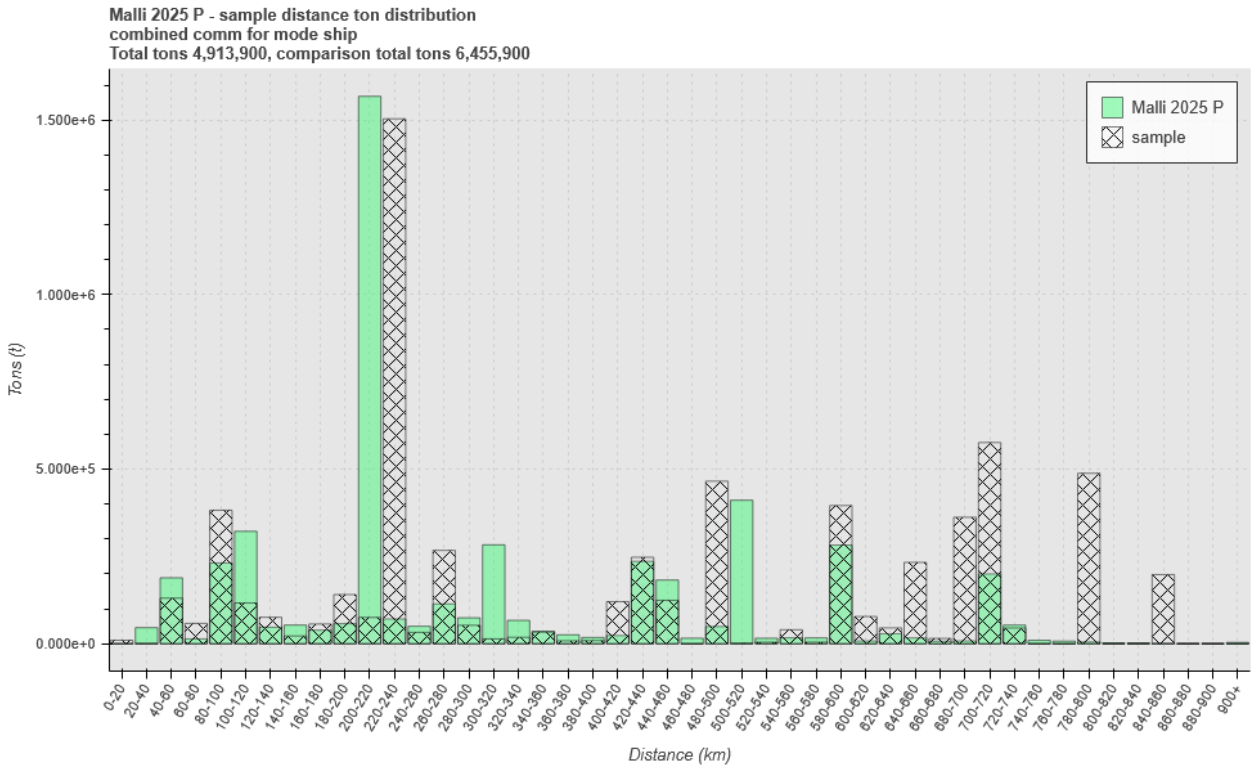
Kuva 16. Kotimaan kuljetusten kokonaistonnimäärien jakautuminen kuljetusmatkan ja kuljetustavan mukaan



Kuva 17. Kotimaan tiekuljetusten pituusjakauma malliversiossa 1.0 ja estimointiaineistossa



Kuva 18. Kotimaan rautatiekuljetusten pituusjakauma malliversiossa 1.0 ja estimointiaineistossa

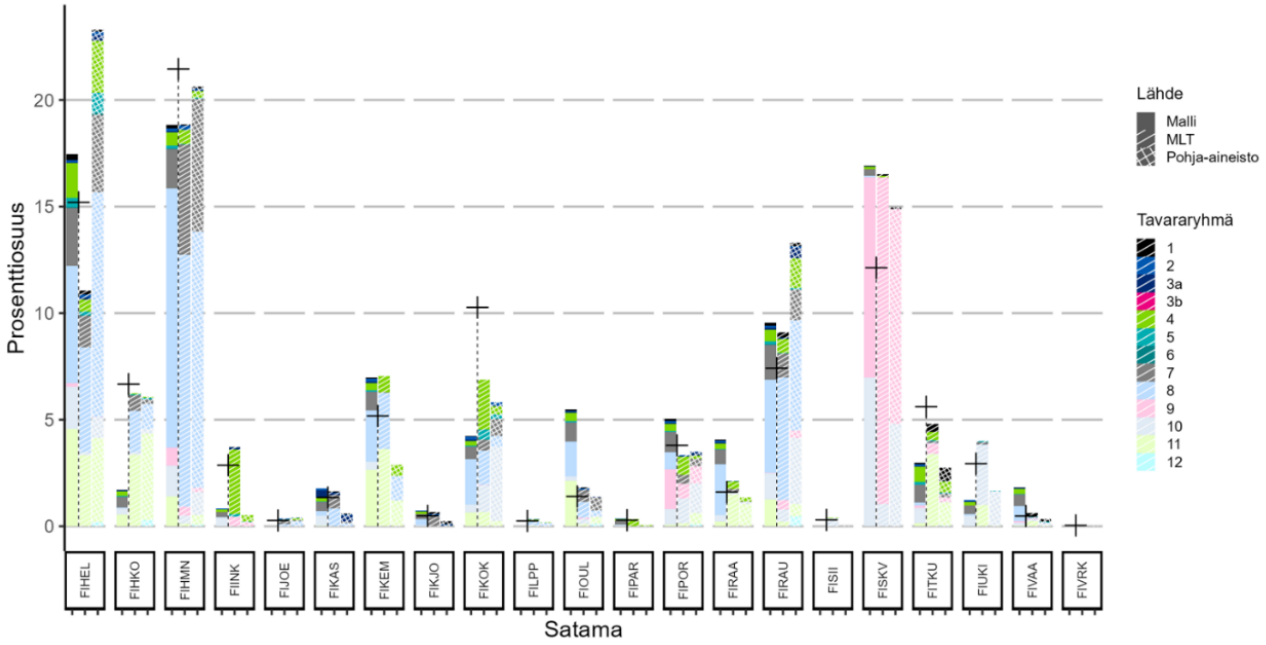


Kuva 19. Kotimaan aluskuljetusten pituusjakauma malliversiossa 1.0 ja estimointiaineistossa

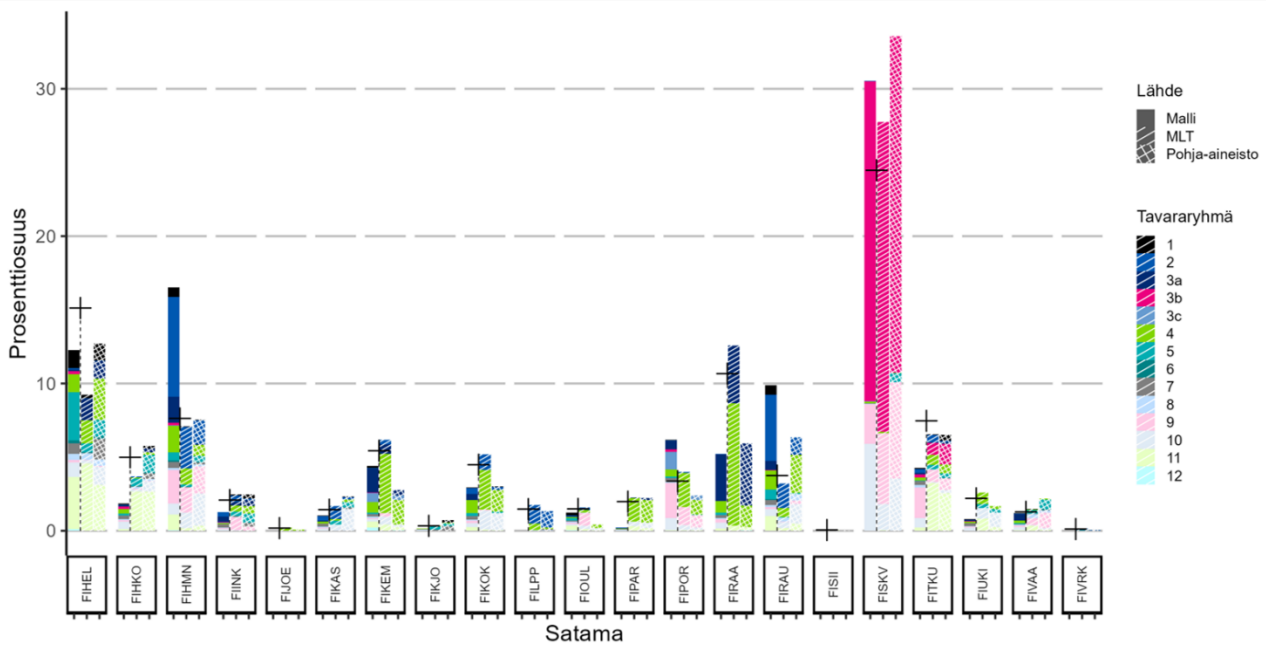
10.3 Ulkomaan kuljetusten reitit

Ulkomaan reitinvalintamallin tuloksia on verrattu meriliikenteen tilaston mukaisiin kuljetuksiin sekä tullin tiedoista luvussa 6 kuvatulla päättelylogiikalla muodostettuun estimoinnin pohja-aineistoon. Vertailu on esitetty kuvissa 20-21.

Reitinvalintamalli toistaa pääosin hyvin ulkomaan kuljetusten hyödykeryhmittäisten tonnien jakautumisen kotimaan satamaklustereille.



Kuva 20. Vientikuljetusten tonnimäärien jakautuminen Suomen satamaklustereille mallissa ja vertailuaineistoissa



Kuva 21. Tuontikuljetusten tonnimäärien jakautuminen Suomen satamaklustereille mallissa ja vertailuaineistoissa

10.4 Mallin joustot

Mallin reagointia kustannusmuutoksiin on testattu kasvattamalla tieliikenteen tonnikilometrikohtaista kustannusta 10 % nykyisiin kuljetuskustannuksiin verrattuna. Joustoa on verrattu Tanskan valtakunnallisen liikennemallin validointia varten eri tutkimuksista kerättyihin joustoihin (de Jong & al, 2023)

Mallin keskimääräiset joustot sekä tonnimäärien että suoritteen osalta vastaavat hyvin vertailuarvoja. Hyödykelajikohtaiset joustot ovat pääosin annetun vaihteluvälin sisällä ja erot vastaavat hyödykelajien kuljettamisen eroja. Hyödykelajeilla, joilla kuljetus tapahtuu vain tiekuljetuksena, jousto on hyvin pieni. Raakapuun (metsat) kuljetukselle on todellisia vaihtoehtoja ja jousto on vastaavasti suuri.

Taulukko 16. Malli joustot Tieliikenteen kustannuksen suhteen

Hyödykelaji	**Tonnit**	**Suorite**
mameka (*	0.00	-0.04
metsat	-0.87	-0.76
energy	0.03	-0.03
kaivan	-0.29	-0.79
elint (*	0.00	-0.02
tekst (*	0.00	-0.02
puukor	-0.12	-0.36
papsel	-0.30	-0.37
oljytu	0.00	-0.06
kemiat	-0.11	-0.54
metkot	-0.10	-0.60
jate (*	0.00	-0.04
Yhteensä	**-0.27**	**-0.49**
Alaraja	-0.04	-0.14
Todennäköisin arvo	-0.3	-0.4
Yläraja	-0.5	-1.3

**) vain suuntautumismalli*

11 Mallin käyttö

11.1 Ennusteen lähtökohdat ja niiden muokkaaminen

Tavaraliikenteen ennusteen keskeiset lähtökohdat ovat talousennusteen pohjalta tuotetut osa-aluekohtaiset tuotokset ja ulkomaankaupan virrat sekä kuljetuskustannukset. Näitä ennusteen lähtökohtia voidaan muuttaa mallille annettavissa syötetiedostoissa. Lisäksi voidaan muuttaa kuljetusyhteyksiä mallin verkkokuvauksessa.

Talousmallilla tuotettavien osa-aluekohtaisten generaatioiden ja attraktioiden sekä ulkomaankaupan virtojen muokkaus tehdään REFINAGE -talousmallilla, jonka toimintaa ja tavaraliikennemallin lähtökohtana käytettäviä tuloksia on kuvattu luvussa 4.

Tavaraliikennemallin käyttö ei edellytä talousmallin käyttöä, ellei tuotosten taustalla olevan talouskehityksen lähtökohtia haluta muuttaa. Mallilla laadittavien tarkastelujen lähtökohdaksi on tuotettu tarvittavat nykytilanteen sekä valtakunnallisten liikenne-ennusteiden mukaiset ennustevuosien lähtötiedot valmiiksi geopackage- (generaatiot ja attraktiot) ja omx- (ulkomaankaupan virrat) tiedostoiksi.

Tuotoksia ja ulkomaankaupan virtoja voidaan tarvittaessa muokata myös suoraan lähtötietona annettaviin tiedostoihin, jos esim. tietyn kunnan alueella tuotosten jakautumista osa-alueille halutaan tarkentaa. Erilaisia paikallisia tarkasteluja varten voidaan myös tietyn hyödykkeen tuotosta kasvattaa vastaamaan esim. uuden tuotantolaitoksen arvioitua tuotosta. Muokkaukset lähtötietoihin tulee tehdä erikseen alueiden generaatioihin ja attraktioihin sekä ulkomaankaupan virtoihin. Mikäli halutaan tuottaa keskenään vertailukelpoisia skenaarioita, tulee huolehtia, että skenaarioiden kokonaiskysyntä vastaa muutosten jälkeen toisiaan. Dataa muokattaessa tulee huomioida, että tavararyhmäkohtainen generaation koko maan tasolla tulee vastata tavararyhmäkohtaista attraktiota koko maan tasolla. Eli jos esimerkiksi haluaa lisätä tavararyhmän generaatiota tietyllä alueella uuden tehtaan perustamisen myötä, tulee saman tavararyhmän attraktiota kasvattaa saman verran muualla (alueen voi määrittää itse).

Kuljetuskustannukset annetaan ennusteen lähtökohdaksi Json -tiedostona, jonka sisältö on kuvattu kohdassa 3.4.5. Tiedosto sisältää hyödykelaji ja kuljetustapa/ajoneuvoluokkakohtaiset aika- ja kilometriperusteiset sekä terminaalien yksikkökustannukset (tonnia kohden). Kustannukset on määritetty vuoden 2022 tasossa, mikä vastaa väyläviraston julkaiseminen liikennehankkeiden arvioinnin yksikköarvojen tasoa. Tiedosto sisältää yksikkökustannusten lisäksi tiedot hyödykelajikohtaisista tieliikenteen ajoneuvoluokkajakaumista sekä ajoneuvoluokittaisista käyttövoimajakaumista, keskikuormituksista ja tyhjien paluukyytien kertoimista. Tietoja voidaan muokata suoraan Json -tiedostoon. Jakaumia muokattaessa on tarkistettava, että osuuksien summa on 1.

Kohdassa 3.4. kuvattu kuljetuskustannusten määritys taustalla olevien kustannuskomponenttien pohjalta on tehty mallijärjestelmän ulkopuolella eikä tätä varten ole toistaiseksi julkisesti jaeltavaa menetelmää.

Valtakunnallisen liikenne-ennusteen ennustevuosille on määritetty omat hintaskenaariot, joissa on huomioitu esim. päästökaupan ja eri käyttövoimien reaalihintojen muutoksia sekä ajoneuvokantamallilla tuotetun raskaan tieliikenteen käyttövoimakehityksen.

Mallin liikenneverkon kuvaukseen tehtävät muutokset voidaan tehdä suoraan Emme -ohjelmiston verkkojen muokkaustyökalulla. Muutoksia voidaan tehdä lisäämällä tai poistamalla linkkejä ja niitä käyttäviä kuljetustapoja sekä muokkaamalla linkkien nopeustasoja. Linkkien nopeustasojen muokkaaminen tapahtuu linkkityyppiä muuttamalla. Kotimaan rata- ja alusliikenteen yhteyksiä muokattaessa tulee luoda lenkeille myös vastaavat linkkikohtaiset juna- ja laivalinjat ja antaa niille ominaisuudet.

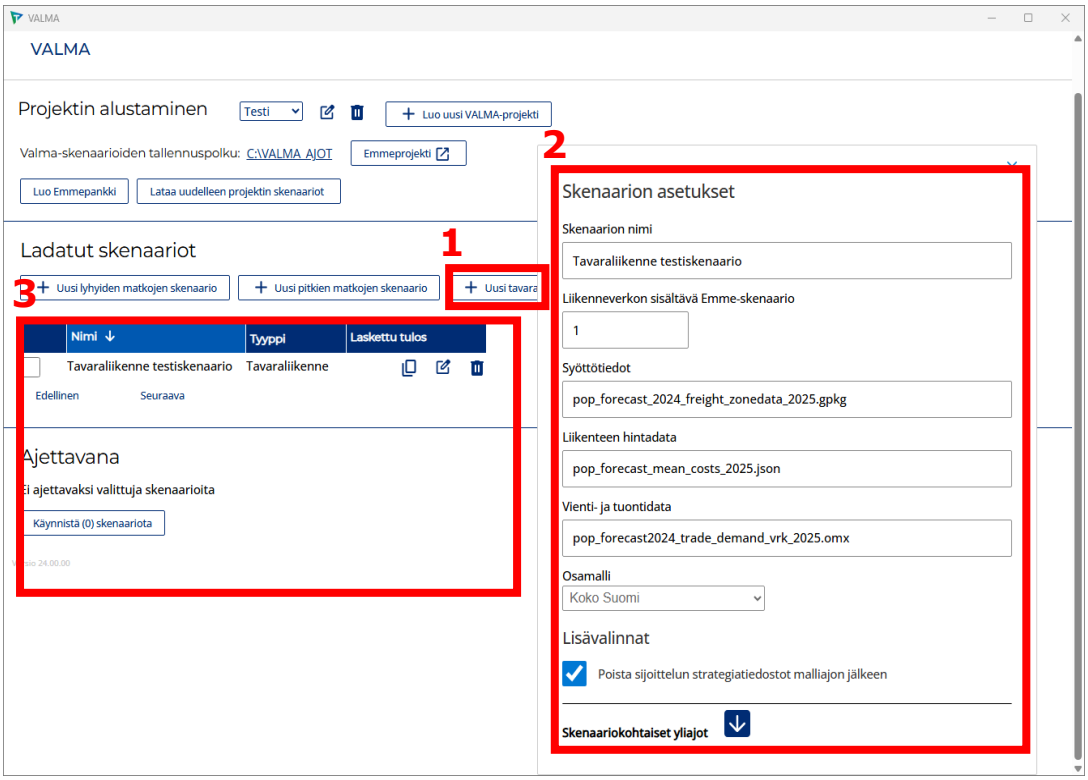
Ulkomaan liikenneyhteyksiä voidaan muokata vastaavasti kuin kotimaankin yhteyksiä. Ulkomaan verkkokuvaus on laivayhteyksiä lukuun ottamatta tuotettu karkeammalla tasolla kuin kotimaan verkko. Ulkomaan laivayhteyksiä ja niiden ominaisuuksia voidaan muokata Emmen linjastokuvauksessa. Mikäli halutaan poistaa esim. tietyn sataman yhteydet, on tämä suositeltavaa tehdä laivayhteyksiä muokkaamalla. Satamien poistaminen tai lisääminen edellyttää mallijärjestelmän koodin muokkaamista.

11.2 Ennusteajon käynnistäminen

Tavaraliikenteen ennuste tuotetaan Valma -järjestelmän avulla. Valman käyttö tapahtuu Valma UI:n kautta. Järjestelmän asennus ja käyttö on kuvattu Valman käyttöohjeissa (https://traficom.github.io/valma-docs/), jota päivitetään mallijärjestelmän kehittämisen myötä. Seuraavassa on kuvattu tavaraliikenteen ennusteen lähtötietojen syöttäminen Valma UI:ssä marraskuussa 2026 julkaistussa malliversiossa.

Tavaraliikenteen malli ajetaan aina koko Suomen verkolla. Tuloksena syntyviä koko maan tiekuljetusten ajoneuvomatriiseja käytetään pohjakysyntänä henkilöliikenteen osamalleissa ilman erillisiä tavaraliikenteen osamalliajoja.

Tavaraliikenteen ajon määrittely Valma UI:ssä on esitetty kuvassa 22. Tavaraliikenteen malliajoa varten tulee Valma UI:ssä olla luotuna Valma -projekti ja siinä koko Suomen emmepankki. Tavaraliikenteen malliajoa varten luodaan uusi tavaraliikenteen skenaario (1). Skenaarion asetuksiin haetaan tarvittavat lähtötiedot (tuotokset, hintadata sekä viennin ja tuonnin virrat) sisältävät tiedostot (2). Tämän jälkeen voidaan luotu skenaario valita skenaariolistasta ja käynnistää malliajo (3).



Kuva 22. Malliajon käynnistäminen Valma UI:ssä

11.3 Ennusteajon tulokset

Ennusteajon tuloksena syntyvät tavaraliikenteen kuljetustavoittaiset kysyntämatriisit sekä kuorma-autoliikenteen ajoneuvomatriisit, jotka talletetaan omx -tiedostoihin. Tonnimääräiset kysyntämatriisit muodostetaan kotimaan osuudelle, satamien tai raja-asemien väliselle osuudelle sekä ulkomaan loppukuljetuksen osuudelle.

Kotimaan osuuden matriiseissa on laskettu yhteen kunkin kuljetustavan vienti- ja tuontikysynnän kotimaan osuus sekä kotimaan kysyntä. Tieliikenteen ajoneuvomatriisiin lisätään lisäksi rautatiekuljetusten ja aluskuljetusten tiekuljetuksena tehtävät liityntäkuljetukset.

Malli sijoittelee verkolle kokonaiskysynnän kuljetustavoittain sekä tiekuljetusten kysynnän ajoneuvoluokittain ja tallettaa sijoittelun tulokset linkkien tietoihin. Malliajoon voidaan lisätä myös yksittäisten tavaralajien matriisien tallennus sekä sijoittelu.

Tavaraliikenteen ennusteajo tuottaa marraskuussa 2026 julkaistussa versiossa keskeisiä tuloksia alla olevassa taulukossa kuvattuihin tiedostoihin, joiden avulla malliajon tuloksia voidaan validoida. Keskeisin validointitieto ovat kotimaan verkon kuljetusten tavaramäärän (tonnien) ja suoritteiden määrät, jotka voidaan laskea Feight_purpose_summary.txt ja freight domestic_leg_summary.txt tulosteiden tiedoista. Tieliikenteen suoritteisiin on tällöin lisättävä rautatie- ja aluskuljetusten liityntäkuljetuksen (aux) osuus.

Taulukko 17. Mallin tuottamat tulostiedostot

Tiedosto	**Sisältö**
freight_purpose_summary.txt	Kotimaan mallin tuottamat tavaramäärät ja suoritteet hyödykelajeittain ja kuljetustavoittain
freight_zone_summary.txt	Kotimaan mallin tuotokset alueittain, hyödykelajeittain ja kuljetustavoittain
freight_domestic_leg_summary.txt	Ulkomaan reitinvalintamallin tuottamat kotimaan osuuden tavaramäärät ja suoritteet hyödykelajeittain ja kuljetustavoittain
freight_leg2_summary.txt	Ulkomaan reitinvalintamallin tuottamat kotimaan ja ulkomaan rajapaikkojen väliset tavaramäärät hyödykelajeittain ja kuljetustavoittain
freight_cluster_border_summary.txt	Ulkomaan rajapaikkakohtaiset tavaramäärät ulkomaan markkinaa-alueittain, hyödykelajeittain ja kuljetustavoittain
freight_vehicle_summary.txt	Tiekuljetusten kotimaan verkon ajoneuvomäärät ja suoritteet yhteensä (kotimaan + ulkomaan kuljetukset)

Lähteet

Edwards, Henrik; Anderstig, Christer; Pettersson, Daniel ja Huelsz-Prince, Adriana. Samgods PWC-matriser 2016 och 2040. Sweco Society och WSP. Slutrapport 2019-12-12. Saatavissa: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/ab220f9016154ef7a8478555560bb280/2023/samgods-pwc-matriser-2016-och-2040.pdf

Honkatukia, Juha; Lehtomaa, Jere; Alimov, Naufal; Huovari, Janne ja Ruuskanen, Olli-Pekka. 2019. Alueellisen taloustiedon tietokanta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:41. ISSN: 2342-6799.

Honkatukia, Juha. 2009. VATTAGE – yleisen tasapainon malli Suomen taloudesta. Kansantaloudellinen aikakauskirja – 1 05. vsk. – 1 /2009. Saatavissa: https://www.taloustieteellinenyhdistys.fi/images/stories/kak/kak12009/kak12009honkatukia.pdf

Horridge J.M., Jerie M., Mustakinov D. & Schiffmann F. (2018), GEMPACK manual, GEMPACK Software, Centre of Policy Studies, Victoria University, Melbourne, ISBN 978-1-921654-34-3

Daly, Andrew. 2022. ALOGIT 4.5 User Documentation.

Gerard de Jong, Larissa Eggers (Significance) & Andrew Daly, Update of knowledge on elasticities and time values for GMM, 2023

Dixon P. & Rimmer M. (2013), Validation in Computable General Equilibrium Modeling. Handbook of Computable General Equilibrium Modeling SET, Vols. 1A and 1B (pp.1271-1330). Elsevier

Dixon P., Jerie M. & Rimmer M. (2016), Modern Trade Theory for CGE Modelling:the Armington, Krugman and Melitz Models. Journal of Global Economic Analysis, Volume 1 (2016), No. 1, pp. 1-110.

McKitrick, Ross. 1998. *The econometric critique of computable general equilibrium modeling: the role of functional forms.* Department of Economics, The University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada N1G 1M8. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999398000285

Väylävirasto. Metsäranta et. Al. (2024). Tie- ja rautatieliikenteen hankearvioinnin yksikköarvojen määrittäminen vuodelle 2022. Saatavissa: https://www.doria.fi/handle/10024/190638?show=full

Solakivi, Ojala, Metsäaho: Alusliikenteen yksikkökustannukset 2022. Väylävirasto Helsinki 2024. Väyläviraston julkaisuja 82/2024.

Metsäranta, Toivio, Halminen, Viljanen: Tie- ja rautatieliikenteen hankearvioinnin yksikköarvojen määrittäminen vuodelle 2022. Väylävirasto Helsinki 2024. Väyläviraston julkaisuja 81/2024.

Viri R. & Koski V. (2026). Valtakunnallinen liikenteen mallijärjestelmä: Ajoneuvokannan malli. *Traficom julkaisut X/2026*

Liitteet

Liite 1 Tilastojen muuntaminen karkeampaan tavaraluokitukseen

Tavaraliikenteen mallissa käytetty karkeampi tavaraluokittelu (12 ryhmää), jotka käytetään estimointiin. Karkeampaa ryhmittelyä kutsutaan estimointiryhmittelyksi. Estimointiaineistojen ja talousennusteen tavaraluokittelu eivät vastaa toisiaan, joten aggregointi tälle tasolle jokaisen aineiston kohdalla on välttämätön. Aluedatat tuotetaan kuitenkin hienojakoisemmassa ennusteryhmittelyssä, joihin sovelletaan estimointiryhmittelyn kertoimia. Ennuste saadaan laskettua hienojakoisemmassa ryhmittelyssä. Estimointiryhmittely listattuna alla (Taulukko 18). Myös ennusteryhmittely listattuna alla (Taulukko 19).

Taulukko 18. Tavaraliikenteen mallin karkeampi 12 tavararyhmän tavaraluokittelu - estimointiryhmät

Estimointiryhmä	**Lyhenne**	**Selite**
1	mameka	Maatalous, metsästys ja kalastus
2	metsat	Metsätalous
3	energy	Kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, koksi, briketit
4	kaivan	Kaivannaiset, raakamineraalit sekä eimetalliset mineraalituotteet
5	elint	Elintarvikkeet
6	tekst	Tekstiilit, kankaat ja nahat
7	puukor	Puu- ja korkkituotteet
8	papsel	Paperi, kartonki, sellu
9	oljytu	Jalostetut öljytuotteet
10	kemiat	Kemianteollisuuden tuotteet
11	metkot	Metallit, koneet ja laitteet
12	jate	Jätteet
99	ei mallinnettava	Tuoteluokka sisältää kokonaan palveluja, joista ei synny siirreltävää tavaraa. Ryhmää ei mallinneta tavaraliikenteen mallissa.

Taulukko 19 Tavaraliikenteen ennusteryhmät ja estimointiryhmät, joihin ne sisältyvät.

Ennuste-ryhmä	Ennusteryhmän selite	Estimointiryhmä koitmaa	Estimointiryhmä vienti	Estimointiryhmä tuonti
marita	Maatalous- ja riistataloustuotteet sekä niihin liittyvät palvelut	mameka	mameka	mameka
metsat	Metsätaloudesta ja siihen liittyvistä palveluista saadut tuotteet	metsat	metsat	metsat
kalevi	Kala- ja muut kalastustuotteet, vesiviljelytuotteet sekä kalastusta avustavat palvelut	mameka	mameka	mameka
krhiil	Kivihiili ja ruskohiili	energy	energy	energy
rkoljy	Raakaöljy	ei mallinnettava	ei mallinnettava	energy
kaasu	Maakaasu (nesteytetty tai kaasumaisessa tilassa)	ei mallinnettava	ei mallinnettava	energy
metkai	Metallimalmit sekä muut kaivostoiminnasta ja louhinnasta saadut tuotteet	kaivan	kaivan	kaivan
turve	Turve	energy	energy	energy
elint	Elintarvikkeet, juomat ja tupakkatuotteet	elint	elint	elint
tekst	Tekstiilit, vaatteet sekä nahka ja nahkatuotteet	tekst	tekst	tekst
puukor	Puutavara, puu- ja korkkituotteet (pl. huonekalut), olki- ja punontatuotteet	puukor	puukor	puukor
papsel	Paperi- ja paperituotteet	papsel	papsel	papsel
pappai	Painatus- ja tallennuspalvelut	papsel	papsel	papsel
kokbri	Koksi sekä briketit ja niiden kaltaiset kiinteät polttoaineet	energy	energy	energy
oljytu	Yhdistetty ryhmä öljypohjaisille polttoaineille (kevyt öljyt, kerosiini, diesel, kevyt polttoaine, keskiraskaat öljyt ja polttoöljyt, muualle luokittelemattomat)	oljytu	oljytu	oljytu
kemlaa	Kemikaalit ja kemialliset tuotteet sekä lääkkeiden lähtöaineet ja lääkevalmisteet	kemiat	kemiat	kemiat
kummuo	Kumi- ja muovituotteet	kemiat	kemiat	kemiat
minkai	Muut ei-metalliset mineraalituotteet	kaivan	kaivan	kaivan
rauter	Rauta, teräs ja rautaseokset, putket ja profiiliputket sekä niihin liittyvät tarvikkeet (terästä) sekä muut ensimmäisen jalostusasteen teräs	metkot	metkot	metkot
jaloml	Jalometallit ja muut varimetallit sekä metallien valupalvelut	metkot	metkot	metkot
mltuot	Metallituotteet (ei kuitenkaan koneet ja laitteet)	metkot	metkot	metkot
elektr	Tietokoneet, elektroniset ja optiset tuotteet sekä sähkölaitteet	metkot	metkot	metkot
konela	Koneet ja laitteet, muualle luokittelemattomat	metkot	metkot	metkot
majon	Moottoriajoneuvot, perävaunut ja puoliperävaunut sekä muut kulkuneuvot	metkot	metkot	metkot
huonek	Huonekalut, muut tehdasvalmisteet sekä koneiden ja laitteiden korjaus- ja asennuspalvelut	metkot	metkot	metkot
jate	Viemäröintipalvelut, jätevesiliete, jätteiden keruu-, käsittely- ja loppusijoituspalvelut sekä kunnostuspalvelut ja muut jätehuoltopalvelut	jate	jate	jate

Alla näkyvässä taulukossa REFINAGE-talousennusteen suhteutuminen karkeampaan tavaraluokitteluun (12 ryhmää) estimointia varten.

Taulukko 20 REFINAGE-mallin hyödykelajit (myös palvelut sisältyvät) ja niiden kohdistuminen tavaraliikenteen mallin tavararyhmiin.

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Estimointiryhmän nimi	Hyödykelajitunnus REFINAGE-talousennusteessa	Hyödykelajin nimi REFINAGE-talousennusteessa
1	Maatalous, metsästys ja kalastus	C_01	Maatalous- ja riistataloustuotteet sekä niihin liittyvät palvelut
2	Metsätalous	C_02	Metsätaloudesta ja siihen liittyvistä palveluista saadut tuotteet
1	Maatalous, metsästys ja kalastus	C_03	Kala- ja muut kalastustuotteet, vesiviljelytuotteet sekä kalastusta avustavat palvelut
3	Kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, koksi, briketit	C_05	Kivihiili ja ruskohiili
Kotimaan malli: 99 Ulkomaan malli: 3	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_061	Raakaöljy
Kotimaan malli: 99 Ulkomaan malli: 3	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_062	Maakaasu (nesteytetty tai kaasumaisessa tilassa)
4	Kaivannaiset, raakamineraalit sekä eimetalliset mineraalituotteet	C_07_9	Metallimalmit sekä muut kaivostoiminnasta ja louhinnasta saadut tuotteet
3	Kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, koksi, briketit	C_0892	Turve
5	Elintarvikkeet	C_10_2	Elintarvikkeet, juomat ja tupakkatuotteet
6	Tekstiilit, kankaat ja nahat	C_13_5	Tekstiilit, vaatteet sekä nahka ja nahkatuotteet
7	Puu- ja korkkituotteet	C_16	Puutavara, puu- ja korkkituotteet (pl. huonekalut), olki- ja punontatuotteet
8	Paperi, kartonki, sellu	C_17	Paperi- ja paperituotteet
8	Paperi, kartonki, sellu	C_18	Painatus- ja tallennuspalvelut
3	Kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, koksi, briketit	C_191_201	Koksi sekä briketit ja niiden kaltaiset kiinteät polttoaineet
9	Jalostetut öljytuotteet	C_192021_4*	Moottoribensiini, lentobensiini, raskasbensiini, suihkumoottoribensiini ja lentopetroli
9	Jalostetut öljytuotteet	C_1920261*	Diesel
9	Jalostetut öljytuotteet	C_1920269*	Kevyt polttoöljy
9	Jalostetut öljytuotteet	C_192027*	Keskiraskaat maaöljyt, keskiraskaat valmisteet sekä muualle luokittelemattomat
9	Jalostetut öljytuotteet	C_192028_90*	Polttoöljyt, muualle luokittelemattomat
10	Kemianteollisuuden tuotteet	C_20_1	Kemikaalit ja kemialliset tuotteet sekä lääkkeiden lähtöaineet ja lääkevalmisteet
10	Kemianteollisuuden tuotteet	C_22	Kumi- ja muovituotteet
4	Kaivannaiset, raakamineraalit sekä eimetalliset mineraalituotteet	C_23	Muut ei-metalliset mineraalituotteet
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_241_3	Rauta, teräs ja rautaseokset, putket ja profiiliputket sekä niihin liittyvät tarvikkeet (terästä) sekä muut ensimmäisen jalostusasteen teräs

11	Metallit, koneet ja laitteet	C_244_9	Jalometallit ja muut värimetallit sekä metallien valupalvelut
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_25	Metallituotteet (ei kuitenkaan koneet ja laitteet)
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_26_7	Tietokoneet, elektroniset ja optiset tuotteet sekä sähkölaitteet
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_28	Koneet ja laitteet, muualle luokittelemattomat
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_29_30	Moottoriajoneuvot, perävaunut ja puoliperävaunut sekä muut kulkuneuvot
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_31_3	Huonekalut, muut tehdasvalmisteet sekä koneiden ja laitteiden korjaus- ja asennuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_351	Sähkön siirto- ja jakelupalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_352_3	Valmistettu kaasu sekä kaasumaisten polttoaineiden jakelupalvelut putkiverkoston kautta
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_36	Luonnonvesi, veden puhdistus- ja jakelupalvelut
12	Jätteet	C_37_39	Viemäröintipalvelut, jätevesiliete, jätteiden keruu-, käsittely- ja loppusijoituspalvelut sekä kunnostuspalvelut ja muut jätehuoltopalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_41	Talorakennukset ja talonrakennustyöt
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_42	Maa- ja vesirakennusalan rakenteet ja rakennustyöt
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_45_7	Tukku- ja vähittäiskaupan palvelut sekä moottoriajoneuvojen ja moottoripyörien korjauspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_491_2	Rautateiden henkilöliikennepalvelut kaukoliikenteessä sekä rautateiden tavaraliikennepalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_493	Muut maaliikenteen henkilöliikennepalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_494_5	Tieliikenteen tavaraliikennepalvelut ja muuttopalvelut sekä putkijohtokuljetuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_50	Vesiliikennepalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_51	Ilmaliikennepalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_52_3	Varastointi- ja liikennettä avustavat palvelut sekä posti- ja kuriiripalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_55_6	Majoitus- ja ravitsemuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_58_63	Tieto- ja viestintäpalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_64_6	Rahoitus- ja vakuutuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_68	Kiinteistöalan palvelut

99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_69_70	Lakiasiain palvelut ja laskentatoimen palvelut sekä pääkonttorien palvelut ja liikkeenjohdon konsultointipalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_71	Arkkitehtipalvelut ja tekniset palvelut sekä tekniset testaus- ja analysointipalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_72_5	Tieteelliset tutkimus- ja kehittämispalvelut, mainos- ja markkinointitutkimuspalvelut, muut ammatilliset, tieteelliset ja tekniset palvelut sekä eläinlääkintäpalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_77_82	Hallinto- ja tukipalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_84	Julkisen hallinnon ja maanpuolustuksen palvelut sekä pakolliset sosiaalivakuutuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_85	Koulutuspalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_86	Terveydenhuoltopalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_87_8	Laitoshoitopalvelut ja sosiaalihuollon avopalvelut
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta estimointiin mukaan	C_90_8	Taide-, viihde- ja virkistyspalvelut, muut palvelut, kotitalouksien toimiminen työnantajina, kotitalouksien omaan käyttöön tuottamat eriyttämättömät tavarat ja palvelut sekä kansainvälisten organisaatioiden ja toimielinten tuottamat palvelut

**Yhdistetään ryhmäksi C_19202_4 Yhdistetty ryhmä öljypohjaisille polttoaineille (kevyt öljyt, kerosiini, diesel, kevyt polttoaine, keskiraskaat öljyt ja polttoöljyt, muualle luokittelemattomat)*

Alla näkyvässä taulukossa tiekuljetustilaston tavararyhmien suhteutuminen karkeampaan tavaraluokitteluun (12 ryhmää) estimointia varten.

Taulukko 21. Tiekuljetustilaston hyödykelajit ja niiden kohdistuminen tavaraliikenteen mallin hyödykelajiryhmiin estimoinnissa.

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Hyödykelajitunnus tiekuljetustilastossa	Hyödykelajin nimi tiekuljetustilastossa
1	1	Viljat
1	2	Sokerijuurikas, perunat, juurekset, tuoreet vihannekset ja hedelmät
1	3	Elävät eläimet
1	4	Kukat, taimet, siemenet, öljykasvien siemenet, kuitu- ja rehukasvit yms. puutarhatuotteet
1	5	Raaka maito, raaka kala, villa, raa'at turkisnahat, yms. maa- ja kalataloustuotteet,
2	6	Tukki- ja kuitupuu
2	7	Energiapuu, polttopuu, kannot, risut, metsähake yms.
7	8	Puru, hake
7	9	Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteet, sahattu puutavara, paneelit, levytuotteet, taloelementit puusta yms.
8	10	Paperimassa, selluloosa
8	11	Paperi, kartonki, painotuotteet, muut tuotteet paperista ja kartongista
5	12	Juomat, virvoitusjuomat, oluet, viinit, alkoholit
5	13	Liha, valmistettu kala, maito, voi ja muut helposti pilaantuvat elintarviketeollisuuden tuotteet
5	14	Jauhot, sokeri, kahvi, valmistetut hedelmät ja vihannekset, muut ei helposti pilaantuvat elintarviketeollisuuden tuotteet, ruokaöljyt
5	15	Jalostetut eläinten ruoat ja rehut
3	16	Kivi- ja ruskohiili, (raakaöljy, luonnonkaasu)
3	17	Koksi, briketit, pelletit yms. kiinteät polttoaineet
3	18	Polttoturve
9	19	Nestemäiset polttoaineet ja voiteluaineet, kaasumaiset ja kiinteät öljytuotteet
4	20	Asfaltti, öljysora, bitumi
4	21	Metallimalmit ja niiden rikasteet
11	22	Raakateräs, rautaharkot, metallilevyt, -tangot ja -putket yms. puolivalmisteet
4	23	Sora, hiekka, kivet ja muut maa-ainekset, suola, lannoitemineraalit, kuona, tuhka, kasvuturve
4	24	Betoni, tiilet, elementit, sementti, kalkki yms. rakennusmateriaalit
10	25	Lannoitteet ja typpiyhdisteet
10	26	Peruskemikaalit; hapot, lipeä, hiilikemikaalit yms.
10	27	Lääkkeet, puhdistusaineet, maalit, räjähteet ja muut kemianteollisuuden tuotteet

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Hyödykelajitunnus tiekuljetustilastossa	Hyödykelajin nimi tiekuljetustilastossa
11	28	Kodin- ja konttorikoneet, elektroniikka, sähkölaitteet ja niiden osat
11	29	Autot, ajoneuvot, kulkuvälineet sekä niiden osat
11	30	Maa- ja metsätalouskoneet, muut koneet ja laitteet sekä niiden osat
11	31	Metallirakenteet, metallisäiliöt, -työkalut, aseet, muut metallituotteet
6	32	Tekstiilit, tekstiilikuidut, vaatteet, jalkineet
4	33	Lasi, lasivalmisteet ja keramiikka
10	34	Muovi- ja kumiteollisuuden raaka-aineet ja tuotteet
12	35	Talousjätteet, muut jätteet, lumi
12	36	Kierrätysmateriaalit; keräyspaperi yms.
99	37	Kontit, joiden sisältö ei ole tiedossa, muut ei-tiedossa olevat tavarat
99	38	Tyhjät kontit, kuormalavat, rullakot, palautuspullot ja muut pakkausmateriaalit
99	39	Muuttokuormat, rakennustelineet, korjattavaksi vietävät tai hinattavat ajoneuvot yms.
11	40	Huonekalut, myymälä-, toimisto- ja keittiökalusteet
99	41	Postilähetykset, paketit yms.
99	42	Erityyppiset tavarat, joita kuljetetaan samanaikaisesti
99	43	Muut tavarat (kuin luokissa 1-42)
99	44	Tyhjä
99	45	Kunnossapito, huoltoajo yms. toiminnot

Alla näkyvässä taulukossa rautatiekuljetustilaston tavararyhmien suhteutuminen karkeampaan tavaraluokitteluun (12 ryhmää) estimointia varten.

Taulukko 22. Rautatiekuljetustilaston hyödykelajit ja niiden kohdistuminen tavaraliikenteen mallin hyödykelajiryhmiin.

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Hyödykelajitunnus rautatiekuljetustilastossa*	Hyödykelajin nimi rautatiekuljetustilastossa
2	10	Raakapuu
99/2**	11	Raakapuu, tuonti
7	12	Sahatavara
8	13	Sellu ja paperimassa
8	14	Paperi
8	15	Kartonki
4	16	Malmit ja rikasteet
11	17	Metallit ja metalliyhdisteet
3	18	Raakaöljy, öljytuotteet
9	19	Öljytuotteet
3	20	Kivihiili ja koksi
10	21	Kemikaalit (sis. lannoitteet)
4	22	Raakamineraalit ja sementti
11	23	Koneet ja laitteet
1	24	Vilja
13	25	Sotilaskuljetuksia
99/13	26	Kiinan kuljetuksia

** Rautatiekuljetustilastossa ei ole virallista numerointia. Tätä työtä varten ryhmille on annettu numerot, jotta tiedon käsittely on helpompaa.*

***Raakapuu, tuonti ohjautuu 99 kotimaan mallissa. Ulkomaan mallissa se ohjautua ryhmään 2.*

Alla näkyvässä taulukossa rautatiekuljetustilaston tavararyhmien suhteutuminen karkeampaan tavaraluokitteluun (12 ryhmää) estimointia varten.

Taulukko 23. Laivakuljetustilaston hyödykelajit ja niiden kohdistuminen tavaraliikenteen mallin hyödykelajiryhmiin.

Tavaraliiken-teen mallin estimoinnin tavararyhmät	Hyödykelaji-tunnus laiva-kuljetustilas-tossa*	Hyödykelajin nimi laivakuljetustilastossa
2	10	Raakapuu, hanke
7	11	Sahatavara
8	12	Sellu, puuhioke, jätepaperi
8	13	Paperi, kartonki
7	14	Vaneri, muut puuraaka-aine levyt
4	15	Malmit, rikasteet
11	16	Metallit, metallituotteet
3	17	Raakaöljy
9	18	Öljytuotteet
3	19	Kivihiili, koksi, polttoturve
10	20	Lannoitteet
10	21	Kemian teollisuuden tuotteet
4	22	Raakamineraalit, sementti
1	23	Vilja
11	24	Kappaletavara
13	25	Muu tavara

** Laivakuljetustilastossa ei ole virallista numerointia. Tätä työtä varten ryhmille on annettu numerot, jotta tiedon käsittely on helpompaa.*

Lopuksi vielä yhteenveto kuljetustilastojen ja talousennusteen tavararyhmien suhteutumisesta karkeampaan 12 ryhmän estimointiaineistoon.

Taulukko 24. Yhteenveto. Tavaraliikenteen mallin käyttämä hyödykelajijako estimointia varten sekä REFINAGE-mallin, tiekuljetustilaston, rautatiekuljetustilaston sekä laivakuljetustilaston suhteutuminen siihen.

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Tavaraliikennemallin estimoinnin ryhmän nimi	REFINAGE-nro	Tiekuljetustilaston nro	Rautatiekuljetustilaston nro	Laivakuljetustilaston nro
1	Maatalous, metsästys ja kalastus	C_01 C_03	1 2 3 4 5	24	23
2	Metsätalous	C_02	6 7 8	10	10
3	Kivihiili, raakaöljy, maakaasu, turve, koksi, briketit	C_05 C_061 C_062 C_0892 C_191_201	16 17 18	18 20	17 19
4	Kaivannaiset, raakamineraalit sekä ei-metalliset mineraalituotteet	C_07_9 C_23	20 21 23 24 33	16 22	15 22
5	Elintarvikkeet	C_10_2	12 13 14 15		
6	Tekstiilit, kankaat, nahat	C_13_5	32		
7	Puu- ja korkkituotteet	C_16	9	12	11 14
8	Paperi, kartonki, sellu	C_17 C_18	10 11	13 14 15	12 13
9	Jalostetut öljytuotteet	C_192021_4 C_1920261 C_1920269 C_192027 C_192028	19	19	18
10	Kemianteollisuuden tuotteet	C_20_1 C_22	25 26 27 34	21	20 21
11	Metallit, koneet ja laitteet	C_241_3 C_244_9 C_25 C_26_7 C_28 C_31_3 C_29_30	22 31 28 40 30 29	17 23	16 24
12	Jätteet	C_37_39	35 36		
13	Tuntematon ja muut		37 38 39 41 42 43	25	25

Tavaraliikenteen mallin estimoinnin tavararyhmät	Tavaraliikennemallin estimoinnin ryhmän nimi	REFINAGE-nro	Tiekuljetustilaston nro	Rautatiekuljetustilaston nro	Laivakuljetustilaston nro
			44 45		
99	Kuljetukset ja hyödykkeet, joita ei oteta kotimaan estimointiin mukaan (rajat ylittävät rautatiekuljetukset; putkikuljetukset; palvelualat)	C_351 C_352 C_36 C_42 C_58_63 C_71 C_72_5 C_90_8		11 13	

Liite 2 Ulkomaiden rajapaikat

Taulukko 25 Ulkomaan rajapaikat tavaraliikenteen mallissa.

Ulkomaan satama tai rajapaikka	centroid_id
Jebel Ali satama	50100
Itaqui satama	50101
Abidjan satama	50102
Tianjin satama	50103
Travemunde satama	50104
Bremerhaven satama	50105
Aarhus satama	50106
Tallinna satama	50107
Corunan satama	50108
Le Havre satama	50109
Felixstowe satama	50110
Pireus satama	50111
Dublin satama	50112
Reykjavik satama	50113
Savona satama	50114
Nagoya satama	50115
Rotterdam satama	50116
Kilpisjärvi raja-asema (tie)	50117
Oslo satama	50118
Gdansk satama	50119
Vainikkala raja-asema (rata)	50120
Vartius raja-asema (tie)	50121
Vaalimaa raja-asema (tie)	50122
Pietari satama	50123
Haaparanta raja-asema (tie)	50124
Göteborg satama	50125
Uumaja satama	50126
Tukholma satama	50127
Singapore satama	50128
Istanbul satama	50129
Houston satama	50130

Liite 3 Kotimaan rajapaikat

Taulukko 26 Kotimaan rajapaikat tavaraliikenteen mallissa.

centroid_id	Lyhenne	Selite (klusteri, jota rajapaikka edustaa)
601	FIHEL	Vuosaari (edustaa kaikkia Helsingin satamia)
3607	FISKV	Porvoo Kilpilahti
4102	FIHKO	Hanko
4201	FIINK	Inkoo
10411	FIPOR	Pori
11233	FIRAU	Rauma
12548	FITKU	Turku
13924	FIPAR	Parainen
14111	FIUKI	Uusikaupunki
15172	FILPP	Lappeenranta
19401	FIHMN	Hamina/Kotka
20129	FIJOE	Joensuu
22126	FISII	Siilinjärvi
22623	FIVAR	Vartsala
27964	FIKOK	Kokkola
28700	FIKEM	Kemi/Tornio
31000	FIKAS	Kaskinen
31143	FIVAA	Vaasa
32855	FIOUL	Oulu
34216	FIRAA	Raahe
34611	FIKJO	Kalajoki
15106	Vainikkala	Vainikkala (rataverkon rajanylityspaikka)
19705	Vaalimaa	Vaalimaa (tieverkon rajanylityspaikka)
26944	Vartius	Vartius (tieverkon rajanylityspaikka)
28615	Haaparanta	Haaparanta (tieverkon rajanylityspaikka)
30218	Kilpisjärvi	Kilpisjärvi (tieverkon rajanylityspaikka)

Liite 4 Kotimaan liikenteen alusliikennettä kuvaava laivatyyppi

Taulukko 27 Kotimaan laivaliikenteessä edustava laivatyyppi-syväys kombinaatio tavara-ryhmittäin.

Estimointiryhmä	Alustyyppi	Syväys
mameka	Kuivalasti / irtolasti	4 m
metsat	Kuivalasti / irtolasti	4 m
energy	Kuivalasti / irtolasti	4 m
kaivan	Kuivalasti / irtolasti	4 m
elint	RoRo / RoPax	4 m
tekst	RoRo / RoPax	4 m
puukor	Kuivalasti / irtolasti	4 m
papsel	Kuivalasti / irtolasti	4 m
oljytu	Tuotesäiliölaiva	5 m
kemiat	Kuivalasti / irtolasti	4 m
metkot	RoRo / RoPax	4 m
jate	Kuivalasti / irtolasti	4 m

Liite 5 Tavaraliikenteen mallissa käytetyt ajoneuvoluokkien keskikuormitukset

Taulukko 28 Mallissa käytetyt ajoneuvoluokkien keskikuormitukset ja tyhjien paluukuormien kertoimet.

Hyödykeryhmä	KAIP (t/ajon)	KAPP (t/ajon)	KATP (t/ajon)	Tyhjien paluukuormien kerroin
mameka	8.0789	17.034	36.546	1.5
metsat	7.6529	30.76	46.5	2.0
energy (kaasu ja öljy)	15.883	23.955	40.799	2.0
kaivan	15.398	26.158	38.755	2.0
elint	6.773	17.242	25.597	1.5
tekst	3.8442	11.746	12.919	1.5
puukor	6.3291	26.163	30.076	1.5
papsel	5.4623	16.576	31.663	1.5
oljytu	15.052	30.872	40.194	1.5
kemiat	9.4867	20.005	35.78	2.0
metkot	6.8945	20.539	22.02	2.0
jate	6.7334	30.597	25.295	1.5

Taulukossa esitettyjen 12 estimointiryhmän sisältämät tarkemmat hyödykeryhmät listattu liitteen 1 taulukossa.

Liite 6 Tuotosmallissa käytetyt tavararyhmäkohtaiset tonnimuunnos-kertoimet (€/kg)

Taulukko 29. Tonnimuunnoksiin käytetyt €/kg-kertoimet.

finage_id	REFINAGE-ryhmän nimi	Ennuste-ryhmän ly-henne	Kotimaassa käytetyn tuotoksen €/kg	Tuonti €/kg	Vienti €/kg
C_01	Maatalous- ja riistataloustuotteet seka niihin liittyvat palvelut	marita	0.309	1.576	1.074
C_02	Metsataloudesta ja siihen liittyvista palveluista saadut tuotteet	metsat	0.099	0.063	0.093
C_03	Kala- ja muut kalastustuotteet, vesiviljelytuot-teet seka kalastusta avustavat palvelut	kalevi	1.900	5.673	4.358
C_05	Kivihiili ja ruskohiili	krhiil	0.099*	0.152	0.099*
C_061	Raakaoljy	rkoljy	29.091*	0.435	20.432*
C_062	Maakaasu (nesteytetty tai kaasumaisessa ti-lassa)	kaasu	0.738	0.790	0.738
C_07_9	Metallimalmit seka muut kaivostoiminnasta ja louhinnasta saadut tuotteet	metkai	0.024	0.340	0.473
C_0892	Turve	turve	0.080	0.041	0.080
C_10_2	Elintarvikkeet, juomat ja tupakkatuotteet	elint	0.719	1.822	1.884
C_13_5	Tekstiilit, vaatteet seka nahka ja nahkatuotteet	tekst	11.294	15.628	12.101
C_16	Puutavara, puu- ja korkkituotteet (pl. huoneka-lut), olki- ja punontatuotteet	puukor	0.460	0.262	0.691
C_17	Paperi- ja paperituotteet	papsel	0.721	1.227	0.811
C_18	Painatus- ja tallennuspalvelut	pappai	6.484	7.446	6.484
C_191_201	Koksi seka briketit ja niiden kaltaiset kiinteat polttoaineet	kokbri	0.348	0.333	0.348
C_19202_4	Yhdistetty ryhma oljypohjaisille polttoaineille (kevyt oljyt, kerosiini, diesel, kevyt polttoaine, keskirasvaoljyt ja polttooljyt, muualle luokitte-lemattomat)	oljytu	0.871	0.824	0.871
C_20_1	Kemikaalit ja kemialliset tuotteet seka laakkei-den lahtoaineet ja laakevalmisteet	kemlaa	0.545	1.654	1.188
C_22	Kumi- ja muovituotteet	kummuo	3.214	5.110	5.482
C_23	Muut ei-metalliset mineraalituotteet	minkai	0.043	0.539	1.284
C_241_3	Rauta, teras ja rautaseokset, putket ja profiili-putket seka niihin liittyvat tarvikkeet (terasta) seka muut ensimmaisen jalostusasteen teras	rauter	1.136	1.724	1.762
C_244_9	Jalometallit ja muut varimetallit seka metallien valupalvelut	jaloml	1.980	7.285	9.505
C_25	Metallituotteet (ei kuitenkaan koneet ja laitteet)	mltuot	0.095	4.684	7.703
C_26_7	Tietokoneet, elektroniset ja optiset tuotteet seka sahkolaitteet	elektr	2.837	26.289	33.529
C_28	Koneet ja laitteet, muualle luokittelemattomat	konela	3.568	11.717	16.814
C_29_30	Moottoriajoneuvot, peravaunut ja puoliperavau-nut seka muut kulkuneuvot	majon	5.753	13.438	14.882
C_31_3	Huonekalut, muut tehdasvalmisteet seka konei-den ja laitteiden korjaus- ja asennuspalvelut	huonek	0.827	9.349	37.614
C_37_39	Viemarointipalvelut, jatevesiliete, jatteiden ke-ruu-, kasittely- ja loppusijoituspalvelut seka kunnostuspalvelut ja muut jatehuoltopalvelut	jate	0.099	1.230	0.649

** Hyödykettä ei tuoteta Suomessa, kertoimen laskemiselle ei kunnon dataa. Kerrointa ei käytetä.*

Liite 7 Ulkomaan tavaravirtamatriisien ulkomaiden aluenumerointi

Taulukko 30 Ulkomaan malliin lähtötiedoksi syötettävien matriisien ulkomaan aluenumerointi. Matriisien sarakkeissa ulkomaan alueet, numeroinnin selitteet alla olevassa taulukossa.

Ulkomaan alueen numero	Ulkomaan alueen selite
0	Venaja
1	Saksa
2	Alankomaat
3	USA & Kanada & Meksiko & Gronlanti
4	Kiina & lahialueet
5	Belgia & Luxemburg
6	Iso-Britannia
7	Puola
8	Ranska
9	Aasia & Oseania
10	Afrikka
11	Espanja & Pienet alueet
12	Etela- & Vali-Amerikka
13	Italia & pienet alueet
14	Liettua
15	Japani & Etela-Korea
16	Turkki
17	Lahi-ita & naapurit
18	Portugali
19	Tsekki & Slovakia
20	Itavalta
21	Irlannit
22	EU Balkan
23	Kreikka & Kypros & Malta
24	Ukraina
25	Romania & Bulgaria
26	Sveitsi & Liechtenstein
27	Ei EU Balkan
28	Islanti & Farsaaret
29	Moldova
30	Ruotsi Uppsala lan
31	Ruotsi Jonkopings lan
32	Ruotsi Skane lan
33	Ruotsi Vastra Gotalands lan

Ulkomaan alueen numeroa	Ulkomaan alueen selite
34	Ruotsi Gavleborgs lan
35	Ruotsi Jamtlands lan
36	Ruotsi Norrbottens lan
37	Ruotsi Sodermanlands lan
38	Ruotsi Ostergotlands lan
39	Ruotsi Orebro lan
40	Ruotsi Vastmanlands lan
41	Ruotsi Kronobergs lan
42	Ruotsi Kalmar lan
43	Ruotsi Gotlands lan
44	Ruotsi Blekinge lan
45	Ruotsi Hallands lan
46	Ruotsi Varmlands lan
47	Ruotsi Dalarnas lan
48	Ruotsi Vasternorrlands lan
49	Ruotsi Vasterbottens lan
50	Ruotsi Stockholms lan
51	Viro Pohja-Eesti
52	Viro Kesk-Eesti
53	Viro Kirde-Eesti
54	Viro Laane-Eesti
55	Viro Louna-Eesti
56	Latvia
57	Tanska VestjyllandOstjylland
58	Tanska Nordjylland
59	Tanska FynSydjylland
60	Tanska OstsjallandVest- og Sydsjalland
61	Tanska Byen KobenhavnKobenhavns omegnNordsjallandBornholm
62	Norja Trondelag/Troondelage
63	Norja AgderVestfoldTelemark
64	Norja Innlandet
65	Norja OsloOstfoldAkershusBuskerud
66	Norja RogalandVestlandMore og Romsdal
67	Norja Nordland/NordlÃ¡nndaTroms/Romsa/TromssaFinnmark/FinnmÃ¡rku/Finmarkku

Liite 8 Tavaraliikenteen kotimaan rataverkko ja liikennepaikat



Pohjakartta ©OpenStreetMap

Liite 9 Tavaraliikenteen kotimaan vesitieverkko ja satamat



Pohjakartta ©OpenStreetMap

Liite 10 Ulkomaan reitinvalintamallin kertoimet

Taulukko 31. Reitinvalintamallien parametrit (yhteenvedon koostaminen kesken)

Hyödyke-laji	Suunta	Tekijä	Kerroin	T-arvo
elektr	export	truck.west.dummy	8.605	
		container_ship.first_class.dummy	2.295	
		container_ship.second_class.dummy	2.634	
		general_cargo.first_class.dummy	0.8882	
		general_cargo.second_class.dummy	-0.0687	
		roro_vessel.first_class.dummy	2.391	
		roro_vessel.second_class.dummy	0.507	
		cost.truck	-0.02139	
		cost.container_ship	-0.01585	
		cost.general_cargo	-0.008731	
		cost.roro_vessel	-0.001281	
	Import	truck_west_dummy	9.979	
		container_ship_first_class_dummy	2.792	
		container_ship_second_class_dummy	0.3797	
		general_cargo_first_class_dummy	0.8693	
		general_cargo_second_class_dummy	-1.207	
		roro_vessel_first_class_dummy	1.507	
		roro_vessel_second_class_dummy	1.2	
		cost_truck	-0.02964	
		cost_container_ship	-0.02253	
		cost_general_cargo	-0.002631	
		cost_roro_vessel	-0.002767	
		frequency	0.0004697	
elint	export	truck_all_dummy	1.533	
		cost	-0.002355	
		frequency	0.000744	
	import	truck_west_dummy	55.43	
		container_ship_first_class_dummy	1.98	
		general_cargo_first_class_dummy	0.773	
		general_cargo_second_class_dummy	1.562	
		roro_vessel_first_class_dummy	2.795	
		roro_vessel_second_class_dummy	1.06	
		product_tanker_first_class_dummy	1.22	
		product_tanker_second_class_dummy	-1.621	
		cost_truck	-0.1595	
		cost_container_ship	-4.12E-08	
		cost_roro_vessel	-4.73E-09	
		cost_general_cargo	-3.743E-08	
		cost_product_tanker	-2.023E-08	
		frequency	0.00003736	
huonek	export	truck_west_dummy	8.605	
		container_ship_first_class_dummy	2.295	
		container_ship_second_class_dummy	2.634	
		general_cargo_first_class_dummy	0.8882	
		general_cargo_second_class_dummy	-0.0687	
		roro_vessel_first_class_dummy	2.391	
		roro_vessel_second_class_dummy	0.507	
		cost_truck	-0.02139	
		cost_container_ship	-0.01585	
		cost_general_cargo	-0.008731	
		cost_roro_vessel	-0.001281	
	import	truck_west_dummy	9.979	
		container_ship_first_class_dummy	2.792	
		container_ship_second_class_dummy	0.3797	
		general_cargo_first_class_dummy	0.8693	
		general_cargo_second_class_dummy	-1.207	
		roro_vessel_first_class_dummy	1.507	
		roro_vessel_second_class_dummy	1.2	
		cost_truck	-0.02964	
		cost_container_ship	-0.02253	
		cost_general_cargo	-0.002631	
		cost_roro_vessel	-0.002767	
		frequency	0.0004697	

Hyödy-kelaji	Suunta	Tekijä	Kerroin	T-arvo

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

traficom.fi
ISBN 978-952-000-000-0
ISSN 2669-8757 (verkkojulkaisu)

TRAFICOM
Liikenne- ja viestintävirasto