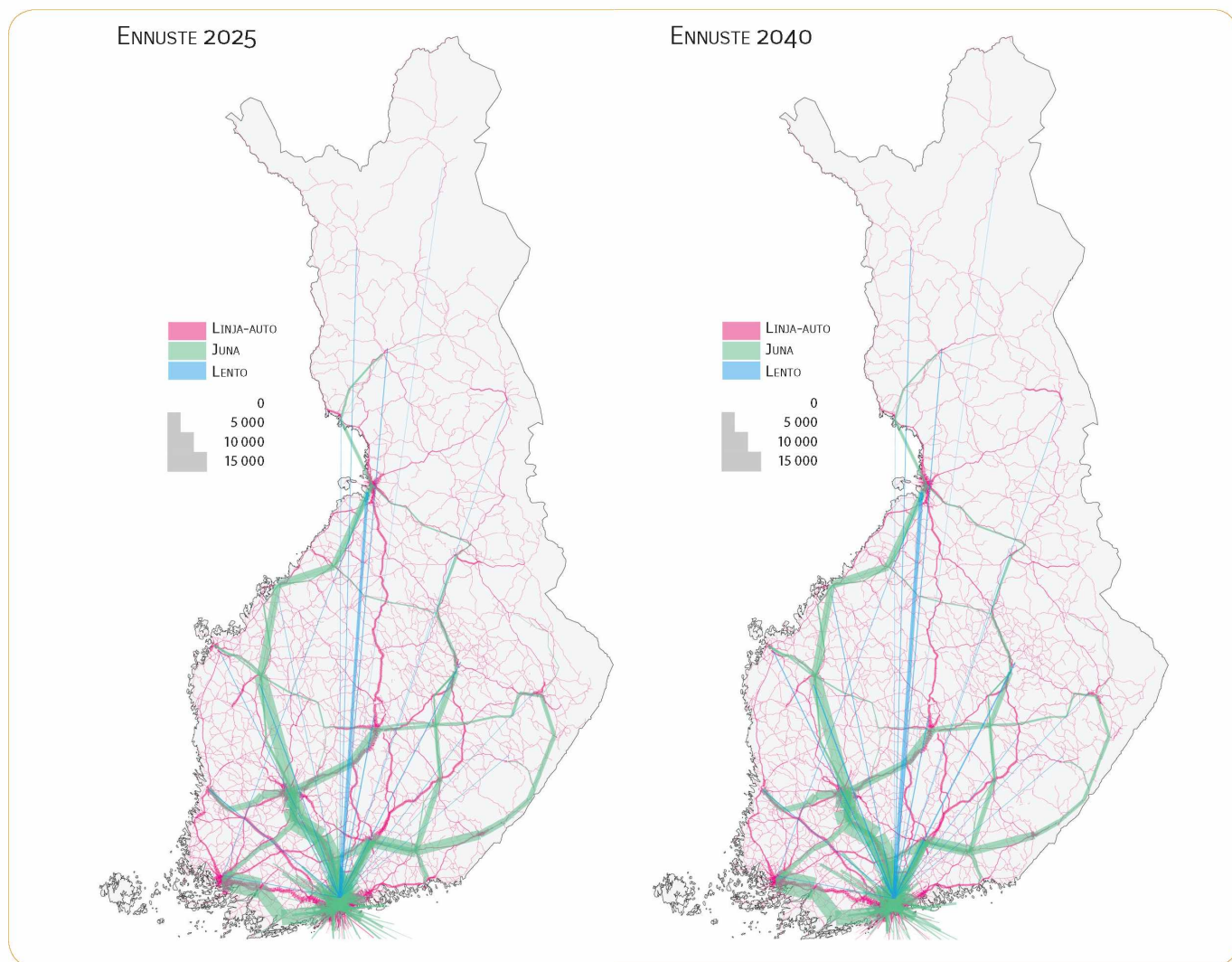


PAAVO MOILANEN
OSMO SALOMAA
MIIKKA NIINIKOSKI

Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli



Paavo Moilanen, Osmo Salomaa,
Miikka Niinikoski

Valtakunnallinen liikkumis- valintojen yksilömalli

Liikennevirasto
Helsinki 2014

Kannen kuva: Joukkoliikenteen matkustajamäärät (hlö/vrk) mallin ennusteessa 2025 ja 2040

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-435-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 029 534 3000

Paavo Moilanen, Miikka Niinikoski, Osmo Salomaa. Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli. Liikennevirasto, suunnitteluosasto. Helsinki 2014. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2014. 37 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-435-2.

Avainsanat: liikennejärjestelmä, liikenneverkko, strategiset liikennemallit, liikenne-ennusteet

Tiivistelmä

Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli on yksityiskohtainen liikennemallikuvaus koko Suomen henkilöliikenteestä sekä alue- ja yhdyskuntarakenteesta. Työn tavoitteena on ollut muodostaa laskennallinen malli, joka kuvaa erilaisten käyttäjäryhmien liikkumista eri puolilla Suomea. Valtakunnallisten, kaikki kulkumuodot kattavien liikennemallien kehitystyötä ei ole tehty liikennehallinnossa 90-luvun jälkeen. Mallissa on pyritty vastaamaan valtakunnallisen mallin haasteisiin käyttämällä aikaisempaa kattavammin eri tietoaaineistoja, yhdistämällä ne toisiinsa paikkatiedon avulla ja soveltamalla kehittynyttä Brutus-simulointimenetelmää.

Malli kuvaa koko Suomen asuttua alue- ja yhdyskuntarakennetta neliökilometrin tarkkuudella (156 000 ruutua). Kuvaus kattaa kaikki kulkumuodot: kävelyn, pyöräilyn, henkilöauton, junan, bussin ja lentoliikenteen. Infrastruktuurista on kuvattu kaikki Liikenneviraston tierekisterissä kuvatut yleiset tiet. Joukkoliikenteen kuvauksen pohjana on koko matka.fi – reittitietopalvelun aineisto.

Malli soveltaa uudentyyppistä lähestymistapaa, jossa suomalaisten yksilöllistä liikkumista kuvataan erilaisten simuloivien osamallien avulla. Malli mahdollistaa yksilöllisen mallintamisen, matkaketjujen huomioimisen ja jatkuvan aikadimension. Maankäytön aktiviteettien aiheuttama liikenteen kysyntä mallinnetaan autonomistuksen, matkatuotoksen, suuntautumisen, kulkutavan valinnan ja myös reittien sijoittumisen suhteen. Malli mahdollistaa vaikutusten kohdistumisen arvioinnin jopa yksilötasolla, mikä ei ole ollut aikaisemmin mahdollista. Tämä on tullut viime aikoina mahdolliseksi sekä paikkatietojen runsauden että tietokoneiden laskentatehon kasvun ansiosta.

Mallin avulla voidaan tarkastella erittäin yksityiskohtaisesti liikennejärjestelmän palvelutasoa eri puolilla Suomea. Mallin avulla testattiin tässä työssä yksinkertaisia tiemaksuskenaarioita, joiden avulla saatiin esimerkkejä mallin toiminnasta käytännössä. Työssä tehtiin myös kotimaan henkilöliikenteen määrän ja sen suuntautumisen arvio vuosille 2025 ja 2040, jotka perustuivat Tilastokeskuksen väestöennusteisiin ja oletettuun bruttokansantuotteen kasvuun yhdellä prosentilla vuodessa. Arvio laajentaa asukkaiden liikkumistarpeita kuvaavan henkilöliikennetutkimuksen 2010–2011 (HLT) tiedot koko Suomen väestön ikä- ja aluerakenteen mukaiseksi.

Tilastokeskuksen ennusteen mukaisessa aluerakenteen keskittymisen ja ikärakenteen vanhenemisen tilanteessa voidaan mallitulosten mukaan päätellä, että liikenteen kasvu voi hidastua merkittävästi, jos liikkuminen eri ikäluokissa noudattelee HLT:n osoittamaa nykytottumuksia ja aluekeskusten yhdyskuntarakenne ei muutu. Tämä on merkittävä, lähempää tarkastelua vaativa tulos. Jatkossa tulisi esimerkiksi tutkia, mitkä ikäryhmien käyttäytymisen ja yhdyskuntarakenteen trendit muuttavat ennusteen perusteita. Mallilla arvioitiin myös tiemaksujen oikeudenmukaisuusvaikutuksia.

Mallin herkkyyks eri muuttujien suhteen vastaa kirjallisuudessa esiintyviä tuloksia. Mallin ja ennusteen lähtötiedot ovat kuitenkin osittain vielä puutteellisia. HLT:n tarkkuus ei todennäköisesti riitä kuvaamaan esimerkiksi joukkoliikenteen käyttäjämääriä realistisesti kaikkialla, erityisesti lentoliikenteen osalta, josta on vain muutamia kymmeniä havaintoja. Mallin arvioita matkaja suoritelmämääristä voidaan korjata ja lisätä, kun aineistoa ja tutkimustietoa saadaan lisää. Valittu lähestymistapa perustui mahdollisimman hyödyllisten työkalujen rakentamiseen olemassa olevilla aineistoilla. Mallin tarkkuutta voidaan lähtötietoja jalostamalla tarpeen mukaan parantaa.

Paavo Moilanen, Miikka Niinikoski, Osmo Salomaa. Nationell individmodell för mobilitetsval. Trafikverket, planeringsavdelning. Helsingfors 2014. Trafikverkets undersökningar och utredningar 12/2014. 37 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-435-2.

Sammandrag

Den nationella individmodellen för mobilitetsval är en detaljerad beskrivning av trafikmodellen för persontrafiken i hela Finland samt av region- och samhällsstrukturen. Syftet med arbetet har varit att skapa en kalkylmodell som beskriver mobiliteten bland olika användargrupper på olika håll i landet. Nationella trafikmodeller som omfattar alla färdstätt har inte utvecklats inom trafikförvaltningen sedan 90-talet. Man har i modellen försökt svara på utmaningarna för en nationell modell genom att använda datamaterial på ett mera heltäckande sätt än tidigare och förena materialet med varandra med hjälp av geografisk information samt tillämpa den långt utvecklade Brutus-simuleringsmodellen.

Modellen beskriver Finlands hela bebodda region- och samhällsstruktur med en kvadratkilometers noggrannhet (156 000 rutor). Beskrivningen omfattar alla färdstätt: gång, cykling, personbil, tåg, buss och flyg. För infrastrukturens del har man beskrivit alla landsvägar som finns i Trafikverkets vägdatabank. Beskrivningarna av kollektivtrafiken baserar sig på hela materialet i ruttjänsten resa.fi.

I modellen tillämpas ett nytt betraktelsesätt, där finländarnas individuella mobilitet beskrivs med hjälp av olika simulerande delmodeller. Modellen gör det möjligt att utarbeta individuella modeller, beakta resekedjor samt en fortgående tidsdimension. I fråga om trafikefterfrågan till följd av markanvändningsaktiviteter utarbetas modeller enligt biläggande, trafiksträng, riktning, val av färdstätt samt var rutterna finns. Modellen gör det möjligt att utvärdera verkningarna till och med på individnivå, vilket inte har varit möjligt tidigare. Detta har blivit möjligt under den senaste tiden tack vare rikligt med geografisk information och datorernas ökade kalkyleringskapacitet.

Man kan med hjälp av modellen mycket detaljerat granska servicenivån inom trafiksystemet på olika håll i Finland. Med hjälp av modellen testade man i detta arbete enkla vägavgiftsscenarioer, med vars hjälp man kunde exemplifiera hur modellen fungerar i praktiken. I arbetet gjordes också en kalkyl för 2025 och 2040 över mängden inrikes persontrafik och vart den riktar sig. Kalkylen baserar sig på Statistikcentralens befolkningsprognoser och en förväntad ökning av bruttonationalprodukten med en procent per år. Kalkylen utvidgar uppgifterna från persontrafikundersökningen 2010–2011, som beskriver invånarnas mobilitetsbehov, till att gälla befolkningens ålders- och regionstruktur i hela landet.

Enligt situationen i Statistikcentralens prognos om hur regionstrukturen koncentreras och åldersstrukturen blir äldre, kan man med resultaten av modellen dra slutsatsen att trafik-tillväxten kan avta betydligt om mobiliteten i olika åldersklasser följer de nuvarande vanorna som persontrafikundersökningen visar och om samhällsstrukturen för regioncentra inte förändras. Detta är ett viktigt resultat som kräver noggrannare undersökningar. I fortsättningen borde man till exempel undersöka vilka beteenden hos åldersgrupperna och vilka trender inom samhällsstrukturen som förändrar grunderna för prognoserna. Med hjälp av modellen granskade man också vilka effekter vägavgifterna har på rättvisaspekten.

Modellens känslighet visavi olika variabler motsvarar de resultat som förekommer i litteraturen. Utgångsuppgifterna för modellen och prognosen är ändå ännu delvis bristfälliga. Persontrafikundersökningens noggrannhet räcker sannolikt inte till för att beskriva till exempel mängden användare inom kollektivtrafiken realistiskt överallt, särskilt för flygtrafikens del, som det bara finns några tiotal observationer från. Modellens uppskattningar om mängden resor och prestationer kan korrigeras och utökas när man får mera material och forskningsrön. Det valde betraktelsesättet baserade sig på att man utarbetar så nyttiga arbetsredskap som möjligt med det befintliga materialet. Modellens noggrannhet kan förbättras vid behov genom att utgångsuppgifterna bearbetas.

Paavo Moilanen, Miikka Niinikoski, Osmo Salomaa. Simulation model of person travel choices in Finland. Finnish Transport Agency, Planning Department. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 12/2014. 37 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-435-2.

Keywords: Strategic transport models, traffic forecasts, simulation model, activity model

Summary

The national level simulation model of travel choices is a detailed presentation of the person traffic and the regional structure of Finland. The aim of the study was to create a methodology that estimates the travel behaviour in the different parts of Finland. It is a first attempt to create a travel demand model of Finland since 90s. The approach taken was to utilise various data sources by connecting them with the information of the geographic location and applying an advanced simulation methodology called Brutus.

The system models the inhabited land use in the whole of Finland in a one square kilometre-size grid (156 000 cells). The transport system presentation covers all person travel modes: walking, cycling, cars, rail, buses and flight connections. All national roads and public transport services (of matka.fi-scheduling www-service) are covered in detail in the infrastructure database.

The methodology applied employs a novel technique where the decision process of each travel activity of all individuals are simulated with various mathematical sub-models (car ownership, trip generation, travel destinations, mode choice, routes). All individuals that are recorded in national statistics are populated with a Monte Carlo-method to match the characteristics of population of each location and the sample collected in the national travel surveys.

The model enables e.g. the analysis of trip chains and timing of individual trips in any socio-economic segmentation in addition to traditional aggregate travel statistics. This has not been possible so far with traditional methods, statistics and computing capabilities.

The model was utilised to estimate the equity effects of various national transport pricing schemes, and also to make preliminary estimates of the developments in travel demand based on the official national population forecasts. It was found that there may be significant reduction in the growth of travel demand due to aging and urbanisation expected in the forecasts. The results however need to be assessed more closely before final conclusions.

The long term elasticity of the model was found to be in line with the literature. The sample size of the travel survey however was not adequate to accurately estimate the demand of public transport especially for air travel. The survey used and thus the model differs somewhat from other statistics and does also not cover e.g. tourism travel, which requires further attention in the future but was anticipated already in the programming of the modelling work. The idea was to create useful tools first with existing sources and later aim for better accuracy in the future e.g. with more consistent infrastructure databases and further travel surveys.

Esipuhe

Valtakunnallisen liikkumisvalintojen yksilömallin laatiminen on osa Liikenneviraston valtakunnallisten strategisten liikennemallien kokonaisuutta, joka on esitetty Liikenneviraston raportissa 37/2011 Liikenteen strategiset mallit Liikennevirastossa - Esiselvitys.

Liikenneviraston T&K-ohjelmassa työ kuuluu hankkeeseen ”Liikennejärjestelmätason seuranta ja menetelmät” ja sen osahankkeeseen ”Liikenteen ennustemallit ja analyysimenetelmät”.

Malli liittyi myös liikenne- ja viestintäministeriön 3.2.2012 asettaman työryhmän työhön, jossa pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva siitä, kuinka Suomen kannattaisi edetä tiemaksujen käyttöönotossa pitkällä aikavälillä. Työryhmän tuli tarkastella tiemaksujen teknisiä, liikenteellisiä, taloudellisia ja lainsäädännöllisiä kysymyksiä.

Selvityksen ohjausryhmään Liikennevirastosta ovat kuuluneet Harri Lahelma (puheenjohtaja), Arja Aalto, Taneli Antikainen, Anton Goebel, Anu Kruth, Tytti Viinikainen ja Jukka Valjakka. Muut ohjausryhmän jäsenet olivat Pekka Rätty (Helsingin seudun liikenne), Tuomo Suvanto (liikenne- ja viestintäministeriö) ja Juha Kenraali (Trafi).

Mallin on laatinut Strafica Oy, jossa työstä ovat vastanneet Paavo Moilanen, Osmo Salomaa ja Miikka Niinikoski.

Helsingissä maaliskuussa 2014

Liikennevirasto
Suunnitteluosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	MALLIN TOIMINTAPERIAATE	10
2.1	Liikkumisen kuvauksen perusajatus	10
2.2	Simuloinnin vaiheet	11
2.3	Liikennejärjestelmän kuvaus ruututietona	11
2.4	Väestön muodostaminen	12
2.5	Autonomistus	13
2.6	Kulikutapojen kuvaus matkaketjuina.....	13
2.7	Liikenteen suuntautumisen ja kulutavan valinta.....	13
3	MALLIN TOTEUTUS	17
3.1	Lähtötiedot	17
3.2	Mallin tyypilliset käyttökohteet	20
3.3	Mallista saatavia analyysejä.....	20
3.4	Mallin soveltuvuus ja käytön rajoitukset.....	20
3.5	Mallin toimivuus	21
4	ESIMERKKEJÄ MALLIN HYÖDYNTÄMISESTÄ	24
4.1	Liikenteen kysyntä- ja suuntautumisarviot vuosille 2025 ja 2040.....	24
4.2	Vaikutusten kohdentumisen arviointi.....	30
5	PÄÄTELMÄT	35
	LÄHDELUETTELO	37
	LIITTEET	
Liite 1	Valtakunnallisen liikennemallin kuvaus	
Liite 2	Mallien toimivuuden arviointia	

1 Johdanto

Valtakunnallisen liikkumisvalintojen yksilömallin lähtökohtana on vuonna 2011 valmistunut esiselvitys *Liikenteen strategiset mallit Liikennevirastossa*. Esiselvityksen tavoitteena oli kartoittaa ja analysoida Liikenneviraston käytössä olevat ja kiinnostavimmat ulkomailla käytössä olevat liikennemallit, tunnistaa malleilla tuotettavien tietojen valtakunnalliset käyttötarpeet Liikenneviraston toiminnassa sekä suunnitella tarkoituksenmukainen ja kustannustehokas ratkaisu koko maan kattavien liikennemallien kehittämiseksi. Lopputuloksena oli suunnitelma malliprojektien rakenteesta ja arvio kehittämistyön aikataulusta, resurssitarpeesta ja sekä valtakunnallisten mallien käytön ja ylläpidon organisoinnista. Työn tuloksena esitettiin mallitarpeiden tyydyttämiseksi seuraavia osaprojekteja:

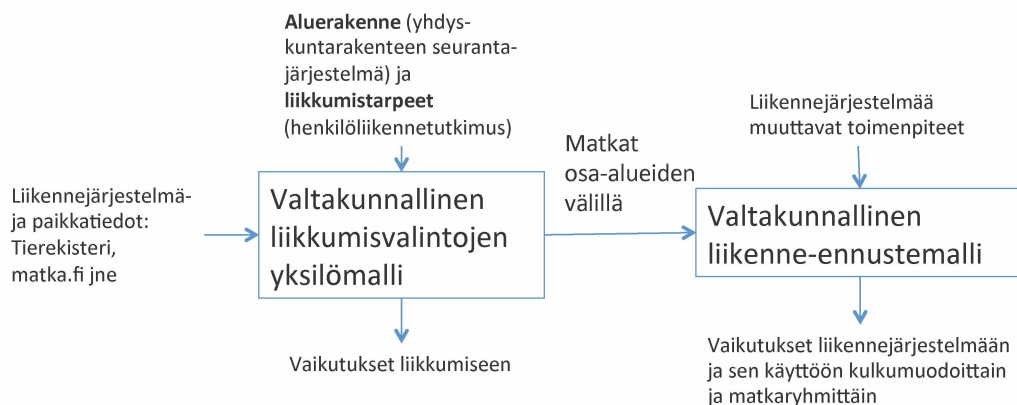
- H1: Henkilö/tavaraliikenteen nykytilanteen tarjonta- ja henkilöliikenteen kysyntätiedon kokoaminen.
- H2: Paikkatietopohjaiset liikkumistunnuslukujen vyöhykemenetelmät.
- H3: Henkilöliikennekysynnän ja liikennemuotojen pelkistetty ennustemalli.
- T1: Tavaraliikenteen tarjonta: verkot ja palvelut.
- T2: Tavaraliikenteen nykytilan kysyntätietojen kokoaminen.
- Y1: Mallitulospankki ja nettikäyttöliittymä.
- Y2: Kokonaisuuden hallinta ja kansainvälisten know-how:n kehittymisen seuranta.

Tämä työ kattaa osaprojektin H2: ”Paikkatietopohjaiset liikkumistunnuslukujen vyöhykemenetelmät”. Työssä toteutettu yksilömalli kuvaa yksilöiden liikkumista ja liikkumistarpeita yksityiskohtaisesti koko Suomessa ja liikennejärjestelmässä.

Työn tavoitteena oli tuottaa menetelmä, jolla voidaan arvioida alueellisia liikkumistarpeita liikkumisen tunnuslukujen avulla esim. seuraavien kokonaisuuksien suhteen:

- Liikkumisen suoritteet (matkanpituudet ja ajat).
- Joukkoliikenteen ja kävely/pyöräilyliikenteen kulkutapaosuudet.
- Henkilöauton käyttötarve (km/as/vrk).
- Liikkumisen hiilidioksidipäästöt/asukas.

Tarkoituksena on tuottaa liikkumistunnuslukuja sekä yksilömallilla että valtakunnallisella liikenne-ennustemallilla (osaprojekti H3), joka on kuvattu liitteessä 1. Mallien yhteydet näkyvät kuvassa 1. Ennustemalli kuvaa strategisella tasolla valtakunnan pääyhteyksiä ja liikennejärjestelmän palvelutasoa eri ennustetilanteissa. Kahden mallin yhdistäminen mahdollistaa sen, että ennustemallin kehittämisessä voidaan keskittyä liikennejärjestelmän kehittämisen vaikutusten laskentaan, ja tuottaa tällä paikkatietopohjaisella menetelmällä monipuolista lähtötietoa sitä varten esimerkiksi autonomistuksesta ja matkojen suuntautumisesta, jotka ovat olleet perinteisesti vaikeimpia osa-aluepohjaisten mallien mallinnuskohteita.



Kuva 1. Valtakunnallisten mallien väliset tietovirrat. Ennustemalli on kuvattu liitteessä 1.

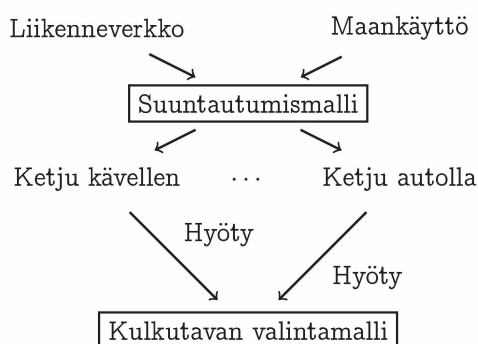
Työ koostui kokonaisuudessaan menetelmäkehityksestä ja sen käytännön soveltamisesta yhteistyössä liikenne- ja viestintäministeriön 3.2.2012 asettaman työryhmän kannattaisi edetä tiemaksujen käyttöönotossa pitkällä aikavälillä.

Tiemaksutyöryhmä painotti työssään erityisesti tiemaksujen vaikutusten kohdistumista, johon liittyi arvioinnin kannalta erityisiä haasteita. Perinteiset liikennejärjestelmän ominaisuuksiin keskittyvät liikennemallit eivät tyypillisesti pysty tämän kaltaisiin analyyseihin. Tästä syystä liikkumisvalintojen yksilömallit toteutettiin Brutus-simulointimenetelmällä (Salomaa 2011), jolloin tavanomaisten liikkumistunnuslukujen lisäksi matka voitiin analysoida vaikutusten jakautumien arviointia varten esimerkiksi tulotasoluokittain. Työssä hyödynnetty Brutus-menetelmä on kehitetty alun perin diplomityönä Helsingin seudulle, ja kehitystyötä on jatkettiin tässä työssä.

Brutus-simulointimenetelmässä jokainen yksilö ja hänen tekemänsä matka analysoidaan erikseen. Malli jakautuu rakenteellisesti kahteen pääosaan, väestön aktiiviteettien aiheuttaman liikkumistarpeen määrän arviointiin ja liikenteen kysynnän kuvaukseen. Liikenteen kysynnän osamallit (kuva 2) ovat

- Matkojen suuntautuminen kahden matkan kokonaisuuksille
- Kulutavan valinta matkaketjuittain.

Menetelmään on lisätty tässä työssä myös autonomistumsmalli.



Kuva 2. Brutus-mallin rakenne

2 Mallin toimintaperiaate

2.1 Liikkumisen kuvauksen perusajatus

Työn tavoitteena on ollut muodostaa laskennallinen malli, joka kuvaa erilaisten käyttäjäryhmien liikkumista eri puolilla Suomea. Liikkumiskäyttäytymisen mallinnus perustuu valtakunnalliseen henkilöliikennetutkimukseen 2010–2011. Valtakunnallisessa henkilöliikennetutkimuksessa on pyritty muodostamaan yleiskuva suomalaisten liikkumisesta, mutta tehtyjen haastatteluiden määrä ei riitä antamaan luotettavaa tilastollista kuvaa siitä, miten liikkumistarpeet jakautuvat eri alueille ja liikennejärjestelmän eri osiin. Yksi otoksessa haastateltu matkatieto vastaa useampaa sataa haastattelujakson aikana tapahtunutta matkaa, jolloin aineiston suoraviivainen laajentaminen antaa väärän kuvan matkojen sijoittumisesta aluerakenteeseen ja liikennejärjestelmään. Havainnot osuvat harvakseltaan eri puolille valtakuntaa erityisesti keskukseen, jonne satunnaisesti valitut haastattelut usein osuvat. Tällöin erityisesti maaseudun matkoja kuvataan aineistossa harvakseltaan. Siksi haastattelututkimusta täydennetään paikkatiedon avulla alla kuvatulla tavalla, jotta tutkimus vastaisi paremmin erilaisia olosuhteita eri puolilla Suomea.

Toteutetun yksilömallin perusajatus on, että vaikka eri seuduilla asuvien liikkumistotumuksia ei ole kysytty riittävästi aineiston tilastolliseen laajentamiseen paikallisesti, haastatteluaineisto kuvaa hyvin erityyppisten käyttäjäryhmien ominaisuuksia, liikkumistarpeita ja -käyttäytymistä koko Suomen tasolla. Kun samaan aikaan tilastoista saadaan koko valtakunnassa erityyppisten asukkaiden määrät paikkatietona, jotka syötetään malliin neliökilometrin tarkkuudella, voidaan haastattelututkimuksesta kuhunkin sijaintiin ”tuottaa” samanlaisia asukkaita, ruokakuntia ja työntekijöitä ja heidän matkojaan kuin henkilöliikennetutkimuksessa on haastatteleamalla selvinnyt.

Näille toimijoille kuvataan kuitenkin haastatteluista poiketen paikkatiedon avulla liikkumiseen vaikuttavat paikalliset olosuhteet sekä se, kuinka kaukana työpaikat ja palvelut sijaitsevat asunnoista. Menetelmä toistaa liikkumistutkimuksessa näin liikkumistarpeita aiheuttavia toimintoja.

Menetelmä kuvaa tämän jälkeen matemaattisten mallien avulla, miten kukin asukas todennäköisimmin liikkuu paikallisissa olosuhteissa. Matemaattiset mallit sovitetaan henkilöliikennetutkimuksen aineistoon ja siinä haastateltujen kulkijoiden olosuhteisiin. Menetelmää kutsutaan simuloinniksi. Kirjallisuudessa tämän tyyppiset mallit luokitellaan usein yksilömalleiksi. Ns. aktiveettimalleista menetelmä eroaa siinä suhteessa, että aktiveetit eivät muutu, vaan kuvataan sellaisenaan kuin ne esiintyvät henkilöliikennetutkimuksessa.

Malli kuvaa kaikkien simuloitavien asukkaiden tekemät matkat niiden muodostamina ketjuina ja tuottaa henkilöhaastatteluista vastaavan ”virtuaalisen haastatteluaineiston”, joka kattaa erityyppiset asukkaat koko Suomessa halutulla/riittäväällä tarkkuudella, jopa jokaista asukasta vastaavalla tarkkuudella. Aineiston avulla voidaan näin ollen kuvata ja arvioida koko liikennejärjestelmän toimintaa yksittäisten asukkaiden ja matkojen tarkkuudella, mikä mahdollistaa lähes rajattoman tarkastelutarkkuuden ja erityisesti erilaisten ryhmien vertailun esimerkiksi vaikutusten kohdentumisessa oikeudenmukaisuuden kannalta. Tämä on merkittävä edistysaskel aiempiin menetelmiin, joissa osa-alueet ovat suuria ja mallit kuvaavat keskimääräisen liikkujan eri-

tyyppisten matkojen ryhmiä, mistä ei tulisi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä vaikutusten kohdentumisen suhteen.

Menetelmä on silti edelleen yksinkertaistus todellisuudesta. Mallissa oletetaan esimerkiksi, että liikkuminen ei riipu merkittävästi sellaisista paikallisista olosuhteista, joita ei ole mallin tiedossa. Mallin paikkatietoaineistot eivät myöskään kuvaa täysin oikein kaikkia paikallisia piirteitä. Näin ollen simuloinnit eivät luonnollisestikaan kuvaa kunkin sijainnissa oikeasti asuvia asukkaita ja heidän tekemiään matkojaan, vaan samanlaisten liikkujien todennäköistä toimintaa samanlaisissa olosuhteissa. Koska kyse on satunnaisesta todennäköisyysjakaumien mukaan etenevästä prosessista, peräkkäin toistettu simulointi ei luonnollisesti tuota samaa tulosta vaan toisen ”rinnakkaistodellisuuden”.

2.2 Simuloinnin vaiheet

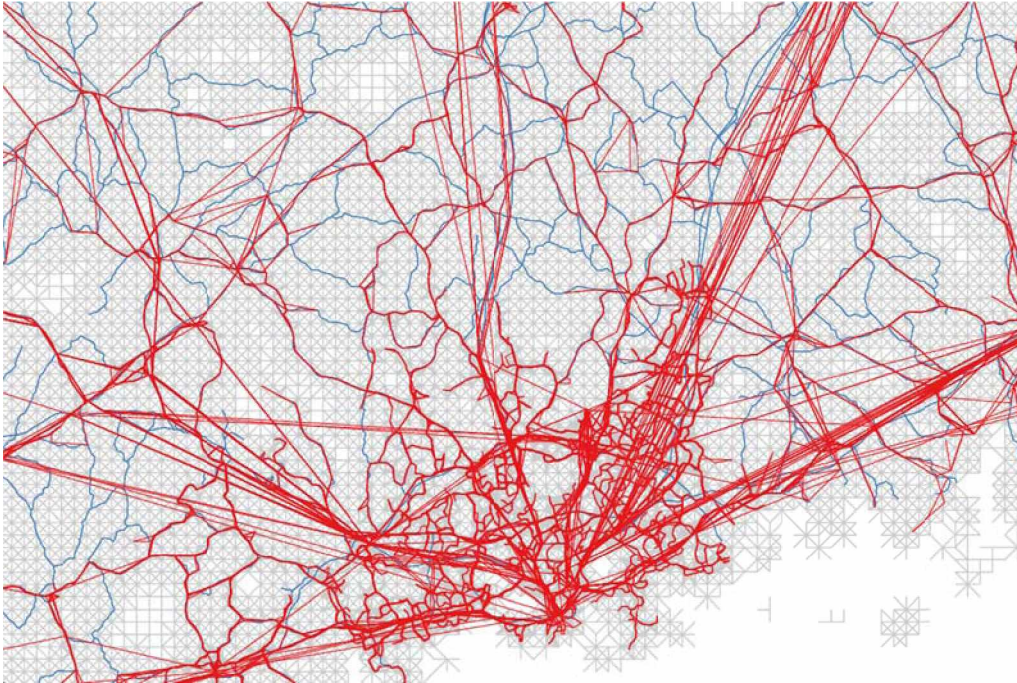
Malli kuvaa liikkumista hyvin realistisesti. Malli

1. käsittelee koko Suomen aluerakennetta kilometrin ruuduissa ja yhdistää ne toisiinsa liikennejärjestelmän avulla.
2. katsoo yhdyskuntarakenteen seuranta-aineistosta (YKR) jokaisen ruudun asutokuntien ominaisuuksia, esim. koko, työssäkäynti, autonomistus, tulotasot ja etsii vastaavia yksilöitä henkilöliikennetutkimuksesta (HLT).
3. Päättelee, kuinka kaukana/missä asukkaat voisivat käydä töissä, asioilla, ostoksilla jne.
4. yhdistää ja ketjuttaa samalla matkoja sen mukaan, mitä matkustajat ovat HLT:ssä ilmoittaneet.
5. arvioi liikennejärjestelmäkuvauksen, HLT:n matkojen ja YKR:n perusteella millä kulkutavoilla ko. matkaketjuja voi tehdä ja minne määräpääät sijoittuvat.
6. sijoittelee kaikki ko. asutokunnan henkilöiden matkat kulkutavoilla liikenneverkon nopeimmille reiteille – niinä kellonaikoina, mitä HLT:ssä on kerrottu.

Malli kuvaa mahdollisimman yksityiskohtaisesti ihmisten liikkumista siinä tarkkuudessa kuin käytettävää tietoa on saatavilla. Mallin selittävyys riippuukin käytännössä usein paljolti lähtötietojen laadusta. Yksityiskohtia joudutaan myös ajoittain yksinkertaistamaan, jotta laskenta on teknisesti mahdollista. Esimerkiksi kaikkia satoja tuhansia yksittäisiä joukkoliikennelinjojen aikatauluja ei voida käsitellä kerralla, vaan niitä kuvataan vuorovälien avulla.

2.3 Liikennejärjestelmän kuvaus ruututietona

Yksittäisiä matkoja simuloivassa liikennemallissa käytetään laajojen osa-alueiden sijaan säännöllistä ruudukkoa, jonka jokainen (tässä valtakunnan tason kuvauksessa 1 km kokoinen) ruutu kytketään toisiinsa ruudun mittaisten linkkien avulla (kuva 2). Linkeille kuvataan keskimääräiset matka-ajat. Ruutuverkko kuvaa näin ollen sellaista liikenneverkkoa, josta ei ole tarkempaa tietoa, esimerkiksi pyöräilyn tai kävelyn osalta. Näistä ruutuverkon solmuista puolestaan kuvataan yhteydet varsinaiseen liikennejärjestelmään, joka perustuu valtakunnallisiin paikkatietopankkeihin, kuten tierekistetriin, raideliikenteen rataverkon kuvaukseen ja joukkoliikenteen matka.fi-aikataulutietokantaan. Tietopankkien avulla saadaan liikkumiseen kuluva aika ja kustannus realistisesti kuvattua mallin lähtötiedoksi.



Kuva 2. Esimerkki mallin ruutupaikkatiedosta. Kukin ruutu yhdistyy viereiseen synteettisen verkon avulla (harmaa), joka kuvaa kävely- ja pyöräily-yhteyksiä ja yhteyksiä, joita ei ole kuvattu katuina. Ruutuverkko yhdistyy teihin (sininen) ja pysäkeillä bussiliikenteen yhteyksiin (punaisella). **Huom! Kuvassa ei esitetä väyliä vaan yhteyksiä.**

2.4 Väestön muodostaminen

Myös maankäytön kuvaamisessa käytetään laajojen tilastoalueiden sijaan säännöllistä ruudukkoa, joka yhdistyy liikenneverkkokuvauksen ruutuihin. Tietolähteenä käytetään edellä kuvattua yhdyskuntarakenteen seuranta-aineiston (YKR) ruututietoa. YKR kuvaa kunkin ruudun asukas- ja työpaikka- ja rakennustietoa, joka on koottu mm. väestölaskennan avulla. Maankäytön ruututietojen ja henkilöliikennetutkimuksen (HLT) matkojen taustatiedon avulla tuotetaan simulointia varten joukko yksilöitä, joiden ominaisuuksien jakauma vastaa tilastotietoa. Populaation muodostaminen etenee käytännössä siten, että kussakin ruudussa

- poimitaan YKR-aineiston ikäluokkia vastaavia asukkaita HLT:sta,
- määritetään satunnaisesti kunkin yksilön työllisyys, kuitenkin niin, että työllisten kokonaismäärä vastaa ruudun YKR-tietoa,
- ryhmitellään yksilöt perheisiin HLT:n perhekoostumusjakauman mukaisesti,
- valitaan satunnainen kunkin yksilön henkilökohtainen tulotaso HLT:n jakaumien mukaisesti, niin että perheittäin summattuna tulojen mediaani täsmää YKR:n tietoja ja lopuksi
- valitaan satunnainen kunkin perheen autonomistus HLT:n jakaumien mukaisesti siten, että auton omistavien kokonaismäärä vastaa ruudun YKR-tietoa.

Populaation muodostamisen tuloksena saadaan näin ”koko kansan liikennetutkimuksen” henkilöt, joille kuvataan lisäksi kunkin tekemät matkat seuraavassa kuvatulla menetelmällä.

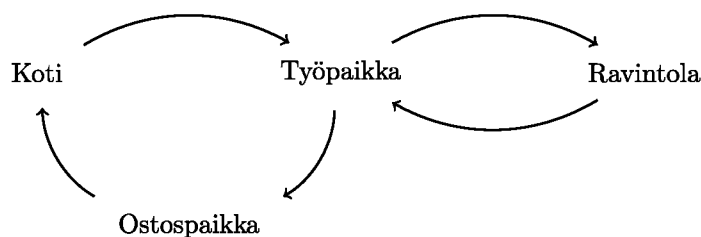
2.5 Autonomistus

Asukas- ja työpaikkatiheys selittää useita autonomistukseen vaikuttavia yhdyskuntarakenteellisia seikkoja. Autonomistus mallinnetaan tarkastelemalla henkilöliikennetutkimuksen (HLT) perheiden autonomistusta perheen koon ja heidän asuttaman ruudun tiheysluokan suhteen. Ruudun tiheysluokka määritellään asukkaiden ja työpaikkojen määrän mukaan. Tässä tutkimuksessa Suomi jaetaan kahdeksaan luokkaan tiiviistä kaupungista harvaan asuttuun maaseutuun. HLT:ssä havaittu autonomistuksen jakautuminen määrittää todennäköisyyden, jonka suhteessa autoja valitaan satunnaisesti kuhunkin ruutuun, kunnes autojen kokonaismäärä saadaan vastaamaan tilastotietoa.

Ennustetilanteessa autonomistustietoa korjataan väestörakenteen ja tulotason muutosten sekä väestönkasvun mukaan. Väestörakenne muuttaa perheiden koon ja kaumaa ja tältä osin oletetaan autonomistuksen kunkin kokoiselle perheelle pysyvän vakiona. Tulotaso vaikuttaa autonomistukseen, jolloin ennustetilanteessa tulotasojen kasvaessa oletetaan, että perheissä siirrytään kohti useampien autojen omistamista. Pelkän väestönkasvun oletetaan lisäävän kuhunkin ruutuun entisenlaisia asukkaita ja siten kasvattavan autojen määrää muuttamatta itse autonomistusastetta.

2.6 Kulketapojen kuvaus matkaketjuina

Asukkaiden ja työntekijöiden tekemät matkat muodostavat usein matkaketjuja, joiden vaiheet riippuvat toisistaan esimerkiksi sen suhteen mitä kulketapoja on käytettävissä. Esimerkiksi jos kuvan 4 matkaketjun työmatka tehdään joukkoliikenteellä, matkaketjun muissa vaiheissa ei ole tavallisesti käytettävissä autoa. Kulketapojen valinta perustuu tällöin koko matkaketjun ominaisuuksiin eikä vain niiden osiin. Siksi matkojen kuvaaminen ketjuina on hyödyllistä. Malli ei muuta matkaketjujen muodostumisen todennäköisyyksiä vaan luo matkaketjuja sen mukaan kuin niitä on ilmennyt HLT:ssä.

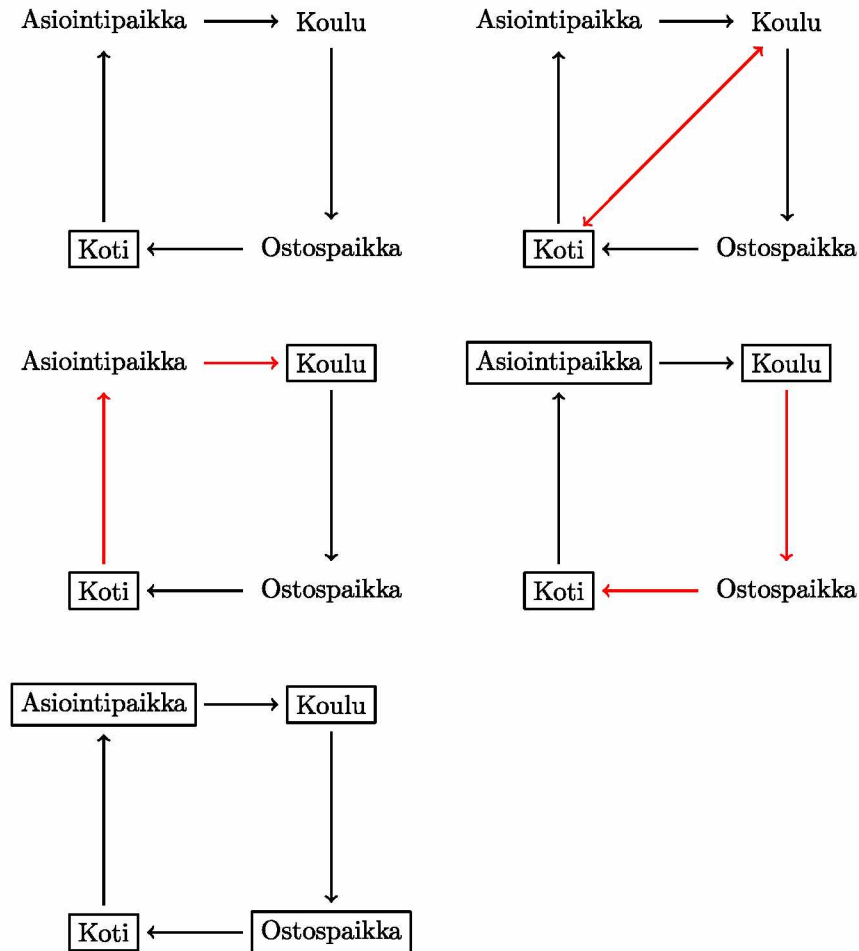


Kuva 3. Esimerkki lähtö- ja määräpaikkojen välisistä matkaketjuista

2.7 Liikenteen suuntautumisen ja kulketavan valinta

Henkilöliikennetutkimuksesta saatavien matkaketjujen eri osien lähtö- ja määräpäättäytyy sovittaa paikallisiin oloihin. Matkaketjujen määräpäättä simuloidaan kuvan 5 kaltaisella logiikalla. Kunkin henkilön ensimmäinen matka alkaa kotoa ja viimeinen matka päättyy kotiin. Matkaketjun päätepisteet kiinnitetään yksi kerrallaan suhteessa aiemmin kiinnitettyihin päätepisteisiin niin, että ne käydään läpi tärkeysjärjestyksessä kohteessa vietetyn ajan mukaan.

Ensiksi selvitetään ”tärkeimmän” matkan suuntautuminen, joka on kuvan 5 esimerkissä kotiperäinen koulumatka. Matkaa ei oikeasti tehdä, mutta sen avulla suunnataan matkaketjua kohti olennaisimmaksi oletettua päätepistettä. Edeltävän ja seuraavan kiinnitetyn päätepisteen huomioon ottaminen varmistaa, että matkaketjut eivät matka kerrallaan ajaudu kauemmas ensimmäisestä lähtöpisteestä vaan ottavat huomioon myös paluun.



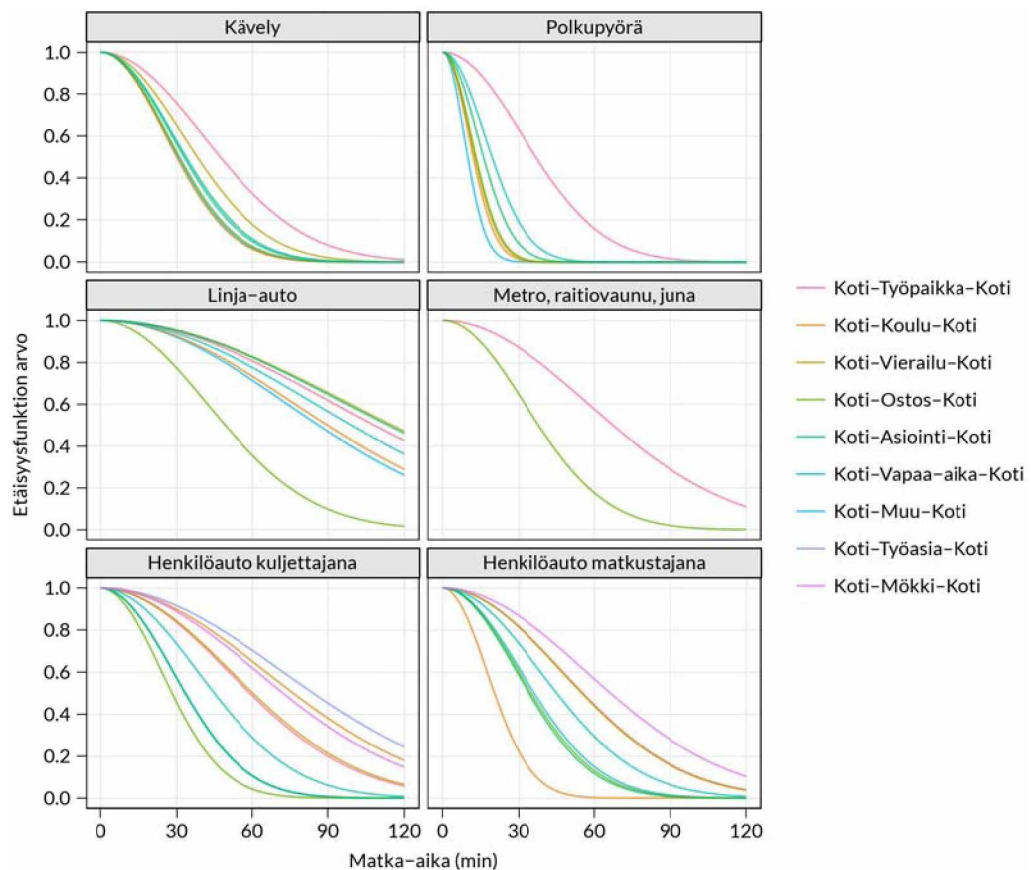
Kuva 4. Esimerkki matkaketjujen määräpäiden muodostamisen logiikasta. Matkaketjun vaiheittainen tarkastelu lähtee tilanteesta jossa vain kotipaikka on kiinnitetty, päätyen tilanteeseen, jossa kaikki päätepisteet ovat kiinnitetty. Tarkasteltavat matkat on esitetty punaisella ja kiinnitetyt päätepisteet laatikoituna.

Kullekin matkaketjulle valitaan (kullakin kulkutapajoukolla, ks. alla) yksittäiset päätepisteet suuntautumismallin avulla. Matkojen suuntautumisen pituusjakauma noudattaa kuvien 6 ja 7 etäisyysfunktioita, jotka on mallinnettu HLT:n avulla. Pitkille matkoille ja päivän kestäville matkoille on omat mallinsa, koska niille on henkilöliikennetutkimuksessa erilliset tutkimusaineistot. Pitkiä matkoja on suhteellisesti paljon vähemmän kuin päivän aikana tehtäviä mistä syystä niiden otos on vastaavasti pitemmältä ajalta.

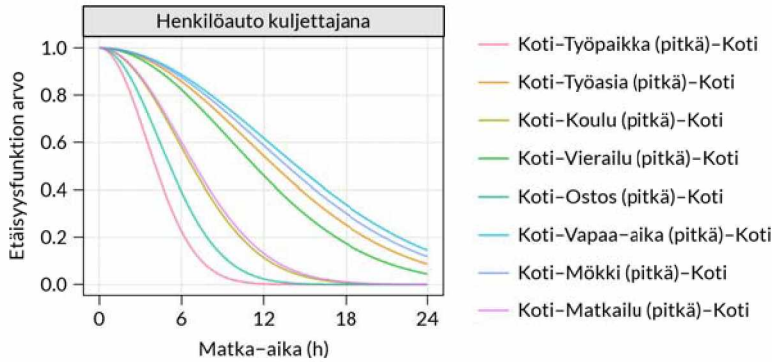
Etäisyysfunktiot riippuvat paitsi matkaketjujen taustalla olevista liikkumistarpeista myös kulkutavasta, sillä esimerkiksi polkupyörällä tehdään lyhyempiä matkoja kuin

joukkoliikenteellä. Suuntautumismallia sovelletaan edellä kuvatun matkaketjujen käsittelylogiikan mukaisessa järjestyksessä matkaketjun kaikille osuuksille. Tarkoituksena on löytää keskimmäisen päätepisteen sijainti ottaen huomioon matka-aika edellisestä kiinnitetystä pisteestä, matka-aika seuraavaan kiinnitettyyn pisteeseen sekä ruudussa oleva aktiviteettia kuvaava maankäyttötieto.

Päivämatkojen osalta suuntautuminen mallinnetaan kulkutavoittain. Matkaketjun eri vaiheissa voidaan käyttää eri kulkutapoja, jolloin suuntautuminen riippuu pääkulkumuodon sijaan koko kulkutapajoukon ominaisuuksista. Käytännössä matkaketjuja generoidaan kullekin kulkutapajoukolle HLT:n esiintymistiheyden mukaan, minkä jälkeen kukin matkaketjun osan määränpää suuntautuu eri sijainteihin etäisyysfunktioiden mukaisesti ottaen huomioon etäisyys edellisestä että seuraavasta matkaketjun määränpäästä. Pitkien matkojen osalta kulkutavan vaihtoehdoksi jää käytännössä usein vain autoliikenne. Tästä syystä suuntautuminen mallinnetaan aina ensin autoverkkoa pitkin ja näin muodostuneelle yhdelle matkaketjulle etsitään tämän jälkeen vielä erikseen matka-ajat kullakin kulkutapajoukolla, minkä mukaan kulkumuoto varsinaisesti valitaan.



Kuva 5. Matkojen suuntautumisen etäisyysfunktiot eri kulkutavoilla päivän aikana tehdyillä matkoilla. Ei kuvaa matkojen etäisyysjakamaa, vaan arvot syötetään kulkutavan valintamalliin, minkä avulla varsinaisesti lasketaan kullakin tavalla tehdyn matkan lopullinen todennäköisyys.



Kuva 6. Matkaketjujen suuntautumisen pituusjakauma eri kulkutavoilla pitkillä matkoilla (>100 km)

Kokonaiset matkaketjut tehdään usean kulkutavan yhdistelmillä yksittäisten kulkutapojen sijaan. Kullekin kulkutapajoukolle mallinnetaan yksittäisiä, koko matkaketjua kuvaavia kokonaisuuttuja (esimerkiksi koko matkaketjussa kuluneen ajan summa tai varrella olevan maankäytön painotettu keskimääräinen tiheys), joiden perusteella kulkutapajoukon valinta voidaan tehdä. Kun kaikki päätepisteet on löydetty, voidaan kullekin matkaketjulle laskea matkaketjun hyöty ao. kulkutapajoukolla ja sen avulla edelleen kulkutapajoukon valinnan todennäköisyys kyseiselle matkaketjulle.

Matkaketjujen kulkutavat valitaan valintamallilla, jossa otetaan myös talouden autonomistusta huomioon. Valintamallit ovat ns. logit-malleja, jotka kuvaavat millä todennäköisyydellä tietty vaihtoehto valitaan. Valinta perustuu vaihtoehtojen ja valitsijan ominaisuuksiin. Erilaisia matkaketjuja on niin monia, että niille ei kullekin estimoida malleja erikseen. Matkaketjujen ryhmät on valittu mallin valtakunnallisen luonteen mukaan siten, että lyhyiden etäisyyksien matkat on yhdistetty, koska liikenneverkkojen kuvaus keskittyy pääväyliin, eikä paikallista liikennejärjestelmää korvaava ruutuverkko erottele kovin hyvin liikennejärjestelmän palvelutason paikallisia eroja. Päivämatkojen kulkutavan valintamallissa on näin ollen neljä osamallia: koulu, mökki, työ ja muu.

Pitkien matkojen kulkutavan valintamallissa on kahdeksan osamallia: työ, työasia, koulu, vierailu, ostos, vapaa-aika, mökki ja matkailu. Taustatietoselittäjät ovat seuraavat:

- autojen määrä perheessä
- työllisyys
- henkilökohtaiset tulot
- sukupuoli.

Liikennejärjestelmää selittävät tekijät kuvataan matkaketjun yleistettynä matka-aikana, joka sisältää matka-ajan, autoilun muuttuvat kustannukset kerrottuna ajan arvolla sekä joukkoliikenteellä 30 % vuorovälistä.

3 Mallin toteutus

3.1 Lähtötiedot

Liikenneverkkoina käytetään H1-projektissa (ks luku 1) tehtyjä valtakunnallisia verkkoja ilman Emme-kuvausta varten tehtyjä yksinkertaistuksia. Yksilömalli käyttää aineistoja siis jotakuinkin ”sellaisenaan”. Verkkoja täydennetään myös luvussa 2.3 kuvatulla keinotekoisella ruutuverkolla, joka kuvaa katuja, yksityisteitä ja muita pienempiä väyliä, joita pitkin liitytään varsinaiselle verkolle. Kuvissa 8 ja 9 havainnollistetun verkkokuvauksen muodostamisessa on hyödynnetty tieverkon osalta seuraavia lähtöaineistoja:

- Tierekisteri (21.3.2012) väyläkohtaiseen geometriatietoon liitettynä
- Tierekisterin solmutiedot (eritasoliittymien sijainnit).

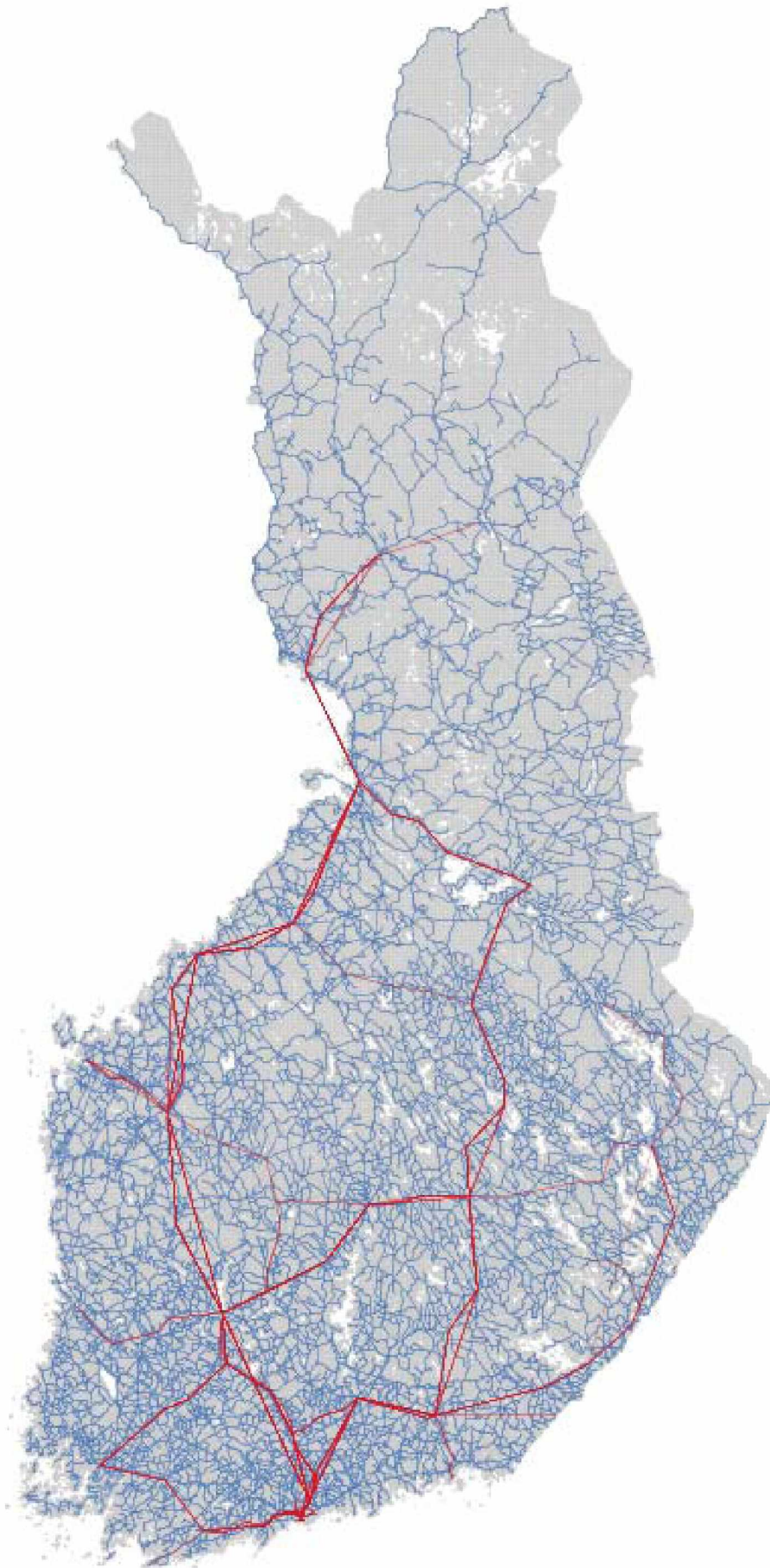
Rataverkon kuvauksen tietolähteet ovat:

- Geometria paikkatietomuodossa (ratapurkki.shp).
- TENtec -tietokanta (rataverkon ominaisuustietoja).
- RHK:n rautatieliikenteen Emme-malli (asemien sijainnit).
- Tavaraliikenteen liikennepaikat (erillinen excel-tiedosto).

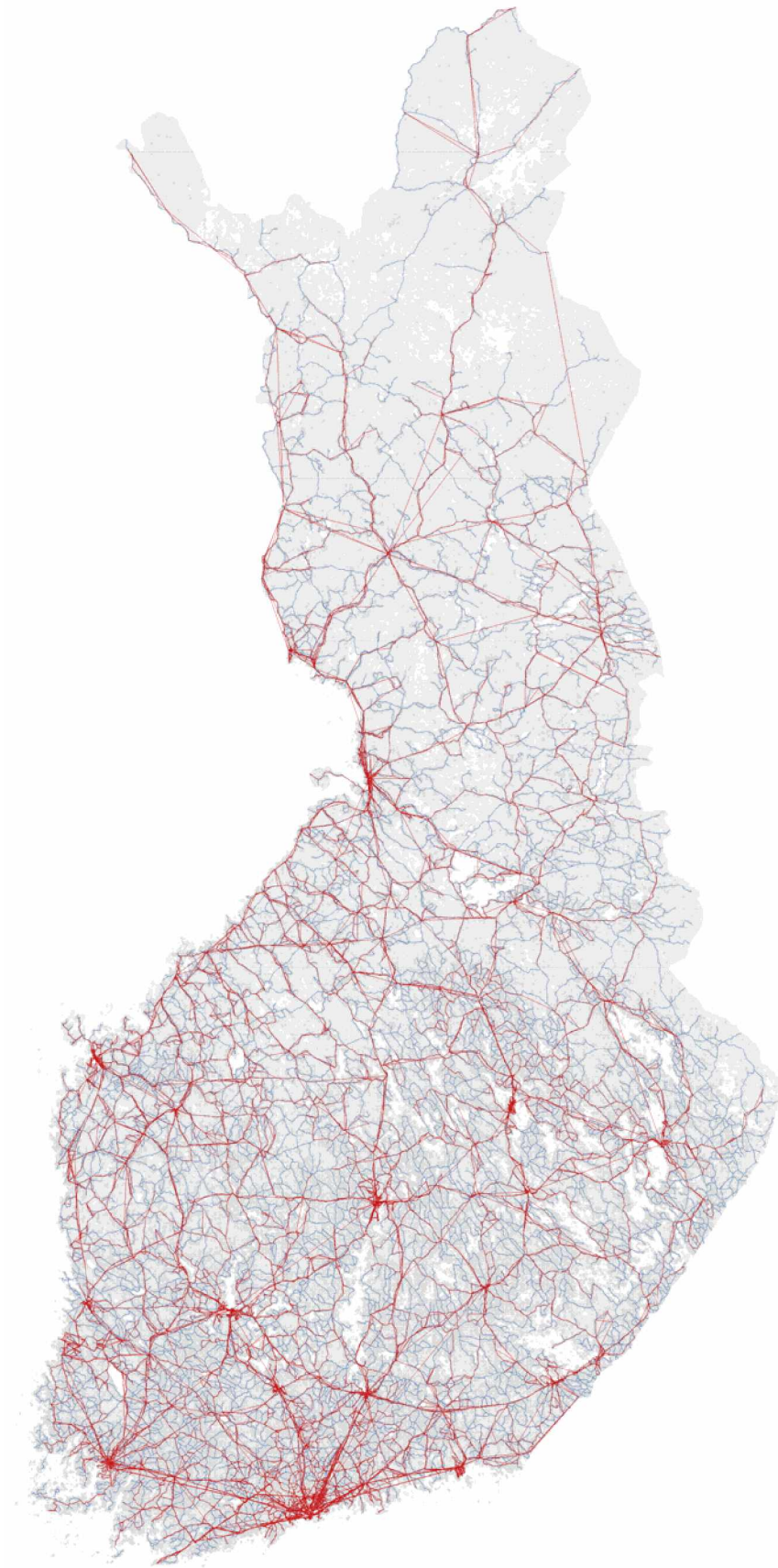
Lentoliikenne on kuvattu lentoasemien osalta Finavian tilastojen avulla ja kotimaan lentoliikenteen tarjonta lentoaikatauluista (syksy 2011). Joukkoliikennetarjonta perustuu matka.fi-koontikannan kuvaamaan palveluiden tarjontaan 15.09.2011 - 31.9.2011 välisenä aikana).

Nykytilanteen liikkumistieto saadaan valtakunnallisesta henkilöliikennetutkimuksesta (HLT) 2010–2011, joka matkojen lisäksi toimii myös osittain talouksien ja yksilöiden taustatietoja kuvaavana referenssitietona.

Maankäyttötietojen lähteenä käytetään Suomen ympäristökeskuksen ja Tilastokeskuksen ylläpitämää yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmää (YKR), jonka tiedot aggregoidaan valtakunnallista sovellusta varten 250 metrin ruudukosta kilometrin ruudukkoon. Liikenteelliset tiedot ja suuri osa muistakin tietolähteistä saadaan valmiina Liikenneviraston aineistoista.



Kuva 7. Asemien väliset raideyhteydet.



Kuva 8. Linja-autoliikenteen yhteydet.

3.2 Mallin tyypilliset käyttökohteet

Yksilömalli on hyvin yksityiskohtainen kuvaus eri alueiden asukkaiden liikkumistarpeista. Mallilla voidaan tyypillisimmillään kuvata

- Yksilöiden ja talouksien ominaisuuksien erojen (esim. tulotaso, koko, autonomistus) vaikutuksia.
- Erialaisten matkaketjujen (esim. käydään työmatkalla asioimassa) vaikutusta liikkumisen määrään ja kustannuksiin.
- Alue- ja yhdyskuntarakenteen muutosten (esim. kaupungistumisen tai yhdyskuntarakenteen hajautumisen) vaikutuksia matkojen määriin ja suuntautumiseen – missä tahansa aluejaossa.
- Sosioekonomisten muutoksien (esim. ikääntyminen) liikenteellisiä vaikutuksia.
- Oikeudenmukaisuutta: Miten vaikutukset jakautuvat yhteiskunnassa eri tavoin ryhmiteltyinä esimerkiksi tulotason, sukupuolen, sosioekonomisen aseman, autonomistuksen, asumismuodon tai työssäkäynnin mukaan.

3.3 Mallista saatavia analyysejä

Simulointien tuloksiksi tuotetaan aineisto, joka vastaa tiedoiltaan henkilöliikennetutkimuksessa haastateltuja tietoja, mutta jonka otoskooksi voidaan valita esim. 100 %, jolloin saadaan jokaisen asukkaan jokainen matka. Tuloksista voidaan siten laskea mitä tahansa liikkumisen tunnuslukuja käytetyn ruutukoon tarkkuudella, matkaryhmäkohtaisesti tai ihmisryhmittäin, erityisesti niiden tekijöiden suhteen, joilla väestö on sovitettu tilastotietoon. Tuloksista voidaan siten laskea mm. aika- ja matkasuoritteita, kulkutapaosuuksia ja päästöjä, joiden pohjalta voidaan tuottaa esimerkiksi:

- Alueellisia ja vyöhykeanalyysejä: erittäin yksityiskohtaisia maankäytön ja liikenteen kuvauksia ja esim. saavutettavuuskarttoja.
- Liikenneverkkoanalyysejä: Nykytilanteen verkkojen ja joukkoliikennepalveluiden yksityiskohtaisia analyysejä – myös ennusteliikennemäärillä kuormitettuna.
- Liikkujaryhmäanalyysejä: Erittäin monipuolisesti ryhmiteltyjä tai jopa yksilöiden liikkumisen analyysejä esim. matkojen määrästä, niiden lähtöajoista, kulkutavoista, kohteista, pituuksista ja suuntautumisesta.
- Kulkutapa-analyysejä: vapaasti määriteltävässä aluejaossa ja aikajaksossa.
- Aikasarja- ja vertailevia analyysejä: aluerakenteen, liikkumistarpeen ja liikkumisen skenaarioanalyysejä.

3.4 Mallin soveltuvuus ja käytön rajoitukset

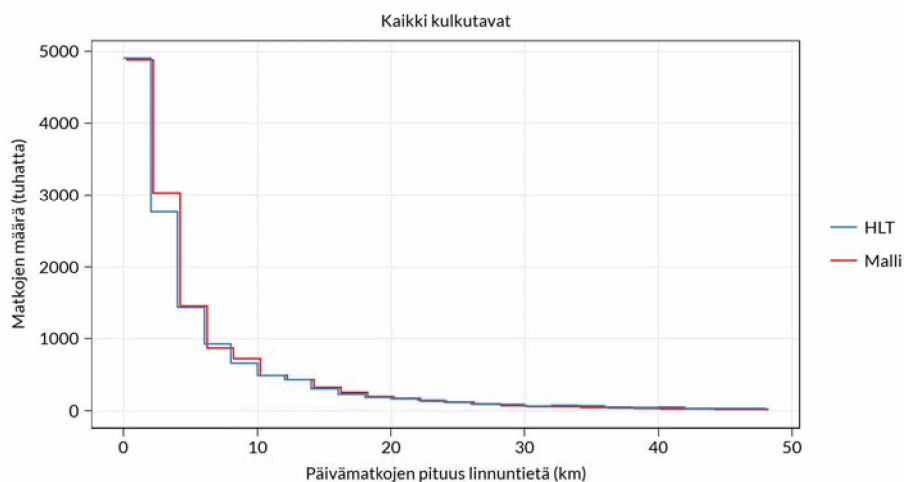
Yksilömalli toimii lähtökohtaisesti nykyisten liikenneverkkojen pohjalta. Yksilömallilla ei helposti kuvata tulevaisuuden liikennejärjestelmää. Ennustetta varten pitäisi kuvata esimerkiksi koko matka.fi-tietokannan n. 6 000 joukkoliikennelinjaan tehtävät muutokset tulevaisuuden tilanteessa. Tietosuojakäsytmykset asettavat myös rajoitteita mallin käyttöön laajemmin.

Yksilömallin käyttö vaatii tällä hetkellä massiivisten aineistojen hallintaa sekä erityistä ymmärrystä mallin monimutkaisten ilmiöiden vuorovaikutussuhteista. Menetelmä

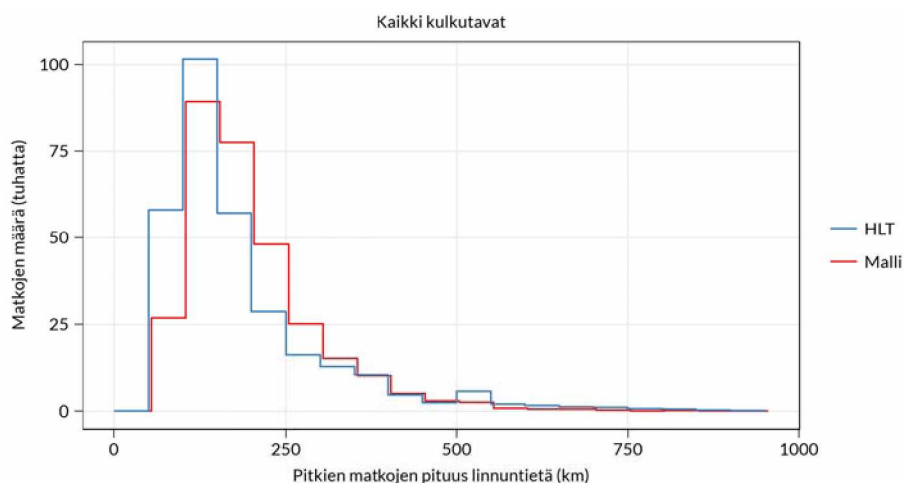
vaatii myös paljon tietokoneen laskentatehoa ja muistia, eikä menetelmässä ole esimerkiksi graafista käyttöliittymää. Mallijärjestelmä on näin ollen Liikenneviraston käytettävissä sen toimeksiannoissa yksinkertaisimmin Strafica Oy:n tarjoamana palveluna. Järjestelmän siirtäminen ja käyttö muualla vaatii jatkotyötä sekä eri aineistojen käyttösopimusten selvittämistä. Liikennevirastolla on kuitenkin työn tilaajana oikeus hyödyntää ja kehittää jatkossa menetelmää edelleen haluamallaan tavalla.

3.5 Mallin toimivuus

Mallin antamia tuloksia on verrattu henkilöliikennetutkimuksesta (HLT) laskettuihin kulkutapaosuuksiin, matkojen pituuksiin ja matkamääriin. Kulkutapaosuuksien osalta malli toistaa hyvin HLT:n, poikkeuksena lentomatkat, joiden mallintaminen on pääosin vähäisen havaintomäärän takia vaikeaa. Päivämatkojen pituusjakauma (kuva 10) vastaa hyvin tarkkaan HLT:tä, pitkillä matkoilla (kuva 11) jakauma on hyvin samankaltainen, mutta keinotekoisesti 100 km rajan ja jakauman hitaasti laskevan pitkän hännän takia huippu on hieman eri paikassa. Pitkien matkojen osalta matkamääriä on tarkasteltu maakuntatason matriisina (kuva 12), mistä näkyy sama ilmiö kuin pituusjakaumassakin. Toisaalta pitkien matkojen jakautuminen maakunnittain on paljon tasaisempi kuin HLT:n vähäisistä havainnoista saadaan.



Kuva 9. HLT:n ja mallin päivämatkojen pituusjakaumat



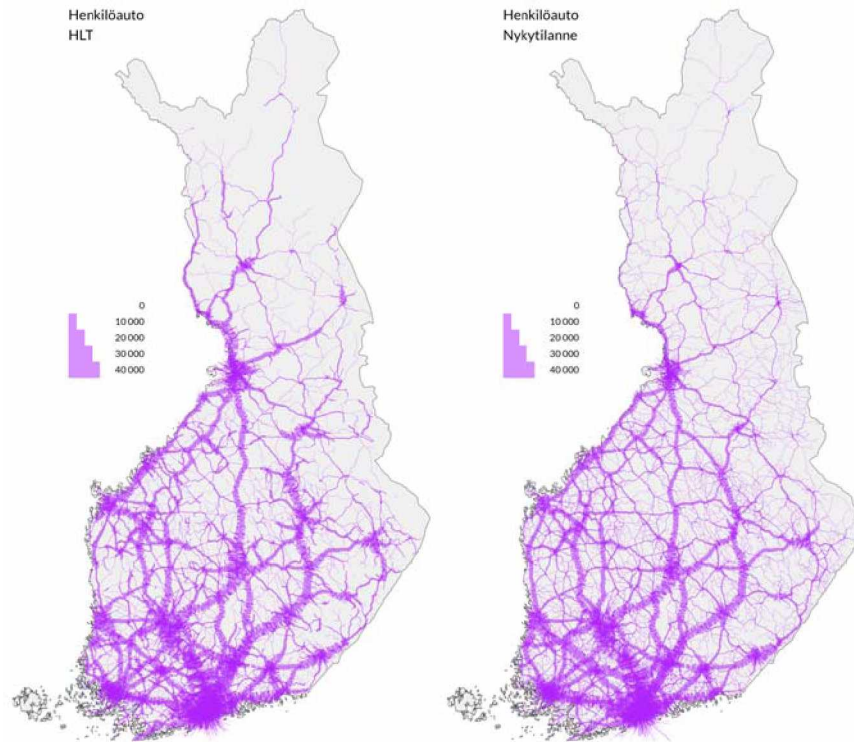
Kuva 10. HLT:n ja mallin pitkien matkojen pituusjakaumat

Pitkät matkat maakunnittain (malli yllä, HLT alla)

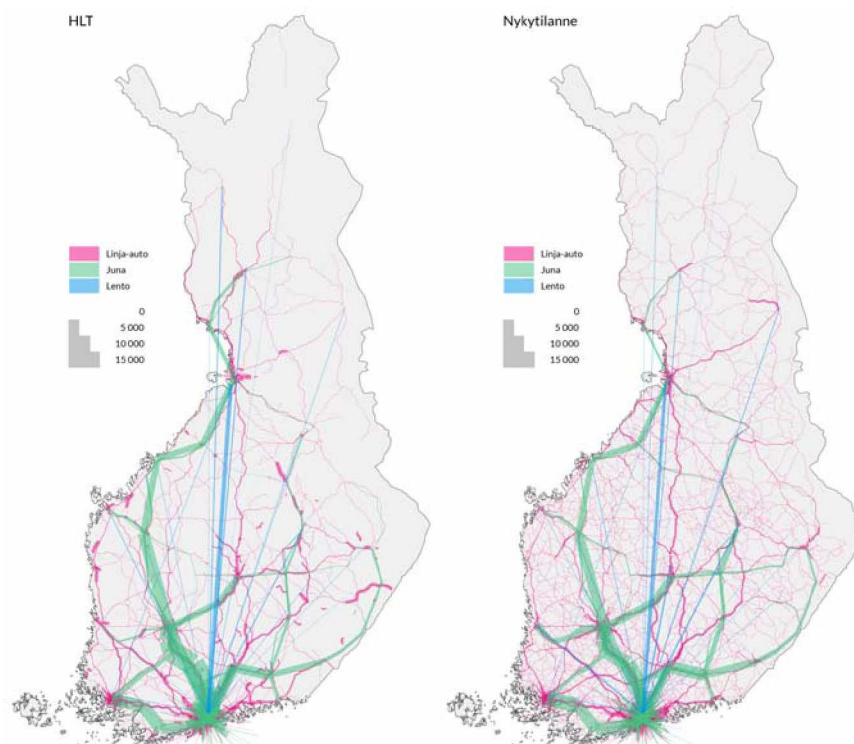
Asuinmaakunta	Uusimaa	2045 4347	15088 11811	6307 2820	3425 4610	15742 12299	6487 9222	6684 6394	3768 3688	4656 6637	3041 3710	869 2268	7143 5483	2983 2995	1827 1150	559 423	1570 2634	874 847	282 2490
	Varsinais-Suomi	11656 7453	216 453	1765 2592	1364 1110	3795 5255	1605 1202	997 131	372 164	540 292	424 210	162 24	1676 897	1010 268	618 315	215 176	371 429	148 52	90 330
	Satakunta	5273 3119	1862 3566	60 55	958 454	1882 2910	630 44	289 0	241 12	255 96	342 216	130 152	1018 493	862 355	672 355	202 64	291 126	65 0	43 256
	Kanta-Häme	2601 5157	1413 1201	842 288	3 0	734 709	222 218	491 357	364 68	380 379	408 359	194 28	819 802	409 280	260 80	134 200	254 232	84 0	62 256
	Pirkanmaa	9945 13431	3517 2631	1615 3356	510 366	275 1196	1540 2318	1128 403	445 148	940 666	910 796	304 196	2213 2114	1331 262	786 125	330 125	838 1162	225 110	193 635
	Päijät-Häme	4811 6318	1981 607	714 140	221 37	1667 1726	6 16	293 419	445 393	597 490	772 66	322 92	1160 1262	398 284	243 0	107 137	404 385	127 266	102 71
	Kymenlaakso	4751 6898	922 623	292 267	635 366	1077 743	389 488	13 0	351 1702	423 768	568 139	238 36	766 934	153 124	117 0	5 80	290 296	99 52	57 208
	Etelä-Karjala	2293 2578	303 0	116 56	228 419	410 220	579 667	315 378	33 45	486 776	407 216	319 666	360 292	63 116	79 32	35 0	181 88	91 208	70 93
	Etelä-Savo	1855 1141	200 152	120 172	233 224	466 334	537 744	399 205	342 384	245 773	688 771	488 327	717 859	190 176	66 34	52 34	252 90	95 134	55 166
	Pohjois-Savo	1954 2409	370 260	391 80	204 0	1018 705	641 105	380 178	374 248	1339 1151	458 1577	1380 1649	2062 1120	582 184	284 204	258 152	1386 1062	924 986	255 623
	Pohjois-Karjala	909 1654	148 288	81 0	114 48	348 295	297 535	335 315	780 228	1217 468	2019 1564	386 796	1015 334	220 27	95 0	37 0	478 525	455 223	105 248
	Keski-Suomi	3716 3849	936 577	762 578	714 491	2397 2967	1109 881	714 152	470 499	1073 1272	1204 1532	624 671	383 2695	1020 1264	812 301	222 192	886 215	337 215	232 521
	Etelä-Pohjanmaa	1539 2071	737 463	916 464	383 80	1995 2479	339 128	168 128	109 0	261 0	422 280	144 36	1334 658	138 291	379 240	312 610	582 638	125 184	128 549
	Pohjanmaa	1164 1695	791 338	1305 234	257 168	1830 578	254 19	99 0	64 80	142 0	323 0	66 0	1274 244	869 977	354 2255	460 1035	1208 482	102 0	130 280
	Keski-Pohjanmaa	237 319	105 90	149 0	38 0	323 112	73 0	52 0	33 0	105 0	272 160	35 0	600 273	446 387	359 395	12 0	735 695	157 136	93 272
	Pohjois-Pohjanmaa	1424 2634	292 383	362 315	232 232	821 754	323 140	183 144	303 36	437 238	3869 691	973 334	1944 1295	1417 1243	1746 603	1387 1672	3913 7822	2369 3559	3380 6547
	Kainuu	163 507	29 0	36 0	21 0	80 82	46 0	57 0	44 0	144 0	540 823	351 104	303 48	97 56	107 142	87 0	1100 1884	130 1287	150 529
	Lappi	212 675	80 88	49 200	58 20	117 213	53 0	44 104	21 0	101 0	439 404	144 68	257 35	137 415	150 0	140 100	4224 3776	567 260	3342 4091
		Uusimaa	Varsinais-Suomi	Satakunta	Kanta-Häme	Pirkanmaa	Päijät-Häme	Kymenlaakso	Etelä-Karjala	Etelä-Savo	Pohjois-Savo	Pohjois-Karjala	Keski-Suomi	Etelä-Pohjanmaa	Pohjanmaa	Keski-Pohjanmaa	Pohjois-Pohjanmaa	Kainuu	Lappi
		Matkakohteen maakunta																	

Kuva 11. HLT:n ja mallin pitkien matkojen matriisi asuin- ja matkakohteen maakunnan mukaan. Sinisellä maakuntaparit, joilla malli antaa liian vähän matkoja ja punaisella parit, joissa liikaa.

Mallin antamia liikennemääriä verkolla on verrattu sijoittelemalla HLT:n matkat samoille liikenneverkoille. HLT ei vähäisen havaintomääränsä vuoksi anna kattavaa oikkea kuvaa liikennemäärästä, mutta on kuitenkin suuntaa-antava ja sisältää kaikki kulkutavat. Liikennemäärät on esitetty kuvissa 13 ja 14. Nähdään, että liikennemäärät ovat pääpiirteittäin hyvin samankaltaiset muutamia poikkeuksia (esim. junaliikenne Tampereen ja Porin välillä) lukuun ottamatta. Nähdään myös, että malli tasoittaa hyvin kohdat, joissa HLT:ssä näkyy epärealistisilta vaikuttavia virtoja HLT:n suurten laajennuskertoimien takia.



Kuva 12. Henkilöautoliikenteen liikennemäärät henkilöliikennetutkimuksen (HLT) ja yksilömallin mukaan (molemmat sijoitettu mallin käyttämille liikenneverkoille). Liikennemäärät ovat samankaltaiset. Malli tasoittaa HLT:n harvojen havaintojen suurista laajennuskertoimista johtuvia lyhyitä paksuja virtoja.



Kuva 13. Joukkoliikenteen sijoittelu HLT:n havainnoilla ja mallin nykytilanteen ennusteessa. Malli tasoittaa HLT:n suurista laajennuskertoimista johtuvia epätasaisuuksia.

4 Esimerkkejä mallin hyödyntämisestä

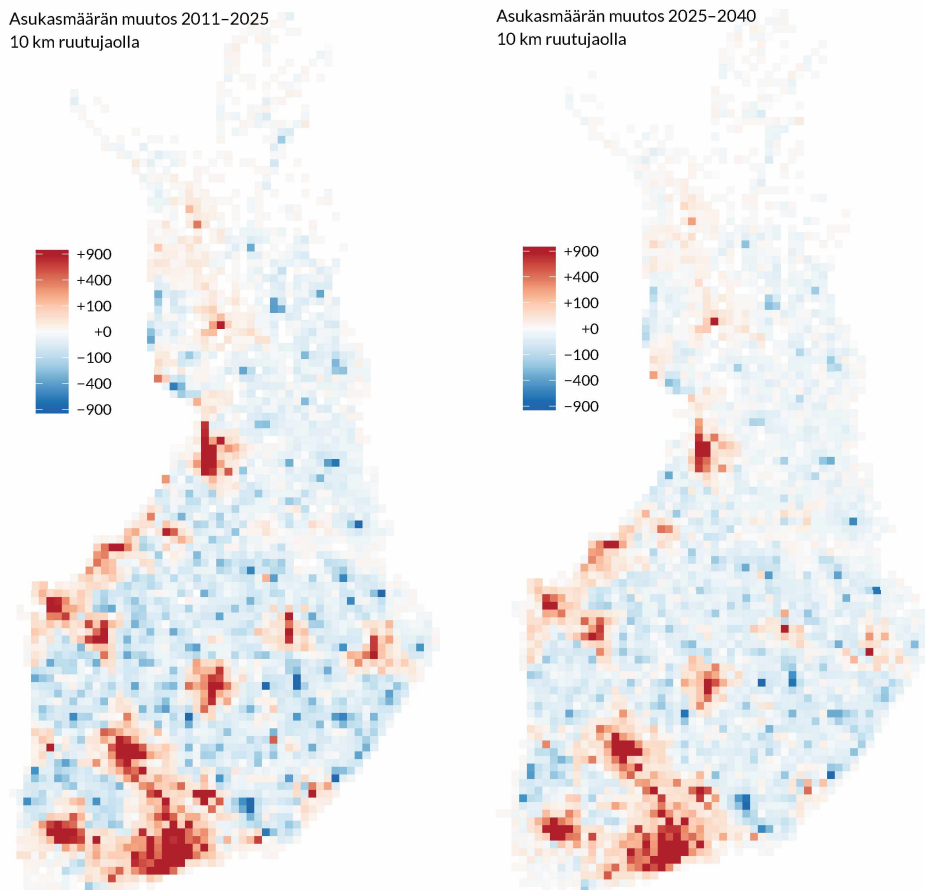
4.1 Liikenteen kysyntä- ja suuntautumisarviot vuosille 2025 ja 2040

Liikkumistunnuslukujen lisäksi yksilömalli tuottaa liikenteen määrä- ja suuntautumistietoja strategiseen ennustemalliin (osaprojekti H3, ks. liite 1), joka kuvaa valtakunnan pääyhteyksiä ja liikennejärjestelmän palvelutason muutosten vaikutuksia eri ennustetilanteissa. Tämä mahdollistaa ennustemallin yksinkertaisen rakenteen, jossa keskitytään liikennejärjestelmän kehittämisen kulkumuotomuutosten ja reitinvalinnan vaikutusten laskentaan.

Yksilömallilla tehdyn liikenteen kysynnän kehityksen arvion pääasialliseksi lähtötiedoksi on otettu mallin kehittämisvaiheessa Tilastokeskuksen väestöennuste vuosille 2025 ja 2040. Tilastokeskuksen väestöennusteesta käytetään lähtötietona

- aluerakenteen muutosta eli asukas- ja työpaikkamääriä kunnittain
- ikärakennetta väestön vanhenemisen vaikutusten arvioimiseksi.

Tilastokeskus ennustaa aluerakenteen keskittyvän voimakkaasti suurimpiin keskuksiin (kuva 15). Jatkossa Liikennevirasto voi määritellä perusskenaarion oletukset tarkemmin esimerkiksi Ympäristöministeriön aluerakenteen kehitysskenaarioihin pohjautuen (ks. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Ohjelmat_ja_strategiat/Aluerakenteen_ja_liikennejarjestelman_kehityskuva).



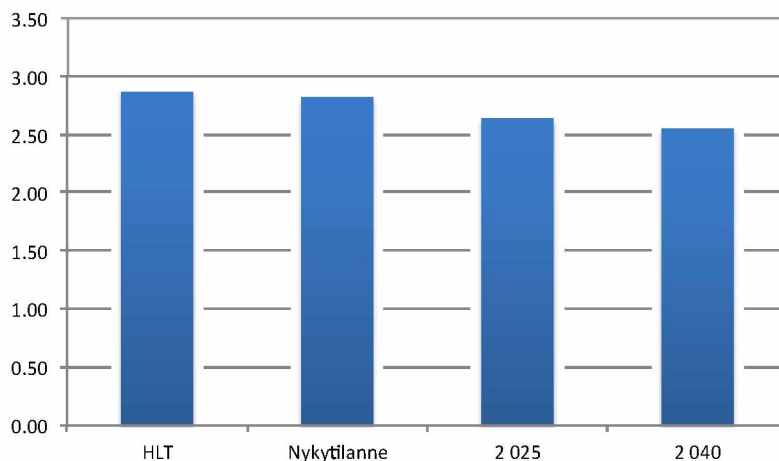
Kuva 14. Asukasmäärien muutokset Tilastokeskuksen väestöennusteessa.

Tässä tutkimuksessa on oletettu, että kukin ikäluokka käyttäytyy kuten henkilöliikenne-tutkimuksen vastaava ikäluokka nykyään. Lisäksi tulotasoja nostetaan bruttokansantuotteen mukana, minkä seurauksena

- autonomistus kasvaa tulotason ja väestörakenteen myötä
- tulotasot muuttavat kulkumuodon valintaa.

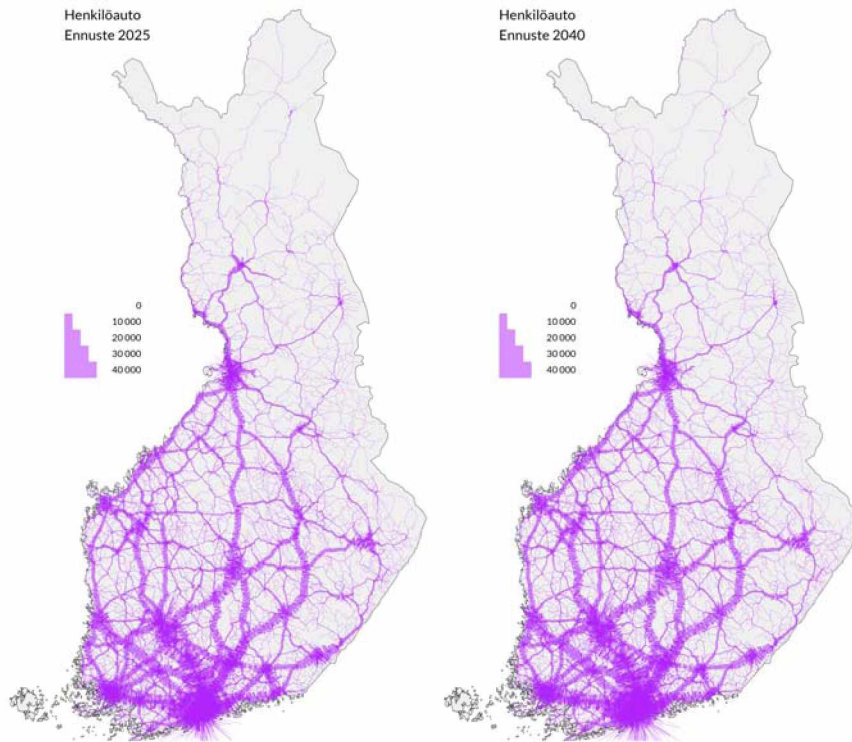
Liikenteen kustannusten reaalin taso oletetaan pysyvän nykyisenä. Kustannusten tason oletetaan säilyvän myös toistensa suhteen, eikä esimerkiksi polttoaineen reaali-hinnan oleteta kasvavan nopeammin kuin joukkoliikenteen. Lisäksi oletetaan, että kuntien yhdyskuntarakenne ei muutu, mikä tarkoittaa käytännössä, että asukkaat ja työpaikat jaetaan kilometrin ruutuihin nykyisten suhteessa. Nämä ovat merkittäviä tuloksiin vaikuttavia testin yksinkertaisuuden vuoksi tehtyjä oletuksia. Liikenneministeriön työryhmän tiimoilta ennustemenettelyä kehitettiin edelleen (Liikenneministeriön tiemaksutyöryhmä 2013b).

Kuvissa 17 ja 18 näkyvät vuosien 2025 ja 2040 arvioidut henkilöliikenteen määrät liikennejärjestelmässä. Oletuksista seuraa, että asukkaiden päivittäin tekemien matkojen määrä laskee kuvan 16 tavalla. Pääsiallinen syy tähän on vanhempien ikäluokkien osuuden kasvaminen, joilla matkamäärät ovat HLT:n mukaan huomattavasti alempia kuin aktiivisissa ikäluokissa laskien ikäluokan alle 55-vuotiaiden yli kolmesta matkasta noin kahteen 75 ikävuoteen mennessä. Matkasuorite henkilöä kohden laskee vastaavasti lähes puoleen. Suoritteet laskevat myös aluerakenteen keskittymisen ansiosta. Suurissa keskuksissa autoliikenteen suoritteet henkilöä kohti ovat huomattavasti pienempiä (15–20 km/hlö/vrk) kuin kaupunkiseutujen ulkopuolella (n. 25 km/hlö/vrk) (kuva 19). Tämän seurauksena henkilöautojen suoritteiden kasvu vuodesta 2010 vuoteen 2025 on mallissa vain 1 % ja vuoteen 2040 mennessä 8 %.

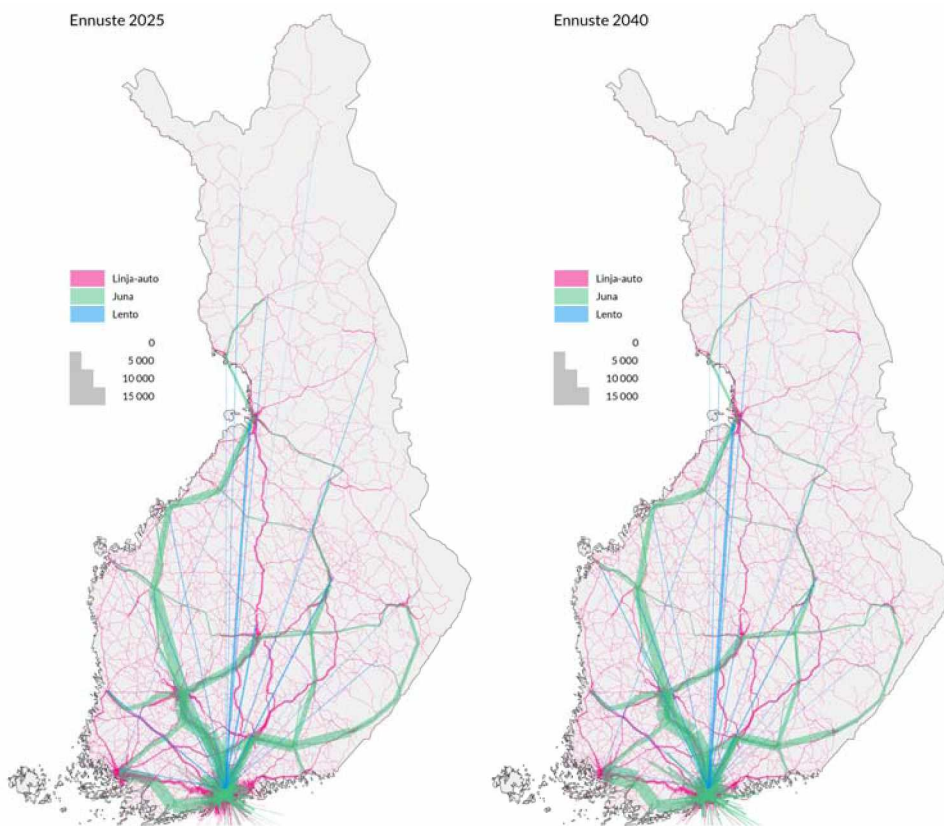


Kuva 15. Päivittäisen keskimääräisen matkamäärän muutos yksilömallilla tehdyssä liikenteen kysynnän kehittymisen arvioissa.

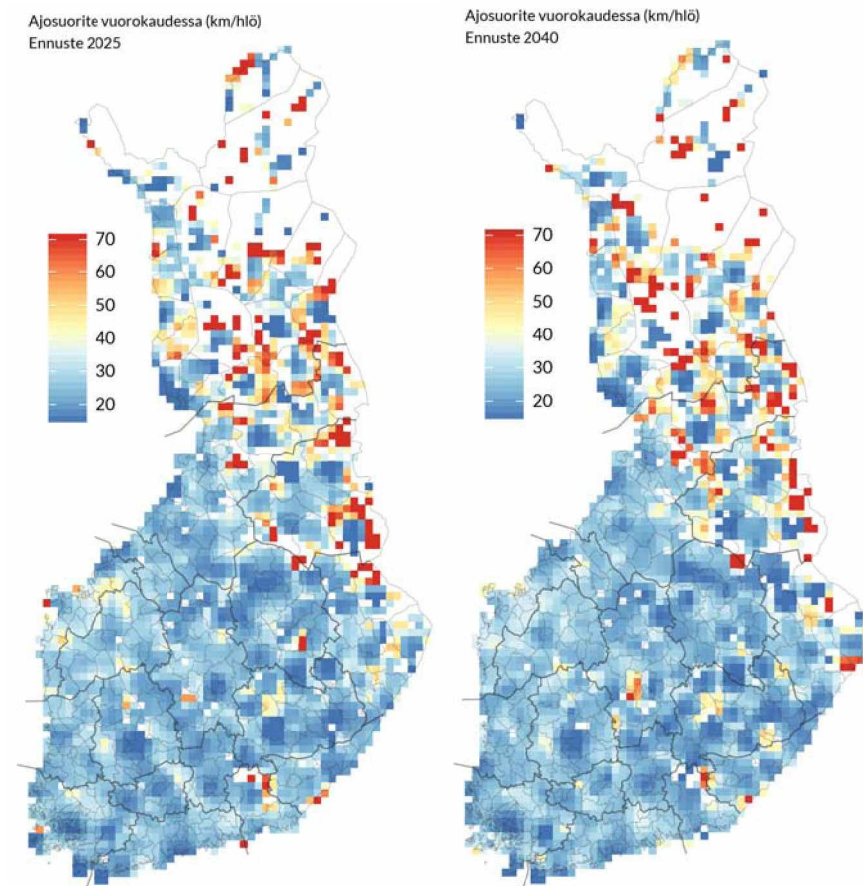
Liikennemäärien muutokset näkyvät kuvissa 20–22. Koska liikenteen reaalkustannukset eivät kasva, tulotasojen nousu BKT:n myötä nostaa autonomistusta ja vaikuttaa kulkumuodon valintaan. Tämä näkyy joukkoliikennematkojen osuuden ja määrän vähenemisenä varsinkin vuoden 2040 tilanteessa. Määriin vaikuttaa myös ikä- ja aluerakenteen muutos, joka vähentää liikennettä harvaan asutulla seudulla. Koska malli ei lähtökohtaisesti muuta ikäryhmien liikkuvuuden lisäksi myöskään matkojen pituusjakaumia, vaan noudattaa HLT:n havaintoja (vastaaventyypisissä ympäristöissä), liikennevirtojen keskinäisistä ja kokonaismääristä ei voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä.



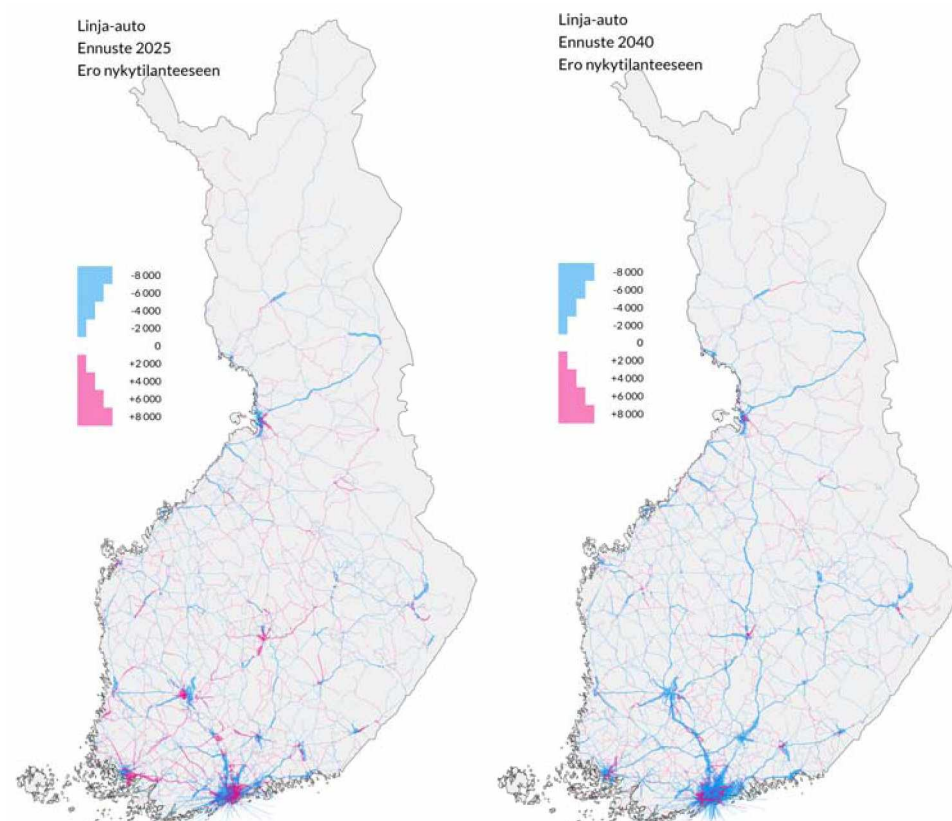
Kuva 16. Henkilöautoliikenteen liikennemäärät (ajon/vrk) mallin ennusteissa 2025 ja 2040.



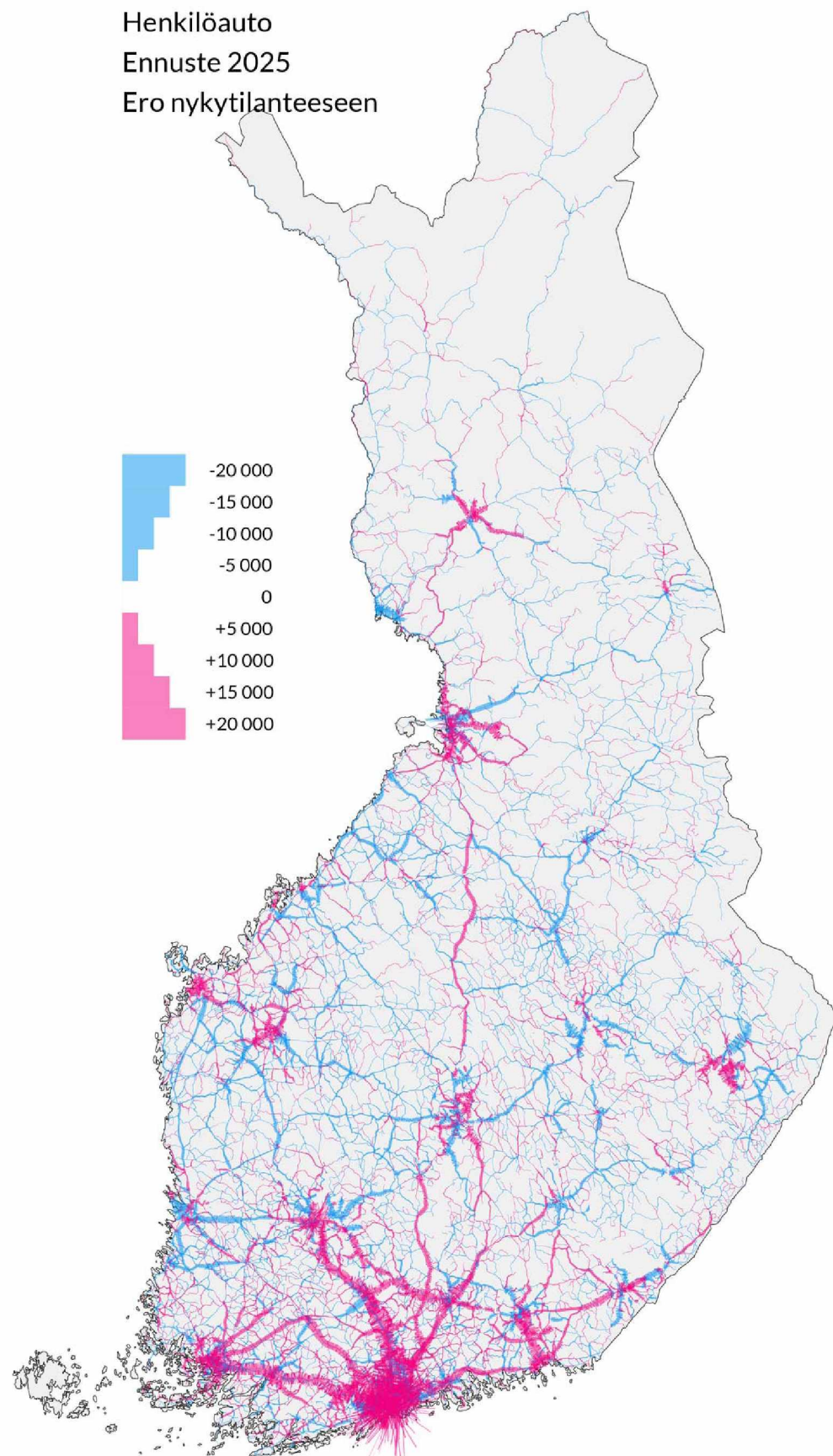
Kuva 17. Joukkoliikenteen matkustajamäärät (hlö/vrk) mallin ennusteissa 2025 ja 2040.



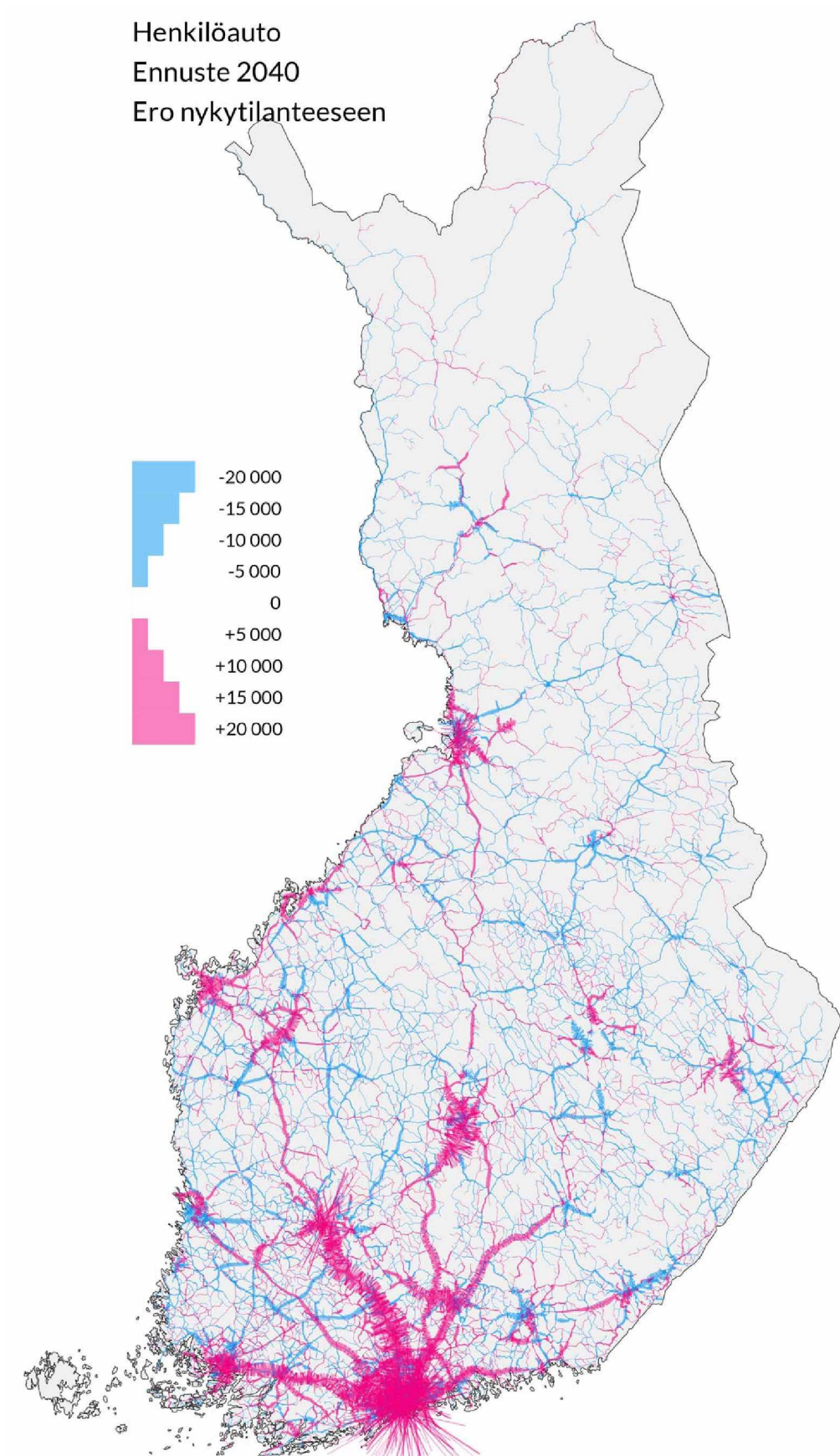
Kuva 18. Henkilöautoliikenteen suoritteet alueittain mallin ennusteessa.



Kuva 19. Linja-autoliikenteen matkustajamäärien muutos nykytilanteesta.



Kuva 20. Autoliikenteen määrien muutos nykytilanteesta vuonna 2025.



Kuva 21. Autoliikenteen määrien muutos nykytilanteesta vuonna 2040.

4.2 Vaikutusten kohdentumisen arviointi

Liikenneviraston strategisten liikennemallien kehittämistyö on koostunut kokonaisuudessaan menetelmäkehityksestä. Yksilömallin soveltamista saatiin testattua yhteistyössä Liikenne- ja viestintäministeriön kanssa. Liikenne- ja viestintäministeriö asetti 3.2.2012 työryhmän muodostamaan kokonaiskuvan siitä, kuinka Suomen kannattaisi edetä tiemaksujen käyttöönotossa pitkällä aikavälillä. Työryhmän tuli tarkastella tiemaksujen teknisiä, liikenteellisiä, taloudellisia ja lainsäädännöllisiä kysymyksiä. Prosessit on sovitettu sisällöllisesti ja aikataulullisesti keskenään.

Tiemaksutyöryhmä painotti työssään erityisesti tiemaksujen vaikutusten kohdentumisen kysymyksiä, joihin liittyy arvioinnin kannalta erityisiä haasteita. Perinteiset liikennejärjestelmän ominaisuuksiin keskittyvät liikennemallit eivät pysty tyypillisesti tämän kaltaisiin analyyseihin. Tästä syystä Liikenneviraston suunnittelemat paikkatietopohjaiset liikkumistunnuslukumallit toteutettiin tässä raportissa kuvatulla simulointimenetelmällä, jolloin tavanomaisten liikkumistunnuslukujen lisäksi jokainen yksilö ja hänen tekemänsä matka voidaan tallentaa oikeudenmukaisuuden arviointia varten esimerkiksi tulotasoluokittain.

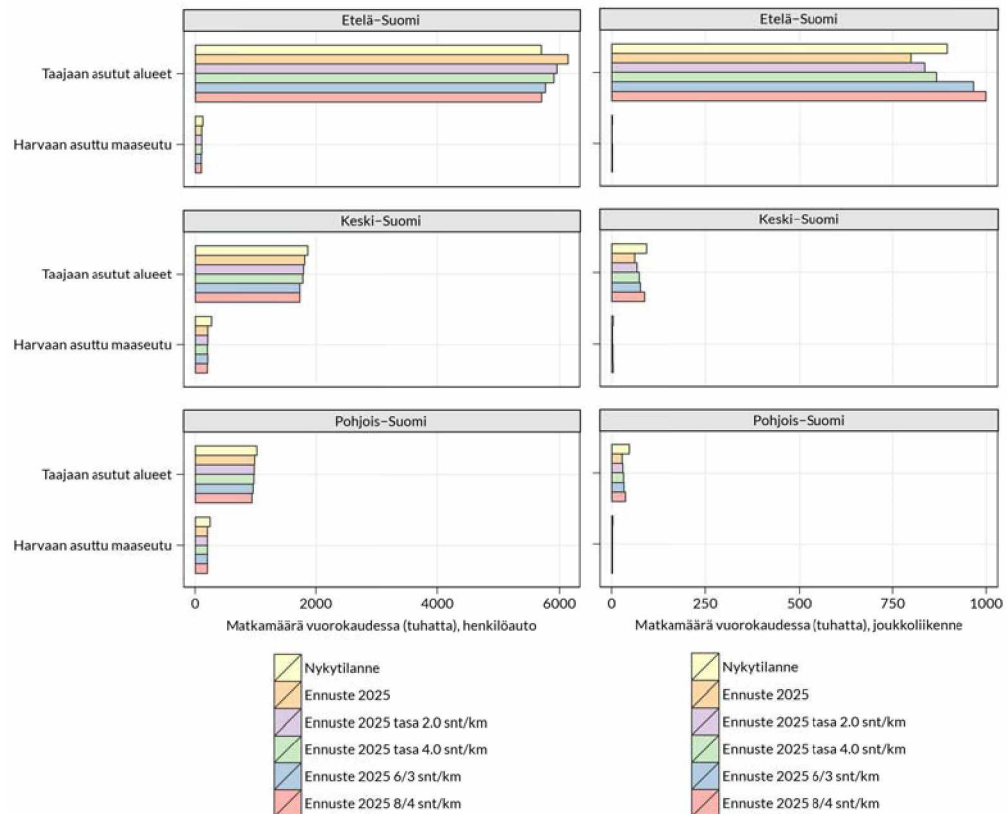
Tiemaksutyöryhmä tutki erilaisia liikenteen verotuksen ja tiemaksuomallien rakenteellisia vaihtoehtoja. Pääperiaatteena oli siirtyminen kiinteistä (autovero) ja vuotuisista (ajoneuvovero) veroista polttoaine- ja kilometripohjaisiin veroihin, joita voidaan porrastaa ajoneuvon päästöjen sekä matkan ajan ja paikan mukaan. Seuraavassa esitellään selvitysprosessissa läpikäytyjä alustavia ja karkeita ajoneuvoliikenteen muuttuvia kustannuksia kohottavia mallitestejä.

Simuloinnin tuloksena saadaan jokaisen simuloitun asukkaan jokainen yhden vuoro-kauden matkat ja matkoille niiden lähtö- ja määräpaikan sijainnit ja tyypit, kulutavat, lähtöajat, matka-ajat ja viipymisajat kohteessa. Tuloksena saadaan valitulla otoskoolla henkilöliikennetutkimuksen kaltainen matkatalukko, jossa on mm.

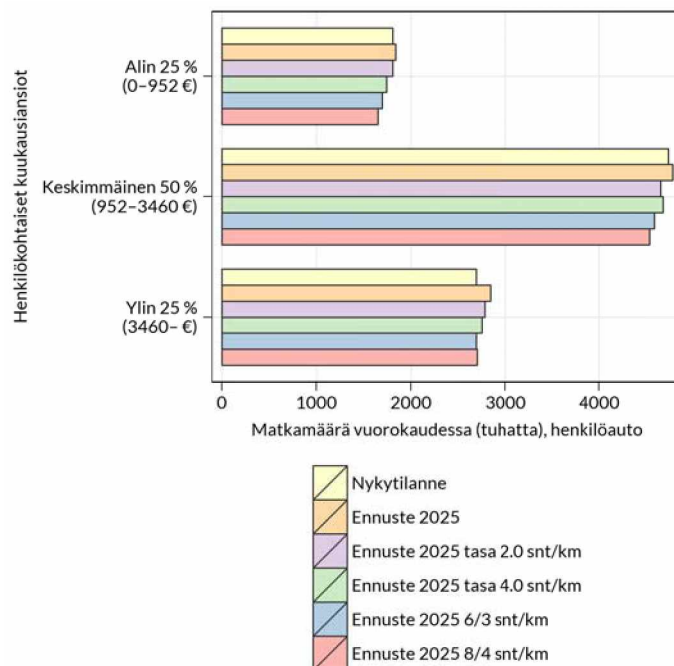
- perheen ja yksilön taustatiedot
- matkojen päätepisteiden tyypit ja koordinaatit
- kulutavat, matka-ajat ja matkojen pituudet.

Simuloidut matkat voidaan lisäksi sijoitella liikenneverkoille (ks. kuvat 17 ja 18), jolloin poluilta voidaan laskea mm. suoritteita linkkityypeittäin tai matkavastuksia komponentteittain.

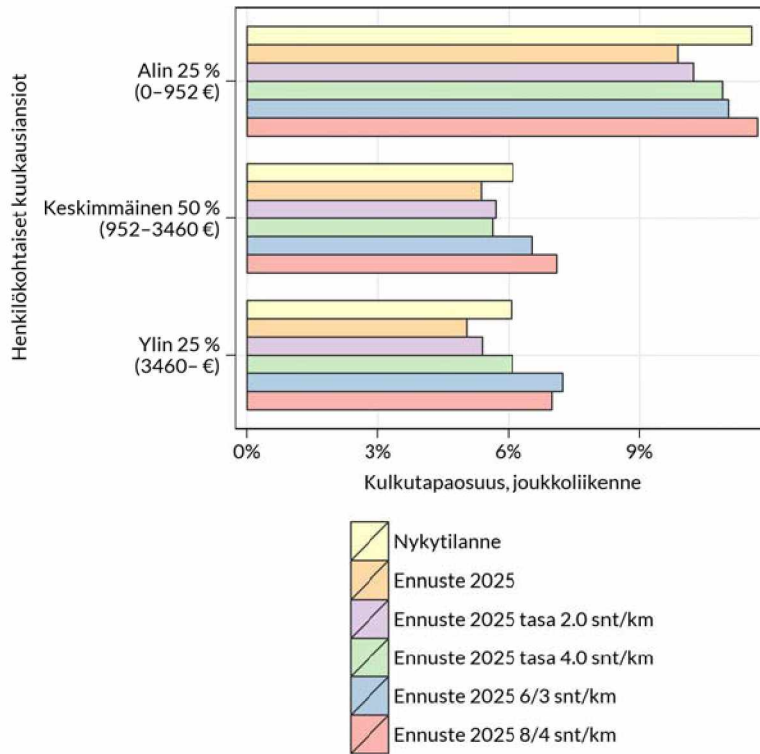
Kuvissa 25–29 on esitelty tyypillisiä aineistosta saatavia vaikutusten kohdentumiseen liittyviä tuloksia. Lopullisia laskelmia löytyy varsinaisesta vaikutusten arviointiraportista (Liikenneministeriön tiemaksutyöryhmä 2013b).



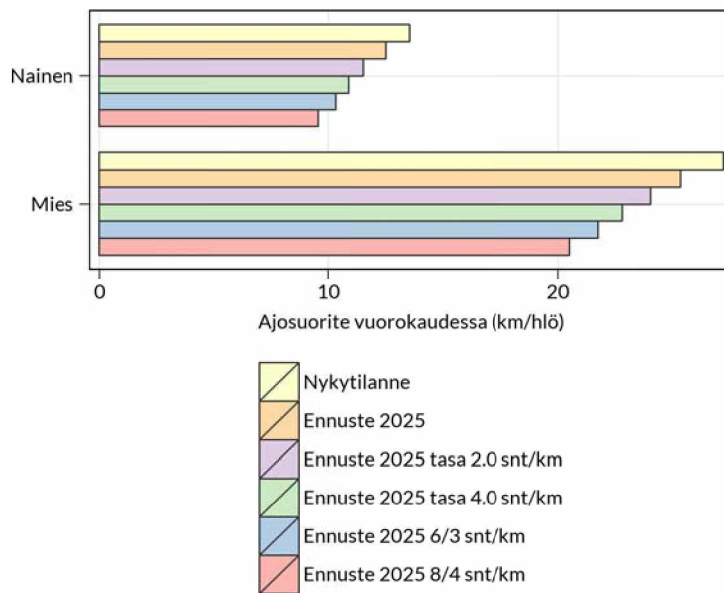
Kuva 22. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien auto- ja joukkoliikenteen matkamäärien muutosten alueellisesta kohdentumisesta.



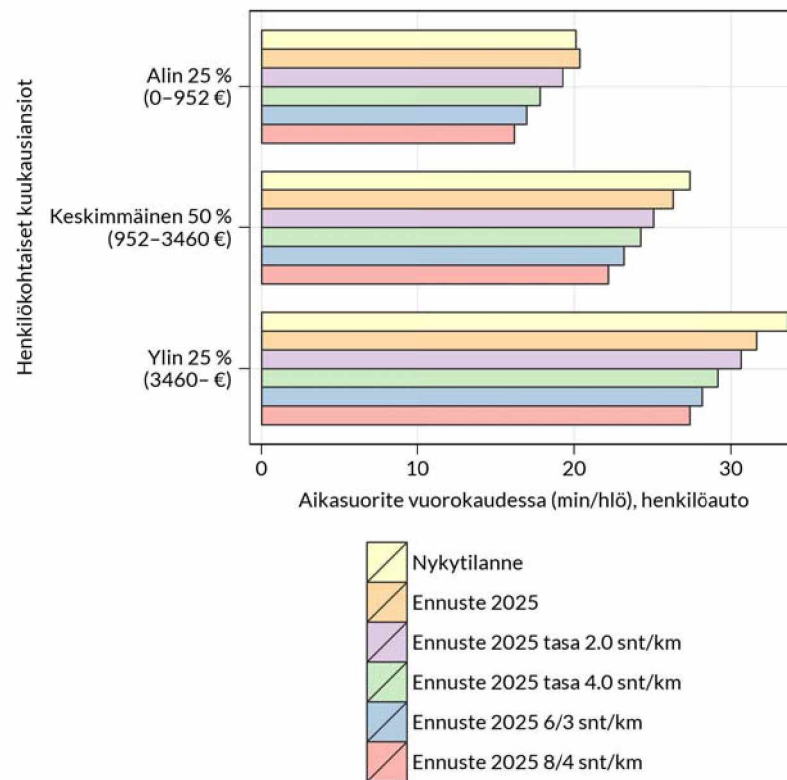
Kuva 23. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien auto- ja joukkoliikenteen matkamäärien muutosten kohdentumisesta autoilijoiden tuloluokkiin.



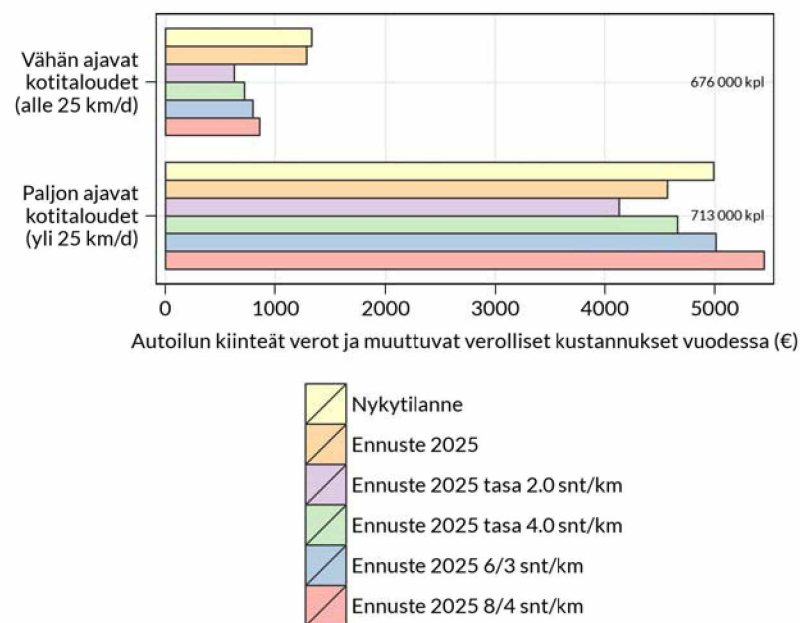
Kuva 24. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien joukkoliikenteen kulutapaosuuden muutosten kohdentumisesta autoilijoiden tuloluokkiin.



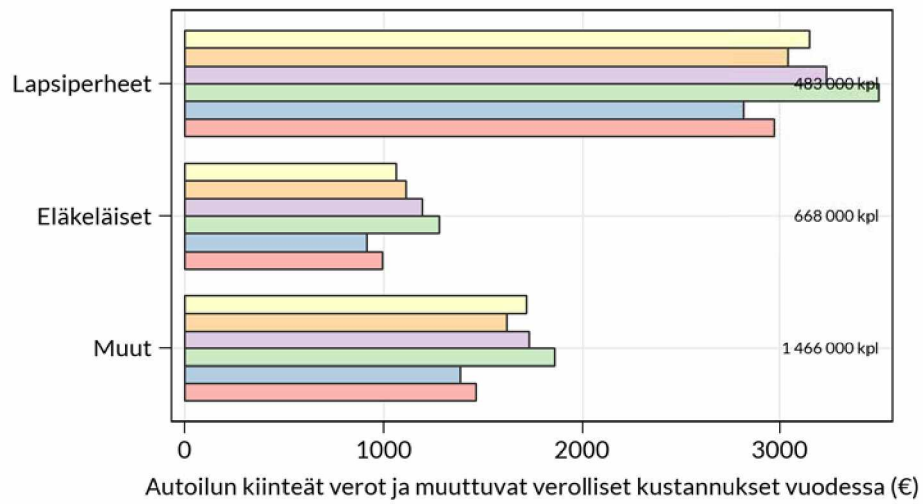
Kuva 25. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien henkilöautojen ajosuoritteiden muutosten kohdentumisesta sukupuolen mukaan.



Kuva 26. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien henkilöautojen aikasuoritteiden muutosten kohdentumisesta tulojen mukaan.



Kuva 27. Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien henkilöautojen kustannus- ja veromuutosten kohdentumisesta ajomäärien mukaan.



Kuva 28. *Esimerkki erilaisten ajokustannuksia kasvattavien toimenpiteiden aiheuttamien henkilöautojen kustannus- ja veromuutosten kohdentumisesta asutokuntien tyyppin mukaan.*

5 Päätelmät

Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli on erittäin yksityiskohtainen kuvaus koko Suomen liikenteestä sekä alue- ja yhdyskuntarakenteesta. Malli soveltaa uudentyyppistä lähestymistapaa, jossa lähtötietoina hyödynnetään monia käytettävissä olevia valtakunnallisia aineistoja ja kuvataan suomalaisten yksilöllistä liikkumista erilaisten simuloivien osamallien avulla. Tämä on tullut viime aikoina mahdolliseksi sekä paikkatietojen että tietotekniikan nopean kehityksen myötä.

Malli kuvaa koko Suomen asuttua alue- ja yhdyskuntarakennetta neliökilometrin tarkkuudella (156 000 ruutua). Kuvaus kattaa kaikki kulkumuodot: kävelyn, pyöräilyn, henkilöauton, junan, bussin ja lentoliikenteen. Infrastruktuurista on kuvattu kaikki Liikenneviraston (tierekisterissä) hallinnoimat yleiset tiet. Joukkoliikenteen kuvauksen pohjana on koko matka.fi-reittitietopalvelun aineisto. Mallin avulla voidaan siten tarkastella erittäin yksityiskohtaisesti esimerkiksi liikennejärjestelmän palvelutasoa eri puolilla Suomea.

Malli perustuu Brutus-menetelmään, joka on kehitetty alun perin Helsingin seudulle. Sen väestöä mallintava stokastinen Monte Carlo-simulointi mahdollistaa yksilöllisen mallintamisen, matkaketjujen huomioimisen ja jatkuvan aikadimension. Maankäytön aktiviteettien aiheuttama liikenteen kysyntä mallinnetaan autonomistuksen, matkatuotoksen, suuntautumisen, kulkutavan valinnan ja myös reittien sijoittumisen suhteen. Malli mahdollistaa vaikutusten kohdistumisen arvioinnin jopa yksilötasolla, mikä ei ole ollut aikaisemmin mahdollista. Tuloksia on jo hyödynnetty menestyksellä LVM:n tiemaksutyöryhmän työssä.

Sekä yksilömallilla että ennustemallilla (ks. liite 1) tehtyjen toimenpidetestien vaikutusten suunta mm. suorite- ja kulkumuotomuutosten osalta näyttää loogiselta. Muutosten suunta liikennevirroissa näyttää myös loogiselta. Mallien joustot (ks. liite 2) vastaavat melko hyvin kirjallisuudessa esiintyviä. Mallien voi tehtyjen testien pohjalta todeta reagoivan kohtuullisen normaalisti erilaisten tekijöiden muutoksiin. Hyvää vertailukohtaa vaikutusten suuruudesta ei kuitenkaan ole, koska valtakunnallisia liikennemalleja ja niiden tuloksia erityyppisissä toimeksiannoissa ei ole ollut käytössä yli viiteentoista vuoteen. Tilanne on huomattavasti hankalampi kuin kaupunkiseutujen mallien kehittämisessä, joiden prosesseissa on usein ehtinyt käytännön arvioinneissa kertyä paljon kokemuksia vanhempien sukupolvien mallien toimivuudesta.

Mallilla tehtiin liikenteen määrän ja sen suuntautumisen arvio vuosille 2025 ja 2040, jotka perustuivat Tilastokeskuksen väestöennusteisiin ja oletettuun BKT:n kasvuun yhdellä prosentilla vuodessa. Malli yksinkertaisesti ”toistaa” asukkaiden liikkumistarpeita kuvaavan henkilöliikennetutkimuksen 2010–2011 (HLT) tiedot koko ennustetun väestön ikä- ja aluerakenteella. Eri liikennemuotojen palvelutasot ja reaaliset hintatasot pysyvät ennallaan, mutta tulotasojen kasvu vaikuttaa autonomistukseen ja kulkumuodon valintaan.

Jos eri-ikäisten asukkaiden liikkumiskäyttäytyminen jatkuu HLT:n kaltaisena alue- ja ikärakenteen muuttuessa Tilastokeskuksen ennusteen mukaisesti, liikenteen kasvu hidastuu mallin mukaan merkittävästi. Tämä on merkittävä, lähempää tarkastelua vaativa tulos, joka voi olla kuitenkin käytännössä epärealistinen lähtökohta käytännön politiikkatoimenpiteiden vaikutusarvioinnissa. Yksilömallin arviota ei kannata tässä vaiheessa käyttää liikenteen kasvun ennustamiseen, koska tulisi ensin tutkia

mitkä ovat relevantteja trendejä, jotka muuttaisivat ennusteen rakennetta. Tämä vaatisi erillistä jatkotyötä ja prosessia.

Ennusteen matka- ja suoritemääriä voidaan korjata ja lisätä (esim. puuttuvia rajan ylittäviä matkoja), kun aineistoa ja tutkimustietoa saadaan lisää (esim. joukkoliikenteen lipputilastot tms.). Käytännön tilanteissa voi olla tarve arvioida vaikutuksia erikseen sovitulla suoritteiden kasvuluvuilla. Jos halutaan olettaa, että esimerkiksi asukaskohtainen matkamäärä ei muutu (huolimatta aluerakenteen ja ikärakenteen muutoksista), voidaan matkamäärää lisätä ennustemallin matriiseissa 7 %.

Mallin tuloksista on myös huomattava, että HLT eroaa merkittävästi muista tilastoista, erityisesti joukkoliikenteen suoritteiden osalta. Lisäksi on huomattava, että HLT:n otoksen alueellinen tarkkuus ei todennäköisesti riitä kuvaamaan esimerkiksi joukkoliikenteen käyttäjämääriä realistisesti kaikkialla, erityisesti lentoliikenteen osalta, josta on vain muutamia kymmeniä havaintoja. Valittu lähestymistapa perustui mahdollisimman hyödyllisten työkalujen rakentamiseen olemassa olevilla aineistoilla, joita voidaan jatkossa tarpeen mukaan parantaa.

Aineistoja voidaan kehittää usein eri tavoin. Liikennejärjestelmän osalta voitaneen jatkossa hyödyntää yhtenäisiä EU:n INSPIRE-direktiiviin perustuvia kuvauksia. Henkilöliikennetutkimus toimi kohtuullisen hyvin liikkumiskäyttäytymisen kuvaamisessa mallin avulla, mutta sitä kannattaisi mallien parantamisen kannalta painottaa harvempien joukkoliikennematkojen määrän ja suuntautumisen tarkentamiseksi, tai täydentää havaintoja erilliselvityksin. Myöskin alueellisten liikkumistutkimusten hyödyntämistä valtakunnallisten haastatteluaineistojen täydentäjinä tulisi tutkia.

Autoilun kiinteiden kustannusten vaikutusten suhdetta muuttuviin kustannuksiin tulisi selvittää HLT:ssä tai muilla keinoin. Rautatie- ja bussiliikenteen lipunmyyntitilastojen tarkkoja tietoja ei voitu liiketoiminnan yksityisen luonteen vuoksi käyttää mallin kehitystyössä, mikä vääjäämättä heikentää analyysin ja liikennepolitiikkaan vaikuttavien johtopäätösten laatua.

Kuvauksessa on hyödynnetty pääosaa tarjolla olevista tietopankeista lähes niiden koko tarkkuustasossa. Kuvaus perustuu massiivisten aineistojen automatisoituun käsittelyyn tietokoneohjelmien avulla. Tästä syystä myös mallin lähtötietojen muuttaminen erityisesti paikkatietojen osalta esimerkiksi tulevaisuuden liikennejärjestelmän kuvaamiseksi on haastavaa – olettaen että vuoden 2025 ja 2040 liikennejärjestelmät ovat määriteltyjä. Siksi yksilömallilla ei tyypillisesti kannata tutkia tulevaisuuden liikennejärjestelmän rakennetta, vaan hyödyntää siihen erikseen suunniteltua ennustemallia (ks. liite 1).

Suurten, kategoristen politiikkatoimenpiteiden kuvaaminen on sitä vastoin yksilömallilla suhteellisen yksinkertaista, ja vaikutusten erittäin yksityiskohtainen arviointi on mahdollista mallin tarkkuuden ansiosta. Tästä ovat esimerkkinä luvussa 4 kuvatut ajoneuvoliikenteen kustannuksia muuttavat testit. Mallin avulla testattiin tässä työssä yksinkertaisia tiemaksuskenaarioita, joiden avulla saatiin esimerkkejä mallin toiminnasta käytännössä.

Lähdeluettelo

ALLI-prosessi: <http://www.tut.fi/verne/alli/>

Finnavia: Lentoliikenteen tilastot: <http://www.finnavia.fi/fi/tiedottaminen/tilastot/>

Henkilöliikennetutkimus 2010–2011. www.hlt.fi.

Liikenneministeriön tiemaksutyöryhmä 2013a: Oikeudenmukaista ja älykästä liikennettä. Työryhmän loppuraportti. Julkaisuja-sarja 37 / 2013. ISBN: 978-952-243-372-5
URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-372-5>

Liikenneministeriön tiemaksutyöryhmä 2013b: Käyttöön perustuvan liikenteen verotuksen vaikutusten arviointi valtakunnallisilla liikennemalleilla. Taustaraportti älykästä ja oikeudenmukaista liikennettä selvittävälle työryhmälle. Julkaisuja-sarja 38 / 2013. ISBN: 978-952-243-373-2
URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-373-2>

Liikennevirasto 2010. Liikenneviraston tutkimus ja kehittäminen 2011–2014. Liikenneviraston toimintalinjoja 04/2010.

Liikennevirasto 2011. Paavo Moilanen, Hannu Pesonen, Heikki Metsäran ta, Taina Haapamäki. Liikenteen strategiset mallit Liikennevirastossa, Esiselvitys. Liikennevirasto, liikennesuunnitteluosasto, matkat ja kuljetukset. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2011. 47 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-697-4.

Liikenneviraston tierekisteri: <http://www.liikennevirasto.fi/tierekisteri>

Liikenneviraston matka.fi-palvelu: <http://www.matka.fi/>

Litman 2012, Todd Alexander. Understanding Transport Elasticities. How Prices and Other Factors Affect Travel Behaviour. Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org).

Tietilasto 2010. Liikenneviraston tilastoja 6/2011.
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2011-06_tietilasto_2010_web.pdf.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestöennuste [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5137. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <http://tilastokeskus.fi/til/vaenn/>

Salomaa 2011. Saavutettavuuspohjainen matkojen suuntautumisen ja kulkutavan valinnan simulointimalli. 2011. Aalto-yliopiston diplomityö.
<http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/tsal11.pdf>

Yhdyskuntarakenteen seurannan tietojärjestelmä YKR
<http://www.stat.fi/tup/ykraineistot/index.html>

Valtakunnallisen liikennemallin kuvaus

Emme-sijoitteluohjelmistolla toteutetulla liikenne-ennustemallilla voidaan arvioida liikennejärjestelmän ja liikkumisen kustannusten muutosten vaikutuksia kulkutapavalintoihin, sijoitella kulkutapakohtaiset liikennekysyntäaineistot verkoille sekä tuottaa tietoja liikenteen suoritteiden ja muiden tunnuslukujen muutoksista. Ennustemalli ei muuta liikenteen kokonaiskysynnän määrää tai suuntautumista, vaan hyödyntää yksilömallin arvioita liikenteen kehityksestä tulevaisuuden poikkileikkaustilanteessa.

Malliin on tuotettu kuntajaosta tihennetty noin 1000-alueinen aluejako. Ennustemalli kuvaa vuorokausitason (keskivuorokausiliikenne) henkilöliikenteen kysyntää. Vuorokausitason liikenteen sijoittelussa ei ole otettu huomioon liikenteen mahdollista ruuhkautumista, sillä mallin tarkkuustaso ei riitä kaupunkiseutujen sisäisen liikenteen todellisen ruuhkautumisen kuvaamiseen. Mallin tavoitteena on kuvata ensisijaisesti pitkiä valtakunnallisia matkoja vuorokausitasolla ja ruuhkautuminen vaikuttaa vain vähän näiden matkojen kulkutapavalintoihin. Ennustemalliin on kuvattu vain henkilöliikenne. Tavari liikenteen kysyntävaikutuksia ja logistisia ominaisuuksia ei ole tässä vaiheessa pyritty mallintamaan.

Kulkutavan valintamallit perustuvat nykyisiin liikkumistottumuksiin. Nykytilanteen liikkumistietona on käytetty valtakunnalliseen henkilöliikennetutkimuksen (HLT) 2010–2011 aineistoa. Matkustajien liikkumisvalintoja koskeva haastatteluaineisto on yhdistetty liikennejärjestelmäkuvauksesta tuotettuihin matka-aikoihin ja kustannustietoihin, jonka jälkeen niiden suhde kulkutavan valintaan on mallinnettu tilastollisin menetelmin matemaattisiksi kaavoiksi.

Kulkutavan valintamallit on rakennettu ottamaan huomioon muutokset liikennejärjestelmien palvelutasossa, ottaen tarvittaessa myös liikkujien preferenssit huomioon. Valintamallit ovat logit-malleja, jotka mallintavat kulkutavan valintaa neljän pääkulkutavan välillä: henkilöauto, juna, linja-auto ja lento. Mallit on laadittu erikseen eri matkaryhmille. Mallin käyttämät matkaryhmät ovat:

- työ+koulu-/ opiskelumatkat
- työasiamatkat
- ostos+vapaa-ajanmatkat
- matkailumatkat.

Malli toimii siten, että yksilömallista saatavista matkaryhmäkohtaisista matkamatriiseista kuvataan ensin liikennejärjestelmän muutosten vaikutusten arvioinnin pohjaksi sekä nykyettä ennustepoikkileikkauksen liikennetilanne seuraavasti:

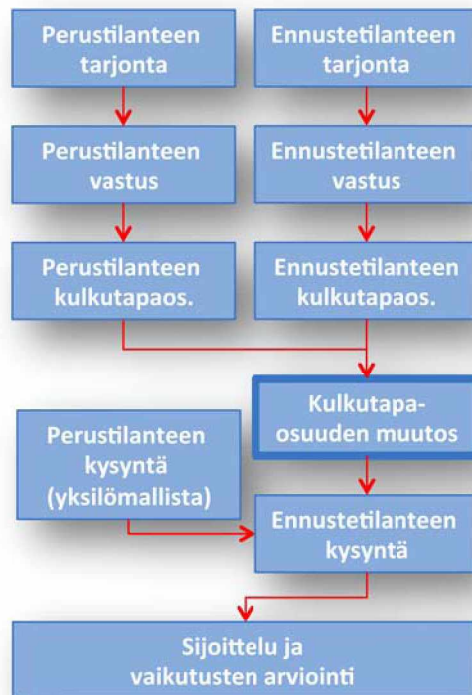
- Matriisit yhdistetään matkaryhmäkohtaisiksi kysyntämatriiseiksi
- Kulkumuotomallilla tuotetaan kunkin matkaryhmän kulkutapaosuudet kunkin alueparin välillä ennusteen perustilanteen mukaisella liikennejärjestelmäkuvauksella
- Matkaryhmäkohtaiset matriisit jaetaan osuuksien mukaan perustilanteen mallinnetuiksi kulkutapakohtaisiksi matriiseiksi
- Matriisit yhdistetään kulkutapakohtaisiksi kysyntämatriiseiksi liikenteen sijoittelua varten

Liikennejärjestelmäskenaarioiden vaikutusten mallintaminen tehdään siten, että

- Ennustemallilla tuotetaan kunkin matkaryhmän kulkutapaosuudet kunkin alueparin välillä tarkasteltavan skenaarion toimenpiteet sisältävällä liikennejärjestelmäkuvauksella

- Matkaryhmäkohtaiset matriisit jaetaan skenaarion mallinnetuiksi kulkutapakoh-
taisiksi matriiseiksi
- Kulkutapavallintojen muutokset lasketaan perustilanteen ja skenaarion mallinnet-
tujen matkaryhmä- ja kulkutapakohtaisten kysyntämatriisien erotuksena
- Kulkutapavallintojen muutokset viedään yksilömallista tuotettuihin perustilanteen
matkaryhmä- ja kulkutapakohtaisiin kysyntämatriiseihin, minkä tuloksena saa-
daan skenaarion matkaryhmä- ja kulkutapakohtaiset ennustematriisit
- Ennustematriisit yhdistetään skenaarion kulkutapakohtaisiksi kysyntämatriiseiksi
liikenteen sijoittelua varten
- Skenaarion henkilöautoliikenteen matkamatriiseista tuotetaan matkaryhmäkoh-
taisilla keskiukuormitusmalleilla ajoneuvomatriisit autoliikenteen sijoittelua varten

Henkilöautoliikenteen matkamatriisit muutetaan lisäksi matkaryhmäkohtaisilla keski-
kuormitusmalleilla ajoneuvomatriiseiksi (mallissa muuttujana matkan pituus) autoliiken-
teen sijoittelua varten. Ennustemallin käyttö etenee kuvan 1 tavalla.



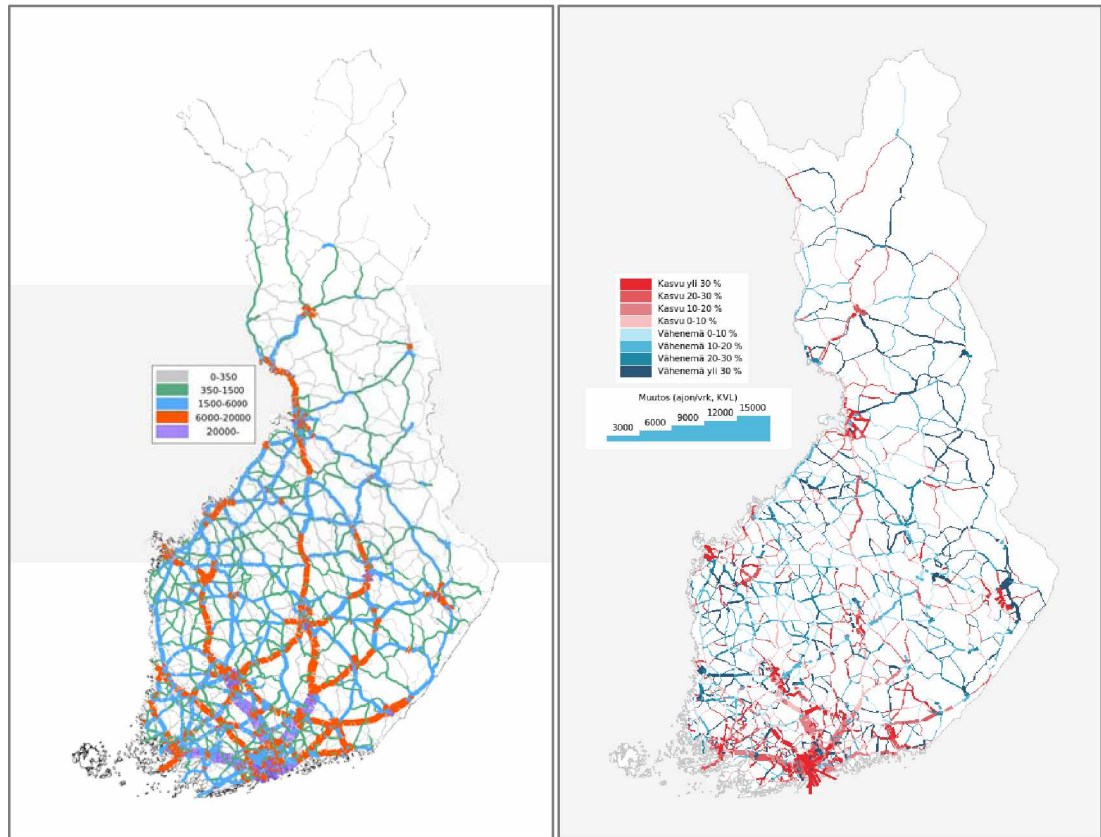
Kuva 1. Liikennejärjestelmäskenaarioiden vaikutusten mallintamisen ja vertailun periaate

Esimerkki luvussa 4 esitetyn vuoden 2025 kysyntä- ja suuntautumisarvion liikennetilanteesta liikennejärjestelmässä, jossa on otettu huomioon ne hankkeet, joiden toteuttamiseen on sitouduttu valtioneuvoston liikennepoliittisessa selonteossa 2012, näkyy kuvissa 2 ja 3. Ennustemalli ei muuta yksilömallin osa-alueiden liikennetuotoksia eikä liikenteen suuntautumista, vaan muutokset heijastetaan yksilömallista saatuihin matkaryhmä- ja kulkutapakohtaisiin kysyntä- ja suuntautumisvirtoihin. Muutoksia voidaan verrata näin joko suhteessa nykytilanteeseen tai yksilömallilla arvioituun perustilanteeseen.

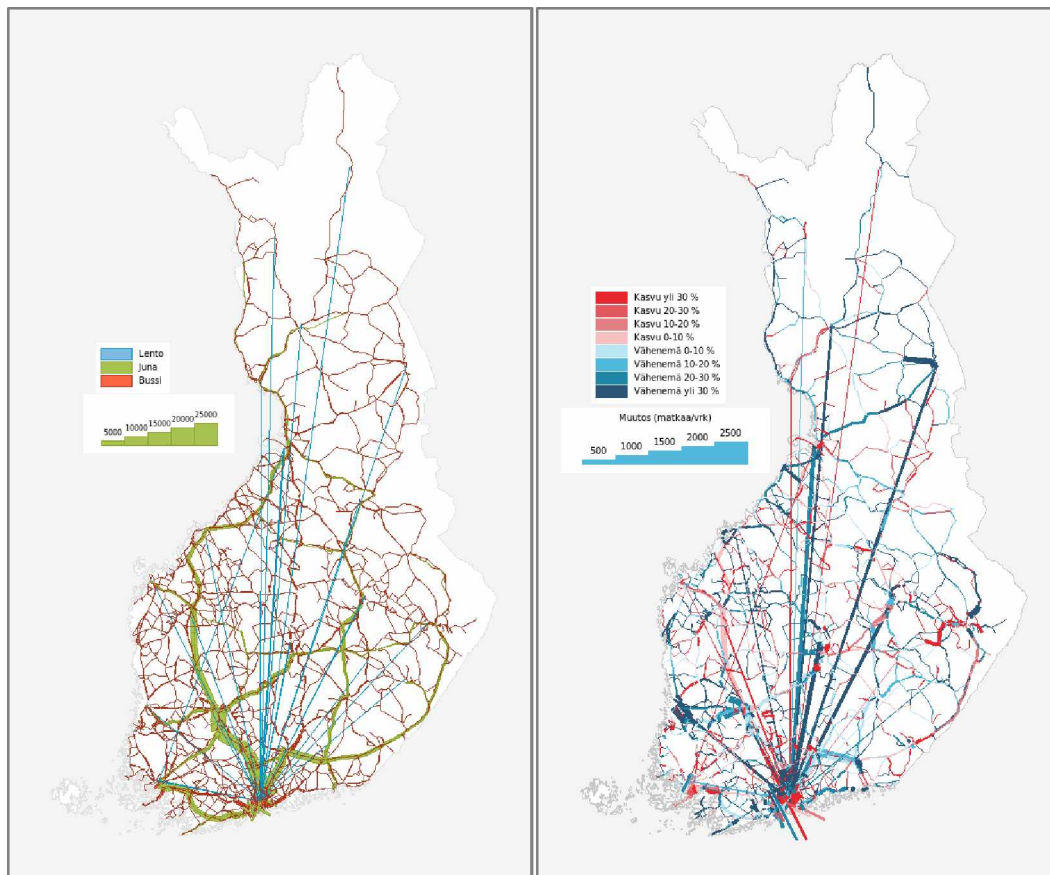
Malli on siis periaatteeltaan muutosmalli joka ennustaa vain kulkutapaosuuksien muutoksen liikenteen tarjonnassa ja kustannuksissa tapahtuvien muutosten seurauksena. Tämä on ennustemallin ensisijainen tavoite, koska mallin liikennejärjestelmän kuvausta on

helppo muuttaa ja analysoida erityisesti tulevaisuuden tilanteissa. Yksilömalli perustuu puolestaan tiheään ruutujakoon, jonka avulla paikallinen kysyntä on mahdollista mallintaa huomattavasti tarkemmin, mutta liikennejärjestelmien yksityiskohtaisempaa kuvausta on vastaavasti huomattavasti hankalampi muuttaa esim. ennusteissa. Kahden mallin avulla yhdistetään näin tehokkaasti erilaisten menetelmien vahvuuksia.

Ennustemallin kehittäminen, testaus ja käyttöohjeet on raportoitu tarkemmin omaksi tekniseksi muistiokseen, joka on saatavissa osana mallin käytön edellyttävää emmetietopankkia.



Kuva 2. Autoliikenteen kuormitus 2025 ja muutos vuoden 2010 tilanteeseen



Kuva 3. Joukkoliikenteen kuormitus 2025 ja muutos vuoden 2010 tilanteeseen

Mallien toimivuuden arviointia

Ennustemalleilla tehtyjen toimenpidetestien vaikutusten suunta mm. suorite- ja kulkumuotomuutosten osalta näyttää loogiselta. Muutosten suunta liikennevirroissa näyttää myös loogiselta. Hyvää vertailukohtaa vaikutusten suuruudesta ei kuitenkaan ole, koska valtakunnallisia liikennemalleja ja niiden tuloksia erityyppisissä toimeksiannoissa ei ole ollut käytössä yli viiteentoista vuoteen. Tilanne on huomattavasti hankalampi kuin kaupunkiseutujen mallien kehittämisessä, joiden prosesseissa on usein ehtinyt käytännön arvioinneissa kertyä paljon kokemuksia vanhempien sukupolvien mallien toimivuudesta.

Muutosten tason arviointi on tästä syystä melko vaikeaa muuten kuin esimerkiksi vertailemalla testien joustoja kirjallisuuteen. Joustolla tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan mallin ennustaman vaikutuksen prosentuaalisen muutoksen suhdetta sen aiheuttaman mallin parametrin prosentuaalisen muutokseen. Esimerkiksi jos ajamisen hinta nousee 10 prosenttia ja malli ennustaa suoritteiden yhden prosentin laskun, jousto on $-0,1$.

Seuraavassa on verrattu testien joustoarvioita kattavaan joustoja käsittelevään kansainväliseen kirjallisuuskatsaukseen (Litman 2012). Kirjallisuuteen vertaamisen eräs ongelma liittyy usein jo puuttuvaan tietoon siitä, mistä prosentuaalinen muutos on laskettu, esimerkiksi onko autoliikenteen hinnat verollisia vai eivät. Eri maiden tulo- ja kustannustasot luonnollisesti vaihtelevat myös kokonaisuutena, eivätkä kaupunkiliikenteen ja pitkämatkaisen liikenteen joustot ole kirjallisuuden mukaan samoja. Joustot muuttuvat, kun tarkastelujakson pituus muuttuu, sillä matkustajilla on tällöin useampia mahdollisuuksia reagoida muutokseen. Siksi joustojen vertailu voidaan tehdä vain karkealla tasolla.

Yksilömallin ajokustannuksen suoritejoustot olivat $0,5-0,6$ luokkaa riippuen muutoksen suuruudesta. Yksilömalli on luonteeltaan enemmän pitkän aikavälin ennustemalli, koska sen osamallien sovituksen yhteydessä on otettu huomioon pidemmällä aikavälillä tapahtuvia kysyntämekanismia, esimerkiksi tulosasojen vaikutukset matkojen määriin, suuntautumiseen ja autonomistukseen. Malli huomioi myös kaupunkiliikennettä ennustemallia paremmin, jossa joustot ovat suurempia. Kirjallisuudessa pitkän aikavälin joustojen viitataan olevan 2-3 kertaa lyhyitä joustoja suurempia, luokkaa $0,2-0,7$.

Ennustemallin moottoritietestissä automatkojen keskimääräinen kesto lyheni $0,6$ %. Henkilösuorite kasvoi puolestaan $0,3$ %. Suoritteiden matka-ajan joustoksi saatiin näin ollen $-0,46$. Kirjallisuudessa lyhyen aikavälin suoritejoustot vaihtelevat tyypillisesti $-0,3$ ja $-0,7$ välillä ja pitkän aikavälin $-0,7$ ja -1 välillä. Ennustemalli on luonteeltaan lyhyen aikavälin malli, koska se muuttaa vain kulkumuodon ja reitin valintaa.

Bussin hinnan alennustestissä kilometrikohtainen hinta laskee 24 % ja matkustajamäärä nousee noin 5 %. Jousto on $-0,2$. Kirjallisuudessa matkustajamäärän lyhyen aikavälin joustot vaihtelevat $-0,2$ ja $-0,6$ välillä. Joukkoliikenteen joustoihin vaikuttavat useat tekijät, mm. matkan ajankohta. Nousevien hintojen joustot ovat korkeampia kuin laskevien. USA:ssa on mitattu korkeampia joustoja kuin Britannissa.

Ajokustannusten muutoksen joustoksi osoittautui tieliikenteen hinnoittelutesteissä hieman yli $-0,1$. Kirjallisuudessa autoliikenteen lyhyen aikavälin hinnan suoritejoustot vaihtelevat tyypillisesti $-0,02$ ja $-0,25$ välillä.

Mallien voi tehtyjen testien pohjalta todeta reagoivan kirjallisuuden perusteella kohtuullisen normaalisti erilaisten tekijöiden muutoksiin.

