

33

.....
27.12.2011

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6 A
PL 100, 00077 HSL00520 Helsinki
puhelin (09) 4766 4444
www.hsl.fi

Lisätietoja: Timo Elolähde, (09) 4766 4269
Marko Vihervuori, (09) 4766 4382
etunimi.sukunimi@hsl.fi

Kansikuva: HSL / Lauri Eriksson

Edita Prima Oy
Helsinki 2011

Esipuhe

HSL:n ylläpitämää Helsingin seudun liikenne-ennustejärjestelmää on hyödynnetty mm. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (HLJ 2011) laadinnassa ja sen osaselvityksissä, maankäyttö- ja verkkoselvityksissä, tie- ja joukkoliikenteen hinnoitteluselvityksissä sekä erilaisissa hanketason tarkasteluissa. Merkittävin vuosien 2010–2011 käyttökohde on ollut Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma (HLJ 2011) ja sen vaikutusarviot. Liikenne-ennustejärjestelmä otettiin käyttöön keväällä 2010.

Helsingin seudun työssäkäyntialueen sisäisen liikenteen kysyntämallit on uudistettu 2007–2008 tehdyn Laajan liikennetutkimuksen (LITU 2008) aineistojen pohjalta. Laaja liikennetutkimus jakaantui seuraaviin osatutkimuksiin:

- Henkilöhaastattelututkimus eli Liikkumistutkimus (kenttätöitä syksyynä 2007–2008)
- Joukkoliikenteen määräpaikkatutkimus (syksy 2008)
- Ajoneuvoliikenteen määräpaikkatutkimus (syksy 2008)
- Liityntäpysäköintitutkimus (syksy 2008).

Liikenne-ennustemallien kehitystyötä on ohjannut liikennemallien ja -ennusteiden ylläpitöryhmä (Myllä), johon työn eri vaiheissa ovat kuuluneet (suluissa mahdollinen työnaikainen aiempi organisaatio):

Raimo Valtanen	HSL (YTV), puheenjohtaja
Petri Blomqvist	Helsinki
Jussi Hackman	Vantaa
Heikki Hälvä	Helsinki
Hannu Kangas	HSL (YTV)
Nina Karasmaa	HSL (YTV)
Jukka-Matti Laakso	Tuusula
Harri Lahelma	Liikennevirasto (Ratahallintokeskus)
Hanna Linna-Varis	Porvoo
Aulis Palola	Espoo
Pekka Rätty	HSL (Tiehallinto, Uudenmaan tiepiiri)
Pirjo Salo	Vantaa
Petri Suominen	Espoo
Hannu Siitonen	Uudenmaan liitto
Leena Viilo	Vantaa
Erkki Vähätörmä	Uudenmaan liitto (Itä-Uudenmaan liitto)
Timo Elolähde	HSL (YTV), sihteeri

Liikennejärjestelmämallien tekoon ovat osallistuneet myös Markku Huotari, Irene Muotka ja Mervi Vatanen HSL:stä.

Tässä julkaisussa esitellään koko liikenne-ennustemallijärjestelmä ja se koostuu neljästä osasta. Julkaisun ovat HSL:ssä toimittaneet Timo Elolähde, Pekka Rätty, Marko Vihervuori ja Hannu Kangas.

Julkaisun eri osat ovat kirjoittaneet:

A Henkilöliikennemallit (HELMET)

Virpi Pastinen, Annika Rantala, Hannu Lehto, Samuel Tuovinen ja Paula Leppänen (WSP Finland Oy)

Hannu Pesonen, Jyrki Rinta-Piirto, Paavo Moilanen ja Antti Rahiala (Strafica Oy)
Jari Kurri (Aalto-yliopisto)
Timo Elolähde ja Pekka Rätty (HSL)

B Tavaraliikenteen kysyntämatriisit

Miikka Niinikoski (Strafica Oy)

C Liikennejärjestelmämallit

Juho Blummè (Matrex Oy)
Markus Holm ja Matti Keränen (Trafix Oy)
Hannu Pesonen (Strafica Oy)
Timo Elolähde (HSL)

D Liikennejärjestelmän viivytysfunktiot

Matti Keränen (Trafix Oy)
Hannu Pesonen (Strafica Oy)

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne			
Toimittajat: Timo Elolähde, Pekka Rätty, Marko Vihervuori ja Hannu Kangas		Päivämäärä 27.12.2011	
Julkaisun nimi: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010			
Rahoittajat / Toimeksiantajat: Helsingin seudun liikenne, Liikennevirasto, Uudenmaan ELY-keskus, Liikenne- ja viestintäministeriö			
Tiivistelmä:			
Tässä julkaisussa kuvataan Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmää, johon kuuluvat sekä kysyntä- että tarjontamallit. Helsingin seudun työssäkäyntialueella tarkoitetaan tässä laajaa 37 kunnan (2007 kuntajaolla) aluetta, johon kuuluvat pääkaupunkiseudun lisäksi koko muu Uudenmaan maakunta (ml. entinen Itä-Uudenmaan maakunta) ja Riihimäen seutukunta. Suurimpien liikennevirtojen kuvaamisessa on hyödynnetty neliporrasmallia. A-osassa kuvattu henkilöliikenteen mallijärjestelmä koostuu 1) pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien (muodostavat yhdessä Helsingin seudun 14 kuntaa) malleista 2) ympäryskuntien (lopun tarkastelualueesta) malleista ja 3) ulkoisen (37 kuntaan nähden) liikenteen ennustemenettelystä. Liikenne-ennustemallit perustuvat Helsingin työssäkäyntialueen Laajaan liikennetutkimukseen 2007–2008 (LITU2008), jonka osatutkimuksista keskeisin tietolähde on Liikkumistutkimus, jossa saatiin tietoa noin 20 000 seudun asukkaan liikkumisesta. Ulkoisen liikenteen ennustemenettelyssä hyödynnettiin mm. määräraippatutkimuksia ja tilastoja raideliikenteen määrästä. Liikenne-ennusteiden muita tärkeitä lähtötietoja olivat väestö- ja maankäyttötiedot sekä liikenteensijoitteluohjelmasta saatavat vastusmuuttujien (matka-aika, etäisyys, kustannus) arvot, jotka kuvaavat matkan ominaisuuksia eri kulkutapoja käyttäen. Tuotosmallit koostuvat tuotoskertoimista (matkaa/asukas/aikajakso). Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden malleissa matkat on jaettu tarkoituksen mukaan kuuteen ryhmään. Kulkutapa- ja suuntautumismallit ovat logittimalleja. Kulkutapavaihtoehtoja on kolme: kävely tai pyöräily, joukkoliikenne ja henkilöauto (kuljettajana tai matkustajana). Ympäryskuntien malleissa noudatetaan samankaltaista periaatetta, mutta matkaryhmiä on vain kaksi ja kulkutapavaihtoehtoja kaksi (henkilöauto ja joukkoliikenne). B-osassa kuvataan menettelyä, jolla tavaraliikenteen nykytilan kysyntämatriisi koostettiin ensin olemassa olevista matriisiaineistoista ja muunnettiin sitten kasvukertoimilla ennustetilanteen mukaiseksi matriisiksi. Tieto kuorma-autoliikenteen määrästä tarvitaan liikenneverkon pohjakuormitukseksi, jotta henkilöliikenne saataisiin sijoiteltua oikein verkolle. C-osassa kuvataan Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennejärjestelmästä tehtyjä tarjontamalleja. Niissä sekä auto- että bussiliikenne on kuvattu samalle katu- ja tieverkolle. Kuvaukset sisältävät myös raitiovaunu-, metro- ja lähijunaliikenteen sekä koko työssäkäyntialueen linja-auto- ja kaukojunaliikenteen. Kuvauksista saatiin mm. matka-aikatietoja kysyntämallityön lähtöaineistoiksi. Lisäksi ne muodostivat pohjan Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelmassa (HLJ 2011) käytetyille ennustevuosien (2020, 2035 ja 2050) liikennejärjestelmämallille. D-osassa esitellään liikennemäärän ja matka-ajan välistä riippuvaisuutta selittävät funktiot, jotka laadittiin sekä ajoneuvosijoittelun että joukkoliikenteen sijoittelun tarpeisiin.			
Avainsanat: liikenne-ennuste, kysyntämalli, tarjontamalli, neliporrasmalli, logittimalli, matkaryhmä, kulkutapa, viivytysfunktio			
Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 33/2011			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-124-7 (nid.)	Kieli: Suomi	Sivuja: 220
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-125-4 (pdf)		
HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444			

Sammandragssida

Utgivare: HRT Helsingforsregionens trafik			
Redigerad av: Timo Elolähde, Pekka Rätty, Marko Vihervuori och Hannu Kangas			Datum 27.12.2011
Publikationens titel: Trafikprognosmodellerna för Helsingforsregionen och dess pendlingsområde 2010			
Finansiär / Uppdragsgivare: Helsingforsregionens Trafik, Trafikverket, ELY-centralen i Nyland, Kommunikationsministeriet			
Sammandrag:			
I denna publikation beskrivs modellsystemet för trafikprognoser i Helsingforsregionens pendlingsområde. Till modellsystemet hör både efterfråge- och utbudsmodeller. Med Helsingforsregionens pendlingsområde avses här ett stort område med 37 kommuner (enligt kommunindelningen år 2007), som omfattar förutom huvudstadsregionen också hela resten av Nylands landskap (inklusive f.d. Östra Nylands landskap) och Regionen Riihimäki. Vid beskrivningen av de största trafikflödena har man använt sig av fyrstegsmodellen. Det i A-delen beskrivna modellsystemet består av: 1) modellerna för huvudstadsregionen och dess kranskommuner (dessa bildar tillsammans Helsingforsregionens 14 kommuner) 2) modellerna för övriga kommuner i yttre zonen av pendlingsområdet (resten av undersökningsområdet) 3) en metod för att göra prognoser för den trafik som går över gränsen för pendlingsområdet. Trafikprognosmodellerna baserar sig på Den stora trafikundersökningen i Helsingfors pendlingsområde 2007-2008 (LITU 2008), vars delundersökning Resvaneundersökningen är den viktigaste informationskällan för modellerna. Cirka 20 000 invånare deltog i resvaneundersökningen. I modellerna för den trafik som överskrider pendlingsområdets gräns använde man sig av bl.a. destinationsundersökningar och statistik om järnvägstrafiken. Andra viktiga informationskällor för trafikprognoserna var invånar- och markanvändningsstatistik samt värden för restids-, avstånds- och kostnadsvariabler från trafikplaneringsprogrammet. Värdena beskriver resornas egenskaper med olika färdmedel. Resealstringsmodellerna består av resealstringstal (resor/invånare/tidsenhet). I modellerna för huvudstadsregionens och kranskommunernas invånare har resorna indelats i sex grupper enligt resändamålet. Färdmedelsvals- och trafikfördelningsmodellerna är logitmodeller. Det finns tre färd-sättsalternativ: gång eller cykling, kollektivtrafik och personbil (som chaufför eller som medresenär). I modellerna för den yttre zonen av pendlingsområdet följer man liknande principer, men där finns det endast två resegrupper och två färdmedelsalternativ (personbil och kollektivtrafik). I B-delen beskrivs en metod med hjälp av vilken godstrafikens efterfrågematris avseende nuläget först sammanställdes på basen av befintligt matrismaterial och sedan transformerades med tillväxtkoefficienter till att motsvara prognossituationen. Uppgifter om lastbilstrafiken behövs för att bestämma trafiknätets grundbelastning, så att persontrafiken kan fördelas rätt på nätet. I C-delen beskrivs de utbudsmodeller som har gjorts för Helsingfors pendlingsområdes trafiksystem. I dem använder både bil- och busstrafiken samma gatu- och vägnät. Modellerna inkluderar också spårvagn-, metro- och lokaltågstrafiken samt buss- och fjärrtågtrafiken i hela pendlingsområdet. Tack vare trafiksystemmodellerna var det möjligt att kalkylera bl.a. restider, som användes som ingångsdata i efterfrågemodellarbetet. De bildade också en bas för trafiksystemmodellernas prognosår 2020 och 2035, som användes i Helsingforsregionens trafiksystemplan HLJ 2011. I D-delen presenteras funktioner som förklarar sambandet mellan trafikmängden och restiden i nätfördelningen. Funktionerna behövs både i bil- och kollektivtrafikens nätfördelningar.			
Nyckelord: trafikprognos, efterfrågemodell, utbudsmodell, fyrstegsmodell, logitmodell, resegrupp, färdmedel, fördröjning			
Publikationsseriens titel och nummer: HRT publikationer 33/2011			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-124-7 (nid.)	Språk: Finska	Sidantal: 220
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-125-4 (pdf)		
HRT Helsingforsregionens trafik, PB 100, 00077 HRT, tfn. (09) 4766 4444			

Abstract page

Published by: HSL Helsinki Region Transport			
Edited by: Timo Elolähde, Pekka Rätty, Marko Vihervuori and Hannu Kangas		Date of publication 27.12.2011	
Title of publication: Traffic Forecast Models for the Helsinki Region Commuting Area 2010			
Financed by / Commissioned by: HSL Helsinki Region Transport, Finnish Transport Agency, Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Uusimaa, Ministry of Transport and Communications			
Abstract:			
This publication describes the Helsinki region commuting area traffic forecasting system, which comprises both demand and supply models. In this work, Helsinki region commuting area refers to a wide area consisting of 37 municipalities (using the 2007 municipal division). The area covers the Helsinki metropolitan area, the rest of the province of Uusimaa (including the former province of Eastern Uusimaa) and Riihimäki sub-region. The greatest traffic flows have been modeled using a four-step model. The passenger traffic forecasting system described in Part A consists of 1) models for the metropolitan area and its neighboring municipalities (which together make up 14 Helsinki region municipalities), 2) models for the surrounding municipalities (rest of the study area), and 3) procedure for forecasting external traffic (external referring to areas outside the 37 municipalities). The traffic forecast models are based on the Helsinki region commuting area Extensive Traffic Survey 2007-2008 (LITU2008). The Travel Behavior Survey, which was one of the survey's sub-studies, was a key source of information providing data on the travel patterns of some 20,000 residents of the region. The external traffic forecasting procedure was based, among others, on origin-destination surveys and statistics on the volume of rail traffic. Other important initial data for traffic forecasts included population and land use data as well as explanatory variables (travel time, distance, costs) provided by traffic assignment software. The variables describe the journey characteristics on different modes of transport. Trip generation models consist of trip generation rates (number of trips per resident within a time period). In the models describing the residents of the metropolitan area and its neighboring municipalities, trips are divided into six groups according to the purpose of travel. Modal split and trip distribution models are logit models. There are three possible modes of travel: walking or cycling; public transport; and car (as driver or as passenger).The models for the surrounding municipalities follow a similar principle but there are only two trip groups and only two possible modes of travel (car and public transport). Part B describes a procedure by which the demand matrix for the current state of freight transport was first created using existing matrix data and then converted into a matrix which corresponds to the forecast situation using growth rates. Data on the volume of truck traffic is needed to form the transport network base load to allow the correct assignment of passenger traffic on the network. Part C describes the supply models developed for the Helsinki region commuting area transport system. In the models, car and bus traffic share the same street and road network. The models include also tram, Metro and commuter train services as well as coach and long-distance train services in the commuting area. The models provided, among other things, travel times used as input data for traffic demand models. They also formed the basis for the transport system models for forecast years (2020, 2035 and 2050) used in the Helsinki Region Transport System Plan (HLJ 2011). Part D sets out functions describing the dependency between traffic volume and travel time, which were developed both for the purposes of car traffic and public transport assignment.			
Keywords: Traffic forecast, demand model, supply model, four-step model, logit model, trip group, mode of travel, delay function			
Publication series title and number: HSL publications 33/2011			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-124-7 (nid.)	Language: Finnish	Pages: 220
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-125-4 (pdf)		
HSL Helsinki Region Transport, P.O.Box 100, 00077 HSL, tel. +358 (0) 9 4766 4444			

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010

- A** Henkilöliikennemallit (HELMET)
- B** Tavaraliikenteen kysyntämatriisit
- C** Liikennejärjestelmämallit
- D** Liikennejärjestelmän viivytysfunktiot

Henkilöliikennemallit (HELMET)



Tiivistelmäsiivu

Työssä laadittiin Helsingin seudun työssäkäyntialueen henkilöliikenteen kysyntämallit (HELMET), jotka ovat osa alueen liikenne-ennustejärjestelmää. Helsingin seudun työssäkäyntialueella tarkoitetaan tässä laajaa aluetta, johon kuuluvat pääkaupunkiseudun lisäksi koko muu Uudenmaan maakunta (ml. entinen Itä-Uudenmaan maakunta) ja Riihimäen seutukunta. Erityisen haasteen mallijärjestelmän rakentamiselle toikin mallialueen laajentaminen pääkaupunkiseudulta koko Helsingin seudun työssäkäyntialuetta koskevaksi.

Henkilöliikenteen ennustemallijärjestelmä koostuu 1) Helsingin seudun (eli pääkaupunkiseudun ja 10 kehyskunnan) malleista 2) ympäryskuntien malleista ja 3) ulkoisen liikenteen ennustemenetelystä. Mallijärjestelmissä on suurimpien liikennevirtojen kuvaamisessa hyödynnetty neliporrasmallia. Työhön kuuluivat matkatuotos-, kulkutapa- ja suuntautumismallien selittävien muuttujien muodostaminen, mallien estimointi ja mallien testaaminen. Testauksiin sisältyi tilastollisia testejä, nykytilanteen ennuste ja erilaisia liikennejärjestelmän muutostilanteiden testauksia.

Mallit perustuvat Helsingin työssäkäyntialueen liikkumistutkimukseen 2007–2008, jossa saatiin tietoa noin 20 000 seudun asukkaan liikkumisesta yhden syysvuorokauden aikana. Ulkoisen liikenteen ennustemenetelystä on hyödynnetty Valtakunnallista määräpaikkatutkimusten yhdistelmää 2001 ja tilastotietoja raideliikenteen määrästä.

Liikenne-ennusteiden muita tärkeitä lähtötietoja ovat väestö- ja maankäyttötiedot sekä liikenteensijoitteluohjelmasta saatavat vastusmuuttujien (matka-aika, etäisyys, kustannus) arvot, jotka kuvaavat matkan ominaisuuksia eri kulkutapoja käyttäen. Työn yhteydessä vertailtiin myös erilaisia joukkoliikennesijoittelun painokertoimia, jotka ohjaavat sijoittelualgoritmin toimintaa ja määräävät siten, kuinka suuria arvoja kulkutapamallien selittäjinä käytettävät vastusmuuttujat, kuten kokonaismatka-aika ja vaihtojen määrä, saavat.

Tuotosmalleissa se, kuinka paljon matkoja tehdään, on kuvattu ns. tuotoskertoimilla (matkaa/asukas/aikajakso). Tuotoskertoimet on saatu ristiintaulukoimalla tehtyjen matkojen määrät liikkumiseen vaikuttavien tekijöiden suhteen (ikä ja henkilöauton käyttömahdollisuus). Tuotoskertoimia sovelletaan asuinpaikan väestörakenteen mukaan.

Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden malleissa matkat on jaettu tarkoituksen mukaan kuuteen ryhmään: 1) kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat, 2) kotiperäiset koulumatkat, 3) kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat, 4) kotiperäiset muut matkat, 5) työperäiset matkat ja 6) muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat. Kotiperäiset ostosmatkat ovat kulkutapa- ja suuntautumismallien osalta samat kuin kotiperäisten muiden matkojen mallit. Kulkutapa- ja suuntautumismallit ovat logittimalleja, mutta koulumatkojen kulkutapajakauma määritetään kuitenkin etäisyysjakauman avulla. Kulkutapavaihtoehtoja on kolme: kävely tai pyöräily, joukkoliikenne ja henkilöauto (kuljettajana tai matkustajana). Ympäryskuntien malleissa noudatetaan samankaltaista periaatetta, mutta matkaryhmiä on vain kaksi (työmatkat ja muut matkat) ja kulkutapavaihtoehtoja samoin kaksi (henkilöauto ja joukkoliikenne).

Erityyppisiä mallirakenteita ja muuttujia kokeiltiin sadoissa eri estimointiajoissa. Lopulliset muuttujavaliinnat ovat näiden testien tuloksia. Tuotos-, kulkutapa- ja suuntautumismallien lisäksi ennusteprosessi sisältää henkilöauton omistuksen ja käytön apumallit sekä huipputuntikertoimien apumallit.

Oleellisimmat erot aiempaan mallijärjestelmään nähden ovat seuraavat: 1) järjestelmä on laajennettu pääkaupunkiseudulta kattamaan koko Helsingin seudun työssäkäyntialueen, 2) joukkoliikennettä selitetään painotetulla kokonaismatka-ajalla, jolloin erot matkan eri osien matkustusmukavuudessa tulevat esille, 3) raideliikenteen käsittelylle osana muuta joukkoliikennettä on nyt löydetty suhteellisen perusteltu menettely painotetun kokonaismatka-ajan myötä, 4) tuotosmallit perustuvat puhtaasti väestörakenteellisiin tekijöihin, 5) työperäiset matkat on mallinnettu omana kokonaismatkana ja 6) autonomistuksen malli on lisätty mallijärjestelmään.

Sammandragssida

Som en del av arbetet med trafikprognossystemet för Helsingforsregionens pendlingsområde konstruerades modeller för persontrafikefterfrågan (s.k. HELMET-modellerna). Helsingforsregionens pendlingsområde betyder i det här fallet det större området som består förutom av huvudstadsregionen också av det övriga Nylands landskap (inklusive f.d. Östra Nylands landskap) och regionen Riihimäki. Det var speciellt utmanande att konstruera modellsystemet för hela pendlingsområdet när man tidigare betraktade endast huvudstadsregionen.

Trafikprognossystemet för persontrafik består av 1) modellerna för Helsingforsregionen d.v.s. huvudstadsregionen och dess 10 kranskommuner, 2) modellerna för övriga kommuner i yttre zonen av pendlingsområdet och 3) en metod för att göra prognoser för den trafik som går över gränsen för pendlingsområdet. Fyrstegsmodellen har använts i modellsystemet för att karakterisera de största trafikflödena. Arbetet inkluderade konstruktion av förklarande variabler för resealstrings-, färdmedelsval- och trafikfördelningsmodellerna samt estimering och testning av modellerna. Testningen innehöll statistiska tester, prognostisering av nuläget och tester av olika förändringar i trafiksystemet.

Modellerna baserar sig på Resvaneundersökningen i Helsingforsregionens pendlingsområde 2007–2008, där ungefär 20 000 invånare svarade på frågor om sina resor under en höstdag. I metoden för att göra prognoser för den trafik som överskrider gränsen för pendlingsområdet användes information från riksomfattande destinationsundersökningar år 2001 samt från statistik om järnvägstrafiken.

Andra viktiga informationskällor för trafikprognoserna var invånar- och markanvändningsstatistik samt värden för restids-, avstånds- och kostnadsvariabler från trafikplaneringsprogrammet. De beskriver resornas egenskaper med olika färdmedel. I arbetet jämfördes också olika viktcoefficients i nätfördelningen av kollektivtrafik. Dessa koefficienter styr nätfördelningsalgoritmen och bestämmer hur stora värden t.ex. den totala restiden och antalen byten, som användes som förklarande variabler i färdmedelsvalet, kan få.

Resealstringsmodellerna bestämmer resornas totala antal. Resealstringstalen (antalet resor per invånare per tidsenhet), har fått från korstabeller mellan antalet gjorda resor och några faktorer som påverkar reseaktiviteten, t.ex. ålder och möjlighet att använda bil. Resealstringstalen används enligt bostadsområdets befolkningsstruktur.

I modellerna för Helsingforsregionens invånare har resorna indelats i sex ärendegrupper enligt reseändamålet: 1) bostadsbaserade arbets- och studieresor, 2) bostadsbaserade skolresor, 3) bostadsbaserade inköps- och serviceresor, 4) andra bostadsbaserade resor, 5) arbetsbaserade resor och 6) resor som baserar sig på varken bostad eller arbetsplats. Bostadsbaserade inköpsresor och andra bostadsbaserade resor har gemensamma färdmedelsval- och trafikfördelningsmodeller. Alla färdmedelsval- och trafikfördelningsmodeller är logitmodeller med undantag av skolresor, vars färdmedelsval bestäms med hjälp av avståndsdistributionen. Det finns tre alternativa färdmedel: gång eller cykel, kollektivtrafik och personbil (som förare eller passagerare). I modellerna för den yttre zonen av pendlingsområdet är principen densamma, men där finns det bara två ärendegrupper (arbetsresor och andra resor) och två färdmedelsalternativ (kollektivtrafik och personbil).

Olika modellstrukturer och variabler testades genom att köra hundratals estimeringar. Det slutliga urvalet av variabler är resultatet av dessa tester. Prognossystemet innehåller inte bara resealstrings-, färdmedelsval- och trafikfördelningsmodeller men också hjälpmodeller för innehav och användningsmöjlighet av personbil samt för maxtifaktorer.

De väsentligaste skillnaderna i jämförelse med det tidigare modellsystemet är: 1) systemet har utvidgats till att omfatta hela Helsingforsregionens pendlingsområde 2) restiden i kollektivtrafiken är viktad, så att skillnaderna mellan resebekvämligheten för olika etapper under kollektivtrafikresan kommer bättre fram 3) genom att använda den viktade totala restiden i kollektivtrafiken fann man nu en ganska väl grundad metod för behandlingen av spårtrafiken som en del av kollektivtrafiken 4) resealstringsmodellerna baserar sig enbart på befolkningsstrukturen 5) arbetsbaserade resor har sina egna modeller och 6) bilinnehavsmodellen har inkluderats i modellsystemet.

Abstract page

In this work, demand models (so called HELMET models) were developed for Helsinki region commuting area passenger traffic. The models are part of the region's traffic forecasting system. In the study, the Helsinki region commuting area refers to a wide area which comprises the Helsinki metropolitan area, the rest of the province of Uusimaa (including the former province of Eastern Uusimaa) and Riihimäki sub-region. One of the major challenges in creating the model system was expanding the model area to cover the entire Helsinki region commuting area instead of just the metropolitan area as in the previous models.

The passenger traffic forecasting system consists of 1) models for the metropolitan area and its neighboring municipalities, (i.e. 14 Helsinki region municipalities), 2) models for the surrounding municipalities (the Outer Ring, i.e. 23 municipalities outside the Helsinki region), and 3) procedure for forecasting external traffic. The greatest traffic flows have been modelled using a four-step model. The work included establishing explanatory variables for trip generation, modal split and trip distribution as well as model estimation and testing. Testing included statistical tests, forecast of the present situation and testing of different changes in the transport system.

The models are based on the Helsinki Region Commuting Area Travel Behaviour Survey 2007–2008, which provided information on the trips of some 20,000 respondents from among the residents of the region on an autumn day. The external traffic model is based on data from the combination of national origin-destination surveys 2001 and on statistics on the volume of rail traffic.

Other important initial data for traffic forecasts included population and land use data as well as explanatory variables provided by traffic assignment software (travel time, distance, costs), which describe the characteristics of journeys made by different modes of transport. The modelling process included testing of different weighting coefficients for public transport assignment. The weighting coefficients control the assignment algorithms and thus determine what kind of values the explanatory variables used to explain travel patterns, such as travel times and number of interchanges, are assigned.

In trip generation models, the number of trips made is described using so called trip generation rates (number of trips per inhabitant within a time period). They were obtained by cross-tabulating the number of trips generated with factors that affect the people's travel patterns (age and possibility to use car). The trip generation rates vary according to the local population structure.

In the models describing the residents of the metropolitan area and its neighboring municipalities, trips are divided into six groups according to the purpose of travel: 1) home-based work and education trips, 2) home-based school trips, 3) home-based shopping and personal business trips, 4) other home-based trips, 5) work-based trips, and 6) non-work or non-home-based trips. The modal split and trip distribution models of home-based shopping and personal business trips are the same as those of other home-based trips. Modal split and trip distribution models are logit models. However, the modal split of school trips is determined using distribution of trip lengths. There are three possible modes of travel: walking or cycling; public transport; and car (as driver or as passenger). The models for the surrounding municipalities follow a similar principle but there are only two trip groups (work trips and other trips), and only two possible modes of travel (car and public transport).

Different model structures and variables were tested in hundreds of different estimations. The final set of variables is the result of these tests. In addition to the trip generation, modal split and trip distribution models, the forecasting process includes auxiliary models for car ownership and use as well as for peak hour rates.

The key differences in comparison to the previous model system are: 1) the system has been expanded to cover the entire Helsinki region commuting area instead of just the metropolitan area; 2) public transport is described by weighting the total travel time so as to display the variation in travel comfort during different stages of the trip; 3) thanks to the weighted total travel time, there is now a reasonable procedure for processing rail transport as part of public transport; 4) the trip generation models are based purely on demographic factors; 5) work-based trips are modelled as a separate group, and 6) a car ownership model has been added to the model system.

Sisällysluettelo

Käsitteet	11
1 Johdanto	27
1.1 Tavoite ja käytetty aineisto	27
1.2 Mallijärjestelmän yleisesittely	28
1.3 Ennustejärjestelmä	29
1.4 Testatut mallivaihtoehdot pääpiirteittäin ja perustelut valitulle järjestelmälle	30
1.4.1 Mallijärjestelmä kokonaisuutena	30
1.4.2 Helsingin seudun mallit	31
2 Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien mallit	37
2.1 Mallialue	37
2.2 Mallijärjestelmän yleiskuvaus	37
2.3 Tuotosmallit	39
2.3.1 Mallin kuvaus	39
2.3.2 Lähtöaineisto tuotosmalleja käytettäessä	40
2.3.3 Matkojen lähtöpaikan määrittäminen	41
2.4 Kulikutapa- ja suuntautumismallit	44
2.4.1 Mallien estimointi	44
2.4.2 Mallien kuvaus	45
2.4.3 Lähtöaineisto kulikutapa- ja suuntautumismalleja käytettäessä	52
3 Ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen mallit	53
3.1 Mallialue	53
3.2 Mallijärjestelmän yleiskuvaus	53
3.3 Ympäryskuntien malli	53
3.3.1 Tuotokset	53
3.3.2 Kulikutavan valinta	54
3.3.3 Matkamäärät	55
3.4 Ulkoisen liikenteen malli	58
4 Apumallit	59
4.1 Autonomistumsmalli	59
4.2 Henkilöauton pääasiallisen käytön malli	61
4.3 Jako henkilöauton kuljettajiin ja matkustajiin	62
4.4 Huipputuntikertoimet	63
4.5 Generaatio–attraktio-suunnattujen matriisien kääntö	63
4.6 Jakoluvut	64
5 Ennustetestit	66
5.1 Tavoite ja tutkitut vaihtoehdot	66
5.2 Nykytilanteen ennuste	66
5.3 Ennuste vuodelle 2035	69
5.4 Vanhan ja uuden mallijärjestelmän vertailutestit	72
6 Ennusteiden laadinta	74
6.1 Ennusteprosessi	74
6.1.1 Yleistä	74
6.1.2 Ennusteen iterointitarve	75
6.1.3 Helsingin seudun mallien ennusteprosessi	75
6.1.4 Ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen ennusteprosessi	77
6.2 Eräiden lähtötietojen muodostamisesta	77
6.2.1 Joukkoliikennelipun tai autoilun hintamuutokset	77
6.2.2 Joukkoliikenteen nopeuttaminen	77
6.2.3 Ruuhkamaksu	77
6.2.4 Väestö- ja maankäyttötiedot	78

Kuvaluettelo

Kuva 1.	Kantakaupunki ja siihen kuuluvat ennustealueet.	15
Kuva 2.	Helsingin seudun työssäkäyntialue (kuntajako 2007).	28
Kuva 3.	Esimerkki matkaketjusta joukkoliikenteellä.	32
Kuva 4.	Helsingin seudun sisäisen liikenteen nelivaiheinen liikenne-ennusteprosessi.	37
Kuva 5.	Matkaryhmien osuudet Helsingin seudulla arkena.	38
Kuva 6.	Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien seitsemän vuotta täyttäneiden asukkaiden matkojen koko vuorokauden tuotosluvut Helsingin seudulla arkena.	40
Kuva 7.	Kotiperäisten koulumatkojen pituusjakaumat kulkutavoittain pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden matkoille erikseen.	48
Kuva 8.	Autonomistuksen ja ruokakuntien tulotason suhde.	59
Kuva 9.	Joukkoliikenteen kuormittuminen, ennuste 2008, aamuhuipputunti.	68
Kuva 10.	Tieliikenneverkon kuormittuminen, ennuste 2008, aamuhuipputunti.	68
Kuva 11.	Joukkoliikenteen kuormittuminen, testiennuste 2035, aamuhuipputunti.	71
Kuva 12.	Tieliikenneverkon kuormittuminen, testiennuste 2035, aamuhuipputunti.	71
Kuva 13.	Ennusteprosessin pääkohdat.	74
Kuva 14.	Helsingin seudun ennusteiden laadinnan pääkohdat.	76
Kuva 15.	Matkatuotoksen keskiarvo eri-ikäisille henkilöille vuoden 2007 henkilöhaastatteluaineistossa arkivuorokautena (ma-to).	83

Taulukkoluetelo

Taulukko 1.	Arkivuorokausiliikenteen ja koko vuoden keskimääräisen vuorokausiliikenteen suhteet	11
Taulukko 2.	Helsingin seudun työssäkäyntialueen henkilöliikennemallien osat.	29
Taulukko 3.	Kulikutapaosuudet Helsingin seudulla.....	38
Taulukko 4.	Matkojen suuntautuminen Helsingin seudulla arkena.	39
Taulukko 5.	Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät vuorokaudessa asukasta ja työpaikkaa kohden matkojen lähtöpaikasta laskien.....	43
Taulukko 6.	Kotiperäisten matkojen malleissa käytetyt muuttajat.....	45
Taulukko 7.	Muiden kuin kotiperäisten matkojen malleissa käytetyt muuttajat.....	46
Taulukko 8.	Kotiperäisten työ- ja opiskelumatkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.	47
Taulukko 9.	Kotiperäisten koulumatkojen suuntautumismallin kertoimet.....	48
Taulukko 10.	Kotiperäisten muiden matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.....	49
Taulukko 11.	Työperäisten matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.....	50
Taulukko 12.	Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.....	51
Taulukko 13.	Tuotosluvut ympäryskuntien asukkaiden matkoille.	53
Taulukko 14.	Ympäryskuntien kulkutapamallit.	55
Taulukko 15.	HAP-osuudet henkilön ikäryhmän ja ruokakunnan autonomistuksen mukaan.	62
Taulukko 16.	Henkilöauton keskikuormitukset Helsingin seudulla matkaryhmittäin ja eri ajankohtina (Helsingin seudun asukkaat).....	62
Taulukko 17.	Henkilöauton keskikuormitukset ympäryskunnissa matkaryhmittäin ja eri ajankohtina.....	63
Taulukko 18.	Huipputuntien ja päiväliikenteen keskituntin osuudet ajankohdan muusta vastaavan kulkutavan liikenteestä Helsingin seudulla (Helsingin seudun asukkaat).	63
Taulukko 19.	Jakolukujen laskennassa käytetyt matkatuotosluvut.	64
Taulukko 20.	Matkamäärät, nykytilanteen (2008) testiennuste.....	67
Taulukko 21.	Matkamäärät, vuoden 2035 testiennuste.	70
Taulukko 22.	Ruuhkamaksun vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.....	72
Taulukko 23.	Seutulipun hinnan noston vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.	73
Taulukko 24.	Bussijärjestelmän vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.....	73
Taulukko 25.	Sijoittelu- ja ennustepankin sisältö pääpiirteittäin.	75
Taulukko 26.	Pysäköintikustannukset matkaa kohden kotiperäisillä työmatkoilla 2008.	82
Taulukko 27.	Pysäköintikustannukset matkaa kohden muilla kuin kotiperäisillä työmatkoilla 2008.	82
Taulukko 28.	Pääkaupunkiseudun asukkaiden tekemien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden.....	86
Taulukko 29.	Kehyskuntien asukkaiden tekemien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden.	87
Taulukko 30.	Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä työ- ja opiskelumatkoilla.	88
Taulukko 31.	Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä koulumatkoilla.	88
Taulukko 32.	Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä ostos- ja asiointimatkoilla.....	89
Taulukko 33.	Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä muilla matkoilla.	89
Taulukko 34.	Työpaikalta poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina työperäisillä matkoilla.....	90

Liiteluettelo

- Liite 1. Joukkoliikennekustannukset.
- Liite 2. Henkilöautomatkan kustannukset
- Liite 3. Helsingin seudun sisäisten matkojen määrän regressioanalyysi.
- Liite 4. Matkatuotokset Helsingin seudulla aamuruuhkan, iltaruuhkan sekä päivä-, ilta- ja yöliikenteen aikaan, 7 vuotta täyttäneet.
- Liite 5. Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden matkojen lähtöpaikasta laskien Helsingin seudulla.
- Liite 6. Generaatio–attraktio-suunnattujen matkojen kääntötarve eri ajankohtina Helsingin seudulla.
- Liite 7. Estimoinneissa käytetyt väestö- ja työpaikkamäärät.
- Liite 8. Autonomistumallin muuttujat ennustealueittain.
- Liite 9. Vastusten laskenta.

Käsitteet

Aamuhuipputunti (AHT)

Aamuhuipputunnilla tarkoitetaan tässä klo 7:15–8:14 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja. Tänä ajankohtana liikennemäärien on perinteisesti ajateltu olevan korkeimmillaan arkiamuina. Käytännössä liikenteen huipun ajankohdat vaihtelevat kuitenkin kulkutavoitain ja liittymä- tai asemaväleittäin.

Aamuruuhka

Aamuruuhkalla tarkoitetaan tässä kolmen tunnin ajanjaksolla klo 6:00–8:59 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja.

Aggregoida

Sana aggregoida on synonyymi sanalle yhdistää. Ennustejärjestelmässä tätä tarvitaan muutettaessa tiheässä sijoittelualuejaossa olevia matriiseja karkeampaan ennustealueja-koon. Matkamäärät aggregoidaan summaamalla, vastukset laskemalla niistä painotettu keskiarvo.

Ajankohdan liikenne

Määrätyn ajankohdan liikenteellä tarkoitetaan tänä ajankohtana alkavien matkojen määrää.

Arkivuorokausiliikenne

Helsingin seudun työssäkäyntialueen mallit on laadittu keskimääräiselle maanantain ja torstain väliselle arkivuorokausiliikenteelle. Täsmällisesti arkivuorokaudella tarkoitetaan keskimääräistä klo 04:00 – klo 03:59 välistä 24 tunnin jakson liikennettä maanantai aamu-yön ja perjantai aamuyön välillä syys-marraskuussa. Kellonajat ovat matkan alkamisaikoja minuutin tarkkuudella.

Seuraavassa taulukossa on esitetty, miten syksyn arkivuorokausiliikenne poikkeaa koko vuoden keskimääräisestä liikenteestä Valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen (HLT) 2004–2005 mukaan Helsingin seudun työssäkäyntialueella.

Taulukko 1. Arkivuorokausiliikenteen ja koko vuoden keskimääräisen vuorokausiliikenteen suhteet.

	kevyt- liikenne	joukko- liikenne	henkilö- auto	muut
kerroin syksyn keskivuorokausi- liikenteelle (KVL)	0,98	0,80	0,93	0,89
kerroin koko vuoden keskivuorokausi- liikenteelle (KVL)	0,90	0,72	0,83	1,11

Aseman vaikutusalue

Aseman vaikutusalueella tarkoitetaan tässä ennustealuetta, jolla asema sijaitsee. Tietoa käytetään kehyskunnissa HSL:n alueen ulkopuolella joukkoliikennekustannusten arviointiin. Mikäli lähtö- tai määräpaikka sijaitsee samalla ennustealueella kuin juna-asema, oletetaan, että liityntämatkaan liittyviä kustannuksia ei matkan kyseiseltä osalta tule.

Attraktio

Attraktiolla tarkoitetaan matkojen suuntautumismallien yhteydessä määrätyn alueen houkuttelevuutta määräpaikkana.

Autoistumisaste

Autoistumisasteella tarkoitetaan tässä autojen määrää tuhatta asukasta kohti. Käytetään myös termiä autotiheys. Tässä työssä autoistumisasteet on laskettu YKR:stä saatujen asutokuntien autonomistustietojen perusteella, joten työsuhteautot puuttuvat luvuista.

Autonomistus

Autonomistuksella tarkoitetaan ruokakuntien jakautumista autottomiin, yhden auton ja kahden tai useamman auton talouksiin. Tässä työssä on otettu huomioon vain YKR:stä saadut asutokuntien omistamat henkilöautot eli työsuhteautot puuttuvat luvuista.

Auton käyttömahdollisuus

Henkilö luetaan henkilöauton pääasiallinen käyttäjäksi (HAP), jos kotitaloudella on oma tai työsuhteauto, henkilöllä on ajokortti, hän on täysi-ikäinen ja hän on ilmoittanut liikkumistutkimuksessa, että hänellä on henkilöauto käytössään aina tai lähes aina. Muista henkilöistä käytetään lyhennettä EHAP eli Ei-HenkilöAuton-Pääasiallinen käyttäjä. Pakettiautoja ei ole sisällytetty tähän määritelmään.

Binäärimuuttuja

Binäärimuuttujalla tarkoitetaan muuttujaa, joka voi saada arvon nolla tai yksi. Binäärimuuttujista käytetään usein muissa yhteyksissä myös nimitystä 0/1-muuttuja tai dummy-muuttuja. Sen kerrointa kutsutaan vaihtoehtokohtaiseksi vakioksi. Binäärimuuttujat ovat luonteeltaan luokittelumuuttujia, joilla halutaan testata jonkin ilmiön olemassaoloa. Binäärimuuttujaa käytetään tyypillisesti ilmaisemaan esimerkiksi, onko perheessä henkilöautoa (arvo yksi) vai ei (arvo nolla).

Ei-kotiperäinen matka

Matka, jonka kumpikaan pää ei ole oma koti. Tässä työssä on nämä matkat jaettu kahdeksi matkaryhmäksi: työperäiset matkat sekä muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat.

Ennustealue

Ennustealueilla tarkoitetaan maantieteellisesti rajattuja alueita, joiden välille Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennemalleilla ennustetaan liikennevirrat. Ennustealueet on numeroitu Helsingin seudun työssäkäyntialueella seuraavasti:

- 100–499: pääkaupunkiseutu
- 500–1499: kehyskunnat
- 1500–3799: ympäryskunnat.

Kaikki numerot eivät ole käytössä.

Ennustejärjestelmä

Liikenne-ennustejärjestelmään (tai lyhyemmin ennustejärjestelmään) kuuluvat mallijärjestelmän lisäksi tarvittavat lähtötiedot, joita ovat mm. liikenneverkot, joukkoliikennejärjestelmän kuvaus sekä maankäyttötiedot. Tässä ennustejärjestelmä on toteutettu Emme-liikennesuunnitteluohjelmiston koodikielellä (makroilla).

Ennustemakro

Ennustemakro on makro, jota käytetään ennusteen teossa (ks. makro).

Epälineaarinen

Epälineaarinen tarkoittaa matematiikassa systeemiä, jonka käyttäytyminen ei ole ilmaista-vissa kuvailijoidensa summana.

Alla on esimerkki muuttujan x suhteen lineaarisesta mallista, jossa y on selitettävä ilmiö, x on selittävä muuttuja sekä b ja c mallin kertoimia:

$$y = bx + c.$$

Alla on esimerkki muuttujan x suhteen epälineaarisesta mallista, jossa y on selitettävä ilmiö, x on selittävä muuttuja sekä a , b ja c mallin kertoimia:

$$y = ax^2 + bx + c.$$

Esikaupunki

Aluetta, joka on liitetty Helsinkiin 1.1.1946 jälkeen, kutsutaan esikaupungiksi (vertaa kantakaupunki). Esikaupunki koostuu ennustealueista 127–171 ja 173–174.

Estimoida

Estimoida on matemaattisessa mielessä synonyymi käsitteelle arvioida. Termiä kuitenkin käytetään usein merkityksessä määrittää mallikaavan parametreit.

Muodostetut mallit ovat tyypiltään pääosin logittimalleja. Logittimallien¹ estimoinnin lähtökohtana on niin kutsuttu suurimman uskottavuuden menetelmä² (maximum likelihood).

Generaatio–attraktio-suunnattu matka

Matka generaatioalueelta attraktioalueelle. Jos esimerkiksi asuinalue generoi keskimäärin 0,4 kotiperäistä työmatkaa yhtä työkäistä kohden vuorokaudessa ja asuinalueella on sata työkäistä asukasta, matkamatriisiin muodostuu 40 matkaa kyseiseltä asuinalueelta eri työpaikka-alueille mutta ei yhtään vastakkaiseen suuntaan, vaikka osa matkoista todellisuudessa tehdäänkin työpaikalta kotiin. Vertaa lähtöpaikka–määräpaikka-suunnattu matka.

Generoida

Generoida on synonyymi sanalle tuottaa. Käsitettä käytetään usein matkatuotosten yhteydessä, kun puhutaan alueen (yleensä asuinalueen) generoimista eli tuottamista matkoista.

Helsingin seudun työssäkäyntialue

Helsingin seudun työssäkäyntialueella tarkoitetaan tässä raportissa laajaa aluetta, johon kuuluvat pääkaupunkiseudun lisäksi koko muu Uusimaa, Itä-Uusimaa ja Riihimäen seutukunta. Työssäkäyntialueella ei viitata tässä Tilastokeskuksen käyttämään työssäkäyntialueen määritelmään.

Helsingin seutu

Helsingin seudulla tarkoitetaan tässä raportissa pääkaupunkiseutua ja kehyskuntia. Helsingin seutu kattaa kaikkiaan 14 kuntaa, jotka ovat Helsinki, Vantaa, Espoo, Kauniainen, Kirkkonummi, Vihti, Nurmijärvi, Hyvinkää, Tuusula, Kerava, Järvenpää, Mäntsälä, Pornainen ja Sipoo.

Henkilöauton pääasiallinen käyttäjä (HAP)

Ks. auton käyttömahdollisuus

Hyötyfunktio

Hyödyllä tarkoitetaan tässä yhteydessä kulkutavan tai matkakohteen valinnalla saavutettavaa hyötyä tai haittaa. Hyötyfunktio ilmaisee hyödyn matemaattisesti. Hyötyfunktio on yksikötön ilmaisu hyödyille. Hyötyteoriassa hyötyfunktion arvo yksi ilmaisee suurinta mahdollista saavutettavaa hyötyä ja arvo nolla huonointa mahdollista arvoa.

¹ Ben Akiva, 1991, Discrete Choice Analysis, The MIT Press.

² Suurimman uskottavuuden menetelmästä lisätietoja saa optimointiopin teorioista.

Logittimallien yhteydessä normeerausta ei kuitenkaan tehdä edellä kuvatulla tavalla välille 0–1, vaan hyötyfunktio voi periaatteessa saada minkä tahansa positiivisen tai negatiivisen reaalityöarvon. Normeeraavana tekijänä on oletus, että vaihtoehtojen valinnan kokonaistodennäköisyys on yksi, eli jokin valinta tehdään varmasti ja että muita vaihtoehtoja tarkastelun ulkopuolella ei ole. Logittimalleissa hyötyfunktio oletetaan myös lineaarisiksi kertoimien suhteen, jolloin tyypillinen hyötyfunktio näyttää seuraavalta (esimerkkinä henkilöauton hyötyfunktio):

$$U_{HA,i} = \beta_1 * \text{matka} - \text{aika} + \beta_2 * \log(\text{ajokustannus}) + \beta_3 * \text{pysäköintikustannus} + \beta_{HA} + \varepsilon_i$$

Esimerkissä $\beta_1 \dots \beta_3$ ovat muuttujien kertoimia, jotka suhteuttavat matka-ajan ja kustannukset hyötyarvoltaan samanarvoisiksi, ja kerroin β_{HA} on vaihtoehtokohtainen vakio (joka tässä tapauksessa on myös kulkutapakohtainen vakio), joka kuvaa henkilöauton käytön mukavuutta tai epämukavuutta suhteessa muihin vaihtoehtoihin kulkutapoihin. Sitä voidaan pitää myös binäärimuuttujan kertoimena. Virhetermi ε_i kuvaa yksilöllisiä tunnistamattomia eroja kulkutavan valinnassa. Huomaa, että vaikka hyötyfunktio onkin lineaarinen kertoimien suhteen, se ei välttämättä ole lineaarinen muuttujien suhteen (esimerkiksi muuttuja $\ln(\text{ajokustannus})$ on epälineaarinen).

Iltahuipputunti (IHT)

Iltahuipputunnilla tarkoitetaan tässä klo 16:00–16:59 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja. Tänä ajankohtana liikennemäärien on perinteisesti ajateltu olevan korkeimmillaan arki-iltoina. Käytännössä liikenteen huipun ajankohdat vaihtelevat kuitenkin kulkutavoittain ja liittymä- tai asemaväleittäin

Iltaruuhka

Iltaruuhkalla tarkoitetaan tässä kolmen tunnin ajanjaksolla klo 15:00–17:59 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja.

Iterointi

Ks. konvergoida.

Jakoluku

Suhdeluku, jolla suuren alueen tieto (esimerkiksi asukasmäärä) voidaan jakaa sen pienemmille osa-alueille. Jakolukuja tarvitaan myös, kun kahden suuren alueen välinen matkamäärä pitää jakaa niiden osa-alueiden välisiksi matkoiksi (ns. matriisin hajotus). Jakoluvut perustuvat yleensä asukas- ja työpaikkamäärästä laskettuihin suhteisiin, mutta tilanteen mukaan jakoperusteina voidaan käyttää myös muita muuttujia.

Jousto

Jousto³ tai elastisuus tarkoittaa taloustieteissä hieman asiaa yksinkertaistaen yhden muuttujan prosenttimuutosta toisen muuttujan prosenttimuutokseen nähden. Yleisemmin tarkasteltu jousto on hyödykkeen kysynnän hintajousto, mutta tarkasteltavana muuttujana voi olla vastaavasti myös esimerkiksi aika. Kysynnän hintajousto tarkoittaa prosentuaalista muutosta kulutuksen määrässä, kun hinta muuttuu yhden prosentin. Kulkutapamalleissa kulutuksella tarkoitetaan eri kulkutapojen käytön osuutta.

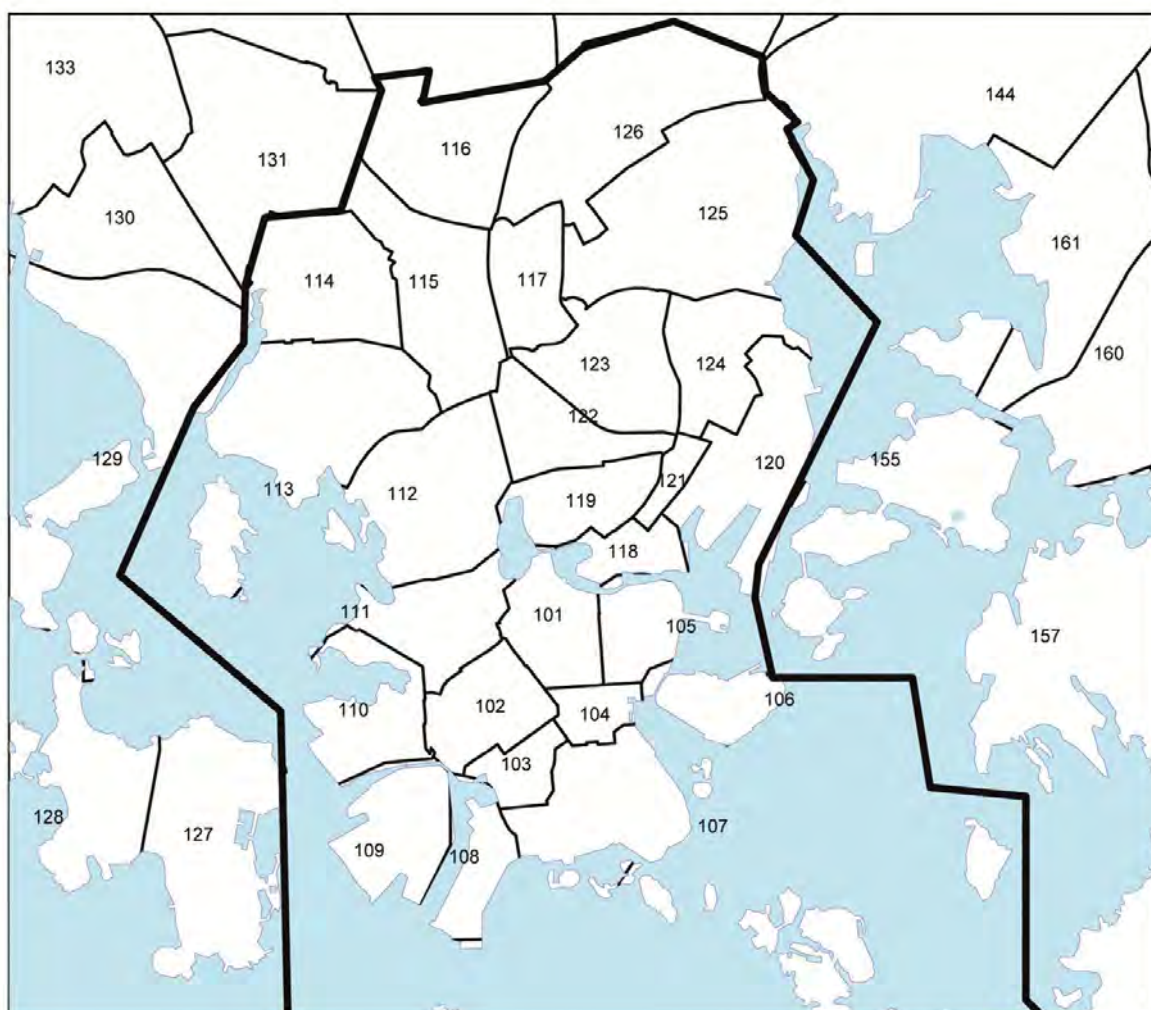
³ Joustokäsitteen matemaattista taustaa on kuvattu tarkemmin differentiaalilaskentaa ja differentiaaliyhtälöitä koskeissa teorioissa.

Suora hintajousto tarkoittaa prosentuaalista muutosta hyödykkeen kulutuksen määrässä, kun hyödykkeen hinta muuttuu yhden prosentin. Siten esimerkiksi joukkoliikenteen suora hintajousto tarkoittaa joukkoliikenteen kysynnän prosenttimuutosta, kun joukkoliikenteen hinta muuttuu yhden prosentin verran.

Hinnan ristijousto tarkoittaa prosentuaalista muutosta vaihtoehtoisen hyödykkeen kulutuksen määrässä, kun jonkin muun hyödykkeen hinta muuttuu yhden prosentin. Siten esimerkiksi joukkoliikenteen hinnan ristijousto henkilöautoiluun nähden tarkoittaa henkilöautoilun kysynnän prosenttimuutosta, kun joukkoliikenteen hinta muuttuu yhden prosentin verran.

Kantakaupunki

Kantakaupungilla tarkoitetaan aluetta, joka kuului Helsinkiin jo ennen 1.1.1946 tehtyä suurta alueliitosta (vertaa esikaupunki). Kantakaupunki koostuu ennustealueista 101–126 ja 172 (kuva 1).



Kuva 1. Kantakaupunki ja siihen kuuluvat ennustealueet (© Kaupunkimittausosasto, Helsinki 131/2010).

Kehyskunnat

Kehyskuntia ovat Kirkkonummi, Vihti, Nurmijärvi, Hyvinkää, Tuusula, Kerava, Järvenpää, Mäntsälä, Pornainen ja Sipoo. Ennustealueet on numeroitu kunnittain kehyskuntien alueella seuraavasti:

- 500-alkuiset: Kirkkonummi
- 600-alkuiset: Vihti
- 700-alkuiset: Nurmijärvi
- 800-alkuiset: Tuusula
- 900-alkuiset: Kerava
- 1000-alkuiset: Järvenpää
- 1100-alkuiset: Sipoo
- 1200-alkuiset: Mäntsälä
- 1300-alkuiset: Hyvinkää
- 1400-alkuiset: Pornainen.

Kokotekijä

Kokotekijää⁴ käytetään matkojen suuntautumisen mallissa kuvaamaan alueen houkuttelevuutta. Maankäytön kokotekijä on eri maankäyttötyyppien houkuttelevuutta kuvaavien muuttujien painotettu summa. Muuttujia voivat olla esimerkiksi väestömäärä, työpaikamäärät toimialoittain eri painoarvoilla ja vaikkapa kaupan ja palveluiden kerrospinta-alat.

Konvergoida

Kun mallia iteroidaan eli sovelletaan peräkkäin siten, että uuden sovelluskierroksen lähtökohdaksi otetaan aina edellisen kierroksen tulos, malli suppenee eli konvergoi, jos lopputulokset alkavat vakiintua kohti jotakin raja-arvoa. Muussa tapauksessa puhutaan mallin hajaantumisesta eli divergoinnista.

Kotiperäinen matka

Kotiperäisellä matkalla tarkoitetaan omasta kodista alkavaa tai sinne päättyvää matkaa.

Kulikutapa

Kulikutavalla tarkoitetaan tässä jotakin seuraavista vaihtoehtoista: Kevytliikenne, joukkoliikenne, henkilöauto tai muu kulikutapa. Luokittelu perustuu tietoon, jonka liikkumistutkimuksen vastaajat ovat itse ilmoittaneet.

Yhdellä matkalla voidaan käyttää useita kulikutapoja, joista yksi on valittu pääasialliseksi kulikutavaksi.

Kevytliikenteeseen kuuluvat kävely (myös juoksu, potkukelkka, pyörätuoli, rollaattori, rullaluistimet, rullasukset ym.) ja pyöräily.

Joukkoliikenteen kulikutavat ovat bussi, raitiovaunu, juna, metro ja pikaraitiotie. Myös kaukoliikenteen linja-autot ja junat on otettu mukaan, samoin koulukuljetus, palvelulinjat ja kutsubussi, esimerkiksi Sampo-kuljetus.

Henkilöautoon kuuluvat sekä kuljettajana että matkustajana tehdyt matkat henkilöautolla (mukaan lukien taksi tai invataksi).

Muu kulikutapa sisältää paketti- tai kuorma-auton kuljettajana tai matkustajana tehdyt matkat sekä lentokoneella, helikopterilla, moottoripyörällä, mopedilla, mopautolla, moottorikelkalla, mönkijällä, traktorilla tai työkonella sekä vesiliikenteessä tai muulla tarkemmin määrittämättömällä kulikutavalla tehdyt matkat. Tätä ryhmää ei kuitenkaan ole tarkemmin käsitelty tässä työssä.

⁴ Matemaattista taustaa on tarkemmin kuvattu logittimalleista kertovassa kirjallisuudessa.

Kysyntämallit

Mallit, joilla tuotetaan kysyntämatriisit. Niihin kuuluvat mm. matkatuotosta, suuntautumista ja kulkutavanvalintaa kuvaavat mallit. Työn tuloksena syntyneet kysyntämatriisit sijoitellaan verkolle reitinvalintamalleja käyttäen.

Liikenne-ennuste

Yleisesti ennusteella tarkoitetaan johonkin määrättyyn ajankohtaan, esimerkiksi vuoteen 2020, sijoittuvaa arviota sen hetkisistä matkamääristä. Tässä raportissa liikenne-ennusteella tarkoitetaan Helsingin seudun liikennemalleilla laadittuja ennusteita. Ennusteella viitataan keskimääräiseen maanantain ja torstain väliseen arvioon matkamääristä joko koko vuorokauden aikana tai jonakin määrättyinä vuorokaudenaikana.

Liikennevirta

Liikennevirralla tarkoitetaan tässä raportissa kahden alueen välistä matkamäärää määrättyä ajankohtana. Kyseinen virta voi käyttää eri reittejä ja kulkutapoja.

Liityntämatka

Jos matkan pääasiallisena kulkutapana on joukkoliikenne, liityntämatkalla tarkoitetaan sitä matkan osaa, jolla saavutaan asemalle tai pysäkille tai vastaavasti poistutaan asemalta tai pysäkiltä.

Liityntäkulkutapa

Liityntäkulkutavalla tarkoitetaan liityntämatkalla käytettyä kulkutapaa.

LITU 2008

Helsingin seudun työssäkäyntialueen laaja liikennetutkimus, joka tehtiin vuosina 2007–2008. Sen tärkeimmät osat olivat liikkumistutkimus (käytetään myös nimityksiä liikkumistottumustutkimus ja henkilöhaastattelututkimus sekä lyhennettä HEHA), sitä täydentävä joukkoliikenteen valintaperusteinen otos (choice based) sekä ajoneuvoliikenteen määräpaikkatutkimus (AMP), joukkoliikenteen määräpaikkatutkimus (JMP) ja liityntäpysäköintitutkimus. Tässä raportissa kuvattu liikennemallien estimointi perustui pääasiallisesti kahteen ensin mainittuun aineistoon, jotka kumpikin toteutettiin matkapäiväkirjakyselynä.

Logittimalli

Logittimallilla⁵ tarkoitetaan tässä raportissa henkilöiden tekemiä valintoja kuvaavaa matemaattista mallia. Logittimallin mukainen vaihtoehdon i valintatodennäköisyys saadaan lausekkeesta

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^J e^{U_j}}.$$

missä U_j on vaihtoehdon j hyötyfunktio.

Kulkutavan logittimalli laskee todennäköisyyden, jolla matkustaja valitsee käytettävän kulkutavan (esimerkiksi Helsingin seudun sisäisillä matkoilla kevytliikenteen, joukkoliikenteen tai henkilöauton) sen hetkisissä liikenneoloissa ja matkan tarkoituksesta riippuen. Kunkin vaihtoehdon valintatodennäköisyyteen vaikuttaa matkustajan kokema hyöty ja haitta. Kulkutapakohtaisia haittatekijöitä ovat esimerkiksi matkan hinta ja matkaan kuluva aika.

⁵ Logittimallin matemaattinen tausta johtaa juurensa peliteoriaan, hyötyteoriaan ja optimointioppiin. Logittimalleista enemmän kiinnostuneille suositellaan kyseisiin aihealueisiin tutustumista. Mainitut aihealueet ovat hyödyllisiä myös yhteiskuntataloudellisten laskelmien perusteiden ymmärtämisessä.

Matkojen suuntautumisen malli laskee todennäköisyyden, jolla matkustaja valitsee kunkin ennustealueen määräpaikakseen sen hetkisissä liikenneoloissa ja matkan tarkoituksesta riippuen. Määrätyn ennustealueen valintatodennäköisyyteen vaikuttaa, kuinka helppoa tai vaikeaa paikka on saavuttaa eri liikennevälineillä tai jalan. Lisäksi valintatodennäköisyys riippuu siitä, kuinka paljon alueella on kiinnostavia matkakohteita. Alueen matkakohteiden määrää kuvataan yleensä sen väestömäärällä ja työpaikkamäärällä.

Logsum

Logsumilla tarkoitetaan tässä raportissa liikennejärjestelmän saavutettavuuden matemaattista ilmaisua. Matkojen suuntautumismallissa sen avulla kuvataan, miten hyvin eri määräpaikkavaihtoehdot ovat saavutettavissa eri kulkutavoilla.

Logsum on matemaattisesti ilmaistuna kulkutavan valintamallin nimittäjän luonnollinen logaritmi. Mainittu nimittäjä on puolestaan summa eksponenttifunktioista, joiden argumentteina on kunkin kulkutavan hyötyfunktio⁶.

Logsum lasketaan siis kaavalla $\ln \left(\sum_{j=1}^J e^{U_j} \right)$, missä U_j on vaihtoehdon j hyötyfunktio.

Lähtöpaikka–määräpaikka-suunnattu matka

Matka lähtöpaikasta määräpaikkaan. Generaatio–attraktio-suunnatut matkat käännetään tarvittaessa oikean suuntaisiksi virroiksi. Esimerkiksi jonkin asuinalueen generoimista kotiperäisistä työmatkoista osa suuntautuu asuinalueelta työpaikka-alueille ja osa vastakkaiseen suuntaan.

Läpikulkuliikenne

Koko mallialueen läpi ulkosityöstä toiseen ulkosityöttöön kulkeva liikenne.

Makro

Makrolla tarkoitetaan tässä raportissa Emme-liikennesuunnitteluohjelmiston koodikieltä, jolla voidaan laskea jokin liikenne-ennusteen laadintaan liittyvä kokonaisuus, esimerkiksi matkatuotos, tai vaikkapa tulostaa yhteenvetoja.

Makromalli

Makromalli on malli, jossa ilmiötä tarkastellaan kokonaistaloudellisten muuttujien tasolla, kuten bruttokansantuotteeseen nähden. Tässä työssä makromallia on käytetty Helsingin seudun autoistumisasteen arvioinnissa.

Malli

Mallilla tarkoitetaan tässä yksittäistä matkaryhmää koskevaa matemaattista kaavaa, jolla lasketaan esimerkiksi matkatuotos, kulkutavan valintatodennäköisyys tai suuntautumistodennäköisyys. Muita malleja ovat esimerkiksi autonomistusta tai henkilöauton pääasiallisten käyttäjien osuutta kuvaavat mallit.

Mallialue

Mallialue on tässä synonyymi käsitteelle Helsingin seudun työssäkäyntialue.

Mallijärjestelmä

Mallijärjestelmällä tarkoitetaan kaikkien matemaattisten mallien (kaavat ja muuttujat) kokonaisuutta. Mallijärjestelmään eivät sisälly makrot eivätkä selittävien muuttujien arvot

⁶ Ben Akiva, 1991, Discrete Choice Analysis, The MIT Press.

Matka

Matka on siirtymistä kävellen tai jollakin kulkuneuvolla paikasta toiseen. Matkoja ovat siten esimerkiksi meno kotoa töihin, paluumatka töistä kotiin, kauppaan meno, paluumatka kaupasta kotiin, työpaikalta kokoukseen meno. Pienet poikkeamiset esimerkiksi kioskille eivät katkaise matkaa. Ammattimaisesti liikkuvien työssään työajalla tekemiä matkoja ei tässä lueta matkoiksi.

Matkaryhmät

Matkaryhmät erottelevat eri syystä tehdyt matkat toisistaan.

Helsingin seudun malleissa matkaryhmiä ovat:

- kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat
- kotiperäiset koulumatkat, jotka ovat 7–17-vuotiaiden tekemiä
- kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat
- kotiperäiset muut matkat
- työperäiset matkat (matkan toinen pää työpaikka, mutta toinen ei ole koti)
- muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat.

Tämän työn tuotosmalleissa ostos- ja asiointimatkat ovat erilliset muista kotiperäisistä matkoista, mutta kulkutapa- ja suuntautumismalleissa nämä kaksi matkaryhmää on yhdistetty kulkutapakohtaisia vakioita lukuun ottamatta.

Ympäryskuntien malleissa on vain kaksi matkaryhmää:

- kotiperäiset työmatkat
- muut matkat.

Ulkoisen liikenteen malleissa matkaryhmiä ei ole, vaan kaikki matkat ovat yhdessä.

Matkatuotos

Matkatuotoksella tarkoitetaan tässä määrättyä ennustealueelta lähtevien matkojen määrää määrättyä ajankohtana, kuten koko vuorokautena tai aamuruuhkan aikaan. Matkatuotos on yleensä tuotosluvun (eli tuotuskertoimen matkaa/asukas) ja jonkin alueen (tässä ennustealueen) väestömäärän tulo.

Matkavastus

Ks. vastus

Matriisi

Matriisit ovat ennustejärjestelmässä käytettäviä taulukkomuotoisia esityksiä ennuste- tai sijoittelualueiden välisistä matkavastuksista tai matkojen määrästä. Neliömatriisissa vaakarivejä on yhtä monta kuin pystyrivejäkin. Matriisien erikoistapauksia ovat vektorit (yksi vaakarivi ja monta pystyriviä tai päinvastoin), joilla voidaan kuvata esimerkiksi alueiden ominaisuuksia, ja skalaarit (vain yksi luku), joita käytetään mm. mallikertoimien ja matkamatriisien nurkkasummien (matriisin kaikki matkat yhteensä) tallettamiseen

Matriisin hajotus

Ennustejärjestelmässä tätä tarvitaan muutettaessa karkeammassa ennustealuejaossa olevia matriiseja tiheämpään sijoittelualuejakoon. Matkamatriisit hajotetaan jakoluvuilla, vastusmatriisit kopoimalla ennustealuejaossa oleva arvo kaikille siihen kuuluville sijoittelualueille.

Muuttuja

Muuttujalla tarkoitetaan liikennemallien yhteydessä tekijää, jonka arvo muuttuu tilanteesta toiseen. Esimerkki muuttujasta on vaikkapa matka-aika. Liikennemallissa matka-aika muuttuu sen mukaan, minkä alueiden välillä liikutaan, mitä kulkutapaa käytetään ja minä ajankohtana liikutaan.

Neliporrasmalli

Ennustemenetelmä, jossa on neljä peräkkäistä vaihetta: matkatuotosten, matkojen suuntautumisen ja kulkutapajakauman määrittäminen sekä liikennevirtojen sijoittelu.

Nykytilan liikenne-ennuste

Nykytilan liikenne-ennusteella tarkoitetaan tässä raportissa Helsingin seudun liikennemalleilla laadittua ennustetta, jossa mallien lähtötiedot ajoittuvat laajan liikennetutkimuksen (LITU 2008) tekoajankohtaan eli vuosiin 2007–2008. Mallien lähtötietoja ovat muun muassa väestö- ja työpaikkamäärät ennustealueilla ja nykyistä liikennejärjestelmää kuvaavat matka-ajat ja matkakustannukset ennustealueiden välillä. Mallijärjestelmän hyvyttä voidaan mitata sillä, kuinka lähellä nykytilan ennuste on erilaisissa liikennetutkimuksissa havaittua käyttäytymistä.

Painotettu kokonaismatka-aika

Painotetulla kokonaismatka-ajalla tarkoitetaan joukkoliikenteen alueelta–alueelle-matkaa, jossa matkan eri osat, liityntäkävelyt, odotusajat ja kulkuvälineessä oloajat, saavat omat painoarvonsa. Painoarvojen eroilla on pyritty kuvaamaan matkustusmukavuuden eroja joukkoliikennematkan aikana. Malleissa käytetyn painotetun kokonaismatka-ajan laskentaa on kuvattu tarkemmin liitteessä 9.

Parametri

Parametri on mallin kaavassa oleva kerroin, eksponentti tai muu vakiona pysyvä tekijä. Esimerkiksi kaavassa $y = a + bx^c$ on yksi selittävä muuttuja (x) ja kolme parametria (a , b ja c), joilla selitetään ilmiötä y . Parametreista a ja b ovat kertoimia ja c on eksponentti.

Päivä-, ilta- ja yöaika

Päiväajalla tarkoitetaan klo 9:00–14:59 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja. Ilta- ja yöajalla tarkoitetaan klo 18:00–5:59 (minuutin tarkkuudella) alkavia matkoja. Termillä päivä-, ilta- ja yöaika tarkoitetaan näitä ajankohtia yhteensä.

Tässä työssä koko vuorokausi on jaettu aamuruuhkaan, iltaruuhkaan sekä päivä-, ilta- ja yöaikaan.

Päivätunnin liikenne (PT)

Päivätunnin liikenteellä tarkoitetaan keskimääräistä arkipäivän tuntiliikennettä klo 9:00–14:59 välillä eli yhtä kuudesosaa klo 9:00–14:59 (minuutin tarkkuudella) alkavista matkoista.

Pääkaupunkiseutu

Pääkaupunkiseudulla tarkoitetaan Helsingin, Vantaan, Espoon ja Kauniaisten muodostama aluekokonaisuutta. Lounais-Sipoon liitosalueet kuuluvat Helsinkiin ja siten pääkaupunkiseutuun. Ennustealueet on numeroitu kunnittain pääkaupunkiseudulla seuraavasti:

- 100-alkuiset: Helsinki
- 200-alkuiset: Espoo
- 300-alkuiset: Kauniainen
- 400-alkuiset: Vantaa.

Regressioanalyysi

Regressioanalyysi on tilastotieteen menetelmä, jonka avulla tarkastellaan vastemuuttujan eli selitettävän muuttujan riippuvuutta valituista selittävistä muuttujista.

Ruokakunta

Ruokakunnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä samaa kuin asuntokunta YKR-aineistossa. Liikenteen kysyntämalleissa esiintyy muuttuja autoja/ruokakunta. YKR-aineistossa ei ole esitetty tarkkaa asuntokunnan määritelmää, mutta Tilastokeskus määrittelee käsitteen seuraavasti⁷:

”Asuntokunnan muodostavat kaikki samassa asuinhuoneistossa vakinaisesti asuvat henkilöt. Väestön keskusrekisterin mukaan vakinaisesti laitoksissa kirjoilla olevat, asunnottomat, ulkomailla ja tietymättömissä olevat henkilöt eivät väestölaskennassa muodosta asuntokuntia. Asuntolarakennuksiksi luokitelluissa rakennuksissa asuvat henkilöt, joiden asunto ei täytä asuinhuoneiston määritelmää, eivät muodosta asuntokuntia. Vuoden 1980 väestölaskennassa myös näistä henkilöistä muodostettiin asuntokuntia.

Asuntokuntakäsite otettiin käyttöön vuoden 1980 väestölaskennassa. Sitä aikaisemmissa laskennoissa käytettiin ruokakuntakäsitettä. Ruokakunnan katsottiin muodostuvan yhdestä asuvista perheenjäsenistä ja muista henkilöistä, joilla oli yhteinen ruokatalous. Alivuokralainen, jolla oli oma ruokatalous, muodosti oman ruokakuntansa. Vuodesta 1980 alivuokralainen kuuluu samaan asuntokuntaan muiden asunnossa asuvien kanssa.”

Selitysaste⁸

Mallin selityskykyä kuvaa selitysaste, joka kertoo, kuinka suuren osan ilmiön kokonaisvaihtelusta malli selittää. Selitysaste esitetään usein prosentteina: $100 \cdot \text{selitysaste}$. Selitysaste on sata prosenttia, jos malli kuvaa tarkasteltavaa ilmiötä täydellisesti.

Tavallisissa regressiomalleissa selitysasteessa voidaan hyvinkin päästä 90–100 prosenttiin tarkasteltavasta ilmiöstä riippuen. Logitti-tyyppisillä kulkutapamalleilla selitysaste (suhteessa vakioihin) on kuitenkin ollut aiemmissa nyt laadittuja malleja vastaavissa tilanteissa parhaimmillaan tyypillisesti 40 prosenttia, suuntautumismalleilla 20 prosenttia. Erot johtuvat selitettävien ilmiöiden erilaisuudesta. On luonnollista, että yksittäisten ihmisten liikkumistottumukset poikkeavat toisistaan.

Logittimallien yhteydessä esiintyy yleensä kaksi selitysasteen käsitettä: logittimallin selitysaste $\rho^2(0)$ ja logittimallin selitysaste vakiomalliin nähden $\rho^2(c)$. Taulukoissa näistä on käytetty merkintöjä $roo^2(0)$ ja $roo^2(c)$.

Matemaattiset määritelmät ovat seuraavat:

$$\rho^2(0) = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)}, \quad \rho^2(c) = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(c)}$$

missä

$L(\hat{\beta})$ = Uskottavuusfunktion arvo estimoiduilla muuttujilla

⁷ <http://www.stat.fi/til/asuolo/kas.html>

⁸ Selitysasteen matemaattisesta taustasta kiinnostuneille suositellaan regressioanalyysiin tutustumista. Logittimallien selitysasteen ymmärtämisessä auttaa perehtyminen regressioanalyysin lisäksi peliteoriaan, hyötyteoriaan ja optimointiin.

$L(0)$ = Uskottavuusfunktion lähtöarvo ilman mitään muuttujia. Kaikki vaihtoehdot ovat yhtä todennäköisiä. $\rho^2(0)$ kuvaa selitysasteen paranemista, kun selittäjiksi lisätään valintaa kuvaavia muuttujia (esimerkiksi matka-aika, kustannus) ja mahdolliset vaihtoehtokohtaiset vakiot.

$L(c)$ = Uskottavuusfunktion arvo, kun hyötyfunktioissa on mukana vain vaihtoehtokohtaiset vakiot. $\rho^2(c)$ kuvaa selitysasteen paranemista, joka saavutetaan lisäämällä malliin vaihtoehtokohtaisten vakioden lisäksi muita valintaa selittäviä muuttujia.

Sijoittelu

Liikennejärjestelmän kuvauksen (tie- ja katuverkko, joukkoliikennelinjasto) kuormittamista kysyntämatriisilla (matkamäärät alueilta toisille) kutsutaan sijoitteluksi. Tässä ennustejärjestelmässä se tehdään Emme-liikennesuunnitteluohjelmistolla. Tuloksena saadaan väylien liikennemäärät, joukkoliikennelinjojen matkustajamäärät ja alueiden väliset vastukset (mm. matka-ajat).

Sijoittelualue

Sijoittelualueilla tarkoitetaan alueita, joiden välille lasketaan vastuksia (matka-aikoja, etäisyyksiä ja kustannuksia). Yleensä sijoittelualueita on useita yhden ennustealueen sisällä. Poikkeuksena tästä on mm. Pornainen, jossa ennuste- ja sijoittelualueet ovat samat.

Sijoittelualuejakoa käytetään, jotta sijoittelutulos liikenneverkolla olisi riittävän tarkka. Ennen sijoittelua matkamatriisi hajotetaan eli ennustealueiden välinen liikenne jaetaan jakoluville sijoittelualueiden välille. Näin muodostuva sijoittelualuejaon matriisi voidaan edelleen sijoitella liikenneverkolle. Ennustejoukko varten tuloksena saadut vastukset yhdistetään eli aggregoidaan ennustealueiden välisiksi vastuksiksi, joita voidaan käyttää mallien muuttujina.

Sijoittelufunktio

Liikenteen, tavallisesti autoliikenteen, sijoittelussa käytettävä nopeus–liikennemäärä-funktio, joka määrittelee linkin ajonopeuden (tai Emmessä oikeastaan matka-ajan) liikennemäärän perusteella.

Joukkoliikenteen sijoittelussa käytetään funktioita, joissa joukkoliikennevälineen matka-aikaa kullakin linkillä voidaan kuvata esimerkiksi vakiolla (tyypillisesti juna ja metro) tai riippuvaisuudella autoliikenteen matka-ajoista samalla linkillä (bussit kaduilla, joilla ei ole bussikaistaa).

T-arvo ja t-testi⁹

Tilastollisilla testeillä testataan mallin kertoimille asetettuja olettamuksia. T-testi on eräs tilastollinen testi. T-testillä arvioidaan, onko mallin muuttuja oleellinen tekijä kuvaamaan tarkasteltavaa ilmiötä. Mallin muuttuja voi olla esimerkiksi matka-aika. Ilmiö voi taas esimerkiksi olla todennäköisyys valita määrätty kulkutapa. Mitä suurempi itseisarvoltaan t-testin antama t-arvo on, sitä todennäköisemmin muuttuja on oleellinen tekijä kuvaamaan tarkasteltavaa ilmiötä. Käytännön sääntö on, että t-arvon tulee mielellään olla itseisarvoltaan vähintään kaksi, ja mitä suurempi se on, sen parempi. T-arvon täsmällinen vaatimustaso riippuu siitä, kuinka suurella todennäköisyydellä kertoimen vaaditaan olevan merkitsevä eli nollasta poikkeava.

⁹ T-testin matemaattisesta taustasta laajemmin kiinnostuneille suositellaan tilastotieteen perusteisiin ja tilastolliseen testaukseen perehtymistä.

Tarjontamallit

Mallit, jotka kuvaavat mm. liikenneverkkoa, joukkoliikennelinjastoa ja niiden toimintaa. Käytetään myös nimeä liikennejärjestelmämallit. Kun verkkoa kuormitetaan kysyntämatriisilla, tuloksena saadaan mm. vastusmatriiseja eli matka-aikoja, kustannuksia tai etäisyyksiä alueelta alueelle.

Tuotosluku

Tuotosluvulla eli tuotoskertomella tarkoitetaan lukua, joka kertoo, kuinka monta matkaa määrättyyn väestöryhmään kuuluva henkilö tekee keskimäärin määrättyä ajankohtana. Tässä ajankohta voi olla 1) aamuruuhka, 2) iltaruuhka tai 3) päivä-, iltaja yöaika.

Työperäinen matka

Työperäisellä matkalla tarkoitetaan työ- tai opiskelupaikalta alkavaa tai sinne päättyvää matkaa, jonka toinen pää ei kuitenkaan ole koti.

Ulkoinen liikenne

Ulkoinen liikenne on koko mallinnetun alueen rajan ylittävä liikenne ja läpikulkuliikenne.

Ulkosyöttö

Ulkosyöttö on mallialueen ulkorajalla oleva ulkoisen liikenteen syöttöpiste. Tässä työssä mallialueen ulkopuolisille sijoittelualueille on käytetty numeroita 39001–39036 (autoliikenne) ja 39300–39302 (kaukojunaliikenne).

Vaihtoehtokohtainen vakio

Logittimallin hyötyfunktiossa olevan binäärimuuttujan kerroin, jota usein käytetään kulkutapamalleissa (kulkutapakohtainen vakio), mutta harvemmin suuntautumismalleissa.

Vastemuuttuja

Vastemuuttujalla tarkoitetaan tutkittavaa ilmiötä kuvaavaa muuttujaa. Toinen nimitys vastemuuttujalle on selitettävä muuttuja. Liikennemalleissa tyypillisiä vastemuuttujia ovat

- matkojen lukumäärä henkilöä kohti
- henkilöautojen määrä ruokakuntaa kohti
- todennäköisyys valita määrätty kulkutapa
- todennäköisyys valita määrätty alue matkan määräpaikaksi.

Vastus, matkavastus

Vastus on yleisnimitys matkustamisesta koituville haitoille matkustajan näkökulmasta. Liikennemalleissa yleisimpiä vastuksia ovat matka-ajat ja etäisyydet eri kulkutavoilla sekä vaihdot joukkoliikenteessä ja matkan hinta.

Vuorokausiliikenne

Vuorokausiliikenteellä tarkoitetaan maanantain ja torstain välistä keskimääräistä vuorokauden liikennemäärää ellei erikseen muuta mainita.

Väestöryhmä

Alueiden väestö jaetaan väestöryhmiin ikäluokan ja autonkäyttömahdollisuuden (HAP/EHAP) mukaan.

Yleistetty matkavastus

Yleistetyllä matkavastuksella tarkoitetaan yhdistelmämuuttujaa, jossa matka-aika ja kustannus on yhdistetty yhdeksi muuttujaksi.

Yleistetty henkilöauton matkavastus = $0,1203 \cdot \text{kokonaismatka-aika} + \text{kustannukset}$ (euroina)

Yleistetty joukkoliikenteen matkavastus = $0,1203 \cdot \text{painotettu kokonaismatka-aika} + \text{kustannukset}$ (euroina)

Tässä matka-aikaa kerrotaan yhteiskuntataloudellisissa kannattavuuslaskelmissa määritellyllä ajan arvolla. Käytetty matka-ajan kerroin on 7,22 euroa tuntia kohden (eli 0,1203 euroa minuuttia kohden). Arvoa on käytetty muuntamalla matka-aika euroiksi. Yleistettyä matkavastusta on käytetty vain silloin, kun muuttujia ei ole muuten saatu malliin estimoinneissa. Syynä estimointivaikeuksiin on yleensä muuttujien vahva keskinäinen korrelaatio.

Painotetusta matka-ajasta laskettua yleistettyä matkavastusta on käytetty vain ympärys-kuntien malleissa selittämään muiden kuin kotiperäisten työmatkojen joukkoliikennettä. Kehyskuntien henkilöautomatkojen selittäjänä on käytetty yleistettyä matkavastusta, jossa matka-aika saadaan normaalista autosijoittelusta ilman painotuksia. Pääkaupunkiseudulla yleistettyä vastusta ei ole käytetty lainkaan.

YKR

YKR on yhdyskuntarakenteen seurannan tietojärjestelmä, johon on koottu tilastoruuduittain aikasarjatietoa maankäytön kehittymisestä. Tilastoruudut ovat kooltaan 250x250 metriä.

Se sisältää tilastoruuduittain koko maasta seuraavat muuttujat vuodesta 1980 lähtien:

- väestö sukupuolittain ja ikäryhmittäin
- työvoima toimialoittain
- työpaikat toimialoittain
- rakennusten kerrosala ja lukumäärä käyttötarkoituksiluokittain
- asuinhuoneistoala ja lukumäärä
- toimitilojen ala ja lukumäärä käyttötarkoituksiluokittain
- työmatkan pituus asuinpaikan ja työpaikan mukaan toimialoittain
- asuinhuoneistoväestö, asutokunnan koko ja autonomistus
- lomarakennukset valmistumisajankohdan mukaan.

Ympäryskunnat

Ympäryskuntia ovat vuoden 2010 kunta-aluejaossa Hanko, Raasepori, Inkoo, Siuntio, Lohja, Karjalohja, Nummi-Pusula, Karkkila, Loppi, Riihimäki, Hausjärvi, Pukkila, Askola, Porvoo, Myrskylä, Loviisa ja Lapinjärvi. Ennustealueet on numeroitu kunnittain ympäryskuntien alueella seuraavasti:

- 1500-alkuiset: Hanko
- 1600-alkuiset: Raasepori (entinen Tammisaari)
- 1700-alkuiset: Raasepori (entinen Pohja)
- 1800-alkuiset Raasepori (entinen Karjaa)
- 1900-alkuiset: Karjalohja
- 2000-alkuiset Inkoo
- 2100-alkuiset Lohja
- 2200-alkuiset Lohja (entinen Sammatti)
- 2300-alkuiset Nummi-Pusula
- 2400-alkuiset Siuntio
- 2500-alkuiset Karkkila

- 2600-alkuiset Loppi
- 2700-alkuiset Riihimäki
- 2800-alkuiset Hausjärvi
- 2900-alkuiset Pukkila
- 3000-alkuiset Askola
- 3100-alkuiset Porvoo
- 3200-alkuiset Myrskylä
- 3300-alkuiset Loviisa (entinen Pernaja)
- 3400-alkuiset Loviisa (entinen Liljendal)
- 3500-alkuiset Lapinjärvi
- 3600-alkuiset Loviisa (entinen Ruotsinpyhtää)
- 3700-alkuiset Loviisa.

14 kuntaa

14 kunnalla tarkoitetaan kehyskuntia ja pääkaupunkiseutua yhdessä. Se on synonyymi käsitteelle Helsingin seutu.

Lyhenteet

Lyhenne	Merkitys
PKS	pääkaupunkiseutu
KEHYS	kehyskunnat
HEHA 2007–2008	Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus, joka toteutettiin vuosien 2007–2008 syksyinä arkipäivisin maanantain ja torstain välillä.
HAP	henkilöauton pääasiallinen käyttäjä (ks. auton käyttömahdollisuus)
EHAP	muut kuin henkilöauton pääasialliset käyttäjät
YKR	Yhdyskuntarakenteen seurannan tietojärjestelmä (YKR)
HSL	Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä, jonka jäsenkuntia ovat Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen, Kerava ja Kirkkonummi. HSL aloitti toimintansa 1.1.2010.
YTV	Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta oli vuosina 1970–2009 toiminut lakisääteinen yhteistyöelin, jonka jäsenkuntia olivat Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen.
KL	kevytliikenne (kävely tai pyöräily)
JL	joukkoliikenne
HA	henkilöautoliikenne
AHT	aamuhuipputunti
IHT	iltahuipputunti
PT	päivätunti

1 Johdanto

1.1 Tavoite ja käytetty aineisto

Pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueella on tehty suuret liikennetutkimukset vuosina 1966, 1976, 1988 ja 2000. Kaikkiin näihin tutkimuksiin on kuulunut liikkumistottumuksia koskeva haastattelu- tai kyselytutkimus, jonka perusteella on laadittu kulloinkin tarvittut liikenteen kysyntämallit.

Mallien perusteella on voitu arvioida ennustevuoden liikennekäyttäytymistä, kun mallille on annettu syöttötietoina alueiden asukas- ja työpaikkamääriä, liikkumisen matka-aikoja ja kustannuksia sekä muita ennustetilannetta kuvaavia tietoja. Muodostettuja liikennemalleja on käytetty mm. 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa neljässä pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelmassa (PLJ).

Työssäkäyntialueen laajentumisen takia on kuitenkin tullut tarve tutkia ja ennustaa laajemman alueen liikennekäyttäytymistä. Erityisesti uusia malleja tarvittiin tehtäessä ensimmäistä koko Helsingin seudun kattavaa liikennejärjestelmäsuunnitelmaa (HLJ 2011).

Uuden aineiston saamiseksi mallien estimointia varten tehtiin syksyllä 2007 ja 2008 Helsingin seudun työssäkäyntialueen laaja liikennetutkimus (LITU 2008). Tavoitteena oli selvittää mahdollisimman monipuolisesti koko 37 kunnan työssäkäyntialueen asukkaiden liikkumistottumuksia ja hankkia tietoa ajoneuvoliikenteen, joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen suunnittelun tarpeisiin. LITUn tärkeimmät osat olivat liikkumistutkimus¹⁰ (käytetään myös nimitystä liikkumistottumustutkimus ja henkilöhaastattelututkimus sekä lyhennettä HEHA), sitä täydentävä joukkoliikenteen valintaperusteinen otos (choice based) sekä ajoneuvoliikenteen määräpaikkatutkimus (AMP), joukkoliikenteen määräpaikkatutkimus (JMP) ja liityntäpysäköintitutkimus.

Pääosin Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennemallit perustuvat koko alueella tehtyyn liikkumistutkimukseen). Tutkimus oli otantatutkimus ja osa edellä mainittua laajaa liikennetutkimusta. Siihen vastasi n. 20 000 henkilöä, kun koko Helsingin seudun työssäkäyntialueella asui 1,38¹¹ miljoonaa seitsemän vuotta täyttänyttä asukasta. Näistä 1,18¹² miljoonaa asui pääkaupunkiseudulla ja kehyskunnissa. Otoksen perusteella voidaan tilastotieteellisiä menetelmiä hyväksikäyttäen estimoida eli arvioida määrätyissä virherajoissa koko kohdejoukon eli Helsingin seudun työssäkäyntialueen asukkaiden liikkumista.

Jotta mallityöhön olisi saatu riittävästi havaintoja joukkoliikennematkoista pääkaupunkiseudun ulkopuolelta, aineistoa täydennettiin joukkoliikenteen valintaperusteisella otoksella (choice based). Matkapäiväkirja- ja taustatietolomake olivat samankaltaisia kuin liikkumistutkimuksessa, mutta tutkimuksesta jätettiin pois ne kysymykset, jotka liikkumistutkimuksessa esitettiin vain puhelimesta. JMP-työn konsultti jakoi lomakkeita kehyskuntien asemilla, pysäkeillä ja terminaaleissa. Vastauksia saatiin lähes 600 henkilöltä, jotka tekivät vuorokauden aikana yhteensä yli 1800 matkaa. Koska lomakkeiden jakaminen ei perustunut aitoon otokseen, aineistoa ei voi laajentaa alueen väestöön. Sitä voidaan kuitenkin käyttää liikkumistutkimusaineiston rikastamiseen.

Tässä raportissa kuvatus työn tarkoituksena ei ole ollut laatia varsinaisia liikenneennusteita, vaan tuottaa ennusteiden laadinnassa tarvittavia malleja ja niiden käyttöä tukevia apuvälineitä. Malleja on myös testattu tilastollisin menetelmin ja vertailemalla malli-

¹⁰ Liikkumistottumukset Helsingin seudun työssäkäyntialueella 2008 (32/2010).

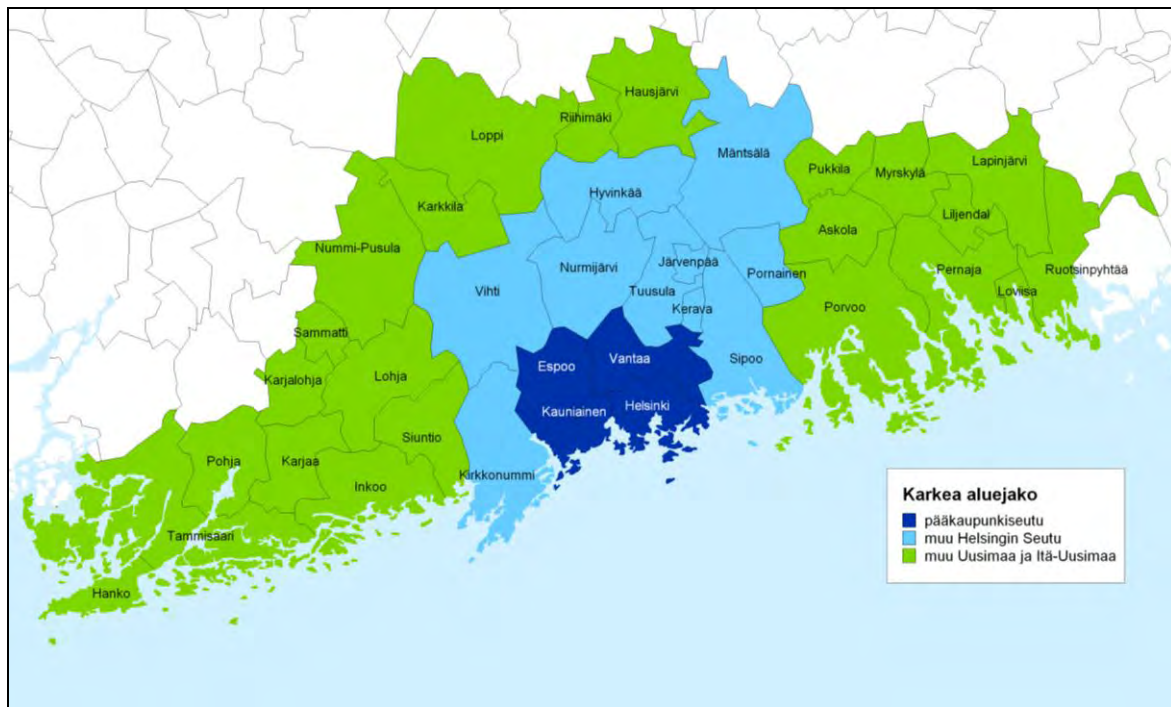
¹¹ Perustuu laajennetusta Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimuksesta 2007–2008 laskettuun väestömäärään. YKR:n vuoden 2005 aineistossa väestömäärä oli 1,34 miljoonaa.

¹² Perustuu laajennetusta Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimuksesta 2007–2008 laskettuun väestömäärään. YKR:n vuoden 2005 aineistossa vastaava väestömäärä oli 1,01 miljoonaa.

en tuottamia vuoden 2008 liikennevirtoja haastattelututkimuksen ja liikennelaskentojen tuloksiin. Lisäksi on selvitetty, miten raskaan raideliikenteen (junan ja metron) erityispiirteet tulee ottaa huomioon liikenne-ennusteissa.

1.2 Mallijärjestelmän yleisesittely

Helsingin seudun työssäkäyntialueen henkilöliikennemallit kattavat alueellisesti Uudenmaan (ml. entisen Itä-Uudenmaan) maakunnan ja Riihimäen seutukunnan liikenteen. Tätä aluetta kutsutaan tässä raportissa lyhyesti Helsingin seudun työssäkäyntialueeksi. Mallit on estimoitu vuoden 2008 tilanteesta, joten mallia sovellettaessa käytetään tätä kuntajakoa.



Kuva 2. Helsingin seudun työssäkäyntialue (kuntajako 2007).

Helsingin seudun työssäkäyntialueen henkilöliikennemalleihin sisältyvät seuraavat kokonaisuudet:

- Helsingin seudun mallit
- ympäryskuntien mallit
- ulkoisen liikenteen mallit.

Tällä kokonaisuudella katetaan kaikki merkittävä henkilöliikenne Helsingin seudun työssäkäyntialueella. Seuraavassa taulukossa on kuvattu yleispiirteisesti mallien sisältö, merkitys nykytilanteessa liikennemäärinä ja päätulokset:

Taulukko 2. Helsingin seudun työssäkäyntialueen henkilöliikennemallien osat.

Malli	Liikennemäärä nykytilanteessa arkena	Kulikutavat	Matkaryhmät
Helsingin seudun asukkaiden matkat seudun sisällä	3,7 milj. matkaa ¹³	☒ kevyt liikenne ☒ bussi ja raide ☒ henkilöauto	• kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat • kotiperäiset koulumatkat • kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat • kotiperäiset muut matkat • työperäiset matkat • muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat
Ympäryskuntien asukkaiden matkat Helsingin seudulla	2430 matkaa henkilöautolla ja joukkoliikenteellä	☐ kevyt liikenne ☒ bussi ja raide ☒ henkilöauto	• muut kuin työmatkat
Helsingin seudun ja ympäryskuntien väliset matkat	110 000 matkaa henkilöautolla ja joukkoliikenteellä	☐ kevyt liikenne ☒ bussi ja raide ☒ henkilöauto	• kotiperäiset työmatkat • muut matkat
Ympäryskuntien alueen sisäinen liikenne	309 000 matkaa henkilöautolla	☐ kevyt liikenne ☐ bussi ja raide ☒ henkilöauto	• kotiperäiset työmatkat • muut matkat
Ulkoinen liikenne (Helsingin seudun työssäkäyntialueen ja muun Suomen väliset matkat)	180 000 matkaa ¹⁴ + läpikulkuliikenne ¹⁵ 2 300 ajoneuvomatkkaa	☐ kevyt liikenne ☒ raideliikenne ☐ bussiliikenne ¹⁶ ☒ henkilöauto	• kaikki yhteensä

Lisäksi mallijärjestelmään sisältyy apumalleja, joilla ennustetaan henkilöauton omistuksen kehitystä ja henkilöauton pääasiallisten käyttäjien määrän kehitystä. Apumalleilla jaetaan myös aamuruuhkan liikenne aamuhuipputunnin liikenteeksi, iltaruuhkan liikenne iltahuipputunnin liikenteeksi sekä päivä-, iltä- ja yöajan liikenne päivätunnin liikenteeksi.

1.3 Ennustejärjestelmä

Ennusteiden laatimiseksi mallijärjestelmää varten on laadittu ennustejärjestelmä, joka toimii Emme-liikennesuunnitteluohjelmistossa. Ennustejärjestelmää (mm. makroja ja tarvittavia lähtötietoja) on kuvattu tarkemmin erillisessä teknisessä raportissa (julkaisematon).

Henkilöliikenteen ajoneuvojen (henkilöautot ja bussit) lisäksi teillä ja kaduilla kulkee myös paketti- ja kuorma-autoja. Tavaraliikenteen kysynnän mallittamista kuvataan tämän julkaisun osassa B.

Tarjontamalleja eli teiden ja katuojen ominaisuuksia sekä joukkoliikennelinjastoja kuvataan tämän julkaisun osassa C. Tarjontamallit ja osassa D kuvatut viivytysfunktiot tuottavat mm. matka-aikoja kysyntämallien lähtötiedoiksi.

¹³ Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus 2007–2008, puuttuvien tietojen korjaus otettu huomioon

¹⁴ Lähde: Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus 2004–2005, matkat arkena ma-to

¹⁵ Lähde: Tiehallinnon määräpaikkatutkimusten yhdistelmä 2001 ja Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennetutkimus

¹⁶ Ei ole sisällytetty malliin käytettävissä olevan laskentatiedon puuttumisen vuoksi

1.4 Testatut mallivaihtoehdot pääpiirteittäin ja perustelut valitulle järjestelmälle

1.4.1 Mallijärjestelmä kokonaisuutena

Tässä raportissa esitetty mallijärjestelmä on muotoutunut kaksivuotisen hankkeen aikana nykyiseen muotoonsa vähitellen lukuisien testien ja käytännön lähtökohtien asettamien rajoitteiden kautta. Valintoihin ovat vaikuttaneet mm. seuraavat tekijät:

- Yhdellä kertaa ei haluttu toteuttaa liian monia muutoksia mallijärjestelmään, sillä jokainen muutos on myös riskitekijä mallin toimivuuden ja vertailtavuuden kannalta. Uusi mallijärjestelmä on aiempaan verrattuna huomattavan laaja. Entinen mallijärjestelmä kattoi vain pääkaupunkiseudun mallit. Aiemmin oli laadittu myös kehyskuntien mallit, mutta näitä ei ollut koskaan otettu käyttöön. Siten mallijärjestelmän laajentaminen koko Uudenmaan, Itä-Uudenmaan ja Riihimäen seudulle oli huomattava lisähaaste. Tämän vuoksi mallijärjestelmässä haluttiinkin hyödyntää mahdollisimman pitkälle jo hyväksi koettuja, aiemmin testattuja ratkaisuja eikä järjestelmää lähdetty suoraan kehittämään esim. sellaisten mallien suuntaan, joissa käytetään enemmän yksilöön liittyviä muuttujia. Yksilömallien käyttöä koskeva kehitysprojekti kuitenkin käynnistettiin varsinaisen mallityön valmistuttua.
- Pääkaupunkiseudun mallijärjestelmä oli ollut pitkään käytössä ja laajalti testattu. Siten seudun ydinalueella tarkoituksenmukaisinta oli pitäytyä samankaltaisessa järjestelmässä nytkin.
- Kehyskunnille ja ympäryskunnille laadittiin omat erilliset mallinsa. Tärkein käytännön peruste tälle oli pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien erilaiset kulkutapaosuudet. Käytännössä mallit toimivat yhtenä kokonaisuutena ja mallirakenne on molemmissa malleissa sama, mutta erilaiset kertoimet mahdollistavat yhtenäistä mallia paremmin erilaisten kulkutapaosuuksien huomioon ottamisen. Toinen peruste erillisten kertoimien määrittämiselle oli se, että kehyskuntien aluejako oli harvempi kuin pääkaupunkiseudulla ja ympäryskuntien alueella edelleen kertaluokkaa harvempi. Aluejako perustui Uudenmaan tiepiirin teettämään aluejakoselvitykseen. Alueiden koko on oleellinen tekijä, sillä alueiden koon vaihtelu aiheuttaa vaihtelua myös mallinnettavaan ilmiöön. Tutkimuksen alkuvaiheessa harkittiin tasakokoista aluejakoa, mutta se päätettiin jättää myöhemmän ajan kehitystyöksi. Liikenteellisesti näkökulmasta pääkaupunkiseutu, kehyskunnat ja ympäryskunnat on nähtävissä myös suhteellisen erillisinä kokonaisuuksinaan. Näille alueille erillisistä mallijärjestelmistä on mahdollisimman vähän haittaa ennustamisen näkökulmasta. Tällä tarkoitetaan, että kun liikennevirrat kokonaisuuksien välillä ovat pienet, ei juurikaan haittaa, vaikka matkaluku asukasta kohti mallialueen sisällä on kiinnitetty mallialueen sisäisiin ominaisuuksiin.

1.4.2 Helsingin seudun mallit

Työn kuluessa selvitettiin seuraavia mahdollisuuksia mallin kehittämiseksi ja tehtiin niihin pohjautuvia valintoja.

Kertoimiltaan samat mallit pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaille

Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien mallien estimoinnissa testattiin mahdollisuutta laatia mallit samoin kertoimin sekä pääkaupunkiseudun että kehyskuntien asukkaille. Mallien selitysasteet ja mallien kertoimien t-testit osoittivat kuitenkin, että pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden liikkumista voitiin kuvata paremmin kertoimiltaan erillisillä malleilla. Niinpä ajatus hylättiin.

Bussi- ja raideliikenne omina kulkutapavaihtoehtoinaan

Pääkaupunkiseudun aiempia malleja on kritisoitu siitä, että bussi- ja raideliikennettä on tarkasteltu niissä vain yhtenä kokonaisuutena eikä erillisinä kulkutapoina. Joukkoliikenteen erottelulla voitaisiin sen eri muotojen keskinäisiä riippuvuuksia sekä palvelutaso- ja arvostuseroja ottaa paremmin huomioon mallissa. Sitä kautta myös koko joukkoliikennjärjestelmä voitaisiin suunnitella tarkemmin ja arvioida eri liikennemuotojen markkinaosuuksia tarkemmin.

Mallijärjestelmän laadinnan yhteydessä selvitettiin mahdollisuutta tarkastella bussi- ja raideliikennettä omina kulkutapavaihtoehtoinaan malleissa. Sitä varten jouduttiin määrittelemään, mitä bussi- ja raideliikennematkalla tarkoitetaan, koska yksittäinen joukkoliikennematka voi koostua useista eri joukkoliikennevälineillä kuljetuista osista. Määrittely on olennainen, sillä se vaikuttaa tapaan, jolla bussi- ja raideliikenteen vastukset ja matkustajamäärät lasketaan mallissa.

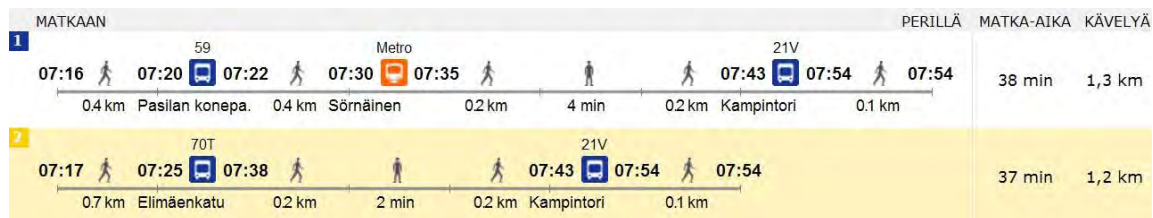
Tarkastelujen pohjaksi työssä muotoiltiin bussi- ja raideliikenteelle neljä eri määritelmää ja yksi vaihtoehtoinen toimintamalli:

1. Raideliikennettä ovat kaikki matkat, joilla on käytetty raideliikennettä. Bussiliikennettä ovat kaikki muut joukkoliikennematkat. Kuvan 3 tilanteessa A kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa olisivat raideliikennettä ja viimeinen bussiliikennettä. Tilanteessa B ensimmäinen vaihtoehto on raideliikennettä ja jälkimmäinen bussiliikennettä.
2. Raideliikennettä ovat matkat, joilla ajallisesti pisin osa joukkoliikennematkasta on tehty raideliikenteellä. Myös tällöin kuvan 3 tilanteessa A kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa olisivat raideliikennettä ja viimeinen bussiliikennettä. Tilanteessa B kumminkin vaihtoehdot olisivat taas bussiliikennettä, koska metromatka on bussimatkaa ajallisesti lyhyempi.
3. Raideliikennettä ovat matkat, joilla on käytetty vain raideliikennettä eikä lainkaan bussiliikennettä. Bussiliikennettä ovat kaikki muut joukkoliikennematkat. Liityntäkävely ja -pyöräily sallitaan. Kuvan 3 tapauksessa kaikki vaihtoehdot sekä tilanteessa A että B olisivat bussiliikennettä.
4. Raideliikennettä ovat ne matkat, joilla on käytetty raideliikennettä yli puolet matkan pituudesta ja joiden lähtö- ja määräpaikat ovat lähellä asemaa (enintään 3–4 km etäisyydellä asemasta). Lyhyet liityntämatkat eri kulkumuodoilla sallitaan. Muut joukkoliikennematkat ovat bussiliikennettä.
5. Vaihtoehtoisessa toimintamallissa raideliikennettä ja bussiliikennettä käsitellään yhdessä joukkoliikenteenä, mutta matkustusmukavuuden erot otetaan huomioon eri joukkoliikennemuotojen matka-aikavastustuksissa.

Tilanne A



Tilanne B



Kuva 3. Esimerkki matkaketjusta joukkoliikenteellä¹⁷.

Käytettävissä olleen ajan puitteissa oli mahdollista tarkastella syvällisemmin vain kahta vaihtoehtoa. Niistä ensimmäiseksi valittiin selkeyden vuoksi vaihtoehto 3, ja jos sen tulokset olisivat olleet lupaavia, työtä olisi jatkettu vaihtoehtoon 4. Vaatimattomien tulosten takia jatkotarkasteluun valittiin kuitenkin toimintamalli 5, joka silti antaa aiempaa paremmat valmiudet bussi- ja raideliikenteen erilaisten ominaisuuksien huomioimiseen kulkureittien valinnassa mallissa. Menettelyä voidaan perustella mm. seuraavilla havainnoilla:

- Liikennetutkimusaineistoon kertyneet raideliikennehavainnot eivät tue vaihtoehdon 3 mukaista raideliikenteen kuvausta.
- Metro- ja juna-asemien ydinvyöhykkeillä bussiliikenteen vaihtoehto ei ole yleensä mahdollinen kulkutapavaihtoehto, sillä bussiliikenne toimii näillä alueilla vain liittynäkulkutapana. Yöliikenteen aikaan tilanne taas on usein päinvastainen, sillä erityisesti metroluennetta korvaa silloin bussiliikenne. Kahta vaihtoehtoa ei siis yleensä ole, vaan kyse on joko–tai-tilanteesta.
- Käytännössä reitinvalintaan joukkoliikenteellä ja samalla metron, junan, raitiovaunun tai bussin käyttöön saattaa vaikuttaa juuri lähtöhetken tilanne. Matkustajan näkökulmasta valinta eri joukkoliikennemuotojen välillä ei välttämättä ole erityisen oleellinen kysymys. Ratkaisevampaa voi olla matkan kokonaisaika, vaihtojen määrä ja kävelymatkan pituus. Hinta eri vaihtoehdoilla on yleensä sama lippujärjestelmien yhtenäistämisen ansiosta.
- Vaikka olisi saatu aikaan erilliset bussi- ja raideliikenteen matkamatriisit, sijoittelumallia ei kuitenkaan voida pakottaa minkään edellä kuvatun määritelmän mukaiseen reitinvalintaan muutoin kuin hyvin keinotekoisilla rajoituksilla, koska sijoittelumalli hakee kaikissa tilanteissa koko joukkoliikenneverkolta aina käyttäjän kannalta edullisimman reitin riippumatta matkamatriisien taustalla olevasta määritelmästä.

¹⁷ Lähde: www.reittiopas.fi

Lisäksi bussi- ja raideliikenteen mallintaminen erillisinä kulkutapoina olisi nykytilanteessa Helsingin seudulla epäjohdonmukaista tilanteessa, jossa järjestelmä toimii käytännössä yhtenä kokonaisuutena (ks. kuva 3). Tärkeämpää onkin kuvata malleilla joukkoliikennematkaan liittyviä eri vaiheita, kuten vaihtoja, kulkuvälineessä vietettyä aikaa ja liityntämatkoja. Lopputuloksena Helsingin seudun liikennemalleissa joukkoliikennettä päädyttiin kuvaamaan painotetulla kokonaismatka-ajalla, jossa edellä mainitut matkan osat on otettu huomioon painottamalla niitä eri kertoimilla. Tarkastelutapa mahdollistaa erilaisten painokertoimien ja nousuvastusten käytön eri joukkoliikennekulkutavoilla. Peruslähtökohta kertoimille on, että odotusajat ja liityntämatkat ovat matkustusmukavuudeltaan heikompia kuin itse joukkoliikennevälineessä vietetty aika ja nousuajat ovat erilaisia eri joukkoliikennemuodoille. Matka-vastusten laskentaa on kuvattu tarkemmin liitteessä 9.

Käytettäessä toimintamallia 5 eri joukkoliikennemuotojen käytön osuudet pystytään määrittelemään vasta sijoittelun aikana tutkimalla kunkin kulkumuodon käyttöä kullakin tehdylä matkalla erikseen. Myös tällöin joudutaan määrittelemään, mitä bussi- ja raideliikennematkoilla tarkoitetaan. Selkeyden vuoksi suosituksena on, että kun eri joukkoliikennemuotojen käytön osuuksia lasketaan sijoittelutuloksista, bussi- ja raideliikenne määriteltäisiin vaihtoehtoon 2 mukaisesti, koska se vastaa parhaiten tehdyssä liikennetutkimuksessa käytettyä määritelmää.

Matkaryhmät

Pääkaupunkiseudun vanhoissa liikennemalleissa matkaryhmiä oli neljä: 1) kotiperäiset työmatkat 2) kotiperäiset koulumatkat 3) kotiperäiset muut matkat 4) ei-kotiperäiset matkat.

Koska kotiperäiset muut matkat pitivät sisällään joukon varsin epähomogeenisia matkoja koiranulkoilutuksesta ostos- ja asiointimatkoihin tai yökerhoviisitteihin, olisi tätä matkaryhmää haluttu jakaa useampiin osiin. Tätä tarkoitusta varten ostos- ja asiointimatkat eroteltiin omaksi kokonaisuudekseen. Tämän matkaryhmän kulkutavan valinta ja matkojen pituudet poikkesivat myös oleellisesti muista matkaryhmän matkoista. Estimointikokeiluissa ostos- ja asiointimatkoille ei kuitenkaan saatu laadittua käypää omaa malliaan, vaan matkaryhmä jouduttiin yhdistämään takaisin kotiperäisiin muihin matkoihin kulkutapa- ja suuntautumismalleissa. Yhteisistä kertoimista huolimatta ennustejärjestelmä on kuitenkin laadittu erikseen kotiperäisille ostos- ja asiointimatkoille ja kotiperäisille muille matkoille. Näin ennustetilanteessa voidaan matkatuotostasolla hyödyntää matkaryhmien eroja, kun väestörakenne muuttuu. Samoin kulkutapaosuudet on sovitettu kummallekin matkaryhmälle ominaisiksi luvussa 2.4 kuvatulla tavalla.

Sen sijaan ei-kotiperäisistä matkoista saatiin eroteltua työperäiset matkat omaksi ryhmäkseen. Estimoinneissa osoittautui, että työperäisten matkojen mallien kertoimet olivat huomattavan erilaisia verrattuna muihin ei-kotiperäisiin matkoihin, joten oli perusteltua eriyttää matkaryhmät omikseen.

Alueiden ominaisuuksia koskevat luokittelumuuttujat suuntautumismalleissa

Aiempien pääkaupunkiseudun malleihin liittyvien kokemusten pohjalta matkojen suuntautumista kuvaavien mallien ongelmana on pidetty sitä, että ne eivät kovin hyvin pysty kuvaamaan kantakaupunkiin tai aluekeskuksiin suuntautuvien matkojen määrää.

Työssä testattiin alueellisia vakioita, jotka noudattavat seuraavaa ryhmittelyä:

1 Ydinkeskusta

pieni kotitalouskoko, vähän lapsitalouksia, paljon toimisto- ja liikerakennuksia, erittäin korkea palvelutaso

2 Paikallinen kuntakeskus

korkea palvelutaso, paikallinen hallinnollinen keskus

3 Asuinkeskusta

korkea palvelutaso, pääosin asuntorakennuksia, suuri asukastiheys

4 Hyvän palvelutason esikaupunkialue

kerrostalojen osuus suuri, pääosin asuntorakennuksia, korkea autonomistusaste, alhainen palvelutaso

5 Huonon palvelutason esikaupunkialue

pientalojen osuus suuri, lapsitalouksien osuus suuri, korkea autonomistusaste, alhainen palvelutaso

6 Erittäin huonon palvelutason alue

korkea autoistumisaste, alhainen asukastiheys, pitkä etäisyys paikalliseen kuntakeskukseen, alhainen palvelutaso

Palvelutasolla tarkoitetaan tässä yhteydessä alueella olevien palvelujen määrää ja monipuolisuutta, ei siis esimerkiksi joukkoliikenteen palvelutasoa. Käytännössä kaikilla hyvän palvelutason alueilla (1–4) kuitenkin on hyvä joukkoliikennetarjonta.

Esitetyn kaltainen ryhmittely on käytössä Tampereen seudun liikennemalleissa, mutta siellä on edellä mainittujen ryhmien lisäksi käytössä myös alueluokat kauppakeskusalue (keskustan ulkopuolinen vähittäiskaupan keskittymä) ja työpaikkavaltainen alue keskustan ulkopuolella. Palvelut on pisteytetty niiden matkatuotosominaisuuksien mukaan ja sen perusteella kullekin osa-alueelle on laskettu palvelutasoindeksi, jonka avulla alueet on ryhmitelty johonkin edellä mainituista ryhmistä.

Kyseisiä alueryhmittelyjä kokeiltiin Helsingin seudun mallien estimoinnissa useilla eri tavoilla, mutta mikään vaihtoehto ei tuottanut tyydyttävää tulosta. Syynä saattoi olla, että luokittelun monimutkaisen rakenteen vuoksi se ei sovi Helsingin seudulle, eri alueet on voitu luokitella väärin tai Helsingin seudulla matkat eivät noudata luokittelun kaltaista suuntautumisjakamaa. On myös mahdollista, että suuntautumisen mallintamiseksi tarvittaisiin totuttua huomattavasti suurempi havaintoaineisto. Merkittävin tekijä lienee kuitenkin se, että yksittäisten ihmisten matkojen suuntautuminen noudattaa sellaisia yksilöllisiä loogiikkoja, joita ei yleisillä väestömääriä, työpaikkamääriä tai alueen palvelutasoa kuvaavilla tekijöillä pystytä kuvaamaan läheskään täydellisesti.

Lopullisissa malleissa kaikista aluekohtaisista vakioista luovuttiin ja suuntautumista selittävät työpaikkojen määrät tai kerrosalat toimialoitain, väestömäärät ja liikennejärjestelmä. Menettelystä on se etu, että maankäytön kehittyessä ei ennusteita laadittaessa ole tarvetta subjektiivisille arvioille siitä, mihin alueluokkaan ennustealue kuuluu, vaan kaikki malleissa esiintyvät muuttujat ovat laskennallisia.

Kulikutapamallien muuttujiin ja kertoimiin liittyviä valintoja

Mallien estimoinnissa testattiin useita erilaisia muuttuja- ja kerroinyhdistelmiä. Testattuja muuttuja- ja kerroinvaihtoehtoja olivat seuraavat:

- Epälineaarinen matkakustannusmuuttuja (esimerkiksi logaritminen $\ln(f(x))$) tai polynomi ax^2+bx+c). Muuttujien muunnokset eivät kuitenkaan johtaneet t-arvoiltaan käypiin ratkaisuihin.
- Matkakustannus/tulot. Muuttuja ei osoittautunut tilastollisessa testeissä yksiselitteisesti pelkkää kustannusmuuttujaa paremmaksi vaihtoehdoksi. Lisäksi tämän muuttujan käytöstä luovuttiin, koska liikenne-ennustetta laadittaessa sen käyttö on teknisesti vaativaa. Yksinkertaistettunakin se olisi vaatinut ennusteiden laadintaa tulo-luokittain. Tämä puolestaan olisi kasvattanut ennusteajojen ajoaikaa moninkertaiseksi. Muuttujayhdistelmä kustannukset/tulot on luonteeltaan yksilömalleihin soveltuva muuttuja.¹⁸
- Joukkoliikenteen matka-ajan komponentit, kuten vaihdot, kulkuvälineessä vietetty aika ja liityntämatkan pituus, yritettiin pitää erillisinä muuttujinaan. Tämä ratkaisu olisi ollut huomattavan toivottavaa, sillä se olisi antanut myös perustelun, miksi rai-deliikenteen ja bussiliikenteen vastuksille annetaan erilainen painoarvo. Nyt toteu-tetuissa estimoinneissa joukkoliikenteen matka-ajan osatekijöille ei kuitenkaan voi-tu osoittaa erilaisia painoarvoja. Sama tilanne todettiin jo aiemmin vuonna 1988 laadittujen mallien yhteydessä. Malleissa jouduttiin tyytymään vaihtoehtoon, jossa matka-ajan eri osatekijät on kyllä otettu huomioon erilaisilla painoarvoilla, mutta näitä painoarvoja ei ole voitu matemaattisesti perustella, vaan niissä on nojattu asiantuntijoiden suosituksiin. Tarkemmin painoarvoja on kuvattu liitteessä 9 ja tä-män julkaisun osassa C. Matkan osien painotus voidaankin nähdä eräänä jatko-kehitystarpeena Helsingin seudun liikennemalleissa. Aikataulusijoittelun käyttöönotto voi olla tässä eräs ratkaisu.
- Yleistetty matkavastus. Yleistetyllä matkavastuksella tarkoitetaan yhdistelmämuut-tujaa, jossa osatekijöinä ovat matkakustannus ja matka-aika. Näiden keskinäinen suhde on ennalta määrätty ja vastaa pääpiirteittäin yhteiskuntataloudellisissa las-kelmissa käytettyä suhdetta, jossa yksi tunti vastaa 7,22 euroa¹⁹ eli 0,1203 euroa minuuttia kohden. Yleistettyä matkavastusta päädyttiin käyttämään silloin, kun joko matka-aikaa tai matkakustannusta ei saatu muuten malliin mukaan.
- Vaihtoehdoille yhteinen matka-ajan tai kustannuksen kerroin. Malleja estimoitaes-sa testattiin mahdollisuutta, jossa matka-ajan tai matkan hinnan kerroin olisi sama kulkutavasta riippumatta. Tämä tarkoittaisi, että matkustajat arvostaisivat esimer-kiksi kunkin henkilöautossa, joukkoliikenteessä tai kevytliikenteessä käytetyn mi-nuutin samanarvoisiksi. Yleinen matkakustannuksen kerroin tarkoittaisi taas, että matkustajat arvostaisivat joukkoliikenteen matkalippuun käytetyn summan saman-arvoiseksi kuin henkilöautomatkan hinnan. Henkilöautomatkoihin sisältyvää hintaa on tarkemmin eritelty liitteessä 2. Yleisesti pääsääntö on, että erillisiä kertoimia käytetään silloin, kun ne poikkeavat merkitsevästi toisistaan. Toisaalta tilanteessa, jossa muuttujien ja myös havaintojen kesken on paljon korrelaatiota, yhteisen ker-toimen käyttöä kannattaa harkita, vaikka näyttäisikin siltä, että kertoimien arvot poikkeavat toisistaan. Useimmissa tapauksissa tässä työssä päädyttiin käyttä-mään erillisiä kertoimia, sillä arvostukset olivat estimointitulosten valossa erilaisia. Tuloksiin vaikutti luonnollisesti tapa, jolla matka-aika ja kustannukset oli määritelty.

¹⁸ Tässä tulot kulkutavan valintaa selittävänä muuttujana on myös vaikeasti ennustettavissa. Muuttujan vaikea ennustetta-vuus ei voi kuitenkaan olla tämän hylkäämisperuste. Mallintamisen teorian mukaan kaikki ilmiön kannalta oleelliset muuttujat on pystyttävä ennustamaan tai niistä on voitava esittää olettamuksia, jos itse ilmiötä halutaan ennustaa tai sii-tä halutaan tehdä olettamuksia. Muussa tapauksessa ennustamisesta tai ilmiötä koskevista olettamuksista voi yhtä hy-vin luopua.

¹⁹ Tätä lukuarvoa ei tule muuttaa malleissa, vaikka yhteiskuntataloudellisen laskelman ohjearvot muuttuisivatkin. Syynä on, että mallit on estimoitu vuosien 2007–2008 tasoon. Ajan arvo ei ole täsmällisesti yhteiskuntataloudellisen laskelman ohjearvon mukainen, sillä ympäryskuntien mallissa käytetty joukkoliikenteen matka-aika on painotettu kokonaismatka-aika. Yhteiskuntataloudellisissa laskelmissa käytetään ainakin periaatetasolla todellista matka-aikaa.

Suuntautumismallien rakenteeseen liittyviä valintoja

Suuntautumismallit päädyttiin laatimaan yksitasoisina, mutta matkan varrella testattiin muitakin vaihtoehtoja. Testatut vaihtoehdot olivat seuraavat:

- Kaksitasoinen suuntautumismalli siten, että ensimmäisenä valintatasona oli matkan pääsuunta. Vaihtoehtoja olivat siten pääkaupunkiseudun asukkaiden näkökulmasta pääkaupunkiseutu, kehyskunnista itäsuunta, länsisuunta, pohjoinen suunta tai eteläsuunta. Alemmalla tasolla olivat eri ennustealueet. Kansanomaisesti ilmaistuna tämä tarkoittaisi sitä, että matkustaja päättää ensin, mihin päin hän lähtee liikkeelle ja vasta tämän jälkeen tarkemmin määräpaikkansa.
- Kaksitasoinen suuntautumismalli siten, että ylemmällä tasolla olivat seuraavat alueryhmät: ydinkeskusta, paikallinen kuntakeskus, asuinkeskusta, hyvän palvelutason esikaupunkialue, huonon palvelutason esikaupunkialue, erittäin huonon palvelutason alue. Alemmalla tasolla olivat eri ennustealueet.

Loogisilta vaikuttavista ryhmittelyperusteista huolimatta suuntautumismallien laatu ei parantunut hierarkiatasoja lisäämällä. Siten hierarkkinen päätöksenteon malli ei estimoinneissa saanut tukea, joten sitä ei otettu käyttöön.

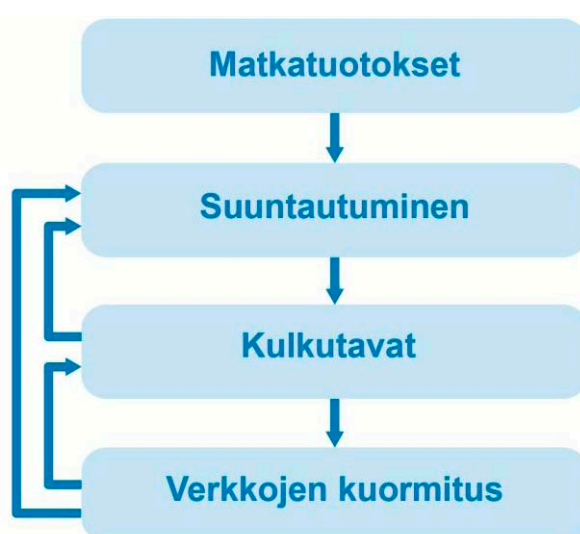
2 Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien mallit

2.1 Mallialue

Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien mallit eli Helsingin seudun mallit käsittävät pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden matkat Helsingin seudun 14 kunnan alueella arkena. Mallit laadittiin erikseen pääkaupunkiseudun asukkaille ja erikseen kehyskuntien asukkaille lukuun ottamatta tuotoslukuja, joiden oletettiin riippuvan pikemminkin henkilön iästä ja henkilöauton käyttömahdollisuudesta kuin alueellisista tekijöistä.

2.2 Mallijärjestelmän yleiskuvaus

Helsingin seudun 14 kunnan sisäisen liikenteen mallijärjestelmä on perinteisen neliporasmallin sovellus. Prosessissa on takaisinkytkentä liikenteen sijoittelusta matkojen suuntautumiseen ja kulkutapajakaumaan.



Kuva 4. Helsingin seudun sisäisen liikenteen nelivaiheinen liikenne-ennusteprosessi.

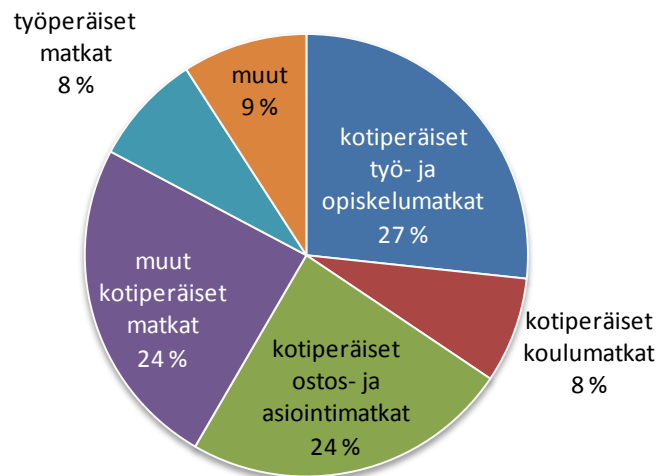
Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien mallit edustavat kaikkiaan noin 3,7 miljoonaa matkaa arkivuorokautena²⁰.

Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien malleissa on kuusi matkaryhmää. Matkaryhmät ovat

- kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat
- kotiperäiset koulumatkat, jotka ovat 7–17-vuotiaiden tekemiä
- kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat
- kotiperäiset muut matkat
- työperäiset matkat
- muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat.

Eri matkaryhmien suhteelliset osuudet nykytilanteessa on esitetty seuraavassa kuvassa. Lopullisissa malleissa kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat yhdistettiin kotiperäisiin muihin matkoihin siten, että kulkutapa- ja suuntautumismallien kertoimet ovat samat, mutta kulkutapakohtaiset vakiot ja eri ajankohtien matkatuotokset ovat erisuurat. Nämä kaksi matkaryhmää yhteensä kattavat lähes puolet Helsingin seudun matkoista.

²⁰ Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus 2007–2008



Kuva 5. Matkaryhmien osuudet Helsingin seudulla arkena²¹.

Kulikutapavaihtoehtoja pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien malleissa ovat:

- kevyt liikenne (kävely tai pyöräily)
- joukkoliikenne
- henkilöautoliikenne.

Taulukko 3. Kulutapaosuudet Helsingin seudulla.²¹

asukkaat	ajankohta	kulikutapa	matkat arkena	osuus ajan- kohdan matkoista	matkat eri kulikutavoilla yhteensä
PKS	aamuruuhka	kevytliikenne	147 000	27 %	552 000
		joukkoliikenne	194 000	35 %	
		henkilöauto	211 000	38 %	
	iltaruuhka	kevytliikenne	257 000	31 %	818 000
		joukkoliikenne	234 000	29 %	
		henkilöauto	327 000	40 %	
	päivä-, ilta- ja yöliikenne	kevytliikenne	579 000	38 %	1 541 000
		joukkoliikenne	370 000	24 %	
		henkilöauto	592 000	38 %	
KEHYS	aamuruuhka	kevytliikenne	45 000	28 %	163 000
		joukkoliikenne	26 000	16 %	
		henkilöauto	92 000	56 %	
	iltaruuhka	kevytliikenne	63 000	28 %	226 000
		joukkoliikenne	23 000	10 %	
		henkilöauto	140 000	62 %	
	päivä-, ilta- ja yöliikenne	kevytliikenne	149 000	37 %	406 000
		joukkoliikenne	26 000	6 %	
		henkilöauto	231 000	57 %	
					3 705 000

²¹ Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus 2007–2008, Helsingin seudun asukkaat

Suuntautumismalleissa matkojen määränpäävaihtoehtoja ovat ennustealueet. Helsingin seudulla ennustealueita on kaikkiaan 225, joista 150 on pääkaupunkiseudulla ja 75 kehyskunnissa. Matkojen suuntautumista Helsingin seudulla on kuvattu yleisellä tasolla seuraavassa taulukossa.

Taulukko 4. Matkojen suuntautuminen Helsingin seudulla arkena²².

matkan tekijät	matkojen suuntautuminen	matkamäärät HEHA 2007-2008
Pääkaupunkiseudun asukkaat	ennustealueen sisäiset matkat	785 000
	muut kunnan sisäiset matkat	1 569 000
	muut pääkaupunkiseudun sisäiset matkat	484 000
	pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien väliset matkat	55 000
	kehyskuntien sisäiset matkat	7 000
		2 900 000
Kehyskuntien asukkaat	ennustealueen sisäiset matkat	362 000
	muut kunnan sisäiset matkat	172 000
	matkat kehyskunnasta toiseen	70 000
	pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien väliset matkat	169 000
	pääkaupunkiseudun sisäiset matkat	33 000
		805 000
Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaat yhteensä		3 705 000

Sekä kulkutapa- että suuntautumismallit ovat rakenteeltaan pääsääntöisesti logittimalleja.

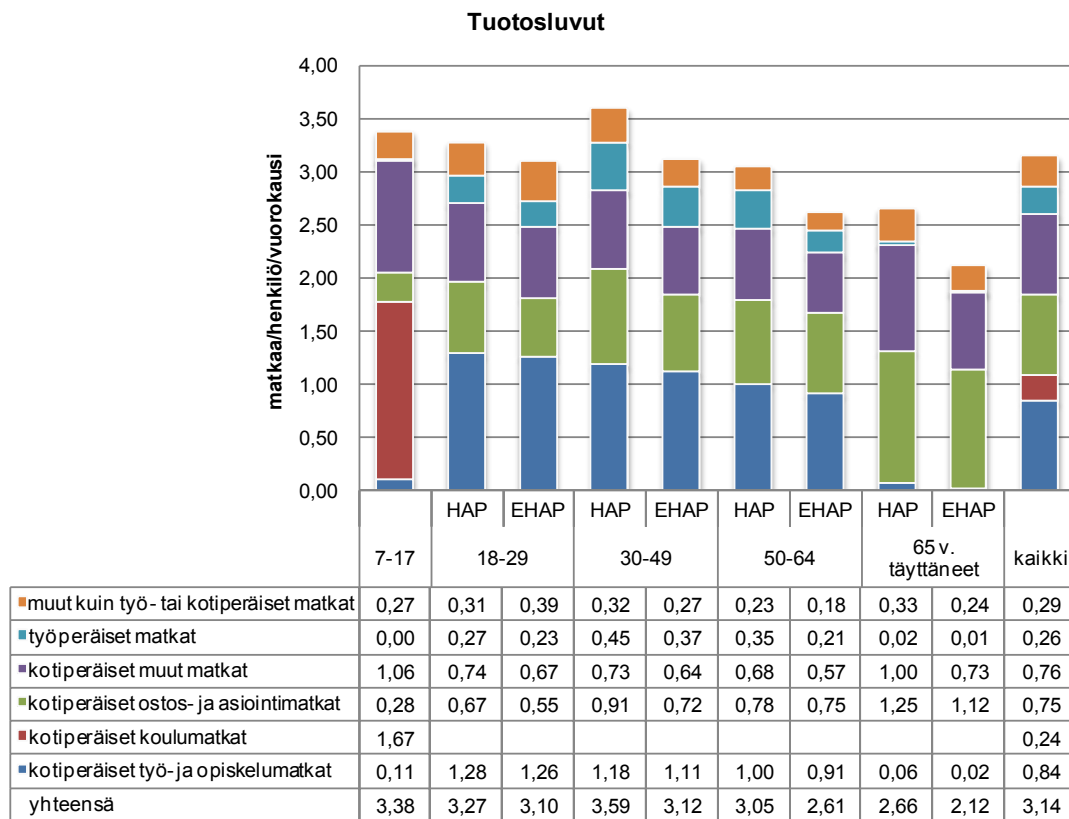
2.3 Tuotosmallit

2.3.1 Mallin kuvaus

Ennen tuotosmallien laadintaa testattiin, mitkä muuttujat parhaiten kuvaavat matkojen määrää arkena. Testi toteutettiin regressioanalyysillä. Testien perusteella tuotoslukujen määräytymisperusteiksi valittiin henkilöauton käyttömahdollisuus ja ikäryhmä. Regressioanalyysin tuloksia ja aiheeseen liittyviä pohdintoja on tarkemmin kuvattu liitteessä 3.

Helsingin seudun tuotosmallit ovat tuotoslukuja. Tuotosluku kertoo, kuinka monta matkaa keskimäärin määrättyyn väestöryhmään kuuluva henkilö tekee arkivuorokaudessa tai sen osassa. Tuotosluvut on esitetty seuraavassa kuvassa. Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaita oli vuonna 2007/2008 1,18 miljoonaa ja he tekivät keskimäärin 3,7 miljoonaa matkaa. Keskimääräinen matkatuotos oli 3,14 matkaa arkivuorokautta kohti. Alle 7-vuotiaille ei ole laskettu omia tuotoslukujaan.

²² Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus 2007–2008. Pääkaupunkiseudun asukkaiden matkoista Espoon ja Kauniaisten väliset matkat on luettu poikkeuksellisesti kuntien sisäisiksi matkoiksi. Syynä on, että mallitarkasteluissa Espoota ja Kauniaista käsitellään yhtenä kokonaisuutena.



Kuva 6. Pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien seitsemän vuotta täyttäneiden asukkaiden matkojen koko vuorokauden tuotosluvut Helsingin seudulla arkena²³.

Vaikka kulkutapamalli ja suuntautumismallit ovat binäärimuuttujia eli vaihtoehtokohtaisia vakioita lukuun ottamatta samat kotiperäisille ostos- ja asiointimatkoille ja kotiperäisille muille matkoille, on matkatuotokset kuitenkin laskettu erikseen näille matkaryhmille. Näin siksi, että erilaisia tulevaisuuden skenaarioita pohdittaessa voidaan ennusteissa vaikuttaa myös arvioihin tulevaisuuden matkatuotoksista (vertaa liite 3).

Koska ennusteet laaditaan erikseen aamuruuhkalle, iltaruuhkalle sekä päivä-, iltä- ja yöliikenteelle, on tuotosluvut jaettu vielä ajankohdan mukaan. Eri ajankohtien tuotoskertoimet löytyvät liitteestä 4. Aikajaksokohtaiset tuotoskertoimet on summattu koko vuorokauden tasolle ja esitetty edellä olevassa kuvassa.

Tuotoslukujen laskennassa on otettu huomioon liikumistutkimusaineistossa esiintyvät puutteelliset tiedot. Tämä tarkoittaa, että laskennan pohjana olevissa havainnoissa matkan kulkutapa, ajankohta, lähtö- tai määräpaikan alue voi puuttua yksittäisten havaintojen kohdalla tai matkan tarkoitusta ei ole pystytty päättämään.

2.3.2 Lähtöaineisto tuotosmalleja käytettäessä

Laadittaessa ennusteet matkojen määriksi ennustealueittain tarvitaan lähtötietoina

- edellisessä luvussa mainitut tuotosluvut kaikille kotiperäisille matkoille
- arviot väestömääristä ikäryhmittäin ennustealueilla (ikäryhmät ovat 7–17-vuotiaat, 18–29-vuotiaat, 30–49-vuotiaat, 50–64-vuotiaat ja 65 vuotta täyttäneet).
- autonomistumsmallilla ja auton käyttömahdollisuuden mallilla lasketut ikäryhmittäiset väestöosuudet henkilöauton pääasiallisista käyttäjistä

²³ Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikumistutkimus 2007–2008

- väestön ja työpaikkojen kokonaismäärät ennustealueilla työperäisten matkojen ja muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen lähtöpaikkojen päättämiseksi.

2.3.3 Matkojen lähtöpaikan määrittäminen

Kuvan 6 mukaiset tuotosluvut kertovat, kuinka monta erityyppistä matkaa eri väestöryhmiin kuuluvat henkilöt keskimäärin tekevät kunakin arkipäivänä, mutta ne eivät vielä kerro, mistä eri matkat alkavat. Sitä varten tuotoslukuja on tarkennettava matkojen alkupään määrittävillä malleilla. Määrittästyö etenee vaiheittain siten, että ensin määritetään kullakin ennustealueella asuvien henkilöiden tekemien matkojen kokonaismäärä, minkä jälkeen näiden matkojen lähtöpaikat jaetaan eri ennustealueille matkaryhmittäin.

Matkojen määrä

Edellä mainitut lähtötiedot koskevat siis Helsingin seutua. Kertomalla kunkin ajankohdan tuotosluku ennustealueen väestöryhmäkohtaisella asukasmäärällä saadaan ennustealueen yksittäiseen väestöryhmään kuuluvien asukkaiden tuottamat matkat määrättyä ajankohtana. Laskemalla yhteen eri väestöryhmien tuotokset saadaan koko ennustealueen väestön tuottamat matkat matkaryhmittäin eri ajankohtina. Asia voidaan matemaattisena kaavana ilmaista seuraavasti:

$$T_{am}(e) = \sum_v t_{amv} \times V_v(e)$$

missä

$T_{am}(e)$ = ajankohtaa a , matkaryhmää m ja ennustealuetta e koskeva matkojen kokonaistuotos

t_{amv} = ajankohtaa a , matkaryhmää m ja väestöryhmää v koskeva tuotosluku

$V_v(e)$ = väestöryhmän v koko ennustealueella e .

Muuttujien indeksit ovat:

a = tarkasteluajankohta: aamuruuhka, iltaruuhka tai päivä-, ilta- ja yöliikenne
 m = tarkasteltava matkaryhmä
 v = tarkasteltava väestöryhmä (ikäluokka ja autonkäyttömahdollisuus)
 e = tarkasteltava ennustealue.

Tuotokset kertovat vain matkojen kokonaismäärän. Kun tuotokset ovat selvillä, on vielä arvioitava, mistä matkat eri ajankohtina alkavat.

Matkojen lähtöpaikan määrittäminen kotiperäisillä matkoilla

Kotiperäisillä matkoilla matkojen alkuperän määrittäminen on kuitenkin helppo. Matkojen oletetaan generoituvan kunkin henkilön asuinalueelta ja päättyvän johonkin suuntautumismallilla laskettuun kohteeseen. Kuitenkin vain osa asuinalueen generoimista matkoista myös lähtee sieltä. Aamuruuhkan, iltaruuhkan sekä päivä-, ilta- ja yöliikenteen kotiperäisten matkojen jakautuminen meno- ja paluumatkoihin on esitetty liitteessä 6.

Matkojen lähtöpaikan määrittäminen työperäisillä matkoilla

Työperäisten matkojen todellista generointipaikkaa ei tiedetä etukäteen, joten asia on ratkaistava keinotekoisesti. Sitä varten oletetaan aluksi, että lähtökohtaisesti myös työperäiset matkat generoituvat niillä ennustealueilla, missä työntekijät asuvat, mutta sitten varsinaisten lähtöpaikkojen määrittämiseksi työperäisten matkojen lähtöpaikat siirretään eri ennustealueille kullekin ennustealueelle suuntautuvien kotiperäisten työmatkojen lukumäärien suhteessa. Käytännössä tämä tarkoittaa yksinkertaista periaatetta, että työperäiset matkat lähtevät sieltä, missä ihmiset käyvät työssä. 14 kunnan alueen määrätyn ajankohdan kokonaistuotos lasketaan teknisesti summaamalla ensin kaikkien ennustealueiden työperäisten matkojen tuotokset yhteen ja jakamalla siten saatu työperäisten matkojen

kokonaistuotos eri ennustealueille kullekin alueelle suuntautuvien kotiperäisten työmatkojen suhteessa.

Koko tarkastelualueelta syntyvien työperäisten matkojen kokonaistuotos on siis

$$T_{am} = \sum_e T_{am}(e),$$

missä

T_{am} = ajankohtaa a koskeva työperäisten matkojen (missä m on matkaryhmä 5 eli työperäiset matkat) kokonaistuotos Helsingin seudulla yhteensä.

$T_{am}(e)$ = ajankohtaa a ja ennustealuetta e koskeva työperäisten matkojen kokonaistuotos

Määrätyltä alueelta syntyvien työperäisten matkojen kokonaismäärä taas saadaan suhteuttamalla ennustealueen työmatkat koko seudun työmatkoihin:

$$M_{am}(e) = \frac{tp(e)}{\sum_k tp(k)} T_{am}$$

missä

$M_{am}(e)$ = ajankohtaa a koskeva työperäisten matkojen ($m=5$) generointi alueelta e .

$tp(e)$ = ennustealueelle e suuntautuvat koko vuorokauden kotiperäiset työmatkat kaikilla kulkutavoilla yhteensä

T_{am} = ajankohtaa a koskeva työperäisten matkojen kokonaistuotos.

Tarkastelu tehdään erikseen pääkaupunkiseudun asukkaille ja kehyskuntien asukkaille. Aamuruuhkan, iltaruuhkan sekä päivä-, ilta- ja yöliikenteen työperäisten matkojen jakautuminen meno- ja paluumatkoihin on esitetty liitteessä 6.

Matkojen lähtöpaikan määrittäminen muilla kuin työ- tai kotiperäisillä matkoilla

Muilla kuin työ- tai kotiperäisillä matkoilla (matkaryhmä 6) matkojen lähtöpaikka määritellään periaatteiltaan samalla tavalla kuin aiemmissa pääkaupunkiseudun malleissa ei-kotiperäiset matkat.²⁴ Asuinalueet generoivat matkoja kuten muissakin matkaryhmissä, mutta asuinalue ei välttämättä ole matkan kumpanakaan päänä. Koska näiden matkojen todellisia lähtöpaikkoja ei vielä tiedetä, asia joudutaan hoitamaan keinotekoisesti. Kriteerinä käytetään kunkin alueen asukkaiden ja työpaikkojen tuottamien matkojen kokonaismääriin perustuvia tunnuslukuja, jotka tuotetaan kullekin aikajaksolle erikseen henkilöauton pääasiallisille käyttäjille (HAP) ja henkilöauton ei-pääasiallisille käyttäjille (EHAP). Lisäksi pääkaupunkiseudun asukkaille ja kehyskuntien asukkaille käytetään eri kertoimia. Koko tarkastelualueen asemesta asiaa tarkastellaan suuralueittain, jolloin saadaan hiukan tarkempia tuloksia. Laskenta etenee seuraavasti:

- 1) Lasketaan kullekin pääkaupunkiseudun ennustealueelle eri väestöryhmien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen tuotokset tarkasteltavana aikajaksone (aamuruuhka, iltaruuhka sekä päivä-, ilta ja yö yhteensä) ja yhdistetään väestöryhmittäiset tiedot koko pääkaupunkiseudulle yhteensä pitämällä kuitenkin HAP-henkilöt ja EHAP-henkilöt erillään. Näin saadaan koko pääkaupunkiseudulle kuusi muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen ($m=6$) kokonaismäärää kuvaavaa lukua: siis kunkin kolmen aikajakson HAP- ja EHAP-henkilöille $T_{am} = \sum_e T_{am}(e)$, missä

$$T_{am}(e) = \sum_v t_{amv} \times V_v(e).$$

²⁴ Karasmaa N. Kurri J. 2003, Pääkaupunkiseudun liikenne-ennustemallit 2000, Helsinki, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:9, osa A, sivut 19–20

- 2) Jaetaan Helsingin seudun ennustealueet viiteen suuralueeseen (Helsingin kanta-kaupunki, muu Helsinki, Espoo ja Kauniainen, Vantaa sekä kehyskunnat) ja kerrotaan kunkin ennustealueen kokonaisasukasmäärä liitteessä 5 olevasta taulukosta 28 saatavilla aikajakso- ja suuraluekohtaisella asukaskertoimilla ja kokonaistyöpaikkamäärä vastaavasti työpaikkakertoimilla siten, että HAP-henkilöille ja EHAP-henkilöille lasketaan aikajaksoittain omat luvut. Sen jälkeen nämä kaksi tulosta lasketaan vielä HAP-henkilöittäin ja EHAP-henkilöittäin yhteen, jolloin jokaiselle ennustealueelle saadaan kaksi aikajaksokohtaista tunnuslukua $asukasmäärä \cdot (matkaa/asukas) + työpaikkamäärä \cdot (matkaa/työpaikka)$, joista toinen HAP- ja toinen EHAP-henkilöille.
- 3) Lasketaan näin muodostetut ennustealueiden tunnusluvut yhteen siten, että HAP- ja EHAP-henkilöille saadaan omat aikajaksokohtaiset summat koko Helsingin seudulle, siis yhteensä kuusi lukua.
- 4) Jaetaan kunkin ennustealueen HAP- ja EHAP-henkilöiden tunnusluku vastaavalla summataason tunnusluvulla, jolloin tuloksena saadaan kullekin ennustealueelle ja aikajaksolle omat kertoimet, jotka kuvaavat kyseisen ennustealueen todennäköisyyttä toimia koko Helsingin seudulla HAP- tai EHAP-henkilön muiden kuin työ- tai kotiperäisen matkojen lähtöpaikkana.
- 5) Kerrotaan kohdassa 1 muodostettujen pääkaupunkiseudun asukkaiden muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen kokonaismäärät edellä saaduilla ennustealuekohtaisilla kertoimilla, jolloin saadaan kultakin ennustealueelta lähtevien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät tarkasteltavana ajankohtana erikseen HAP-henkilöille ja EHAP-henkilöille.
- 6) Tehdään vastaava laskelma kehyskuntien asukkaille käyttäen liitteessä 5 olevasta taulukosta 29 saatavia kertoimia.

Seuraavassa taulukossa on liitteessä 5 olevien taulukoiden yhteenveto eli aikajaksokohtaisten kertoimien summat vuorokausitasolle.

Taulukko 5. Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät vuorokaudessa asukasta ja työpaikkaa kohden matkojen lähtöpaikasta laskien²⁵.

			matkaa/ asukas	matkaa/ työpaikka
Pääkaupunkiseudun asukkaat	HAP	kantakaupunki	0,2356	0,1772
		muu Helsinki	0,0975	0,2895
		Espoo ja Kauniainen	0,1312	0,3068
		Vantaa	0,1306	0,2757
		kehyskunnat	0,0206	0,0739
	EHAP	kantakaupunki	0,3714	0,2794
		muu Helsinki	0,0755	0,2240
		Espoo ja Kauniainen	0,0833	0,1949
		Vantaa	0,0716	0,1512
		kehyskunnat	0,0061	0,0220
Kehyskuntien asukkaat	HAP	kantakaupunki	0,0259	0,0194
		muu Helsinki	0,0073	0,0218
		Espoo ja Kauniainen	0,0125	0,0292
		Vantaa	0,0141	0,0298
		kehyskunnat	0,1111	0,3995
	EHAP	kantakaupunki	0,0145	0,0109
		muu Helsinki	0,0025	0,0048
		Espoo ja Kauniainen	0,0038	0,0061
		Vantaa	0,0041	0,0046
		kehyskunnat	0,0854	0,1779

²⁵ Lähteet: Helsingin seudun liikkestutkimus 2007–2008, YKR-aineiston asukas- ja työpaikkamäärät vuodelta 2005.

2.4 Kulkutapa- ja suuntautumismallit

2.4.1 Mallien estimointi

Kulkutapa- ja suuntautumismallit on laadittu erikseen pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaille ja kaikille matkaryhmille. Sekä kulkutapa- että suuntautumismallit ovat rakenteeltaan pääsääntöisesti logittimalleja. Logittimalleja on ehkä kaikkein havainnollisimmin esitelty Ben Akivan kirjassa ”Discrete Choice Analysis, The MIT Press”.

Kehyskuntien kulkutapa- ja suuntautumismalleissa estimointiaineistona oli Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus 2007–2008 -aineiston lisäksi joukkoliikennematkojen valintaperusteinen otos. Tutkimus tehtiin syksyllä 2008 kehyskuntien joukkoliikenneterminaaleissa. Mallien estimointi tehtiin laajentamattomista aineistoista. Tutkittavan alueen väestöön laajennetussa aineistossa on yleensä hiukan erilainen kulkutapajakauma kuin laajentamattomassa aineistossa eli saaduissa vastauksissa. Lisäksi valintaperusteisen otoksen käyttö muuttaa eri kulkutapoja edustavien havaintojen osuuksia ja aiheuttaa siten estimoinnissa kulkutapakohtaisten vakioiden vääristymisen liikkumistutkimusaineistosta saatavaan tietoon verrattuna. Nämä kummatkin vääristymät korjattiin mallissa kaavalla:

$$c(l) = c(0) - \ln \left[\frac{p(\text{malli})}{p(\text{HEHA})} \right]$$

missä

$c(1)$	= uusi kulkutapakohtainen vakio
$c(0)$	= estimoinnin tuottama kulkutapakohtainen vakio
$p(\text{malli})$	= estimoidulla mallilla laskettu kulkutavan valintatodennäköisyys
$p(\text{HEHA})$	= Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimuksesta 2007–2008 laskettu kulkutapaosuus (laajennettu aineisto).

Malli ajettiin uudelleen käyttäen uutta kulkutapakohtaista vakiota. Saatuja kulkutapaosuuksia verrattiin havaittuihin ja korjattiin taas vakiota. Menettely oli siis iteratiivinen. Kaava on peräisin em. julkaisusta. Samankaltainen menettely oli käytössä myös aiemmissa pääkaupunkiseudun malleissa, vaikka itse kaava olikin hieman toinen.

Pääkaupunkiseudun kulkutapa- ja suuntautumismallit estimoitiin pelkästään laajennetusta liikkumistutkimusaineistosta, joten em. korjausta ei tarvittu.

Seuraavissa luvuissa esitetään sekä pääkaupunkiseudun että kehyskuntien asukkaiden suuntautumis- ja kulkutapamallit. Malleista tuodaan esille kunkin mallin muuttujat, kertoimet, t-arvot ja selitysasteet.

2.4.2 Mallien kuvaus

Kotiperäisillä matkoilla ja muilla kuin kotiperäisillä matkoilla kulkutapa- ja suuntautumis-malleissa käytetyt muuttujat näkyvät kahdessa seuraavassa taulukossa. Tässä esitetyt mallit ovat kahden vuoden aikana tehtyjen satojen erilaisten estimointikokeilujen lopputulos.

Taulukko 6. Kotiperäisten matkojen malleissa käytetyt muuttujat.

Muuttujat eri matkaryhmien malleissa, kotiperäiset matkat		Kotiperäiset työ- ja opiskelu- matkat		Kotiperäiset koulumatkat		Kotiperäiset muut matkat + ostos- ja asiointimatkat	
		PKS	KEHYS	PKS	KEHYS	PKS	KEHYS
Kulkutavanvalintamalli	Ln(etäisyys+1), km (KL)	x	x			x	x
	Matka-aika, min (HA)	x	x			x	
	Painotettu kokonaismatka-aika, "min" (JL)	x	x			x	x
	Ajokustannukset, euroa (HA)	x				x	
	Kustannukset, euroa (JL)	x	x			x	x
	Pysäköintikustannukset, euroa (HA)	x				x	x
	Ajokustannukset + pysäköintikustannukset, e (HA)		x				
	Yleistetty matkavastus, "euroa" (HA)						x
	Vaihtojen määrä, kpl (JL)						
	Autoa / ruokakunta alueella keskimäärin (HA)	x	x			x	x
	Vaihtoehtokohtainen vakio (binäärimuuttuja) (KL)	x	x			x	x
	Vaihtoehtokohtainen vakio (binäärimuuttuja) (HA)	x	x			x	x
Suuntautumismalli	Logsum kulkutavanvalintamallista	x	x			x	x
	Ln(työpaikat yhteensä)	x	x				
	Oma kunta -vakio (0/1-binäärimuuttuja)			x	x		
	Etäisyys, jos omassa kunnassa			x	x		
	Etäisyys, jos eri kunnassa			x	x		
	Ln(asukasmäärä)			x	x		
	<u>Kokotekijässä</u>						
	Asukasmäärä					x	x
	Palvelun työpaikat					x	x
	Myymlöiden kerrosala					x	x

Taulukko 7. Muiden kuin kotiperäisten matkojen malleissa käytetyt muuttujat.

Muuttujat muiden kuin kotiperäisten matkojen malleissa		Työperäiset matkat		Muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat	
		PKS	KEHYS	PKS	KEHYS
Kulutavanvalintamalli	Ln(etäisyys+1), km (KL)	x	x	x	x
	Matka-aika, min (HA)	x		x	
	Painotettu kokonaismatka-aika, "min" (JL)	x	x	x	x
	Ajokustannukset, euroa (HA)	x		x	
	Kustannukset, euroa (JL)	x	x	x	x
	Pysäköintikustannukset, euroa (HA)	x	x	x	x
	Ajokustannukset + pysäköintikustannukset, e (HA)				
	Yleistetty matkavastus (HA)		x		x
	Vaihtojen määrä, kpl (JL)				
	Autoa / ruokakunta alueella keskimäärin (HA)				
	Vaihtoehtokohtainen vakio (binäärimuuttuja) (KL)	x	x	x	x
	Vaihtoehtokohtainen vakio (binäärimuuttuja) (HA)	x	x	x	x
Suuntautumismalli	Logsum kulutavanvalintamallista	x	x	x	x
	Ln(työpaikat yhteensä)				
	Oma kunta -vakio (0/1-binäärimuuttuja)				
	Etäisyys, jos omassa kunnassa				
	Etäisyys, jos eri kunnassa				
	Ln(asukasmäärä + 1)				
	Kokotekijässä				
	Asukasmäärä	x	x	x	x
	Palvelun työpaikat	x	x	x	x
	Myymöälöiden kerrosala	x	x	x	x

Haastatteluista saatuja tietoja ei ole käytetty estimoinnissa, vaan aikaan ja etäisyyteen liittyvät vastukset on saatu sijoitteluista. Malleissa esiintyvien kustannusmuuttujien laskentaa on esitetty tarkemmin liitteissä 1 ja 2. Vaikka kuntajako onkin muuttunut vuoden 2008 jälkeen, oma kunta -muuttujan arvoa ei muuteta, ellei erityistä syytä tähän ole.

Seuraavissa taulukoissa 8–12 on esitetty mallien selitysasteet, kertoimien arvot ja kertoimien t-arvot kullekin matkaryhmälle erikseen. Kulutavanvalintamallille on käytetty selitystasetta $\rho^2(c)$, koska vaihtoehtokohtaiset vakiot ovat käytössä. Suuntautumismallille taas käytetään selitystasetta $\rho^2(0)$, koska niissä ei ole vaihtoehtokohtaisia vakioita.

Lisäksi taulukoihin on laskettu mallien aika- ja hintajoustot. Joukkoliikenteen aikajoustojen tulkinnassa on otettava huomioon, että kyse on painotetusta kokonaismatka-ajasta. Taulukon alaosan joustot on laskettu prosenttiyksikön muutosta kohden ts. esimerkiksi henkilöauton kustannuksen kasvattaminen 10 prosentilla (8. viimeinen rivi taulukossa 8, jossa merkintä "HA kust 110 %") pienentää henkilöautolla tehtävien matkojen määrää 1,0 % pääkaupunkiseudulla ja 2,0 % kehyskunnissa (eli 0,1 ja 0,2 % yhden prosenttiyksikön muutosta kohden). Sen sijaan kulkutapaosuuksien muutokset on ilmoitettu suoraan prosenttiyksiköinä eli tapauksessa "HA kust 110 %" (4. viimeinen rivi) ne pienenevät 0,5 ja 1,2 prosenttiyksikköä.

Taulukko 8. Kotiperäisten työ- ja opiskelumatkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.

Kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat			
kerroin (t-arvo)		PKS	KEHYS
Kulutavanvalintamalli	roo²(c)	0,2284	0,2624
	<i>Ln (etäisyys+1) (KL)</i>	-2,823 (-40,8)	-2,153 (-33,7)
	<i>Matka-aika (HA)</i>	-0,05198 (-9,2)	-0,06484 (-16,4)
	<i>Painotettu kokonaismatka-aika (JL)</i>	-0,03716 (-14,6)	-0,01944 (-10,4)
	<i>Ajokustannukset (HA)</i>	-0,1826 (-2,4)	-0,2275 (-7,0)
	<i>Kustannukset (JL)</i>	-0,471 (-6,3)	-0,2275 (-7,0)
	<i>Pysäköintikustannukset (HA)</i>	-0,7165 (-11,8)	-0,2275 (-7,0)
	<i>Autoa per ruokakunta (HA)</i>	1,827 (15,8)	0,665 (3,7)
	<i>KL binäärimuuttuja (KL)</i>	1,989 (-)	2,640 (-)
	<i>HA binäärimuuttuja (HA)</i>	-2,422 (-)	0,961 (-)
Suuntautumis- malli	roo²(0)	0,3270	0,3939
	<i>Logsum kulutavanvalintamallista</i>	0,9331 -73,1	1,17 (59,9)
	<i>Ln(työpaikat yhteensä)</i>	1 -	1 -
Joustopot	Hintajousto (HA)(HA kust 110%)	-0,1	-0,2
	Hintajousto (JL) (jl kust 90 %)	-0,2	-0,4
	Aikajousto (HA) (HA-aika 110 %)	-0,5	-0,5
	Aikajousto (JL) (jl-aika 90 %)	-0,9	-1,1
Kulutapa- osuuden muutos %-yksikköä	Hinta (HA)(HA kust 110%)	-0,5	-1,2
	Hinta (JL) (jl kust 90 %)	0,9	0,8
	Aika (HA) (HA-aika 110 %)	-1,9	-3,1
	Aika (JL) (jl-aika 90 %)	3,9	2,0

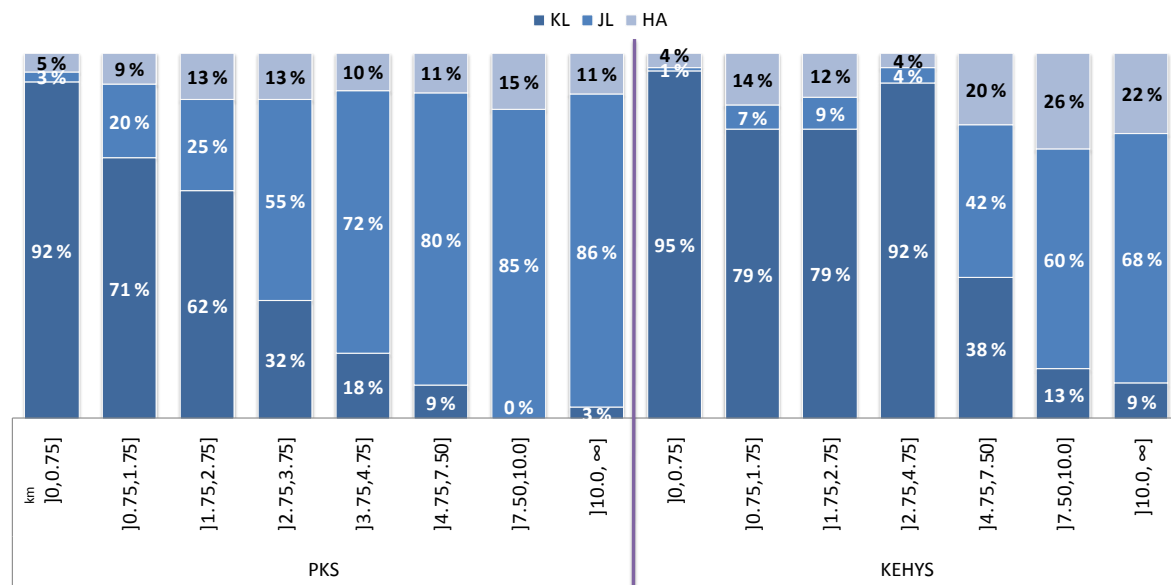
Kotiperäisten työmatkojen malleissa kaikille aikajaksoille (siis myös päiväliikenteelle) on käytetty samoja vastusarvoja (matka-aika, kustannus, etäisyys), jotka on laskettu keskiarvona aamuruuhkan vastuksesta generaatioalueelta attraktioalueelle (eli käytännössä ko-toa työpaikalle) ja iltaruuhkan vastuksesta vastakkaiseen suuntaan.

Kehyskuntien asukkaiden tekemien kotiperäisten työmatkojen mallissa joukkoliikenteen ja henkilöauton matkakustannuksille (ml. pysäköinti) on käytetty yleistä kerrointa, joka on siis yhteinen näille muuttujille (lukuarvot violetilla pohjalla taulukossa 8).

Taulukko 9. Kotiperäisten koulumatkojen suuntautumismallin kertoimet.

Kotiperäiset koulumatkat (7–17-vuotiaat)			
kerroin (t-arvo)		PKS	KEHYS
Kulikutapamalli on Etäisyysjakauma			
Suuntautumismalli	$\text{roo}^2(0)$	0,7248	0,8843
	Binäärimuuttuja, oma kunta	3,541 (14,2)	4,184 (-11,8)
	Etäisyys (KL), oma kunta	-0,4661 (-45,1)	-0,2529 (-13,6)
	Etäisyys (KL), eri kunta	-0,2459 (-12,4)	-0,1342 (-10,3)
	Ln(asukasluku)	-0,6587 (15,1)	0,9523 (11,8)

Kotiperäisten koulumatkojen suuntautuminen lasketaan logittimallilla, mutta kulikutapamalli on pituusjakaumapohjainen, ts. kulutavan valinta riippuu matkan pituudesta. Kulutapaosuudet eripituisilla matkoilla on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 7. Kotiperäisten koulumatkojen pituusjakaumat kulkutavoittain pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaiden matkoille erikseen.

Taulukko 10. Kotiperäisten muiden matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.

Kotiperäiset muut matkat			
kerroin (t-arvo)		PKS	KEHYS
Kulkutavanvalintamalli	roo²(c)	0,3353	0,2104
	<i>Ln (etäisyys+1) (KL)</i>	-3,412 (-67,2)	-1,985 (-36,3)
	<i>Matka-aika (HA)</i>	-0,04561 (-5,8)	-0,0397 yl. vastus
	<i>Painotettu kokonaismatka-aika (JL)</i>	-0,04808 (-16,7)	-0,008599 (-3,8)
	<i>Ajokustannukset (HA)</i>	-0,8229 (-8,6)	-0,3301 (-13,6)
	<i>Kustannukset (JL)</i>	-0,683 (-12,0)	-0,04505 (-1,0)
	<i>Pysäköintikustannukset (HA)</i>	-2,099 (-19,2)	-1,717 (-7,0)
	<i>Autoa per ruokakunta (HA)</i>	2,122 (23,8)	0,6863 (5,6)
	<i>KL binäärimuuttuja (KL), ostos ja asiointi</i>	2,163	4,601
	<i>KL binäärimuuttuja (KL), muut kotiperäiset</i>	2,105	4,637
	<i>HA binäärimuuttuja (HA), ostos ja asiointi</i>	-2,320	3,178
	<i>HA binäärimuuttuja (HA), muut kotiperäiset</i>	-2,709	2,398
Suuntautumis- malli	roo²(0)	0,6004	0,7630
	<i>Logsum kulkutavanvalintamallista</i>	1,309 (151,3)	2,146 (76,6)
	<i>Kokotekijä</i>	1	1
	<i>Asukkaat</i>	1 -	1 -
	<i>Palvelun työpaikat</i>	2,144 (11,6)	4,860 (10,3)
	<i>Myymläarakennusten krs-ala</i>	0,454 (-17,0)	0,256 (-9,6)
Joustot	<i>Hintajousto (HA)(HA kust 110%)</i>	-0,3	-0,1
	<i>Hintajousto (JL) (jl kust 90 %)</i>	-0,7	-0,2
	<i>Aikajousto (HA) (HA-aika 110 %)</i>	-0,2	-0,1
	<i>Aikajousto (JL) (jl-aika 90 %)</i>	-1,2	-0,6
Kulkutapa- osuuden muutos %-yksikköä	<i>Hinta (HA)(HA kust 110%)</i>	-1,0	-0,6
	<i>Hinta (JL) (jl kust 90 %)</i>	1,3	0,0
	<i>Aika (HA) (HA-aika 110 %)</i>	-0,7	-0,7
	<i>Aika (JL) (jl-aika 90 %)</i>	2,3	0,2

Tämä malli on yhteinen sekä kotiperäisille ostos- ja asiointimatkoille että kotiperäisille muille matkoille lukuun ottamatta vaihtoehtokohtaisia vakioita (eli kulkutapakohtaisten binäärimuuttujien kertoimia), jotka ovat mainituille matkaryhmille erisuuret (sinisellä sävytettyt osat taulukossa). Vakiot on korjattu kohdassa 2.4.1 kuvatulla tavalla. Kullekin aikajaksoille on käytetty vastusarvoja, jotka on laskettu keskiarvona kyseisen aikajakson vastuksista generaatioalueelta attraktioalueelle (eli käytännössä kotoa määräpaikkaan) ja takaisin.

Kehyskuntien asukkaiden tekemien kotiperäisten muiden matkojen mallissa henkilöautolle on käytetty yleistettyä matkavastusta, jossa matka-ajan ja matkakustannusten suhde on kiinnitetty ajan arvolla siten, että kertoimien suhde on 0,1203. Ajan arvo on johdettu yhteiskuntataloudellisten laskelmien ajanarvon laskennan käytännöistä (vihreällä sävytetyt osat edellä olevassa taulukossa, ks. käsitteistä hakusana yleistetty matkavastus).

Taulukko 11. Työperäisten matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.

Työperäiset matkat			
kerroin (t-arvo)		PKS	KEHYS
Kuluttavanvalintamalli	roo²(c)	0,2973	0,306
	<i>Ln (etäisyys+1) (KL)</i>	-3,621 (-26,8)	-3,449 (-13,9)
	<i>Matka-aika (HA)</i>	-0,05978 (-4,4)	-0,0612 yl. vastus
	<i>Painotettu kokonaismatka-aika (JL)</i>	-0,05568 (-9,3)	-0,045 (-7,6)
	<i>Ajokustannukset (HA)</i>	-0,6949 (-4,0)	-0,5088 (-9,5)
	<i>Kustannukset (JL)</i>	-0,7375 (-6,2)	-0,2061 (-2,1)
	<i>Pysäköintikustannukset (HA)</i>	-1,371 (-7,3)	-1,451 (-5,2)
	<i>KL binäärimuuttuja (KL)</i>	1,864 (-)	3,599 (-)
	<i>HA binäärimuuttuja (HA)</i>	-1,554 (-)	0,986 (-)
Suuntautumis- malli	roo²(0)	0,3981	0,3457
	<i>Logsum kuluttavanvalintamallista</i>	0,8161 (48,5)	0,5874 (20,1)
	<i>Kokotekijä</i>	1	1
	<i>Asukkaat</i>	1 -	1 -
	<i>Palvelun työpaikat</i>	1,890 (5,5)	1,290 (0,8)
	<i>Myymälärakennusten krs-ala</i>	0,281 (-12,4)	0,832 (-0,8)
Joustopot	Hintajousto (HA)(ha kust 110%)	-0,3	-0,2
	Hintajousto (JL) (jl kust 90 %)	-0,8	-0,5
	Aikajousto (HA) (ha-aika 110 %)	-0,3	-0,2
	Aikajousto (JL) (jl-aika 90 %)	-1,4	-2,2
Kulkutapa- osuuden muutos %-yksikköä	Hinta (HA)(ha kust 110%)	-1,3	-1,3
	Hinta (JL) (jl kust 90 %)	2,1	0,6
	Aika (HA) (ha-aika 110 %)	-1,3	-1,5
	Aika (JL) (jl-aika 90 %)	4,0	2,7

Aamu- ja iltaruuhkan työperäisten matkojen ennusteissa on koko Helsingin seudulla käytetty vastusarvoja, jotka on laskettu keskiarvona aamuruuhkan vastuksesta lähtöpaikasta

määräpaikkaan (tai oikeammin generointialueelta attrahointialueelle) ja iltaruuhkan vastuksesta vastakkaiseen suuntaan. Ruuhkan ulkopuolisen ajan (päivä-, ilta ja yö) ennusteissa taas on käytetty vastusarvoja, jotka on laskettu keskiarvona päiväliikenteen vastuksista lähtöpaikasta määräpaikkaan ja takaisin.

Myös kehyskuntien asukkaiden tekemien työperäisten matkojen malleissa henkilöautolle on käytetty yleistettyä matkavastusta, jossa matka-ajan ja matkakustannusten suhde on kiinnitetty ajan arvolla siten, että kertoimien suhde on 0,1203 (vihreällä sävytetyt osat edellä olevassa taulukossa).

Taulukko 12. Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen kulkutapa- ja suuntautumismallin kertoimet.

Muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat			
kerroin (t-arvo)		PKS	KEHYS
Kulkutavanvalintamalli	roo²(c)	0,3029	0,1938
	<i>Ln (etäisyys+1) (KL)</i>	-3,346 (-28,6)	-2,186 (-16,2)
	<i>Matka-aika (HA)</i>	-0,09227 (-6,5)	-0,05584 yl. vastus
	<i>Painotettu kokonaismatka-aika (JL)</i>	-0,04889 (-9,2)	-0,01984 (-4,3)
	<i>Ajokustannukset (HA)</i>	-0,5216 (-2,9)	-0,4642 (-8,7)
	<i>Kustannukset (JL)</i>	-0,9595 (-6,9)	-0,3267 (-2,9)
	<i>Pysäköintikustannukset (HA)</i>	-3,453 (-12,5)	-3,42 (-6,4)
	<i>KL binäärimuuttuja (KL)</i>	1,325 (-)	2,627 (-)
	<i>HA binäärimuuttuja (HA)</i>	-1,279 (-)	1,640 (-)
Suuntautumis- malli	roo²(0)	0,5279	0,5388
	<i>Logsum kulkutavanvalintamallista</i>	1,158 (62,4)	1,534 (27,8)
	<i>Kokotekijä</i>	1	1
	<i>Asukkaat</i>	1	1
		-	-
	<i>Palvelun työpaikat</i>	1,152 (1,0)	0,722 (-0,8)
	<i>Myymälärakennusten krs-ala</i>	0,340 (-12,3)	0,555 (-3,1)
Joustot	<i>Hintajousto (HA)(HA kust 110%)</i>	-0,1	-0,1
	<i>Hintajousto (JL) (jl kust 90 %)</i>	-1,1	-0,6
	<i>Aikajousto (HA) (HA-aika 110 %)</i>	-0,4	-0,2
	<i>Aikajousto (JL) (jl-aika 90 %)</i>	-1,1	-0,9
Kulkutapa- osuuden muutos %-yksikköä	<i>Hinta (HA)(HA kust 110%)</i>	-0,6	-0,8
	<i>Hinta (JL) (jl kust 90 %)</i>	2,6	0,5
	<i>Aika (HA) (HA-aika 110 %)</i>	-1,7	-1,1
	<i>Aika (JL) (jl-aika 90 %)</i>	2,7	0,7

Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen mallissa kullekin aikajaksolle on käytetty ko. aikajakson vastuksia sellaisenaan ilman symmetrintia eli keskiarvojen laskemista.

Tässäkin matkaryhmässä kehyskuntien asukkaiden tekemille henkilöautomatkoille on käytetty yleistettyä matkavastusta, jossa matka-ajan ja matkakustannusten suhde on kiinnitetty ajan arvolla siten, että kertoimien suhde on 0,1203 (vihreällä sävytetyt osat edellä olevassa taulukossa).

2.4.3 Lähtöaineisto kulkutapa- ja suuntautumismalleja käytettäessä

Helsingin seudun kulkutapa- ja suuntautumismallit tarvitsevat liikennejärjestelmää kuvaaviksi lähtötiedoksi henkilöautoliikenteen matka-ajat, matkan pituudet ja joukkoliikenteen matkavastukset aikaryhmittäin (sijoittelusta) sekä joukkoliikennekustannukset (liite 1), ajokustannusten yksikköhinnan ja pysäköintikustannukset (liite 2). Lisäksi maankäyttötiedoista tarvitaan kultakin ennustealueelta väestön kokonaismäärä, työpaikat, palvelun työpaikat, myymälöiden kerrosala ja autojen määrä ruokakuntaa kohden (liite 7).

3 Ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen mallit

3.1 Mallialue

Helsingin seudun työssäkäyntialueen kuntia, jotka eivät kuulu Helsingin seudun 14 kunnan joukkoon, kutsutaan tässä työssä ympäryskunniksi. Ympäryskuntia ovat siis nykyiset Raasepori (liikennetutkimuksen tekoaikaan vielä Karjaa, Pohja ja Tammisaari), Hanko, Inkoo, Karjalohja, Karkkila, Lohja, Nummi-Pusula, Siuntio, Hausjärvi, Loppi, Riihimäki, Askola, Lapinjärvi, Loviisa, Myrskylä, Porvoo ja Pukkila. Liikennetutkimuksen tekoaikaan 2007–2008 itsenäisiä kuntia olivat näiden lisäksi vielä Liljendal, Pernaja, Ruotsinpyhtää ja Sammatti.

3.2 Mallijärjestelmän yleiskuvaus

Ympäryskuntien malli käsittelee ympäryskunnissa asuvien ajoneuvoilla tapahtuvaa henkilöliikennettä koko työssäkäyntialueella. Lisäksi siinä otetaan huomioon Helsingin seudulla asuvien matkat ympäryskuntiin ja takaisin sekä ympäryskuntien sisällä. Ympäryskuntien mallit laskevat siis ennusteen ympäryskuntien ja Helsingin seudun välisille matkoille, ympäryskuntien sisäisille matkoille sekä ympäryskuntien asukkaiden Helsingin seudulla tekemille matkoille.

Ympäryskuntien malleissa matkaryhmiä ovat kotiperäiset työmatkat ja muut matkat. Ennusteet lasketaan henkilöautolle ja joukkoliikenteelle. Mallit toimivat muutosmallina, jolloin lähtökohtana on mahdollisimman hyvä nykytilanteen kysyntämatriisi. Mallijärjestelmä on neliporrasajattelun mukainen, mutta suuntautumismallissa ei ole takaisinkytkentää.

Ulkoisen liikenteen mallit laskevat koko mallinnetun alueen eli Helsingin seudun työssäkäyntialueen rajan ylittävät henkilöliikennematkat. Matkan tekijän asuinpaikalla ei ole merkitystä. Mallit perustuvat nykytilanteen kysyntään ja kasvukertoihin. Matkaryhmiä ei ole, vaan kaikkia henkilömatkoja käsitellään yhdessä. Kulkutapoja ovat henkilöauto ja kaukojuna. Kaukoliikenteen linja-autoja ei siis käsitellä, koska käytettävissä ei ollut niistä laskentatietoa.

3.3 Ympäryskuntien malli

3.3.1 Tuotokset

Ympäryskuntien tuotosmalli laskee ympäryskuntien ennustealueiden matkatuotosten muutokset niiden väestömuutosten perusteella. Kullakin alueella tuotosmuutos lasketaan erikseen kotiperäisille työmatkoille ja muille matkoille. Lisäksi se lasketaan erikseen koko vuorokaudelle sekä aamu- ja iltahuipputunneille. Laskennassa tarkastellaan vain henkilöauto- ja joukkoliikennematkoja.

Taulukko 13. Tuotosluvut ympäryskuntien asukkaiden matkoille.

matkaryhmä	aamu-ruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö
kotiperäiset työmatkat	0,2826	0,2294	0,2096
muut matkat	0,2701	0,5875	1,3102

Kunkin ennustealueen asukkaiden tekemät kävely- ja polkupyörämatkat rajataan tarkastelemaan pois käyttäen karkeita kertoimia, jotka kuvaavat kevyen liikenteen suhteellista osuutta erityyppisillä alueilla. Hangon, Lohjan, Loviisan, Porvoon ja Riihimäen keskustojen alueilla asuvien kevyen liikenteen osuudeksi on määritetty 39,3 % ja muilla ennustealueilla 27,0 %.

Lähtöaineistokseen malli tarvitsee tiedot nyky- ja ennustetilanteen väestöstä ennustealueittain. Näiden erotukseen sovelletaan tarkasteltavan matkaryhmän aikajaksokohtaisia tuotoskertoimia sekä tarkasteltavan ajanjakson osuuserrointa (eli huipputunnin osuus kolmen tunnin ruuhka-ajasta). Nykytilannetta vastaavia kertoimia käytetään siis sellaisinaan myös ennustetilanteessa.

3.3.2 Kulikutavan valinta

Kulikutavan valintamalli laskee joukkoliikenteen osuuden ympäryskuntien ja Helsingin seudun ennustealueiden välisillä matkoilla, joista kevyen liikenteen matkat on jätetty kokonaan huomiotta. Tuotosmallin tapaan myös tämä malli käsittelee erikseen kotiperäisiä työmatkoja ja muita matkoja, mutta tarkasteltavat aikajaksot poikkeavat tuotosmallista siten, että koko vuorokauden asemesta joukkoliikenneosuudet lasketaan päivätunnille sekä aamu- ja iltahuipputunnin asemesta aamu- ja iltaruuhkan kolmen tunnin jaksoille.

Malli on tyypiltään logittimalli. Se on rakenteeltaan ja muuttujiltaan pitkälti samanlainen kuin kehyskuntien vastaava malli.

Kotiperäisten työmatkojen mallissa henkilöauton ajokustannukset on laskettu matkan pituuden ja keskimääräisen kilometrikustannuksen perusteella (ks. liite 2), minkä jälkeen ajokustannuksille ja pysäköintikustannuksille on käytetty yhteistä kerrointa (seuraavassa taulukossa violetilla pohjalla).

Muiden kuin kotiperäisten työmatkojen mallissa joukkoliikenteelle on käytetty yleistettyä matkavastusta, jossa matkakustannusten (eli joukkoliikennelipun hinnan) ja sijoittelusta saatavan painotetun matka-ajan suhde on kiinnitetty ajan arvolla siten, että kertoimien suhde on 0,1203 (vihreällä sävytetyt osat taulukossa). Suhde on määritetty yhteiskuntataloudellisissa laskelmissa käytetyn ajan arvon perusteella ja kuvaa matka-aikaminuutin hintaa euroissa.

Joukkoliikenteen kulikutapaosuuksien laskemisen lisäksi mallia voidaan käyttää joukkoliikenteen kulikutapaosuuksien muutoksen laskemiseen. Tällöin joukkoliikenteen kulikutapaosuudet lasketaan samalla mallilla sekä nykytilanteelle että ennustetilanteelle, jolloin kulikutapaosuuden muutos saadaan laskettua saatujen kulikutapaosuuksien erotuksesta ja ilmaista prosenttiyksiköinä.

Lähtöaineistokseen malli tarvitsee tiedot ennustealueiden välisten henkilöautomatkojen matka-ajoista, pituuksista ja pysäköintikustannuksista sekä vastaavasti joukkoliikennematkojen kustannuksista ja painotetuista matka-ajoista. Lisäksi tarvitaan tiedot ruokakuntien keskimääräisestä autonomistuksesta ennustealueittain. Autonomistusta lukuun ottamatta tiedot tarvitaan erikseen kultakin tarkasteltavalta aikajaksolta ja kustannustiedot vielä erikseen kotiperäisiltä työmatkoilta ja muilta matkoilta. Mikäli mallia halutaan soveltaa erikseen nykytilanteeseen ja ennustetilanteeseen, tiedot tarvitaan myös kummastakin ajankohdasta.

Taulukon alaosan joustot ja kulikutapamuutokset tulkitaan samoin kuin taulukoissa 8–12. Joustot siis kuvaavat, kuinka monta prosenttia ko. kulikutavan matkamäärät muuttuvat vastuksen prosenttiyksikön muutosta kohden. Kulikutapaosuuksien muutokset taas on ilmoitettu suoraan prosenttiyksiköinä, kun vastus muuttuu 10 %.

Taulukko 14. Ympäryskuntien kulkutapamallit.

Ympäryskunnat			
kerroin (t-arvo)		kotip. työ	muut
	havaintomäärä joukkoliikenne	7 809	7 917
	havaintomäärä henkilöauto	38 449	38 313
Kulkutavanvalintamalli	roo2c	0,173	0,112
	Matka-aika (HA)	-0,05830 (-31.542)	-0,02133 (-8.262)
	Painotettu kokonaismatka-aika (JL)	-0,01172 (-38.433)	-0,0112328 yl. vastus
	Ajokustannukset (HA)	-0,12922 (-9.628)	-0,25349 (-13.703)
	Kustannukset (JL)	-0,18597 (-13.055)	-0,093373 (-45.234)
	Pysäköintikustannukset (HA)	-0,12922 (-9.628)	-0,47806 (-15.702)
	Autoa per ruokakunta (HA)	0,53524 (6.397)	- -
	HA binäärimuuttuja (HA)	1,84395 (-)	1,69829 (-)
Suuntautuminen liikkumistutkimuksessa havaittujen ja Helsingin seudulle ennustettujen matriisien pohjalta			
	ajan arvo (HA) €/h	27,07	5,05
	painotetun "ajan" arvo (JL) €/h	3,78	7,22
Joustot	Hintajousto (HA) (hakust 110%)	-0,14	-0,29
	Hintajousto (JL) (jlkust 90%)	-0,98	-0,67
	Aikajousto (HA) (ha-aika 110%)	-0,50	-0,18
	Aikajousto (JL) (jl vastus 90%)	-1,42	-1,47
	Autoistumisjousto (HA) (apr 110%)	0,08	-
Kulkutapa- osuuden muutos %-yksikköä	Ktapamuutos HA (hakust 110%)	-1,18	-2,44
	Ktapamuutos JL (jlkust 90%)	1,66	1,14
	Ktapamuutos HA (ha-aika 110%)	-4,13	-1,48
	Ktapamuutos JL (jl vastus 90%)	2,40	2,51
	Ktapamuutos HA (apr 110%)	0,63	-

3.3.3 Matkamäärät

Ympäryskuntien asukkaiden matkat Helsingin seudulle suunnataan ennustetilanteessa Helsingin seudun asukkaiden seudun sisäisten matkojen ennustetun suuntautumisen mukaisesti. Sen sijaan ympäryskuntien alueen sisäisillä matkoilla ei suuntautumista muuteta nykytilanteesta.

Lähtökohtana on liikkumistutkimuksessa havaittu ympäryskuntien asukkaiden kokonaismatkamäärä vuorokausitasolla, joka on niputettu kunta- ja suuralueisiin ja jaettu takaisin ennustealueisiin jakoluvuilla. Tämä tasoittaa havaintoja myös naapurialueille ja vähentää siten nolla-alkioiden määrää. Vuorokausitason matriisista on osuuskertoimilla otettu eri aikajaksojen ja kulkutapojen osuudet.

Ennusteissa ympäryskuntien sisäisten matkojen osalta matkamäärät muuttuvat väestökehityksen mukaan, mutta kulkutapa- ja suuntautumisosuudet eivät ympäryskuntien sisällä muutu nykyisestä.

Kaikki liikkumistutkimuksen (henkilöhaastattelu, lyhennettynä HEHA) aineistosta muodostetut lähtö-määräpaikkamatriisit on niputettu ja hajotettu samalla menettelyllä, joka vähentää nolla-alkioiden määrää. Matriisit on niputettu aluejaon kautta, joka on pääkaupunkiseudulla 9-aluejako (HEHAn muuttujat lp9a ja mp9a), jossa

- 1 = Helsinki kantakaupunki
- 2 = Lauttasaari
- 3 = läntinen esikaupunki
- 4 = pohjoinen+koillinen esikaupunki
- 5 = itäinen+kaakkoinen esikaupunki
- 6 = eteläinen Espoo
- 7 = pohjoinen Espoo
- 8 = läntinen Vantaa
- 9 = itäinen Vantaa

ja pääkaupunkiseudun ulkopuolisilla alueilla kuntajako.

Matkamatriisien niputuksessa ja jakamisessa ei ole käytetty leikkureita. Sitä vastoin ympäryskuntien mallissa, jossa vuorokausitason matriisista otetaan osuuskertoimilla eri aikajaksojen ja kulkutapojen osuudet, osuuskertoimien arvoissa on käytetty tiettyjä oletus-, minimi- ja maksimiarvoja, jotka näkyvät osuusmatriisien otsikoissa. Oletusosuuksia joudutaan käyttämään niiden alueparien välillä, joissa havaintojen määrä on hyvin pieni tai nolla niputuksesta ja jakamisesta huolimatta.

Ennen suuntautumisen tarkistamista liikkumistutkimuksessa havaittua ja edellä kuvatulla tavalla korjattua kaikkien matkojen joukkoliikenneosuuksien matriisia tarkasteltavalla ajanjaksolla korjataan lisäämällä siihen ensin kotiperäisillä työmatkoilla tapahtuva joukkoliikenneosuuden muutos ja sen jälkeen muilla matkoilla tapahtuva joukkoliikenneosuuden muutos. Vastaavalla tavalla lasketaan myös muutos pelkkien kotiperäisten työmatkojen joukkoliikenneosuudessa. Kaikissa tapauksissa muutokseksi asetetaan ennustetilanteessa ja nykytilanteessa kulkutapamallilla laskettujen joukkoliikenneosuuksien erotus prosenttiyksiköinä. Ympäryskuntien alueen sisäisten matkojen kulkutapaosuuksia ei muuteta eli ne säilyvät samoina kuin liikkumistutkimuksessa.

Seuraavaksi kullekin tarkasteltavalle määränpääalueelle lasketaan uudeksi reunajakaumaksi Helsingin seudun sisäisten matkojen uuteen suuntautumiseen pohjautuva liikennetuotoksen kasvu, jolla korjataan ympäryskunnista samoille ennustealueille suuntautuvan nykyliikenteen tuotokset vastaamaan tätä sisäisen liikenteen uutta jakaumaa mutta pitämällä kuitenkin seudun ulkopuolisen liikenteen kokonaismäärä ennallaan. Kun tämä on tehty, ympäryskuntien ja Helsingin seudun osa-alueparien väliset nykyiset liikennemäärät balansoidaan ennustealueittain eli sovitetaan vastaamaan tätä uutta reunajakaumaa soveltaen samaa jakaumaa sekä alueilta lähtevälle että niille saapuvalle liikenteelle. Sovitus eli tasapainotus tehdään Emme-liikennesuunnitteluohjelmiston balansointialgoritmillä.

Kun uudelleen suunnattu kaikkien matkojen matriisi on saatu muodostettua, lasketaan siitä nykyisten matkaosuuksien perusteella kutakin tarkasteltavaa ajanjaksoa (eli koko vuorokautta sekä aamu- ja iltahuipputuntia) ja kutakin tarkasteltavaa matkaryhmää (eli kotiperäisiä työmatkoja ja muita matkoja) vastaavat matriisit ja niiden pohjalta vastaavat uudet nykytuotosvektorit summattuna joko lähtöpaikan tai määräpaikan suhteen. Ennustetilanteen matriisit puolestaan saadaan lisäämällä em. vektoreihin tuotosmallista saadut

vastaavat tuotosmuutokset (matkoina) ja soveltamalla näin saatuja muutuskertoimia muodostettuihin nykytilanteen matriiseihin.

Kaava on siis:

$$\text{ennuste_matriisi} = \text{korjattu_nykymatriisi} * (\text{tuotosmuutosvektorit} + \text{korjattu_nykyvektori}) / \text{korjattu_nykyvektori}.$$

Kulikutapakohtaiset ennustematriisit tuotetaan aikajaksokohtaisista ennustematriiseista kertomalla ne kulkutavanvalintamallista saaduilla uusilla joukkoliikenneosuuksilla. Laskelmassa muut kuin joukkoliikennematkot tulkitaan henkilöauton kuljettajana tai matkustajana tehdyiksi matkoiksi, joista kuljettajamatkat eli henkilöautojen ajoneuvovirrat saadaan jakamalla kuljettajana tai matkustajana tehtyjen matkojen määrä henkilöauton keskikuorimituksella, joka vaihtelee tarkasteltavan ajanjakson ja matkaryhmän mukaan. Koko vuorokauden asemesta tarkastellaan keskimääräisen päivätunnin matkoja, jotka saadaan vuorokauden kaikista matkoista jakamalla koko vuorokauden matkamäärä 20:llä ja symmetroimalla matriisi meno- ja paluusuuntien keskiarvoiksi. Aluksi laskelmassa tarkastellaan erikseen kotiperäisiä työmatkoja, minkä jälkeen muut matkat saadaan vähentämällä kotiperäiset työmatkat kaikista matkoista.

Kun ympäryskuntien ja Helsingin seudun väliset matkat ennustetilanteessa on käsitelty, niihin lisätään vielä ympäryskuntien asukkaiden Helsingin seudun sisällä tekemät matkat. Niiden lähtökohdaksi asetetaan liikennetutkimuksessa havaitut ympäryskuntien asukkaiden Helsingin seudulla yhteensä tekemät työperäiset ja muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat. Niiden määrään tehdään tasokorjaus, joka perustuu Helsingin seudun sisäisten työperäisten ja muiden kuin työ- ja kotiperäisten matkojen kokonaistuotoksen muutokseen ennustetilanteen ja nykytilanteen välillä, kun kasvukertoimeksi asetetaan koko vuorokauden kaikkien matkojen ennustetuotoksen ja nykytuotoksen suhde. Siinä ennustetuotos puolestaan saadaan nykytilanteen tuotoksesta lisäämällä siihen ensin kotiperäisten työmatkojen tuotosmuutos ja sen jälkeen vielä muiden matkojen tuotosmuutos, nämä kaikki koko vuorokaudelta yhteensä.

Saadut tasokorjatut ympäryskuntien asukkaiden Helsingin seudun sisällä tekemien matkojen kokonaismäärät jaetaan seudun sisäisille aluepareille Helsingin seudulla asuvien tekemien työperäisten ja muiden kuin työ- ja kotiperäisten matkojen määrän suhteessa. Saadut matkamatriisit lisätään ympäryskuntien ja Helsingin seudun välisiin vastaavan aikajakson ja kulkutavan matkamatriiseihin.

Lähtöaineistoikseen malli tarvitsee

- ympäryskuntien nykyisen kysynnän vuorokausitasolla (joukkoliikenne ja henkilöautoliikenne yhteensä)
- aamu- ja iltahuipputuntien osuudet erikseen vuorokauden kaikista matkoista ja vuorokauden kotiperäisistä työmatkoista
- liikennetutkimuksessa havaitut joukkoliikenneosuudet vuorokauden, aamuhuipputunnin ja iltahuipputunnin kaikista matkoista ja erikseen kaikista kotiperäisistä työmatkoista sekä vastaavat nykytilanteen ja ennustetilanteen tulokset kulkutapamallilla laskettuina siten, että koko vuorokauden asemesta tarkastellaan keskimääräistä päivätuntia
- tuotosmallilla lasketut henkilöauto- ja joukkoliikennematkojen tuotosmuutokset (matkoina) vuorokausi-, aamuhuippu- ja iltahuipputasolla, erikseen kotiperäisiltä työmatkoilta ja muilta matkoilta
- henkilöautojen keskikuorimitukset vuorokausi-, aamuhuippu- ja iltahuipputasolla, erikseen kotiperäisillä työmatkoilla ja muilla matkoilla
- Helsingin seudun malleilla lasketut nykytilan kokonaistuotokset ennustealueittain

- Helsingin seudun malleilla lasketut työperäisten matkojen ja muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät Helsingin seudun sisäisillä joukkoliikennematkoilla ja henkilöauton kuljettajana tehdyillä matkoilla
- liikennetutkimuksessa havaitut ympäryskuntien ja Helsingin seudun välisten joukkoliikennematkojen ja henkilöauton kuljettajana tehtyjen matkojen määrät aamuhuippu- ja iltahuipputuntina sekä keskimääräisenä päivätuntina.

Ympäryskuntien tuotos-, kulkutapa- ja suuntautumismalli tuottavat yhdessä lopputuloksena ennusteet matkamääristä aikajaksoittain (aamuhuipputunti, iltahuipputunti ja päivällikenteen tunti) ja kulkutavoittain (henkilöauto, joukkoliikenne). Tulokseen on kuitenkin vielä lisättävä koko tarkastelualueen eli työssäkäyntialueen rajan ylittävä ulkoinen liikenne, joka tuotetaan omalla mallillaan.

3.4 Ulkoisen liikenteen malli

Ulkoisen liikenteen osalta malli ei käsittele erikseen tuotoksia, vaan nykytilanteen liikennevirrat muunnetaan ennustetilanteen virroiksi ulkosityöttöihin liitettyjen kasvukertoimien avulla. Malli tarkastelee erikseen kaukojunaliikennettä ja erikseen henkilöautoliikenteen ajoneuvovirtoja eli käytännössä henkilöauton kuljettajana tehtyjä matkoja. Mitään erillisiä matkaryhmiä ei tarkastella vaan tarkasteltavana ovat näiden liikennemuotojen ulkoisen liikenteen kokonaismäärät eri ajanjaksoina eli koko vuorokautena sekä aamu- ja iltahuipputunteina ja myös päivätuntina.

Lähtötiedoksi malli tarvitsee tiedot ulkosityöttöjen ja ennustealueiden välisistä kaukojunaliikenteen ja henkilöautoliikenteen matkamääristä nykytilassa eri ajanjaksoina sekä ulkosityöttöihin vastaavat liikenteen kasvukertoimet. Tiedot nykyisistä matkamääristä saadaan Liikennevirastosta rautatieliikenteen tilastosta ja tieliikenteen määräpaikkatutkimusten yhdistelmästä, jonka tuorein versio on vuodelta 2001 ja josta on saatavilla Emme-kuvaus. Liikenteen kasvukertoimet puolestaan saadaan rautatieliikenteen pitkän tähtäimen suunnitelmasta ja maantieliikenteen maakunnittaisista ja tieluokittaisista kasvuennusteista. Käytettävissä ei ollut vastaavia tilastoja kaukoliikenteen linja-autoista.

Jotta maantieliikenteen jokaiseen ulkoiseen virtaan saadaan kohdistettua asianmukainen kasvu, määräpaikkatutkimusten yhdistelmän matriisi sijoitellaan ns. kehähaastattelumennettelyllä ensin koko maan maantieverkolle, jolloin saadaan selville, minkä ulkosityötön kautta mikin virta syöttyy liikennemallin alueelle ja mihin se mallialueen sisällä suuntautuu. Liikenteen määrä ulkosityötoissä sovitetaan vastaamaan laskentatietoja. Kun jokainen ulkosityöttö samaistetaan sitä vastaavaan maakuntaan ja tieluokkaan, voidaan jokaista sen kautta kulkevaa virtaa korjata vastaavan kasvukertoimen verran.

Kaukojunaliikenteen osalta on lähtökohdaksi otettu kaukojunaliikenteen matkustajavirrat vuonna 2008 -karttaesitys Rautatietilastosta, josta nähdään Hämeenlinnan suunnan, Lahden suunnan ja Salon suunnan kaukojunaliikenteen matkustajamäärät mallialueen ulkorajalla. Nämä on jaettu mallialueen sisälle mallialueen joukkoliikennematkojen määrien suhteessa.

Ulkoisen liikenteen kasvukertoimet on määritelty ulkosityöttökohtaisesti. Henkilöautoliikenteen osalta on käytetty Tiehallinnon vuonna 2007 julkaisemia valta-, kanta- ja seututeiden kasvukertoimia mallinnetun alueen naapurimaakunnissa. Kaukojunaliikenteen osalta on käytetty RHK:n PTS-suunnitelman rataosakohtaisia kasvukertoimia. Kyseisillä henkilöauto- ja kaukojunaliikenteen kasvukertoimilla on nostettu kunkin ulkosityötön tuotosta.

Määräpaikkatutkimuksen tietojen jyvittämisessä ennustealueille on käytetty jakolukuja, jotka perustuvat mallinnettuihin liikennetuotoksiin.

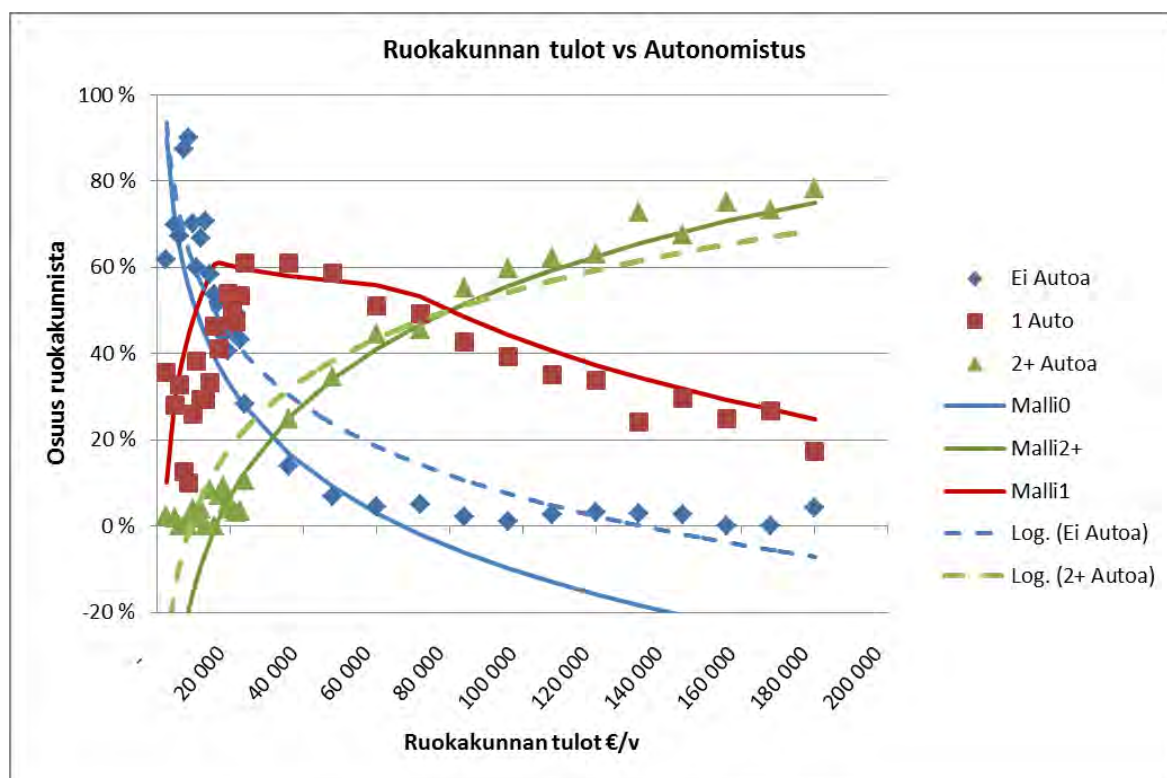
4 Apumallit

4.1 Autonomistusmalli

Autonomistusmallin tavoitteena on olla yksinkertainen mutta riittävän tarkka skenaario-työskentelyyn. Autonomistuksella tarkoitetaan tässä ruokakuntien jakautumista autottomiin, yhden auton ja useamman auton talouksiin. Autoistumisasteella tarkoitetaan autojen määrää tuhatta asukasta kohti.

Malli jakautuu niin sanottuun makromalliin, osa-aluemalliin ja kerroinmalliin. Makromallissa tulotasojen ja autonomistuksen kasvu talouden kehittymisen myötä kuvataan yleisenä ilmiönä, joka muuttaa autonomistustasoa bruttokansantulon kehittymisen myötä. Bruttokansantuloa (BKTL) laskettaessa otetaan bruttokansantuotteen (BKT) lisäksi huomioon ulkomailta saadut ja sinne maksetut ensitulot. Bruttokansantulo kehittyy noin 11 % nopeammin kuin bruttokansantuote. Koska ruokakuntien tulojen muutos seuraa lineaarisesti BKT:n kasvua, voidaan BKT:n ja BKTL:n (ja sen myötä autoistumisasteen) kehittymistä mallintaa melko hyvin ruokakuntien tulotason muutoksilla.

Ruokakuntien tulotaso vaikuttaa tutkimusaineistojen perusteella autonomistukseen seuraavan kuvan mukaisella tavalla. Autottomien ruokakuntien osuus laskee ja yli kahden auton ruokakuntien osuus kasvaa, kun tulot kasvavat. Kun tulotasot nousevat tulevaisuudessa bruttokansantuotteen kehittymisen myötä, autonomistuksen osuuksien muutokset seuraavat tätä ilmiötä.



Kuva 8. Autonomistuksen ja ruokakuntien tulotason suhde²⁶.

²⁶ Lähde: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimus, vuoden 2007 aineisto

Kuvassa havainnot ovat pisteinä, Excelin pienimmän neliösumman menetelmällä niistä autottomille ja useampien auton ruokakunnille laskemat trendikäyrät katkoviivalla ja näistä "käsin" säädetyt mallit yhtenäisellä viivalla. Tämä toimenpide tehdään, jotta yhden auton ruokakuntien osuus, joka saadaan vähentämällä 100 %:sta muut osuudet, noudattaisi paremmin havaintoja. Käsin sovitettut mallit ovat:

autottomien ruokakuntien osuus alueella:

$$TT_osuus_0 = -0,27 * \ln(rk_tulotaso) + 3, \text{ jos } rk_tulotaso < 66\,000 \text{ €/v, muuten } = 0$$

kahden tai useamman auton ruokakuntien osuus alueella:

$$TT_osuus_{2+} = 0,31 * \ln(rk_tulotaso) - 3, \text{ jos } rk_tulotaso > 16\,000 \text{ €/v, muuten } = 0$$

yhden auton ruokakuntien osuus alueella:

$$TT_osuus_1 = 1 - TT_osuus_0 - TT_osuus_{2+}$$

Muuttuja $rk_tulotaso$ on ruokakuntien keskimääräinen tulotaso alueella.

Laskettaessa autonomistuksen suhteen erilaisten ruokakuntien osuuksia negatiiviset arvot leikkautuvat pois kaavoissa olevien tulotasorajoitusten ansiosta. Yllä kuvattu tulotasojen ja autonomistuksen kasvu talouden kehittymisen mukana kuvataan "makroilmionä", joka muuttaa autonomistustasoa BKT:n kehittymisen myötä. BKT:n oletetaan kehittyvän osa-alueilla samaa tahtia, jolloin kaikkien alueiden autonomistusasteita kasvatetaan saman verran yllä olevien kaavojen mukaan.

Osa-aluemallilla arvioidaan sen jälkeen ennustealueittain, kuinka nykytilanteen autonomistus muuttuu, kun alueiden maankäytön luonne ja rakenne tai liikenteelliset olosuhteet muuttuvat. Mallit ovat seuraavia:

$$MK_osuus_0 = 0,4236315 + 0,2215222 * askert_ala_os + 0,7395343 * ja_aika^{-3} + 0,0013476 * astih_as^{0,5} - 0,121463 * rk_koko$$

$$MK_osuus_{2+} = 0,3447812 + 0,1416565 * erpien_ala_os + 0,0343955 * \ln(ja_aika) - 0,042199 * \ln(astih_as) + 0,0053885 * rk_koko^3$$

$$MK_osuus_1 = 1 - MK_osuus_0 - MK_osuus_{2+}$$

Mallien muuttujat ovat (arvot liitteestä 8):

MK_osuus_x	osa-aluemallista saatu autonomistusluokan x osuus alueen ruokakuntien määrästä x=0 tarkoittaa autottomia x=1 tarkoittaa yhden auton ruokakuntia x=2+ tarkoittaa vähintään kahden auton ruokakuntia
$askert_ala_os$	asuinkerrostalojen kerrosalan osuus alueen asuinrakennusten kerrosalasta
$erpien_ala_os$	erillisten pientalojen kerrosalan osuus alueen asuinrakennusten kerrosalasta
ja_aika	joukkoliikenteen matka-aikojen suhde autoliikenteen matka-aikoihin
$astih_as$	ennustealueen keskimääräinen asukastiheys neliökilometriä kohti
rk_koko	asutuista YKR-ruuduista lasketun pinta-alan mukaan ruokakuntien keskikoko.

Sovellettaessa edellä olevaa osa-aluemallia sekä nyky- että ennustetilanteeseen saadaan maankäytön muutoksista johtuva muutos autonomistuksessa (eli ΔMK_osuus_x , missä Δ kuvaa ennustevuoden ja nykytilanteen erotusta). Vastaavasti aiemmalla "käsin" säädetyllä

logaritmikaavalla saadaan ruokakuntien tulotason muutoksista johtuva muutos ΔTT_{osuus_x} . Kun nämä molemmat erotukset lisätään nykytilanteessa havaittuihin osuuksiin HAV_{osuus_x} , saadaan ennustetilanteen autonomistustiedot, jotka ilmoitetaan 0, 1 ja 2+ auton prosenttiosuuksina alueen kaikista ruokakunnista.

Muutoskaava on siis:

$$osuus_x = HAV_{osuus_x} + \Delta TT_{osuus_x} + \Delta MK_{osuus_x}$$

missä alaindeksin x arvo

- 0 tarkoittaa autottomia ruokakuntia
- 1 tarkoittaa yhden auton ruokakuntia
- 2+ tarkoittaa vähintään kahden auton ruokakuntia.

Lopuksi lasketaan alueiden autoistumisaste eli henkilöautotiheys alla olevalla kaavalla ja henkilöauton pääasiallisen käytön osuudet matkustajista luvussa 4.2 kuvatulla tavalla. Autonomistusosuuksista alueen autoistumisasteeseen päästään yksinkertaisen muunnoksen pohjalta:

$$autoistumisaste = 1000 * (0 * rk_määrä_0 + 1 * rk_määrä_1 + 2,1538 * rk_määrä_{2+}) / (rk_määrä_{yht} * rk_koko)$$

missä

- $rk_määrä_x$ autonomistuluokan x ruokakuntien määrä alueella
- $rk_määrä_{yht}$ ruokakuntien kokonaismäärä alueella
- rk_koko ruokakuntien keskikoko.

Koska kuitenkin $rk_määrä_x = osuus_x * rk_määrä_{yht}$, kaava supistuu muotoon:

$$autoistumisaste = 1000 * (osuus_1 + 2,1538 * osuus_{2+}) / rk_koko$$

Mallit kuvaavat hyvin erityisesti maankäytön keskeisten tekijöiden vaikutusta autonomistukseen (mallin selitysasteet ovat korkeita, noin 93 prosenttia). Syksyllä 2008 tehdyn sovituksen aikaisissa lähtöaineistoissa käytetty matka-aikasuhdemuuttujan määrittelyssä oli ongelmia, jotka näkyivät useamman auton (2+) mallissa kantakaupungin aliennustamisena, pääkaupunkiseudun yliennustamisena ja ympäryskuntien aliennustamisena. Myöhemmin verkkojen kuvaus ja vastukset ovat muuttuneet merkittävästi. Malli kalibroitiin uudelleen keväällä 2010, mutta em. ilmiötä ja sen vaikutuksia ei enää tutkittu.

4.2 Henkilöauton pääasiallisen käytön malli

Henkilö luetaan henkilöauton pääasialliseksi käyttäjäksi (HAP), jos kotitaloudella on oma tai työsuhdeauto, henkilöllä on ajokortti ja henkilö on liikkumistutkimuksessa ilmoittanut, että hänellä on henkilöauto käytössään aina tai lähes aina.

HAP-määritelmä on siis seuraava:

1. taloudessa on oltava oma tai työsuhdeauto
2. henkilöllä on ajokortti
3. auto on käytössä aina tai melkein aina
4. ikä > 17 vuotta.

EHAP-ryhmällä tarkoitetaan muita kuin HAP-ryhmään kuuluvia.

Tuotosmalleissa lasketaan HAP-henkilöiden määrät kertomalla asukasmäärät HAP-osuuksilla. Tämä tehdään kullekin alueelle ikäryhmittäin. Kunkin ikäryhmän HAP-osuudet saadaan, kun autonomistumallista saaduilla 0, 1 ja 2+ auton ruokakuntien osuuksilla kerrotaan taulukon 15 osuudet ja lasketaan saadut luvut yhteen. Tässä oletetaan, että ruoka-

kuntien keskipakko kullakin alueella on sama kaikissa ryhmissä. Taulukko perustuu Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimuksen 2007–2008 aineistoon.

Kaava on siis:

$$\begin{aligned} HAP_määrä_i &= as_i * HAP_osuus_i = \\ &= as_i * (osuus_0 * HAP_os_{i0} + osuus_1 * HAP_os_{i1} + osuus_{2+} * HAP_os_{i2+}) \end{aligned}$$

missä

$HAP_määrä_i$ ikäryhmään i kuuluvien HAP-henkilöiden määrä alueella
 as_i ikäryhmään i kuuluvien asukkaiden määrä alueella
 HAP_osuus_i ikäryhmään i kuuluvien HAP-henkilöiden osuus alueella
 $osuus_x$ autonomistusluokan x osuus alueen ruokakuntien määrästä
 HAP_os_{ix} ikäryhmän i ja autonomistusluokan x HAP-osuus (saadaan taulukosta).

ja missä alaindeksin x arvo

0 tarkoittaa autottomia ruokakuntia
 1 tarkoittaa yhden auton ruokakuntia
 2+ tarkoittaa vähintään kahden auton ruokakuntia.

Taulukko 15. HAP-osuudet henkilön ikäryhmän ja ruokakunnan autonomistuksen mukaan.

ikäryhmä	ei autoa	1 auto	2+ autoa
7-17 v	0,00 %	0,00 %	0,00 %
18-29 v	10,53 %	77,30 %	85,77 %
30-49 v	6,92 %	85,17 %	98,24 %
50-64 v	10,77 %	86,89 %	97,02 %
yli 65 v	12,09 %	91,36 %	95,17 %

4.3 Jako henkilöauton kuljettajiin ja matkustajiin

Helsingin seudun mallien kulkutapavaihtoehtoja ovat kevytliikenne, joukkoliikenne ja henkilöautoliikenne. Henkilöautoiluun sisältyvät sekä henkilöauton kuljettajana että matkustajana tehdyt matkat. Ajoneuvoliikenteen sijoittelua varten henkilöautolla tehdyt henkilömatkat jaetaan taulukoiden 16 ja 17 mukaisilla keskipakkoarvoilla, jolloin saadaan henkilöauton kuljettajina tehdyt matkat ajoneuvoina.

Koska koulumatkoja tekevät vain alle 18-vuotiaat, kaikki henkilöautolla tehdyt kotiperäiset koulumatkat ovat matkustajamatkoja. Koululaista kuljettavien matkat ovat muissa matkaryhmissä.

Taulukko 16. Henkilöauton keskipakkoarvot Helsingin seudulla matkaryhmittäin ja eri ajankohtina (Helsingin seudun asukkaat).

matkaryhmä	aamuruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö
kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat	1,101	1,077	1,115
kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat	1,085	1,210	1,285
kotiperäiset muut matkat	1,217	1,635	1,533
työperäiset matkat	1,090	1,128	1,162
muut kuin työ- ja kotiperäiset matkat	1,187	1,279	1,283

Taulukko 17. Henkilöauton keskikuormitukset ympäryskunnissa matkaryhmittäin ja eri ajankohtina.

matkaryhmä	aamuruuhka	iltaruuhka	koko vuorokausi
kotiperäiset työmatkat	1,081	1,120	1,086
muut matkat	1,200	1,232	1,247

4.4 Huipputuntikertoimet

Huipputuntikertoimien avulla aamuruuhkan ja iltaruuhkan liikenne muutetaan huipputunnin liikennemääräksi. Huipputuntikertoimet perustuvat Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimukseen 2007–2008. Päiväliikenteen kertoimella määritellään taas keskimääräinen päivätunnin liikennemäärän osuus päivä-, ilta- ja yöliikenteestä. Kertoimet kuvaavat huipputunteina ja päivätuntina alkavien matkojen osuutta koko ajankohdan liikenteestä.

Taulukko 18. Huipputuntien ja päiväliikenteen keskitunnin osuudet ajankohdan muusta vastaavan kulkutavan liikenteestä Helsingin seudulla (Helsingin seudun asukkaat).

aikajakso	Helsingin seutu				ympäryskunnat
	henkilöauto, kuljettaja	henkilöauto, matkustaja	joukkoliikenne	kevytliikenne	kaikki kulkutavat
aamuhuipputunti	47,7 %	56,3 %	53,4 %	53,5 %	47,7 %
iltahuipputunti	39,8 %	33,6 %	39,3 %	34,2 %	39,8 %
päivätunti	8,5 %	6,6 %	10,5 %	10,1 %	----

4.5 Generaatio–attraktio-suunnattujen matriisien kääntö

Tuotosmallit kertovat, kuinka paljon asukkaat tuottavat eli generoivat matkoja. Työ-, ostos-, virkistys- ym. paikat taas houkuttelevat eli attrahoivat matkoja. Riippumatta matkan kohteesta matka luokitellaan mallissa kotiperäiseksi, työperäiseksi tai muuksi matkaksi sen mukaan, missä matka alun perin generoituu. Sen mukaan esimerkiksi henkilön päivittäinen matka kotoa työpaikalle sekä paluumatka työpaikalta kotiin ovat molemmat kotiperäisiä matkoja, sillä niiden generointipaikkana on koti, ja hänen matkansa työpaikalta työasointipaikkaan ja työasointipaikalta takaisin työpaikalle taas ovat molemmat työperäisiä matkoja, koska niiden generointipaikkana on työ. Muista kuin työ- tai kotiperäisistä matkoista puhutaan silloin, kun kumpikaan matkan päätepisteistä ei ole henkilön koti eikä työpaikka.

Kun kiinnostuksen kohteena ovat koti- ja työperäiset matkat riippumatta siitä, kumpi matkan päätepisteistä on kotiperäisillä matkoilla koti tai vastaavasti työperäisillä matkoilla työpaikka, puhutaan generaatio–attraktio-suunnatuista matkoista. Mikäli asiaa halutaan tarkentaa siten, että myös matkan todellinen suunta otetaan huomioon, generaatio–attraktio-suunnatut matkat täytyy jakaa mallissa lähtöpaikka–määräpaikka-suunnatuiksi matkoiksi. Tämä tapahtuu siten, että jokainen kotiperäisten ja työperäisten matkojen matriisi jaetaan kahdeksi erilliseksi matriisiksi suuntakorjauskertoimien avulla, jotka ilmaisevat, kuinka suuri osa erityyppisistä generaatio–attraktio-suunnatuista matkoista todellisuudessa lähtee vuorokauden eri ajankohtina matkan attraktiopäästä. Kertoimet perustuvat Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimukseen 2007–2008 ja ne on taulukoitu matkaryhmittäin liitteeseen 6.

4.6 Jakoluvut

Jakolukuja tarvitaan, kun ennustealuejaossa olevia matkamatriiseja hajotetaan eli muutetaan sijoittelualuejakoon. Niitä käytetään myös, kun sijoittelusta saatavia vastuksia aggregoidaan ennustealuejakoon.

Mallien estimointivaiheessa on vastusten laskennassa käytetty kiinteitä, nykyisiin asukasta työpaikkamääriin perustuvia jakolukuja (*asukkaat + 2*työpaikat*), jotka ovat samat vuorokaudenajasta riippumatta.

Mallijärjestelmän käyttöönottovaiheessa päädyttiin laatimaan jakoluvut, jotka ottavat paremmin huomioon erityyppisten alueiden liikennetuotokset eri vuorokaudenaikoina. Jakoluvut tehtiin erikseen henkilöautomatkoille, joukkoliikennematkoille ja kevytliikennematkoille hyödyntäen ruutuaineistoihin perustuvia liikkumisen tunnuslukumalleja (RUUTI-mallit)²⁷.

Jakolukujen laskennassa käytettävät matkatuotosluvut on tuotettu raportin Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa (Suomen ympäristö 27/2008) sivujen 28 ja 37–38 tietojen perusteella. Käytetyt matkatuotosluvut ovat seuraavassa taulukossa.

Taulukko 19. Jakolukujen laskennassa käytetyt matkatuotosluvut.

Matkaa/asukas		Matkaa/työpaikka	
VRK (läht.+saap.)	2,28	VRK (läht.+saap.)	2,2
AHT lähtevät	0,335	AHT lähtevät	0,022
AHT saapuvat	0,023	AHT saapuvat	0,570
IHT lähtevät	0,112	IHT lähtevät	0,513
IHT saapuvat	0,306	IHT saapuvat	0,029
PT lähtevät	0,057	PT lähtevät	0,055
PT saapuvat	0,057	PT saapuvat	0,055

Tuotokset on jaettu henkilöautomatkoihin ja joukkoliikennematkoihin RUUTI-mallien avulla. Kevytliikenteen jakamisessa on käytetty joukkoliikenteen päivätunnin tuotoksia. RUUTI-mallilla jokaiselle 250 metrin ruudulle on laskettu joukkoliikenteen ja henkilöautomatkojen osuudet käyttäen tietoina ruutujen etäisyyttä lähimmästä raideliikenneasemasta sekä ruudun asukas- ja työpaikkatiheystietoja. Nämä ruutu- ja kulkutapakohtaiset tuotosluvut on yhdistetty sijoittelualuejakoon ja muunnettu edelleen kunkin ennustealueen sisäiseksi jakoluvuiksi. Näin on laskettu jakolukuvektorit aikaryhmittäin ja kulkutavoittain sekä lähteville että päätyville matkoille. Käytännössä jakoluvut toimivat siten, että yhden ennustealueen sisällä olevat sijoittelualueet voivat kaikki saada erilaiset kulkutapajakaumat.

Käytännössä jakoluvut painottavat esimerkiksi joukkoliikennematkojen jyvittämisessä ennustealueen niitä sijoittelualueita, jotka ovat lähellä asemaa ja/tai joiden aluetehokkuus (väestö ja työpaikkamäärä/pinta-ala) on suuri eli joukkoliikenteen käytön edellytykset ovat hyvät. Vastaavasti henkilöautojen osuus painottuu hieman voimakkaammin niille sijoittelualueille, jotka ovat kauempana asemasta ja/tai joiden aluetehokkuus on pieni.

Jakolukujen laskennan kannalta olennaisimmat muuttujat ovat ruudun etäisyys lähimmästä raideliikenneasemasta, aseman junatarjonta sekä ruudun aluetehokkuus. Etäisyydet asemasta on laskettu ruudun keskipisteestä. Aseman sijaintitieto on pistetieto.

²⁷ Ruuti-malleja on kuvattu tarkemmin HSL:n julkaisussa 21/2010 "Yhdyskuntarakenteen kehityksen ja eri liikkumismuotojen edellytysten seuranta Helsingin seudulla" (1.9.2010).

Edellä mainittujen dynaamisten jakolukujen käyttö lisää hieman joukkoliikenteen osuutta ennusteissa. Laaditun vertailun perusteella dynaamiset jakoluvut nostivat joukkoliikenteen kulkutapaosuutta pääkaupunkiseudulla 0,3 prosenttiyksikköä verrattuna alkuperäisiin jakolukuihin.

Dynaamiset jakoluvut on tuotettu nykytilanteen lisäksi vuosien 2020, 2035 ja 2050 perusennusteille, joissa raideliikenne ja maankäyttö poikkeavat olennaisesti toisistaan. Uusia ennusteita laadittaessa voidaan jakoluvuiksi valita näistä se, joka raideliikenteen ja maankäytön osalta on lähimpänä laadittavaa ennustetta. Jos laadittavan ennusteen raideliikenne ja maankäyttö poikkeavat huomattavasti kaikista näistä ennusteista, on syytä tuottaa laadittavalle ennusteelle omat jakolukunsa.

5 Ennustetestit

5.1 Tavoite ja tutkitut vaihtoehdot

Ennustetestien tavoitteena on ollut saada käytännön tietoa mallijärjestelmän reagoinnista erilaisissa tilanteissa ja muutoksissa. Tavoitteena on ollut myös tunnistaa mallijärjestelmän mahdolliset korjaustarpeet ennen tuotantokäyttöön ottamista. Tästä syystä ennustetestejä on tehty samaan aikaan mallijärjestelmän sisäänajon ja siihen liittyvien muutostöiden kanssa, joten osa testeistä on tehty mallijärjestelmällä, joka ei ole vielä ollut lopullinen tuotantokäyttöversio. Samoin tulevaisuuden ennusteiden lähtötietoja on työstetty testivaiheen jälkeen, joten testivaiheen ennusteet ovat olleet alustavia testiennusteita.

Testivaiheessa ennusteita on laadittu seuraaviin tilanteisiin:

- nykytilanteen ennuste
- vuoden 2035 testiennuste
- ruuhkamaksu vuoden 2035 perustilanteessa mukaan lukien matkamuutosten vertailu ruuhkamaksuselvityksen²⁸ vuoden 2000 malleilla laskettuihin pääkaupunkiseudun sisäisiin matkamuutoksiin v. 2017 tilanteessa
 - kehämalli
 - vyöhykemalli
- seutulipun hinnan nostaminen 23 prosentilla vuoden 2035 perustilanteessa suhteessa muun liikkumisen hintaan, matkamuutosten vertailu vanhalla mallilla taksa- ja lippujärjestelmäsuunnitelman²⁹ yhteydessä laskettuihin vaikutuksiin
- Matinkylän metro poistettu vuoden 2035 perustilanteesta, matka- ja kuormitusmuutosten vertailu Raide-YVA³⁰:n ennusteisiin (vanhat mallit).

Myöhemmin on tutkittu muitakin tilanteita, varsinkin osana HLJ 2011-prosessia.

5.2 Nykytilanteen ennuste

Testauksen alkuvaiheessa havaittiin, että uusien verkkojen ja sijoittelufunktioiden myötä matka-ajat olivat erittäin herkkiä kuormitusmuutoksille. Tämä aiheutti sen, että ennustelaskennassa iterointi ei konvergoitunut tasapainoon, vaan heilahteli prosessin iterointikierrosten välillä. Kun autoliikenteen kysyntä oli suurta, väylät ruuhkautuivat, mikä johti suuriin matka-aikoihin ja sitä kautta pieneen kysyntään seuraavalla ennustekierroksella. Niinpä liikenne alkoi sujua, mikä lisäsi autoliikenteen suosiota niin paljon, että väylät ruuhkautuivat jälleen. Tästä syystä päätettiin ottaa käyttöön niin sanotut leikatut sijoittelufunktiot. Niissä autoliikenteen miniminopeus leikattiin 30 prosenttiin vapaasta nopeudesta (esim. vapaalla nopeudella 80 km/h miniminopeus on 24 km/h).

Mallien estimointivaiheessa käytetyt jakoluvut ennuste- ja sijoittelualuejakojen välillä osoittautuivat varsin karkeiksi, joten mallien käyttöönottovaiheessa laskettiin uudet, liikenne-tuotostietoihin perustuvat jakoluvut erikseen eri vuorokauden ajoille (ks. kohta 4.6). Jakolukujen vaihto lisäsi hieman joukkoliikenteen kulkutapaosuutta (pääkaupunkiseudulla 0,3 prosenttiyksikköä). Seuraava oleva taulukko ja sen jälkeen olevat kaksi kuvaa, samoin kuin lopputestien tulokset, perustuvat näihin tarkistettuihin funktioihin ja jakolukuihin.

²⁸ Helsingin seudun ruuhkamaksuselvitys, LVM 2009

²⁹ Pääkaupunkiseudun joukkoliikenteen taksa- ja lippujärjestelmän kehittämissuunnitelma 2014, YTV 2008

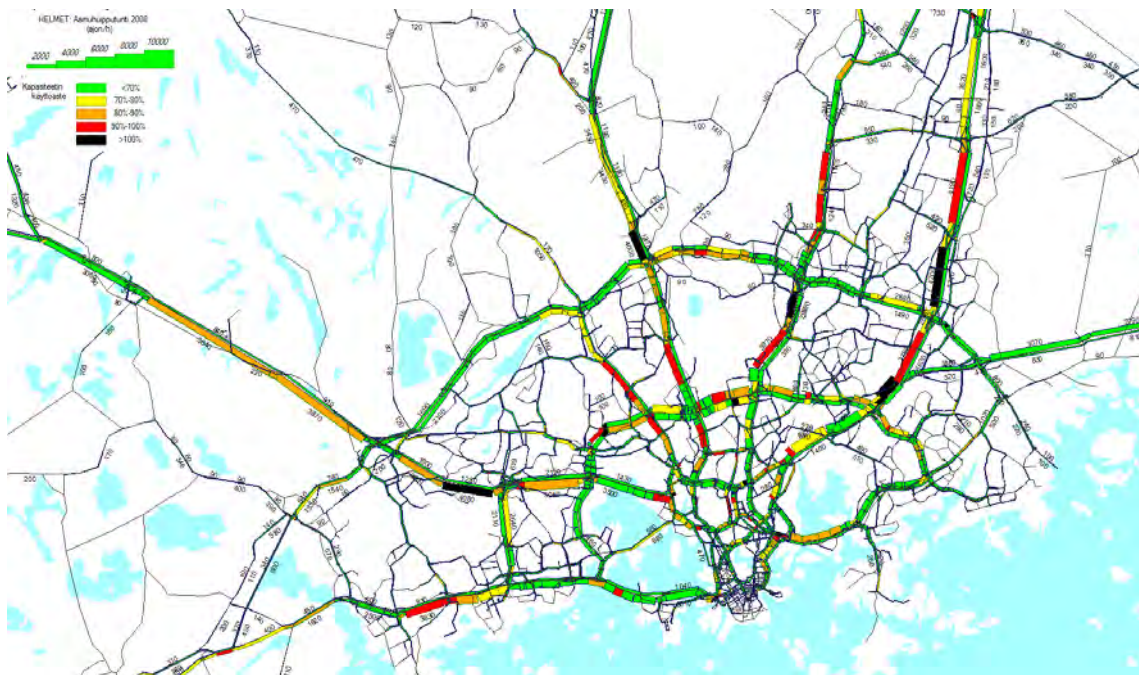
³⁰ Metro-/raideyhteys välillä Ruoholahti-Matinkylä, ympäristövaikutusten arviointiselostus YVA (Espoo, Helsinki ja LVM 2005)

Taulukko 20. Matkamäärät, nykytilanteen (2008) testiennuste.

	Ennuste 2008 (7.5.2010)		
	AHT	IHT	VRK
Matkamäärät, koko työssäkäyntialue	439 695	473 374	4 291 185
– joukkoliikenne (ei ympäryskuntien sis.)	133 139	109 418	930 553
– henkilöautomatkat (ajon)	158 600	202 036	1 743 844
– kuorma-automatkat (ajon)	8 092	8 819	129 250
Matkamäärät, Helsingin seutu (14 kuntaa)	373229	399083	3728987
– kevyt liikenne	108306	111410	1180827
– joukkoliikenne	120763	100936	893713
– henkilöautomatkat (hlö)	144160	186737	1654447
– henkilöautomatkat (ajon)	120428	156496	1318329
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	45,6 %	35,1 %	35,1 %
– kuorma-automatkat (ajon)	6219	6263	95874
Matkamäärät, PKS sis. (4 kunnan sis.)	282579	307426	2878099
– kevyt liikenne	79908	87204	915970
– joukkoliikenne	106748	91857	812827
– henkilöautomatkat (hlö)	95923	128365	1149302
– henkilöautomatkat (ajon)	80372	107594	917048
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	52,7 %	41,7 %	41,4 %
– kuorma-automatkat (ajon)	4952	4527	73255
Matkamäärät, muut Hgin seudun matkat	90650	91657	850888
– kevyt liikenne	28398	24206	264857
– joukkoliikenne	14015	9079	80886
– henkilöautomatkat (hlö)	48237	58372	505145
– henkilöautomatkat (ajon)	40056	48902	401281
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	22,5 %	13,5 %	13,8 %
– kuorma-automatkat (ajon)	1267	1736	22619
Huipputuntiosuudet, Helsingin seutu			
– kevyt liikenne	9,2 %	9,4 %	
– joukkoliikenne	13,5 %	11,3 %	
– henkilöautomatkat (hlö)	8,7 %	11,3 %	
– henkilöautomatkat (ajon)	9,1 %	11,9 %	



Kuva 9. Joukkoliikenteen kuormittuminen, ennuste 2008, aamuhuipputunti.



Kuva 10. Tieliikenneverkon kuormittuminen, ennuste 2008, aamuhuipputunti.

Nykytilanteen ennusteesta tehtiin seuraavat havainnot:

- Joukkoliikenteen kulkutapaosuus vastaa hyvin Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimusta vuorokausitasolla.
- Aamuruuhkassa joukkoliikenteen osuus on hieman suurempi kuin Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikkumistutkimuksessa, mikä johtunee verkkoihin ja funktioihin tehdyistä korjauksista mallien estimoinnin jälkeen. Myös uudet jakoluvut nostavat hivenen joukkoliikenteen osuutta.

- Tieliikenteen kuormittuminen aamuruuhkassa on varsin looginen, ja merkittävää kuormittumista esiintyy paikoissa, jotka tiedetään ruuhkaisiksi. Liikennemäärät näyttävät vastaavan melko hyvin laskentatietoja.
- Joukkoliikenteessä lähijunaliikenteen matkustajamäärät näyttävät olevan laskentatietoihin nähden hieman runsaat. Metroliikenteessä kuormitus näyttää vastaavan vuosikymmenen alkupuolen laskennoista saatua käsitystä matkustajamääristä. Bussiliikenteestä ei ollut käytettävissä laskentatietoja, joten ei ole tiedossa, johtuuko junamatkustajien runsaus sijoittelusta (siirtymä bussiliikenteestä) vai joukkoliikennekysynnästä (joukkoliikenteen käyttäjämäärän yleisestä muutoksesta).

5.3 Ennuste vuodelle 2035

Vuoden 2035 testiennuste on laadittu maankäyttötiedoilla, joissa mallialueen asukasmäärä kasvaa noin 26 prosenttia. Liikenneverkkokuvaus sisältää erilaisissa liikennejärjestelmää koskeissa suunnitelmissa kuvatut hankkeet, jotka on ohjelmoitu toteutettaviksi vuoteen 2030 mennessä. Bruttokansantuotteen³¹ kasvukertoimeksi vuodesta 2008 on arvioitu 1,32. Joukkoliikenteen tai henkilöautoilun kustannukset (osuus käytettävistä olevista tuloista) ovat nykyisellään.

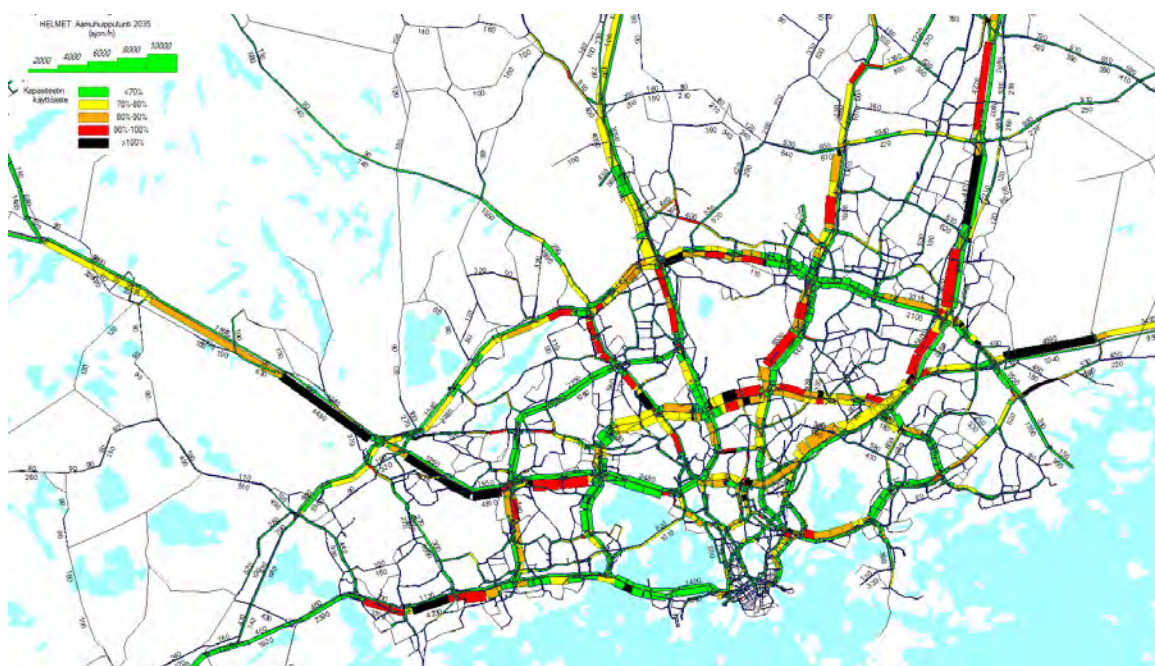
³¹ Tarkkaan ottaen autonomistumallin muuttujana on ruokakunnan tulojen kehitys.

Taulukko 21. Matkamäärät, vuoden 2035 testiennuste.

	Ennuste 2035 (17.5.2010)			Ero 2035–2008 (abs)			Ero 2035–2008 (%)		
	AHT	IHT	VRK	AHT	IHT	VRK	AHT	IHT	VRK
Matkamäärät, koko työssäkäyntialue	529 964	582 562	5 357 256	90 269	109 188	1 066 071	20,5 %	23,1 %	24,8 %
– joukkoliikenne (ei ympäryskuntien sis.)	146 849	122 782	1 039 864	13 710	13 364	109 311	10,3 %	12,2 %	11,7 %
– henkilöautomatkat (ajon)	210 496	269 355	2 387 351	51 896	67 319	643 507	32,7 %	33,3 %	36,9 %
– kuorma-automatkat (ajon)	10 199	11 115	162 931	2 107	2 295	33 681	26,0 %	26,0 %	26,1 %
Matkamäärät, Helsingin seutu (14 kuntaa)	450 426	495 463	4 711 665	77 197	96 380	982 678	20,7 %	24,2 %	26,4 %
– kevyt liikenne	119 996	123 084	1 333 205	11 690	11 674	152 378	10,8 %	10,5 %	12,9 %
– joukkoliikenne	132 439	112 606	993 394	11 676	11 670	99 681	9,7 %	11,6 %	11,2 %
– henkilöautomatkat (hlö)	197 991	259 773	2 385 066	53 831	73 036	730 619	37,3 %	39,1 %	44,2 %
– henkilöautomatkat (ajon)	166 331	216 517	1 890 133	45 903	60 021	571 804	38,1 %	38,4 %	43,4 %
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	40,1 %	30,2 %	29,4 %	-5,5 %-yks	-4,8 %-yks	-5,7 %-yks			
– kuorma-automatkat (ajon)	7 837	7 892	120 840	1 618	1 629	24 966	26,0 %	26,0 %	26,0 %
Matkamäärät, PKS sis. (4 kunnan sis.)	337 510	377 032	3 585 418	54 931	69 606	707 319	19,4 %	22,6 %	24,6 %
– kevyt liikenne	86 169	93 368	1 001 593	6 261	6 164	85 623	7,8 %	7,1 %	9,3 %
– joukkoliikenne	115 702	101 572	894 653	8 954	9 715	81 826	8,4 %	10,6 %	10,1 %
– henkilöautomatkat (hlö)	135 639	182 092	1 689 172	39 716	53 727	539 870	41,4 %	41,9 %	47,0 %
– henkilöautomatkat (ajon)	114 356	151 768	1 340 025	33 984	44 174	422 977	42,3 %	41,1 %	46,1 %
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	46,0 %	35,8 %	34,6 %	-6,6 %-yks	-5,9 %-yks	-6,8 %-yks			
– kuorma-automatkat (ajon)	6 238	5 703	92 279	1 286	1 176	19 024	26,0 %	26,0 %	26,0 %
Matkamäärät, muut Hgin seudun matkat	112 916	118 431	1 126 247	22 266	26 774	275 359	24,6 %	29,2 %	32,4 %
– kevyt liikenne	33 827	29 716	331 612	5 429	5 510	66 755	19,1 %	22,8 %	25,2 %
– joukkoliikenne	16 737	11 034	98 741	2 722	1 955	17 855	19,4 %	21,5 %	22,1 %
– henkilöautomatkat (hlö)	62 352	77 681	695 894	14 115	19 309	190 749	29,3 %	33,1 %	37,8 %
– henkilöautomatkat (ajon)	51 975	64 749	550 108	11 919	15 847	148 827	29,8 %	32,4 %	37,1 %
– joukkoliikenteen os. jl+ha-matkoista	21,2 %	12,4 %	12,4 %	-1,4 %-yks	-1,0 %-yks	-1,4 %-yks			
– kuorma-automatkat (ajon)	1 599	2 190	28 561	332	454	5 942	26,2 %	26,1 %	26,3 %
Huipputuntiosuudet, Helsingin seutu									
– kevyt liikenne	9,0 %	9,2 %		-0,17 %-yks	-0,20 %-yks				
– joukkoliikenne	13,3 %	11,3 %		-0,18 %-yks	0,04 %-yks				
– henkilöautomatkat (hlö)	8,3 %	10,9 %		-0,41 %-yks	-0,40 %-yks				
– henkilöautomatkat (ajon)	8,8 %	11,5 %		-0,33 %-yks	-0,42 %-yks				



Kuva 11. Joukkoliikenteen kuormittuminen, testiennuste 2035, aamuhuipputunti.



Kuva 12. Tieliikenneverkon kuormittuminen, testiennuste 2035, aamuhuipputunti.

Vuoden 2035 ennusteesta tehtiin seuraavat havainnot:

- Autoistumisaste (eli henkilöautotiheys ha/1000 asukasta) kasvaa nykytilanteen ennusteeseen nähden noin 18 prosenttia.
- Joukkoliikenteen osuus laskee selvästi nykyisestä. Tähän vaikuttaa muun muassa autoistumisasteen muutos sekä maankäytön kasvun painottuminen alueille, joilla joukkoliikenteen palvelutaso ei ole yhtä hyvä kuin ydinalueilla.

- Tieliikenteen ruuhkaisuus kasvaa selvästi verkon kapasiteetin lisääntymisestä huolimatta.
- Ennusteen trendit ja yleiskuva pääkaupunkiseudulla on samankaltainen kuin vanhalla mallijärjestelmällä laadituilla ennusteilla.

5.4 Vanhan ja uuden mallijärjestelmän vertailutestit

Vanhan ja uuden mallijärjestelmän reagoitua vertailtiin seuraavien muutosten osalta:

- vyöhykepohjainen ruuhkamaksu
- seutuliikenteen lipun hinnan muutos
- metron jatkaminen Ruoholahdesta Kivenlahteen.

Vyöhykepohjainen ruuhkamaksu

Vuoden 2035 ennustetilanteeseen kuvattiin sama ruuhkamaksumalli, jota on tutkittu pääkaupunkiseudun sisäisen liikkumisen osalta Liikenne- ja viestintäministeriön ruuhkamaksuselvityksen yhteydessä vanhoilla YTV-malleilla vuoden 2017 tilanteessa.

Taulukko 22. Ruuhkamaksun vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.

	Vanha YTV-malli v. 2017	Uusi malli v.2035
Henkilöautomatkat, AHT	-18 %	-11%
Henkilöautomatkat, VRK	-14 %	-13 %
Joukkoliikennematkat, AHT	+12 %	+9%
Joukkoliikennematkat, VRK	+11%	+13%

Vertailusta tehtiin seuraavat havainnot:

- Joustot ruuhka-aikaan ovat uudella mallilla vaimeampia kuin vanhoilla pääkaupunkiseudun liikennemalleilla, vuorokausitasolla erot ovat pienemmät.
- Uusia malleja on testattu vuoden 2035 tilanteessa, vanhoja vuoden 2017 tilanteessa, jolloin ruuhkaisuudessa olevat erot vaikuttavat myös joustoihin (mitä ruuhkaiempi tilanne, sitä enemmän on uutta kysyntää täyttämässä poistuvaa kysyntää, jolloin jousto voi olla pienempi).
- Myös uudet jyrkemmät sijoittelufunktiot voivat vaikuttaa siten, että ruuhkamaksun vaikutus kysyntään on ruuhkautuneissa oloissa pienempi kuin vanhoilla funktioilla (kysynnän väheneminen lyhentää matka-aikoja selvemmin).
- Myös suuntautuminen muuttuu uusilla malleilla selvästi, monien alueiden välillä matkamäärä vähenee yli 10 prosenttia.
- Aiemmassa testivaiheessa tehdyn ruuhkamaksun kehämallin vertailussa vaikutukset pääkaupunkiseudun sisällä olivat vanhalla ja uudella mallilla laskettuna lähes samat.
- Ruuhkamaksun vaikutusta testattiin myöhemmin myös vuoden 2020 perusennusteen mukaisessa tilanteessa. Henkilöautomatkojen määrän suhteellinen muutos oli lähes sama kuin vuoden 2035 perusennusteen tilanteessa, mutta joukkoliikennematkojen suhteellinen kasvu jäi hieman pienemmäksi.
- Autonomistumalli ei juurikaan reagoi ruuhkamaksuihin, koska malli ei sisällä liikkumisen kustannusmuuttujaa. Mikäli kustannusmuuttuja lisätään autonomistumalliin, henkilöauton omistus ja käyttö voisivat pienentyä hiukan enemmän.
- Ruuhkamaksujen kuvaaminen mallijärjestelmässä on teknisesti monimutkaista.

Seutulipun hintaa nostetaan 23 prosenttia

Tässä testissä seutulipun hintaa nostettiin vuoden 2035 vertailutilanteeseen nähden 23 prosenttia. Pääkaupunkiseudun kuntien sisäisten joukkoliikennelippujen hintoja ei muutettu. Hintamuutos on suhteellisesti sama kuin vanhoissa testiennusteissa, joita aikanaan tehtiin vuoden 2017 tilanteessa Pääkaupunkiseudun joukkoliikenteen taksa- ja lippujärjestelmän kehittämissuunnitelman yhteydessä.

Taulukko 23. Seutulipun hinnan noston vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.

	Vanha YTV-malli v. 2017	Uusi malli v.2035
Henkilöautomatkat, AHT	+2 %	+1 %
Henkilöautomatkat, VRK	+2 %	+1 %
Joukkoliikennematkot, AHT	-4%	-2 %
Joukkoliikennematkot, VRK	-5 %	-2 %

Vertailusta tehtiin seuraavat havainnot:

- Uudella mallilla joustot ovat jonkin verran pienempiä kuin vanhoilla YTV-malleilla.
- Joukkoliikenteen kysyntäjoustot seutumatoilla ovat vuorokausitasolla edelleen varsin suuret, mutta pienemmät kuin vanhoilla malleilla.
- Suuntautumisen joustot ovat selvästi suurempia kuin vanhoilla YTV-malleilla. Seutulipun hinnan nosto lisäsi yhteenlaskettuja joukkoliikenne- ja henkilöautomatkoja Helsingin esikaupunkivyöhykkeen sisällä noin neljä prosenttia.
- Autonomistumalli ei juurikaan reagoi lipunhinta muutoksiin, koska malli ei sisällä liikkumisen kustannusmuuttujaa. Mikäli kustannusmuuttuja lisätään autonomistumalliin, henkilöauton omistus ja käyttö voisivat muuttua hiukan enemmän.

Ruoholahti–Kivenlahti-metro korvataan nykytyyppisellä bussijärjestelmällä

Tässä testissä metrohankkeen vaikutuksia vertailtiin nykytyyppiseen bussijärjestelmään vuoden 2035 tilanteessa. Vertailukohtana on vanhalla mallilla länsisuunnan raide-YVA:n yhteydessä tehdyt ennusteet vuoden 2030 tilanteessa.

Taulukko 24. Bussijärjestelmän vaikutukset matkamääriin pääkaupunkiseudun sisällä vanhalla ja uudella mallilla laskettuna.

	Vanha YTV-malli v. 2017	Uusi malli v.2035
Henkilöautomatkat, AHT	+0,4%	+0,7 %
Henkilöautomatkat, VRK	+0,4 %	+0,6 %
Joukkoliikennematkot, AHT	-0,1%	-1,2 %
Joukkoliikennematkot, VRK	-0,3 %	-1,4 %

Vertailusta tehtiin seuraavat havainnot:

- Raideliikenteen ja bussiliikenteen palvelutasoerot on kuvattu nyt vastuksissa, aiemmin ei.
- Espoosta muualle tehtyjen joukkoliikennemattojen määrän osalta muutos on huomattavasti suurempi kuin vanhoilla YTV-malleilla, mutta kuitenkin alle 6 prosenttia.
- Henkilöautomattojen määrän osalta ero vanhoihin malleihin pienempi.
- Myös suuntautuminen muuttuu selvästi (matkojen määrä Espoosta Helsinkiin muuttuu noin kaksi prosenttia).
- Muutokset Espoon ja kehysalueen välillä ovat samansuuntaiset mutta vaimeammat kuin Espoon ja Vantaan välillä.

6 Ennusteiden laadinta

6.1 Ennusteprosessi

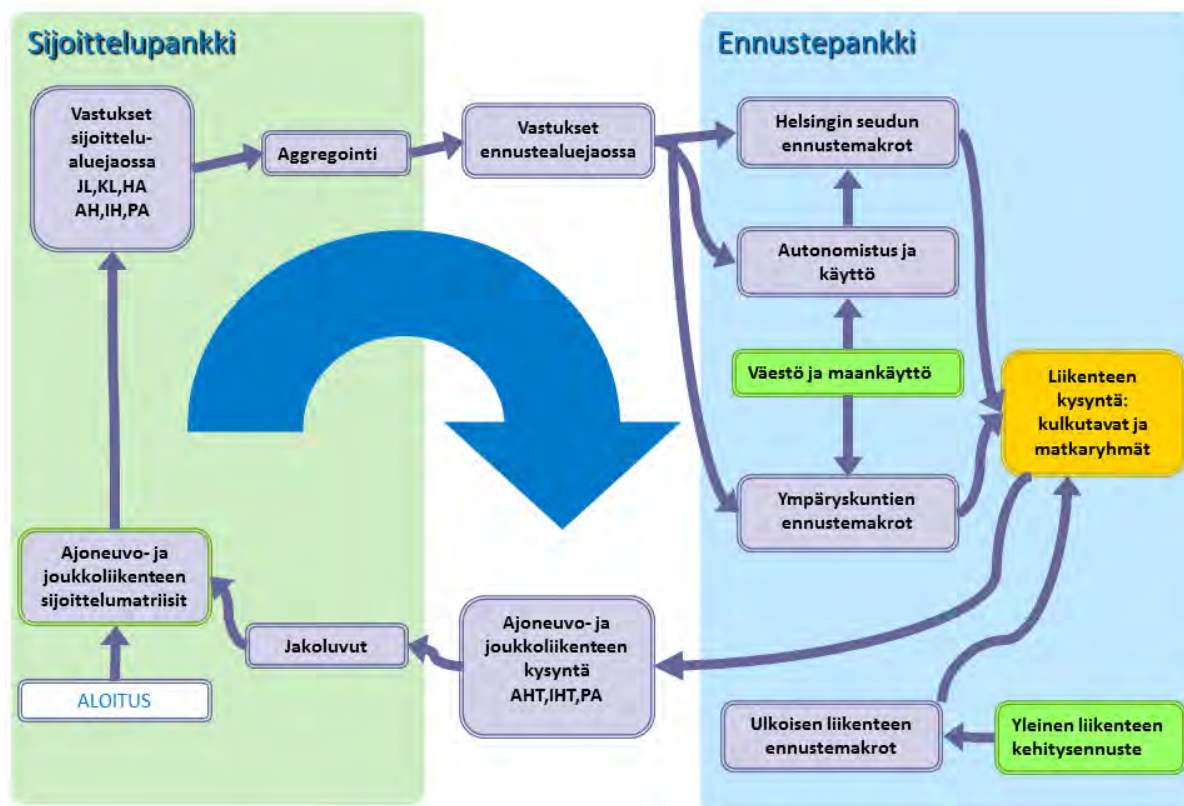
6.1.1 Yleistä

Helsingin seudun työssäkäyntialueen ennusteiden laadinta on iteratiivinen prosessi, jossa kysyntäennuste muodostuu vähitellen, kun liikenteen kysynnän ja liikennejärjestelmän tarjonnan välille haetaan tasapainoa. Liikennejärjestelmän tarjonta on kuvattu niin kutsutussa sijoittelupankissa. Kysynnän ennustaminen taas tapahtuu ennustepankissa.

Yhden iteraatiokierroksen tapahtumat ovat pääpiirteittäin seuraavat:

1. Lasketaan liikennejärjestelmää kuvaavat matka-ajat ja matkojen pituudet sijoittelupankissa ja siirretään tiedot ennustepankkiin.
2. Lasketaan autonomistus ennustealueittain ja jaetaan väestö henkilöauton pääasiallisiin käyttäjiin ja muihin.
3. Lasketaan kysyntäennusteet Helsingin seudun asukkaille.
4. Lasketaan kysyntäennusteet ympäryskunnille.
5. Lasketaan ulkoisen liikenteen ennusteet.
6. Siirretään eri ajankohtien (aamuhuipputunnin, päiväliikenteen ja iltahuipputunnin) kysyntäennusteet sijoittelupankkiin seuraavaa iteraatiokierrosta varten.

Iteraatiokierroksia toistetaan niin monta kertaa, että kysyntäennuste voidaan todeta riittävän stabiiliksi tarkasteltavaan ilmiöön nähden.



Kuva 13. Ennusteprosessin pääkohdat.

Sijoittelupankin ja ennustepankin sisältöä on kuvattu pääpiirteittäin seuraavassa taulukossa.

Taulukko 25. Sijoittelu- ja ennustepankin sisältö pääpiirteittäin.

Sijoittelupankki	Ennustepankki
1. Liikennejärjestelmäkuvaus - joukkoliikenneverkko ja linjastot - henkilöautoverkko - karkeahko kevytliikenneverkon kuvaus	1. Väestömäärät ikäryhmittäin ja yhteensä
2. Sijoittelumakrot	2. Työpaikkamäärät toimialoittain ja kaup- pan kerrosalat
3. Sijoittelufunktiot	3. Kustannusmatriisit
4. Jakoluvut	4. Helsingin seudun ennustemakrot
5. Aggregaatiot	5. Ympäryskuntien ennustemakrot
	6. Ulkoisen liikenteen ennustemenettelyn makrot
	7. Autonomistuksen ja auton käyttömah- dollisuuden makrot

6.1.2 Ennusteen iterointitarve

Iterointikierrosten määrä sijoittelu- ja ennustepankin välillä riippuu tarkasteltavasta ilmiöstä. Tarkkaa ennustekierrosten määrää ei voida antaa, vaan kierroksia tehdään niin monta kertaa, että ennuste on konvergoitunut. Konvergoitumisen tarkkuusvaatimukset riippuvat tarkasteltavasta ilmiöstä. Jos tarkasteltavana on jokin yhteysväli, tulee ennusteita laadittaessa varmistaa, että matka-ajat tarkasteltavalla yhteysvälillä ovat tasaantuneet peräkkäisten kierrosten välillä riittävästi.

Konvergoitumisen ehtoja voivat olla esimerkiksi:

- kulikutapakohtaiset matriisien nurkkasummat eri ajankohtina ovat tasaantuneet (ero kierrosten välillä alle puoli prosenttia) ja
- yksittäisten alueparien väliset matka-ajat henkilöautolla ja joukkoliikenteellä ovat tasaantuneet (ero kierrosten välillä alle yksi prosenttia).

Ennustemakrot laskevat muutamien etukäteen valittujen alueparien välille matka-aikoja. Samoin nurkkasumatiedot tulostuvat valmiiksi. Näiden perusteella voi arvioida ennusteen tasaantumista. Lisäksi kannattaa tarkastella itse valitsemiaan yhteysvälejä tai osamatriiseja sen mukaan, millaista ennustetta on laatimassa.

On myös mahdollista, että ennuste ei tasaannu lainkaan, vaan ennuste alkaa heittelehtiä. Todennäköisin syy lienee virhe lähtötiedoissa tai muu inhimillinen virhe. Jos mitään virhetä ei löydy, on mahdollista, että annettu liikenne- ja maankäyttöjärjestelmä ei ole sisäisesti yhteensopiva, vaan liikennejärjestelmä ylikuormittuu. Tällöin järjestelmä on palautettava suunnittelupöydälle.

6.1.3 Helsingin seudun mallien ennusteprosessi

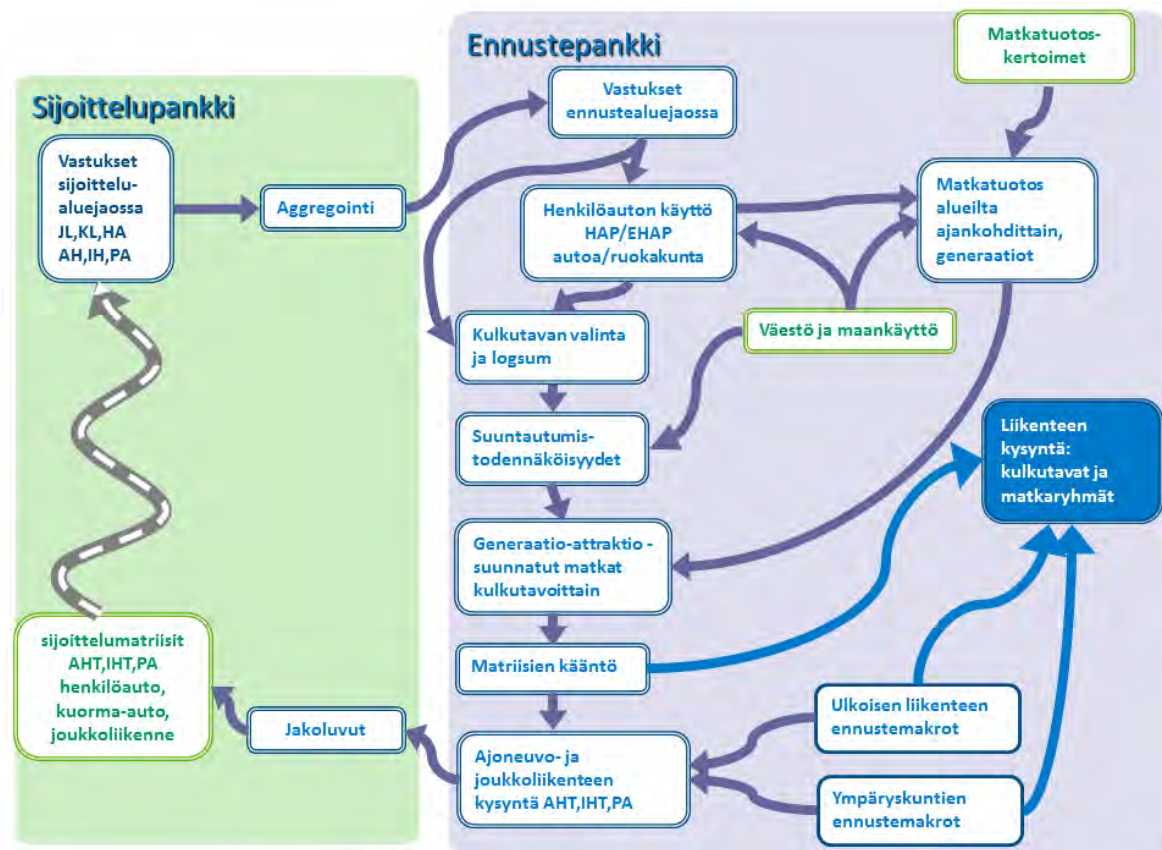
Helsingin seudun, ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen ennusteiden laadinta muodostavat kukin koko prosessissa oman kokonaisuutensa.

Helsingin seudun ennusteiden laadinta etenee pääpiirteittäin seuraavasti ennustepankissa:

- Kun väestö-, maankäyttö- ja kustannustiedot on annettu sekä vastukset (eli matka-ajat ja matkapituuudet) laskettu sijoittelupankissa, lasketaan henkilöauton omistus ja väestö jaetaan henkilöauton pääasiallisiin käyttäjiin ja muihin.

2. Väestötietojen, henkilöauton käyttömahdollisuuden ja matkatuotuskertoimien avulla lasketaan matkatuotokset ennustealueilla matkaryhmittäin ja eri ajankohdille: aamuruuhka, iltaruuhka sekä päivä-, ilta- ja yöliikenne.
3. Liikennejärjestelmää kuvaavien vastusten ja henkilöauton omistuksen perusteella lasketaan kulkutavan valintamalleilla henkilöauton, joukkoliikenteen ja kevytliikenteen valintatodennäköisyydet pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien asukkaille matkaryhmittäin eri ajanjaksoina. Samoin näiden tietojen avulla lasketaan liikennejärjestelmän saavutettavuus eli logsum.
4. Liikennejärjestelmän saavutettavuuden ja väestö- ja maankäyttötietojen perusteella lasketaan todennäköisyys, jolla kukin määräpaikka valitaan Helsingin seudulla. Todennäköisyydet vaihtelevat lähtöpaikan mukaan eri vuorokaudenaikoina, matkaryhmittäin ja sen mukaan, onko kyseessä pääkaupunkiseudun vai kehyskuntien asukas. Suuntautumistodennäköisyydet lasketaan aina kotiperäisillä matkoilla kotoa muualle ja työperäisillä matkoilla töistä muualle.
5. Suuntautumistodennäköisyydet kerrotaan kulkutavan valintatodennäköisyyksillä ja matkatuotoksilla, jolloin saadaan generaatio-attraktio-suunnatut matkat kulkutavoittain.
6. Kotiperäiset ja työperäiset matkat käännetään eri ajankohtina oikeisiin suuntiin eli paluumatkat käännetään attrahointipaikasta kotiin tai työpaikalle (saadaan lähtöpaikka-määräpaikka-suunnatut matkat kulkutavoittain eri ajankohtina).
7. Eri ajankohtien matkoista lasketaan aamuhuipputunnin, iltahuipputunnin ja päivätunnin liikennemäärät.

Prosessia on havainnollistettu seuraavassa kaaviossa.



Kuva 14. Helsingin seudun ennusteiden laadinnan pääkohdat.

6.1.4 Ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen ennusteprosessi

Ympäryskuntien ja ulkoisen liikenteen ennusteiden laadinta etenee seuraavasti:

1. Tuotosmalli laskee väestömuutostietojen perusteella ajoneuvoilla tapahtuvan henkilöliikenteen (ts. kevytliikennematkat on poistettu) tuotosmuutoksen matkaryhmittäin ja aikajaksoittain.
2. Kulikutapamalli laskee liikennejärjestelmätietojen perusteella ympäryskuntien ja Helsingin seudun välisten matkojen joukkoliikenteen kulkutapaosuuden muutoksen, jolla muutetaan nykytilanteen havaittua joukkoliikenteen kulkutapaosuutta.
3. Ympäryskuntien nykytilanteen vuorokausitason henkilömatkamatriisia Helsingin seudulle suunnataan uudelleen Helsingin seudun muuttuneiden tuotosten suhteessa. Uudelleen suunnatusta matriisista lasketaan osuuskertoimilla eri matkaryhmien ja aikajaksojen matkat, joihin liitetään ennustettu tuotosmuutos.
4. Ympäryskuntien sisäisten ja välisten matkojen tuotoksia muutetaan väestömuutosten suhteessa, mutta kulkutapa- ja suuntautumisosuudet ovat samat kuin liikkumistutkimuksessa.
5. Joukkoliikennematkat lasketaan kulikutapamallilla lasketun joukkoliikenneosuuden perusteella. Henkilöautolla tehtävistä matkoista lasketaan henkilöauton kuljettaja matkat käyttäen keskiuormituskertoimia.
6. Ympäryskuntien asukkaiden nykytilanteen matkamääriä Helsingin seudulla korotetaan ympäryskuntien tuotosmuutosten perusteella. Nämä matkat suunnataan Helsingin seudulla kuten Helsingin seudun mallin työperäiset matkat sekä muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat yhteensä.
7. Ympäryskuntien matkoihin liitetään tutkimusalueen rajan ylittävät ulkoiset ajoneuvoliikenteen matkat, jotka lasketaan ulkosyöttökohtaisilla kasvukertoimilla nykytilanteen kysynnästä.

6.2 Eräiden lähtötietojen muodostamisesta

6.2.1 Joukkoliikennelipun tai autoilun hintamuutokset

Joukkoliikenteen lipun ja autoilun hintamuutostarkasteluissa kannattaa ottaa huomioon, että malleissa käytettävä hinta on suhteutettava aina vuoden 2007/2008 hintatasoon, jolloin liikkumistutkimus tehtiin. Siten esimerkiksi inflaatiota ei oteta huomioon hintamuutoksissa. Ratkaisevaa on, mikä on liikkumisen hintataso kulloinkin suhteessa käytettävissä oleviin tuloihin nähden.

6.2.2 Joukkoliikenteen nopeuttaminen

Joukkoliikenteen nopeutuksen yhteydessä kannattaa ottaa huomioon, että malleissa käytetty matka-aika on painotettu kokonaismatka-aika ennustealueelta ennustealueelle, siis odotus ja kävely mukaan lukien. Siten esimerkiksi 10 prosentin nopeutus joukkoliikenteessä tarkoittaa tätä selvästi pienempää prosenttiosuutta painotetussa kokonaismatka-ajassa, elleivät odotus- ja kävelyajat samalla muutu.

6.2.3 Ruuhkamaksu

Ruuhkamaksu näkyy liikennemalleissa kulkutavan valinnassa, matkojen suuntautumisessa (logsumin kautta), autonomistuksessa³² ja tätä kautta edelleen matkatuotoksissa.

Kulikutapamallissa ruuhkamaksu voidaan sijoittaa joko matkakustannukseen tai pysäköintikustannukseen. Periaatteessa valintaan vaikuttaa ruuhkamaksun toteutustapa. Kilometripohjainen maksu kuuluu luontevasti osaksi matkakustannuksia. Jos taas se on tyypiltään

³² Tällä hetkellä vaikutus autonomistukseen on vähäinen, sillä autonomistumalli ei toistaiseksi ota huomioon autoilun hintaa, vaan vaikutus näkyy vain joukkoliikenteen ja henkilöautoilun matka-aikojen suhteen kautta.

jokaisella tulliportilla erikseen maksettava, voisi pysäköintikustannus olla luonteva paikka. Turvallisempaa on kuitenkin liittää ruuhkamaksu silloinkin linkin matkakustannukseen, koska pysäköintimuuttuja ei ole yhtä luotettavasti estimoitu (sillä pysäköintimaksu on määritetty vain alle 30 ennustealueelle, ks. liite 2). Mikäli tästä menettelystä perustellusti poiketaan, kannattaa asia mainita ennusteiden tulosten kuvauksen yhteydessä.

Koska ruuhkamaksu vaikuttaa myös reitinvalintaan, on tärkeää, että myös sijoitteluissa otetaan huomioon ruuhkamaksun vaikutus.

6.2.4 Väestö- ja maankäyttötiedot

Matkojen suuntautumismalleissa käytetyt väestö- ja työpaikkatiedot perustuvat vuoden 2005 YKR-aineistoon. Tästä aineistosta puuttuu joitakin aluekohtaisia tietoja ja taso on muutenkin alempi kuin vuoden 2008 tilanteessa. Ero on Helsingin seudulla muutaman prosenttiyksikön luokkaa lähtötiedosta riippuen.

Ennusteita laadittaessa on suositeltavaa käyttää malleja siten, että ennustetilanteen luvut skaalataan seuraavasti suuntautumismalleja käytettäessä:

Malliin vietävä ennusteajankohdan maankäyttötieto
 = *ennusteajankohdan maankäyttötieto * YKR-tieto 2005/ maankäyttötieto 2008.*

YKR-aineiston maankäyttötiedot alueittain ovat liitteessä 7.

Liite 1. Joukkoliikennekustannukset.

Joukkoliikennekustannukset lasketaan erikseen kolmelle eri matkaryhmälle: kotiperäiset työmatkat, kotiperäiset koulumatkat ja muut matkat. Kustannukset perustuvat lippujen hintoihin. Yksikkönä on käytetty euroa/matka.

Matkustettaessa matkakorttialueen (Helsinki, Espoo, Kauniainen, Vantaa, Kirkkonummi ja Kerava) sisällä joukkoliikennekustannukset riippuvat lähtö- ja määräpaikan sijainnista kunnittain. Todellisuudessa lippujen hinnat riippuisivat myös siitä, asuuko matkustaja matkakorttialueella vai ei, mutta yksinkertaistuksen vuoksi matkakorttialueen sisällä tehtävät matkat on oletettu matkakorttialueella asuvien tekemiksi. Kotiperäisillä työmatkoilla yhden matkan kustannus lasketaan 30 päivän kausilipun hinnasta käyttäen pääkaupunkiseudun sisällä jakajaa 60 ja muulloin 50. Jakajat ovat eri suuret, koska asiantuntija-arvion mukaan paremman palvelutason pääkaupunkiseudulla tehdään samalla lipulla enemmän matkoja. Kotiperäisillä koulumatkoilla alennus on 50 prosenttia. Muilla matkoilla kustannukset perustuvat aikuisten arvolippuun, jonka hinnasta on vähennetty 25 prosenttia. Kyseisellä prosenttiluvulla on arvioitu matkustajien keskimääräisiä kustannuksia, sillä osa matkustaa muita matkoja (esimerkiksi työmatkoja) varten hankitulla kausikortilla. Asiasta käytiin työn aikana keskustelua: Voitaisiinko joukkoliikenteen kausikortin hankkineet ottaa huomioon jollakin muulla tavalla. Vaikeudeksi ilmeni yksilötason kausikorttitiedon kytkeminen malliin.

Matkustettaessa matkakorttialueen ja 8 kehyskunnan alueen välillä tai 8 kehyskunnan alueen sisällä joukkoliikennekustannukset riippuvat lähtö- ja määräpaikan välisestä etäisyydestä sekä kilometritariffista. Tariffi perustuu Matkahuollon hinnastoon, jossa yksikköhinta laskee matkan pituuden kasvaessa. Kotiperäisillä työmatkoilla kustannukset perustuvat 44 matkan lippuun, jolloin alennus on 25 prosenttia. Kotiperäisillä koulumatkoilla alennus on sama tai suurempi riippuen matkan pituudesta. Muilla matkoilla maksetaan täysi hinta. Lähtö- ja määräpaikan välinen etäisyys saadaan Emme-ohjelman sijoittelun tuloksena ja se perustuu etäisyyteen joukkoliikenneverkolla annetulla joukkoliikenteen tarjonnalla. Meno- ja paluumatkojen etäisyydet voivat tuolloin olla erisuuret, joten myös kustannukset voivat olla meno- ja paluumatkoilla toisistaan hieman poikkeavat.

Matkakorttialueen ja 8 kehyskunnan alueen välillä tai 8 kehyskunnan alueen sisällä matkustettaessa juna muodostaa poikkeuksen. Mikäli lähtö- ja määräpaikka sijaitsevat aseman vaikutusalueella, kokonaiskustannus muodostuu lähtöpään liityntäkustannuksesta, junalla kuljettavasta runko-osuuden kustannuksesta ja määräpään liityntäkustannuksesta. Junalla kuljetun runko-osuuden kustannus perustuu kotiperäisillä työmatkoilla VR:n 30 päivän lippuun jakajana 44. Kotiperäisillä koulumatkoilla opiskelija-alennus on useimmiten 50 prosenttia. Muilla junamatkoilla maksetaan kertalipun hinta vähennettynä 25 prosentilla. Liityntäkustannus lasketaan Helsingissä, Vantaalla ja Keravalla kaupungin sisäisestä matkasta. Muualla liitynnässä käytetään kilometritariffia aseman ja lähtö- tai määräpaikan välillä. Jos lähtö- tai määräpaikan alue on sama kuin juna-aseman alue, liityntäkustannukset on oletettu nolaksi.

Asioita, joita pohdittiin toteutetun lähestymistavan lisäksi:

- Juna-asemille sovellettavaa kustannusten laskentaperiaatetta yritettiin soveltaa myös bussiasemille. Siitä kuitenkin luovuttiin, koska kustannusten mallintaminen osoittautui erittäin monimutkaiseksi.
- Edellä kuvatut kustannukset liittyvät yksittäisen matkapäätöksen tekemiseen. Työn aikana pohdittiin myös, kuinka kustannukset vaikuttavat henkilön päätökseen ryhtyä henkilöauton tai joukkoliikenteen pääasialliseksi käyttäjäksi. Tämä sopii hyvin jatkokehityksen aiheeksi.

- Kustannustaso muuttuu vuosittain. Voita isiinko kustannukset määrittää viiden vuoden jaksoille erikseen? Nyt malleihin sisään rakennettu liikkumiskäyttäytyminen perustuu vuosien 2007–2008 liikkumistutkimukseen ja silloin vallinneeseen hintatasoon.

Liite 2. Henkilöautomatkan kustannukset.

Henkilöautomatkan kustannukset koostuvat kahdesta kustannuskomponentista: kilometrikustannuksista ja pysäköintikustannuksista. Kilometrikustannus on kaikille matkaryhmille sama 0,1325 euroa/km. Se koostuu polttoaine-, huolto-, rengas- ja korjauskustannuksista. Polttoainekustannukset on laskettu VTT:n Lipasto-järjestelmän vuoden 2000 kulutus- ja suoritetiedoilla. Polttoaineiden hinnat ovat bensiinille 1,416 euroa/litra ja dieselille 1,226 euroa/l. Ne saatiin Öljy- ja Kaasualan Keskusliiton tilastoista. Huolto-, rengas- ja korjauskustannukset eli lyhyesti kunnossapitokustannukset perustuvat julkaisun ”Tieliikenteen kustannusten yksikköarvot 2005” verottomiin arvoihin, joten ne on muutettu vertailukelpoiksi muiden kustannuskomponenttien kanssa lisäämällä niihin arvonlisävero.

*Bensiiniauton polttoainekustannukset: $1,416 \text{ e/litra} * 7,2 \text{ litraa/100km} \approx 0,1020 \text{ e/km}$*
*Dieselauton polttoainekustannukset: $1,226 \text{ e/litra} * 6 \text{ litraa/100km} \approx 0,0736 \text{ e/km}$*
*Keskimääräiset polttoainekustannukset: $85,3 \text{ prosenttia} * 0,1020 \text{ e/km} + 14,7 \text{ prosenttia} * 0,0736 \text{ e/km} \approx 0,0978 \text{ e/km}$*
*Kunnossapitokustannukset: $0,0285 \text{ e/km} * 122 \text{ prosenttia} \approx 0,0348 \text{ e/km}$*
Kilometrikustannukset yhteensä: $0,0978 \text{ e/km} + 0,0348 \text{ e/km} \approx 0,1325 \text{ e/km}$

Pääomakustannuksia ei ole otettu huomioon. Niiden vaikutus yksittäiseen matkapäätökseen on tuntematon. Myöskään vuoden 2000 mallityössä pääomakustannuksia ei otettu huomioon. Henkilöautomatkan pituus käytetyllä reitillä saadaan Emme-sijoittelun tuloksena. Se kerrotaan em. kilometrikustannuksella.

Pysäköintikustannusten muodostuminen on todellisuudessa monimutkaista. Kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi pysäköinnin kesto, pysäköintialue, pysäköinnin maksutapa ja mahdollisten ostosten määrä. Tässä työssä tukeuduttiin vuoden 2000 malliraportista peräisin oleviin kustannuksiin. Ne on määritelty parille kymmenelle Helsingin alueelle sekä Tapiolalle ja lentoasemalle. Kustannukset lasketaan erikseen kotiperäisille työmatkoille ja muille matkoille. Erottelun taustalla on ajatus siitä, että työmatkojen pysäköinti poikkeaa oleellisesti kestoiltaan, kustannuksiltaan ja pysäköintipaikan saatavuudeltaan muista matkoista. Pysäköinti kotiperäisellä työmatkalla kestää pääsääntöisesti kauemmin kuin muilla matkoilla. Lisäksi työnantaja saattaa osallistua työmatkojen kustannuksiin mutta ei muiden matkojen kustannuksiin.

Kotiperäisillä työmatkoilla pysäköintikustannukset perustuvat syksyn 2000 henkilöhaastatteluaaineistossa pääasiassa henkilöauton kulkutavakseen valinneiden kustannusten keskiarvoon. Lisäksi on huomattava, että työpaikkapysäköinnin osalta suuri osa ei itse maksa pysäköinnistä mitään. Pysäköintikustannuksiin vaikuttavat myös joukkoliikenteen kulkutavakseen valinneiden teoreettiset kustannukset, koska korkeat pysäköintikustannukset saattavat vaikuttaa päätökseen tehdä matka esimerkiksi bussilla henkilöauton sijaan. Lopulliset pysäköintikustannukset on painotettu alueittain henkilöauton ja joukkoliikenteen osuuksilla. Kulkutapaosuutena on käytetty vuoden 2000 aamuruuhkan nykytilan ennustetta. Lopullisissa pysäköintikustannuksissa on otettu huomioon myös pysäköinnin jakautuminen maksuttomille ja maksullisille pysäköintipaikoille.

Pysäköintikustannukset muilla kuin kotiperäisillä työmatkoilla perustuvat syksyn 2000 henkilöhaastatteluaaineistossa pääasiassa henkilöauton kulkutavakseen valinneiden kustannusten keskiarvoon. Joukkoliikenteen kulkutavakseen valinneiden teoreettisia kustannuksia ei ole otettu huomioon. Sen sijaan pysäköinnin jakautuminen maksuttomille ja maksullisille pysäköintipaikoille on mukana laskelmissa.

Pysäköintikustannukset kotona on oletettu nolllaksi, koska kiinteät kustannukset eivät vaikuta yksittäiseen matkapäätökseen.

Työssä on siis käytetty pohjana vuoden 2000 mallissa sovellettuja keskimääräisiä pysäköintikustannuksia, mutta niitä korotettiin vuoden 2008 tasoon kuluttajahintaindeksillä 1,0770 (tämän liitteen lopussa olevat taulukot). Laskentateknisesti kaikilla matkoilla pysäköintikustannuksista puolet kohdistetaan menomatkalle ja puolet paluumatkalle.

Taulukko 26. Pysäköintikustannukset matkaa kohden kotiperäisillä työmatkoilla 2008.

Alue	€	Alue	€	Alue	€
Kluuvi	3,68	Ruoholahti	0,62	Kallio	0,73
Kamppi	3,55	Etu-töölö	0,37	Sörnäinen	0,38
Punavuori	0,95	Taka-töölö	0,39	Alppiharju	0,38
Kaartinkaupunki	3,48	Meilahti	0,46	Vallila	0,00
Kruunuhaka	2,33	Ruskeasuo	0,36	Hermannin	0,00
Katajanokka	0,76	Länsi-Pasila	0,36	Kumpula	0,00
Ullanlinna	0,82	Pohjois-Pasila	0,00	Käpylä	0,00
Munkkisaari	0,00	Itä-Pasila	1,10	Tapiola	0,46
Jätkäsaari	0,00	Hakaniemi	2,89	Lentoasema	0,00

Taulukko 27. Pysäköintikustannukset matkaa kohden muilla kuin kotiperäisillä työmatkoilla 2008.

Alue	€	Alue	€	Alue	€
Kluuvi	2,46	Ruoholahti	0,00	Kallio	0,09
Kamppi	0,93	Etu-töölö	0,31	Sörnäinen	0,12
Punavuori	0,34	Taka-töölö	0,29	Alppiharju	0,00
Kaartinkaupunki	0,86	Meilahti	0,44	Vallila	0,00
Kruunuhaka	0,24	Ruskeasuo	0,00	Hermannin	0,00
Katajanokka	1,54	Länsi-Pasila	0,20	Kumpula	0,00
Ullanlinna	0,31	Pohjois-Pasila	0,00	Käpylä	0,00
Munkkisaari	0,00	Itä-Pasila	0,30	Tapiola	0,45
Jätkäsaari	0,00	Hakaniemi	0,23	Lentoasema	0,90

Jos katsotaan, että ennustevuonna pysäköintimaksut ovat toisenlaisia kuin edellä, ne voidaan antaa mallin syöttötiedoissa. On kuitenkin otettava huomioon, että ennustevuoden pysäköintimaksut (kuten muutkin kustannukset) on muutettava vuoden 2008 hintatasoon.

Mallissa ei ole kuvattu pysäköintipaikkatarjontaa millään tavalla, joten se ei reagoi tarjonnan muutoksiin.

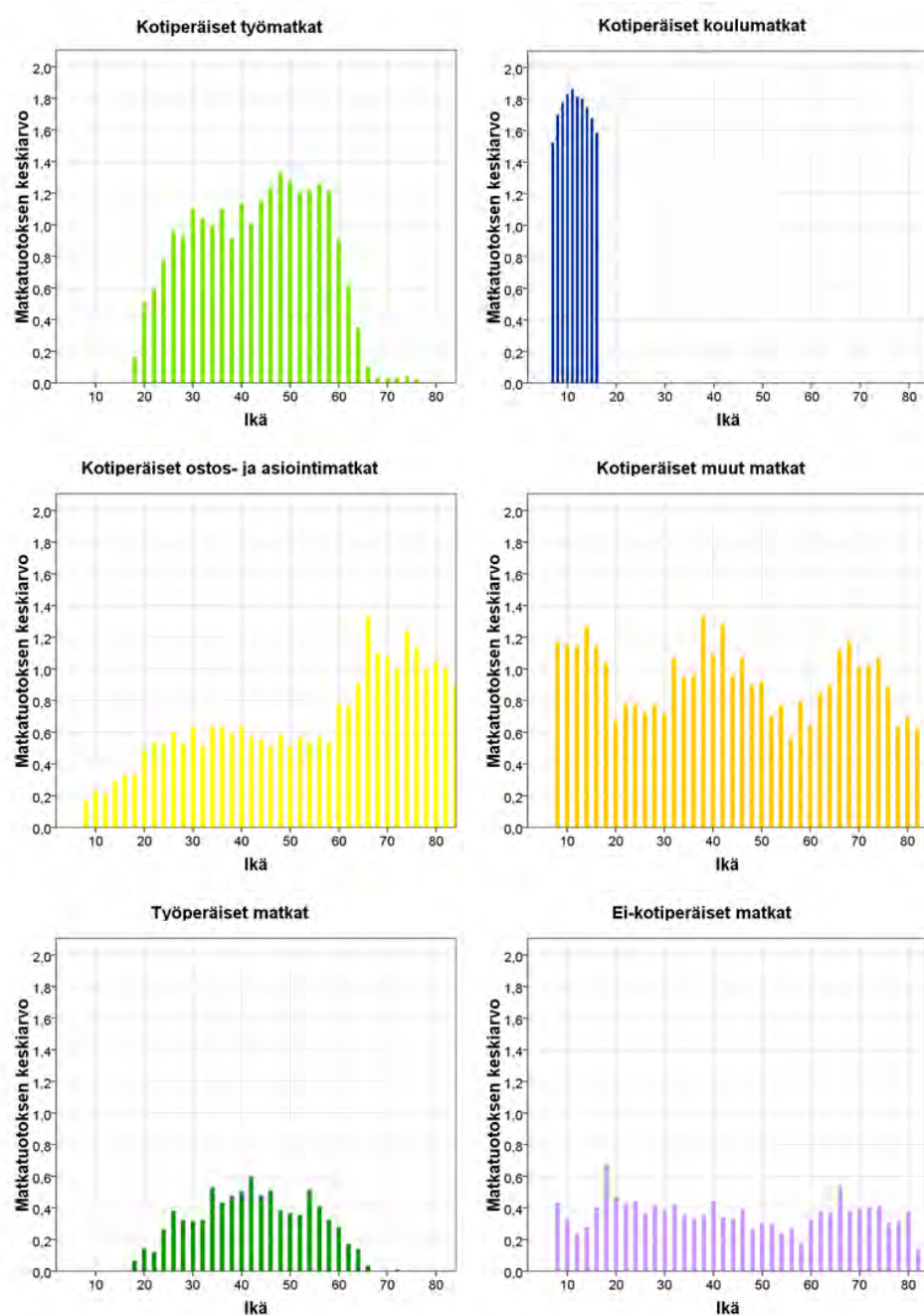
Toteutetun lähestymistavan lisäksi pohdittiin seuraavia asioita, jotka on hyvä ottaa uudelleen pohdittavaksi malleja edelleen kehitettäessä:

- Tulisiko yksikkönä käyttää euroa/km vai euroa/mat kustaja-km?
- Pitäisikö HAP-mallissa ottaa kantaa bensiini- ja dieselauton valintaan?
- Ruuhkassa ajaminen lisää polttoaineen kulutusta. Vaikutuksen voisi ottaa periaatteessa huomioon, jos lasketaan sijoittelun matka-aika ja matkan pituus sekä verrataan tulosta tiesegmenttien nopeusrajoituksiin.
- Moottoriteille, maanteille ja kaduille voitaisiin määrittää polttoaineen kulutusluokat.
- Otetaanko huomioon autoetu, käyttöetu ja työmatkat kilometrikorvauksineen?
- Lippujen hinnoittelulogiikka voi muuttua.
- Kilometrikustannukset laskettiin alun perin eri tavalla työmatkoille ja muille matkoille sillä perusteella, että päätös käyttää aina autoa työmatkoilla tehtäisiin loogisemmin. Vastaavasti esimerkiksi vapaa-ajan matkat olisivat impulsiivisempia ja kustannuksista koettaisiin vain polttoainekustannukset.

Liite 3. Helsingin seudun sisäisten matkojen määrän regressioanalyysi.

Matkatuotosten regressiomallikokeilut osoittivat, että aiemmista pääkaupunkiseudun malleista poiketen matkatuotoslukuja ei ole tarpeen laatia erikseen eri alueille, vaan väestörakenteelliset erot selittävät pääosan matkatuotosten alueellisista vaihteluista.

Useimmissa matkaryhmissä yhdeksi tärkeimmistä käyttäytymistä selittäväksi demograafiseksi muuttujaksi estimointikokeiluissa nousi ikä. Iän merkitys vaihtelee kuitenkin matkaryhmittäin, joten kaikille matkaryhmille yhtenäinen ikäryhmittely ei olisi sopivin.



Kuva 15. Matkatuotoksen keskiarvo eri-ikäisille henkilöille vuoden 2007 henkilöhaastatteluaineistossa arkivuorokautena (ma-to).

Työmatkatuotosta parhaiten selittävä muuttuja olisi luonnollisesti itse työssäkäynti. Jos tätä itsestään selvää mutta vaikeasti ennustettavaa muuttujaa ei oteta huomioon, nousevat muiksi tärkeiksi muuttujiksi ikä, sukupuoli, alle 7-vuotiaat lapset perheessä sekä henkilöauton käyttö.

Kotiperäisten koulumatkojen selittäjäksi riitti pelkkä henkilön ikä.

Kotiperäisillä ostos- ja asiointimatkoilla merkitseviä selittäjiä olivat sukupuoli, hyvä palvelujen saavutettavuus kevytliikenteellä ja työssäkäynti. Mikäli työskentelyä kuvaavia muuttujia ei käytetä, päädyttään selitysasteeltaan hieman heikompaan malliin, joka perustuu ikä- ja sukupuoliluokitteluihin.

Kotiperäisiä muita matkoja selittivät niin ikään parhaiten työssäkäynti ja henkilöauton käyttö. Mikäli työssäkäyntiä ei haluta käyttää muuttujana, tulisi tämä korvata sukupuoli- ja ikäluokkamuuuttujilla.

Työperäisten matkojen määrää selittivät parhaiten ikä, sukupuoli ja henkilöauton käyttö.

Jäljelle jäävä matkaryhmä eli muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat oli poikkeuksellinen. Tässä matkaryhmässä tärkeimpiä selittäviä muuttujia olivat sukupuoli ja ikä sekä joukko paikkaa kuvaavia muuttujia. Merkityksellisimmäksi nousi Helsingin niemi.

Muuttuvien tarpeiden huomioiminen matkatuotosmallissa

Liikennemalleilla pyritään arvioimaan liikenteen tulevaa kehitystä vuosikymmeniksi eteenpäin ja malleja käytetään yleensä pitkiäkin aikoja ennen mallijärjestelmän perusteellista uusimista. Olisi siis kyettävä ennakoimaan yhteiskunnan kehitystä ja poliittisen kiinnostuksen kohteita.

Henkilöliikennettä koskien on nostettu esille mm. asumis- ja liikkumiskustannusten nousu, herännyt ympäristötietoisuus sekä yksilöllisen joukkoliikenteen kehittäminen. Muita asioita ovat virtuaalikouosten, verkkokaupan, muun sähköisen asiointin ja vähittäiskaupan kuljetuspalvelujen yleistyminen sekä väestön ikääntyminen. Tämäntapaiset suuntaukset tulevat jatkossa voimistumaan ja näkyvät – jos eivät matkojen vähenemisenä – niin ainakin niiden luonteen muuttumisena.

Muutokset tulisikin ottaa huomioon matkatuotosmalleissa. Eräs tapa huomioida näitä on luoda erilaisia skenaarioita matkatuotoksista. Näissä skenaarioissa matkatuotosluvut olisivat nykyisestä poikkeavia. Se, miten tällaiset skenaariot luodaan, on tietenkin oma tutkimuskysymyksensä.

Liite 4. Matkatuotokset Helsingin seudulla aamuruuhkan, iltaruuhkan sekä päivä-, ilta- ja yöliikenteen aikaan, 7 vuotta täyttäneet ³³.

		7-17 v.	18–29 - vuotiaat		30–49 - vuotiaat		50–64 - vuotiaat		65 v. täyttäneet		kaikki
			HAP	EHAP	HAP	EHAP	HAP	EHAP	HAP	EHAP	
aamuruuhka	kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat	0,0085	0,4732	0,4338	0,4918	0,4507	0,4281	0,4031	0,0159	0,0079	0,3328
	kotiperäiset koulumatkat	0,7741									0,1127
	kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat	0,0013	0,0431	0,0275	0,1110	0,0717	0,0618	0,0295	0,0921	0,0405	0,0593
	kotiperäiset muut matkat	0,0124	0,0479	0,0406	0,0950	0,0597	0,0738	0,0536	0,0937	0,0586	0,0624
	työperäiset matkat	0,0005	0,0321	0,0181	0,0804	0,0458	0,0404	0,0109	0,0022		0,0345
	muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat	0,0160	0,0128	0,0187	0,0243	0,0080	0,0093	0,0016	0,0100	0,0025	0,0139
iltaruuhka	kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat	0,0151	0,3744	0,3286	0,3991	0,3306	0,3121	0,2607	0,0203	0,0039	0,2552
	kotiperäiset koulumatkat	0,2312									0,0337
	kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat	0,1127	0,2150	0,1663	0,2924	0,2426	0,2333	0,2321	0,2409	0,1742	0,2196
	kotiperäiset muut matkat	0,4372	0,1651	0,1341	0,1793	0,1523	0,1618	0,1435	0,1986	0,1709	0,2047
	työperäiset matkat	0,0010	0,1179	0,0858	0,1416	0,1386	0,1165	0,1062	0,0072	0,0047	0,0899
	muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat	0,0863	0,0762	0,1226	0,1119	0,0897	0,0745	0,0497	0,0689	0,0471	0,0871
päivä-, ilta- ja yöaika	kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat	0,0828	0,4335	0,4979	0,2883	0,3294	0,2613	0,2441	0,0255	0,0093	0,2514
	kotiperäiset koulumatkat	0,6626									0,0965
	kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat	0,1621	0,4149	0,3587	0,5019	0,4063	0,4873	0,4899	0,9161	0,9036	0,4725
	kotiperäiset muut matkat	0,6054	0,5261	0,4929	0,4583	0,4321	0,4418	0,3720	0,7044	0,5050	0,4978
	työperäiset matkat	0,0027	0,1172	0,1293	0,2296	0,1869	0,1957	0,0889	0,0136	0,0029	0,1307
	muut kuin työ- tai kotiperäiset matkat	0,1667	0,2255	0,2444	0,1854	0,1755	0,1501	0,1286	0,2472	0,1904	0,1857
aamuruuhka		0,8129	0,6091	0,5387	0,8024	0,6359	0,6134	0,4987	0,2139	0,1095	0,6155
iltaruuhka		0,8836	0,9485	0,8373	1,1243	0,9538	0,8982	0,7922	0,5359	0,4008	0,8902
päivä-, ilta- ja yöaika		1,6823	1,7171	1,7231	1,6635	1,5302	1,5362	1,3235	1,9069	1,6112	1,6345
koko vuorokausi		3,3788	3,2746	3,0991	3,5901	3,1198	3,0477	2,6144	2,6566	2,1215	3,1402

³³ Tässä liitteessä esitettyjen matkatuotosten käyttö edellyttää, että seitsemän vuotta täyttäneiden väestömäärä pääkaupunkiseudulla ja kehyskunnissa nykytilanteessa vastaa 1,18 miljoonaa. YKR -aineistossa (2005) väestömäärät ovat tätä pienemmät.

Liite 5. Muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden matkojen lähtöpaikasta laskien Helsingin seudulla.

Taulukko 28. Pääkaupunkiseudun asukkaiden tekemien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden.

pääkaupunkiseudun asukkaat		matkaa/asukas			koko vrk
		aamuruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö	
HAP	kantakaupunki	0,0055	0,0653	0,1648	0,2356
	muu Helsinki	0,0055	0,0375	0,0545	0,0975
	Espoo ja Kauniainen	0,0080	0,0365	0,0866	0,1312
	Vantaa	0,0093	0,0357	0,0856	0,1306
	kehyskunnat	0,0019	0,0049	0,0138	0,0206
EHAP	kantakaupunki	0,0063	0,1134	0,2516	0,3714
	muu Helsinki	0,0040	0,0222	0,0492	0,0755
	Espoo ja Kauniainen	0,0048	0,0275	0,0510	0,0833
	Vantaa	0,0057	0,0201	0,0458	0,0716
	kehyskunnat	0,0003	0,0021	0,0037	0,0061

pääkaupunkiseudun asukkaat		matkaa/työpaikka			koko vrk
		aamuruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö	
HAP	kantakaupunki	0,0041	0,0491	0,1239	0,1772
	muu Helsinki	0,0163	0,1114	0,1619	0,2895
	Espoo ja Kauniainen	0,0188	0,0854	0,2025	0,3068
	Vantaa	0,0196	0,0754	0,1806	0,2757
	kehyskunnat	0,0068	0,0175	0,0497	0,0739
EHAP	kantakaupunki	0,0048	0,0853	0,1893	0,2794
	muu Helsinki	0,0119	0,0660	0,1461	0,2240
	Espoo ja Kauniainen	0,0112	0,0644	0,1192	0,1949
	Vantaa	0,0121	0,0425	0,0966	0,1512
	kehyskunnat	0,0011	0,0076	0,0133	0,0220

Taulukko 29. Kehyskuntien asukkaiden tekemien muiden kuin työ- tai kotiperäisten matkojen määrät asukasta ja työpaikkaa kohden.

kehyskuntien asukkaat		matkaa/asukas			
		aamuruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö	koko vrk
HAP	kantakaupunki	0,0002	0,0076	0,0180	0,0259
	muu Helsinki	0,0003	0,0013	0,0057	0,0073
	Espoo ja Kauniainen	0,0004	0,0031	0,0089	0,0125
	Vantaa	0,0003	0,0034	0,0104	0,0141
	kehyskunnat	0,0089	0,0362	0,0660	0,1111
EHAP	kantakaupunki	0,0003	0,0042	0,0101	0,0145
	muu Helsinki		0,0014	0,0011	0,0025
	Espoo ja Kauniainen	0,0002	0,0022	0,0015	0,0038
	Vantaa	0,0002	0,0037	0,0002	0,0041
	kehyskunnat	0,0026	0,0498	0,0330	0,0854

kehyskuntien asukkaat		matkaa/työpaikka			
		aamuruuhka	iltaruuhka	päivä, ilta ja yö	koko vrk
HAP	kantakaupunki	0,0002	0,0057	0,0136	0,0194
	muu Helsinki	0,0010	0,0040	0,0168	0,0218
	Espoo ja Kauniainen	0,0010	0,0073	0,0209	0,0292
	Vantaa	0,0006	0,0072	0,0220	0,0298
	kehyskunnat	0,0319	0,1302	0,2374	0,3995
EHAP	kantakaupunki	0,0002	0,0031	0,0076	0,0109
	muu Helsinki		0,0014	0,0034	0,0048
	Espoo ja Kauniainen	0,0004	0,0022	0,0035	0,0061
	Vantaa	0,0004	0,0037	0,0004	0,0046
	kehyskunnat	0,0093	0,0498	0,1188	0,1779

Liite 6. Generaatio–attraktio-suunnattujen matkojen kääntötarve eri ajankohtina Helsingin seudulla.

Taulukko 30. Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä työ- ja opiskelumatkoilla.

Ajankohta	asuinalue	määräpaikka koti				
		kanta- kaupunki	muu Helsinki	Espoo ja Kauniainen	Vantaa	kehys- kunnat
aamuruuhka	kantakaupunki	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	muu Helsinki	1 %	1 %	0 %	1 %	5 %
	Espoo ja Kauniainen	0 %	0 %	1 %	3 %	5 %
	Vantaa	0 %	1 %	0 %	1 %	5 %
	kehyskunnat	2 %	1 %	1 %	3 %	1 %
iltaruuhka	kantakaupunki	90 %	89 %	98 %	97 %	100 %
	muu Helsinki	98 %	97 %	95 %	95 %	100 %
	Espoo ja Kauniainen	95 %	99 %	95 %	95 %	100 %
	Vantaa	95 %	96 %	96 %	93 %	95 %
	kehyskunnat	98 %	100 %	99 %	98 %	94 %
päivä-, ilta- ja yöaika	kantakaupunki	52 %	60 %	33 %	46 %	61 %
	muu Helsinki	57 %	57 %	55 %	54 %	54 %
	Espoo ja Kauniainen	61 %	59 %	56 %	57 %	55 %
	Vantaa	55 %	61 %	64 %	56 %	61 %
	kehyskunnat	55 %	56 %	60 %	52 %	57 %

Taulukko 31. Kotoa poispäin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä koulumatkoilla.

Ajankohta	asuinalue	määräpaikka koti				
		kanta- kaupunki	muu Helsinki	Espoo ja Kauniainen	Vantaa	kehys- kunnat
aamuruuhka	kantakaupunki	0 %	0 %			
	muu Helsinki	0 %	0 %		0 %	0 %
	Espoo ja Kauniainen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Vantaa	0 %	0 %		0 %	
	kehyskunnat	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
iltaruuhka	kantakaupunki	100 %	100 %			
	muu Helsinki	100 %	98 %		100 %	
	Espoo ja Kauniainen	85 %	100 %	94 %		100 %
	Vantaa	68 %	100 %		96 %	100 %
	kehyskunnat	100 %	100 %	100 %	100 %	94 %
päivä-, ilta- ja yöaika	kantakaupunki	72 %	100 %			
	muu Helsinki	90 %	87 %		100 %	100 %
	Espoo ja Kauniainen	100 %	100 %	77 %	67 %	
	Vantaa	100 %	55 %		77 %	0 %
	kehyskunnat	85 %	75 %	0 %	76 %	83 %

Taulukko 32. Kotoa pois päin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä ostos- ja asiointimatkoilla.

Ajankohta	asuinalue	määräpaikka koti				
		kanta- kaupunki	muu Helsinki	Espoo ja Kauniainen	Vantaa	kehys- kunnat
aamuruuhka	kantakaupunki	26 %	30 %		50 %	
	muu Helsinki	16 %	24 %	21 %	33 %	
	Espoo ja Kauniainen	0 %	0 %	18 %	30 %	
	Vantaa	18 %	9 %	0 %	18 %	
	kehyskunnat	10 %	0 %	21 %	23 %	28 %
iltaruuhka	kantakaupunki	64 %	63 %	57 %	57 %	
	muu Helsinki	74 %	60 %	59 %	63 %	
	Espoo ja Kauniainen	73 %	67 %	53 %	59 %	60 %
	Vantaa	76 %	58 %	100 %	54 %	45 %
	kehyskunnat	88 %	86 %	58 %	54 %	54 %
päivä-, ilt- ja yöaika	kantakaupunki	54 %	54 %	55 %	73 %	
	muu Helsinki	54 %	54 %	52 %	53 %	38 %
	Espoo ja Kauniainen	55 %	48 %	57 %	42 %	48 %
	Vantaa	53 %	58 %	37 %	55 %	50 %
	kehyskunnat	53 %	46 %	58 %	61 %	55 %

Taulukko 33. Kotoa pois päin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina kotiperäisillä muilla matkoilla.

Ajankohta	asuinalue	määräpaikka koti				
		kanta- kaupunki	muu Helsinki	Espoo ja Kauniainen	Vantaa	kehys- kunnat
aamuruuhka	kantakaupunki	8 %	28 %	0 %	0 %	14 %
	muu Helsinki	4 %	10 %	100 %	0 %	47 %
	Espoo ja Kauniainen	0 %	0 %	16 %	0 %	0 %
	Vantaa	0 %	30 %	0 %	4 %	14 %
	kehyskunnat	0 %	10 %	0 %	11 %	15 %
iltaruuhka	kantakaupunki	47 %	44 %	52 %	52 %	69 %
	muu Helsinki	43 %	41 %	54 %	47 %	50 %
	Espoo ja Kauniainen	47 %	69 %	41 %	70 %	33 %
	Vantaa	49 %	49 %	30 %	39 %	28 %
	kehyskunnat	61 %	43 %	50 %	60 %	36 %
päivä-, ilt- ja yöaika	kantakaupunki	62 %	59 %	68 %	86 %	49 %
	muu Helsinki	64 %	62 %	54 %	61 %	55 %
	Espoo ja Kauniainen	65 %	52 %	60 %	52 %	64 %
	Vantaa	62 %	64 %	72 %	63 %	65 %
	kehyskunnat	70 %	73 %	66 %	62 %	62 %

Taulukko 34. Työpaikalta pois päin käännettävien matkojen osuus eri ajankohtina työperäisillä matkoilla.

Ajankohta	asuinalue	määräpaikka koti				
		kanta- kaupunki	muu Helsinki	Espoo ja Kauniainen	Vantaa	kehys- kunnat
aamuruuhka	kantakaupunki	78 %	93 %	95 %	97 %	95 %
	muu Helsinki	66 %	75 %	91 %	77 %	100 %
	Espoo ja Kauniainen	58 %	88 %	86 %	100 %	100 %
	Vantaa	49 %	100 %	78 %	84 %	96 %
	kehyskunnat	85 %	100 %	63 %	100 %	94 %
iltaruuhka	kantakaupunki	12 %	11 %	6 %	0 %	6 %
	muu Helsinki	13 %	10 %	6 %	5 %	15 %
	Espoo ja Kauniainen	9 %	13 %	14 %	0 %	8 %
	Vantaa	6 %	5 %	20 %	8 %	0 %
	kehyskunnat	18 %	23 %	0 %	0 %	12 %
päivä-, ilt- ja yöaika	kantakaupunki	46 %	37 %	32 %	33 %	33 %
	muu Helsinki	40 %	38 %	41 %	44 %	25 %
	Espoo ja Kauniainen	47 %	42 %	37 %	58 %	50 %
	Vantaa	49 %	34 %	52 %	36 %	5 %
	kehyskunnat	26 %	28 %	33 %	33 %	41 %

Liite 7. Estimoinneissa käytetyt väestö- ja työpaikkamäärät.

Liite 7.1 Helsingin seudun mallit

YKR-aineiston muuttajat:

Ennuste-alueen numero	väestö (v. 2005)	työpaikat yhteensä (v. 2005)	palvelun työpaikat (v. 2005)	myymälöiden kerrosala (v. 1995)	autoja / ruokakunta (v. 2005)
101	472	19066	14701	141611	0,50
102	10337	26516	18955	148923	0,41
103	8977	5102	4382	174	0,43
104	940	14896	12415	15074	0,61
105	6447	6529	6077	0	0,51
106	4032	5809	4625	5964	0,56
107	10750	5096	4553	0	0,56
108	1094	3366	1918	0	0,44
109	2101	1552	1475	0	0,48
110	3294	10512	7828	47182	0,43
111	12517	7797	6578	0	0,50
112	14187	9864	9064	0	0,43
113	8411	14735	13239	0	0,42
114	6491	6238	4925	0	0,45
115	4375	11930	9941	466	0,45
116	0	5496	5283	0	0,00
117	3772	9177	8343	200	0,37
118	6545	7295	6106	41236	0,39
119	12094	6215	5836	5432	0,29
120	300	6252	4337	8040	0,59
121	3591	3209	2687	0	0,31
122	11452	3458	2659	3536	0,28
123	9921	18063	14268	447	0,31
124	2835	3001	2207	1715	0,38
125	8055	5859	4841	19048	0,46
126	9775	3926	3487	15137	0,48
127	12849	7275	4783	8184	0,56
128	6399	1108	594	0	0,62
129	9620	3776	2247	5502	0,64
130	7389	3729	2097	8833	0,52
131	12524	3196	2467	2777	0,45
132	12326	6550	4612	3904	0,47
133	10346	21439	9478	41319	0,55
134	4686	4445	2058	7113	0,69
135	7948	1737	1076	1554	0,53
136	12470	2935	2269	6546	0,49
137	5567	1376	538	2575	0,99
138	8607	3495	2704	6283	0,52
139	13508	6458	3080	21260	0,63
140	6342	1655	1079	4034	1,01
141	8551	644	486	2987	1,02
142	3732	1229	629	1625	1,00

Ennuste-alueen numero	väestö (v. 2005)	työpaikat yhteensä (v. 2005)	palvelun työpaikat (v. 2005)	myymälöiden kerrosala (v. 1995)	autoja / ruokakunta (v. 2005)
143	8559	1333	839	3266	0,54
144	6655	2906	2326	2402	0,56
145	10926	1334	767	6851	0,54
146	10847	8070	5967	55435	0,49
147	4235	2019	733	3486	0,71
148	5172	1060	436	2853	0,69
149	7998	631	457	3669	0,91
150	10838	1936	1028	8787	0,81
151	10547	1531	894	27141	0,67
152	7377	1156	468	2253	0,98
153	100	1234	301	3580	1,03
154	5686	575	425	3838	0,55
155	3744	1079	589	3072	0,69
156	499	458	457	0	0,85
157	7064	609	385	1946	0,60
158	8616	950	740	8391	0,81
159	8545	969	775	4250	0,56
160	8925	7030	2453	49166	0,52
161	8080	2446	1712	15261	0,43
162	11356	2504	2126	4565	0,52
163	4420	7473	3904	162805	0,49
164	8268	1266	1087	4315	0,54
165	22653	2778	1903	24307	0,56
166	6550	611	435	798	0,64
167	5634	770	420	3617	0,84
168	7302	824	627	7829	0,58
169	17563	1849	1380	18703	0,60
170	15420	1641	1258	3309	0,54
171	0	286	146	0	0,00
172	858	261	234	783	0,51
173	453	127	28	0	1,41
174	1498	159	120	299	1,46
201	124	6028	1848	630	0,75
202	3304	9022	8483	972	0,38
203	8377	7184	5340	56244	0,58
204	6080	2091	1531	6122	0,85
205	3228	5653	1715	10115	0,83
206	7758	2839	1597	22378	1,11
207	8872	1727	1171	3845	0,94
208	18016	3500	2074	61791	0,67
209	591	83	82	0	1,25
210	14441	5928	2739	68930	0,82
211	6057	1719	806	15608	0,95
212	8094	660	511	8433	0,77
213	15293	2606	1974	33854	0,71
214	7317	402	325	2936	1,03
215	7498	1971	690	66576	1,07
216	3974	1233	321	2671	1,02
217	2837	2603	695	0	0,66

Ennuste-alueen numero	väestö (v. 2005)	työpaikat yhteensä (v. 2005)	palvelun työpaikat (v. 2005)	myymälöiden kerrosala (v. 1995)	autoja / ruokakunta (v. 2005)
218	12290	3081	2353	7082	0,76
219	9024	6619	3392	103496	0,58
220	3508	1749	817	1799	0,98
221	6643	7640	3916	1239	0,82
222	2879	3357	448	8119	0,74
223	5046	608	355	6341	0,72
224	9254	705	490	4851	1,13
225	8976	1267	984	7857	0,86
226	17536	3736	3286	29391	0,76
227	6602	4644	3593	15951	0,78
228	2112	3552	2697	28103	1,08
229	4410	722	526	1285	1,02
230	1024	251	194	1334	1,30
231	892	139	122	268	1,32
232	2446	1427	374	0	1,10
233	2733	318	198	2048	0,79
234	525	58	39	0	1,31
235	5297	2673	836	14206	1,12
236	609	488	126	5459	1,39
237	1233	773	713	653	1,16
238	2299	307	209	1400	1,09
301	8482	2018	1623	23398	0,99
401	9500	2592	947	7068	0,87
402	6325	3522	1432	26695	0,90
403	18316	7724	4193	76529	0,65
404	11252	4767	2550	14513	0,72
405	2539	971	169	1914	1,05
406	2117	2202	451	12711	1,13
407	304	57	40	0	1,20
408	929	1135	175	5544	0,90
409	960	77	40	370	1,29
410	29	54	47	0	1,21
411	2050	274	167	1425	1,30
412	185	57	17	0	1,43
413	579	64	14	0	1,34
414	1958	626	551	0	1,26
415	130	3667	1700	6113	1,17
416	3991	1980	788	325	1,20
417	8162	6636	1600	195883	0,82
418	182	4772	2556	13362	1,01
419	139	11334	9185	0	1,16
420	2048	3974	1538	21318	1,03
421	9831	7223	5810	55789	0,69
422	4273	260	138	0	1,09
423	10950	1233	945	6323	0,75
424	5422	1898	1743	394	0,57
425	2875	2966	696	36138	1,00
426	1354	3474	874	12153	0,96
427	3804	231	151	845	1,14

Ennuste-alueen numero	väestö (v. 2005)	työpaikat yhteensä (v. 2005)	palvelun työpaikat (v. 2005)	myymälöiden kerrosala (v. 1995)	autoja / ruokakunta (v. 2005)
428	7983	980	825	8944	0,58
429	2631	261	178	2072	1,04
430	5441	2057	1869	5365	0,74
431	3202	391	173	515	1,09
432	9632	1289	946	18018	0,86
433	13408	1812	1065	7886	0,84
434	3573	438	267	130	1,31
435	5168	1999	693	1804	1,18
436	13321	3682	1354	13507	0,74
437	9314	719	578	4966	0,77
Pääkaupunki- seutu yhteensä	961575	538660	362005	2199662	
501	4381	803	414	4489	1,23
502	2358	232	97	658	1,45
503	2176	248	124	826	1,45
504	5337	941	469	4024	1,04
505	12894	3053	2398	42845	0,90
506	2282	1215	213	365	1,36
507	1929	1275	237	431	1,16
508	1801	240	162	638	1,26
601	1470	173	52	826	1,48
602	851	125	25	184	1,44
603	932	197	113	0	1,50
604	1578	312	228	102	1,41
605	3402	982	743	7876	1,05
606	1592	157	85	3390	1,31
607	1027	150	123	70	1,41
608	11354	3831	1702	62933	0,98
609	160	41	7	0	1,38
610	823	141	43	0	1,41
611	1196	279	135	270	1,46
612	1078	109	37	925	1,49
701	2019	261	131	2040	1,41
702	3454	323	173	318	1,48
703	1854	223	123	1000	1,45
704	12719	2918	1480	34921	1,14
705	860	194	135	0	1,39
706	872	161	80	0	1,45
707	4880	1516	602	11128	1,15
708	218	13	6	0	1,50
709	6772	2304	1816	24830	1,04
710	1719	223	78	324	1,45
712	1502	899	238	1919	1,40
801	1850	206	94	1552	1,45
802	5398	826	468	9145	1,08
803	1489	1306	243	2132	1,39
804	1311	145	50	220	1,39
805	19298	6464	3254	69015	1,10
806	1240	147	48	475	1,37

Ennuste-alueen numero	väestö (v. 2005)	työpaikat yhteensä (v. 2005)	palvelun työpaikat (v. 2005)	myymälöiden kerrosala (v. 1995)	autoja / ruokakunta (v. 2005)
807	591	70	50	0	1,37
808	3319	1385	989	3771	1,12
901	8942	1098	816	14074	0,87
902	10917	1849	955	2893	0,87
903	3761	2209	1484	59790	0,62
904	4313	3230	1084	26915	0,87
905	3251	709	158	883	1,04
1001	2091	303	194	370	1,20
1002	8427	3186	634	4664	0,94
1003	12831	5203	3857	65707	0,68
1004	970	351	332	169	1,25
1005	12452	1354	538	27676	1,12
1101	979	88	35	0	1,36
1103	2023	436	195	80	1,42
1105	648	64	23	180	1,37
1106	594	75	46	0	1,37
1107	3931	1464	1165	12936	0,96
1108	1513	217	139	1313	1,50
1109	1100	65	35	0	1,46
1110	1256	220	112	544	1,36
1111	2437	971	293	1582	1,13
1112	1860	197	86	174	1,34
1201	2403	236	145	447	1,41
1202	602	70	28	21	1,50
1203	1495	230	69	554	1,39
1204	1526	463	73	774	1,47
1205	9654	2881	1952	39795	1,04
1206	1008	93	28	299	1,51
1207	1274	317	188	2496	1,46
1301	750	195	112	180	1,39
1302	832	260	78	214	1,36
1303	39220	15050	7975	125839	0,87
1304	694	80	30	0	1,38
1305	1378	288	196	861	1,37
1401	1460	160	60	641	1,49
1402	2423	436	290	3938	1,37
1403	802	94	56	454	1,38
Kehyskunnat yhteensä	279803	78230	40926	690105	

Liite 7.2 Ympäryskuntien mallit

Ennuste-alueen numero	väestö	autoja / ruokakunta
1501	9746	0,88
1601	300	1,32
1602	14142	1,02
1701	4856	1,02
1801	6779	0,95
1802	2093	1,33
1901	1452	1,14
2001	915	1,39
2002	2551	1,11
2003	1779	1,42
2101	2187	1,32
2102	10399	0,98
2103	4668	1,15
2104	11834	0,87
2105	5691	1,14
2106	1458	1,44
2201	1273	1,24
2301	5939	1,24
2401	2294	1,42
2402	2235	1,20
2403	842	1,30
2501	8719	1,01
2601	7884	1,22
2701	823	1,39
2702	25992	0,86
2801	8234	1,17
2901	2021	1,24
3002	4508	1,29
3101	1824	1,32
3102	1600	1,31
3103	11822	1,02
3104	4126	1,36
3105	22200	0,82
3106	4578	1,32
3107	279	1,21
3108	19	0,78
3201	2019	1,18
3301	3898	1,19
3401	1465	1,22
3501	2914	1,12
3601	2890	1,16
3701	7334	0,83

Liite 8. Autonomistusmallin muuttujat ennustealueittain.

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rakyht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	rivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
101	0,0464	1,6678	553	1289	1,2539	0,0323	0,0066	0,0191	0,9743	0,6034	0,5795	0,0742	14	38
102	0,0455	1,5852	11222	12351	1,8962	0,7243	0,0010	0,0092	0,9898	0,5938	0,6519	0,0551	15	41
103	0,0489	1,5667	21132	21132	1,8153	1,3324	0,0023	0,0000	0,9977	0,6019	0,6349	0,0578	16	47
104	0,0813	1,8288	2686	2899	2,0975	0,2118	0,0000	0,0000	1,0000	0,5818	0,5039	0,1051	15	45
105	0,0678	1,7387	11456	12389	1,3733	0,7641	0,0009	0,0000	0,9991	0,5790	0,5623	0,0650	15	46
106	0,0864	1,9028	7221	8888	0,8475	0,4699	0,0019	0,0000	0,9981	0,5261	0,5323	0,0868	17	54
107	0,0745	1,7358	7776	10652	0,6766	0,5594	0,0073	0,0000	0,9927	0,5410	0,5455	0,0914	16	49
108	0,0311	1,4724	2050	3650	0,6117	0,1121	0,0000	0,0000	1,0000	0,6088	0,6097	0,0458	17	53
109	0,1756	2,0968	2130	8371	0,2571	0,0905	0,0000	0,0000	1,0000	0,5002	0,5818	0,0529	17	54
110	0,1879	2,1844	3176	8889	0,5755	0,1331	0,0028	0,0000	0,9972	0,5023	0,6247	0,0491	17	42
111	0,0562	1,6860	10839	13033	0,9891	0,7269	0,0002	0,0000	0,9998	0,5655	0,5808	0,0715	14	42
112	0,0499	1,5753	7228	10521	0,6466	0,4222	0,0036	0,0000	0,9964	0,5691	0,6272	0,0537	13	43
113	0,0900	1,6437	3127	5025	0,3159	0,1475	0,0246	0,0142	0,9612	0,5404	0,6367	0,0475	14	46
114	0,1092	1,8121	4395	6014	0,3302	0,1949	0,0166	0,0067	0,9767	0,5030	0,6011	0,0463	16	49
115	0,1137	1,9427	2549	4973	0,3691	0,1219	0,0635	0,0000	0,9365	0,4863	0,6141	0,0568	14	45
116		0,0000	0	0	0,1126	0,0000							16	60
117	0,0713	1,7544	4565	7345	0,8019	0,2124	0,0015	0,0000	0,9985	0,4422	0,6777	0,0428	14	44
118	0,0358	1,5528	16295	16312	1,8170	0,9059	0,0000	0,0000	1,0000	0,5704	0,6593	0,0429	15	42
119	0,0163	1,3375	15385	15707	1,0416	0,7290	0,0013	0,0000	0,9987	0,5903	0,7428	0,0300	15	44
120	0,0664	2,0408	209	1729	0,3445	0,0123	0,0374	0,1313	0,8314	0,7273	0,4626	0,0476	17	49
121	0,0398	1,4994	15280	17991	1,2449	0,7366	0,0000	0,0000	1,0000	0,6286	0,7236	0,0317	16	44
122	0,0169	1,2991	12653	15304	0,8130	0,5866	0,0005	0,0047	0,9948	0,5905	0,7539	0,0299	14	42
123	0,0291	1,4048	7237	7605	0,9702	0,3311	0,0009	0,0012	0,9979	0,5558	0,7284	0,0340	15	44
124	0,0789	1,6108	2907	3826	0,2839	0,1136	0,0043	0,0078	0,9879	0,4944	0,6642	0,0364	16	49
125	0,1033	1,9101	2935	3634	0,2719	0,1177	0,0995	0,0144	0,8860	0,5135	0,5990	0,0548	17	51
126	0,0993	1,8206	4082	4523	0,2451	0,1596	0,1563	0,0024	0,8413	0,4293	0,5895	0,0589	17	53
127	0,0663	1,6951	6005	7026	0,4842	0,2897	0,0013	0,0299	0,9688	0,5454	0,5172	0,0732	21	57
128	0,0883	1,7919	3557	4648	0,2111	0,1773	0,0660	0,0956	0,8384	0,5271	0,4867	0,0955	21	59
129	0,1032	1,8419	3279	4220	0,2358	0,1938	0,1057	0,1062	0,7880	0,4459	0,4854	0,1124	15	46
130	0,1074	1,7092	4192	6104	0,2795	0,1902	0,0027	0,0401	0,9572	0,5028	0,5515	0,0645	16	53
131	0,0759	1,5889	4614	5184	0,2637	0,1998	0,0074	0,0469	0,9457	0,5510	0,6061	0,0534	15	43
132	0,0743	1,6516	4599	6080	0,3039	0,2034	0,0013	0,0187	0,9800	0,4728	0,5868	0,0513	16	44
133	0,1102	1,8852	2422	3129	0,3527	0,1023	0,1020	0,0377	0,8604	0,5203	0,5268	0,0734	16	44
134	0,1032	1,9088	1999	2302	0,2464	0,0852	0,2799	0,1445	0,5756	0,5451	0,4371	0,1153	19	53
135	0,1360	2,1371	2920	3939	0,1560	0,1198	0,0313	0,0836	0,8851	0,5054	0,5432	0,0678	20	52
136	0,1057	1,8167	6513	6942	0,3202	0,2818	0,0425	0,0719	0,8857	0,4752	0,5763	0,0625	18	49

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	rivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
137	0,1632	2,5857	1195	1561	0,0725	0,0529	0,7831	0,0842	0,1327	0,5198	0,2401	0,2118	19	57
138	0,0983	1,7637	2206	3729	0,1388	0,0968	0,1492	0,0947	0,7561	0,4034	0,5680	0,0768	15	47
139	0,1196	1,9439	3203	3955	0,1950	0,1420	0,1597	0,1790	0,6613	0,4732	0,4722	0,0921	17	47
140	0,1487	2,5047	2842	2842	0,1605	0,1371	0,5309	0,4190	0,0501	0,4536	0,2251	0,2149	18	53
141	0,2017	2,7963	954	2546	0,0437	0,0395	0,6230	0,3308	0,0462	0,5139	0,2178	0,2152	19	59
142	0,1656	2,5302	1105	1687	0,0676	0,0512	0,5196	0,4003	0,0801	0,4641	0,2414	0,2169	18	55
143	0,1126	1,9007	4269	5161	0,2124	0,1786	0,0690	0,0931	0,8379	0,4774	0,5399	0,0720	19	48
144	0,1306	2,2051	891	3474	0,0641	0,0327	0,0513	0,1602	0,7885	0,5214	0,5076	0,0653	18	53
145	0,0913	1,8131	4157	5584	0,2314	0,1881	0,0085	0,0599	0,9316	0,4452	0,5413	0,0707	17	52
146	0,1226	1,8753	4008	4447	0,3139	0,1667	0,0891	0,0268	0,8841	0,4758	0,5813	0,0624	19	49
147	0,1794	2,5163	987	2075	0,0754	0,0373	0,2882	0,1336	0,5782	0,4799	0,4100	0,1105	19	57
148	0,1572	2,1768	3512	3791	0,1934	0,1394	0,3842	0,0749	0,5409	0,5076	0,4297	0,1069	21	54
149	0,1694	2,4474	3259	3326	0,1505	0,1421	0,5456	0,2920	0,1625	0,4937	0,2751	0,1707	20	56
150	0,1626	2,3867	2590	2833	0,1430	0,1044	0,3768	0,2219	0,4013	0,4734	0,3473	0,1464	21	58
151	0,1506	2,2088	3209	3050	0,1611	0,1341	0,3950	0,1464	0,4586	0,5008	0,4503	0,1133	22	52
152	0,1963	2,6748	2784	2868	0,1436	0,1151	0,5387	0,3370	0,1243	0,4964	0,2382	0,1954	22	59
153	0,1700	2,6316	58	143	0,0713	0,0018	0,4522	0,5478	0,0000	0,5100	0,2632	0,2632	21	60
154	0,1321	1,9446	2982	3587	0,1504	0,1263	0,0474	0,0380	0,9146	0,3867	0,5383	0,0783	20	61
155	0,1263	1,9531	1565	2535	0,1195	0,0944	0,3175	0,1534	0,5291	0,4398	0,4570	0,1309	17	48
156	0,1764	2,4341	111	704	0,0125	0,0071	0,0445	0,0118	0,9437	0,6172	0,2780	0,1171	26	80
157	0,1275	1,9837	1845	3078	0,0953	0,0830	0,1253	0,1557	0,7190	0,4452	0,5088	0,0974	22	60
158	0,1548	2,2722	1842	2188	0,1015	0,0870	0,3936	0,2592	0,3473	0,4900	0,3550	0,1493	23	60
159	0,1145	1,8508	4025	4718	0,2211	0,1848	0,0970	0,1868	0,7162	0,4529	0,5335	0,0849	19	54
160	0,1345	2,0626	4674	5746	0,4748	0,1798	0,0169	0,0215	0,9617	0,5320	0,5489	0,0652	18	51
161	0,0861	1,6711	2775	4146	0,1664	0,1235	0,0702	0,0433	0,8865	0,4531	0,6281	0,0519	18	50
162	0,1132	1,8977	4233	4961	0,2231	0,1877	0,2091	0,0544	0,7366	0,4321	0,5617	0,0774	19	54
163	0,1050	1,8107	1596	2825	0,2322	0,0673	0,0502	0,0592	0,8906	0,4114	0,5723	0,0610	19	51
164	0,1123	1,9073	3752	4431	0,2021	0,1609	0,1532	0,0485	0,7982	0,3810	0,5490	0,0800	19	53
165	0,1343	2,0473	4162	6170	0,1963	0,1693	0,0612	0,0816	0,8572	0,4140	0,5295	0,0792	21	58
166	0,1552	2,1163	3203	3259	0,1546	0,1330	0,2843	0,1018	0,6139	0,4284	0,4759	0,1076	21	59
167	0,1539	2,3214	2287	2336	0,1224	0,1023	0,6375	0,1209	0,2416	0,4894	0,3379	0,1660	20	61
168	0,1177	1,8685	3184	3611	0,1616	0,1356	0,1004	0,0395	0,8601	0,4490	0,5105	0,0814	22	58
169	0,1343	2,0019	2940	4470	0,1432	0,1237	0,0924	0,1951	0,7125	0,4518	0,4960	0,0839	24	62
170	0,1453	2,0877	2528	4873	0,1256	0,1015	0,0505	0,0248	0,9247	0,4696	0,5337	0,0685	24	62
171		0,0000	0	0	0,0130	0,0002	0,4785	0,5215	0,0000				26	81
172	0,1781	2,4942	108	708	0,0109	0,0055	0,1680	0,0546	0,7774	0,4814	0,5669	0,0669	20	84
173	0,1876	2,7622	34	130	0,0029	0,0023	0,9664	0,0249	0,0088	0,4923	0,1280	0,4878	25	105
174	0,2410	3,3815	118	303	0,0078	0,0068	0,9977	0,0023	0,0000	0,4655	0,0790	0,4898	24	118
201	0,1452	2,2545	279	825	0,3807	0,0120	0,0000	0,0000	1,0000	0,5645	0,3273	0,0727	14	47

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asu_ala_os	erpien_ala_os	riivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
202	0,0177	1,7399	1509	2434	0,2711	0,0438	0,0456	0,0000	0,9544	0,4454	0,6614	0,0379	15	49
203	0,0763	1,7054	2548	2812	0,2479	0,1397	0,0739	0,1375	0,7886	0,4946	0,5035	0,0798	14	49
204	0,1537	2,3048	2797	2850	0,1919	0,1460	0,3713	0,2669	0,3619	0,4845	0,3347	0,1691	15	54
205	0,1202	2,1153	1486	2060	0,1541	0,0739	0,1970	0,3027	0,5003	0,5331	0,3460	0,1573	15	53
206	0,1945	2,8418	1765	1968	0,1125	0,0770	0,7859	0,1879	0,0262	0,4953	0,1795	0,2641	17	59
207	0,1506	2,2673	1852	2575	0,1265	0,1080	0,2941	0,3567	0,3492	0,4652	0,3003	0,2142	16	57
208	0,1205	2,0045	4054	4271	0,2292	0,1802	0,1771	0,1342	0,6887	0,5222	0,4538	0,1125	19	60
209	0,2267	3,0308	114	325	0,0092	0,0062	0,9200	0,0190	0,0609	0,4602	0,1487	0,3590	18	73
210	0,1267	2,1729	2687	3055	0,1878	0,1280	0,2475	0,2347	0,5178	0,5264	0,3528	0,1575	17	54
211	0,1806	2,5535	1133	1573	0,0750	0,0492	0,4990	0,2774	0,2236	0,4961	0,2812	0,2057	21	62
212	0,1390	2,1401	539	1165	0,0299	0,0279	0,2848	0,1430	0,5723	0,4732	0,3834	0,1438	23	65
213	0,1293	2,0608	4358	5300	0,2340	0,1922	0,1734	0,1331	0,6935	0,5065	0,4157	0,1124	22	63
214	0,1778	2,8251	1492	2152	0,0605	0,0571	0,7095	0,2622	0,0284	0,5361	0,1996	0,2077	23	62
215	0,2215	2,9118	1585	1771	0,1088	0,0716	0,7548	0,1433	0,1020	0,4747	0,2202	0,2606	21	64
216	0,1464	2,4637	641	983	0,0529	0,0342	0,6860	0,0267	0,2874	0,5426	0,2542	0,2480	23	76
217	0,0964	1,8470	2275	2314	0,1580	0,0960	0,1796	0,0973	0,7230	0,5552	0,4492	0,0977	17	57
218	0,1451	2,1779	1879	2510	0,1046	0,0812	0,3573	0,0783	0,5644	0,5278	0,3881	0,1361	18	58
219	0,0947	1,9486	2701	4131	0,2259	0,1108	0,0964	0,0228	0,8808	0,5795	0,4962	0,0710	17	56
220	0,1789	2,6024	851	1498	0,0568	0,0381	0,5352	0,2648	0,2001	0,5106	0,2619	0,2226	18	61
221	0,1547	2,3939	1566	1890	0,1376	0,0636	0,4469	0,1423	0,4108	0,5379	0,3384	0,1456	19	60
222	0,1010	2,2405	1364	1759	0,1231	0,0536	0,3887	0,1025	0,5088	0,5795	0,4070	0,1292	19	59
223	0,1389	2,1175	1627	2639	0,0871	0,0758	0,1037	0,1422	0,7541	0,4633	0,4033	0,1099	19	60
224	0,1849	2,7665	1646	1686	0,0879	0,0808	0,8174	0,1054	0,0772	0,4827	0,1868	0,2891	22	67
225	0,1338	2,2290	2239	2255	0,1122	0,0959	0,3561	0,2303	0,4136	0,4919	0,3270	0,1681	21	64
226	0,1442	2,2522	1742	2408	0,0841	0,0722	0,2932	0,2019	0,5049	0,5177	0,3924	0,1343	24	65
227	0,1487	2,2836	870	1548	0,0660	0,0351	0,3860	0,1377	0,4763	0,4914	0,4037	0,1633	22	66
228	0,1543	2,5819	161	397	0,0174	0,0068	0,6130	0,1622	0,2248	0,5292	0,2042	0,2555	22	71
229	0,1760	2,5521	616	1092	0,0313	0,0244	0,6420	0,2091	0,1489	0,5112	0,2384	0,2390	23	70
230	0,1719	2,7307	27	147	0,0022	0,0013	1,0000	0,0000	0,0000	0,4572	0,1520	0,4080	28	96
231	0,1566	2,6867	49	150	0,0032	0,0025	0,9956	0,0044	0,0000	0,4653	0,1265	0,4066	31	120
232	0,1537	2,6820	308	498	0,0309	0,0154	0,7820	0,0421	0,1759	0,4937	0,1985	0,2675	26	79
233	0,1787	2,4037	1034	1538	0,0465	0,0396	0,2999	0,2705	0,4297	0,4483	0,3923	0,1671	24	69
234	0,1714	2,5610	34	106	0,0027	0,0018	1,0000	0,0000	0,0000	0,4762	0,1366	0,4049	25	92
235	0,1980	2,8788	393	597	0,0380	0,0165	0,6977	0,1904	0,1119	0,4799	0,2076	0,2989	24	81
236	0,1970	2,9563	31	122	0,0037	0,0017	1,0000	0,0000	0,0000	0,4811	0,0971	0,4466	26	96
237	0,1709	2,5010	32	161	0,0031	0,0017	0,7491	0,0000	0,2509	0,5157	0,2353	0,3631	35	102
238	0,1649	2,5573	311	588	0,0188	0,0143	0,7872	0,1218	0,0910	0,4950	0,2303	0,2914	27	79
301	0,1777	2,4984	1461	1457	0,0989	0,0784	0,5417	0,2005	0,2577	0,4365	0,2748	0,2395	21	59
401	0,1369	2,1894	1379	1924	0,0936	0,0611	0,3178	0,2000	0,4822	0,5441	0,3084	0,1611	21	63

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	rivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
402	0,1506	2,2597	1524	1989	0,1266	0,0695	0,4786	0,2223	0,2991	0,5090	0,2958	0,1747	19	66
403	0,1004	1,8312	3644	4697	0,2525	0,1622	0,0253	0,0206	0,9541	0,5076	0,4470	0,0864	18	57
404	0,1226	2,0216	3098	4257	0,2129	0,1389	0,0838	0,1376	0,7786	0,4931	0,4014	0,1107	18	56
405	0,1342	2,3751	924	1351	0,0577	0,0416	0,4629	0,3882	0,1489	0,5485	0,1955	0,2198	18	61
406	0,2036	2,8077	166	786	0,0204	0,0075	0,8129	0,1366	0,0504	0,4875	0,2029	0,3050	21	70
407	0,2138	2,8411	88	236	0,0088	0,0046	0,7881	0,2119	0,0000	0,4572	0,1589	0,3271	19	72
408	0,1098	1,9850	275	649	0,0423	0,0123	0,1818	0,0719	0,7464	0,4973	0,2842	0,1645	19	72
409	0,1655	2,8487	179	361	0,0100	0,0096	1,0000	0,0000	0,0000	0,4662	0,1454	0,3976	23	97
410	0,0345	1,1,8125	19	117	0,0053	0,0012	0,5474	0,4526	0,0000	0,6207	0,0625	0,2500	21	73
411	0,1956	2,7853	375	625	0,0230	0,0193	0,9809	0,0110	0,0081	0,4801	0,1277	0,3859	23	85
412	0,1730	2,7206	17	110	0,0016	0,0009	1,0000	0,0000	0,0000	0,4703	0,0735	0,4559	24	106
413	0,1548	2,7571	47	127	0,0031	0,0026	1,0000	0,0000	0,0000	0,4835	0,1048	0,4000	25	93
414	0,1697	2,5038	67	185	0,0046	0,0033	0,9267	0,0307	0,0426	0,4745	0,1598	0,3811	27	99
415	0,1111	2,1667	21	109	0,0533	0,0016	0,7980	0,2020	0,0000	0,4370	0,2333	0,3667	19	73
416	0,1929	2,9985	489	1047	0,0379	0,0214	0,9106	0,0637	0,0257	0,5114	0,1390	0,3080	20	68
417	0,1066	2,2149	1558	2468	0,1591	0,0633	0,1268	0,2116	0,6615	0,5996	0,3104	0,1227	18	61
418	0,1538	2,0000	53	227	0,1066	0,0021	0,2006	0,2232	0,5763	0,6154	0,2967	0,2747	18	64
419	0,1429	2,6226	9	225	0,0307	0,0005	0,6897	0,3103	0,0000	0,4929	0,1887	0,3208	21	65
420	0,1548	2,3814	460	710	0,0776	0,0244	0,7378	0,0917	0,1705	0,5226	0,2233	0,2279	19	63
421	0,1044	1,8553	3877	4058	0,3176	0,1842	0,1161	0,2111	0,6728	0,5216	0,4233	0,1017	20	55
422	0,1816	2,6231	2030	2247	0,0897	0,0876	0,7731	0,1111	0,1158	0,5326	0,2056	0,2732	21	67
423	0,1426	2,0629	3012	3515	0,1457	0,1312	0,2889	0,1601	0,5510	0,4962	0,3839	0,1225	21	62
424	0,1106	1,8556	2538	3474	0,1481	0,1056	0,0822	0,0495	0,8683	0,5305	0,5192	0,0791	21	58
425	0,1872	2,6232	909	1104	0,1113	0,0400	0,7114	0,1634	0,1251	0,5118	0,2600	0,2391	19	67
426	0,1473	2,3965	288	1086	0,0803	0,0109	0,2244	0,5383	0,2373	0,5996	0,2336	0,1788	20	63
427	0,2226	2,9307	1157	1411	0,0535	0,0519	0,8401	0,0840	0,0759	0,4806	0,1872	0,2997	24	82
428	0,1004	1,7634	2755	4530	0,1436	0,1213	0,0173	0,0828	0,8999	0,4906	0,5078	0,0784	23	63
429	0,1964	2,7180	1603	1653	0,0838	0,0739	0,8952	0,0178	0,0870	0,4808	0,2066	0,2252	25	67
430	0,1440	2,1703	1064	2145	0,0561	0,0442	0,3283	0,1388	0,5328	0,4725	0,3989	0,1221	23	62
431	0,2036	2,7556	1116	1458	0,0536	0,0480	0,7423	0,1444	0,1132	0,4888	0,2194	0,2771	22	72
432	0,1578	2,2137	1276	1553	0,0670	0,0574	0,5125	0,0687	0,4187	0,4900	0,3503	0,1882	25	73
433	0,1490	2,2414	2089	2487	0,1083	0,0891	0,4428	0,1032	0,4540	0,4965	0,3357	0,1622	25	73
434	0,2102	3,0357	756	944	0,0397	0,0362	0,9251	0,0716	0,0033	0,4883	0,1249	0,3993	26	86
435	0,1843	2,7229	260	583	0,0198	0,0117	0,7896	0,1449	0,0655	0,5108	0,1549	0,3003	23	75
436	0,1509	2,1188	1492	2705	0,0774	0,0615	0,1342	0,2136	0,6521	0,4834	0,3951	0,1268	20	63
437	0,1399	2,1711	1540	2914	0,0703	0,0635	0,1916	0,3048	0,5036	0,5178	0,3818	0,1408	22	71
501	0,1664	2,7834	234	482	0,0152	0,0111	0,7471	0,2309	0,0221	0,5202	0,1455	0,3393	34	116
502	0,1605	2,6376	43	109	0,0026	0,0022	0,9759	0,0198	0,0042	0,4875	0,1141	0,5112	32	142
503	0,1662	2,6931	31	105	0,0021	0,0017	0,9855	0,0088	0,0057	0,4747	0,0829	0,4864	32	128

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	riivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_aika	j_aika
504	0,1606	2,6343	252	527	0,0161	0,0111	0,4848	0,3789	0,1364	0,4963	0,2226	0,2345	27	96
505	0,1565	2,2653	570	1026	0,0320	0,0256	0,4061	0,2441	0,3498	0,4825	0,3041	0,1822	33	93
506	0,1896	2,7795	33	144	0,0033	0,0021	0,9065	0,0640	0,0295	0,4969	0,1206	0,4348	28	119
507	0,1857	2,4605	167	438	0,0194	0,0086	0,6859	0,0981	0,2160	0,5026	0,1811	0,3138	35	123
508	0,1630	2,4207	18	110	0,0014	0,0011	0,7357	0,0059	0,2584	0,5416	0,1492	0,3710	44	183
601	0,1862	2,7273	14	78	0,0008	0,0007	0,9907	0,0045	0,0047	0,4692	0,1039	0,5288	39	165
602	0,1610	2,6511	13	62	0,0008	0,0007	0,9883	0,0043	0,0073	0,4783	0,1090	0,4953	41	147
603	0,1807	2,7014	17	72	0,0012	0,0009	0,9689	0,0217	0,0094	0,4866	0,0870	0,5304	35	159
604	0,1597	2,7160	26	96	0,0017	0,0013	0,9667	0,0281	0,0052	0,4724	0,1015	0,4664	33	137
605	0,1495	2,2250	195	496	0,0120	0,0090	0,6078	0,2477	0,1445	0,4481	0,2407	0,2668	32	126
606	0,1803	2,7930	86	236	0,0048	0,0041	0,8717	0,1146	0,0137	0,5132	0,1333	0,4018	29	126
607	0,1938	2,7832	20	100	0,0014	0,0011	0,9765	0,0121	0,0114	0,4751	0,0732	0,4417	33	163
608	0,1507	2,1809	596	1094	0,0445	0,0268	0,3726	0,3489	0,2785	0,4968	0,2670	0,2253	27	105
609	0,1486	2,5397	16	66	0,0016	0,0011	1,0000	0,0000	0,0000	0,5473	0,0952	0,4286	26	115
610	0,1809	2,7898	33	107	0,0021	0,0017	1,0000	0,0000	0,0000	0,4885	0,1153	0,4780	32	129
611	0,1764	2,6998	39	103	0,0027	0,0019	0,9933	0,0043	0,0024	0,4958	0,0948	0,5011	30	131
612	0,1868	2,7222	17	89	0,0010	0,0009	0,9655	0,0069	0,0277	0,4971	0,0985	0,5379	32	148
701	0,1765	2,7210	56	196	0,0034	0,0027	0,8948	0,0691	0,0361	0,4923	0,1119	0,4704	34	116
702	0,1889	2,8783	71	160	0,0041	0,0037	1,0000	0,0000	0,0000	0,4994	0,0925	0,5200	32	138
703	0,1990	2,8523	30	99	0,0020	0,0015	0,9863	0,0000	0,0137	0,4544	0,1046	0,5000	30	119
704	0,1782	2,5648	473	890	0,0280	0,0212	0,5716	0,2615	0,1669	0,5116	0,1877	0,3021	27	98
705	0,1758	2,5982	29	90	0,0031	0,0016	0,9674	0,0188	0,0138	0,4715	0,1148	0,4592	31	129
706	0,1892	2,7859	79	247	0,0048	0,0038	0,9622	0,0378	0,0000	0,4771	0,1022	0,4984	37	120
707	0,1869	2,4772	350	734	0,0271	0,0169	0,7254	0,1264	0,1482	0,4773	0,1949	0,3173	34	113
708	0,1962	3,0278	21	74	0,0012	0,0012	1,0000	0,0000	0,0000	0,4450	0,0833	0,5278	27	105
709	0,1660	2,2817	291	674	0,0194	0,0136	0,5461	0,1556	0,2983	0,4602	0,2476	0,2608	26	91
710	0,1892	2,9587	41	113	0,0025	0,0021	0,9984	0,0000	0,0016	0,4757	0,1153	0,5164	26	106
712	0,1742	2,7260	25	78	0,0030	0,0013	0,9965	0,0000	0,0035	0,4680	0,1162	0,4737	32	128
801	0,1861	2,7653	40	112	0,0028	0,0022	0,9831	0,0169	0,0000	0,4686	0,0912	0,4933	28	116
802	0,1792	2,5450	339	650	0,0198	0,0156	0,7539	0,0551	0,1910	0,4732	0,2240	0,2782	36	90
803	0,1789	2,7073	48	164	0,0071	0,0024	1,0000	0,0000	0,0000	0,4755	0,1164	0,4618	24	101
804	0,1729	2,7087	34	95	0,0022	0,0018	0,9925	0,0038	0,0038	0,4966	0,1033	0,4525	31	116
805	0,1705	2,4177	546	881	0,0414	0,0253	0,6003	0,1621	0,2376	0,5001	0,2047	0,2744	23	85
806	0,1550	2,5780	41	100	0,0033	0,0021	0,9857	0,0057	0,0086	0,4912	0,1164	0,4428	36	128
807	0,2003	2,8278	58	154	0,0047	0,0030	0,9764	0,0000	0,0236	0,4731	0,1244	0,4498	27	101
808	0,1965	2,5049	295	524	0,0217	0,0140	0,7285	0,1046	0,1670	0,4587	0,2181	0,3079	34	96
901	0,1436	2,1387	2371	2171	0,1253	0,1002	0,4627	0,1166	0,4207	0,5052	0,3162	0,1674	25	66
902	0,1426	2,1622	1263	2108	0,0710	0,0543	0,4150	0,2189	0,3662	0,5278	0,3104	0,1624	27	80
903	0,0968	1,7493	3497	3845	0,2740	0,1524	0,0443	0,0364	0,9194	0,4872	0,4758	0,0888	26	59

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	rivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
904	0,1398	2,1827	386	1009	0,0437	0,0156	0,3179	0,1921	0,4899	0,5628	0,3153	0,1716	24	73
905	0,1907	2,5260	595	894	0,0420	0,0243	0,5742	0,0953	0,3305	0,4958	0,2611	0,2743	27	87
1001	0,1834	2,7227	442	793	0,0240	0,0217	0,9301	0,0619	0,0080	0,4979	0,1484	0,3164	29	87
1002	0,1550	2,2538	1005	1509	0,0772	0,0458	0,4675	0,1934	0,3390	0,4857	0,2934	0,2083	29	82
1003	0,1142	1,8241	3285	3558	0,2193	0,1507	0,1499	0,1327	0,7174	0,4876	0,4397	0,1076	26	67
1004	0,1939	2,7479	240	438	0,0173	0,0108	0,8461	0,0772	0,0767	0,5163	0,1303	0,3456	27	83
1005	0,1856	2,6001	766	1115	0,0392	0,0332	0,6179	0,3463	0,0359	0,5300	0,1723	0,2669	27	85
1101	0,1571	2,5429	22	100	0,0013	0,0012	1,0000	0,0000	0,0000	0,5020	0,1351	0,4545	26	122
1103	0,1906	2,7750	53	126	0,0036	0,0027	0,9647	0,0146	0,0207	0,4834	0,1015	0,4705	30	141
1105	0,1900	2,7574	24	89	0,0013	0,0012	1,0000	0,0000	0,0000	0,4666	0,1277	0,4553	35	128
1106	0,1681	1,2,1975	43	103	0,0027	0,0025	1,0000	0,0000	0,0000	0,4645	0,1111	0,4398	27	112
1107	0,1697	2,2247	479	718	0,0336	0,0208	0,5026	0,1270	0,3704	0,4667	0,2881	0,2275	27	101
1108	0,1805	2,7761	28	92	0,0017	0,0014	0,9900	0,0100	0,0000	0,4892	0,0862	0,5284	34	133
1109	0,1691	2,7708	25	104	0,0014	0,0012	1,0000	0,0000	0,0000	0,4909	0,0806	0,4912	29	136
1110	0,1562	2,6112	68	138	0,0043	0,0039	0,9914	0,0086	0,0000	0,4948	0,1206	0,4407	27	114
1111	0,1761	2,4867	132	271	0,0120	0,0061	0,6988	0,1264	0,1748	0,4777	0,2276	0,3265	25	99
1112	0,1577	2,5869	25	93	0,0018	0,0014	0,9713	0,0090	0,0197	0,4857	0,1488	0,4437	32	142
1201	0,2048	2,8573	65	157	0,0035	0,0030	0,9602	0,0278	0,0120	0,4815	0,0987	0,4614	33	116
1202	0,1736	2,8131	8	61	0,0005	0,0004	1,0000	0,0000	0,0000	0,4791	0,0561	0,5093	34	224
1203	0,1474	2,4958	9	61	0,0006	0,0005	0,9828	0,0097	0,0075	0,4421	0,1369	0,4808	43	200
1204	0,1834	2,8155	27	80	0,0021	0,0014	0,9833	0,0167	0,0000	0,4748	0,1181	0,5387	31	131
1205	0,1569	2,2630	250	609	0,0172	0,0120	0,6486	0,1699	0,1814	0,4602	0,2520	0,2691	29	107
1206	0,2098	2,8966	12	74	0,0007	0,0006	1,0000	0,0000	0,0000	0,4399	0,0862	0,5402	35	179
1207	0,1554	2,5842	10	67	0,0007	0,0006	0,9583	0,0221	0,0196	0,4615	0,1095	0,5213	38	179
1301	0,1775	2,5510	5	58	0,0004	0,0003	0,9486	0,0160	0,0353	0,4490	0,1395	0,4830	34	161
1302	0,1681	2,7733	30	124	0,0023	0,0015	0,9686	0,0269	0,0045	0,4682	0,1200	0,4367	27	115
1303	0,1407	2,0783	1129	1822	0,0820	0,0512	0,4150	0,1477	0,4373	0,4592	0,3250	0,1775	27	84
1304	0,2061	2,7323	30	133	0,0017	0,0014	1,0000	0,0000	0,0000	0,4640	0,0984	0,4370	29	105
1305	0,1565	2,5146	15	86	0,0011	0,0008	0,8681	0,0860	0,0459	0,4573	0,1369	0,4635	34	128
1401	0,1995	2,9495	24	92	0,0015	0,0012	0,9983	0,0000	0,0017	0,4606	0,0949	0,5293	38	142
1402	0,1993	2,9018	58	205	0,0031	0,0025	0,8701	0,0887	0,0412	0,4597	0,1365	0,4575	38	141
1403	0,1729	2,6913	19	77	0,0010	0,0009	1,0000	0,0000	0,0000	0,4449	0,1443	0,4799	37	142
1501	0,1219	2,0273	83	527	0,0085	0,0045	0,6208	0,1020	0,2771	0,4584	0,3112	0,1938	28	198
1601	0,1433	2,4160	3	57	0,0002	0,0002	0,9771	0,0000	0,0229	0,3967	0,1440	0,4640	57	565
1602	0,1388	2,1281	23	204	0,0020	0,0013	0,6796	0,0653	0,2551	0,4310	0,2642	0,2800	31	386
1701	0,1369	2,1668	22	177	0,0018	0,0011	0,7237	0,0779	0,1984	0,4300	0,2534	0,2770	37	137
1801	0,1369	2,0924	233	567	0,0172	0,0111	0,5871	0,0634	0,3495	0,4325	0,2806	0,2352	42	180
1802	0,1663	2,4841	12	89	0,0009	0,0007	0,9020	0,0605	0,0376	0,4587	0,1451	0,4720	37	219
1901	0,1577	2,2360	12	77	0,0010	0,0007	0,9138	0,0696	0,0167	0,3994	0,2019	0,3432	57	212

Ennuste-alue	v7_17_os	ak_ka	astih	astih_as	rak_yht_ala_os	asuin_ala_os	erpien_ala_os	riivita_ala_os	askert_ala_os	tv_yht_os	a0_os	a2_os	a_alka	j_alka
2001	0,1399	2,4543	6	53	0,0005	0,0004	0,9911	0,0000	0,0089	0,4689	0,1075	0,4973	45	227
2002	0,1313	2,1954	39	212	0,0043	0,0021	0,6386	0,1707	0,1907	0,4445	0,2112	0,3208	48	235
2003	0,1630	2,7006	13	70	0,0009	0,0007	0,9857	0,0121	0,0022	0,4755	0,1003	0,5228	39	222
2101	0,1875	2,7735	35	139	0,0044	0,0017	0,8810	0,0667	0,0523	0,4669	0,1107	0,4299	30	129
2102	0,1430	2,1584	538	1070	0,0350	0,0227	0,4587	0,1867	0,3546	0,4650	0,2584	0,2416	24	93
2103	0,1433	2,2569	37	150	0,0024	0,0019	0,7370	0,0503	0,2127	0,4696	0,1917	0,3377	28	129
2104	0,1291	2,0360	884	1350	0,0717	0,0418	0,5208	0,0706	0,4086	0,4637	0,3203	0,1907	21	87
2105	0,1761	2,4465	471	946	0,0370	0,0211	0,5939	0,2587	0,1474	0,5090	0,1782	0,3143	21	89
2106	0,1866	2,6897	33	93	0,0026	0,0019	0,9587	0,0413	0,0000	0,4979	0,0935	0,5290	25	129
2201	0,1469	2,2726	18	94	0,0013	0,0010	0,9089	0,0877	0,0034	0,4674	0,1625	0,4007	56	210
2301	0,1537	2,3441	13	85	0,0009	0,0007	0,8862	0,1094	0,0044	0,4231	0,1695	0,4083	36	181
2401	0,1622	2,5813	13	74	0,0010	0,0008	0,9621	0,0328	0,0051	0,4913	0,1050	0,5282	37	167
2402	0,1678	2,5805	67	300	0,0043	0,0034	0,7930	0,1495	0,0575	0,4743	0,1657	0,3673	40	141
2403	0,1496	2,4692	22	118	0,0021	0,0016	0,8667	0,0217	0,1116	0,5131	0,1320	0,4311	36	166
2501	0,1316	2,1464	36	229	0,0026	0,0017	0,6660	0,1224	0,2116	0,4593	0,2620	0,2737	36	136
2601	0,1523	2,3762	13	103	0,0009	0,0007	0,8563	0,0837	0,0600	0,4334	0,1797	0,4042	32	205
2701	0,1482	2,5674	12	71	0,0011	0,0006	1,0000	0,0000	0,0000	0,4508	0,1097	0,4953	26	154
2702	0,1338	2,0470	507	1042	0,0382	0,0235	0,4620	0,0872	0,4508	0,4462	0,3290	0,1929	24	99
2801	0,1511	2,3579	24	133	0,0018	0,0012	0,8282	0,1149	0,0569	0,4517	0,1983	0,3680	28	153
2901	0,1757	2,4406	14	82	0,0009	0,0007	0,8730	0,1137	0,0134	0,4334	0,1897	0,4272	43	205
3002	0,1555	2,4748	21	110	0,0015	0,0011	0,9091	0,0857	0,0052	0,4800	0,1374	0,4249	34	175
3101	0,1634	2,6216	29	101	0,0016	0,0014	0,9726	0,0257	0,0017	0,4633	0,1410	0,4604	28	127
3102	0,1463	2,5405	17	84	0,0036	0,0009	0,9478	0,0037	0,0485	0,4988	0,1653	0,4706	32	167
3103	0,1614	2,3275	339	684	0,0201	0,0149	0,5850	0,1620	0,2530	0,4892	0,2423	0,2585	25	122
3104	0,1791	2,6952	25	100	0,0014	0,0012	0,9725	0,0180	0,0095	0,4835	0,1197	0,4748	31	161
3105	0,1341	2,0298	1162	1700	0,0837	0,0547	0,4128	0,0883	0,4989	0,4648	0,3464	0,1680	22	104
3106	0,1640	2,6138	19	98	0,0011	0,0009	0,9867	0,0036	0,0097	0,4609	0,1424	0,4650	35	202
3107	0,1541	2,3793	10	79	0,0007	0,0005	1,0000	0,0000	0,0000	0,4301	0,1466	0,3534	56	461
3108	0,0526	2,1111	1	69	0,0002	0,0001	1,0000	0,0000	0,0000	0,4211	0,3333	0,1111	46	275
3201	0,1506	2,3218	10	82	0,0007	0,0005	0,9075	0,0925	0,0000	0,3957	0,2037	0,3808	68	267
3301	0,1426	2,3237	9	92	0,0007	0,0005	0,8848	0,0826	0,0325	0,4513	0,1865	0,3791	46	286
3401	0,1597	2,3022	13	85	0,0010	0,0006	0,8896	0,1066	0,0038	0,4253	0,1741	0,3908	56	282
3501	0,1328	2,2580	9	86	0,0008	0,0005	0,8599	0,1295	0,0106	0,3936	0,2392	0,3620	56	365
3601	0,1266	2,1935	10	105	0,0009	0,0006	0,8557	0,1100	0,0343	0,4370	0,2043	0,3671	63	504
3701	0,1158	1,9227	163	647	0,0162	0,0089	0,5685	0,1019	0,3296	0,4201	0,3399	0,1715	72	350

Liite 9. Vastusten laskenta.

Tämä liite on osa 7.5./13.5.2009 päivätystä muistiosta ”Vastusten laskenta”, Trafix Oy, Matti Keränen

Vastusten laskenta tehtiin joukkoliikenteen osalta täydelliselle linjastolle, jossa Emme-sijoittelun mukaiset vastukset tallennettiin sellaisenaan.

Joukkoliikennesijoittelun painokertoimet perussijoittelussa olivat

- linjakohtaiset nousuvastukset (Boarding Times)
 - busseille laskettiin kaavalla $\min \{10; 1,5 \cdot \text{length}^{0,5} + 1\}$ (leikattu maksimissaan 10 minuuttiin)
 - metrolle ja lähijunille käytettiin arvoa 1,0
 - raitiovaunuille käytettiin arvoa 1,0
- odotusajan kerroin 0,3 (Wait time factor)
- odotusajan painokerroin 1,5 (Wait time weight)
- liityntäkävelyajan painokerroin 1,5 (Auxiliary transit time weight)
- nousun painokerroin 1,0 (Boarding time weight).

Ajoneuvo- ja kevyen liikenteen vastukset

Ajoneuvojen (henkilöautojen) osalta vastukset laskettiin aamu-, päivä- ja iltatilanteisiin. Sijoittelu tehtiin yleistetyn matkavastuksen mukaisena, jossa Emme-ohjelmassa reitinvalintaan vaikutti viivytysfunktioiden perusteella lasketun matka-ajan lisäksi myös matkan pituus.

Matkan pituuden painoina käytettiin ruuhkatilanteissa arvoa 0,2 ja päiväliikenteessä arvoa 0,5.

Kevyen liikenteen vastukset laskettiin yhteen tilanteeseen. Laskenta tehtiin joukkoliikennesijoittelulla, koska joukkoliikenneverkossa on enemmän kävelylinkkejä aluesyötille. Verkossa kävely on sallittu myös moottoriteillä (koska yleensä sen vieressä kulkee erillinen kävely- ja pyöräilyväylä), yksisuuntaisilla ajoneuvoväylillä vastasuuntaan sekä raitiovaunuverkolla. Erillistä pyöräilyverkon kuvausta ei tehty.

Tavaraliikenteen kysyntämatriisit



Sisällysluettelo

1	Tausta	3
2	Matriisien muodostamisen periaatteet.....	3
	2.1 Nykytila	3
	2.2 Alustavat ennusteet	4
	2.3 Mallityössä käytetyt ennusteet	5
3	Liikennetuotokset ja suoritteet.....	5
4	Huomioita ja tarpeita mallityölle.....	5

1 Tausta

Työn tavoitteena oli määritellä alustava kuorma- ja pakettiautomatriisi Helsingin työssäkäyntialueen liikenneverkkojen kuormituksen taustakysynnäksi Helsingin seudun liikennemallin tarpeisiin.

Liikennemallin lähtötiedoksi tarvitaan mm. henkilöautoliikenteen alustavat vastukset (matka-aika- ja etäisyysmatriisit). Vastukset tulisi muodostaa verkolta, jossa liikennekysyntä on mahdollisimman todellisella tasolla. Tämän takia on tarpeen muodostaa koko liikennemallin toiminta-alueelle matriisit, joissa on kuvattu henkilöautoliikenteen lisäksi karkealla tasolla myös kuorma- ja pakettiautoliikenne.

Alustavaa kuorma- ja pakettiautomatriisia ja siitä laadittuja alustavia perusennusteita voidaan käyttää malliprosessin edellyttämässä vastusten laadinnassa ja sijoitteluissa, kunnes tavaraliikenteestä laaditaan erillinen malli.

2 Matriisien muodostamisen periaatteet

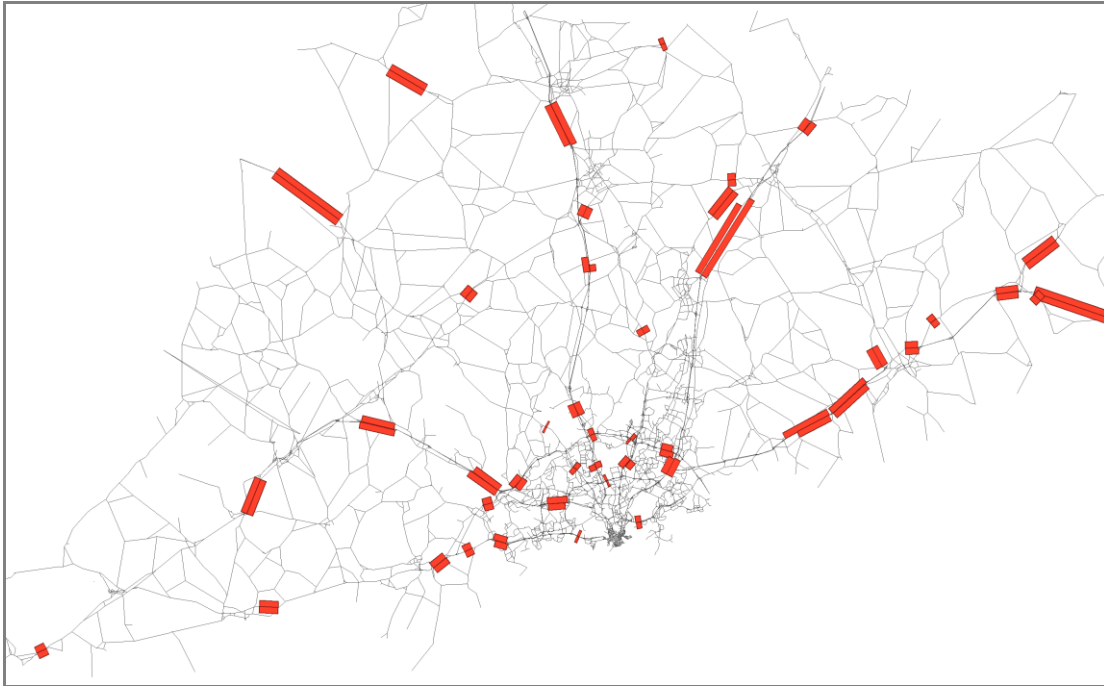
2.1 Nykytila

Työssä hyödynnettiin aiemmissa yhteyksissä Uudellemaalle ja koko Suomeen muodostettuja henkilöauto- ja tavaraliikennematriiseja sekä YTV:n vanhan mallijärjestelmän tietoja. Kuorma- ja pakettiautojen nykytilanteen liikennevirtamatriisin pohjana käytettiin seuraavia liikennevirtamatriiseja:

- vuorokausitason tavaravirtamatriisit ajoneuvoina kuntatarkkuudessa (Tilastokeskuksen aineisto vuosilta 2004–2006)
- Uudenmaan liikennemallin vuorokausitason kokonaisliikenteen matriisi (kalibroitu vuoden 2006 tasolle Sipoon yleiskaavan liikenneselvityksen yhteydessä vuonna 2008)
- sukkulointimatriisi (Tilastokeskuksen aineisto vuodelta 2005)
- YTV:n aiemman liikennemallin nykytilanteen (2005) kuorma- ja pakettiautomatriisit.

Kuntatarkkuudessa olleet kuorma-autoliikenteen matriisit jaettiin ensin liikennemallin ennustealuejakoon käytettävissä olleiden maankäyttötietojen pohjalta. Lähtö- ja määräalueiden jaossa painotettiin myymälä-, teollisuus- ja varastorakennuksia siten, että näihin suuntautuu noin 66 % liikenteestä. Noin 10 % liikenteestä suunnattiin asukasmäärien suhteessa ja loput muiden rakennusten toimitilakerrosalan suhteessa. Ennustealuejaosta nykytilanteen matriisit jaettiin edelleen sijoittelualuejakoon asukas- ja työpaikkamäärien perusteella painottamalla lähtö- ja määräalueiden asukasmääriä luvulla 0,1 ja työpaikkamääriä luvulla 0,9. Vuosaaren sataman tuotos ja suuntautuminen korjattiin vastaamaan olemassa olevia arvioita sataman liikenteestä. Vuosaaren sataman liikenteen määrä ja suuntautuminen otettiin Vuosaaren satamakeskuksen liikenne-ennusteista (27.1.2009).

Vuorokausitason matriisista otettiin symmetrinen 5 % osuus päivätunnin sijoittelua varten. Symmetointi tehtiin ottamalla keskiarvo matriisista ja sen transpoosista. Tämän jälkeen pääkaupunkiseudun sisällä nykytilanteen liikennevirrat korvattiin YTV:n aiemmasta liikennemallista saadulla aineistolla. Lopuksi matriisi kalibroitiin vastaamaan 5 % osuutta havaituista vuorokausiliikennemääristä. Kalibrointi tehtiin 45 LAM-pisteessä, joita vastaavat tieosat on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kalibroinnissa käytettyjen LAM-pisteitä vastaavat tieosat.

Raskaan liikenteen huipputuntimatriisit muodostettiin päivätunnin matriisista korvaamalla pääkaupunkiseudun sisäinen liikenne vastaavilla huipputuntimatriiseilla ja kalibroimalla liikennemääriä LAM-pisteiden havaittuihin raskaan liikenteen määriin. Havaittuina liikennemäärinä käytettiin LAM-pisteiden tietoja vuoden 2008 viikon 41 tiistain liikennemääriä. Jos tiedot puuttuivat tai ne poikkesivat huomattavasti LAM-pisteen vuorokausiliikennemäärien perusteella arvioidusta huipputuntiliikenteestä, käytettiin saman viikon torstain liikennemääriä tai edellisen vuoden vastaavia liikennemääriä.

Pakettiautoliikenteen pohjaksi muodostettiin karkea kokonaisliikenteen kysyntä Uudenmaan liikennemallin aineiston pohjalta. Aineistoa täydennettiin valtakunnallisista matriiseista Uudenmaan ulkoisen liikenteen osalta. Päivätuntia varten vuorokausitason kysynnästä otettiin symmetrinen 5 % osuus. Päivätunnin matriisista muodostettiin edelleen aamu- ja iltahuipputuntimatriisit tuottamalla suuntajakaumat sukkulointimatriisin avulla ja skaalaamalla matriisien kokonaisliikennemäärät vastaamaan huipputuntien osuuksia koko vuorokauden liikenteestä. Matriisit kalibroitiin lopuksi vastaamaan LAM-pisteissä havaittuja aamu- ja iltahuipputuntien kokonaisliikennemääriä. Kalibrointi tehtiin samoissa pisteissä ja samoilla periaatteilla kuin raskaan liikenteenkin huipputuntimatriisien kalibrointi. Pakettiautojen matriisit muodostettiin ottamalla edellä mainituista kokonaisliikenteen matriiseista 9 % osuus, mikä vastaa pakettiautojen osuutta koko mallin alueen autokannasta.

2.2 Alustavat ennusteet

Vuoden 2030 ennustetilanteen matriisit muodostettiin kertomalla nykytilanteen matriiseja Uudenmaan mallilla lasketuilla kunta–kunta -tason kasvukerroinmatriiseilla. Ulkoisen liikenteen kasvu arvioitiin tiehallinnon Uudenmaan tieluokkakohtaisten kasvukertoimien 2006–2030 pohjalta. Pääteille käytettiin Uudenmaan valtateiden kasvukerointa, josta oli poistettu kahden ensimmäisen vuoden kasvu. Vastaavasti muille ulkoisen liikenteen syötöille käytettiin seututeiden kasvukerointa.

Vuoden 2020 ennuste muodostettiin lineaarisesti interpoloiden nykytilanteen ja vuoden 2030 matriiseista.

2.3 Mallityössä käytetyt ennusteet

Työssä tuotettiin siis myös raskaan liikenteen ja pakettiautoliikenteen ennustematriisit vuosille 2020 ja 2030 edellä kuvatulla tavalla. Näitä matriiseja ei kuitenkaan lopulta hyödynnetty mallijärjestelmässä, vaan raskaan liikenteen ennusteet vuosille 2020 ja 2035 tuotettiin yksinkertaisemmin kertomalla nykytilanteen matriisia seuraavilla kertoimilla.

- 2020: 1,13
- 2035: 1,26
- 2050: 1,35

Pakettiautoliikenteen on mallijärjestelmässä oletettu sisältyvän mallin henkilöautoliikenteen ennusteisiin.

3 Liikennetuotokset ja suoritteet

Muodostettujen nykytilanteen matriisien nurkkasummat ja suoritteet nykyverkolla on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Nykytilanteen matriisien nurkkasummat ja suoritteet sekä osuudet tunti- ja vuorokausiliikenteestä.

	Tuotos ajon/h	Suorite ajonkm/h	Osuus tunnin kokonaisliikenteestä		Osuus ajoneuvoryh- män vuorokausiliiken- teestä	
			Tuotos	Suorite	Tuotos	Suorite
Päivätunti (5 % KAVL:stä)						
Kuorma-autot	6 477	142 327	7 %	8 %	5,0 %	5,0 %
Pakettiautot	8 890	151 716	9 %	9 %	5,0 %	5,0 %
Henkilöautot	83 407	1 391 687	84 %	83 %	5,0 %	5,0 %
Yht.	98 773	1 685 729	100 %	100 %	5,0 %	5,0 %
Aamuhuipputunti, AHT						
Kuorma-autot	8 105	165 969	4 %	5 %	6,3 %	5,8 %
Pakettiautot	16 945	286 167	9 %	9 %	9,5 %	9,4 %
Henkilöautot	162 169	2 705 842	87 %	86 %	9,7 %	9,7 %
Yht.	187 219	3 157 978	100 %	100 %	9,5 %	9,4 %
Iltahuipputunti, IHT						
Kuorma-autot	8 830	211 389	4 %	6 %	6,8 %	7,4 %
Pakettiautot	19 232	324 108	9 %	9 %	10,8 %	10,7 %
Henkilöautot	184 406	3 036 543	87 %	85 %	11,1 %	10,9 %
Yht.	212 467	3 572 037	100 %	100 %	10,8 %	10,6 %

4 Huomioita ja tarpeita mallityölle

Nyt muodostettuja matriiseja voidaan käyttää Helsingin seudun liikennemallissa verkon kuormituksen taustakysyntänä. Pakettiautoliikenteen osalta tulisi kuitenkin tarkemmin pohdita, onko erillisen taustakysynnän käyttämien tarpeen. Tämä johtuu siitä, että toisaalta

pakettiautoja käytetään vapaa-ajalla ja työmatkoilla osittain kuten henkilöautoa ja työaika-
na pakettiautomatkat voivat olla työasiamatkoja ja toisaalta osa pakettiautoliikenteestä on
rinnastettavissa kuorma-autojen jakeluliikenteeseen. Pakettiautoliikenteen nyky- ja ennus-
tetilanteiden osalta tulisi jatkossa päättää, sisällytetäänkö pakettiautoliikenne joko osittain
tai kokonaan mallinnettavaan henkilöautomatriisiin. Taustakysynnäksi muodostettua mat-
riisia voidaan skaalata tarvittaessa vastaamaan nykytilanteessa mallinnettavasta matriisis-
ta mahdollisesti puuttuvaa osaa pakettiautoliikenteestä.

Kuorma-autoliikenteen matriisien osalta ei nykytilanteessa ole voitu ottaa erityisemmin
huomioon merkittäviä kuorma-autoliikennettä synnyttäviä terminaaleja Vuosaaren sata-
maa lukuun ottamatta. Kuorma-automatriisin tarkentamista varten olisi jatkossa tarpeen
tunnistaa myös muut merkittävimmät kuorma-autoliikennettä synnyttävät kohteet ja arvioi-
da niiden tuotokset sekä liikenteen suuntautuminen nyky- ja ennustetilanteessa.

Myös raskaan liikenteen koostumuksesta olisi tarpeen saada nykyistä tarkempaa tietoa
esimerkiksi jaoteltuna pitkämatkaisiin kuljetuksiin, lyhytmatkaiseen jakeluliikenteeseen,
jäte- ja muuhun huoltoliikenteeseen sekä maa-aineskuljetuksiin, jotka voivat poiketa toisis-
taan huomattavasti mm. lähtö- ja määräpäiden matkan pituuksien ja tuntivaihtelun osalta.
Nyt tuotettu matriisi painottaa mahdollisesti liikaa pitkämatkaista liikennettä.

Liite 1.

Työssä muodostetut matriisit:

mf41: ka08	09-04-01 12:26	kuorma-autot 2008 5 % KAVL
mf42: pa08	09-04-01 12:27	pakettiautot 2008 5 % KAVL
mf43: ha08	09-04-01 12:27	henkilöautot 2008 5 % KAVL
mf44: pt08	09-04-01 12:27	päivätunti 2008 yht 5 % KAVL
mf51: ka08a	09-04-01 11:06	kuorma-autot 2008 aht
mf52: pa08a	09-04-01 11:06	pakettiautot 2008 aht
mf53: ha08a	09-04-01 11:06	henkilöautot 2008 aht
mf54: pt08a	09-04-01 11:06	aamuhuipputunti 2008 yht
mf61: ka08i	09-03-31 12:53	kuorma-autot 2008 iht
mf62: pa08i	09-03-31 15:30	pakettiautot 2008 iht
mf63: ha08i	09-03-31 15:30	henkilöautot 2008 iht
mf64: pt08i	09-03-31 15:31	iltahuipputunti 2008 yht
mf141:ka20	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2020 5 % KAVL
mf142:pa20	09-04-01 12:28	pakettiautot 2020 5 % KAVL
mf143:ha20	09-04-01 12:28	henkilöautot 2020 5 % KAVL
mf144:pt20	09-04-01 12:28	päivätunti 2020 yht 5 % KAVL
mf145:ka30	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2030 5 % KAVL
mf146:pa30	09-04-01 12:28	pakettiautot 2030 5 % KAVL
mf147:ha30	09-04-01 12:28	henkilöautot 2030 5 % KAVL
mf148:pt30	09-04-01 12:28	päivätunti 2030 yht 5 % KAVL
mf151:ka20a	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2020 aht
mf152:pa20a	09-04-01 12:28	pakettiautot 2020 aht
mf153:ha20a	09-04-01 12:28	henkilöautot 2020 aht
mf154:pt20a	09-04-01 12:28	aamuhuipputunti 2020 yht
mf155:ka30a	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2030 aht
mf156:pa30a	09-04-01 12:28	pakettiautot 2030 aht
mf157:ha30a	09-04-01 12:28	henkilöautot 2030 aht
mf158:pt30a	09-04-01 12:28	aamuhuipputunti 2030 yht
mf161:ka20i	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2020 iht
mf162:pa20i	09-04-01 12:28	pakettiautot 2020 iht
mf163:ha20i	09-04-01 12:28	henkilöautot 2020 iht
mf164:pt20i	09-04-01 12:28	iltahuipputunti 2020 yht
mf165:ka30i	09-04-01 12:28	kuorma-autot 2030 iht
mf166:pa30i	09-04-01 12:28	pakettiautot 2030 iht
mf167:ha30i	09-04-01 12:28	henkilöautot 2030 iht
mf168:pt30i	09-04-01 12:28	iltahuipputunti 2030 yht

Liikennejärjestelmämallit



Tiivistelmä

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennejärjestelmästä tehtiin vuosina 2007–2010 tarjontamalleja, joissa sekä auto- että bussiliikenne on kuvattu samalle katu- ja tieverkolle. Kuvaukset sisältävät myös HSL:n raitiovaunu-, metro- ja lähijunaliikenteen sekä koko työssäkäyntialueen linja-auto- ja kaukojunaliikenteen. Alue kattaa Uudenmaan maakunnan (ml. entinen Itä-Uudenmaan maakunta) sekä Riihimäen seutukunnan. Kuvauksista saatiin mm. matka-aikatietoja kysyntämallityön lähtöaineistoiksi. Lisäksi ne muodostivat pohjan Helsingin seudun liikennejärjestelmä-suunnitelmassa (HLJ 2011) käytetyille ennustevuosien (2020 ja 2035) liikennejärjestelmämalleille.

Lähtötietoina käytettiin Digiroad-aineistoa, HSL:n joukkoliikennerekisteriä (JORE) ja valtakunnallista liikenneluparekisteriä (VALLU). Työssä kehitettiin konversiomenettely, jolla yksityiskohtaisista lähtötiedoista voidaan ohjelmallisesti muodostaa karkeampi kuvaus Emme-liikennesuunnitteluohjelmiston käyttämään muotoon. Ohjelmallisen käsittelyn vaiheiden välissä ja niiden jälkeen jouduttiin kuitenkin tekemään vielä paljon korjauksia ja tarkistuksia myös käsityönä. Yhtenä syynä tähän olivat lähtöaineistoissa, erityisesti Digiroadissa, olleet virheet ja puutteet.

Nykytilan liikennejärjestelmämalli kuvaa vuoden 2008 tilannetta. Sen pohjalta tehtiin mallien testausta varten vastaavan tarkkuustason kuvaus myös vuoden 2030 liikennejärjestelmästä, joka vastaa pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueella pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman 2007 (PLJ 2007) liikennejärjestelmää. Näin voitiin verrata vanhojen ja uusien liikenne-ennustemallien tuloksia.

Tehdyissä liikennejärjestelmämalleissa on 1 056 sijoittelualuetta, lähes 30 000 katu- ja tielinkeä sekä noin 1 000 joukkoliikennelinjaa (suunnat erikseen). Aamuruuhkasta, iltaruuhkasta ja päiväliikenteestä on kustakin omat joukkoliikennelinjaston kuvauksensa. Kävely on mahdollista lähes kaikilla kaduilla ja teillä. Kävelylinkejä lisättiin joihinkin terminaaleihin ja vastaaviin erityiskohteisiin. Pyöräilyverkon kuvausta ei tehty.

Työn yhteydessä testattiin kuvausten toimivuutta sekä auto- että joukkoliikennesijoittelussa mm. vertailemalla eri puolilta seutua valittujen alueiden välisiä matka-aikoja. Myös joukkoliikenteen sijoitteluparametrien valintaa ja sopivia arvotasoja selvitettiin. Sekä kysyntä- että tarjontamallityössä päädyttiin siihen, että raskasta raideliikennettä (juna, metro) ei kuvata omana kulkutapanaan, vaan erot bussi- ja raideliikenteen ominaisuuksissa otetaan huomioon nousuajoissa.

Sijoittelu tehdään kultakin alueelta kaikille muille alueille. Ohjelma ei siis laske alueiden sisäisiä vatuksia (matka-aikoja, etäisyyksiä ym.), joten niiden määrittämiseen kehitettiin laskukaavat.

Sammandragssida

Under åren 2007–2010 gjordes utbudsmodeller för trafiksystemet i Helsingforsregionens pendlingsområde. I modellerna använder både bil- och busstrafiken samma gatu- och vägnät. Trafiksystemmodellerna inkluderar också HRT:s spårvagn-, metro- och lokaltågstrafik samt buss- och fjärrtågstrafiken i hela pendlingsområdet. Området omfattar Nylands landskap (inklusive f.d. Östra Nylands landskap) samt regionen Riihimäki. Tack vare trafiksystemmodellerna var det möjligt att kalkylera bl.a. restider, som användes som ingångsdata i efterfrågemodellarbetet. De bildade också en bas för trafiksystemmodellernas prognosår 2020 och 2035, som användes i Helsingforsregionens trafiksystemplan HLJ 2011.

Som ingångsdata användes informationssystemet om det finska väg- och gatunätet (Digiroad), HRT:s kollektivtrafikregister (JORE) och det riksomfattande trafikillståndsregistret (VALLU). I arbetet konstruerades en konversionsmetod, som av detaljerad ingångsdata automatiskt kan bilda en grov trafiksystemmodell, som kan användas i Emme-trafiksystemprogrammet. Mellan de olika skedena i datorbehandlingen och efter det sista programskedet var det dock nödvändigt att göra många manuella korrigeringar och ändringar. En orsak till detta var fel och brister i ingångsdatan, särskilt i Digiroad.

Trafiksystemmodellens nuläge beskriver situationen år 2008. För att testa modellerna gjordes trafiksystemmodeller för år 2030 med samma precision som för nuläget. För de fyra kommunerna i huvudstadsregionen motsvarade situationen år 2030 trafiksystemet såsom det är beskrivet i Huvudstadsregionens trafiksystemplan 2007 (PLJ 2007). På detta sätt kunde de gamla och nya trafikmodellernas resultat jämföras.

I de nya trafiksystemmodellerna finns det 1 056 zoner, nästan 30 000 gatu- och väglänkar samt ungefär 1 000 kollektivtrafiklinjer (motsatta riktningar separat). Det finns skilda beskrivningar av kollektivtrafiknätet under morgonrusningen, kvällsrusningen och mitt på dagen. Det är möjligt att gå på nästan alla gator och vägar. Gånglänkar har lagts till i några terminaler och motsvarande specialplatser. Man gjorde inte en separat modell för cykelnätverket.

I arbetet testades trafiksystemmodellernas funktionsduglighet i nätfördelningar av både bil- och kollektivtrafik genom att jämföra restiderna mellan några utvalda zoner i olika delar av regionen. Man granskade också valet och lämpliga värden för fördelningssparametrarna för kollektivtrafik. Slutsatsen både i efterfråge- och utbudsmodellarbetet var, att det lönar sig inte att beskriva den tunga spårtrafiken (d.v.s. tåg och metro) som ett separat färdmedel utan att i stället iaktta buss- och spårtrafikens egenskaper genom påstigningstiderna.

Nätfördelningen görs från varje område till alla andra områden. Fördelningsalgoritmen beräknar således inte områdenas inre motstånd (restider, avstånd m.m.). För detta ändamål utvecklades en separat beräkningsformel.

Abstract page

In 2007-2010, transport system supply models were created for the Helsinki region commuting area. In the models, car and bus traffic share the same street and road network. The models include also HSL's tram, Metro and commuter train services as well as coach and long-distance train services in the commuting area. The area covers the province of Uusimaa (including the former province of Eastern Uusimaa) and the Riihimäki sub-region. The models provided, among other things, travel times used as input data for traffic demand models. They also formed the basis for the transport system models for forecast years 2020 and 2035 used in the Helsinki Region Transport System Plan (HLJ 2011).

The National Road and Street Database (Digiroad), HSL's Public Transport Register (JORE) and National Transport Licence System (VALLU) were used as input data. In the work, a conversion method was developed with which it is possible to programmatically create a rougher model in the format used by Emme transport planning software from detailed input data. However, a good deal of corrections and revisions had to be made manually between and after software phases. One reason for this was errors and deficiencies in the input data, in particular in Digiroad.

The model of the current transport system depicts the situation in 2008. On the basis of the model, a transport system model with the same precision was created for 2030 for the purposes of model testing. This model corresponds to the transport system of the four metropolitan area municipalities presented in the Helsinki Metropolitan Area Transport System Plan 2007 (PLJ2007). This enabled the comparison of the results of old and new traffic forecast models.

In the transport system models created, there are 1,056 zones, nearly 30,000 street and road links as well as some 1,000 public transport routes (directions described separately). Morning peak, evening peak and off-peak public transport route networks are each described separately. Walking is possible on nearly all streets and roads. Walking links were added to some terminals and other special places. The cycling network was not modelled.

In the course of the work, the performance of the models both in car and public transport assignment was tested for example by comparing travel times between zones chosen in different parts of the region. The choosing of public transport assignment parameters and suitable values for them was also studied. Both in the demand and supply modelling it was decided that no separate model is created for heavy rail traffic (train, Metro), but that the differences between bus and rail traffic characteristics are taken into account in boarding times.

Assignment is made from each zone to all other zones. In other words, the software does not calculate the impedances (travel times, distances, etc.) within the zones and thus, mathematical formulas were developed to calculate them.

Sisällysluettelo

1	Yleistä	11
1.1	Malleista	11
1.2	Verkon kuvausten käsitteitä	12
1.3	Joukkoliikenteen kuvaustavat	13
2	Nykytilanteen verkkomallin teko	14
2.1	Tarkasteltavan alueen rajausta ja lähtötiedot	14
2.2	Lähtöaineistot	16
2.3	Konversio	18
2.3.1	Periaate	18
2.3.2	Ensimmäinen kierros, raakaverkon luonti moduulilla 1	18
2.3.3	Ensimmäinen kierros, bussilinjojen käsittely moduulilla 2	20
2.3.4	Ensimmäisen kierroksen viimeistely	21
2.3.5	Toinen kierros	22
2.3.6	Kolmas kierros	22
2.3.7	Rataverkon konversio	22
2.4	Käsityö	23
2.4.1	Vuorovaikutuksen ja käsityön periaatteet	23
2.4.2	Ensimmäisen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot	24
2.4.3	Toisen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot	25
2.4.4	Kolmannen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot	26
2.5	Tarkistuskierros	27
2.5.1	JORE-linjasto	27
2.5.2	Kauko- ja lähiliikenteen bussilinjasto eli VALLU-linjasto	27
2.5.3	Syöttöalueet ja syöttölinkit	28
2.5.4	Teiden ja katujen ominaisuudet	28
2.5.5	Raitiovaunujen kuormitusongelmat	28
2.5.6	Verkon jatkokehitystarve (bussien autoekvivalentit)	28
2.6	Ohjeita verkon käyttäjälle	28
2.6.1	Solmut ja alueet	28
2.6.2	Kulkevat	29
2.6.3	Alueiden syötöt	29
2.6.4	Kulkuvälineet ja niiden nopeuksien määräytyminen	29
2.6.5	Uusien bussilinjojen luonti ja linkkien ominaisuuksien muuttaminen	30
2.6.6	Linjastopäivitys	30
2.6.7	Joukkoliikenteen sijoitteluparametrit	30
2.7	Jatkotyö	31
3	Ennustevuoden verkkomallin teko	32
3.1	Johdanto	32
3.2	Verkko 2009	32
3.3	Verkko 2030	33
3.3.1	Joukkoliikennehankkeet	33
3.3.2	Pääkaupunkiseudun PLJ 2007-tiehankkeet	34
3.3.3	Pääkaupunkiseudun ulkopuoliset tiehankkeet	35
3.3.4	Katuhankkeet	35
3.4	HLJ-vaihtoehdot	36
4	Kuvausten ominaisuuksia	37
4.1	Käytetty väylästä	37
4.2	Aluejako	37
4.3	Solmut	37
4.4	Kulkevat ja joukkoliikenteen ajoneuvotyytit	39
4.5	Linkit	40

4.5.1	Syöttölinkit.....	40
4.5.2	Linkkien ominaisuuksia.....	41
4.6	Viivytysfunktiot.....	42
4.6.1	Autoliikenne.....	42
4.6.2	Joukkoliikenne.....	44
4.7	Kääntymiskiellot ja -vastukset.....	46
4.8	Jalankulun ja pyöräilyn verkkomallit.....	46
4.9	Joukkoliikenteen liikennejärjestelmämalli.....	47
4.9.1	Periaate.....	47
4.9.2	Linjatunnus.....	47
4.9.3	Nopeus.....	47
4.10	Eri vuosien kuvausten vertailua.....	48
5	Liikennejärjestelmän kuormitus.....	50
5.1	Autoliikenteen sijoittelut ja vastukset.....	50
5.1.1	Kuormitusperiaate ja tulossuureet.....	50
5.1.2	Kysyntämatriisit.....	50
5.1.3	Sijoitteluparametrit.....	51
5.1.4	Ajoneuvoliikenteen verkkoanalyysi.....	51
5.2	Kävelyn ja pyöräilyn sijoittelut ja vastukset.....	54
5.3	Bussi- ja raideliikenteen erilliset sijoittelut ja vastukset.....	54
5.4	Joukkoliikenteen sijoittelut ja vastukset.....	55
5.4.1	Kuormitusperiaate ja tulossuureet.....	55
5.4.2	Sijoitteluparametrien määrittäminen.....	57
5.4.3	Joukkoliikenteen verkkoanalyysi.....	61
6	Sisäiset vastukset.....	64

Kuvaluettelo

Kuva 1.	Työssäkäynti pääkaupunkiseudulla.....	14
Kuva 2.	Nykytilanteen autoverkko koko työssäkäyntialueella ja pääkaupunkiseudulla.....	15
Kuva 3.	Digiroad-, JORE- ja Emme-kuvausten vertailu (esimerkki Mäkelänkadulta Koskelantien ja Velodromin väliltä).....	17
Kuva 4.	Esimerkki lähtöaineiston virheistä Tapiolassa.....	23
Kuva 5.	Esimerkki lähtöaineiston virheistä Tukholmankadulla.....	24
Kuva 6.	Esimerkki liittymien koodaustavasta. Vasemmalla tasoliittymiä, oikealla Kivikon eritasoliittymä.	39
Kuva 7.	Autoliikenteen viivytysfunktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa.	43
Kuva 8.	Uuden verkon kuormittuminen ja nopeusalenemat, aamuruuhkatuntisijoittelu.....	53
Kuva 9.	Kuormitusosuudet, kaikilla joukkoliikennemuodoilla sama nousuvastus 5 min.	59
Kuva 10.	Kuormitusosuudet, nousuvastus 1 min ja bussiliikenteellä linjan pituudesta riippuvainen lisänousuvastus.....	60

Taulukkoluetelo

Taulukko 1.	Digiroadin toiminnalliset luokat.....	19
Taulukko 2.	Solmunumeroavaruuden jako.	37
Taulukko 3.	Solmujen attribuuttitiedot.	38
Taulukko 4.	Pysäkkityypit (ui2) ja niiden selitykset.....	38
Taulukko 5.	Järjestelmäkuvauksessa käytettyjen kulkutapojen kuvaus.	39
Taulukko 6.	Ajoneuvotyyppi, sitä vastaava kulkutapa ja kuvaus.....	40
Taulukko 7.	Syöttölinkkien kulkutavat.	40
Taulukko 8.	Syöttölinkkien määrä sijoittelualuetta kohden (kaikki kulkutavat).....	40
Taulukko 9.	Sentroidien kytkemispaikat auto-, bussi- ja raitiovaunuverkon (kulkutavat c, b, B, t, P) kuvauksessa.....	41
Taulukko 10.	Linkkien kaistamäärät autoverkolla.	41
Taulukko 11.	Autoverkon linkkityypit (aamuruuhkaskenario).	42
Taulukko 12.	Attribuuttitietojen kuvaus, tie- ja katuverkon linkit.....	42
Taulukko 13.	Raideliikenneverkon linkkiattribuutit.	42
Taulukko 14.	Autoliikenteen viivytysfunktioiden parametrit funktioluokittain.	44
Taulukko 15.	Joukkoliikenteen funktioiden bussien viiveparametrit funktioluokittain.....	45
Taulukko 16.	Joukkoliikennelinjojen attribuuttitiedot (matka aikojen yksikkö on minuutti).	48
Taulukko 17.	Tilastotietoja aamuhuipun auto- ja joukkoliikennejärjestelmien kuvauksista.	49
Taulukko 18.	Aamuhuipputunnin matkustajamäärät Helsingin niemen rajalla keskustan suuntaan. ...	60
Taulukko 19.	Aamuhuipputunnin matkustajamäärät Helsingin kaupungin rajalla Helsingin suuntaan.	61

1 Yleistä

1.1 Malleista

Malli on yksinkertaistettu todellisuuden kuvaus.

Liikenne-ennusteiden teossa tarvitaan kahta malliryhmää:

- Tarjontamallit eli liikennejärjestelmämallit, jotka kuvaavat mm. liikenneverkkoa, joukkoliikennelinjastoa ja niiden toimintaa. Kun verkkoa kuormitetaan kysyntämatriisilla, tuloksena saadaan mm. vastusmatriiseja eli matka-aikoja, kustannuksia tai etäisyyksiä alueelta alueelle.
- Kysyntämallit, joilla tuotetaan kysyntämatriisit. Niihin kuuluvat mm. matkatuotosta, suuntautumista ja kulkutavanvalintaa kuvaavat mallit. Työn tuloksena syntyneet kysyntämatriisit sijoitellaan verkolle reitinvalintamalleja käyttäen.

YTV:ssä tehtiin 1990–2007 noin neljän vuoden välein useita pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelmia (PLJ). Niiden laatimisessa tarvittiin tutkimustiedon lisäksi sekä kysyntäettä tarjontamalleja erityisesti pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueelta.

Vuonna 2007 päätettiin, että seuraavan suunnitelman on katettava Helsingin seudun 14 kuntaa. Sen nimeksi tuli HLJ 2011 (Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma). Niinpä oli tehtävä uudet mallit, joiden pohjaksi tarvittiin laaja liikennetutkimus LITU-2008. Helsingin seudun liikenteeseen vaikuttaa voimakkaasti myös alueen ulkopuolelta tuleva liikenne. Niinpä sekä tutkimus että uudet mallit oli syytä tehdä 14 kunnan seutua laajemmin eli koko työssäkäyntialueella.

Tässä raportissa kuvataan vuosina 2007–2010 tehtyjen kysyntämallien estimoinnissa ja testauksessa (eli ns. HELMET-mallityössä) käytettyjen tarjontamallien ominaisuuksia. Kysyntämallit on estimoitu pääasiallisesti liikkumistottumustutkimuksen (HEHA-2008) aineistosta. Tutkimus tehtiin vuosina 2007–2008 Helsingin seudun työssäkäyntialueella, joka kattoi 37 kuntaa Hangosta Loviisaan ja Riihimäelle asti. Kuntaliitosten takia kuntien määrä on myöhemmin pienentynyt. Aiemmat vastaavat tutkimukset, joita YTV teki 1988, 1995 ja 2000, kattoivat vain pääkaupunkiseudun neljän kunnan asukkaat. Kysyntämalleja kuvataan tämän julkaisun osassa A.

Liikenne-ennustemalleissa hyödynnetään INRO Consultants Inc:n kehittämän Emme-ohjelmiston liikennejärjestelmäkuvausta ja matriisilaskentaa, joten osa termeistä on kyseisen ohjelmiston mukaisia. Emmellä ymmärretään tässä sekä uusinta Emme 3- että vanhempaa EMME/2-ohjelmistoa.

Tärkeä osa mallijärjestelmää ovat tarjontamallit eli tie- ja katuverkon sekä joukkoliikenneverkkojen ja -linjastojen kuvaukset nyky- ja ennustevuosille. Aikaisemmin käytetyt kuvaukset on laadittu 1980-luvun lopussa pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueelle, minkä jälkeen niitä on aktiivisesti päivitetty. Eri PLJ-kierroksilla on tehty kuvauksia myös erilaisista tulevaisuuden liikennejärjestelmistä.

Liikennejärjestelmässä tapahtuneiden muutosten vuoksi liikenneverkkokuvaukset ovat kovanneet perusteellisempaa päivitystä. Myös pääkaupunkiseudun sukkulointialueen kasvu on asettanut vaatimuksia kuvausten laajentamiseksi vähintään nykyiselle työssäkäyntialueelle. Työn yhteydessä haluttiin myös yhdistää joukkoliikenteen ja autoliikenteen verkkokuvaukset vastaamaan paremmin fyysistä todellisuutta. Näin toisaalta suuri bussien määrä kadulla hidastaa autoliikennettä, toisaalta autoliikenteen ruuhkautuminen hidastaa busseja, varsinkin kaduilla, joilla ei ole joukkoliikennekaistoja.

Aiemmat verkon kuvaukset tehtiin digitoimalla solmupisteet ja koodaamalla linkit pitkälti käsin. Linjaston kuvaus saatiin alun perin pääkaupunkiseudun joukkoliikennerekisteristä (JORE), mutta sen jälkeen sitäkin on päivitetty käsityönä.

Nyt tavoitteena oli laatia päivitetty liikennejärjestelmämallit ja menetelmä, jolla sekä liikenneverkkojen että joukkoliikennelinjastojen kuvaukset saadaan siirrettyä olemassa olevista tietolähteistä samaan Emme-tietokantaan.

1.2 Verkon kuvausten käsitteitä

Solmut ovat pistemäisiä olioita, joilla on numero ja koordinaatit. Lisäksi solmulle voidaan antaa muitakin ominaisuuksia. Solmu voi olla joko tavallinen solmu (esimerkiksi liittymä tai pysäkki) tai osa-alueen keskus (sentroidi). Viimeksi mainitussa tapauksessa pisteellä kuvataan kokonaisen alueen ominaisuuksia, esimerkiksi eri lähtöpaikkoja ja niiden asukasmääriä.

Linkit kuvataan suunnattuina solmupareina, ts. linkki (i,j) on eri linkki kuin (j,i) . Tässä työssä linkki kuvaa kahden solmun (liittymä, pysäkki, osa-alue) välistä katu- tai tieosaa. Linkkeihin liittyy tiettyjä ominaisuuksia: pituus, kulkutapa, linkkityyppi (esim. tieluokka), kaistamäärä ja viivytysfunktion numero (vain autoliikenteelle) sekä mahdollisia käyttäjän antamia lisämuuttujia. Lisämuuttujissa voi olla esimerkiksi mitattuja nopeuksia.

Linkki on tavallinen linkki, jos sen kummassakin päässä on tavallinen solmu, ja syöttölinkki (aluesyöttö, konektori), jos sen toinen pää on osa-alueen keskus ja toinen tavallinen solmu. Syöttölinkki kuvaa siis kokonaisen alueen kaikkia yhteyksiä katuverkolle tai joukkoliikennejärjestelmään. Kahden osa-alueen keskusten välisiä suoria linkkejä ei ole.

Reitti eli polku on peräkkäisten, samaan suuntaan johtavien linkkien jono. Esimerkiksi linkkijono (i,j) , (k,j) , (k,l) ei ole reitti. Reitti voidaan ajatella myös solmujen jonona $(i-j-k-l)$ ja näin se Emmessä kuvataankin, mutta ko. solmujen välillä on oltava linkit, joilla ko. kulkutapa on sallittu. Joukkoliikenteessä reitti on kiinteä eli se, jota linjan on määrä kulkea. Autoliikenteessä sen sijaan kahden alueen välillä voi olla useita reittejä, joista valitaan yksi tai useampia.

Joukkoliikennelinjalla on mm. kulkutapa, ajoneuvotyyppi ja reitti. Pysäkkisolmuissa voi matkustajia nousta ajoneuvoon ja siitä pois, joillakin pysäkeillä vain jompaakumpaa niistä, mutta liittymäsolmuissa ei kumpaakaan. Linjan vastus (esimerkiksi matka-aika) voi olla kulkutapa-, linja- tai linjasegmenttikohtainen. Emmessä (linja)segmentillä tarkoitetaan yhden linjan reittiä yhdellä linkillä eli kunkin linkin segmenttien määrä on sama kuin kyseistä linkkiä käyttävien linjojen määrä.

Matriisit ovat ennustejärjestelmässä käytettäviä taulukkomuotoisia esityksiä alueiden välisistä matkavastuksista (ajoista, etäisyyksistä, kustannuksista) tai matkojen määristä. Neliömatriisissa vaaka-rivejä on yhtä monta kuin pystyrivejäkin. Matriisien erikoistapauksia ovat vektorit (yksi vaakarivi ja monta pystyriviä tai päinvastoin), joilla voidaan kuvata esimerkiksi alueiden ominaisuuksia, ja skalaarit (vain yksi luku), joita käytetään mm. mallikertoimien ja matka-matriisien nurkkasummien (matriisin kaikki matkat yhteensä) tallettamiseen

Sijoitteluksi kutsutaan liikennejärjestelmän kuvauksen (tie- ja katuverkko, joukkoliikennelinjasto) kuormittamista kysyntämatriisilla (matkamäärät alueilta toisille). Tässä ennustejärjestelmässä se tehdään Emme-liikennesuunnitteluohjelmistolla. Tuloksena saadaan väylien liikennemäärät, joukkoliikennelinjojen matkustajamäärät ja alueiden väliset vastukset (mm. matka-ajat).

1.3 Joukkoliikenteen kuvaustavat

Emmessä voidaan kuvata joukkoliikennelinjasto kahdella tavalla.

Vuorovälipohjaisessa kuvauksessa kunkin aikajakson (esimerkiksi aamuhuipputunti) jokainen linja kuvataan vain kerran ajosuuntaa kohden. Linjalle annetaan reitti ja ko. aikajakson keskimääräinen vuoroväli. Sijoittelussa kysyntämatriisina on saman aikajakson kaikkien joukkoliikennematkojen määrä. Menetelmä sopii kaupunkimaisille alueille, joilla vuoroväli on pieni.

Aikataulupohjaisessa kuvauksessa jokaiselle linjalle koodataan kuvattavan aikajakson todelliset lähtöajat. Linjalle annetaan reitin lisäksi aikajakson ensimmäisen lähdön lähtöaika, vuoroväli ja lähtöjen määrä ko. vuorovälillä. Kun vuoroväli muuttuu, on tehtävä uusi linjan kuvaus.

Näin yhden linjan kuvaus kolmen tunnin aamuruuhkassa klo 6:00–8:59 voisi olla seuraavanlainen: Ensimmäinen lähtö on 10 minuuttia kuvattavan aikajakson alusta (eli klo 6:10), vuoroväli 13 minuuttia ja lähtöjen määrä yksi. Sen jälkeen 10+13 minuuttia aikajakson alusta eli klo 6:23 alkaen on 10 minuutin vuorovälillä viisi lähtöä, joista viimeinen klo 7:03. Sitten on yksi lähtö klo 7:14 eli 11 minuutin vuorovälillä ja sen jälkeen 7:25 alkaen taas viisi lähtöä 10 minuutin vuorovälillä, joista viimeinen klo 8:05. Klo 8:20 aikajakson alusta on kulunut 140 minuuttia. Silloin vuoroväli muuttuu 15 minuutiksi ja lähtöjä on kolme, joista viimeinen 8:50.

Koska vuorovälin tai lähtöajan minuuttien muuttuessa on usein siirtymiä (esimerkiksi edellä 11 minuutin vuoroväli) ja jokaista muutosta kohden on kuvattava koko linja reitteineen uudelleen, kuvauksen koko ja tilantarve kasvavat nopeasti. Kysyntä ei ole matriisimuodossa, vaan luettelo matkoista, jotka tiettyyn aikaan halutaan tehdä kultakin alueelta toisille alueille. Lähtö- tai saapumisajoille voi määritellä toleranssin eli hyväksyttävän epätarkkuuden. Sijoittelu muistuttaa siis reittiopashakua. Menetelmä sopii lähinnä kaukoliikenteeseen ja maaseutumaisille, suuren vuorovälin alueille.

Tässä työssä on käytetty vain vuorovälipohjaisia joukkoliikenteen kuvauksia ja sijoitteluja. Junien ja linja-autojen kaukoliikenteestä on kuitenkin tehty myös aikataulupohjaiset kuvaukset.

2 Nykytilanteen verkkomallin teko

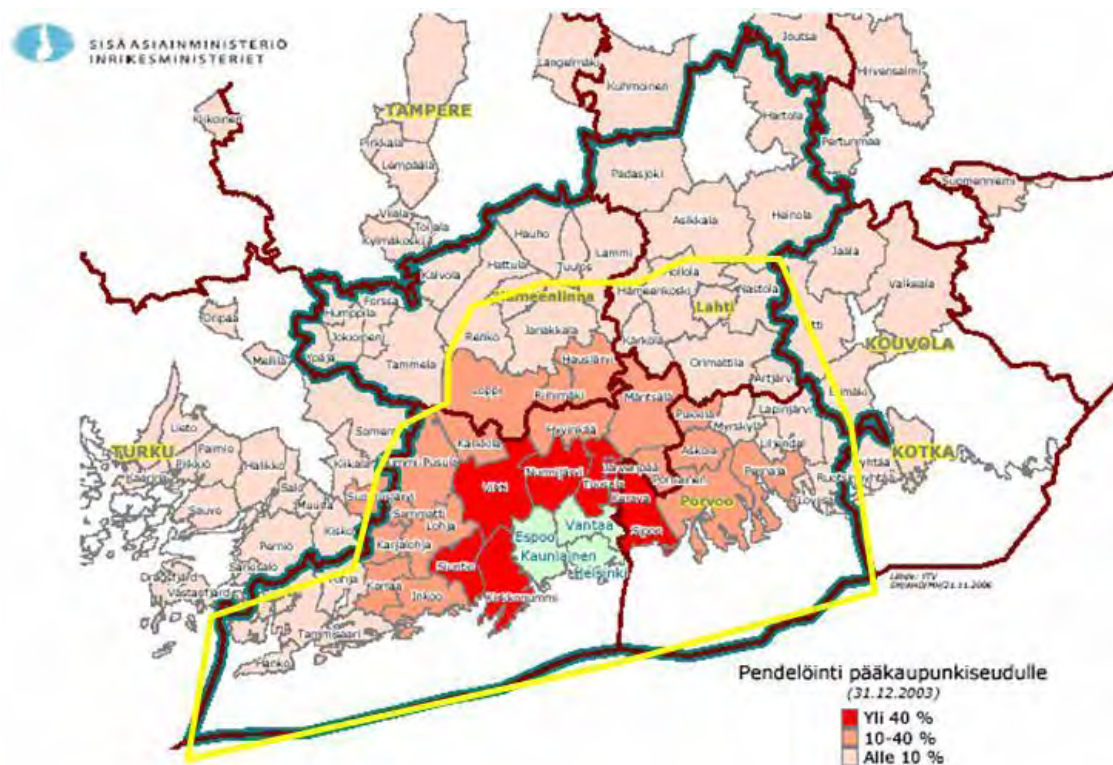
2.1 Tarkasteltavan alueen rajausta ja lähtötiedot [7]

Verkkotyön määrittely aloitettiin jo 2006, jolloin ei vielä ollut tarkkaa kuvaa alueesta, jonka laaja liikennetutkimus pitäisi kattaa ja jolle liikenne-ennusteita tarvitaan. Katsottiin kuitenkin, että alueen on oltava laajempi kuin HLJ:ssä käsiteltävä 14 kunnan Helsingin seutu.

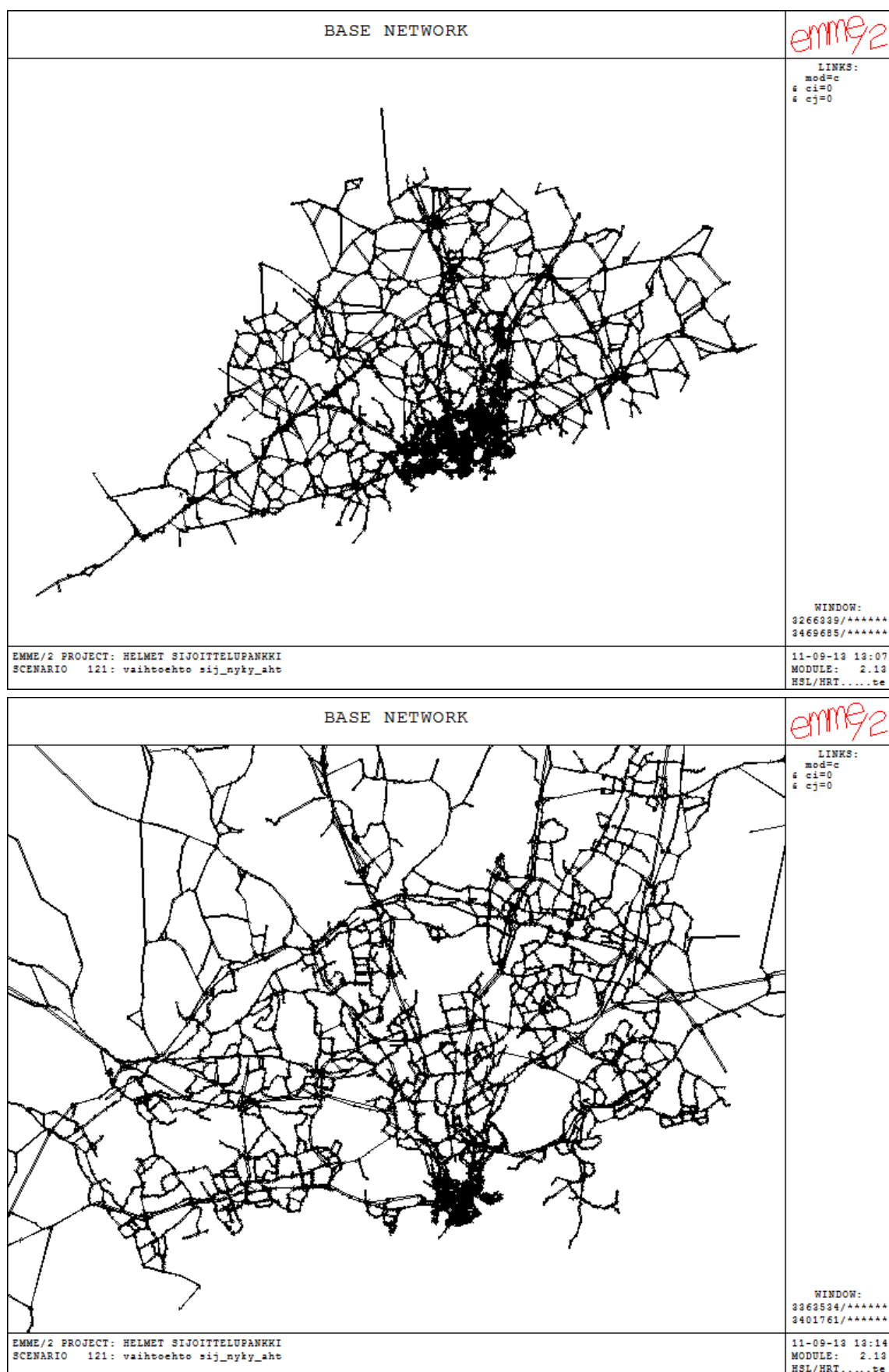
Niinpä rajausta lähdettiin tekemään sukkulointiosuuksien pohjalta. Siksi Helsingin metropoli-alueetta approksimoivan Emme-mallin alueen rajauksessa otettiin aluksi mukaan pohjoisessa Lahti ja Hämeenlinna. Etelässä malliin otettiin mukaan Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien keltaisella rajattu alue (katso kuva 1). Itä-Uudellamaalla mallia laajennettiin kattamaan myös Loviisan alue. Pois siis jätettiin aluksi Uudenmaan maakunnasta kunnat Pohja, Tammisaari ja Hanko sekä Itä-Uudenmaan maakunnasta kunnat Ruotsinpyhtää ja osa Lapinjärvestä.

Myöhemmin tultiin siihen tulokseen, että Lahden ja Hämeenlinnan seudut on syytä jättää pois kuvauksesta. Vaikka näiltä seuduilta onkin paljon sukkuloijia pääkaupunkiseudulle, ne ovat myös omia seudullisia keskuksiaan. Ei haluttu, että mallityössä joudutaan pohtimaan Lahden ja Hämeenlinnan sisäistä liikennettä ja kuvaamaan kyseisten kaupunkisen sisäistä katuverkkoa. Toisaalta yhteistyö mm. Uudenmaan tiepiirin ja maakuntaliittojen kanssa puolsi myös alueen läntisimpien ja itäisimpien osien ottamista mukaan, vaikka niiden sukkulointiosuudet pieniä ovatkin.

Niinpä kuvattava alue tarkentui kattamaan Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakunnat kokonaan sekä Riihimäen seudun. Näin mallityössä ja HLJ:ssä käytetyt liikennejärjestelmän kuvaukset on tehty samalle alueelle kuin liikkumistutkimus ja kysyntämallit, mitä havainnollistaa kuvassa 2 oleva nykytilanteen autoliikenteen verkko.



Kuva 1. Työssäkäynti pääkaupunkiseudulla.



Kuva 2. Nykytilanteen autoverkko koko työssäkäyntialueella ja pääkaupunkiseudulla.

2.2 Lähtöaineistot [7]

Työn valmisteluvaiheessa mietittiin, kannattaisiko lähtöaineistona käyttää Digiroadia vai Suomen tiestöä. Päädyttiin käyttämään Digiroad-aineistoa, koska

1. Digiroadissa oli tiestöltä valmiina enemmän sellaisia ominaisuustietoja, joita katsottiin tarvittavan liikenneverkon toiminnan mallintamisessa. Suomen tiestöön niitä olisi saanut maantieverkolta erillistilauksena, mutta ei välttämättä katuverkolta.
2. Digiroadissa teiden ja katujen sijainti on kuvattu paremmin todellisuutta vastaavasti. Suomen tiestössä tielinjoja on paikoin siirretty, jotta on saatu enemmän tilaa teiden ja katujen nimille.
3. Digiroadissa teiden poikkileikkaus oli kuvattu tarkemmin erityisesti 2-ajorataisten teiden osalta. Suomen tiestössä 2-ajorataiset tiet oli kuvattu vain moottoriteiden osalta.
4. Digiroadin katsottiin olevan liikenteen mallintamisen näkökulmasta pidemmällä aikavälillä parempi ratkaisu, joten nähtiin kannattavaksi ottaa riski alkuvaiheen ylimääristä teknisistä vaikeuksista.

Emme-mallin lähtöaineistona käytettiin Digiroad-aineistoa (K-formaatissa), joka ensin saatettiin tekstimuotoon MapInfo-ohjelmassa. Digiroad-aineiston pitää kattaa maakunnat Uusimaa, Itä-Uusimaa, Kanta-Häme ja Päijät-Häme (rajattu kuvassa 1 mustalla). MapInfossa tehtävissä toimenpiteissä tärkeimpinä olivat:

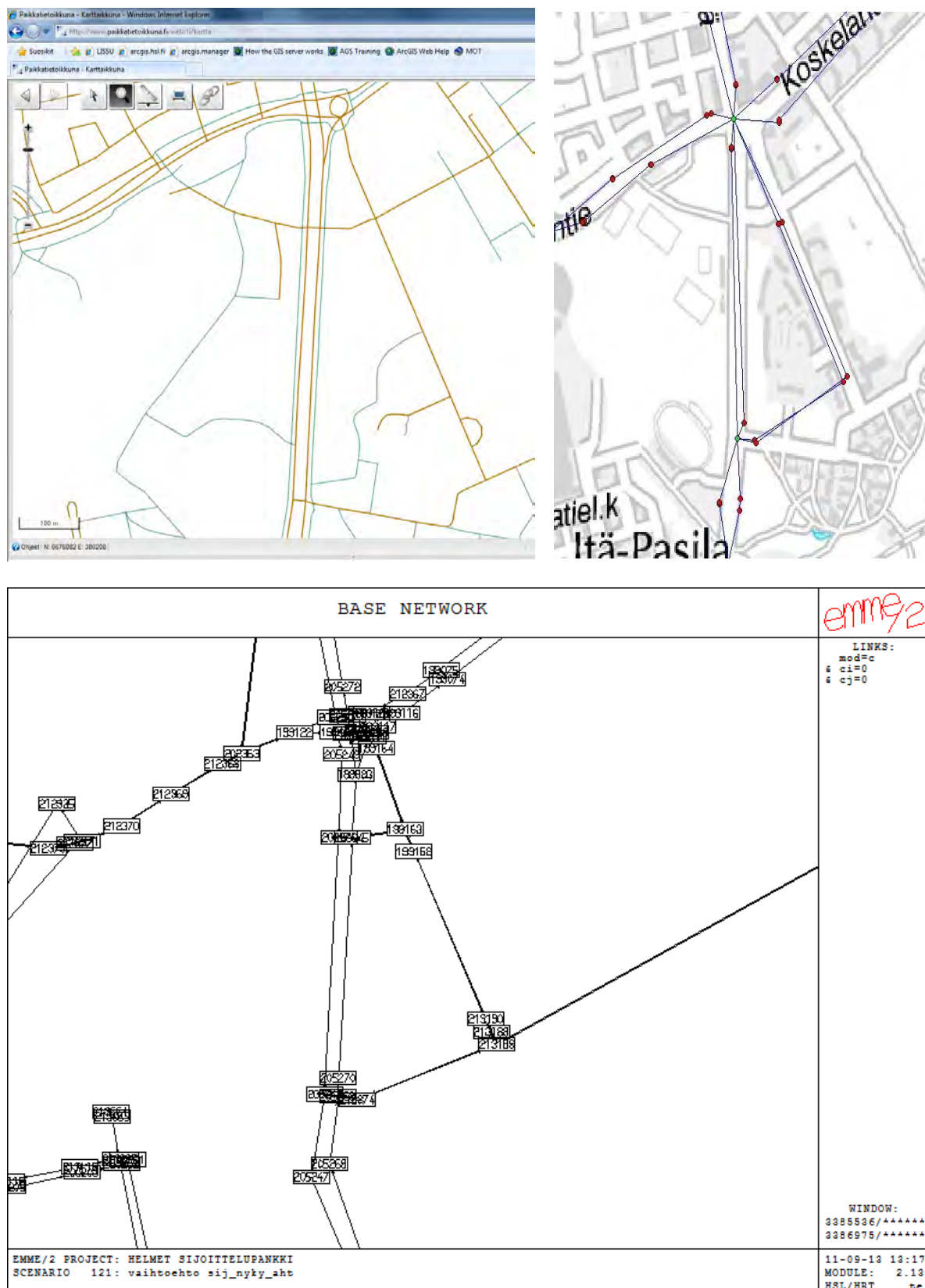
- Määrittää liikenne-elementtien alku ja loppupisteiden koordinaatit.
- Yhdistää kaikkiin liikenne-elementteihin niihin kuuluvat tiedot kuten nopeusrajoitus, joukkoliikenteen pysäkkitiedot ja kaistojen lukumäärä.
- Laskea liikenne-elementin pituudet murtoviivan pituuden avulla.
- Muuntaa Digiroad-kääntymismääräykset koordinaattimuotoon.

Pääkaupunkiseudun joukkoliikennelinjaston kuvaus saatiin joukkoliikennerekisteristä (JORE) ja muun linjaston osalta valtakunnallisesta liikenneluparekisteristä (VALLU).

Digiroadin kuvaus on hyvin tarkka. Mm. jokainen muutos kaistamäärässä, nopeusrajoituksessa tai muussa tieosan ominaisuudessa merkitsee myös uutta solmua ja linkkiä. Samoin eritasoliittymien rampit ja tasoliittymien kääntymissuunnat on kuvattu tarkasti.

Myös JOREssa verkot on kuvattu tarkasti, jopa eritasoliittymien rampit. Jokainen pysäkki on omana pisteenään oikealla paikallaan. Lisäksi on ns. muotopisteitä, joilla ei ole numeron ja koordinaattien lisäksi muita ominaisuuksia, mutta niillä on saatu väylien muoto kuvattua tarkemmin. Linkkien pituudet lasketaan muotopisteiden muodostamasta murtoviivasta.

Emme-kuvauksessa ei ole mahdollista eikä mielekästä käyttää näin paljon solmuja. Niinpä yksi Emme-solmu voi vastata useata Digiroad- ja JORE-solmua. Kuvaus on kuitenkin tarkempi kuin aiemmissa verkkomalleissa. Kuvassa 3 on verrattu Digiroad-, JORE- ja Emme-kuvausta samasta paikasta.



Kuva 3. Digiroad-, JORE- ja Emme-kuvausten vertailu (esimerkki Mäkelänsadulta Koskelantien ja Velodromin väliltä).

2.3 Konversio [7]

2.3.1 Periaate

Konversioprosessi oli monivaiheinen. Se on kuvattu tarkemmin 28.10.2008 päivätyssä muistiossa ”Pääkaupunkiseudun ja sen työssäkäyntialueen Emme-kuvausten teko”.

Ohjelmallinen osuus koostuu C-kielellä kirjoitetuista ohjelmamoduuleista, joita ohjaa C++:lla kirjoitettu yksinkertainen pääohjelma, joka kontrolloi tietovirtoja moduulien välillä. Kaikki välitulokset talletetaan tekstitiedostoon, jotta niitä voidaan tarpeen vaatiessa tutkia mahdollisimman helposti. Syötteeksi tarvitaan mm. MapInfolla tuotetut tekstimuotoiset Digiroad-tiedostot sekä JOREsta, VALLUsta ja VR:ltä saadut reitti- ja aikataulutiedot.

Emme-makroilla mm. korjataan aineistossa olevia virheitä. Tarkistuksia on syytä tehdä myös käsityönä konversiokierrosten välillä.

2.3.2 Ensimmäinen kierros, raakaverkon luonti moduulilla 1

Konversio-ohjelma teki alustavan muunnoksen Digiroadista MapInfon avulla muodostetuista tekstitiedostoista Emme-formaattiin. Ensimmäisessä vaiheessa mukaan otettiin kaikki elementit kevyen liikenteen väyliä lukuun ottamatta. Tämän jälkeen muodostunut verkko aggregoitiin eli vierekkäiset elementit, joilla kaikki Emme-mallin kannalta olennaiset parametrit säilyvät samana, yhdistettiin iteratiivisesti pidemmiksi yksiköiksi (Emme formaatissa siis linkeiksi). Saadulle massiiviselle pohjaverkolle, joka ei aukeaisi millään Emme-lisenssillä, koodattiin ohjelmallisesti linjakuvaukset JORE ja VALLU-tietokannoista, jotka eivät ole yksityiskohtaisella tasolla samaistettavissa Digiroad-tietokantaan. Linjastojen sijoittelun jälkeen Emme-verkkoa vuoroin karsittiin ja aggregoitiin systemaattisesti, vuoroin korjattiin käsin.

Seuraavassa kuvataan joitakin yksityiskohtia.

2.3.2.1 Elementtien yhdistäminen

Kahta vierekkäistä (liikenne-elementtien alku- ja loppupisteistä jommallakummalla on samat koordinaatit) liikenne-elementtiä ei yhdistetty, jos vähintään yksi seuraavista kriteereistä täyttyi:

- Kaistamäärät ovat erilaiset.
- Nopeusrajoitukset ovat erilaiset.
- Toinen elementeistä on joukkoliikenteen pysäkki.

Tästä on tehty poikkeuksia seuraavissa tapauksissa solmujen säästämiseksi:

- Kaistamäärän muutos johtuu siitä, että kyseessä on kääntymiskaista.
- Nopeusrajoitus muuttuu ja ollaan lähempänä kuin 60 m risteyksestä.
- Joukkoliikenteen pysäkit on aggregoitu risteysiin Kehä III:n ulkopuolella, jos ne ovat 300 m lähempänä risteyssolmua.

2.3.2.2 Joukkoliikenteen pysäkkien yhdistäminen, karsinta ja generointi

Joukkoliikenteen pysäkit yhdistettiin iteratiivisesti, jos ne olivat Kehä III:n sisäpuolella alle 50 m päässä toisistaan ja Kehä III:n ulkopuolella alle 1 km päässä toisistaan. Raitiovaunu-pysäkkejä ei yhdistetty.

Tarvittavan solumäärän pienentämiseksi joukkoliikenteen pysäkit Kehä III:n ulkopuolella karsittiin ja aggregoitiin läheisiin risteysiin. Aggregointi risteykseen tehtiin, jos pysäkkisolmun vieressä oli risteyssolmu alle 300 m etäisyydellä.

Pysäkki poistettiin kokonaan Kehä III:n ulkopuolella, jos seuraavat ehdot olivat voimassa. Kyseiset ehdot indikoivat, että Emme-sijoitteluissa pysäkillä ei olisi tullut yhtään nousua eikä poistumista.

- Pysäkki ei ole risteyksen viereinen tai risteyksessä oleva pysäkki.
- Pysäkki ei ole mistään VALLU linjasta katsottuna lähinnä mitään alle 30 km päässä olevaa osa-aluetta.

Tärkeänä lisänä, johtuen Digiroadin aineiston puutteellisuudesta, konversio-ohjelmassa generoitiin ns. pseudopysäkkejä (pysäkkikoodi 10), joilla linjat voivat pysähtyä. Pseudopysäkkien käyttö karsii turhien silmukoiden syntymistä linjakuvauksiin sekä mahdollistaa ylipäättään linjalle nousun ja poistumisen sekä vaihdon paikoissa, jossa joukkoliikennepysäkki puuttuu Digiroadista tapauksissa, joissa pysäkki on esimerkiksi koodattu Digiroadissa kevyen liikenteen väylälle tai moniajorataisen tien väärään suuntaan menevälle linkille.

Myöhemmässä vaiheessa Emme-pysäkit valittiin läheltä JOREn tai VALLUn pysäkkisolmuja siten, että ne sopivat linjan kulkureittiin mahdollisimman optimaalisella tavalla. Ohjelma jore.exe teki satoja, joissain tapauksissa jopa tuhansia, reitin pituuden minimoiteja Dijkstran algoritmilla sovitettaessa jokaista linjaa Digiroad-tietokannasta generoidulle Emme-raakaverkolle.

2.3.2.3 Kääntymismääritykset

Kääntymismääritykset käsiteltiin siten, että siinä vaiheessa, kun ohjelman moduulissa 1 kaikki risteysten viereiset solmut olivat vielä tietokoneen keskusmuistissa, yhdistettiin kääntymiskieltoja vastaavat koordinaatit tekstitiedostosta väliaikaisesti Emme-solmuihin. Tämän jälkeen konversio-ohjelma yhdisti linkit edellä olevassa kohdassa ”Elementtien yhdistäminen” määriteltyjen sääntöjen mukaan päivittäen samalla kääntymismääritykset vastaamaan verkoon jääviä, yleensä risteystä merkittävästi kauempana olevia, solmuja.

Lopputuloksena saaduista kääntymismäärityksistä kaikkien luku Emmeen ei kuitenkaan enää onnistunut, sillä osa risteyksistä oli karsittu kokonaan pois, jolloin ko. kääntymismäärityksellä ei enää ollut tarvetta.

2.3.2.4 Tarkkuustasot eli verkon resoluutio

Muodostettavan Emme-verkon resoluutio määriteltiin Digiroadin liikenne-elementtien toiminnallisen luokan avulla (katso seuraava taulukko) siten, että Helsingin keskustassa mukaan otettiin jopa luokan 5 väylät, mutta alueen reunoilla vain kolme ylintä tasoa. Kuitenkin verkoissa säilytettiin kaikki yhteydet, joita jokin bussilinja käytti, vaikka sellaisen linkin toiminnallinen luokka olisi ollut 6.

Taulukko 1. Digiroadin toiminnalliset luokat.

Toiminnallinen luokka	taajama	taajaman ulkopuoli
1	seudullinen pääkatu	valtatie
2	seudullinen pääkatu	kantatie
3	alueellinen pääkatu	seututie
4	kokoojakatu	yhdystie
5	liityntäkatu	tärkeä yksityistie
6	liityntäkatu	muu yksityistie
10	kevyen liikenteen väylä	kevyen liikenteen väylä

2.3.3 Ensimmäinen kierros, bussilinjojen käsittely moduulilla 2

Pääkaupunkiseudun linjat JOReSSa on koodattu Suomen tiestön mukaisen tietokannan päälle. Suomen tiestö eroaa geometrialtaan hiukan Digiroad-tietokannasta, joten bussilinjojen konvertoiminen tavallisen henkilöliikenteen käyttämään tietokantaan vaatii lisälogiikkaa. Lisäksi Digiroad-tietokannassa on virheitä sekä itse teiden koodauksessa että pysäkkisolmujen sijoittelussa. Bussipysäkkejä puuttuu varsinkin kaksiajorataisilta teiltä ja niitä on sijoitettu myös kevyen liikenteen väylille. Näitä on korjattu ensimmäisen kierroksen konversio-ohjelman moduulissa 2.

Linjastosijoittelu perustuu Dijkstran algoritmiin ja hakee iteratiivisesti lyhintä reittiä eri pysäkkien välillä verkkotietokannasta. Digiroad-pysäkin ja JORe-pysäkin välistä linnuntietäisyyttä sakotetaan kertoimella 1,65 etsittäessä lyhintä reittiä eri pysäkkikandidaattien joukosta.

2.3.3.1 Silmukoiden korjaus

Jos tuotettu linjamääritys teki Digiroad-pohjaverkossa silmukan paikassa, jossa JORe-tietokannasta luettu linjamääritys ei tee silmukkaa, ohjelma epäili automaattisesti lähtöaika- ja neistossa olevan virhe pysäkkisolmujen koodauksessa ja haki optimaalisen pysäkkisolmun tavallisten solmujen joukosta. Näin generoitui verkkotietokantaan ns. pseudopysäkki, jolle annettiin pysäkkikoodi 10.

2.3.3.2 Pysäkkisolmut

Päätepysäkkikandidaateiksi haettiin ensisijaisesti Digiroadista saatuja bussiterminaleja, jotka oli koodattu tie- ja katuverkkotietokantaan pysäkkikoodilla 9. Jos sopivia bussiterminaleja ei löytynyt JORe-päätepysäkin läheisyydestä, jatkettiin etsintää lähistöllä olevista tavallisista pysäkkisolmuista ja lopulta myös tavallisista solmuista, joista generoitiin pseudopysäkkejä tarpeen vaatiessa. Linja pyrittiin siis kuitenkin automaattisesti sijoittamaan liikenneverkolle, vaikka pysäkkisolmut olisivatkin koodautuneet väärin.

Ohjelmallisen koodauksen yhteydessä moduuli 2 merkitsi kaikki solmut ja linkit, joita linjat käyttävät, ja aggregoi ja harvensi tieverkkoa tämän jälkeen perustuen Digiroadista saadun toiminnallisen luokkaan, jonka mahdollisesti virheellisesti nolaksi jääneitä arvoja oli täydennetty ohjelmallisesti moduulissa 1.

Linjoille koodattiin 0,01 minuutin pysähtyminen kaikille pysäkkisolmuille, joissa linjat pysähtyvät. JORe-linjat pysähtyvät solmuissa, jotka vastaavat mahdollisimman hyvin JORe-linjamäärityksen mukaisia pysäkkisolmuja, joissa linja on merkitty pysähtyväksi. VALLU-linjat pysähtyvät kaikissa kahden VALLU-välipisteen väliseltä lyhimmältä reitiltä löydettyssä kaukoliikenteen pysäkkisolmussa, pikavuorot vain pikavuoropysäkeillä.

2.3.3.3 VALLU-linjat ja kaukojunat pääkaupunkiseudun sisällä

VALLU-tietokannasta konvertoidut bussilinjat sekä VR:n kaukojunat mallinnettiin siten, ettei niitä voida käyttää pääkaupunkiseudun sisäisessä liikenteessä. Tällä saatiin estettyä epärealistisen nopeat joukkoliikenneyhteydet, joista hyvänä esimerkkinä toimii pikajunayhteys välillä Tikkurila–Helsinki.

2.3.3.4 Aikataulut ja vuorovälit

Aikataulut JORe-linjoihin saatiin erillisestä tietokannasta. Keskimääräiset vuorovälit tuotettiin aikajaksoilla (ajat minuutin tarkkuudella) aamuruuhka 07:00–08:59, päiväliikenne 09:00–14:59, iltaruuhka 15:00–17:59 ja ilta 18:00–21:59 siten, että lähtöjen määrä kussakin aikajaksossa jaettiin aikajakson pituudella (tunneissa). Näin saatiin keskimääräiset vuorovälit neljälle yhden tunnin mittaiselle aikajaksolle.

VALLU-aikataulut ovat annettuina VALLU-lähtöaineistossa, ja moduuli 2 generoi näistä ensimmäisen linjan lähtöajan sekä keskimääräisen vuorovälin loppupäiväksi. Jos linja tuli alun perin tarkasteltavan alueen ulkopuolelta, lähtöajaksi ensimmäisestä alueen sisällä olevasta pisteestä laskettiin viimeisestä alueen ulkopuolella löytyvästä aikamerkinnästä linnuntie-etäisyyden perusteella arvioitu approksimaatio sillä oletuksella, että bussi kulkee matkanopeudella 70 km/h.

VALLU-linjoille merkittiin tarkasti tarkasteltavan aikajakson ensimmäinen lähtö ja lopuista lähdoista laskettiin keskimääräinen vuoroväli tarkasteltavan aikajakson yli kaavalla *tarkasteltavan_aikajakson_pituus / aikajakson_aikana_tapahtuvien_lähtöjen_lukumäärä*.

VALLU-linjoille tarkasteltavat aikajaksot määriteltiin samaan tapaan kuin pääkaupunkiseudun sisällä eli aamuruuhka 06:00–08:59, päiväliikenne 09:00–14:59, iltaruuhka 15:00–17:59 ja ilta 18:00–21:59.

Radalla kulkevan joukkoliikenteen (raitiovaunut, metro) linkkikohtaiset nopeudet haettiin JOREn pysäkkikohtaisista aikataulutiedoista, ja ne laskettiin erikseen ja kulkutapakohtaisesti aikajaksoille aamuruuhka, päiväliikenne, iltaruuhka ja ilta. Jos nopeuksia puuttui joiltain linkeiltä, nämä paikattiin kulkutapa- ja vuorokaudenaikakohtaisilla keskinopeuksilla.

Lähijunien ja kaukojunien viivytykset koodattiin suoraan segmenttitietoihin aikataulujen perusteella.

Kaukoliikenteen junalinjoille tehtiin varalle myös vuorovälipohjaiset linjastot ajanjaksoille aamuruuhka, päiväliikenne, iltaruuhka ja ilta samoin aikarajoin kuin VALLU-tietokannasta poimitulle pitkän matkan bussiliikenteelle, vaikka näitä ei suositella käytettäväksi pääkaupunkiseudun ulkopuolelle ulottuvissa joukkoliikennesijoitteluissa.

Eräät junalinjat, esimerkiksi Hämeenlinna-Helsinki, on koodattu vuorovälipohjaiseen linjastoon moneen kertaan, jos junien nopeudet eroavat toisistaan, vaikka koodatut linjat pysähtyvät täsmälleen samoilla pysäkeillä. Tämä on käyttäjän syytä huomioida ainakin seuraavissa yhteyksissä:

- Junien vuoroväliä vaihdettaessa on tarkistettava, että vaihto tehdään kaikkiin tarvittaviin kohtiin.
- Sijoittelun yhteydessä ei kannata käyttää vuorovälin arvolle maksimirajoitetta (headway with maximum), sillä rajoitus aiheuttaisi tuloksiin epärealistisen pieniä odotusajkoja näille linjoille. Tämä johtuu siitä, että jotkin linjat on kuvattu monena eri linjana, joilla on suuri vuoroväli. Tämä on myös INROn suositus.

Bussiliikenteen käyttämissä viivytysfunktioissa otetaan huomioon autoliikenteen nopeudet ja bussikaistat.

2.3.4 Ensimmäisen kierroksen viimeistely

Moduulin 2 jatkoksi kehitettiin lisämoduuli 3, joka jatkaa verkon aggregointia yksityiskohtaisemmalla tasolla. Moduuli 3 huomaa, jos esimerkiksi nopeusrajoitus vaihtuu alle 60 m ennen risteyssolmua, ja siirtää nopeusrajoituksen muutoksen itse risteyssolmun yhteyteen. Kääntymiskaistojen poissaolo korjattiin moduulissa systemaattisella tavalla siten, että jos jonkin linkin kaistamäärä väheni alle 60 m ennen edessä olevaa linkkiä, kaistamääräksi asetettiin se kaistamäärä, joka on edellisellä, risteyksestä kauempana olevalla linkillä.

Yllä kuvattujen ohjelmien suorittamisen jälkeen verkkoa tutkittiin käsin ja esimerkiksi lähtöaineistosta juontuvia puutteita korjattiin. Korjauksia on kuvattu tarkemmin kohdassa 2.4.

2.3.5 Toinen kierros

Käsityövaiheen korjauksien vaikutusten tehostamiseksi sovittiin kriittisten verkkokorjausten jälkeen bussilinjat verkolle uudestaan. Tämä tehtiin toisen kierroksen moduulissa 1, joka on samantyyppinen kuin ensimmäisen kierroksen moduuli 2. Ohjelman ajaminen kesti tässä vaiheessa vähemmän aikaa kuin ensimmäisellä kierroksella.

Joukkoliikennelinjat sovittuivat korjatulle verkolle tarkemmin kuin aikaisemmin, ja aikaisemmin väärille linkeille sijoittuneiden linjojen johdosta verkossa säilyneet linkit voitiin poistaa verkosta, joten verkolle tehtiin lisääggregointia toisen kierroksen moduulissa 2, joka vastaa pääosin ensimmäisen kierroksen 3. moduulia. Lisävaatimuksena oli, että reitin linkeillä on oltava sallittuna bussiliikenne eli kulkutapa b.

Toisen kierroksen aggregointimoduuli korjasi myös makrojen aiheuttamia mahdollisesti nollassa jääneitä toiminnallisen luokan parametreja (linkkiattribuutti *ul2*) täydentämällä näille arvoja viereisiltä, tämän attribuuttiarvon osalta nolasta poikkeavilta linkeiltä.

Käsityövaiheista on raportoitu tarkemmin kohdassa 2.4.

2.3.6 Kolmas kierros

Verkkotyötä määriteltäessä valittiin tarkasteltavaksi alueeksi hieman mallityön käsittämää aluetta suurempi alue osittain siksi, että verkosta on helpompi myöhemmin pudottaa osa pois kuin lisätä. Lisäksi työtä aloitettaessa ei aivan tarkkaan tiedetty, mille alueelle verkonkuvausta tarvitaan. Tästä johtuen Digiroadista on konvertoitu C-ohjelmakierrosten yksi ja kaksi sekä vastaavien käsityövaiheiden jälkeen mallityön kannalta hieman liian iso verkko.

Malliverkkotyössä käytettävän Emme-verkon irrottaminen tehtiin kolmannen kierroksen moduuleilla 1 ja 2. Ensimmäinen moduuli sijoitteli linjaston uudestaan verkolle ja katkaisi joukkoliikennelinjat mahdollisimman tarkasti mallityössä tutkittavan alueen rajalle. Toinen moduuli kiinnitti itsenäisesti ja erillisesti tehdyn rataverkon malliverkkoon sekä tuotti alustavat konnektorit lähtötietoina saaduille osa-alueiden painopisteille.

Eriytettyihin verkkoihin kytkettiin systemaattisesti kiinni erikseen tuotettu rataverkko siten, että jokainen rataverkon pysäkkisolmu yhdistettiin lähimpään autoliikenneverkon solmuun. Yhteydet viimeisteltiin tämän jälkeen käsin tehdyin makroin. Rataverkon kuvauksesta raportoidaan erikseen omassa kappaleessa.

Malliverkkoon tuotettiin automaattisesti konnektorit seuraavalla logiikalla. Jokaiseen väli-ilmansuuntaan koillinen, kaakko, lounas ja luode haettiin sentroidista lähin solmu. Jos lähin solmu ko. ilmansuuntaan oli alle 3 km:n päässä, ja enintään viisi kertaa kaikkien ilmansuuntien yli lasketun minimietäisyydellä olevan solmun päässä, yhdistettiin sentroidi solmuun joukkoliikenteen konnektorilla. Linkin kulkutavaksi tuli "a", paitsi lähimpään solmuun yhdistettäessä "ac", jolloin kyseinen linkki toimii myös autoliikenteen konnektorina.

2.3.7 Rataverkon konversio

Rataverkon konversio perustui JOREsta saataviin raideliikenteen pohjaverkkoihin, joita täydennettiin niin, että kaukojunat voitiin kuvata työssäkäyntialueen rajalle saakka.

JOREsta generoitiin lähijunien käyttämät junaverkot, raitiotieverkot sekä metrolinjat linjamäärittelyjen generoinnin yhteydessä, joka tehtiin C-kielellä kirjoitetulla moduulilla *ratika_ja_junat.exe*. Aikataulutiedot JORE-aineistoon saatiin aikaisemmin mainitulla ohjelmalla *jore_aja.exe*.

VR:n linjakuvaukset tehtiin täydennetylle rataverkolle. Rataverkon täydennyksistä tehty makro on toistettavissa. Linjakuvauksien teossa käytettiin C-kielellä kirjoitettua ohjelmamoduulia Linjat.exe. Kaukolinjoiden linjakuvaukset ovat tarkkoja ja käyttävät junien ajoitukseen joukkoliikenteen viivytysfunktioita (numero attribuutissa ttf) ja us1-segmenttiattribuuttia.

VR:ltä kerätyssä lähtöaineistossa esiintyy jonkin verran sisäistä moninkertaisuutta. Esim. Seinäjoki–Helsinki-junan aikataulussa on annettu informaatio vuorosta, joka on myös ilmoitettu linjan Tampere–Helsinki aikataulutietojen yhteydessä. Tämänkaltaisuus huomioitiin konversio-ohjelmassa, ja jokaisesta monistetusta vuorosta tulostettiin vain yksi ilmentymä Emme-formaattiin.

2.4 Käsiyö [7]

2.4.1 Vuorovaikutuksen ja käsityön periaatteet

Verkon kuvauksen muodostamisessa tehtiin suuri määrä käsityötä, joka on pyritty tekemään toistettavaksi mahdollista verkon päivitystä silmällä pitäen. Kuitenkin käsityön toistettavuuteen tulee suhtautua varauksella lähtöaineiston virheiden ja muuttumisen vuoksi. Jos lähtöaineisto olisi virheetöntä, voisi käsityön toistettavuuteen paremmin luottaa.

Käsityön osuus on myös ollut suuri konversio-ohjelmoinnin testaamisessa ja sen kehittämisessä. Vain systemaattisella verkon läpikäynnillä on ollut mahdollista löytää loogiset virheet tai lähtöaineisto-ongelmat. Tähän onkin suuri osa työpanoksesta kohdistettu.

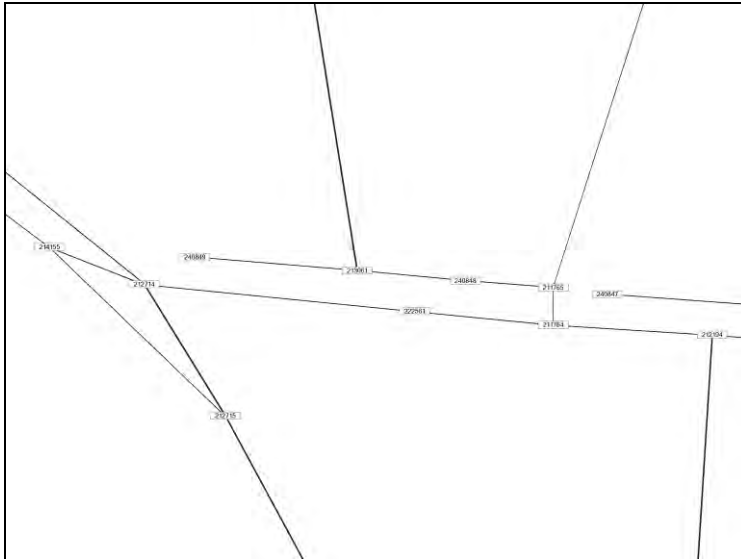
Toimivaksi menetelmäksi kussakin vaiheessa tuotettujen verkkojen testaamisessa osoittautui tuttujen alueiden ja linjastojen yksityiskohtainen ja tarkka tarkastelu. Näin pystyttiin tunnistamaan virheet ja virheiden taustalla ollut logiikka, mikäli ongelma oli lähtöisin konversio-ohjelmasta eikä lähtöaineistosta.

Lähtöaineiston virheitäkin saatiin monessa tilanteessa hyvin korjattua ohjelmallisesti kuten esimerkiksi yksiajorataisten väylien pysäkkien sijainti väärällä ajoradalla tai pysäkkisolmujen puuttuminen kokonaan.

Seuraavissa kuvissa on esimerkkejä lähtöaineiston virheistä. Tapiolan Merituulentien bussikaistoilta ei pääse jatkamaan suoraan. Lisäksi vasemmanpuoleisen kuvan vasemmassa reunassa vastasuuntien pysäkit sijaitsevat samalla puolella kaksiajorataista tietä. Virheet aiheuttivat linjan 12 ja 14 kuvautumisen oikean puoleisen kuvan mukaisena Emmeen. Tukholmankadulta taas puuttuu yhteyksiä.



Kuva 4. Esimerkki lähtöaineiston virheistä Tapiolassa.



Kuva 5. Esimerkki lähtöaineiston virheistä Tukholmankadulla.

Varsinainen verkkoa muokkaava käsityö on nauhoitettu Emmen verkkomakroilla. Käsityötä on tehty niiltä osin kuin saman toteuttaminen ohjelmallisesti olisi ollut mahdotonta, tarpeetoman monimutkaista tai jos lähtöaineistosta ei tarvittavaa tietoa ole ollut saatavilla.

Verkkomakroja kertyi työssä useita tuhansia rivejä. Kuitenkin on selvää, että tämän laajuisen verkon läpikäyminen ei voi olla täydellistä ja virheitä tullaan verkolta löytämään tulevaisuudessa. Käsintehdyissä korjauksissa on keskitytty kriittisimpiin kohteisiin ajoneuvoliikenteen ja joukkoliikenteen osalta ja pyritty toteuttamaan näiden kuvaus mahdollisimman tarkasti. Verkon laajuutta kuvaa se, että lopullisessa Emmen lisenssikokoon 6 mahtuvassa malliverkossa on kaikki skenaariot (aamuruuhka, päivä, iltaruuhka ja ilta) mukaan lukien lähes 12 000 solmua, yli 1000 syöttöaluetta ja vajaa 40 000 linkkiä. Lisäksi skenaarioissa on yhteensä noin 150 000 linjasegmenttiä.

2.4.2 Ensimmäisen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot

Konversion kehittämisen vuorovaikutteinen testaaminen aloitettiin, kun Digiroad-aineistosta saatiin muodostettua ensimmäinen raakaverkko Emmessä luettavaan muotoon. Tässä vaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota joukkoliikennelinjastojen reittien valikoitumisen loogisuuteen ja oikeellisuuteen. Joukkoliikennelinjojen reitit ovat tärkeässä roolissa tässä vaiheessa siksi, että seuraavien moduulien tekemän verkon aggregoinnin onnistuminen riippuu vahvasti reittien kuvautumisesta eikä joukkoliikenteen käyttämää verkkoa seuraavissa moduuleissa aggregoitaisi yhtä voimakkaasti.

Joukkoliikenteen tärkeimmät terminaalit syötettiin numeroituina solmusta 242 000 eteenpäin Digiroadin palvelutason kuvauksen mukaisesti.

Emmen avulla havaittiin lähtöaineistona käytetyssä Digiroad-kuvauksessa (aineisto päivätty maaliskuulle 2008) lukuisia virheitä. Näitä virheitä etsittiin ja korjattiin verkkomakroilla esimerkiksi seuraavista kohdista:

- Tukholmankadun, Paciuksenkadun ja Huopalahdenkadun kuvaukset katkesivat monista kohdista.
- Mannerheimintien ja Nordenskiöldinkadun risteyksestä löytyi väärän suuntainen linkkikuvaus.

- Kampin keskuksen pohjoispuolella kulkeva kävelyalue oli kuvautunut autotieksi ja kaikki Kampin terminaalin pysäkit sijaitsivat tällä linkillä.
- Kampin keskuksen tunneliyhteydet puuttuivat.
- Hämeenlinnanväylän kuvaus katkesi Hyvinkään pohjoispuolella.
- Useilla pääväylillä oli nopeusrajoituksissa kriittisiä virheitä ja muun muassa Itäväylällä rajoitus oli 50 km/h.
- Tapiolan Merituulentien ja Pohjantien liittymässä bussikaistalta ajo suoraan itä-länsisuunnassa ei ollut mahdollinen.

Löydettyjen virheiden korjaamisen jälkeen käytiin systemaattisesti joukkoliikenteen käyttämiä reittejä läpi ja merkattiin joukkoliikennekadut ja -kaistat numeroituina Emmen linkkityypille seuraavasti:

- Tyyppi 100 – ympärivuorokautinen joukkoliikennekaista
- Tyyppi 101 – aamupäivän huipputuntina voimassa
- Tyyppi 102 – aamupäivän ja iltapäivän huipputunteina voimassa
- Tyyppi 103 – iltaa ja yötä lukuun ottamatta voimassa.

Samassa yhteydessä rajoitettiin joidenkin verkon linkkien käyttöoikeutta bussien osalta, jotta joukkoliikenne saatiin pois sellaisilta linkeiltä, joilla joukkoliikennettä ei kuulu kulkea. Tässä vaiheessa reittien kuvaus tarkentui oleellisesti konversio-ohjelmaan lisätyn ja edellä kuvatun pseudopysäkkejä luovan ohjelman ansiosta.

Ensimmäisen kierroksen moduulien tuottama verkko mahtui Emmen lisenssikokoon 7. Moduulin 1 jälkeisillä verkkomakroilla ”siivottiin” lisäksi verkkoa siten, että se saatiin mahtumaan karsimisen ja toisen konversiokierroksen jälkeen lisenssikokoon 6. Karsimalla poistettiin noin 500 solmua verkon reuna-alueille tehtyjen toimenpiteiden avulla. Enimmäkseen karsimalla yhdisteltiin tarpeettomia muotopisteitä ja soveltuvien osien nopeusrajoitusten vaihtumisten vuoksi verkolle jääneitä solmukohtia lyhyillä linkeillä.

2.4.3 Toisen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot

Toisen kierroksen moduulien tuottamaa verkkoa korjattiin laajasti ja systemaattisesti käsityönä. Tässä vaiheessa lisättiin myös joitain kävelylinkkejä lähinnä tärkeimpien bussiterminaalien ja keskustan alueille.

Kaikki verkon eritasoliittymät sekä pääväylät käytiin läpi yksitellen ja niistä löytyneet virheet (vääransuuntaiset linkit, kaistamäärät, bussirampit, rampit, yms.) korjattiin nauhoitetuilla verkkomakroilla.

Kaksiajorataisten teiden pysäkkisolmut yhdistettiin muuhun verkkoon ja toisiinsa kävelylinkein. Erityistä huomiota kiinnitettiin pääkaupunkiseudun alueeseen, jolla tarkkojen ilmakuvien avulla saatiin kävely-yhteydet vastaamaan paremmin todellisuutta. Tämä paransi vaihtojen kuvautumisen tarkkuutta merkittävästi aiempaan verkon kuvaukseen nähden.

Näiden lisäksi korjattiin verkolta vielä löytyneet systemaattiset virheet ja puutteet kuten joidenkin attribuuttien puuttuminen. Osa korjatuista virheistä johtui Digiroad-aineistosta ja osa aiemman käsityön vaiheista, kun toimintatavat eivät vielä olleet standardisoituneet ja työn eteneminen oli jatkuvassa muutostilassa.

Ennen kolmatta konversiota lisättiin verkon kaikille yksisuuntaisille linkeille vastasuunnan kävelylinkki, koska erillistä kevyen liikenteen verkkoa ei tehty (joitakin käsityönä tehtyjä poikkeuksia lukuun ottamatta).

2.4.4 Kolmannen kierroksen moduulien tuottaman verkon testaus ja verkkomakrot

Viimeisen eli kolmannen kierroksen moduulien tuottamasta verkosta luotiin lopullinen malliverkko. Tämän verkon jatkojalostaminen aloitettiin kiinnittämällä rataverkko muuhun verkkoon mukaillen aitoja olemassa olevia kävely-yhteyksiä pääasiassa ilmakuvamateriaalin ja HKL:n käyttämän verkkokuvauksen pohjalta. Kaikki (ilmakuvamateriaalin rajoitteiden vuoksi lähinnä pääkaupunkiseudun) raideliikenteen asemat käytiin huolellisesti läpi vaihtotapahtumien toiminnallisuuden varmistamiseksi.

Tässä vaiheessa raitiovaunuverkolle syötettiin ohjelmallisesti JOREn tietokantaan perustuvat linkkikohtaiset vuorokaudenaikaan sidotut nopeudet, joita raitiovaunujen nopeusfunktiot käyttävät. JORE- ja VALLU-bussilinjastojen nopeusfunktiot on sidottu puolestaan ajoneuvo liikenteen nopeusfunktioihin, jotka määriteltiin erikseen käynnissä olleessa funktiotyössä.

Kauko- ja lähijunien linjakuvaus sisältää kunkin linjan osalta tiedon asemien välisestä matka-ajasta. Nämä matka-ajat poimittiin käsin VR:n aikataulupalveluista linjakohtaisesti ja suunnit-
tain. Linjastot muodostettiin ohjelmallisesti vastaamaan nykyisiä junalinjoja. Edelleen ohjel-
mallisesti kiellettiin VALLU-bussien ja kaukojunien käyttäminen Kehä III:n rajaaman alueen
sisäisillä matkoilla.

Kolmannen moduulin tuottamat JORE- ja VALLU-linjastot käytiin tässä tarkemmin läpi vas-
taamaan tarjouksessa kuvattua strategista linjaston kuvaustarkkuutta. Yksittäisiä linjoja
käytiin satunnaisesti läpi useita kymmeniä ja niiden todettiin vastaavan pääpiirteittäin hyvin
todellista tilannetta. Linjaston läpikäynnissä keskityttiin korjaamaan systemaattisia virheitä
joita oli esimerkiksi seuraavia:

- Länsiväylää käyttävät bussit kulkivat kaikki Lauttasaaren kautta, koska matka on sitä
kautta lyhyempi eikä sillä välillä ole Länsiväylällä pysäkkiä, joka olisi ohjannut linjat
oikealle reitille.
- Edellisen kanssa vastaavanlaisia ongelmia oli myös Lahdenväylällä, Helsinginkadul-
la, Sturenkadulla ja Turunväylällä.
- Lukuisia JORE-linjaston korjauksia, joissa linjojen päättymis- ja lähtöpysäkit olivat eri
kohdissa.
- JORE ja VALLU-linjojen tärkeimmät päätepisteet korjattiin yksitellen. Läpikäytyjä
paikkoja olivat muun muassa bussiterminaalit sekä juna- ja metroasemien ympäristö.
Erityistä huomiota kiinnitettiin Helsingin keskustan alueelle päättyviin linjastoihin.

Kolmannen konversion jälkeen ensiksi tuotettujen verkkomakrojen ajamisessa ilmeni joitain
virheilmoituksia ajettaessa niitä myöhemmin. Ongelmat johtuivat syöttöalueiden muuttumi-
sesta sekä uudella logikalla tuotetuista syöttölinkeistä. Virheilmoituksia ilmeni lähinnä käve-
lylinkkien syöttämisessä ja kuvauksen havainnollisuuden parantamisessa, kun joitain solmu-
ja oli käsityönä siirretty paremmin todellisuutta vastaavaan paikkaan eikä kaikkia niihin
aiemmin liittyneitä syöttölinkkejä kuvauksesta löytynyt. Virheilmoituksista johtuneita ongelmia
korjattiin edelleen käsityönä eikä niistä lopulta aiheudu kuin lähinnä kosmeettista haittaa
makroja ajaessa. Edelleen korjailtiin verkosta muun läpikäynnin ohella löytäneitä virheitä
kuten pysäkkien sijainteja, kaistamääriä ja kävely-yhteyspuutteita.

2.5 Tarkistuskierrros [8]

Verkon kuvausten tarkemmassa tutkimisessa ja tehtäessä sijoitteluja todettiin, että joitakin asioita pitää vielä tarkistaa.

2.5.1 JORE-linjasto

Linjasto käytiin läpi linjakohtaisesti. Muutoksia tehtiin lähes sadan linjan osalta. Pääosin linjamuutokset olivat pienehköjä kuten

- Linjat päättyivät yhtä pysäkkiä liian aikaisin (n. 50 kpl).
- Linjat kulkivat rinnakkaista katu/tietä, jos välillä ei ollut pysäkkiä (n. 20 kpl).
- Linjat tekivät pieniä lenkkejä yrittäessään päästä pysäkillä, jolle niiden ei oikeasti kuulunut mennä (n. 20 kpl).

Osa linjoista tai niiden suunnista kuitenkin puuttui (n. 30 kpl), jolloin ne piti luoda alusta lähtien. Suurin osa linjakuvauksista löytyi vanhojen konversiovaiheiden linjatulostuksista. Siitä, mihin linjat olivat konversiokierrosten välissä kadonneet, ei ole tietoa.

Linjojen luku ei aluksi onnistunut, koska verkolla oli linkkipuutteita tai virheellisiä yksisuuntaisia katuja. Kun verkon ongelmia oli korjattu, saatiin linjat luettua sisään.

Koko vuorokauden linjasto olisi ollut hyvä pitää yhtenäisenä (ilman jakamista aikajaksokohtaisesti skenaarioihin) loppuun saakka. Se ei kuitenkaan ollut mahdollista Emmen segmenttimäärän rajoitusten vuoksi.

Linjaston vuoromäärät tarkastettiin ja ajettiin Jore_ajat.exellä uusi vuorovälitulostus. Uusi ajo tuotti huomattavasti paremman tulostuksen, kun linjastoa oli täydennetty. Vuorovälien todettiin vastaavan hyvin todellisuutta. Muutamia erikoistapauksia käytiin läpi manuaalisesti aikataulujen avulla.

Jore_ajat.exen lähtötietona käyttämä lahto.dat on JOREsta tulostettu linjastotiedosto. Se sisälsi myös pyhäpäivien ylimääräisiä vuoroja ja viikonloppupäiviä, mikä oli aiempien konversiovaiheiden kannalta hieman ongelmallista. Tulevaisuuden mahdollisissa päivityksissä tulee kiinnittää tarkemmin huomiota kyseisen tiedoston tuottamiseen. Se kannattaisi tuottaa yhden tavalliselta viikonpäivältä. Toisena lähtötiedostona käytettiin Emmen linjatulostusta, jonka linjanumeroille etsitään vastaavuudet tiedostosta lahto.dat. Emmen linjatulostuksesta tulee huomata, että siinä ei saa olla turhia välilyöntejä, muuten ohjelman suorittaminen keskeytyy. Myös Emmen tuottamat '-merkit tulee poistaa linjanumeron yhteydestä. Linjatulostuksen rivien tulee olla seuraavanlaisessa muodossa:

```
a 10 b 3 20.00 30.00 ""1014B"1' 0 0 0
```

Helpon linjatulostuksen muotoilu sopivaksi tapahtuu tehokkaalla tekstieditorilla, kuten esimerkiksi Notepad++ tai Vedit.

2.5.2 Kauko- ja lähiliikenteen bussilinjasto eli VALLU-linjasto

VALLU-linjojen osalta reittejä tarkistettiin pääkaupunkiseudun sisällä. Tarkistuksia tehtiin reittien ja pysäkkien osalta. Pysäkkejä lisättiin ja sijainteja korjattiin MapInfo-aineiston pohjalta, missä kauko- ja lähiliikenteen pysäkit on kuvattu. Reittejä korjailtiin pääkaupunkiseudulla siten, että verkolla "harhailevia" linjoja kerättiin tiedetyille pääreiteille. Matkahuollon reittikoordinaattorin lausunnon perusteella reitit ja vuoromäärät pääkaupunkiseudun sisällä vastaavat hyvin todellisuutta.

2.5.3 Syöttöalueet ja syöttölinkit

Syöttölinkit käytiin valtaosin läpi pääkaupunkiseudun alueella. Muutoksia tehtiin suurimpaan osaan. Muutoksia tehdessä käytettiin sijoittelualueiden MapInfo-kuvauksia hyödyksi. Kuvausten pohjalta syöttölinkkejä muokattaessa pyrittiin kuvaamaan aluejaon maankäytön sijoitumista ja maankäytön tonttiliittymiä niiltä osin kuin se oli järkevää. Soveltuvissa paikoissa pyrittiin yhdistämään syötöt lähimmille järkeville katuverkon solmuille, jotta liikenne käyttäisi katuverkkoa, jos suinkin mahdollista. Tällä yritettiin välttää entisenkaltaisia ”hämähäkinverkolta” näyttävää syöttölinkistöä. Havaitut epäloogiset syötöt kuten moottoriteiden, jokien, järvien tai rautateiden yli korjattiin.

Samassa yhteydessä luotiin useita kevyen liikenteen yhteyksiä kuvaavia linkkejä sellaisiin paikkoihin, joihin ne soveltuivat ja joista yhteyden puuttumisen arveltiin olevan ongelma. Kevyen liikenteen linkkejä luotiin esimerkiksi keskuspuiston läpi Ruskeasuolta Pasilaan, moottoriteiden alitusten kohdille, Lehtisaaresta Lauttasaaareen, Suomenojalta Matinkylään rantaraittia pitkin jne.

Joitain yksittäisiä autosyöttöjä lisättiin alueille, joissa verkolle syöttyvien autojen määrä aiheutti katuverkon kapasiteettiongelmaa.

2.5.4 Teiden ja katujen ominaisuudet

Funktioita, kaistamääriä ja kapasiteetteja korjattiin lukuisista linkeistä. Erityisesti keskityttiin etsimään ja korjaamaan pullonkauloja, joista aiheutui pitkiä viipeitä. Erityisiä pullonkauloja olivat muun muassa Mäkelänkadulla ja Ruoholahdenkadulla olleet virheelliset kaistamäärät. Ne olivat väärin Ruoholahdessa, koska Digiroad ei sisällä tietoa kääntymiskaistoista.

2.5.5 Raitiovaunujen kuormitusongelmat

Raitiovaunut eivät edellisessä verkon versiossa saaneet juurikaan matkustajia. Tämä johtui yksinkertaisesta koodausvirheestä, jonka takia linjat pysähtyivät pysäkkien jälkeisessä solmussa. Tämä korjattiin ohjelmallisesti ja tarkistussijoitteluissa kuormitusongelmaa ei korjauksen jälkeen havaittu. Joitain raitiovaunuverkon kävely-yhteyksiä tarkistettiin ja niiden todettiin olevan pääsääntöisesti loogisesti oikein.

2.5.6 Verkon jatkokehitystarve (bussien autoekvivalentit)

Jatkossa kannattaa ehkä kokeilla bussien huomioimista verkon liikennemäärissä. Valtaosalla verkkoa bussien määrällä ei juuri ole käytännön merkitystä, mutta varsinkin lähempänä Helsingin keskustaa alkaa bussimäärä vaikuttaa hyvin oleellisesti. Esimerkiksi Mannerheimintiellä ja Porkkalankadulla bussien määrä kohoaa yli sataan bussiin tunnissa, jolloin niiden autoekvivalentti vastaa 200–300 henkilöautoa. Kokeilu olisi melko yksinkertaista toteuttaa, koska bussien liikennemäärät linkeillä saadaan linjastokuvauksen vuoroväleistä ja niitä voidaan käyttää autoliikenteen sijoittelun lähtötietoina.

2.6 Ohjeita verkon käyttäjälle [8]

2.6.1 Solmut ja alueet

Solmunumerointi ei saa ylittää 260 000:a. Rajoitus johtuu konversio-ohjelman muistiavaruuden rajoituksesta. Vapaita solmunumeroita on välillä 243 060–249 999. Kun verkolle lisätään solmuja, numerointi kannattaa tehdä juoksevasti numeroa 243 060 seuraavasta vapaasta solmusta lähtien. Juoksevan numeroinnin avulla on eri käyttäjien myös helpompi saada näkyville verkon viimeiset muutokset ja tarkistaa, onko verkko sama kuin pääkaupunkiseudulla mahdollisesti säilytettävä ”virallinen” verkko.

Alueet on muodostettu MapInfolla tehdyn aluejaon perusteella sijoittaen alueiden painopisteisiin sentroidit, jotka on yhdistetty syöttölinkeillä verkolle erityisesti edustamaan mahdolli-

simman hyvin kyseistä pistettä. Sentroidit eivät siis niinkään edusta aluetta ja sen maankäytön sijoittumista vaan paremminkin yhtä yksittäistä pistettä. Näin tehtiin siksi, että maankäyttö muuttuu ja silloin pitäisi myös sentroidien kohtia tarkistaa, jos haluttaisiin pysyä mahdollisimman aidossa kuvauksessa.

Sentroidien numeroavaruus kattaa välin 1–39 999. Autoliikenteen ulkosityttöjen numerot alkavat 39 001:stä. Niitä on 36 ja ne sisältävät mahdollisuuden ulkosityttökävelyille. Ulkositytöt numerosta 39 300 (3 kappaletta) lähtien ovat rautateiden ulkosityttöjä.

Alueita lisättäessä tulee huomioida se, että matriisit sekoittuvat, jos sentroideja yksinkertaisesti lisätään vanhojen aluenumeroitten väliin. Sekoittuminen on kyllä vältettävissä työläällä menettelyllä, mutta suositeltavaa on, että aluenumeroinnista riippumatta uudet alueet lisätään alueille varattuun tilaan välille 39 400–39 999. Näin menetellen on myös helposti nähtävissä, mitkä alueet ovat jälkeinpäin lisättyjä ja mitkä ovat ”alkuperäisen” verkon aluejaon mukaisia.

Tämän raportin liitteenä 1 ovat ulkosityttöjen selitteet.

2.6.2 Kuljutavat

Verkon kuvauksessa käytetyt kuljutavat ovat:

- a = kävely
- A = ulkosityttökävely (käytetty ainoastaan ulkositytöissä)
- b = pääkaupunkiseudun sisäinen bussi (JORE)
 - numerointi JORE-tunnuksen mukaan (viimeinen numero suunta 1 tai 2)
 - vuorovälit JORE-tulostuksen vuoden 2007 syksylinjastosta
- B = myös pääkaupunkiseudun ulkopuolella liikennöivä bussi (VALLU)
 - numerointi juoksevilla numerolla
 - alussa tunnus V
 - kuvaus description-kentässä
- c = autoliikenne
- m = metro
- r = lähijunaliikenne (numerointi linjakentässä muotoa 300xxy, y = suunta)
- R = kaukojunaliikenne
 - juokseva numerointi linjakentässä 5200 ->
 - kuvaus reitistä description-kentässä
- t = raitiovaunut
 - numerointi JORE-tunnuksella linjakentässä.

Linjojen JORE-tunnusta kuvataan tarkemmin kohdassa 4.9.2.

2.6.3 Alueiden syötöt

Alueet on syötetty pääasiassa lähimmille verkon solmuille geometrisesti laskettujen etäisyyksien mukaisilla linkeillä. Syötöillä ei siten pyritä kuvaamaan tarkasti koko aluetta maankäyttöineen, vaan alueen keskipistettä edustavaa sentroidia. Näin saatiin syöttöliikenne näkymään verkolla entistä paremmin ja välttyttiin sekavilta syöttölinkkien ”hämähäkinseittimäisiltä” kuvauksilta.

2.6.4 Kulkuvälineet ja niiden nopeuksien määräytyminen

Henkilöautojen nopeus määräytyy valittujen funktioiden ja kaistamäärän mukaan liikennemäärän funktiona. Funktioiden parametrina on mm. linkin kapasiteetti. Sen sijaan bussien määrä linkillä ei vaikuta muiden ajoneuvojen nopeuksiin.

Jos bussikaistaa ei ole, bussien nopeus määritetään henkilöautoliikenteen nopeuden mukaan siten, että siihen lisätään kiinteä kilometrikohtainen viive kuvaamaan pysäkkien vaikutusta. Linkeillä, joilla on bussikaista voimassa kyseisenä ajankohtana, nopeus määritetään vapaan nopeuden perusteella eikä se ole riippuvainen henkilöautojen määrästä.

Raitiovaunujen nopeus määritetään kuten aiemminkin *u1*-kentän arvoista *xyyyzz*, jossa *xx* on aamuruuhkan, *yy* päivätunnin ja *zz* iltaruuhkan keskinopeus (km/h).

Junien ja metron nopeus on toteutettu sijoittamalla aikataulutietojen pohjalta kunkin linjan segmenttitietoihin *us1*-kenttään tieto peräkkäisten asemien välisestä matka-ajasta minuutteina. On huomattava, että tarkasteltaessa junien nopeuksia näkyy aika eli *timtr* vain pysäkkiä edeltävässä linkissä.

Viivytysfunktioista on tarkempaa tietoa kohdassa 4.6 ja tämän julkaisun osassa D.

2.6.5 Uusien bussilinjojen luonti ja linkkien ominaisuuksien muuttaminen

Kun tehdään uusia bussilinjoja, korjataan vanhoja tai muutetaan linkkien ominaisuuksia, on tämän jälkeen ajettava funktiomakrojen 4 ja 5 aamu-, päivä- tai iltaversio kyseistä aikaskaariota vastaavasti. Nämä makrot luovat kullekin linjan segmentille vakion, joka viivytysfunktiossa lisätään linkin ajoaikaan, sekä valitsevat käytettävän viivytysfunktion bussikaistojen voimassaoloaikaan perustuen.

Linkkien ominaisuustietoja muutettaessa on hyvä tietää, että *u1*- ja *u2*-kenttien arvoja muuttamalla vaikutetaan funktioon eikä funktiomakroja tarvitse ajaa toimenpiteen jälkeen. Jos kuitenkin muutetaan tien tyyppiä tai toiminnallista luokkaa, tulee linkin kysyntäfunktion valinta ajaa makroilla uudestaan tai valita sopiva funktio manuaalisesti ja syöttää se linkin *vdf*-kenttään. Linkin funktiota valitessa tulee funktiotyön raportista (osa D) katsoa mahdolliset (luokalle ja tyyppille sopivat) funktiot, jotta ne säilyvät yhtenäisinä.

Kun luodaan uusia VALLU-bussilinjoja tai kaukojunalinjoja, tulee pääkaupunkiseudun alueen sisäiset matkat kieltää käyttämällä noboa- ja noali- segmenttitietoja (eli pysäkkien nousu- ja poistumiskieltoja).

2.6.6 Linjastopäivitys

Kun tehdään linjastopäivitystä ja halutaan saada vuorovälitiedot automaattisesti päivitettyä ohjelmalla *jore_ajat.exe*, tulee linjojen Emme-tulosteiden olla seuraavassa muodossa.

```
a 10 b 3 20.00 30.00 ""1014B"1' 0 0 0
```

Ohjelma etsii '-merkkien sisältä JORE-tunnuksen ja laskee tiedostosta *lahdot.dat* sitä vastaavan vuoroväliarvon. Näin ollen uusia linjoja tehtäessä tulee kiinnittää huomiota JORE-tunnusten oikeellisuuteen. On huomattava, että *jore_ajat.exe* ei luultavasti toimi Emmen tulostusmuodossa, jossa JORE-numero on linjakentässä. Se on siten siirrettävä tekstieditorilla tai muulla tavoin *description*-kenttään. *Lahdot.dat* -tiedostoon kannattaa sisältää tulostus vain yhdeltä arkipäivältä.

2.6.7 Joukkoliikenteen sijoitteluparametrit

Verkkotyön yhteydessä kokeiltiin jonkin verran erilaisia sijoitteluparametreja. Nykyisin käytössä olevat parametrit rankaisevat joukkoliikenteen käyttämisestä lyhyillä matkoilla, kun nousuvastus on 5 minuuttia + linjan ominaisuuksien perusteella laskettu nousuvastus. Vaihdamisen logiikkaa vääristää myös vuorovälin merkityksen pienentäminen lähes puoleen vuorovälin puolikkaasta (0,5 -> 0,3:een). Tämä on vähentänyt halua käyttää joukkoliikennettä lyhyisiin matkoihin, mitä on puolestaan korjattu painottamalla kävelyaikaa kertoimella 2.

Tehtyjen sijoittelujen ja loogisen pohdinnan perusteella vaikuttaisi siltä, että painoja kannattaa muuttaa seuraavaan suuntaan:

- Odotusajan kerroin (wait time factor) korjattaisiin vuorovälin puolikkaaksi (0,3 -> 0,5:een). Tämä pienentää vaihtamisen vastusta tiheästi liikennöidyillä reittiväleillä. Tämän pitäisi olla loogisesti oikein, koska vaihtoon sisältyy aina epävarmuutta. Näin ollen sellaiset vaihtopaikat ovat parempia, joista myöhästymisen suunnitellusta kuluneuvosta ei johda niin pitkiin odotusaikoihin. Kun linjasto on riittävän tiheä, ei matkoja tarvitse juurikaan etukäteen suunnitella ja ajoittaa.
- Linjakohtainen nousuvastus eli boarding time laskettaisiin linjakohtaisesti ainoastaan busseille kuvastamaan linjan luotettavuutta eli matka-ajan hajontaa. Arvot sijoittunevat välille 1–10 minuuttia riippuen linjan pituudesta ja reitillä käytetyn verkon ruuhkautumisesta.
 - Arvo voitaisiin laskea kenttään @ul1 siten, että kunkin linjan segmentin nopeutta verrattaisiin kyseisen linkin nopeusrajoitukseen ja näiden erotus lisättäisiin linjan yhteenlaskettuun luotettavuusmuuttujaan. Tämä kentän @ul1 arvo annettaisiin linjan boarding timena. Menettely on melkein sama kuin aiemminkin käytetty, mutta sillä olisi selkeämpi muuttuja, jonka perusteella arvo lasketaan.
 - Kuvattu tapa linjakohtaisten nousuvastusten laskentaan olisi dynaaminen ja soveltuisi erinomaisesti tulevaisuuden skenaarioiden tarkasteluun, kun verkon ruuhkautuminen tai bussikaistojen mallintaminen vaikuttaisi suoraan linjojen kysyntään. Vastaavanlainen matka-ajan hajontaan perustuva muuttuja voisi olla mahdollista laskea myös henkilöautoliikenteelle vastusmatriisiin.
- Solmukohtainen nousuvastus voisi olla hyvinkin pieni johtuen odotusajan kertoimen tasapainottavasta vaikutuksesta. Järkevä arvo voisi löytyä 0 ja 3 minuutin välillä.
- Kävelyajan kerroin vaikuttaa liian suurelta. Erityisesti työpaikkaliikkumisessa ollaan usein kiireisiä ja ajalla on suuri arvo. Tästä syystä pyritään nopeimpiin mahdollisiin reittivalintoihin. Kävelyvastuksen arvon kannattanee olla sama odotteluajan arvon kanssa. Arvojen järkevä haarukka sijainnee välillä 1,3–1,6.

Suurimpana kysymysmerkkinä kuvatuissa vastuksissa on lähinnä kehyskuntien joukkoliikenteen käyttäjät. Kehyskunnissa kerroin 0,3 antaa epärealistisen pitkiä odotusaikoja. Todellisuudessa matkat suunnitellaan etukäteen eikä pysäkillä mennä satunnaisesti. Ongelma ei kuitenkaan välttämättä ole niin paha, koska harvan liikennöinnin vuoksi ei liikkujilla välttämättä ole muita vaihtoehtoja. Sen sijaan todellisessa joukkoliikennekaupungissa ei matkoja tarvitse suunnitella etukäteen tarkasti – pitää vain tuntea hyvät vaihtoehdot. Joukkoliikennekaupungissa tulisi keskimääräisen odotusajan kertoimen olla siksi 0,5.

Sijoitteluparametrien käyttöönotto vaatii testaamista ja logiikan tarkistamista. Tarkemmin parametreja voidaan testata, kun kunnollinen kysyntämatriisi on olemassa ja kuormituksia ja nousumääriä päästään vertaamaan tunnettuihin arvoihin.

Kohdassa 5.4 kuvataan tarkemmin ratkaisuja, joihin lopulta päädyttiin.

2.7 Jatkotyö

YTV sai em. konversiossa käytettyjen C-kielisten ohjelmien lähdekoodit. Niinpä konversio olisi mahdollista tehdä uudelleen uudemmissa Digiroad-, JORE- ja VALLU-aineistoista. Kuten edellä kuvatusta voi päätellä, konversion tekeminen ei ole aivan helppoa. Niinpä muutoksia nykyverkon kuvauksiin on tehty editoimalla eikä ajamalla konversioprosessi käsityövaiheineen uudelleen. Ennustevuosien tilanteesta ei rekisteritietoja edes ole käytettävissä, ainakaan vuotta pitemmälle ajalle.

3 Ennustevuoden verkkomallin teko

3.1 Johdanto [4]

Ennusteverkkotyössä pyrittiin mallintamaan uudelle verkolle mahdollisimman tarkka ja viimeisimpään käsitykseen perustuva PLJ 2007:n mukainen vuoden 2030 ennustetilanne. Sitä tarvittiin ennustejärjestelmän testauksessa. Samalla se oli pohja varsinaisessa liikennejärjestelmätöissä (HLJ 2011) tarvittaville kuvauksille. Työn lähtökohta oli haasteellinen ja kiinnostava, koska uudelle verkolle ei aiemmin ollut mallinnettu uusia hankkeita eikä aikataulu antanut mahdollisuutta edetä rauhallisesti.

Käytännössä aiempaa monimutkaisemmaksi työn teki verkon tarkkuus, mallinnettavat entistä monimutkaisemmat järjestelmäliittymät moniajorataisilla osuuksilla, hankkeiden selvittäminen tiukassa aikataulussa sekä bussilinjojen valtava määrä muokattavalla verkolla.

Työ aloitettiin mallintamalla syksyn 2009 tilanne. Edellinen verkkokuvaus oli mallinnettu Digiroadin vuoden 2007 tilanteesta ja muutamia oleellisia hankkeita oli nyt tarpeen päivittää verkolle: Turunväylä, Hakamäentie, Vuosaaren sataman yhteydet jne. Nykytilanteen joukkoliikennelinjastoja ei päivitetty kahden vuoden takaisesta, koska muutosten ei arveltu olevan kovin merkittäviä. Sen sijaan ennustevuosien kuvauksissa niihin tultaisiin tekemään suuria muutoksia Länsimetron, Kehäradan ja Espoon kaupunkiradan vaikutusalueilla.

Uusia hankkeita mallinnettaessa tuli linkeille valita nopeusrajoitustieto, kapasiteettitieto ja funktiotyyppi samalla logiikalla kuin aiemmassa työssä valittiin Digiroad-linkkitietojen perusteella. Tämä tehtiin vertaamalla mallinnettavaa kohdetta vanhalta eli edellisen ennustejärjestelmän verkolta löytyvään vastaavaan kohteeseen. Vanha kuvaus kattoi vain pääkaupunkiseudun neljä kuntaa.

Vuoden 2009 tilanteen mallintamisen jälkeen siirryttiin mallintamaan vuoden 2030 tilannetta. Tässä oli pääperiaatteena, että pyritään rakentamaan aiempaa mallia vastaava järjestelmä vastaavilla hankkeilla, kuitenkin ottaen huomioon uusimpien suunnitelmien mukainen toteutus.

Kiteytetysti sanottuna mallinnettiin siis kaikki PLJ 2007:n mukaiset hankkeet sekä ne kaupunkien omat hankkeet, jotka on aiemminkin mallinnettu tai jotka olivat muusta syystä välttämättömiä (kuten Länsimetron linjaston kannalta välttämättömät uudet katuyhteydet). Lisäksi seudun ulkopuolelta mallinnettiin Tiehallinnon TTS-suunnitelmissa olevat hankkeet. Joukkoliikennelinjastojen osalta jouduttiin tekemään jonkin verran kompromisseja muun muassa kaupunkiradan ja Länsimetron linjastojen yhteensovittamiseksi. Linjastosuunnitteluun ei tässä yhteydessä ollut resursseja. Myös Helsingin keskustan bussilinjastoon on luultavasti jäänyt paljon ylimääraista kapasiteettia ja päällekkäisyyksiä Pesaralengin, Töölön metron sekä Jätkäsaaren ja Kruunuvuoren rannan raitiovaunulinjojen jäljiltä.

3.2 Verkko 2009 [4]

Bussilinjastoja ei päivitetty vuoden 2007 tilanteesta. Päivitykset perustuvat suunnitelmakuviin tai mahdollisiin ilmakuviin.

Tiet ja kadut:

- Uuden Turunväylän eritasoliittymät. Lähde: pääosin maps.google.fi –kartta.
- Espoonlahden eritasoliittymä. Lähde: suunnitelmakartta Espoo.fi sivustolta.
- Porintie Nummela–Turunväylä. Lähde: Tiehallinnon www-sivut.
- Länsiväylän Suomenojan sillalta 3. kaista itään Matinkylään saakka.
- Hakamäentie (valmistui 23.9.2009) eritasoliittymät ja bussireitit. Lähde: suunnitelmakartta Tiehallinnon www-sivuilta.
- Vuosaaren satama (valmistui 2008). Lähde: Maps.google.fi + Vuosaaren www-sivut.

- Raitiolinjojen 3 ja 9 muutokset. Uudet, talviaikataulukauden 2008–2009 aikana käyttöön otetut linjaosuudet ovat kaksisuuntaisina linkkeinä ajoradan vieressä. Lähde: HKL:n kartat.
- Kampin liikennejärjestelyt koodattiin Helsingin KSV:n www-sivuilta löytyvien liikennesuunnitelmapiirustusten perusteella.
- Teollisuuskadun parantaminen ja Tuusulanväylän kaistamäärän korjaus Kehä I pohjoispuolella.

3.3 Verkko 2030 [4]

Verkon koodausta varten haettiin Tiehallinnolta verkon alueen tuoreimmat suunnitelmat. Koodaus tehtiin suunnitelmien mukaan siten, että teiden risteyskohdissa uusien suunnitelma jätettiin verkolle (esim. Turuntien kehittämisselvitys vs. Kehä II yleissuunnitelma).

Hankkeiden vaikutusalueilta sisällytettiin mahdollisia kaupunkien omia suunnitelmia myös SESUn (seutuliikennesuunnitelma) ja PLJ:n ulkopuolelta kuten esimerkiksi Lommilan alueen suunnitelmat. Helsingissä on paljon eriasteisia kaavailuja, jotka jäivät näiden suunnitelmien ulkopuolelle. Niitä ei aikataulusyistä voitu järjestelmällisesti etsiä ja sisällyttää kyseiseen verkkoon.

Aamu- ja päiväskenaariot yhdistettiin työskentelyn helpottamiseksi. Lisenssirajan vuoksi identtisiä linjoja skenaarioiden sisällä yhdistettiin huomioiden vuorovälimuutokset. Yhdistetyt linjat kirjattiin ylös.

3.3.1 Joukkoliikennehankkeet:

- Metro Lauttasaaresta Matinkylään perustuu Länsimetron www-sivujen asemasuunnitelmiin.
- Metro Matinkylästä Kivenlahteen perustuu liityntäliikennesuunnitelmaan. Toinen metrolinja kulkee Kivenlahdesta Mellunmäkeen ja toinen Tapiolasta Vuosaareen. Molemmilla on 5 min vuoroväli.
- Metron liityntälinjasto Espoossa koodattiin liityntälinjastosuunnitelman mukaisena. Länsiväylälinjat poistettiin. Espoon sisäinen ja poikittainen seutuliikenne päivitettiin vastaavasti. Muun muassa Jokeri-bussi poistettiin.
- Länsimetron asemien ja linjaston vaatimat katuhankeet koodattiin verkolle useiden eri lähteiden avulla (tarkennettu käyttäen pääosin SESUun perustuvia muita lähteitä).
- Kehärata on koodattu radan asemapiirustusten ja vanhan PLJ 2007-verkon perusteella. Pysähdysasemat on valittu PLJ 2007:n perusteella. Ympäristön tieverkko perustuu valtatie 3 yleissuunnitelmaan 2006, Kehäradan asemapiirustuksiin ja Vantaan yleiskaavaan.
- Töölön metro koodattiin päivitetyn alustavan yleissuunnitelman (28.5.2008) mukaan välille Kamppi–Pasila 5 minuutin vuorovälillä.
- Raide-Jokeri mallinnettiin uuden alustavan yleissuunnitelman 2009 mukaisena. Raitiovaunuliikenteen nopeustasoa laskettiin yleissuunnitelman perusteella merkittävästi vanhaan PLJ 2007-malliverkkoon nähden. Yhden ajosuunnan ajoaika kasvoi noin 10 minuuttia.
- Jätkäsaaren joukkoliikenne perustuu kaupunginvaltuuston 10.6.2009 päättämään vaihtoehtoon vuodelle 2025. Jätkäsaaren raitiovaunulinjat B1 ja B2 on jatkettu Kruunuvuorenrantaan ja Laajasaloon.
- Raideyhteys Keskusta–Kruunuvuorenranta koodattiin kaupunkisuunnittelulautakunnan kaupunginvaltuustolle esittämän vaihtoehtoon mukaan, jossa yhteys kulkee Sompasaaren kautta. Linja yhdistettiin Jätkäsaaren uusiin raitiovaunulinjoihin, koska parempaa arvausta ei aikataulun puitteissa ollut saatavilla.
- Raitiovaunuyhteys Kalasatamaan perustuu PLJ 2007-verkon raitiovaunulinjaan TT-Ir1.
- Lähijunat 2030 (PLJ 2007:n verkonkuvauksessa teknisistä syistä käytetty EIMK-juna

korvattiin kahdella vastaavalla):

- A-juna jatkettiin Pisaralenkin kautta Keravalle ja K-juna poistettiin. Juna jatkettiin Espoon asemalle PLJ 2007:n mukaisesti.
- M-juna jatkettiin kiertämään Pisaran kautta Kehärataa 10 min vuorovälillä.
- Espoon kaupunkiradan linjasto rakennettiin mukaillen PLJ 2007:ää, Länsimetron liityntälinjastoa ja kaupunkiradan liityntälinjastoa.
- Kauklahden alueella oli voimakkaita päällekkäisyyksiä, joita paikattiin soveltaen.
 - Linjat 2065, 3091 ja 3E3 korvaavat PLJ:n linjat 90, 91 ja 95.
 - Linja 2051 korvaa suunnitelman linjan 93.
 - Linja T2 korvaa linjan 94.
- Pisaralennkki on koodattu PLJ 2007:n Emme-verkon perusteella.
- Vantaan bussilinjasto koodattiin Vantaan linjastosuunnitelma 2008–2013 mukaan Kehäradan jälkeiseen tilanteeseen. U-linjoihin (esim. 495) ei suunnitelmissa otettu kantaa eikä niitä siksi muokattu.
- Helsingin bussilinjastoon lisättiin linja 56 Kalasatamasta Kannelmäkeen 15min/30min vuorovälein. Linja 50 poistettiin ja linjaa 59 jatkettiin Pajamäkeen. Linjan 22 reittiä muutettiin hieman. Muutokset perustuvat HKL:n poikittaislinjaston kehittämissuunnitelmaan sekä Markku Granholmin kanssa käytyyn keskusteluun.

3.3.2 Pääkaupunkiseudun PLJ 2007-tiehankkeet

- Turuntien parantaminen perustuu vuoden 2002 Turuntien kehittämisselvitykseen ja Espoon eteläosien kaavaluonnokseen. Liittymien bussiohitukset on huomioitu. Siihen on lisätty muun muassa Säterinpuistontie yms. ja kiertoliittymät on pääosin mallinnettu kaistamäärineen.
- Espoontien Lommilan alue on mallinnettu Ikäheimon ja Gröhnin suunnitelmaa mukaillen (luonnos 26.11.2008).
- Kehä II ja sen välittömässä läheisyydessä olevien liittymien koodaus perustuvat vuoden 2008 yleissuunnitelmaan. Nopeusrajoitus on Vihdintieltä itään 60 km/h ja länteen 80 km/h.
- Kehä I:n Kivikon eritasoliittymä tiesuunnitelma 2008:n yleiskartan perusteella.
- Kantatie 51 tiesuunnitelma 2005:n mukaan.
- Kivenlahdensolmun eritasoliittymä marraskuun 2008 tiesuunnitelmaluonnoksen mukaan.
- Kehä III:n välillä Vanhakartano–Vantaankoski oleva Petikon eritasoliittymä aluevaraus-suunnitelmasta 2008.
- Länsiväylälle välille Piispansilta–Suomenoja lisättiin 3. kaista länteen.
- Länsiväylä–Kehä II-eritasoliittymän järjestelyt tilavarauksuunnitelman 2006 mukaan.
- Kehä I–Itäväylä-liittymä esiselvityksen 2008 VE 2S mukaisena.
- Turvesolmun eritasoliittymä (Ei ole tiepiirin suunnitelmissa, mutta Espoo tehnee sen itse.)
- Kehä III välillä Mankki–Muurla on koodattu tilavarauksuunnitelma 2000 mukaisesti.
- Kehä I välillä Turunväylä–Vallikallio sekä Turunväylän Vermonsolmu on koodattu tiesuunnitelmien mukaan.
- Vihdintie välillä Haaga–Kehä III perustuu vuoden 2001 kehittämisselvitykseen (pitkän aikavälin suunnitelmat) lukuun ottamatta niitä kohtia, jotka sisältyvät Kehä II vuoden 2008 yleissuunnitelmaan.
- Kehä IV toteutettiin yleissuunnitelma 1996 linjauksen mukaan ilman lentoaseman pohjoispuolisia eritasoratkaisuja. Kulomäentien osuus parannettiin 2+2-kaistaiseksi.
- Hämeenlinnanväylä välillä Kehä III–Luhtaanmäen eritasoliittymä koodattiin yleissuunnitelma 2006:n mukaan.
- Kehä III välillä Vantaankoski–Lentoasemantie koodattiin tiesuunnitelma 2007 yleiskartan sekä Hämeenlinnanväylän yleissuunnitelma 2006 mukaan (sisältää epätarkkuuksia).
- Kehä III:n Askiston eritasoliittymä vuoden 1999 toimenpide- ja aluevarauksuunnitelman

mukaan.

- Pasilanväylän täydentäminen perustuu Pasilanväylän yleissuunnitelman 1992. (Ratapihantien eritasoliittymän ja Kumpulan tunnelin liittymä on mallinnettu karkeammalla tasolla kuin muu verkko.)
- Kehä I ja Karhusaarentie välillä Länsiväylä–Turunväylä pohjautuu alustaviin yleissuunnitelmiin vuodelta 1999. Tapiolan osuus on sovellettu eikä vastaa varsinaisesti suunnitelmia kuin pääperiaatteiltaan.
- Kehä I Idässä Tiehallinnon www-sivujen perusteella
- Kontulan eritasoliittymä tilavaraussuunnitelman 1992 perusteella.
- Myllypuron eritasoliittymästä ei aikataulusyistä saatu suunnitelmia.
- Lahdenväylän, Porvoonväylän ja Kehä III rajaama alue mallinnettiin "Lahdenväylä ja Porvoonväylä välillä Koskelantie–Kehä III kehittämisselvitys 2001:n mukaan.
- Tuusulanväylän parantaminen välillä Käpylä–Kulomäentie perustuu vuoden 1999 kehittämisselvitykseen.
- Valtatie 4 (Lahdenväylä) ja sen rinnakkaistiet välillä Kehä III–Koivukylä perustuvat kehittämisselvitykseen vuodelta 1999. Valkoisenlähteentie tultaneen jatkamaan Jokiniementiehen, mutta sitä ei ole kuvattu, koska yhteys ei ole vanhassa PLJ-verkossa.
- Vihdintien muutos kaksiajorataiseksi (2+2) välillä Kehä III–Lahnus perustuu kehittämisselvitykseen vuodelta 2008. Vain osa väylästä on visualisoitu kaksiajorataiseksi.
- Itäväylä on muutettu 2+2-kaistaiseksi Riskutien ja Kehä III:n välillä.
- Keskustatunneli on koodattu Helsingin liikennesuunnitteluosaston piirustuksen 5547-7 perusteella. Tunneli oli mukana alkuperäisessä PLJ 2007:ssä, mutta myöhemmin se on päätetty jättää rakentamatta.

3.3.3 Pääkaupunkiseudun ulkopuoliset tiehankkeet

- Hyrylän itäinen ohikulkutie perustuu vuoden 2008 yleissuunnitelmaan.
- Kilpilahden uusi tieyhteys yleissuunnitelman 2006:n mukaan.
- Hyvinkään itäinen ohikulkutie yleissuunnitelma 2005:n mukaan.
- Nurmijärvi–Järvenpää yleissuunnitelma 2004:n mukaan.

3.3.4 Katuhankkeet

SESU-hankkeet, jotka on huomioitu vuosien 2009 ja 2030 verkoissa. EOVI tarkoittaa "ei olennaista vaikutusta", joten hanketta ei koodata. Jos hanke on koodattu, on perässä vuosiluku., Jos se aiotaan koodata, sen perässä on vuosiluku suluissa. Hankkeiden sisällöt on koottu useista eri lähteistä eikä niiden koodaus ole välttämättä yhtä tarkkaa kuin tiehankkeiden.

Espoo

- Espoonlahden eritasoliittymä 2009
- Kehä II:n Suurpellon liittymä 2030
- Kuitinmäentien parantaminen 2+2-kaistaiseksi 2030
- Vantinportti EOVI (ei olennaista vaikutusta)
- Sunankaaren jatke 2030
- joukkoliikennekatu Suna–Kuurinniitty 2030
- Juvanmalmin liittäminen Vihdintiehen 2030
- Säterinpuistotie 2030
- Kutsuntatie–Painiityntie EOVI
- Kehä I:n Mestarintunneli 2030
- Turunväylän lisäkaistat 2030
- Leppävaaransolmu 2030
- Vermontie 2030
- Vermonsolmu 2030
- Siuntiontien katkaisu EOVI
- Rastasniityntie, Veininlaaksontie 2030

- Etelätuulentien parantaminen EOVI
- Tapiolan bussiterminaali 2030 / EOVI
- Kuitinmäentie 2030
- Saunalahdenkatu EOVI
- Tillinmäentien Itäosa 2030
- Espoon terminaali ja Radanvarsikatu 2030
- Espoon aseman perusparannus EOVI
- Juvanmalmintien jatke 2030
- Tillinmäentien länsiosa 2030
- Suomenlahdentie ja Finnoon silta 2030
- Lintulaaksontie 2030
- Kehä I:n Säterinsolmu 2030
- Masalantien liittäminen Friisinmäentielle 2030
- Suurpellon kokoojakatu 2030
- Matinkylän terminaali 2030
- Nöykkiönkatu, Kaskitie-Kaskimaa 2030
- Piispansilta 2030
- Siltakadun itäosa ja Sunantie EOVI
- Valhallantie EOVI
- Kauklahden puistotien jatkaminen EOVI
- Perkkaantie EOVI?
- Pitkäjärventie–Riihiniityntie kiertoliittymä EOVI
- Länsiväylän Kivenlahden eritasoliittymä 2030.

Vantaa

- Tikkurilantie 2030
- Kehä III pikaparannustoimenpiteet EOVI (koska PLJ-tiehankkeessa)
- Louhelan radan alitus (mahdollistaa bussien alikulun) EOVI
- Kylmäojan uudet kadut EOVI
- Läntinen Valkoisenlähteentie 2030
- Pihkalantien alaosa 2030
- Pitkäsiima EOVI
- Etelä-Nikinmäen bussien kääntöpaikka EOVI
- Kehäradan asemien seutu 2030.

Edellisten lisäksi Espoonväylälle koodattiin Espoonväylän yleissuunnitelman tarkistus ja Kauklahdenväylä muutettiin 2+2-kaistaiseksi Kehä III:n ja Länsiväylän välillä kehittämisselvityksen (2007) mukaisesti.

3.4 HLJ-vaihtoehdot

Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelmatyössä (HLJ 2011) tehtiin erilaisia skenaarioita vuosille 2020, 2035 ja 2050. Ne on tarkemmin kuvattu HLJ-julkaisussa [3].

4 Kuvausten ominaisuuksia

4.1 Käytetty väylästö

Muutoksena aiempaan sekä auto- että joukkoliikenne on kuvattu samalle pohjaverkolle. Helsingin keskustasta on kuvattu jopa liityntäkadut, muualla pääkaupunkiseudulla kokoojakadut/ yhdystiet ja seudun ulkopuolella alueelliset pääkadut/seututiet.

4.2 Aluejako

Kuvauksessa on pääkaupunkiseudulla 611, muulla Helsingin seudulla (10 kuntaa) 280 ja muulla LITU-alueella 165 osa-alueita. Tässä ns. sijoittelualuejaossa on siis yhteensä 1056 osa-alueita. Pääkaupunkiseudun sisällä aluejako on käytännössä sama kuin aiempi pääkaupunkiseudun joukkoliikennejärjestelmän kuvauksissa käytetty 597-jako, mutta siihen on lisätty lounais-Sipoosta 14 aluetta.

Alueet numeroitiin siten, että kullakin kunnalla on oma tuhatlukualueensa (Helsinki 1000–1274, Espoo 2000–2171, ..., Loviisa 37 000).

Lisäksi työssäkäyntialueen ulkorajalla on omilla koodeillaan 36 tienpäättä ja kolme radanpäättä, jotka kuvaavat ulkoista kysyntää. Niiden numerot ovat 39 001–39 036 ja 39 300–39 302 (katso liite 1).

Sijoittelualueita on 1056 ja sen lisäksi 36+3 ulkosityttöä, joten kuvauksissa on yhteensä 1095 sentroidia.

4.3 Solmut

Solmujen koodaamisessa käytetty koordinaatisto on projektiokaistan 27 (KKJ 3) mukainen. X-akseli kasvaa itään ja y-akseli pohjoiseen mentäessä. Koordinaatit ovat täydellisiä eli niissä on seitsemän numeroa. Yksikkönä on metri.

Solmunumerot 1–39 999 on varattu sentroideille, joista 39 000–39 999 ulkositytöille. Tieverkon solmunumeroavaruus on välillä 40 000–250 000. Tieverkon solmunumeroavaruuden yläpäässä on käsin lisättyjä solmuja.

Rataverkon solmunumerot ovat raitiovaunuverkolla 250 003–250 330 sekä metro- ja junaverkoilla 250 532–250 824. Raitiovaunusolmuille on siis jätetty noin kahdensadan solmun puskuri uusia raitiovaunulinjoja varten.

Solmunumeroinnin periaatteena on käytetty seuraavia varauksia:

Taulukko 2. Solmunumeroavaruuden jako.

solmunumerot	selitys
1-38999	sentroidit, tavalliset
39000–39999	sentroidit, ulkosityöt
40000–249999	solmut, katu- ja tieverkko
250000–250499	raitiovaunuverkon solmut
250500–250649	metroverkon solmut
250650–251000	junaverkon solmut

Taulukko 3. Solmujen attribuuttitiedot.

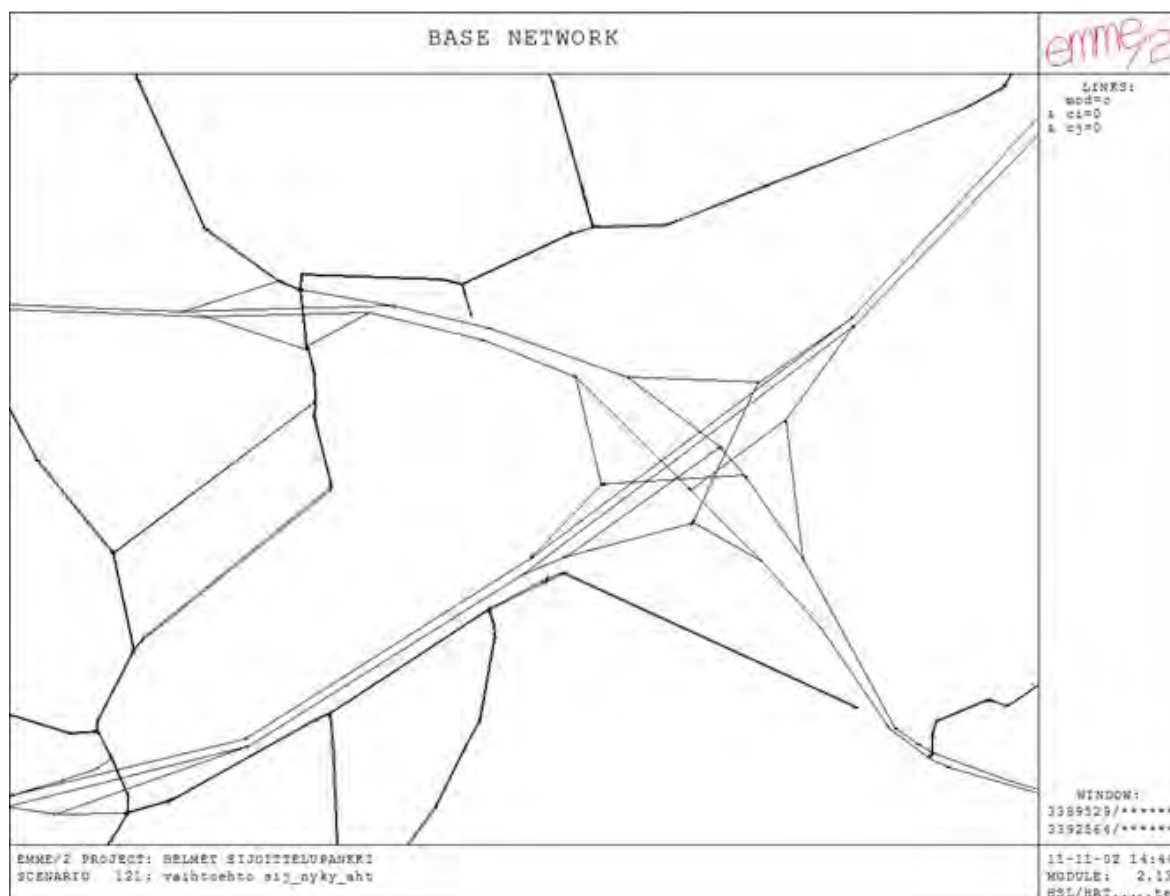
attribuutti	selitys
solmuattribuutti ui1	väliaikainen tieto, VAPAA
solmuattribuutti ui2	joukkoliikennepysäkin tyyppi ¹
solmuattribuutti ui3	väliaikainen tieto, VAPAA
solmuekstra-attribuutti @ytv	karkea rajausta pääkaupunkiseudun solmuista

Taulukko 4. Pysäkkityypit (ui2) ja niiden selitykset.

koodi	selitys
1	raitiovaunupysäkki
2	bussipysäkki paikallisliikenne
3	bussipysäkki kaukoliikenne
4	bussipysäkki paikallis- ja kaukoliikenne
5	bussipysäkki kaukoliikenne ja pikavuoro
6	bussipysäkki paikallis- ja kaukoliikenne (ml. pikavuoro)
7	ei tietoa
9	bussiterminaali (Digiroadin Palvelu-taulusta)
10	systemaattisesti generoitu pseudopysäkki

Tasoliittymät on pyritty kuvaamaan yhdellä solmulla kukin. Eritasoliittymissä on kuvattu myös rampit.

¹ Katso pysäkkikoodit taulukosta 4.



Kuva 6. Esimerkki liittymien koodaustavasta. Vasemmalla tasoliittymiä, oikealla Kivikon eritasoliittymä.

4.4 Kulkutavat ja joukkoliikenteen ajoneuvotyypit

Käytetyt kulkutavat on esitetty seuraavassa taulukossa 5. Joukkoliikenteen ajoneuvotyypit ja niitä vastaavat kulkutavat on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 5. Järjestelmäkuvauksessa käytettyjen kulkutapojen kuvaus.

kulkutapa	kuvaus
a	kävely (engl. auxiliary transit)
A	ulkoinen kävely
b	pääkaupunkiseudun sisäinen bussiliikenne
B	VALLU-rekisteristä poimittu bussiliikenne
c	auto (engl. car)
m	metro
P	pikaraitiovaunu (vain ennusteverkko)
r	lähijuna
R	VR kaukojuna
t	raitiovaunu

Taulukko 6. Ajoneuvotyyppi, sitä vastaava kulkutapa ja kuvaus.

ajoneuvotyyppi	kulkutapa	kuvaus
1	B	VALLU vakiovuoro
2	B	VALLU pikavuoro
3	b	pääkaupunkiseudun bussi
4	m	metro
5	r	lähijuna
6	R	VR:n kaukojuna
7	t	raitiovaunu
10	P	pikaraitiovaunu (vain ennusteverkko)

Uusimmissa Emme-versioissa on mahdollisuus määritellä useita autokulkutapoja (kuorma-auto, moottoripyörä tms.) ja sallia nämä vain osalla verkkoa. Tällöin on kuitenkin tehtävä myös vastaavat kysyntämatriisit. Tätä ominaisuutta ei ole vielä käytetty.

4.5 Linkit

4.5.1 Syöttölinkit

Syöttölinkeillä eli konnektoreilla kuvataan alueen kaikkia yhteyksiä katuverkolle tai joukkoliikennejärjestelmään. Lyhyimpien syöttölinkkien pituus on vain 10 metriä ja pisimpien 21 kilometriä. Jotta alueelta toiselle pääsisi autolla, on syöttölinkillä sallittava autokulkutapa c. Joukkoliikennematkot taas tarvitsevat kulkutavalla a kuvattuja kävely-yhteyksiä alueiden ja pysäkkien välillä. Joillakin syöttölinkeillä on sallittu sekä autoilu että kävely. Sentroideja on yhteensä 1095, mutta osa niistä on kytketty moneen verkon pisteeseen, joten syöttölinkejä on yli 3000. Tilastoja on seuraavissa taulukoissa.

Taulukko 7. Syöttölinkkien kulkutavat.

alue	auto (c)	kävely (a)	sekä a että c	yhteensä
nykytila 2008	104	2121	1041	3266
PLJ 2007 luonnos	99	2116	1052	3267

Useimmissa tapauksissa alueelta lähtee enemmän kuin yksi syöttölinkki. Osa syöttölinkeistä päättyy liittymäsolmuun, osa niiden väliin. Tarkemmat tilastot ovat taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 8. Syöttölinkkien määrä sijoittelualuetta kohden (kaikki kulkutavat).

syöttöjä	1	2	3	4	5	6	sentroideja yhteensä
nykytila 2008	145	217	315	352	62	4	1095
PLJ 2007 luonnos	145	218	316	348	62	6	1095

Taulukko 9. Sentroidien kytkemispaikat auto-, bussi- ja raitiovaunuverkon (kulutavat c , b , B , t , P) kuvauksessa.

skenaario	tienpää	liittymä	liittymien väli	sekä liittymä että liittymäväli	sekä tienpää että muu	muu yhdistelmä (vain aA)	Yht.
nykytila 2008	63	109	249	356	316	2	1095
PLJ 2007 luonnos	59	112	248	378	296	2	1095

4.5.2 Linkkien ominaisuuksia

Kaikilla tavallisilla linkeillä, joilla on sallittu henkilöautoilu, on sallittu myös kävely. Kävelyverkkoa on laajennettu erityisesti asemien ja terminaalien seuduilla sekä Helsingin keskustassa. Kävelylinkkejä on lisätty myös joihinkin erityiskohteisiin (katso verkon jatkotyön muistio), jos on huomattu yhteyspuutteita.

Linkkien kentät sisältävät seuraavaa tietoa:

- kaistamäärä (Bussikaista sisältyy ilmoitettuun kaistamäärään.)
- autoliikenteen viivytysfunktion numero (vdf)
- linkkityyppi (ks. taulukko)
- $ul1$ = user data 1
 - linkin yhden kaistan kapasiteetti (autoverkko)
 - aamu-, päivä- ja iltaliikenteen keskinopeus (raitiovaunuverkko)
 - juna ja metroverkolla muuttuja ei käytössä
- $ul2$ = user data 2
 - linkin vapaa nopeus (autoverkko)
 - ei käytössä (raideliikenne)
- $ul3$ = $@ul3$
- $@ul1$ = nopeusrajoitus (tai raitiovaunuille nopeus). Jos on yhdistetty kaksi linkkiä, joilla on eri nopeusrajoitus, kenttä sisältää niiden yhdistelmän keskimääräisen nopeusrajoituksen.
- $@ul2$ = tietyyppi (katso Digiroadin kuvaukset)
- $@ul3$ = toiminnallinen luokka (katso Digiroadin kuvaukset).

Bussikaistan tyyppitieto otetaan huomioon viivytysfunktioissa, jolloin henkilöautoilta vähennetään yksi kaista bussikaistan voimassaoloaikana. Bussien nopeus bussikaistalla määritetään nopeusrajoituksen perusteella eikä se ole riippuvainen henkilöautojen määrästä.

Taulukko 10. Linkkien kaistamäärät autoverkolla.

kaistoja	linkkejä 2008	linkkejä PLJ 2007
1,0	21240	21791
2,0	4999	5475
3,0	489	713
4,0	27	65
yhteensä	26755	28044

Taulukko 11. Autoverkon linkkityypit (aamuruuhkaskenaario).

tyyppi	selitys	linkkejä 2008	linkkejä PLJ 2007
1	tavallinen linkki, ei bussikaistaa	20045	25323
98	ulkosyöttölinkki (vdf=99)	76	76
99	syöttölinkki (vdf=99)	2215	2225
100	ympäri vuorokautinen bussikaista	162	170
101	bussikaista aamuruuhkassa	8	7
102	bussikaista aamu- ja iltaruuhkassa	35	36
103	bussikaista ruuhka-aikoina ja päivällä, mutta ei illalla eikä yöllä	214	207
yhteensä		26755	28044

Taulukko 12. Attribuuttitietojen kuvaus, tie- ja katuverkon linkit.

attribuutti	selitys
linkkityyppi	mahdollisen bussikaistan kuvaus ²
linkkiattribuutti ul1	linkin kapasiteetti
linkkiattribuutti ul2	vapaa nopeus (km/h)
linkkiattribuutti ul3	toiminnallinen luokka (Digiroad)

Taulukko 13. Raideliikenneverkon linkkiattribuutit.

attribuutti	selitys
linkkiattribuutti ul1	raitiovaununlinkeillä: keskinopeudet km/h xxyyzz. (xx=aamuruuhka, yy=päiväliikenne, zz=iltaruuhka)
linkkiattribuutti ul2	juna ja metro: VAPAA VAPAA
linkkiattribuutti ul3	VAPAA

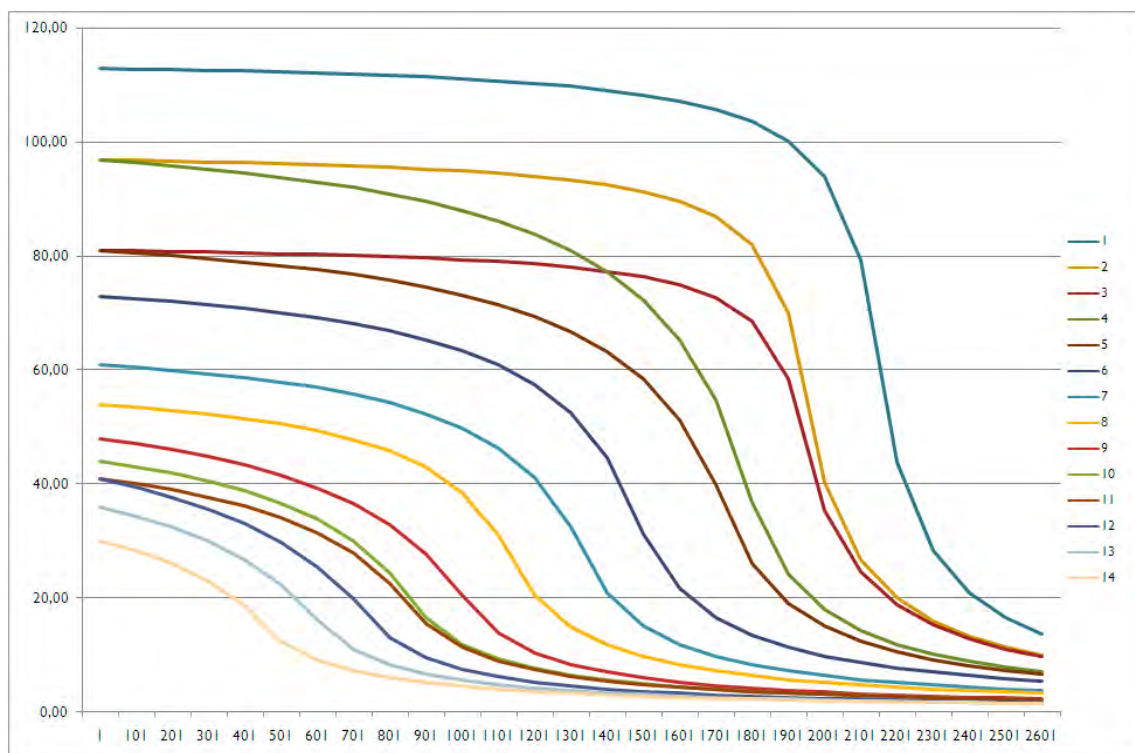
4.6 Viivytyshuhtiot

4.6.1 Autoliikenne

Autoliikenteen viivytyshuhtiot kuvaavat linkin kulkemiseen kuluvaa aikaa minuutteina liikennemäärän (*volau*), kaistamäärän (*lanes*) ja linkin pituuden (*length*) funktiona. Muita selittäjiä ovat linkin kapasiteetti ja vapaa nopeus, jotka on talletettu linkin user data -kenttiin. Huhtiot on tarkoitettu tuntiliikenteen tarkasteluun. Jos jostakin syystä halutaan kysyntämatriisina käyttää pitemmän tai lyhyemmän aikajakson matriisia, on huhtioitakin muutettava vastaavasti.

Huhtion numero ilmoitetaan linkkitiedostossa. Käytettyjen huhtioiden kuvaajat (nopeus km/h liikennemäärän ajon/h/kaista funktiona) ovat seuraavassa kuvassa.

² Matrexin ja Trafixin muistiossa 1. kierroksen tulos



Kuva 7. Autoliikenteen viivytysfunktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa.

Funktioiden yhtälöt (matka-aika minuutteina kilometriä kohden) ovat alla. Funktiot fd1–fd5 ovat taulukon 14 mukaisia perusfunktioita ja fd6–fd10 vastaavia bussikaistallisten väylien funktioita, joissa linkin kaistamäärästä on vain vähennetty bussikaista. On huomattava, että perusfunktioita muutellaan nopeusrajoituksen (vapaan nopeuden) ja kapasiteetin mukaan ja valmiiksi laskettuja perusfunktioita on 14 erilaista (numerot 1–14), jotka vastaavat seuraavan taulukon rivejä (graafinen esitys kuvassa 7). Kaavoissa Emmen muuttujaan *ul1* on tallennettu linkin kapasiteetti (ajon/h) ja muuttujaan *ul2* vapaa nopeus (km/h). *Length* on linkin pituus (km), *volau* on sijoittelun perusliikennemäärä (ajon/h) ja *volad* mahdollinen lisäliikennemäärä. Funktiolla *put* talletetaan välitulos ja funktiolla *get*(*n*) haetaan saman kaavan *n*:s välitulos.

```
fd1 = (put(60/ul2)*(1+0.02*put((volau+volad)/lanes)/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.975))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(1.78*get(1)*length+0.0075*(get(2)-get(3)))
fd2 = (put(60/ul2)*(1+0.09*put((volau+volad)/lanes)/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.935))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.29*get(1)*length+0.0085*(get(2)-get(3)))
fd3 = (put(60/ul2)*(1+0.1*put((volau+volad)/lanes)/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.915))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.08*get(1)*length+0.011*(get(2)-get(3)))
fd4 = (put(60/ul2)*(1+0.2*put((volau+volad)/lanes)/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.87))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.34*get(1)*length+0.014*(get(2)-get(3)))
fd5 = (put(60/ul2)*(1+0.3*put((volau+volad)/lanes)/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.81))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.28*get(1)*length+0.017*(get(2)-get(3)))
fd6 = (put(60/ul2)*(1+0.02*put((volau+volad)/((lanes-1).max(0.8)))/
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.975))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(1.78*get(1)*length+0.0075*(get(2)-get(3)))
```

```

fd7 = (put(60/ul2)*(1+0.09*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8)))/(
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.935))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.29*get(1)*length+0.0085*(get(2)-get(3)))
fd8 = (put(60/ul2)*(1+0.1*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8)))/(
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.915))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.08*get(1)*length+0.011*(get(2)-get(3)))
fd9 = (put(60/ul2)*(1+0.2*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8)))/(
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.87))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.34*get(1)*length+0.014*(get(2)-get(3)))
fd10 = (put(60/ul2)*(1+0.3*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8)))/(
      (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.81))*length +
      (get(2).gt. get(3))*(2.28*get(1)*length+0.017*(get(2)-get(3)))

```

Taulukko 14. Autoliikenteen viivytysfunktioiden parametrit funktioluokittain.

	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys-funktio	Nopeus- rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, ul2)	Vapaa nopeus (min/km)	Kapasiteetti S (ajon/h, ul1)	muoto- parametri J	Ylikysyntä- suoran alku (ajon/h)
1	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	2200	0,02	2145
2		moottoritie		100	97	0,619	2000	0,02	1950
3		moottoritie		80	81	0,741	2000	0,02	1950
4	Maantiet / Useampi- kaistaiset kaupunki- väylät eritasoliitty- min	maantie/useampikaist	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1900	0,09	1777
5		maantie/useampikaist		80	81	0,741	1850	0,09	1730
6		maantie/useampikaist		70	73	0,822	1600	0,09	1496
7	Useampikaistaiset pääkadut tasoliitty- min valoilla	us.kaist.,valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1450	0,1	1327
8		us.kaist.,valot		60	54	1,111	1250	0,1	1144
9	Pääkadut	esikaup.pääk.ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1150	0,2	1001
10		esi.pääk.val/kesk.ei val		50	44	1,364	1000	0,2	870
11		esi.pääk.,val/kesk.ei val		40	41	1,463	1000	0,2	870
12	Kokooja/tonttikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	900	0,3	729
13		kesk.kokooja		40	36	1,667	750	0,3	608
14		pienet tonttikadut		30	30	2,000	600	0,3	486

4.6.2 Joukkoliikenne

Joukkoliikenteen funktioita käytetään sijoittelussa segmenttikohtaisten matka-aikojen laskemiseen. Bussien (ml. kaukoliikenteen linja-autojen) nopeudet riippuvat ajoneuvoliikenteen nopeudesta siten, että jos bussikaistaa ei ole, ajoneuvoliikenteen sijoittelusta saatuun matka-aikaan lisätään vakiolla a kerrottu linkin pituus. Bussikaistallisilla linkeillä taas matka-aika on bussikais-taviivekertoimella c kerrottu ajoneuvoliikenteen vapaata nopeutta vastaava matka-aika.

Taulukko 15. Joukkoliikenteen funktioiden bussien viiveparametrit funktioluokittain.

				autoliikenne			ei bussikaistaa			on bussikaista		
	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys-funktio	Nopeus- rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, ul2)	Vap nop matka- aika (min/km)	Viive- kerroin b	Bussi- nopeus (km/h)	Bussi- viive a (min/km) (us2)	Bussikaista- viivekerroin c	Bussi- nopeus (km/h)	Bussiaika (min/km)
1	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	1,5	75,3	0,265	1,5	75,3	0,796
2		moottoritie		100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
3		moottoritie		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
4	Maantiet / Useampikais- taiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie /useampikaist	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
5		maantie /useampikaist		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
6		maantie /useampikaist		70	73	0,822	1,5	48,7	0,411	1,5	48,7	1,233
7	Useampikais- taiset pääkadut tasoliittymän valoilla	us.kaist.,valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1,5	40,7	0,492	1,6	38,1	1,574
8		us.kaist.,valot		60	54	1,111	1,5	36,0	0,556	1,6	33,8	1,778
9	Pääkadut	esikaup.pääk, ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1,5	32,0	0,625	1,7	28,2	2,125
10		esi.pääk.val/kesk. ei val		50	44	1,364	1,5	29,3	0,682	1,7	25,9	2,318
11		esi.pääk.,val/kesk. ei val		40	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
12	Kokooja /tonttikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
13		kesk.kokooja		40	36	1,667	1,5	24,0	0,833	1,7	21,2	2,833
14		pienet tonttikadut		30	30	2,000	1,5	20,0	1,000	1,7	17,6	3,400

Emme-muotoiset bussifunktiot ovat:

$$ft01 = us2 * length + timau, \text{ kun } \underline{e}i \text{ bussikaistaa } (1 \leq vdf \leq 5),$$

missä

$us2$ = funktiokohtainen bussiviive a (min/km) taulukosta 5,

$length$ = linkin pituus (km)

$timau$ = ajoneuvosijoittelun matka-aika (min).

$$ft02 = us2 * length, \text{ kun } \underline{o}n \text{ bussikaista } (6 \leq vdf \leq 10)$$

missä

$$us2 = (60 * c) / (ul2.max.30)$$

$ul2$ = ajoneuvojen vapaa nopeus (km/h)

c = bussikaistaviivekerroin, joka on

$c = 1,5$, kun $vdf = 6$ tai 7

$c = 1,6$, kun $vdf = 8$

$c = 1,7$, kun $vdf = 9$ tai 10

$length$ = linkin pituus (km)

Raitiovaunulinkkien user data -muuttujat sisältävät JOREsta saatuja mitattuja joukkoliikenteen nopeuksia pakattuna siten, että kuusinumeroinen luvun kaksi ensimmäistä numeroa ovat aamuruuhkan, kaksi seuraavaa päiväliikenteen ja viimeiset kaksi iltaruuhkan nopeuksia (km/h).

Luvut on kopioitu YTV:n vanhoista kuvauksista. Viivytysfunktioissa ft3–ft5 kenttä puretaan kokonaisosafunktiolla (`int`) ja jakojäännösoperaattorilla (`mod`) sekä muutetaan nopeus (km/h) matka-ajaksi (minuuttia).

Emme-muotoiset raitiovaunufunktiot:

ft03 = $(length / (int(ul1 / 10000))) * 60$, kun on aamuruuhka

ft04 = $(length / ((int(ul1 / 100)) .mod. 100)) * 60$, kun on ruuhkaton aika

ft05 = $(length / (ul1 .mod. 100)) * 60$, kun on iltaruuhka

missä

ul1 = lukuarvo, johon on pakattu peräkkäin raitiovaunujen nopeus (km/h) aamu-, päivä- ja iltaliikenteen aikana (esimerkiksi 182015)

Lähi- ja kaukojunien sekä metron funktiona on aikatauluista poimittu asemien välinen matka-aika (minuutteina), joka on talletettu segmenttimuuttujaan *us1*. Tieto on linjakohtainen.

ft6 = *us1*

missä

us1 = asemien välinen matka-aika (minuuttia).

Viivytysfunktioiden muodostamista kuvataan tarkemmin tämän julkaisun osassa D.

4.7 Kääntymiskiellot ja -vastukset

Tärkeimmät kääntymiskiellot koodattiin. Niillä voidaan kuvata myös eritasoliittymien puuttuvia kääntymissuuntia.

Kääntymisvastuksilla voidaan kuvata tiettyyn suuntaan ajamisen tai kääntymisen vaatimaa lisäaikaa esimerkiksi liikennemäärän funktiona, mutta sellaisia ei toistaiseksi ole määritelty.

4.8 Jalankulun ja pyöräilyn verkkomallit

Toisin kuin pääkaupunkiseudun aiemmissa liikennejärjestelmämalleissa, erillistä jalankulku- ja pyöräilyverkon kuvausta ei tällä kertaa ole muodostettu. Kävely (kulkutapa a) kumpaankin suuntaan on sallittu lähes kaikilla autolinkeillä. Perusteena oli muun muassa, että vaikka esimerkiksi moottoritieillä ei saakaan kävellä, sen vieressä kuitenkin useimmiten kulkee erillinen jalankulku- ja pyöräilyväylä. Paikallisesti tästä tulee joissakin tapauksissa (esimerkiksi Turunväylän itäpäässä) epätarkkuutta, joka jatkossa kannattaisi ehkä korjata.

Kävelyverkkoa laajennettiin silti erityisesti asemien ja terminaalien seuduilla sekä Helsingin keskustassa. Kävelylinkkejä on lisätty myös joihinkin erityiskohteisiin, jos on huomattu yhteyspuutteita.

Lisäksi joukkoliikennejärjestelmän kuvauksessa on alueiden, pysäkkien ja asemien välillä syöttö- tai vaihtokävelylinkkejä.

Pyöräilyä ei ole määritelty erillisenä kulkutapana eikä siten tehty erillistä pyöräilyverkon kuvaustakaan.

4.9 Joukkoliikenteen liikennejärjestelmämalli

4.9.1 Periaate

Jotta joukkoliikennelinjan voisi kuvata, on oltava määriteltynä

- kulkutapa, jota ko. linja edustaa
- linkit, joilla em. kulkutapa on sallittu ja joita pitkin linjan reitti kulkee
- ajoneuvotyyppi, jota ko. linjalla käytetään
- joukkoliikenteen viivytysfunktiot, jotka kuvaavat segmenttikohtaista vastusta. Viivytys voidaan koodata myös antamalla kulkutapa- tai linjakohtainen vakionopeus.

Emmessä (linja)segmentillä tarkoitetaan yhden linjan reittiä yhdellä linkillä eli kunkin linkin segmenttien määrä on sama kuin kyseistä linkkiä käyttävien linjojen määrä.

Linjat on koodattu enimmäkseen päälinjatasolla eli alalinjojen pienet reittipoikkeamat puuttuvat. Jos alalinjaa liikennöidään tiheällä vuorovälillä, on se kuitenkin koodattu erikseen. Toisaalta joitakin vähäliikenteisiä linjoja on yhdistelty.

Toisin kuin pääkaupunkiseudun aiemmissa liikennejärjestelmämallissa, kumpikin ajosuunta on kuvattu erikseen. Niinpä mm. erot vuoroväleissa on voitu ottaa paremmin huomioon. Aamu-, ilt- ja päiväliikenteelle on omat linjastonsa.

4.9.2 Linjatunnus

Pääkaupunkiseudun sisäisillä linjoilla ja Keravan linjoilla Emmen linjatunnus on sama kuin JOREssa eli muotoa *KNNNTS*, missä

- K* = linjaryhmä
- 1 = Helsingin sisäinen linja
- 2 = Espoon sisäinen tai sinne ajava seutulinja
- 3 = lähiliikenteen juna
- 4 = Vantaan sisäinen tai sinne ajava seutulinja
- 5 = poikittaislinja
- 7 = U-linja
- 9 = Keravan sisäinen tai sinne ajava seutulinja
- NNNT* = linjatunnus (kolme numeroa ja mahdollisesti kirjain)
- S* = ajosuunta
- 1 = Helsingistä poispäin tai idästä länteen
- 2 = Helsinkiin päin tai lännestä itään.

Esimerkiksi bussilinjan 615T tunnus JOREssa ja Emmessä on 4615T2 (ajosuunta Lentoasemalta Helsinkiin), E-junan Kauklahdesta Helsinkiin 3002E2 ja metrolinjan Ruoholahdesta Vuosaareen 1300V1.

Tässä työssä ei koodattu linjoja, joiden tunnuksessa olisi ollut kaksi kirjainta. Jos sellaiselle on tarvetta, voidaan tunnuksen kaksi viimeistä merkkiä (*TS*) korvata ao. kirjainyhdistelmällä toiseen ajosuuntaan ja käyttää vastakkaiseen suuntaan päinvastaista järjestystä, esimerkiksi Helsingin sisäiselle linjalle 55AK toiseen suuntaan tunnusta 1055AK ja toiseen 1055KA.

VALLU-linjojen (ml. Kirkkonummen linjasto) tunnuksen alussa on kirjain V ja sen jälkeen juokseva numero. Kaukojunien linjatunnuksissa on neljä numeroa, joista ensimmäinen on 5.

4.9.3 Nopeus

Pääkaupunkiseudun sisäisille bussi- ja raitiovaunulinjoille on otsikossa annettu linjakohtainen oletusnopeus 30 km/h. Samaa arvoa on käytetty myös metro- ja kaupunkijunaliikenteelle. Vastaava oletus kaukojuna- ja VALLU-bussilinjoille on 80 km/h.

Koodauksessa on kuitenkin käytetty tarkempaa tapaa, jossa nopeudet (tai oikeastaan matka-ajat) annetaan segmenttikohtaisesti funktiona, joten oletusnopeus ei sijoittelussa tule käyttöön. Viivytysfunktioista on tarkempi selostus kohdassa 4.6.2 ja tämän julkaisun osassa D.

Taulukko 16. Joukkoliikennelinjojen attribuuttitiedot (matka aikojen yksikkö on minuutti).

attribuutti	selitys
headway description	vuoroväli minuuteissa pääkaupunkiseutu: linjan nro ja suuntanro VALLU ja VR: mistä-mihin ja suunta
jkl-linja-attribuutti ut1	pääkaupunkiseutu: 0 VALLU ja VR: 1. lähtöaika minuutteina keski-yöstä
jkl-linja-attribuutti ut2	pääkaupunkiseutu: 0 VALLU ja VR: lähtöjen lukumäärä
jkl-linja-attribuutti ut3	VAPAA
jkl-segmenttiattribuutti us1	Junilla ja metroilla: matka-aika edelliseltä pysäkiltä pysäkkiä edeltävällä segmentillä
jkl-segmenttiattribuutti us2	bussiliikenteen viivytys
jkl-segmenttiattribuutti us3	VAPAA

4.10 Eri vuosien kuvausten vertailua

Kunkin skenaarion eli tarkasteluvuoden väylästä on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta sama kaikille aikajaksoille. Erot ovat vain joukkoliikennelinjastossa.

Seuraavassa taulukossa on liikennejärjestelmän kuvausten yksityiskohtaisuutta havainnollistavia lukuja. Nykytilan kuvauksessa ei ole vuonna 2009 valmistunutta Pasilanväylää eikä raitiovaunulinjojen 3B, 3T ja 9 reittimuutoksia Helsingin keskustassa. Alkuperäisessä PLJ2007-liikennejärjestelmässä olivat mukana sekä Länsimetro että keskustan kehä. Viimeksi mainittu on otettu pois tässä tarkasteltavasta kuvauksesta.

Taulukko 17. Tilastotietoja aamuhuipun auto- ja joukkoliikennejärjestelmien kuvauksista.

	Nykytila 2008	2030 (PLJ 2007)
auto (c)		
tavallisia solmuja	11167	11907
tavallisia linkkejä	24464	25741
linkkipituus [km] 1)	12813,6	13127,9
bussi (b, B)		
tavallisia solmuja	11189	11949
linkkejä	24522	25867
linkkipituus [km] 1)	12825,3	13147,2
reittikatupituus [km] 2)	6891,6	6892,9
reittipituus [km] 3)	26325,7	23204,4
linjoja 4)	1013	924
raskas raide (m, r, R)		
tavallisia solmuja	101	136
linkkejä	195	265
linkkipituus [km] 1)	940,5	1043,4
reittikatupituus [km] 2)	766,1	869,0
reittipituus [km] 3)	3414,8	3448,1
linjoja 4)	50	49
raitiovaunu (t, P)		
tavallisia solmuja	328	429
linkkejä	472	602
linkkipituus [km] 1)	80,2	164,1
reittikatupituus [km] 2)	78,6	153,5
reittipituus [km] 3)	125,3	229,3
linjoja 4)	18	25

- 1) niiden tavallisten linkkien yhteispituus (suunnat yhteensä), joilla ko. kulkutapa on sallittu
- 2) niiden tavallisten linkkien yhteispituus (suunnat yhteensä), joilla liikennöi vähintään yksi linja
- 3) kaikkien ko. kulkutavan linjojen reittien pituuksien summa (suunnat yhteensä)
- 4) kumpikin ajosuunta omana linjanaan.

5 Liikennejärjestelmän kuormitus

5.1 Autoliikenteen sijoittelut ja vastukset

5.1.1 Kuormitusperiaate ja tulossuureet

Edellä kuvattua liikennejärjestelmää eli autoliikenteen verkon kuvausta kuormitetaan kysyntämatriisilla, jossa on tietyn aikajakson (esimerkiksi aamuhuipputunnin) matkat kultakin alueelta muille alueille. Matriisin on oltava lähtö-määräpaikkasuunnattu tuntiliikennematriisi, koska funktiotkin on suunniteltu kuvaamaan tuntiliikenteen vastuksia.

Funktiot kuvaavat linkillä kulkemisen tai liittymässä kääntymisen vastusta. Vastuksena voi olla esimerkiksi matka-aika, etäisyys, kustannukset tai näiden yhdistelmä (ns. yleistetty matkavastus). Tässä työssä linkin vastuksina on käytetty matka-ajan ja etäisyyden painotettua summaa eli yleistettyä matkavastusta. Linkin liikennemäärän on oletettu vaikuttavan linkin matka-aikaan. Liittymiin on määritelty kääntymiskieltoja, mutta ei kääntymisvastuksia (katso kohta 4.7).

Sijoittelun tuloksena saadaan liikennemäärät ja nopeudet linkeittäin, erikseen lueteltujen liittymien kääntyvät virrat sekä vastusmatriisit eli matka-ajat tms. alueelta alueelle.

Emme-ohjelmiston käyttämä autoliikenteen sijoittelumenetelmä on kapasiteettirajoitettu tasapainosijoittelu. Niinpä voidaan käyttää liikennemäärästä riippuvaisia vastusfunktioita. Tällöin jonkin väylän ruuhkautuminen aiheuttaa sen, että osa liikenteestä siirtyy vaihtoehtoiselle reitille, joka puolestaan voi ruuhkautua. Tätä toistetaan, kunnes kunkin alueparin välillä kaikkien käytettyjen reittien vastukset (matka-ajat) ovat yhtä suuret. Kyseessä on siis käyttäjän optimi. Systeemioptimi saavutettaisiin, jos kaikkien tehtyjen matkojen vastusten summa olisi minimisään, vaikka se yksittäisellä matkalla merkitsisikin vastuksen kasvua (esim. matka-ajan pitenemistä). Käytetty sijoittelualgoritmi on kuvattu Emme-manuaalin luvussa 6.2.

Minimietäisyydet alueelta alueelle saadaan, kun viivytyshetki on muotoa $fdnn = length$ liikennemäärästä riippumatta eli matka-aika minuutteina on yhtä suuri kuin etäisyys kilometreinä. Tämä vastaa siis keskinopeutta 60 km/h eli 1 min/km. Kysyntämatriisina voidaan käyttää ykkösmatriisia (kaikki alkio ykkösiä).

Käyttämällä ns. sivusijoittelua (additional options assignment) voidaan laskea myös kapasiteettirajoitetussa matka-aikasijoittelussa käytettyjen reittien keskipituudet. Nämä etäisyydet ovat hiukan suurempia kuin minimietäisyydet.

5.1.2 Kysyntämatriisit

Nykytilan 2005 aamuhuippu-, iltahuippu- ja päivätunnin kysyntämatriisit saatiin pääkaupunkiseudun sisäisten matkojen osalta nykyennusteesta 2005, joka oli tehty vanhoilla, vuoden 2000 liikkumistottumustutkimuksen aineistosta estimoiduilla malleilla. Muun työssäkäyntialueen kysyntä saatiin Uudenmaan tiepiiriltä. Ennustevuoden mallitesteissä käytettiin PLJ 2007:n kysyntämatriisia, joka oli muutettu sijoittelualuejakoon.

Tavaraliikenteen kysyntämatriisien muodostamista kuvataan tämän julkaisun osassa B.

Sijoittelujen tuloksena saatiin vastaavat aikavastusmatriisit. Myös etäisyydsmatriisit (sekä minimi että käytetyillä reiteillä) laskettiin.

5.1.3 Sijoitteluparametrit

Autoliikenteen sijoittelussa reitinvalinnan kriteerinä ei ollut matka-aika sellaisenaan, vaan yleistetty matkavastus, joka muodostettiin kaavalla

$$vastus = matka-aika + paino \cdot etäisyys$$

missä $paino=0,20$ min/km (eli 12 s/km) aamu- ja iltahuipulle tai $paino=0,50$ min/km (eli 30 s/km) päiväliikenteessä. Painot perustuvat asiantuntija-arvioon.

Niinpä matka-aikamatriisit sisältävät pieneltä osin myös etäisyyksiä. Sen lisäksi otettiin talteen omaan matriisiinsa alueparien väliset etäisyydet käytetyillä reiteillä.

5.1.4 Ajoneuvoliikenteen verkkoanalyysi [1]

5.1.4.1 Tavoite ja työvaiheet

Pääkaupunkiseudun työssäkäyntialueen verkko on muodostettu teknisesti täysin uudistuneella menetelmällä. Myös liikenteen sijoittelussa käytetyt vastusfunktiot on määriteltä uudelleen. Verkkoanalyysin tavoitteena oli saada havaintoja verkon toimivuudesta nykytilan liikennekysynnällä kuormitettuna sekä vertailutietoa verkon toiminnasta vanhoihin verkkoihin verrattuna. Koska verkolta lasketut vastustiedot ovat keskeinen mallien estimoinnissa käytettävä muuttuja, on tärkeää saada käsitys verkon toimivuudesta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Tehtävä muodostui seuraavista työvaiheista:

- huipputuntimatriisien sijoittelu uudelle ja vanhoille verkolle (Uusimaa, YTV)
- matka-aikavertailut esimerkkialueiden välillä
- sijoitettujen liikennemäärien vertailu
- arvio verkon toimivuudesta sekä havainnot mahdollisista epäloogisuuksista ja virheistä.

Analyysi tehtiin 15.8.2008 päivätyllä verkkoaineistolla. Aineistoon on tämän jälkeen tehty päivityksiä mm. tämän analyysin väliaikatietojen perusteella, joten osa esitetyistä kommentteista ei ole enää ajankohtaisia tuoreimman verkkoaineiston osalta.

5.1.4.2 Matka-aikavertailut

Vanhoilla viivytysfunktioilla ja 1990-luvun alusta periytyvillä verkonkuvauksilla on tehty lähes 20 vuoden aikana lukemattomia liikenne-ennusteita. Siksi oli tarpeen verrata, minkälaisia tuloksia uudet funktiot ja uudet verkonkuvaukset antavat niihin verrattuna.

Pääkaupunkiseudun matka-aikoja vertailtiin aamuhuipputunnin sijoitteluilla neljän määräpaikan ja 13 lähtöpaikan osalta. Paikat oli valittu eri puolilta seutua. Alustavissa sijoitteluissa muutamilla linkeillä matka-aika näytti kasvavan epärealistisen suureksi linkkien kapasiteeteissa olevien mahdollisten virheiden takia. Tämän vuoksi sijoitteluissa käytettiin matkanopeuden hidastumalle leikkuria, jolloin linkkinopeus ei laske alle 10 km/h:n.

Uudella verkolla matka-ajat olivat keskimäärin 11 % pienempiä kuin vanhalla verkolla. Tarkastelluista neljästä määräpaikasta ero oli suurin Tikkurilaan päättyvillä matkoilla (-19 %). Lähtöpaikoista suurimmat erot ovat Kauklahdesta (-20 %), Pasilasta (-17 %), Sörnäisistä (-16 %) ja Erottajalta (-15 %) lähtevillä matkoilla.

Vastaavasti tarkasteltujen alueparien välisten matkojen keskinopeus oli uudella verkolla noin 5 km/h suurempi kuin vanhalla verkolla. Yksi todennäköinen syy matka-aika- ja nopeuseroihin on funktioissa. Vanhat funktiot laskevat liikaa nopeuksia pienillä ja kohtalaisilla kuormituksilla, mikä ilmenee erityisesti moottoriväylillä todellisuutta pienempinä ajonopeuksina. Yksittäisillä aluepareilla matka-aikaeroja voi syntyä myös eroista alueiden kytkentöjen tarkoissa sijainneis-

sa. Erottajalle päätyvien matkojen osalta oli olemassa YTV:n matka-aikamittaustietoa vuoden 2003 aamuruuhkatunnin osalta. Uuden verkon matka-ajat näyttävät olevan muutaman minuutin tarkkuudella samat, mutta kuitenkin keskimäärin hivenen pienemmät kuin mitatut.

Pääkaupunkiseudun ulkopuolisten matkojen aikoja tarkasteltiin kahdeksan lähtöpaikan ja kolmen määräpaikan osalta. Paikat oli valittu eri puolilta seutua. Koska YTV:n vanha verkko kattoi vain pääkaupunkiseudun alueen, ei matka-aikavertailuja tehty. Matka-aikojen järkevyyttä tarkasteltiin mm. keskinopeustietojen perusteella, eikä mitään selkeitä epäloogisuuksia ole havaittu.

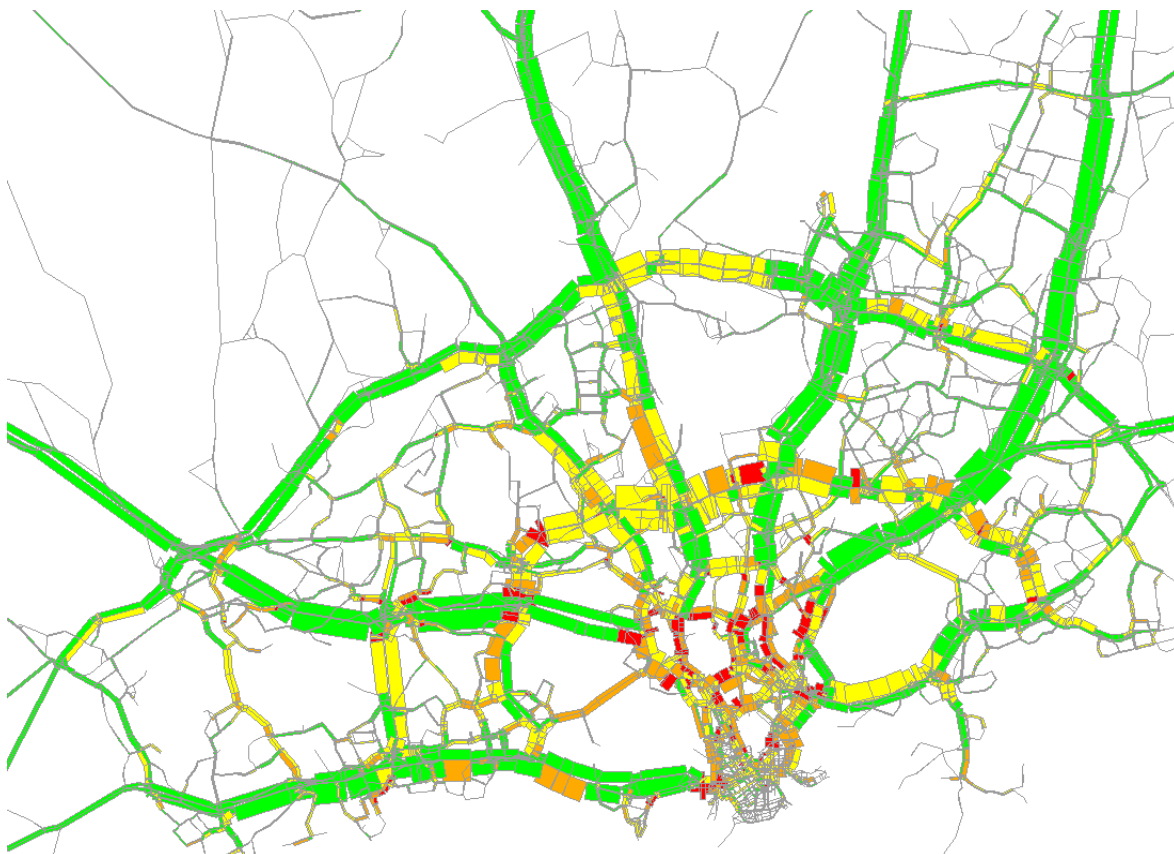
5.1.4.3 Kuormitus- ja ruuhkautuvuustarkastelut

Uudessa verkossa linkkien ruuhkaviivytykset olivat loogisia ja kohdistuivat pääsääntöisesti oikeisiin paikkoihin. Viivytykset ja niiden kohdistuminen olivat selvästi lähempänä todellisuutta kuin vanhoissa verkoissa. Tämä johtunee siitä, että vanhat funktiot laskivat liikaa nopeutta kohtalaisilla kuormitusasteilla ja liian vähän ylikuormitustilanteissa, mikä johtaa verkon ”tasapaksuiseen” ruuhkautumiseen. Liikennekuormituksen jakautumisessa eri reiteille ei ollut pääsääntöisesti isoja eroja.

Selvimmät erot olivat seuraavat:

- Kehä I:llä Lahdenväylän ja Turunväylän välillä uudessa verkossa oli vähemmän liikennettä kuin vanhassa. Kuormitus on alakantissa myös laskentoihin nähden.
- Kehä III:n keskiosalla (Hämeenlinnanväylä–Tuusulanväylä) sekä Metsäläntiellä uudessa verkossa oli enemmän liikennettä kuin vanhassa. Liikennemäärät ovat uudella verkolla lähempänä laskentatietoja kuin vanhalla.
- Tuusulanväylällä oli uudella verkolla vähemmän liikennettä kuin vanhalla. Kuormitus oli alakanttiin myös laskentoihin nähden.

Yksi mahdollinen syy liikennemääräeroihin on se, että uudella, koko Uudenmaan kattavalla verkolla pääkaupunkiseudun ulkoinen liikenne pääsee vapaammin valitsemaan reittinsä ja kiertämään verkon kuormittuneimpia kohtia pääkaupunkiseudun ulkopuolelta. Uudessa verkossa on myös kuvattuna aiempaa enemmän alempiasteista verkkoa, mikä tarjoaa pääväylille vaihtoehtoisia kapasiteettia.



Kuva 8. Uuden verkon kuormittuminen ja nopeusalenemat, aamuruuhkatuntisijoittelu.

5.1.4.4 Arvio verkon toimivuudesta ja tarkistustarpeista

Yleisesti ottaen verkko näytti toimivan varsin hyvin ja loogisesti muutamia yksittäisiä virheitä lukuun ottamatta. Varsinkin pääväylillä nopeustasot olivat realistisemmat kuin vanhalla verkolla. Aamuruuhkatunnin matka-ajoissa esimerkkialueparien välillä ei havaittu merkittäviä epäloogisuuksia. Vaikutelmaksi jäi, että matka-ajat eivät ainakaan ole liian suuret todellisuuteen nähden. Tämä saattaa johtua siitä, että Emme-sijoitteluissa yksittäisten, voimakkaasti kuormittuvien liittymien aiheuttamia viivytyksiä on haastavaa saada kuvattua linkkien matka-ajoissa.

Seuraavassa on joitakin satunnaisesti havaittuja, osin Digiroad-aineistosta lähtöisin olevia, tarkistustarpeita:

- Verkolla on linkkejä, joilla nopeus laskee hyvin pieneksi (alle 10 km/h ilman leikkuria). Suuri osa näistä linkeistä on hyvin lyhyitä, liikennevaloihin päättyviä linkkejä, joiden osalta suuri nopeusalenema on looginen. Joukossa on kuitenkin joitakin linkkejä, joiden osalta tulisi tarkistaa kaistamäärä ja kapasiteetin realistisuus. Tällaisia linkkejä havaittiin mm. Ruoholahdessa ja Matinkylässä.
- Moottoriväylillä on joitakin poikkeamia yksittäisten linkkien kapasiteetissa. Tällaisia havaittiin mm. Kehä II:lla Turunväylältä etelään sekä Kehä III:lla Pakankylän liittymän kohdalla.
- Pääväylien kaistakapasiteetit eivät kaikilta osin ole täysin loogiset. Kaikki liikennevalot eivät näy kapasiteetin laskuna (esim. Kehä III Vantaankoski–Pakkala). Toisaalta saman funktion ja kaistakapasiteetin antaminen moottoritiemäisille kaupunkiväylille (esim. Kehä III Bemböle–Vanhakartano) ja 2-kaistaisille maanteille (esim. valtatie 2 Nummelasta pohjoiseen) ei vaikuta täysin loogiselta.
- Ulkösyöttöjen kytkennät ovat vielä keskeneräiset.

Saatujen tulosten perusteella liikennejärjestelmän kuvauksia tarkennettiin.

5.2 Kävelyn ja pyöräilyn sijoittelut ja vastukset

Kävelyn vastukset laskettiin käyttämällä kysyntämatriisina ykkösmatriisia, sillä matka-ajat oletettiin liikennemääristä riippumattomiksi.

Kävelykulkutavan matka-ajat ja etäisyydet alueparien välillä laskettiin Emmen joukkoliikennesijoittelumoduulilla siten, että aktiivisena kulkutapana oli vain kävely (kulkutapa a), jonka painokerroin oli 1 ja muiden aikakomponenttien (odotus, nousu) paino nolla. Koska yhtään varsinaista joukkoliikennekulkutapaa ei ollut aktiivisena, myös ”ajoajan” (in-vehicle) matriisissa (jos se olisi otettu talteen) olisi ollut vain nollia. ”Odotusajat” laskettiin vuorovälistä kertomalla se arvolla 0,01 (wait time factor). Vuoroväli taas oli korkeintaan 0,01. Sijoittelussa käsitellyt ”joukkoliikennematkat” olivat siis kokonaan alueparien välistä kävelyä pysäkiltä toiselle katuja pitkin. Kävelynopeus on 5,0 km/h.

Pyöräilyä ei käsitelty erikseen.

Kevyen liikenteen kulkutapamallien selittäjänä on etäisyysmuuttujia, jotka mallikonsultti on tehnyt edellä mainittujen etäisyysmatriisien pohjalta.

5.3 Bussi- ja raideliikenteen erilliset sijoittelut ja vastukset

Mallijärjestelmän laadinnan yhteydessä selvitettiin mahdollisuutta tarkastella bussi- ja raideliikennettä omina kulkutapavaihtoehtoinaan. Sitä varten jouduttiin määrittelemään, mitä bussi- ja raideliikennematkoilla tarkoitetaan, koska yksittäinen joukkoliikennematka voi koostua useista eri joukkoliikennevälineillä kuljetuista osista. Määrittely on olennainen, sillä se vaikuttaa tapaan, jolla bussi- ja raideliikenteen vastukset ja matkustajamäärät lasketaan mallissa.

Laadittiin laskentamenettely, jossa tehtiin useita sijoitteluja, joissa suosittiin vuorotellen bussi- ja raideliikennettä. Saaduista tuloksista koottiin määritelmän mukaiset bussivastukset ja raideliikennevastukset. Menettely oli monivaiheinen ja -mutkainen. [2,9]

Vaikka olisi saatu aikaan erilliset bussi- ja raideliikenteen matkamatriisit, sijoittelua ei kuitenkaan olisi voitu pakottaa määritelmän mukaiseen reitinvalintaan muutoin kuin hyvin keinotekoisilla rajoituksilla, koska sijoittelumalli hakee kaikissa tilanteissa koko joukkoliikenneverkosta aina käyttäjän kannalta edullisimman reitin riippumatta matkamatriisien taustalla olevasta määritelmästä.

Niinpä päädyttiin vaihtoehtoiseen toimintamalliin, jossa raideliikennettä ja bussiliikennettä käsitellään yhdessä joukkoliikenteenä, mutta matkustusmukavuuden erot otetaan huomioon eri joukkoliikennemuotojen matka-aikavastustuksissa.

Asiaa on pohdittu tarkemmin tämän julkaisun osassa A.

5.4 Joukkoliikenteen sijoittelut ja vastukset

5.4.1 Kuormitusperiaate ja tulossuureet

Joukkoliikenteen sijoittelussa kunkin alueparin välille etsitään mahdolliset strategiat eli reittiyhdistelmät. Kun vaihdot otetaan huomioon, mahdollisia yhdistelmiä on useita. Myös kysyntä jakaantuu usean reitin kesken eli reittiyhdistelmäksi.

Tavoitteena on minimoida kokonaisvastusta osa-alueväleittäin. Vastuksena on tässä työssä käytetty matka-aikaa, mutta se voisi olla myös esimerkiksi kustannus, etäisyys tai kaikkien kolmen yhdistelmä.

Emme valitse reittiyhdistelmän vertaamalla kaikkien mahdollisten reittiyhdistelmien kokonaisvastuksia toisiinsa. Vastus koostuu liityntäkävelyn vastuksesta (tässä siihen kuluva ajasta), odotusvastuksesta (riippuu linjojen vuoroväleistä), ajoneuvon nousuvastuksesta ja linjojen ajovastuksesta (esim. joukkoliikennevälineissä vietetystä ajasta). Vastuskomponentteja voidaan painottaa suhteessa ajovastukseen. Tässä työssä on käytetty painoja 1,5 (kävely- ja odotusajat) sekä 1 (nousuaika).

Suurin teoreettinen odotusaika saadaan, kun jaetaan 60 minuuttia ko. pysäkin kautta tunnissa kulkevien ja käypien (eli kohti määräpaikkaa vievien) joukkoliikennevuorojen määrällä. Keskimääräiseksi odotusajaksi voidaan ottaa vain osa (yleensä puolet) odotusajasta.

Jos vuorovälit ovat suuret, useimmat matkustajat katsovat aikataulusta sopivan pysäkillä tuloajan tai kyllästyvät odottamaan. Tämä voidaan ottaa huomioon pienentämällä muuttujan wait time factor arvoa. Samalla parametrilla voidaan kuvata myös liikenteen säännöllisyyttä. Pieni arvo vastaa hyvin säännöllistä liikennettä, esimerkiksi raskasta raideliikennettä, joiden lähtöajat ilmoitetaan kullekin asemalle. Suuri arvo taas kertoo, että lähtöajoissa on suuri hajonta. Usein käytetään arvoa 0,5 eli keskimääräinen odotusaika on puolet vuorovälistä. Tässä työssä on käytetty koko verkolla arvoa 0,3 ts. liikenne on katsottu melko säännölliseksi ja joukkoliikenteen käyttäjät eivät mene pysäkillä aivan satunnaisesti vaan katsovat aikatauluja.

Kysyntämatriisin matkustajat jaetaan vaihtoehtoisille reittiyhdistelmille ko. yhdistelmään kuuluvien ja ko. pisteen kautta kulkevien linjojen vuoromäärien suhteessa. Näin matka-aikakomponentit painottuvat matkustajaosuuksilla. Valinta on siinä mielessä lyhytnäköinen, että jaossa ei oteta huomioon matkan edellisten eikä myöhempien vaiheiden nousu-, odotus- tai ajoaikoja.

Eri reittiyhdistelmien kokonaismatka-aikoja vertaamalla löytyy edullisin yhdistelmä, jota ko. alueparin välisille matkoille käytetään. Matkustajat jaetaan reiteille valitun yhdistelmän mukaisesti. Kussakin solmussa valitaan alueparikohtaisesti joko linjayhdistelmä tai kävely, ei molempia.

On huomattava, että odotusajat tekevät matka-ajan epäsymmetriseksi. Toisin sanoen paras reittiyhdistelmä ja myös kokonaisaika alueelta p alueelle q voivat olla erilaiset kuin vastakkaiseen suuntaan.

On myös huomattava, että pienet muutokset linjan vuorovälissä tai nopeudessa voivat muuttaa valittua reittiyhdistelmää. Tällöin matka-aikakomponentit saattavat muuttua paljonkin, vaikka kokonaismatka-aika muuttuisi vain vähän.

Matkustaja voi vaihtaa linjalta toiselle, jos linjoilla on yhteinen pysäkki tai pysäkkien välillä on kävelylinkki. Ongelmia tuotti terminaalien koodaus. Vaihtoehdot ovat:

- Koodataan monta pistettä ja niiden välille syötöt (esimerkiksi bussipysäkiltä metroasemalle). Tällöin vaihtojen kuvaus on lähempänä todellisuutta ja voidaan käyttää solmu-kohtaisia nousuaikoja. Haittana on, että kaikki kunkin alueparin väliset matkustajat joko vaihtavat tai eivät vaihda linjalta toiselle, ts. mitään jakoa näiden vaihtoehtojen välillä ei tehdä.
- Koodataan vain yksi piste, jonka kautta ääritapauksessa kulkevat kaikki joukkoliikennevälineet metroa ja rautatietä myöten. Tällöin alueparin väliset joukkoliikennematkat jakautuvat eri linjoille ja kulkutavoille, mutta vaihtotapahtumien kuvaaminen on vaikeampaa. Esimerkiksi solmukohtainen nousuvastus koskee kaikkia joukkoliikenteen kulkutapoja.
- Vaihtokävelylinkkiä voidaan kuvata myös pseudolinjalla, jolla on hyvin lyhyt vuoroväli ja kävelyä vastaava nopeus. Tällöin jako linjojen ja kulkutapojen kesken onnistuu, mutta matka-ajan painona käytetään samaa kuin ajoajalla, ei siis kävelyajan painoa. Lisäksi nousujen määrä kasvaa.

Tässä työssä on käytetty ensin mainittua tapaa.

Joukkoliikenteen sijoittelussa kaikki tietyn alueparin väliset joukkoliikennematkat syötetään vain yhdelle lähtöpysäkille, mutta sen jälkeen matkustajat voivat käyttää useita linjoja ja jopa mon-taa kulkutapaa. Samalta alueelta toiseen määräpaikkaan suuntautuvat matkat voivat kuitenkin käyttää toista lähtöpysäkkiä. Sijoittelu ei ole kapasiteettirajoitettu sen enempää väylien kuin joukkoliikennevälineidenkään suhteen. Siksi joukkoliikennevastusten laskemisessa voisi hyvin käyttää kysyntänä ykkösmatriisia (kaikki alkiot ykkösiä). Autoliikennesijoittelu kuitenkin on kapasiteettirajoitettu autokysynnän suhteen ja siitä saatava matka-aika vaikuttaa bussien matka-aikoihin, jos bussikaistaa ei ole. Lisäksi joukkoliikennesijoittelun tuloksena syntyy mm. listaus nousevista ja poistuvista matkustajista pysäkeittäin sekä kuormituksista linkeittäin. Siksi on hyödyllistä käyttää oikeata kysyntämatriisia ja ennustematriisin sijoittelussa tämä on tieten-kin jopa tarpeen. Käytetty sijoittelualgoritmi on kuvattu Emme-manuaalin luvussa 6.3.

Joukkoliikennesijoittelu on tehtävä osana malliajoa, koska autoliikenteen kysyntä vaikuttaa autoliikenteen nopeuksiin ja bussien nopeudet taas riippuvat niistä. Sen sijaan tässä järjestel-mässä bussien määrä linkillä ei vaikuta muiden ajoneuvojen nopeuksiin.

Sijoittelu tuottaa em. listausten lisäksi seuraavat matriisit:

- kokonaismatka-aika
- ajoaika joukkoliikennevälineissä yhteensä
- liityntäkävelyajat yhteensä
- odotusajat yhteensä
- ensimmäinen odotusaika
- nousuajat yhteensä
- nousujen määrä.

Matriisien alkiot ovat keskimääräisiä aikoja tai nousumääriä alueelta alueelle.

Tulostettava kokonaismatka-aika on em. aikakomponenttimatriisien painotettu summa, jossa muita aikakomponentteja painotetaan suhteessa ajoaikaan. Jos halutaan todellinen koko-naismatka-aika, on laskettava yhteen em. aikakomponenttimatriisit ilman painoja. Näin tehtiinkin, vaikka painottamattomia joukkoliikenteen aikoja ei lopullisissa kulkutapamalleissa tarvitakaan, sillä niissä yhtenä selittäjänä on painotettu kokonaismatka-aika.

5.4.2 Sijoitteluparametrien määrittäminen [6]

5.4.2.1 Analyysin tavoite ja työvaiheet

Pääkaupunkiseudun liikennemallien estimointi edellyttää mm. joukkoliikennematkojen vastusten määrittämistä. Oletusarvoisesti bussi- ja raideliikenteen erot kuvataan verkoilta laskettaviin vastuksiin, jolloin sijoitettuparametrien ns. nousuvastuksessa otetaan huomioon eri joukkoliikennemuotojen erityispiirteet. Kävely- ja odotusajan painokertoimet ovat vakiintuneet välille 1,5–2,0, joten niiden tutkiminen ei ole ollut työssä painopisteenä.

Osatehtävä muodostui seuraavista työvaiheista

- Katsaus aikaisemmin laadittuihin sijoitteluparametreja koskeviin tutkimuksiin, selvi-tyksiin ja käytäntöihin.
- Joukkoliikenteen matkustajamäärätietojen kokoaminen olemassa olevista aineistoista. Näitä aineistoja ovat mm. Helsingin KSV:n tekemät laskennat **Helsingin niemen rajalla** (2007), YTV:n joukkoliikennematriisin päivitysmenetelmä –projektin yhteydessä matkakorttidatasta muodostetut bussiliikenteen matkustajamäärätiedot tietyissä poikkileikkauksissa, esim. **Helsingin kaupungin rajalla** (vuoden 2003 lopun tilanne) sekä VR:n lähiliikennejunien sekä metron matkustajalaskennat.
- YTV:n nykytilan (2005) joukkoliikennematriisin sijoittelu pääkaupunkiseudun työssäkäyntialueen uudelle verkko- ja linjastokuvaukselle kokeilemalla erilaisia sijoitteluparametreja, erityisesti nousuvastuksia raskaalla raideliikenteellä, busseilla ja raitiovaunuilla.
- Matkustajamäärätietojen ja sijoittelutulosten vertailu, erityisesti matkustajien jakautuminen eri joukkoliikennemuotojen kesken.
- Päätelmät ja suositukset käytettäviksi sijoitteluparametreiksi.

Analyysi on tehty 23.3.2009 luovutetulla verkkoaineistolla.

5.4.2.2 Katsaus aikaisemmin laadittuihin sijoitteluparametreja koskeviin tutkimuksiin, selvi-tyksiin ja käytäntöihin

Pääkaupunkiseudun joukkoliikenteen Emme-kuvausten sijoitteluja ovat tehneet mm. YTV, Helsingin KSV ja HKL sekä konsulteista esimerkiksi Strafica Oy.

Käytetyt parametrit vaihtelevat seuraavasti:

- Laskennallisen vuorovälin leikkuri (headway with maximum): 10–45 min
- Odotusajan osuus vuorovälistä (wait time factor): 0,3–0,5
- Odotusajan painokerroin: 1,5–2,0
- Kävelyajan painokerroin: 2,0
- Nousuvastukset
 - metro 0–5 min
 - raitiovaunu 0–10 min (mm. linjapituudesta riippuen)
 - juna 1–5 min
 - bussi 3,0–12,5 min (mm. linjapituudesta riippuen)

Laskennallisen vuorovälin leikkurin (eli sijoittelussa käytettävällä vuorovälillä on maksimiarvo riippumatta todellisesta vuorovälistä) käytön ongelmana on, että vuorovälin harventaminen leikkurin yläpuolella ei vaikuta lainkaan vastuksiin. Lisäksi keskimääräiset odotusajat laske- taan leikatusta arvosta, mikä vaikuttaa strategian valintaan. INRO suosittelee, että mah- dollisuutta asettaa vuorovälille maksimiarvo ei käytetä. Käyttämällä puolikasta pienempää odotusaikatekijää (esim. 0,3) voidaan vaimentaa pitkistä vuoroväleistä syntyvää epärealisti- sen suurta odotusaikaa.

Joukkoliikennemuotokohtaisten nousuvastusten käytössä on taustalla ajattelu, että raideliikenteen aikataulutäsmällisyys (sekä lähtö- että määräpaikan suhteen), hahmotettavuus, odotteluolosuhteet sekä mahdollisesti tasainen kulku eivät synnytä yhtä suurta matkavastusta kuin vastaavan matkan tai sen osan tekeminen bussilla. Myös matkustajamäärien havaittu jakautuminen raideliikenteen ja bussiliikenteen kesken on tukenut tätä käsitystä.

Joukkoliikenteen vastustekijöitä on käsitelty mm. seuraavissa lähteissä:

1. Joukkoliikennelinjan valintaan vaikuttavat tekijät (YTV C 1993:25)
2. Vaihdon ja matka-ajan vaikutus kulkutavan valintaan kaupunkiradan vaikutusalueella (YTV C 1999:11)
3. Joukkoliikenteen palvelutasotekijöiden arvottaminen (LVM 36/2008).

Useimmissa tutkimuksissa sekä odotuksen että kävelyn matka-ajan painokerroin asettuu välille 1,5–2,5. Näin ollen sijoittelussakaan ei ole tarkoituksenmukaista poiketa näiden arvojen ulkopuolelle.

Vaihdon merkitys matka-ajassa on lähteen 1 mukaan järjestettyjen vaihtojen osalta 3,7 min ja muiden vaihtojen osalta 8,8 min. Lähteen 2 mukaan vaihto junamatkoilla vastaa noin 5 minuutin aikaa sekä ilman syöttömatkaa että bussilla tehdyillä syöttömatkoilla. Bussilla tehdyillä matkoilla vaihdon matka-aikavastaavuus on lähteen 2 mukaan 18 minuuttia.

Lähteiden 1 ja 2 perusteella voidaan arvioida, että vaihto junamatkoilla (myös ns. järjestetty syöttövaihto) vastaa junamatkoilla 4–5 minuutin matka-aikaa ja bussimatkoilla 9–18 minuutin matka-aikaa. Ero junan ja bussin välillä olisi 5–13 minuuttia. Vaihtotapahtumaan sisältyvän odotusajan sisältyminen em. lukuihin jäi hieman epäselväksi. Mikäli odotusaikaa painotetaan, lienee perusteltua pudottaa vaihdon matka-aikavastaavuudesta muutama minuutti. Kovin suurten nousuvastusten käytöstä seuraa myös se, että osa lyhyistä joukkoliikennematkoista reitittyy sijoitteluissa kävelymatkoiksi.

Edelleen voidaan päätellä, että sijoitteluissa käytetyt raskaan raideliikenteen ja bussin väliset nousuvastuserot ovat suuruusluokaltaan järkeviä.

5.4.2.3 Nousuvastusten kalibrointi matkustajalaskentojen perusteella

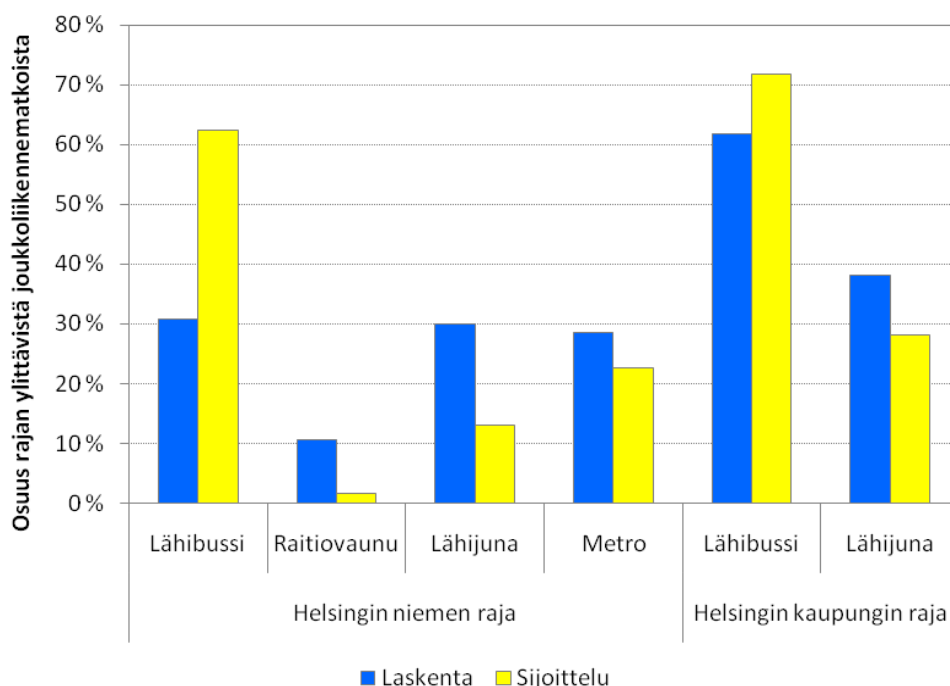
Nousuvastusten kalibroinnissa on käytetty Helsingin työssäkäyntialueen uuden Emme-verkon ja linjaston versiota, joka on toimitettu 23.3.2009.

Sijoitteluissa on käytetty seuraavia yhteisiä parametreja:

- Laskennallisen vuorovälin leikkuria ei ole käytetty.
- Odotusaikatekijä on 0,3 x laskennallinen vuoroväli.

Lähtökohdaksi laadittiin sijoittelu, jossa kaikkien joukkoliikennemuotojen nousuvastus on 5 min ja odotus- ja kävelyajan painokertoimet ovat molemmat 2,0. Tässä sijoittelussa kaikkien raideliikennemuotojen kuormitusosuus jäi molemmissa poikkileikkauksissa selvästi pienemmäksi kuin bussiliikenteen.

Raitioliikennettä sijoitteluissa käyttää vain murto-osa lasketuista matkustajista. Koska tähän saattaa vaikuttaa verkon kuvauksen tai kysyntämatriisien mahdolliset virheet esimerkiksi tutkimusalueiden sisäisten matkojen osalta, ei raitiovaunujen sijoittelua pyritty väkisin täsmäyttämään laskentoihin. Sijoittelumatkustajamääriä tarkastellessa on syytä tiedostaa, että varsinkin kantakaupungin busseihin sijoittuu matkustajia, jotka kuuluisivat raitiovaunuihin.



Kuva 9. Kuormitusosuudet, kaikilla joukkoliikennemuodoilla sama nousuvastus 5 min.

Tulosten perusteella päädyttiin kokeiluun, jossa odotus- ja kävelyajan painokertoimet pudotettiin 1,5:een ja kaikille joukkoliikennemuodoille annettiin ”pohjalle” nousuvastukseksi 1 minuutti. Bussilinjoille annettiin lisäksi linjan pituudesta epälineaarisesti riippuva lisävastus $1,5 \cdot \sqrt{\text{length}}$

jossa *length* on linjan pituus yhteen suuntaan kilometreinä.

On oletettavaa, että linjan pituus vaikuttaa esim. matka-ajan hajontaan, mutta ei kuitenkaan täysin lineaarisesti. Bussilinjojen nousuvastukselle asetettiin leikkuri 10 minuuttiin, mikä vastaa linjan pituudessa 36 kilometriä.

Saatiin siis seuraavat nousuvastukset (boarding time), jotka talletettiin linjakohtaiseen muuttuun *ut3*:

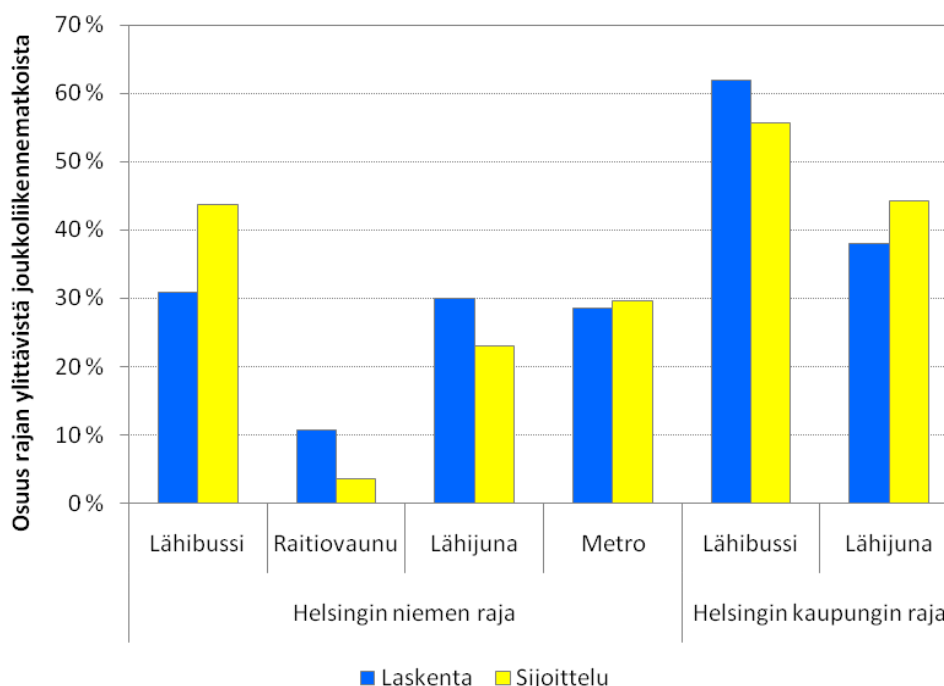
bussille	$\min\{10; 1,5 \cdot \sqrt{\text{length}} + 1,0\}$
metro, juna	1,0
raitiovaunu	1,0

Seuraavasta taulukosta ilmenee nousuvastuksen suuruus eripituisilla bussilinjoilla:

Linjapit. (km)	Nousuvastus
1	2,5
3	3,6
5	4,4
10	5,7
15	6,8
20	7,7
30	9,2
36	10,0

Tavoitteena oli määritellä nousuvastus siten, että lyhyillä, aikataulut normaalisti hyvin pitävillä syöttölinjoilla nousuvastus jää selvästi pienemmäksi kuin esim. pitkillä seutulijnjoilla. Toisaalta nousuvastuseroksi junan ja keskivertobussilinjan välillä tavoiteltiin noin 5 minuutin suuruusluokkaa kirjallisuuslähteiden ja aiemmin käytettyjen, toimiviksi havaittujen sijoitteluparametrien perusteella.

Tässä sijoittelussa raideliikenteen ja bussiliikenteen kuormitusosuudet olivat selvästi lähempänä laskentoja, mutta ero Helsingin niemen rajalla oli edelleen huomattava erityisesti raitiovaunujen osalta, mikä johtunee aiemmin mainituista raideliikennekytkentöjen tai kysyntämat-
riisiin mahdollisista puutteista.



Kuva 10. Kuormitusosuudet, nousuvastus 1 min ja bussiliikenteellä linjan pituudesta riippuvainen lisänousuvastus.

Taulukko 18. Aamuhuipputunnin matkustajamäärät Helsingin niemen rajalla keskustan suuntaan.

	Lähibussi				Raitiovaunu				Lähijuna				Metro				Yhteensä	
	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Sij
Lauttasaaren silta	1330	100 %	1746	100 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	1330	1746
Lapinlahden silta	3125	100 %	3588	100 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	3125	3588
Yhteensä	4455	100 %	5334	100 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	4455	5334
Mechelininkatu	20	100 %	0	--	0	0 %	0	--	0	0 %	0	--	0	0 %	0	--	20	0
Runeberginkatu	785	62 %	1192	96 %	490	38 %	50	4 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	1275	1242
Mannerheimintie	1470	48 %	1665	83 %	1580	52 %	347	17 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	3050	2012
Yhteensä	2275	52 %	2857	88 %	2070	48 %	397	12 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	4345	3254
Linnunlaulu	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	9020	100 %	5779	100 %	0	0 %	0	0 %	9020	5779
Yhteensä	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	9020	100 %	5779	100 %	0	0 %	0	0 %	9020	5779
Pitkäsilta	2110	18 %	2673	25 %	1145	10 %	486	5 %	0	0 %	0	0 %	8605	73 %	7427	70 %	11860	10586
Hakaniemen silta	465	100 %	116	100 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	465	116
Yhteensä	2575	21 %	2789	26 %	1145	9 %	486	5 %	0	0 %	0	0 %	8605	70 %	7427	69 %	12325	10702
Kaikki	9305	31 %	10980	44 %	3215	11 %	883	4 %	9020	30 %	5779	23 %	8605	29 %	7427	30 %	30145	25069

Taulukko 19. Aamuhuipputunnin matkustajamäärät Helsingin kaupungin rajalla Helsingin suuntaan.

	Lähibussi				Lähijuna				Yhteensä	
	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Lask %	Sij	Sij %	Lask	Sij
Länsiväylä	3711	100 %	3928	100 %	0	0 %	0	0 %	3711	3928
Lehtisaari	729	100 %	519	100 %	0	0 %	0	0 %	729	519
Yhteensä	4440	100 %	4447	100 %	0	0 %	0	0 %	4440	4447
Turunväylä	398	100 %	398	100 %	0	0 %	0	0 %	398	398
Pitäjänmäki	667	100 %	590	100 %	0	0 %	0	0 %	667	590
Kehä I	71	100 %	56	100 %	0	0 %	0	0 %	71	56
Rantarata	0	0 %	0	0 %	2297	100 %	3211	100 %	2297	3211
Yhteensä	1136	33 %	1044	25 %	2297	67 %	3211	75 %	3433	4255
Rajatorppa	795	100 %	812	100 %	0	0 %	0	0 %	795	812
Vaskipelto	53	100 %	84	100 %	0	0 %	0	0 %	53	84
Kaarela	798	100 %	792	100 %	0	0 %	0	0 %	798	792
Vantaankosken rata	0	0 %	0	0 %	1062	100 %	1123	100 %	1062	1123
Yhteensä	1646	61 %	1688	60 %	1062	39 %	1123	40 %	2708	2811
Tammisto	896	100 %	1103	100 %	0	0 %	0	0 %	896	1103
Lahdenväylä	1296	100 %	882	100 %	0	0 %	0	0 %	1296	882
Vaarala	185	100 %	625	100 %	0	0 %	0	0 %	185	625
Mellunmäki	78	100 %	462	100 %	0	0 %	0	0 %	78	462
Päärata	0	0 %	0	0 %	2602	100 %	3795	100 %	2602	3795
Yhteensä	2455	49 %	3072	45 %	2602	51 %	3795	55 %	5057	6867
Kaikki	9677	62 %	10251	56 %	5961	38 %	8129	44 %	15638	18380

Tarkastelu on painottunut pääkaupunkiseudun joukkoliikenteeseen, jossa vuorotarjonta on kohtalaisen tiheää. Muualla työssäkäyntialueella voi tulla vastaan tilanteita, joissa vuoroväli on jopa tunteja. Tämän tyyppisissä tilanteissa on syytä harkita ensimmäisen odotusajan vaimentamista pitkien odotusaikojen osalta. Odotusajan leikkureiden käyttö ei ole suositeltavaa, koska tällöin malli ei reagoi lainkaan muutoksiin, jotka tapahtuvat maksimirajojen yläpuolella. Käytännössä vaimentaminen tapahtuu sijoittelun jälkeen komponentteihin jaettuina aikamatriiseja käsittelemällä.

Tarkastelujen perusteella suositellaan joukkoliikenteen sijoitteluissa käyttämään toistaiseksi seuraavia sijoitteluparametreja:

- ut3** / boarding times (linjakohtaiset arvot, ks. edellä)
- 1** / same wait time factor for entire network
- 0,3** / wait time factor
- 1,5** / wait time weight
- 1,5** / auxiliary transit time weight
- 1** / boarding time weight

5.4.3 Joukkoliikenteen verkkoanalyysi [5]

5.4.3.1 Tavoite ja työvaiheet

Pääkaupunkiseudun työssäkäyntialueen verkko ja joukkoliikennelinjaston kuvaus on muodostettu teknisesti täysin uudistuneella menetelmällä. Tehtävässä tavoitteena on ollut saada havaintoja verkon toimivuudesta nykytilan liikennekysynnällä kuormitettuna sekä vertailutietoa verkon toiminnasta vanhoihin verkkoihin verrattuna. Koska verkolta lasketut vastustiedot ovat keskeinen mallien estimoinnissa käytettävä muuttuja, on tärkeää saada käsitys verkon toimivuudesta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Osatehtävä muodostuu seuraavista työvaiheista:

- YTV:n nykytilanteen (2005) joukkoliikennematriisin sijoittelut sekä uudelle että vanhalle verkko- ja linjastokuvaukselle samoilla sijoitteluparametreilla.
- Matka-aikavertailut esimerkkialueiden välillä (vertailu Reittioppaan matka-aikatietoihin ja YTV:n vanhan joukkoliikenneverkon matka-aikoihin).
- Sijoiteltujen matkustajamäärien vertailu.
- Arvio verkko ja linjastokuvauksen toimivuudesta sekä havainnot mahdollisista epäloogisuuksista ja virheistä.

Analyysi on tehty 15.8.2008 päivätyllä verkkoaineistolla. Aineistoon on tämän jälkeen tehty päivityksiä mm. tämän analyysin väliaikatietojen perusteella, joten osa esitetyistä kommentteista ei ole enää ajankohtaisia tuoreimman verkkoaineiston osalta.

5.4.3.2 Matka-aikavertailut

Pääkaupunkiseudun osalta on laadittu matka-aikatarkastelut 13 alueelta 4 alueelle aamuruuhkatunnin osalta. Alueet oli valittu eri puolilta seutua. Matka-aikoja on vertailtu sekä Reittioppaan antamiin lukuihin että YTV:n vanhasta joukkoliikenneverkosta tuotettuihin lukuihin. Reittioppaasta on valittu nopein ehdotetuista kolmesta yhteydestä lähtöajalla 7.30. Verkoista lasketuista matka-ajoista on vertailukelpoisuuden takia vähennetty ensimmäinen odotusaika.

Matka-ajat ovat keskimäärin 3 % pienemmät kuin vanhassa verkossa, mutta 7 % suuremmat kuin Reittioppaan antamat ajat. Keskimäärin matka-ajat ovat järkevät, sillä Reittioppaasta on haettu nopein reitti puolen tunnin aikahaarukassa. Uudella verkolla matka-ajat ovat keskimäärin hieman lähempänä Reittioppaan aikoja kuin vanhalla verkolla.

Matinkylästä lähtevien matkojen ajat ovat keskimäärin 26 % suuremmat kuin vanhassa verkossa ja 36 % suuremmat kuin Reittioppaan ajat. Tämä johtuu henkilöautoliikenteen ”yliruuhkautumisesta” erällä Matinkylän linkeillä, mikä heijastuu myös bussiliikenteen nopeuksiin, vaikka onkin käytetty henkilöautoliikenteelle miniminopeutta 10 km/h. Myös Ruoholahdessa on vastaavaa ylikuormitusta.

Yksittäisillä aluepareilla matka-aikaeroja voi syntyä myös eroista alueiden tarkoissa sijainneissa.

Pääkaupunkiseudun ulkopuolisten matkojen aikoja tarkasteltiin kahdeksan lähtöpaikan ja kolmen määräpaikan osalta. Koska Reittiopas ja YTV:n vanha verkko kattoivat vain pääkaupunkiseudun alueen, ei matka-aikavertailuja ole tehty.

5.4.3.3 Matkustajakuormitukset

Matkustajakuormitusanalyysi tehtiin kuormittamalla sekä vanhaa että uutta verkkoa nykytilanteen matriisilla. Matriisit eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska uuden verkon sijoittelu sisältää myös pääkaupunkiseudun ulkopuolelta olevaa kysyntää, kun taas vanhan verkon sijoittelussa on pelkästään pääkaupunkiseudun sisäinen kysyntä. Tämä näkyy selvemmin erona junien matkustajamäärissä. On myös mahdollista, että vanhan verkon nykytilalinjasto ei enää täysin vastaa tämän päivän linjastoa.

Yleisesti ottaen kuormituksissa ei ole merkittäviä systemaattisia eroja verkkojen välillä. Seuraavat eroavaisuudet kuitenkin havaittiin:

- Raitiovaunut kuormittuvat uudella verkolla selvästi vähemmän kuin vanhalla. Poikkeuksena on Katajanokka, jonka raitiolinja saa uudessa verkossa huomattavan suuren kuormituksen.

- Rantaradalla, pääradalla ja säteittäisillä pääväylillä näyttäisi olevan uudella verkolla kautta linjan hieman enemmän matkustajia kuin vanhalla verkolla. Tähän vaikuttaa kysyntämatriisien erot ulkoisen liikenteen osalta.
- Kehä I:n ja Kehä III:n bussilinjat saavat uudessa verkossa pienemmän kuormituksen, vastaavasti Jokeri-linja saa suuremman kuormituksen.
- Kuusisaaren kautta kulkevat linjat kuormittuvat uudessa verkossa vähemmän kuin vanhassa.

5.4.3.4 Arvio verkko- ja linjastokuvauksen toimivuudesta ja tarkistustarpeista

Matka-aikatarkastelujen ja sijoittelujen valossa verkot ja linjastot näyttivät toimivan varsin hyvin muutamia virheitä tai epäloogisuuksia lukuun ottamatta. Esimerkiksi tarkasteltujen alueparien keskimääräinen matka-aika on havaituista virheistä huolimatta järkevä ja uskottavampi kuin vanhan verkon. Osa tarkistus- ja korjaustarpeista liittyy selkeästi Digiroad-aineiston puutteisiin.

Seuraavassa on lueteltu työn aikana havaitut epäloogisuudet tai tarkistustarpeet:

- Ainakin Ruoholahdessa ja Matinkylässä joillakin linkeillä näyttäisi olevan liian vähän kapasiteettia, mikä johtaa hyvin pitkiin viipeisiin henkilöautosijoitteluissa. Tällaisten virheiden varalta on käytetty sijoitteluissa hidastumaleikkuria, jolla autoliikenteen nopeus on aina vähintään 10 km/h.
- Alueet on kytketty katuverkkoon ja vasta sieltä edelleen rata- tai raitiotieverkkoon. Tämä johtaa monin paikoin todellista pidempiin kävelymatkoihin asemille ja siihen, että yhteydet bussipysäkeille ovat suhteellisesti lyhyet raideliikenteen kävely-yhteyksiin nähden.
- Pääkaupunkiseudun ulkopuolelta tulevista busseista pääsee linjastokuvauksessa Helsingin alueella pääsääntöisesti pois vain Kampissa, esim. Munkkiniemen ja Meilahden pysäkit puuttuvat.
- Haarajoen ja Mäntsälän asemat ovat väärissä paikoissa.
- Pääkaupunkiseudulla on muutamia epärealistia syöttölinkkejä merenlahtien yli, esim. Katajaharjasta Tamminiemeen ja Ruukinrannasta Otaniemeen.

Saatujen tulosten perusteella liikennejärjestelmän kuvauksia tarkennettiin.

6 Sisäiset vastukset

Verkon kuvauksissa kukin osa-alueen keskussolmu (sentroidi) edustaa kokonaista kaupungin-osaa tai muuta aluetta. Sijoittelu tuottaa vastukset alueilta kaikille muille alueille. Sen sijaan kunkin alueen sisäisiä matkoja ei käsitellä, joten alueiden sisäiset vastukset ovat nolliä. Siksi sisäiset vastukset on laskettava erikseen.

Joukkoliikenteen kuvauksissa kullekin sijoittelualueelle laskettiin keskiarvo kahdesta luvusta: pienin vastus ko. alueelta kaikille muille alueille matkustettaessa ja vastaava arvo alueelle saapuvista. Saatu keskiarvo laitettiin sijoittelualuejaon matriisiin lävistäjälle ennen aggregointia ennustealuejakoon. Näin nollat eivät ole mukana vääristämässä aggregointia. Autoliikenteen matriiseille vastaavaa täydennystä ei tehty.

Aggregointi tehtiin kertomalla sijoittelualuejaossa oleva matriisi jakolukuvektorilla ja sen transpoosilla. Näin saatiin tulokseksi jakoluvuilla painotettu keskiarvo, joka on parempi kuin suora (painottamaton) keskiarvo, mutta toisaalta kuitenkin vakaampi kuin painottaminen joka kierroksella muuttuvilla matkamatriiseilla.

Luettaessa ennustealuejaossa olevia vastusmatriiseja ennustejärjestelmään edellä laskettuja arvoja ei kuitenkaan käytetty, vaan lävistäjällä olevat arvot eli sijoittelualueiden sisäiset vastukset korvattiin uusilla arvoilla seuraavasti:

kevytliikennematkojen etäisyydet:

$$0,7*(0,592*\ln(\sqrt{maa_pa})+1)+0,2$$

henkilöautomatkojen etäisyydet:

$$0,7*(1,25*\sqrt{maa_pa})+0,365$$

henkilöautomatkojen matka-ajat:

$$1 + (0,7*(1,4*\sqrt{maa_pa})+1,74)$$

joukkoliikenteen matka-ajat:

$$0,7*(9,468*\sqrt{maa_pa})+11,515)+3$$

joukkoliikenteen nousumäärät, aht ja iht:

$$0,101*\sqrt{maa_pa}+0,056*astih/1000$$

joukkoliikenteen nousumäärät, päivätunti:

$$0,084*\sqrt{maa_pa}$$

missä

maa_pa = alueen pinta-ala

$astih$ = alueen asukastiheys.

Lisäksi kevyen liikenteen etäisyydsmatriisissa korvataan kaikki yli 30 km olevat arvot 999:llä.

Lähdeluettelo

1. *Ajoneuvoliikenteen verkkoanalyysit*, julkaisematon muistio 17.9.2008, Strafica Oy
2. *Esiselvitys raidevastusten laatimisesta pääkaupunkiseudun työssäkäyntialueelle*, julkaisematon muistio 24.3.2009, Trafix Oy ja Linea Konsultit Oy
3. *HLJ 2011 –työn aikaiset skenaariot ja liikenne-ennusteet*, HSL:n julkaisuja xx/2012
4. *HST ennusteverkko 2030*, julkaisematon muistio 24.8.2009, Trafix Oy
5. *Joukkoliikenteen verkkoanalyysit*, julkaisematon muistio 17.9.2008, Strafica Oy
6. *Joukkoliikenteen sijoitteluparametrit*, julkaisematon muistio 26.3.2009, Strafica Oy
7. *Pääkaupunkiseudun ja sen työssäkäyntialueen Emme-kuvausten teko*, julkaisematon muistio 28.10.2008, Matrex Oy ja Trafix Oy
8. *Pääkaupunkiseudun ja sen työssäkäyntialueen EMME-verkkokuvauksen jatkotyön muistio 10/2008–2/2009 ja ohjeita verkon käyttäjille*, julkaisematon muistio 10.2.2009, Trafix Oy
9. *Vastusten laskenta*, julkaisematon muistio 13.5.2009, Trafix Oy

Liite 1. Ulkosyöttöjen numerointi.

Autoverkon ulkosyötöt (solmunumeroon lisättävä 39000).

Solmunumero	Tienumero	2. Tienumero, jos tarpeellista	Tieosa (t) / kohdat	Solmu, johon syöttö liittyy	Solmu, johon syöttö liittyy
1	52	1011	5 / 3	163758	
2	186		9	138684	
3	1873		3	138732	
4	11085		1	138824	184840
5	Uusi 1 tie			184858	
6	Vanha 1 tie		16	142290	
7	11101		2	142322	
8	280		5	142443	
9	11161		1	142587	
10	2825	2	1 / 18	142413	
11	2824		5	70063	
12	2871		4	80688	
13	54		3	79582	
14	2873		1	250814	
15	2875		1	93237	
16	130		12	93247	92275
17	3		112	92853	
18	2891		1	93066	
19	290		7	88913	
20	13826	13849	1	87123	
21	54		14	88863	
22	13816		1	88172	
23	295		3	117784	
24	140		17	230801	
25	164		2	187615	
26	11769		1	231029	
27	11770		1	188937	
28	11801		1	109390	
29	1635		9	119766	
30	167		10	45685	
31	172		4	96171	
32	174	1734	4/1	96075	
33	6		120	47039	
34	176		2	48098	
35	7		22	52823	
36	4		115	208153	

Rautatieverkon ulkosyötöt.

solmunumero	solmu, johon syöttö liittyy	aseman nimi
39300	250811	Salo
39301	250814	Hämeenlinna
39302	250821	Lahti

Liikennejärjestelmän viivytysfunktio



Tiivistelmä

Tässä työssä on laadittu liikennemäärän ja matka-ajan välistä riippuvaisuutta selittävät funktiot sekä ajoneuvosijoittelun että joukkoliikenteen sijoittelun tarpeisiin. Funktiot on koodattu Emme-ohjelmistoon.

Henkilöautofunktioiksi valittiin Davidsonin tyyppinen funktio. Davidsonin funktioiden muoto on teoreettisesti hyväksyttävä, ja ne sopivat erityyppisille väylille. Funktioiden sovitukset on lisäksi kohtuullisen helppoja. Valintaan vaikutti vahvasti myös se, että käytettävissä olivat jo aiemmin estimoidut Davidsonin viivytysfunktiot, joissa estimointi oli perustunut laajoihin kaupunkialueilla tehtyihin kenttämittauksiin.

Tässä työssä laajennettiin aikaisempia funktioita siten, että nyt linkeille koodataan parametreina vapaa nopeus sekä kapasiteettiarvo. Lisäksi aiempaa funktiosarjaa yksinkertaistettiin ja sitä laajennettiin kuvaamaan paremmin koko liikenneverkkoa kaupungeista maaseudulle. Laajennuksessa käytettiin hyödyksi aiempia Tielaitokselle kehitettyjä funktioita. Kehitetyt funktiot ovat nyt hyvin sovitettavissa erilaisille väylille. Linkkikohtaisten parametrien avulla voidaan hyödyntää erilaisia apumalleja tieverkon koodauksessa.

Funktioilla on selvä kapasiteettiraja, jota lähellä olevilla liikennemäärillä ajoneuvojen viivytykset kasvavat nopeasti. Kapasiteettipisteen ylityksen jälkeen viivytysarvo kasvaa lineaarisesti. Funktioiden muoto kapasiteetin ylityksen jälkeen on suora, jonka sovituksessa on hyödynnetty aiemmin tehtyjä yksinkertaisia jonoteoreettisia viivytyslaskelmia. Periaatteena ylikysynnän käsittelyssä on määrittää yhden tunnin ajalta keskimääräinen viivytys eri liikennemäärillä. Funktiot sopivat siis tuntiliikenteen sijoitteluihin.

Funktioilla on taipumus ohjata liikennettä pois ruuhkautuvista paikoista nopeasti kasvavan viivytysarvon seurauksena. Tämä vaatii entistä suurempaa tarkkuutta ja linkin ominaisuuksien tuntemusta verkkoa koodatessa.

Joukkoliikenteen osalta luotiin uusi tapa sijoitteluihin. Bussien (ml. kaukoliikenteen linja-autojen) matka-ajat on nyt sidottu ajoneuvosijoittelussa laskettuihin matka-aikoihin. Käytettävissä ei kuitenkaan ollut kovin hyvää aineistoa ajoneuvojen ja bussien välisten nopeuksien suhteesta, joten luotuja funktioita voidaan tarkentaa jatkossa, kun parempaa tietoa saadaan. Bussien matka-ajat lasketaan nyt lisäämällä ajoneuvosijoittelun matka-aikaan väyläluokkakohmainen vakioviivytys. Bussikaistaosuuksilla bussin nopeutena käytetään liikennemäärästä riippumatonta vakionopeutta.

Funktioista saadut kokemukset ovat hyviä. Liikennemäärien kuormittuminen verkolla on todellisen tuntuista. Verkon hitaat kohdat vaikuttavat oikeilta. On huomattava, että uudet funktiot vaativat tarkkaa verkon koodausta.

Sammandrag

I detta arbete konstruerades funktioner som förklarar sambandet mellan trafikmängden och restiden i nätfördelningen. Funktionerna behövs både i bil- och kollektivtrafikens nätfördelningar. Funktionerna används i trafikplaneringprogrammet Emme.

För biltrafiken valdes funktioner av typen Davidson. Deras form är teoretiskt godtagbar och de passar för olika typer av trafikleder. Dessutom är anpassningen av funktionerna ganska lätt. Ett starkt argument för valet av Davidsons fördröjningsfunktioner var också att de tidigare hade estimerats med hjälp av omfattande fältundersökningar inom stadsområden.

I det här arbetet generaliserades de tidigare funktionerna så, att den fria hastigheten och kapaciteten kodas som parametrar på länkarna. Dessutom förenklades och utvidgades den tidigare funktionsserien så att den bättre beskriver hela trafiknätet både i stadsmiljö och på landsbygden. För detta ändamål användes funktioner, som tidigare har utvecklats för Trafikverket. De nya funktionerna kan nu lätt anpassas till olika trafikleder. Med hjälp av länkspecifika parametrar kan olika hjälpmodeller användas i kodningen av vägnätet.

Funktionerna har en klar kapacitetsgräns. Om trafikmängden närmar sig denna gräns, ökar fördröjningarna av fordonen snabbt. När gränsen har överstigits, växer fördröjningen lineärt. I anpassningen av linjen har man använt enkla tidigare gjorda köteoretiska fördröjningskalkyler. Principen i behandlingen av övrefterfrågan är att bestämma den genomsnittliga fördröjningen för en timme för olika trafikmängder. Funktionerna är alltså gjorda för nätfördelningen av trafikmängden per timme.

Genom den snabbt ökande fördröjningen har funktionerna en tendens att leda trafik bort från platser där trafiken stockar sig. Detta förutsätter större noggrannhet än tidigare och kunskap om länkarnas egenskaper när nätverket kodas.

Vad beträffar kollektivtrafiken gjordes en ny metod för nätfördelning. Restiderna för bussar (inkl. fjärrtrafikens bussar) är nu bundna till restiderna som kalkyleras i nätfördelningen av bilar. Det fanns inte något särskilt bra material om sambanden mellan hastigheterna för bussar och andra fordon till förfogande, men funktionerna kan förbättras senare, när bättre material fås. Bussarnas restider kalkyleras nu genom att räkna ihop restiden i nätfördelningen av bilar med fördröjningskonstanten som beror endast på vägklassen. När det finns en bussfil på länken används en för bussar konstant hastighet som är oberoende av trafikmängden.

Erfarenheterna av funktionerna är goda. Trafikflödena på nätverket verkar realistiska. Trafiknätets långsamma ställen ser ut att förekomma på de rätta platserna. Det måste dock noteras, att de nya funktionerna förutsätter en noggrann kodning av nätverket.

Abstract

In this work, functions describing the dependency between traffic volume and travel time were developed both for the purposes of car traffic and public transport assignment. The functions are used in the Emme transport planning software.

Davidson type functions were chosen for cars. The form of Davidson functions is theoretically valid, and they are suitable for various types of roads. Moreover, the functions are relative easily adaptable. The choice was influenced also by the fact that there was access to Davidson delay functions that were estimated earlier on the basis of extensive field studies in urban areas.

In this work, the former functions were expanded so that free speed and capacity value are now coded as parameters on the links. In addition, the former series of functions was simplified and expanded to better describe the whole transport network from urban to rural areas. The expansion was made utilizing earlier functions developed for the Finnish Road Administration. The functions developed can now be easily adjusted to different roads. Different auxiliary models can be utilized in road network coding with the help of link-specific parameters.

The functions have a clear capacity limit; when traffic volumes reach this limit, delays to vehicles increase rapidly. When the capacity point is exceeded, the delay value increases linearly. The form of the functions above the capacity is a straight line, which is estimated utilizing earlier simple delay calculations from the queueing theory. The principle in dealing with over-demand is to define the average delay for different traffic volumes during one hour. The functions are thus suitable for the assignment of one-hour volumes.

As a result of the rapidly increasing delay value, the functions have a tendency to direct traffic away from places where traffic gets jammed. This requires ever greater precision and an understanding of the link characteristics when coding the network.

With regard to public transport, a new assignment method was developed. The travel times of buses and coaches are now dependent on the travel times calculated in car traffic assignment. However, as the data available on the relation between the speeds of buses and other vehicles was not particularly strong, the functions now developed can be specified later when more complete data is available. The travel times of buses are now calculated adding a road-type specific constant delay to the travel time calculated in the road traffic assignment. On bus lanes, a constant speed independent of traffic volumes is used as the bus speed.

Experiences of the new functions are positive. The strain on transport network seems realistic. The delay points seem to be right. It has to be noted, though, that the new functions require precise coding of the network.

Sisällysluettelo

1	Tausta	9
1.1	Nykytilanne	9
1.2	Funktioiden vaatimukset	9
1.3	Sijoitteluprosessi	9
1.4	Liikennevirran käyttäytyminen	10
2	Katsaus erilaisiin funktioihin	11
2.1	Suomi	11
2.2	Kirjallisuusselvitys	12
3	HSL:n uudet funktiot	14
3.1	Valinta	14
3.2	Ajoneuvoliikenteen funktiot	16
3.3	Joukkoliikenteen funktiot	20
3.3.1	Bussit ja linja-autot	20
3.3.2	Raideliikenne	21
3.4	Funktioiden sijoittelutestit	22
3.5	Vertailu aikaisempiin funktioihin	26
3.6	Yhteenveto uusien funktioiden käyttäytymisestä	30
3.7	Funktioiden käyttö	31
3.7.1	Konversio	31
3.7.2	Sijoittelut	32

Kuvaluettelo

Kuva 1. Uudet funktiot liikennemäärä–matka-aika-akselistossa	19
Kuva 2. Uudet funktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa	19
Kuva 3. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät Helsingin työssäkäyntialueella	23
Kuva 4. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät pääkaupunkiseudun kehysalueella	23
Kuva 5. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät pääkaupunkiseudulla	24
Kuva 6. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat ajonopeudet	24
Kuva 7. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat matka-ajat (min/km)	25
Kuva 8. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat joukkoliikenteen matkustajamäärät	25
Kuva 9. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla ja vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla ja vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisilla.	27
Kuva 10. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla ja vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla ja vuoden 2005 aamuhuipputunnin +10 % matriisilla.	27
Kuva 11. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.	28
Kuva 12. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.	28
Kuva 13. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien ajonopeuksien ero vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.	29
Kuva 14. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien ajonopeuksien ero uusilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.	29

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Väyläluokat Keräsen funktioissa (esimerkkiväylät ovat vuoden 1990 tilanteen mukaisia).	15
Taulukko 2. Digiroadissa olevat väyläluokat	16
Taulukko 3. Uusien funktioiden mukainen väyläluokitus ja vastaavuus aiempaan YTV:n Emme- koodaukseen.	16
Taulukko 4. Uusien YTV-funktioiden parametrit funktioluokittain.	17
Taulukko 5. Uusien YTV-funktioiden bussien viiveparametrit funktioluokittain.	20
Taulukko 6. Suoritteet vertailuverkoilla uusilla ja vanhoilla funktioilla aamuhuipputunnin sijoittelussa. ..	30

1 Tausta

1.1 Nykytilanne

Seudulla on käytetty vanhoihin ruotsalaisten kehittämiin funktioihin perustuneita viivytysfunktioityyppejä. Funktioiden taustasta ei ole kuitenkaan ollut tarkempaa tietoa. Funktiosarjaa on ajan mittaan sovitettu seudun olosuhteisiin kokemuksen mukaan.

Käytetyillä funktioilla liikennemäärän kasvaessa matka-aika kasvaa jatkuvasti, mutta melko loivasti. Funktioiden loiva muoto ja selvien kapasiteettipisteiden puute on mukava asia sijoitteluisissa: iteraatiot etenevät nopeasti ja iterointikierroksia tulee vähän.

Viivytysfunktioista puhuttaessa käsitellään koko ajoneuvovirtaa. Siten siinä ovat mukana kaiken tyyppiset ajoneuvot eli myös raskaiden ajoneuvojen määrä vaikuttaa ajonopeuksiin ja välityskykyyn muun ajoneuvovirran mukana.

Silti joukkoliikenteen osalta on tähän saakka ollut tilanne, jossa joukkoliikenne ja muu ajoneuvoliikenne ovat olleet liikennemallissa täysin erillään. Periaatteessa bussien ja raitiovau-
nujen nopeus on kuitenkin sidoksissa muun ajoneuvoliikenteen nopeuksiin. Siten funktioiden osalta päähuomion tulisi kohdistua koko ajoneuvoliikennemäärän ja matka-ajan välisten riippuvuuksien kuvaamiseen. Poikkeuksen muodostavat joukkoliikenne-etuisuudet (tärkeimpinä bussikaistat ja valoetuisuudet), jotka nopeuttavat huomattavasti bussi- ja raitiovaunuliikennettä.

1.2 Funktioiden vaatimukset

Viivytysfunktioiden tulee täyttää seuraavat minimiehdot:

1. Funktioiden tulee olla jatkuvasti kasvavia.
2. Niiden tulee olla derivoituvia (ei saa olla taitepisteitä eikä muita derivaatan epäjatkuvuuskohtia).
3. Funktioilla lasketaan vain ajoneuvojen matka-aikaa. Näin ollen funktioiden tulee kuvastaa mahdollisimman hyvin todellisuutta.
4. Funktioiden tulee olla jossain määrin sovitettavissa paikallisiin oloihin. Esimerkiksi kaksiajorataiseksi luokiteltavan kaupungin pääkadun nopeakajon rajoituksen muuttaminen tulee pystyä huomioimaan käytetyissä funktioissa.

Vaatimus 3 on ehdoista hankalin ja edellyttää mittavia kenttätutkimuksia riittävän havaintoaineiston saamiseksi. Funktioilla laskettujen matka-aikojen realistisuus on nostettu minimiehdoksi, koska lähes kaikki liikenneverkkoon liittyvät kehittämistoimenpiteiden vaikutukset lasketaan liikennemalleihin perustuen.

Funktioiden on toimittava Emme-ohjelmistossa, joten lopulliset funktiot kirjoitetaan ohjelmiston ymmärtämään muotoon. Itse kaavat ovat yleispäteviä ja soveltuvat muihinkin ohjelmistoihin. Välitulosten tallentamiseen ja hakuun käytetyt Emmen put- ja get-funktiot on kuitenkin silloin korvattava apumuuttujilla tai käsiteltävä muuten ko. ohjelmiston mahdollistamalla tavalla.

1.3 Sijoitteluprosessi

Liikenneverkon sijoittelussa haetaan sellainen reitti alueparien välillä, jota edullisempaa ei ole. Edullisuuden mittarina on yleensä matka-aika, joskus yleistetty matkavastus (esimerkiksi matka-ajan ja matkan pituuden painotettu summa). Kyseessä on siis optimointitehtävä, joka ratkaistaan Emme-ohjelmistossa matemaattisesti Frank–Wolfen algoritmiin perustuvana

(yleensä) tasapainosijoitteluna (equilibrium assignment). Tasapainotilanteessa kukaan ei voi enää pienentää matka-aikaansa reittiä vaihtamalla. Yksinkertaistaen algoritmi laskee erilaisien reittiyhdistelmien matka-aikojen summia, joista pienimmän matka-ajan reitti valitaan. Tasapainosijoittelu on iteratiivinen prosessi, jossa reitin etsintä toistetaan useita peräkkäisiä kertoja (tyypillisesti 10–100 kertaa). Kunkin iteraatiokierroksen matka-aika lasketaan edellisen kierroksen sijoittelun liikennemäärien perusteella. Matka-aikojen laskenta on linkkikohtainen ja tehdään viivytysfunktion kuvauksen mukaisesti. Lopullisessa sijoittelutuloksessa huomioidaan edellisten iteraatioiden tulokset ja lopputuote on eräänlainen painotettu summa, jossa alueparien välillä käytetään useita reittiyhdistelmiä.

1.4 Liikennevirran käyttäytyminen

Pienillä liikennemäärillä ajonopeudet ovat sidoksissa nopeusrajoitukseen. Rajoituksen ollessa yli 80 km/h keskinopeudet ovat yleensä pienempiä kuin rajoitusarvo. Hitaammilla nopeusrajoituksilla keskinopeudet ovat yleensä suurempia kuin nopeusrajoitus.

Liikenteen lisääntyessä ajoneuvot alkavat vaikuttaa toistensa käyttäytymiseen. Liikenteen keskinopeus laskee hieman ja vaihtelut lisääntyvät. Kun liikennemäärä edelleen kasvaa, liikenne alkaa jonoutua, jolloin keskinopeudet alenevat ja nopeusvaihtelut edelleen kasvavat. Häiriöherkkyys lisääntyy ja pieni poikkeama liikennevirran normista voi aiheuttaa siihen suuria häiriöaaltoja. Lähellä kapasiteettia keskinopeus laskee selvästi. Kun kapasiteettipiste on hetkellisesti ylitetty riittävän pitkäksi aikaa, saavutaan ylikysyntätilanteeseen, jolloin liikenne on täysin jonoutunut. Jono liikkuu suunnilleen vakionopeudella ja nopeusvaihtelut eivät enää ole kovin suuria. Tosin jonolle on tyypillistä vaihteluiden hitaus, jono saattaa jopa seistä – mutta jono käyttäytyy hyvin vakiodusti, liikkuu samalla nopeudella.

Tässä on huomattava, että linkin kapasiteetti ei ole riippuvainen linkin pituudesta. Siten ylikysyntätilanteessa liikennemäärän ja matka-ajan riippuvaisuuden kuvaaja on suora, jonka kaltevuus on sama eripituisilla linkeillä. Tämä aiheuttaa pienen ongelman funktioon, sillä lyhyillä linkeillä funktioon muodostuu helposti pieni "niska" – kapasiteetin lähellä liikennemäärän kasvaessa matka-aika kasvaa nopeasti jyrkentyen, kunnes kapasiteetin ylittävillä liikennemäärillä matka-aika (min/km) vakioituu.

Häirityissä olosuhteissa, kuten kaupunkialueilla, liikennevirran ulkoiset seikat vaikuttavat voimakkaasti nopeuksiin. Liikennevalo-ohjaus sekä muut samalla väylällä ja risteävillä kaduilla liikkuvat vaikuttavat liikennevirtaan. Kaupungeissa ei oikeastaan ole yhtä liikennevirtaa yhdellä tiellä, vaan alueellisia virtoja, jotka risteilevät voimakkaasti keskenään.

Viivytysfunktioiden haastavana tehtävänä on yrittää kuvata reaali maailman monitahoista ruuhkautumista "oikein" Emme-ohjelmiston maailmassa, jossa kaikki liikenne sijoitellaan yhdellä kertaa verkolle. Siten ylikysynnän kuvaaminen täytyy tehdä matemaattisesti, jossa liikennemäärästä aiheutuva ruuhkautuminen pyritään kuvaamaan mahdollisimman todenmukaisena. Simulointiohjelmilla ei tarvitse välittää laskennallisista matka-ajoista, koska niillä matka-aika on seurausta simuloinnin aikana esiintyvistä ylikysyntätilanteista ja matka-ajat syntyvät simuloidun ruuhkautumisen mukaisena. Emmessä sen sijaan ylikysyntä heijastetaan viivytysfunktioon kuvaamaan tarkasteluajanjakson, yleensä tunnin ajan, keskimääräistä viivettä ruuhkautumisesta.

2 Katsaus erilaisiin funktioihin

2.1 Suomi

Suomessa on HSL:n (YTV:n) funktioiden lisäksi käytetty Tiehallinnolle kehitettyjä ns. Pesosen–Lahelman funktioita, jotka ovat soveltuneet hyvin maantieliikenteen kuvaamiseen. Funktiot kehitettiin LAM-pistetietoihin perustuen, joten ne täyttävät empiirisen aineiston vaatimuksen osittain. Osittain siksi, että pisteessä havaittu nopeustieto vaihtelee ja on täysin sidoksissa pisteen sijaintiin linkillä. Pahimmassa tapauksessa ruuhkautuminen havaitaan havaintopisteessä lähes on–off -tyyppisesti.

Käytössä on ollut myös erilaisia BPR-tyyppisiä (kutsutaan myös FHWA-tyyppisiä) eksponenttifunktioita, joiden taustaa ei ole selvitetty sen kummemmin. Käyttäjät ovat modifioineet niitä tarpeensa mukaisesti.

BPR-funktiot ovat muotoa:

$$T = T_o * \left(1 + \tau * \left(\frac{Q}{S} \right)^\alpha \right),$$

missä

T = autoliikenteen matka-aika

T_o = autoliikenteen matka-aika vapaissa olosuhteissa (pienillä liikennemäärillä)

α, τ = parametreja, jotka vaikuttavat käyrän muotoon (kuinka nopeasti matka-aika kasvaa liikennemäärän lähestyessä linkin kapasiteettia)

Q = liikennemäärä

S = kyllästymisliikennemäärä, linkin kapasiteetti.

Mm. Tampereen TALLI-malleissa on käytetty hieman modifioituja ns. Keräsen funktioita, jotka on kehitetty pohjautuen kohtalaisen laajaan liikennemäärän ja matka-aikojen havaintoaineistoon. Aineiston perusteella kehitettiin erityisesti kaupunkiliikenteeseen soveltuva funktio-sarja. Funktiot noudattivat Davidsonin kehittämää kaavaa (polynomifunktio).

Emmen kantaviin voimiin pitkään kuulunut Heinz Spiess on esitellyt ns. konikaalifunktiot (Conical). Funktioilla on monenlaisia hyviä ominaisuuksia, mutta ne edustavat teoreettisia funktioita, jotka eivät pohjaudu empiirisiin tutkimuksiin. Ainakaan kirjoittajan tiedossa ei ole, että niitä olisi yritetty kalibroida havaintoaineistoon.

On huomattava, että funktioiden merkitys tulee esiin vasta, kun tarkastellaan ruuhkautuneita olosuhteita. Ruuhkatilanne on se, joka kasvattaa matka-aikaa huomattavasti. Ruuhkattomissa oloissa pienillä liikennemäärillä ajellaan vapaissa olosuhteissa, jossa matka-aika on enemmän sidoksissa nopeusrajoitukseen kuin liikennemäärään.

2.2 Kirjallisuusselvitys

Tässä työssä koottiin katsaus maailmalla kehitettyihin funktioihin. Maailmalla on olemassa paljon erilaisia ja eri tavalla koottuja funktioita:

Application of Intersection-Based Volume Delay Functions in Greater Vancouver: 11th International EMME/2 User Conference Toronto October 1996. T. Partridge & K. Krajczar. Artikkelissa kuvataan Partridgen risteysmenetelmä linkin ohjausviiveen määrittelyyn. Se perustuu linkin poistumissolmun (risteyksen) kapasiteettiin. Linkin pituudella ei ole merkitystä. Vuonna 1996 Vancouverin mallissa korvattiin vanhat BPR-funktiot Partridgen funktioilla. Malli on tehty EMME/2:lla.

GTA A.M. Peak Hour Network Coding Standard. Vuodet 1998 ja 2004. University of Toronto. Molemmat ovat ohjeita Toronton EMME/2-verkon kanssa työskenteleville ja määrittelevät käytetyt "standardit". Käytettävässä mallissa on yhdistetty auto- ja joukkoliikenne samalle verkolle. Joukkoliikenteen linkkikohtaisina nopeuksina käytetään joko samoja funktioita kuin autoliikenteellekin tai kiinteitä nopeuksia, jos ne saavat etuisuuksia valoissa tai kulkevat esimerkiksi omalla kaistallaan.

Using Intersection-based Delay Algorithms to Determine BRT Operation Effectiveness, 9th TRB Conference on April 2003 in Baton Rouge, Louisiana. Artikkelissa kuvataan muun muassa risteysominaisuuksiin perustuva menetelmä ohjausviiveen arviointiin. Menetelmässä tarkastellaan risteävien teiden toiminnallisen luokan erotusta. Tarkastelua on tehty pääkadulla vihreässä aallossa sekä satunnaisilla saapumisilla.

Nopeus-liikennemääräfunktioiden muodostaminen LAM-aineistosta, Tielaitoksen selvityksiä 22/1994; Pesonen, Lahelma. Raportissa kuvataan LAM-aineiston avulla muodostettujen EMME/2 viivytysfunktioiden laatiminen. Funktiot on tehty Tielaitoksen moninaisia tieverkkoja varten, mutta ei niinkään ruuhkautuneita katuverkkoja silmäläpäitään.

TU06 – Nya V/D-funktioner för tätort, revidering av TU71-funktionerna, VTI: Olstam, Matstoms 2007 ja Nya V/D-funktioner på väg – preliminära funktioner för tätortsmiljöer baserade på ny metod, VTI: Olstam, Matstoms 2006. Ruotsin VTI on kehittänyt uusia funktioita kuvaamaan viivytyksen ja liikennemäärän suhdetta erilaisissa olosuhteissa. Vuonna 2006 tehdyssä projektissa määriteltiin uudet funktiot, jotka perustuvat sekä linkkien nopeuksiin että risteysten viivytyksiin. Erilaisten teiden ja risteysten viivytysfunktion määrittämisen helpottamiseksi kehitettiin tietokoneohjelma. Funktioita testattiin ja viilattiin jälkimmäisessä projektissa, mikä johti uusien TU06-funktioiden syntyyn. Funktioita testattiin Tukholmasta tehdyllä Emme-mallilla, jonka sijoittelutulos verrattiin todellisiin liikennemääriin. Tulokset vaikuttavat lupaavilta ja funktioita aiotaan testata myös muissa ympäristöissä niiden yleispätevyyden toteamiseksi.

Conical Volume-Delay Functions, Heinz Spiess 1989. Artikkel esittelee kartiomaisia (conical) viivytysfunktioita vaihtoehtona perinteisille BPR-funktioille, joilla on omat heikkoutensa. Kartiomaisten funktioiden todistetaan täyttävän seitsemän viivytysfunktioille esitettyä kriteeriä. Vuonna 1997 artikkeliin on lisätty liitteeksi ohjeita kartiomaisten funktioiden koodaamiseksi EMME/2:lle.

NCHRP Report 535 – Predicting Air Quality Effects of Traffic-Flow Improvements, TRB 2004. Sisältää mm. selitystä Akcelik-viivytysfunktioista ja kalibrointiparametreja, kapasiteettiarvoja, vapaan nopeuden arvoja yms. erilaisille teille. Tutkimuksessa on käytetty HCM2000:n viivytys- ajonopeusmallia.

Arterial Speed Study for Southern California Association of Governments, Dowling Associates, Inc. April 2005. Tutkimuksessa on vertailtu erityyppisiä viivytysfunktioita mitattuun aineistoon pääkaduilla Etelä-Kaliforniassa. Vertailussa oli myös eri alueiden viranomaisilla Etelä-Kaliforniassa käytössä olevia funktioita. Funktiotyyppejä oli Akcelik, eksponentiaalinen, kartiomainen sekä liittymien ja linkkien viiveisiin erikseen perustuvat funktiot (exhibit 29).

Liikennevirran ominaisuudet, Teknillinen Korkeakoulu, opetusmoniste. Luttinen, Pursula & Innamaa, 2005. Käsitellään laaja-alaisesti liikennevirtaan liittyvää teoriaa monissa tilanteissa, kuten tielinjan välityskyky, valo-ohjatut liittymät, valo-ohjaamattomat liittymät; stokastinen, makroskooppinen ja mikroskooppinen liikennevirtateoria, jono-teoria ja palvelutaso.

Liikennemäärä–viivytysfunktio tasapainosijoittelumenetelmässä. Teknillinen Korkeakoulu, Keränen 1990. Diplomityö. Työssä tehtiin laajat kenttämittaukset ja kirjallisuusselvitys sekä kehitettiin valitun funktiotyypin mukainen funktiosarja Suomen olosuhteisiin.

3 HSL:n uudet funktiot

3.1 Valinta

Kirjallisuusselvityksen ja ryhmän kokemuksen mukaan päädyttiin uusien funktioiden osalta soveltamaan Keräsen ja Pesosen–Lahelman funktioita. Muista erityisesti uudet kanadalaiset ja ruotsalaiset kehittämät vaikuttivat erittäin kiinnostavilta. Vahvana perusteena valinnalle oli niiden hyvä teoreettinen tausta ja etenkin se, että ne perustuivat kenttämittauksiin.

Funktiot perustuvat Davidsonin kaavaan:

$$T = T_o * \left(1 + J * \left(\frac{Q}{S - Q} \right) \right),$$

missä

T = autoliikenteen matka-aika

T_o = autoliikenteen matka-aika vapaissa olosuhteissa (pienillä liikennemäärillä)

J = parametri, joka vaikuttaa käyrän muotoon (kuinka nopeasti matka-aika kasvaa liikennemäärän lähestyessä linkin kapasiteettia)

Q = liikennemäärä

S = kyllästymisliikennemäärä, linkin kapasiteetti (tässä: käytännöllinen kapasiteetti).

Ryhmässä päädyttiin kehittämään Keräsen funktioiden tyyppinen suppea funktiosarja, johon parametrisoidaan Pesosen–Lahelman funktioiden tyyliä apumuuttujia, jotka kuvaavat linkkien ominaisuuksia. Siten funktiot voidaan sopeuttaa monenlaisiin olosuhteisiin sekä tie- ja katutyyppeihin.

Ajoneuvofunktioiden lisäksi kehitettiin bussien viivytysfunktiot. Funktioissa bussin nopeus on riippuvainen ajoneuvoliikenteen nopeuksista sekä bussietuisuuksien olemassa olost.

Tässä työssä lähtökohtana on ollut työssäkäyntialueen liikennejärjestelmäkuvauksen verkko, joka perustuu Digiroad-aineistoon. Digiroadiin kuvattu väylän tyyppi ja tien toiminnallinen luokka vastaavat tierekisterin mukaista luokitusta (ks. taulukko 2). Luokitus on karkeahko eikä palvele kovin hyvin kaupunkialueiden katuverkon toiminnallisia luokkia. Lisäksi on käytetty Digiroadissa ollutta nopeusrajoitustietoa sekä kaistamäärätietoja. Näiden suhteen on mainittava, että Digiroad-aineisto sisältää virheitä sekä taajamissa että taajamien ulkopuolella. Käytetty Digiroad-aineisto oli muunneltu MapInfo-muotoon ja on mahdollista, että konversiossa on ollut ongelmia.

Keräsen funktioissa käytettiin hyvin tarkkaa väyläluokitusta (taulukko 1). Pesosen funktiot luokiteltiin moottoriteihin, moottoriliikenneteihin ja kaksikaistaisiin teihin. Lisäksi Pesosen funktioissa käytettiin muuttujana nopeusrajoitusta.

Taulukko 1. Väyläluokat Keräsen funktioissa (esimerkkiväylät ovat vuoden 1990 tilanteen mukaisia).

Luokka Taajaman ulkopuolella	Nopeusrajoitus	Mittauspaikkoja mm.	Havaintomäärä
10, Moottoritie	120 Tarvontie, Lahdentie 100 Tarvontie		13 39
20, Maantie	80 Uusi kehä III, Tuusulantie 60 Vanha kehä III, Tuusulantie		24 26
Taajama-alueet			
11, Moottoritie	100 Länsiväylä 80 Länsiväylä		77 182
31, Useampikaistaiset eritasoliittymin, ei valoja	80 Kehä I, Itäväylä 70 Kehä I, Itäväylä		32 8
32, Useampikaistaiset eritasoliittymin, valoilla			
normaali	70 Kehä I, Itäväylä		22
normaali	60 Kehä I, Itäväylä		39
hidas	70 Kehä I		12
hidas	60 Kehä I		16
41, Esikaupunkipäätie, ei valoja	50 Vanha Turuntie, Kuusisaarentie		37
42, Esikaupunkipäätie, valoilla	50 Espoonväylä, V. Turuntie, Kuusisaarentie, Merikosken sillat (O) 60 Vanha Kehä III, Limingantie(O), Kemintie (O)		76 42
51, Keskusta, pääkadut, ei valoja	50 Tulliväylä(O)		18
52, Keskusta pääkadut, valoilla	50 Mannerheimintie, Nordenskiöldinkatu, Mechelininkatu, Mäkelänkatu, Mannerheiminkatu(P)		87
61, Keskusta, muut pääkadut, ei valoja	50 Rautatienkatu (O), Aleksanterinkatu(P)		37
62, Keskusta, muut pääkadut, valoilla	50 Saaristonkatu(O), Aleksanterinkatu(P), Mannerheiminkatu(P)		63
71, Keskusta, kokoojatyyppiset, ei valoja	50 Jokikatu(P), Lundinkatu(P)		19
72, Keskusta, kokoojatyyppinen, valoilla	50 Rautatienkatu(O), Runeberginkatu(P), Saaristonkatu(O), Uusikatu(O)		55

Mittauskohteet ovat pääkaupunkiseudulta, ellei toisin ole ilmoitettu. Suluissa oleva O tarkoittaa Oulua ja P Porvoota.

Taulukko 2. Digiroadissa olevat väyläluokat.

Tyyppi	Toiminnallinen luokka
Moottoritie	Seudullinen pääkatu / valtatie
2-ajoratainen tie	Seudullinen pääkatu / valtatie
1-ajoratainen tie	Alueellinen pääkatu / seututie
Kiertoliittymä	Kokoojakatu / yhdystie
Ramppi	Liityntäkatu / tärkeä yksityistie
Moottoriliikennetie	Muu yksityistie

Funktioiden luokituksessa oleellisia tietoja ovat nopeusrajoitus sekä kaistamäärätiedot, jotka kuvaavat hyvin pitkälle väylien toiminnallista tasoa. Luokitukseseen olisi ollut hyvä saada tieto mahdollisista liikennevaloista sekä väistämisvelvollisuuksista, mutta näitä ei ollut käytettävissä.

Uusien funktioiden väyläluokituksen lähtökohtana oli Digiroadin mukainen tyyppijako. Tätä oli mahdollista tarkentaa väylien toiminnallisuuden mukaan ja ryhmitellen sopivasti lähellä toisiinsa olevia Keräsen funktioita. Varsinaisia funktioluokkia on viisi, jotka jakaantuvat nopeusrajoituksen ja toiminnallisuuden perusteella alaluokkiin. Luokitus on taulukossa 3, jossa näkyy myös aiemmin käytössä ollut HSL:n (YTV:n) parhaiten vastaava viivytysfunktio. HSL käyttää viivytysfunktioita laajalla skaalalla, joten taulukossa esitetään paras tulkinta.

Taulukko 3. Uusien funktioiden mukainen väyläluokitus ja vastaavuus aiempaan HSL:n (YTV:n) Emme-koodaukseen.

	Väyläluokka	Tarkennus	uusi vdf	Nopeus- rajoitus	vanha vdf (YTV)
1	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	44
2		moottoritie		100	42
3		moottoritie		80	40
4	Maantiet / Useampikaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie/useampikaist	fd2 (fd7)	100	42
5		maantie/useampikaist		80	40
6		maantie/useampikaist		70	39
7	Useampikaistaiset pääkadut tasoliittymän valoilla	us.kaist.,valot	fd3 (fd8)	70	38
8		us.kaist.,valot		60	36,35
9	Pääkadut	esikaup,pääk,ei valoja	fd4 (fd9)	50	35
10		esi,pääk, val/kesk.ei val		50	34
11		esi.pääk,.val/kesk.ei val		40	33
12	Kokooja/tonttikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	33
13		kesk.kokooja		40	32
14		pienet tonttikadut		30	30

3.2 Ajoneuvoliikenteen funktiot

Tässä työssä funktiot määriteltiin perustuen aiempiin kehitelmiin ja estimointeihin. Myöskään Davidsonin funktioiden parametreja ei estimoitu havaintoaineistoista, vaan ne määritettiin sovittamalla ne aikaisempaan funktiosarjaan.

Davidsonin funktiossa on vähän parametreja. Niistä vapaa matka-aika ja kapasiteetti ovat yksiselitteisiä. Funktion J-parametri toimii funktion muodon määrääjänä. Suurikapasiteettisilla väylillä J-parametrin arvo on pieni (0,01–0,03) ja pienimmillä kaduilla suuri (0,3–0,4). J-parametrin arvon kasvu loiventaa funktion muotoa.

Uudet funktiot ovat luokittelun lisäksi edelleen kehitettyjä versioita aiemmista Keräsen funktioista. Nyt Pesosen–Lahelman funktioiden mukaisesti linkeille lasketaan erillisiksi apumuuttujiksi kapasiteetti ja vapaa nopeus, kun ne aiemmin olivat sisäänrakennettuja muuttujia. Tämä mahdollistaa linkkien ominaisuuksien muokkauksen jatkossa ilman funktion vaihtoa (esimerkiksi nopeusrajoitusmuutosten tekeminen).

Suuri muutos on tehty ylikysyntätilanteen kuvaukseen. Aikaisemmissa funktioissa ylikysyntätilanne kuvattiin suoralla, jonka kulmakertoimen oli funktion derivaatan arvo kapasiteettipisteessä, ja erikseen oli määritetty tangenttipiste, jossa vaihto tapahtui. Nyt ylikysyntäsuora on laskettu väyläluokakohtaisen kulmakertoimen perusteella kapasiteettipisteestä alkaen. Tällä yksinkertaisella muutoksella linkin ominaisuustietoja muutettaessa myös ylikysyntätilanne käsitellään funktioissa oikein. Ylikysyntätilanteessa on oleellista, että funktioiden kuvaajat noudattavat väyläluokakohtaisia kaltevuuksia (että matka-aikojen kasvu tapahtuu yhtä suurena liikennemäärien lisääntyessä), muussa tapauksessa ruuhkautuneella verkolla sijoittelutulokset voivat olla epäloogisia.

On huomattava, että ylikysyntäsuorat on alun perin laskettu havaittujen ylikysyntäviivytysten ja liikennemäärien perusteella. Ylikysyntätilanteessa oikeassa elämässä tapahtuva liikennemäärien lasku heijastetaan kysyntäliikennemäärää vastaavaksi keskimääräiseksi viivytyskeksi ylikysyntätilanteen kestoajana. Tässä on käytetty aiemmin määritettyjä Keräsen funktioiden ylikysyntätilanteen kuvauksia, joita on jalostettu käyttökelpoisemmaksi. Uusien funktioiden ylikysynnän kuvaus on käytännön kannalta riittävän tarkka verrattuna Keräsen funktiosarjaan.

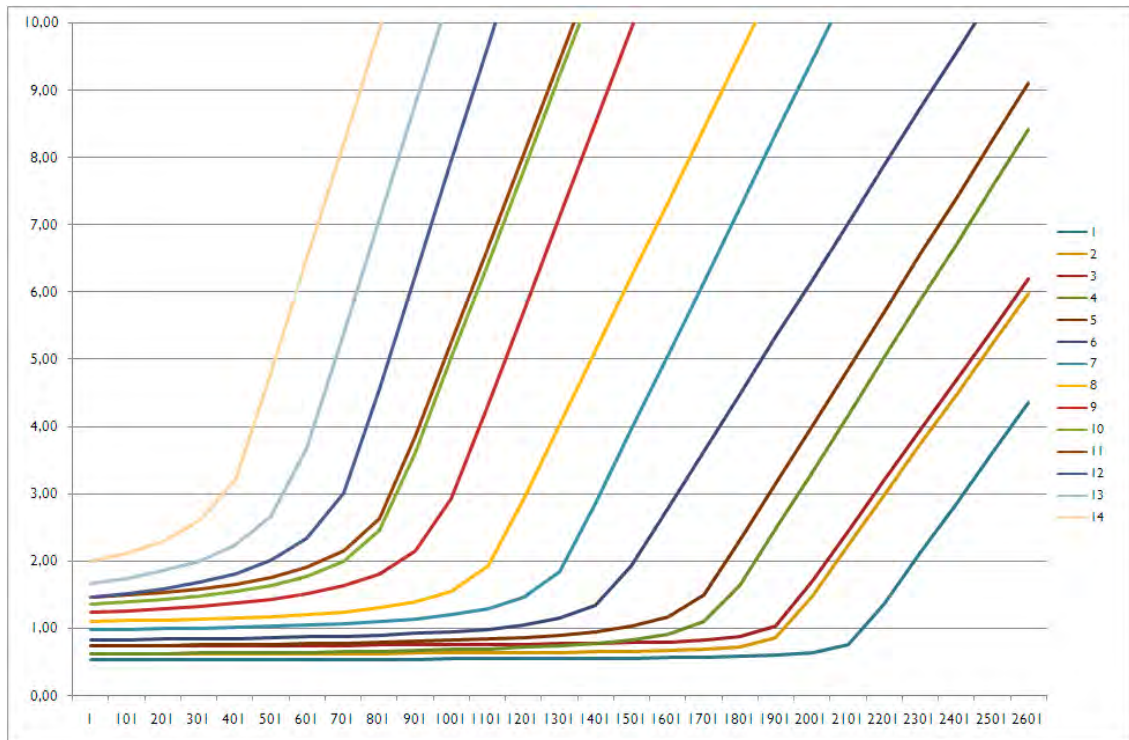
Verkonkuvaukseen on liitetty tunniste bussikaistojen olemassa olemisesta. Siksi funktioista tehtiin toinen sarja, joita käytetään bussikaistallisten väylien osalta. Funktioiden kuvaus on muuten sama, mutta ajoneuvojen käytössä olevaa kaistamäärää on vähennetty.

Taulukko 4. Uusien HSL-funktioiden parametrit funktioluokittain.

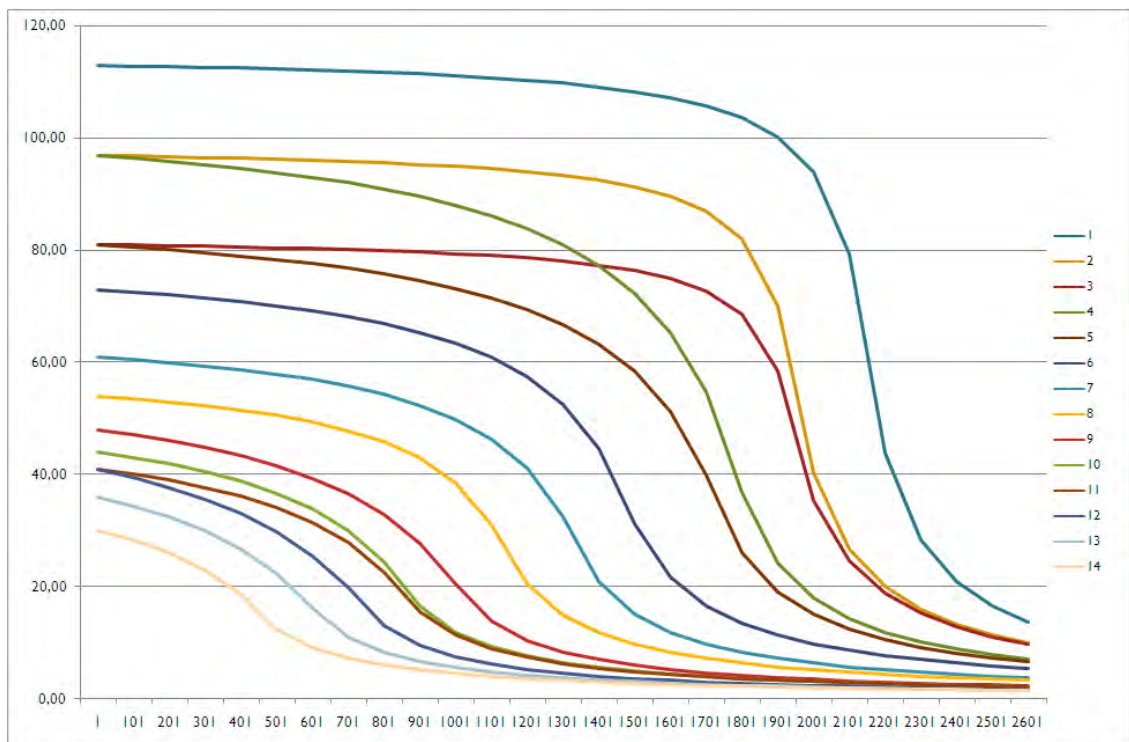
	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys-funktio	Nopeus-rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, ul2)	Vapaa nopeus (min/km)	Kapasiteetti S (ajon/h, ul1)	muoto-parametri J	Ylikysyntä-suoran alku (ajon/h)
1	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	2200	0,02	2145
2		moottoritie		100	97	0,619	2000	0,02	1950
3		moottoritie		80	81	0,741	2000	0,02	1950
4	Maantiet / Useampi-kaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymien	maantie/useampikaist	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1900	0,09	1777
5		maantie/useampikaist		80	81	0,741	1850	0,09	1730
6		maantie/useampikaist		70	73	0,822	1600	0,09	1496
7	Useampikaistaiset pääkadut tasoliittymien valoilla	us.kaist.,valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1450	0,1	1327
8		us.kaist.,valot		60	54	1,111	1250	0,1	1144
9	Pääkadut	esikaup.pääk.ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1150	0,2	1001
10		esi.pääk.val/kesk.ei val		50	44	1,364	1000	0,2	870
11		esi.pääk.,val/kesk.ei val		40	41	1,463	1000	0,2	870
12	Kokooja/tonttikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	900	0,3	729
13		kesk.kokooja		40	36	1,667	750	0,3	608
14		pienet tonttikadut		30	30	2,000	600	0,3	486

Funktioiden yhtälöt (matka-aika minuutteina kilometriä kohden) Emme-muodossa ovat alla. Funktiot fd1–fd5 ovat taulukon 4 mukaisia perusfunktioita ja fd6–fd10 vastaavia bussikaistallisten väylien funktioita, joissa kaistamäärästä on vain vähennetty bussikaista. On huomattava, että perusfunktioita muutellaan nopeusrajoituksen (vapaan nopeuden) ja kapasiteetin mukaan ja valmiiksi laskettuja perusfunktioita on 14 erilaista (numerot 1–14), jotka vastaavat taulukon 4 rivejä (graafinen esitys kuvissa 1 ja 2). Kaavoissa Emmen muuttujaan *u1* on tallennettu linkin kapasiteetti (ajon/h) ja muuttujaan *u2* vapaa nopeus (km/h). *Length* on linkin pituus (km), *volau* on sijoittelun perusliikennemäärä (ajon/h) ja *volad* mahdollinen lisäliikennemäärä. Funktiolla *put* talletetaan välitulos ja funktiolla *get* (*n*) haetaan saman kaavan *n*:s välitulos.

```
fd1 = (put(60/u2)*(1+0.02*put((volau+volad)/lanes)/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.975))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(1.78*get(1)*length+0.0075*(get(2)-get(3)))
fd2 = (put(60/u2)*(1+0.09*put((volau+volad)/lanes)/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.935))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.29*get(1)*length+0.0085*(get(2)-get(3)))
fd3 = (put(60/u2)*(1+0.1*put((volau+volad)/lanes)/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.915))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.08*get(1)*length+0.011*(get(2)-get(3)))
fd4 = (put(60/u2)*(1+0.2*put((volau+volad)/lanes)/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.87))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.34*get(1)*length+0.014*(get(2)-get(3)))
fd5 = (put(60/u2)*(1+0.3*put((volau+volad)/lanes)/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.81))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.28*get(1)*length+0.017*(get(2)-get(3)))
fd6 = (put(60/u2)*(1+0.02*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8))/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.975))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(1.78*get(1)*length+0.0075*(get(2)-get(3)))
fd7 = (put(60/u2)*(1+0.09*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8))/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.935))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.29*get(1)*length+0.0085*(get(2)-get(3)))
fd8 = (put(60/u2)*(1+0.1*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8))/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.915))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.08*get(1)*length+0.011*(get(2)-get(3)))
fd9 = (put(60/u2)*(1+0.2*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8))/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.87))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.34*get(1)*length+0.014*(get(2)-get(3)))
fd10 = (put(60/u2)*(1+0.3*put((volau+volad)/((lanes-1).max.0.8))/
      (u1-get(2))))*(get(2).le.put(u1*0.81))*length +
      (get(2).gt.get(3))*(2.28*get(1)*length+0.017*(get(2)-get(3)))
```

Kuva 1. Uudet funktiot liikennemäärä–matka-aika-akselistossa.



Kuva 2. Uudet funktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa.

3.3 Joukkoliikenteen funktiot

3.3.1 Bussit ja linja-autot

Bussien matka-aika (min) on sidottu ajoneuvojen nopeuksiin. Funktio on yksinkertaisesti muotoa

$T_{bussi} = T_{ajoneuvo} + a \cdot length$, kun ei bussikaistaa

$c \cdot length \cdot 60 / V_{0,ajoneuvo}$, kun on bussikaista

missä

$T_{ajoneuvo}$ = linkin matka-aika (min) ajoneuvosijoittelusta

$length$ = linkin pituus (km)

$V_{0,ajoneuvo}$ = ajoneuvojen vapaa nopeus (km/h, linkkimuuttujassa $u/2$)

$a = (b - 1) \cdot 60 / V_{0,ajoneuvo}$ = ajoneuvofunktiokohtainen vakio (bussiviive min/km)

b = ajoneuvofunktiokohtainen vakio (viivekerroin)

c = ajoneuvofunktiokohtainen vakio (bussikaistaviivekerroin).

Bussiviive-muuttujan a arvo vaihtelee nopeusrajoituksen mukaan. Työn aikana kokeiltiin myös matka-ajan kertomista vakiolla, mutta kertoimen käyttö aiheutti liian suuren viivytyksen kasvun busseille alhaisilla nopeustasoilla.

Kun bussikaistaa ei ole, vakio a kuvaa bussipysäkkien aiheuttamaa viivettä (bussin kilometri-aika miinus vapaata nopeutta vastaava kilometri-aika) ja viivekerroin b vapaan nopeuden ja bussinopeuden suhdetta. Nopeilla väylillä yhden pysähdyksen aiheuttama viive on suurempi kuin alhaisilla nopeusrajoitusalueilla, mutta vastaavasti myös pysäkkiväli ja pysähdysväli ovat suurempia. Tässä yhteydessä päädyttiin kaikilla väyläluokilla viivekertoimen b arvoon 1,5 ja bussiviive lasketaan sen perusteella. Jatkossa viivekertoimen arvo kannattaa määrittää tarkemmin funktioluokittain, kun seurantatietoa saadaan kerättyä. Bussiviiveen a arvo osoittaa, kuinka paljon ajoneuvojen matka-aikaa on lisättävä, jotta saadaan bussien matka-aika. Viivekerrointa b on käytetty vain bussiviiveen laskemiseksi linkeillä, joilla ei ole bussikaistaa (funktiot fd1–fd5).

Taulukko 5. Uusien HSL-funktioiden bussien viiveparametrit funktioluokittain.

	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys-funktio	autoliikenne			ei bussikaistaa			on bussikaista		
				Nopeus-rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, u/2)	Vap nop matka-aika (min/km)	Viive-kerroin b	Bussi-nopeus (km/h)	Bussi-viive a (min/km) (us2)	Bussi-kaista-viivekerroin c	Bussi-nopeus (km/h)	Bussi-aika (min/km)
1	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	1,5	75,3	0,265	1,5	75,3	0,796
2		moottoritie		100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
3		moottoritie		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
4	Maantiet / Useampikaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie/useampikaist	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
5		maantie/useampikaist		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
6		maantie/useampikaist		70	73	0,822	1,5	48,7	0,411	1,5	48,7	1,233
7	Useampikaistaiset pääkadut tasoliittymän valoilla	us.kaist.,valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1,5	40,7	0,492	1,6	38,1	1,574
8		us.kaist.,valot		60	54	1,111	1,5	36,0	0,556	1,6	33,8	1,778
9	Pääkadut	esikaup.pääk,ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1,5	32,0	0,625	1,7	28,2	2,125
10		esi.pääk, val/kesk.ei val		50	44	1,364	1,5	29,3	0,682	1,7	25,9	2,318
11		esi.pääk, val/kesk.ei val		40	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
12	Kokooja/tonttikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
13		kesk.kokooja		40	36	1,667	1,5	24,0	0,833	1,7	21,2	2,833
14		pienet tonttikadut		30	30	2,000	1,5	20,0	1,000	1,7	17,6	3,400

Bussikaistaisilla väylillä bussien matka-aika lasketaan ajoneuvojen vapaasta nopeudesta, jota kerrotaan bussikaistaviivekertoimella c . Kertoimen c arvo on 1,5 funktioilla $fd6$ ja $fd7$, 1,6 funktioilla $fd8$ ja 1,7 funktioilla $fd9$ ja $fd10$. Bussikaistaosuuksilla bussien nopeuteen ei juuri vaikuta muun ajoneuvoliikenteen ruuhka. Tämä on hyvin väyläkohtainen asia, mutta tämän työn yhteydessä jouduttiin aineiston vähäisyyden ja satunnaisuuden vuoksi tyytymään yleisten kertoimien käyttöön. Jatkossa on harkittava, kuinka pitkälle kannattaa koodata väyläkohtaisia kertoimia, kun yleensä tarkasteluita tehdään pitkälle tulevaisuuteen.

Mainitut vakiot ja kertoimet ovat linkkikohtaisesti muutettavissa. Työn aikana tehdyssä joukkoliikenteen ja ajoneuvojen nopeussuhteiden vertailussa esiintyy suuria hajontoja nopeussuhteiden osalta. Etenkin kaupunkialueella moottoritiemäiset väylät ovat busseille selvästi hitaampia, jos bussikaistoja ei ole (bussin matka-ajan ja ajoneuvojen matka-ajan suhde > 2). Toisaalta juuri näillä väylillä bussikaistat nopeuttavat huomattavasti bussien liikkumista ruuhka-aikana (vastaava suhde $< 0,4$).

Liikenneverkon ruuhkaisimmissa kohdissa bussikaistat nopeuttavat joukkoliikennettä erittäin paljon ruuhka-aikoina. Muuna aikana bussikaistat eivät anna yhtä suurta nopeusetua ajoneuvoihin verrattuna. Aineisto myös osoittaa, että bussien nopeuksissa ei ole suurta vaihtelua ruuhka-ajan ja päiväliikenteen välillä siellä, missä on bussikaistat. Tästä syystä päädyttiin sitomaan bussikaistaosuuksilla bussien nopeus ajoneuvojen vapaaseen eikä sijoittelun antamaan nopeuteen.

Emme-muotoiset bussifunktiot ovat siis:

$ft01 = us2 * length + timau$, kun ei bussikaistaa ($1 \leq vdf \leq 5$),

missä

$us2$ = funktiokohtainen bussiviive a (min/km) taulukosta 5,

$length$ = linkin pituus (km)

$timau$ = ajoneuvosijoittelun matka-aika (min).

$ft02 = us2 * length$, kun on bussikaista ($6 \leq vdf \leq 10$)

missä

$us2 = (60 * c) / (ul2 \cdot \max(30))$

$ul2$ = ajoneuvojen vapaa nopeus (km/h)

c = bussikaistaviivekerroin, joka on

$c = 1,5$, kun $vdf = 6$ tai 7

$c = 1,6$, kun $vdf = 8$

$c = 1,7$, kun $vdf = 9$ tai 10

$length$ = linkin pituus (km).

3.3.2 Raideliikenne

Raitiovaunujen nopeusfunktioiksi päädyttiin käyttämään nykyistä koodausta, jossa raitiolinkkien muuttuajan $ul1$ on pakattu peräkkäin aamu-, päivä- ja iltaruuhkan mitattu nopeustieto. Kenttä puretaan kokonaisosafunktiolla (`int`) ja jakojäännösoperaattorilla (`mod`). Raitioverkko on suoraan aikaisempi HKL:n verkko, joka on liitetty lyhyillä kävelylinkeillä pohjaverkkoon. Raitiovaunuille on omat funktionsa aamuruuhka-, päivä- ja iltaruuhkatilanteille.

Emme-muotoiset raitiovaunufunktiot:

$ft03 = (\text{length} / (\text{int}(\text{ul1} / 10000))) * 60$, kun on aamuruuhka

$ft04 = (\text{length} / ((\text{int}(\text{ul1} / 100)) \text{.mod. } 100)) * 60$, kun on ruuhkaton aika

$ft05 = (\text{length} / (\text{ul1} \text{.mod. } 100)) * 60$, kun on iltaruuhka

missä

ul1 = lukuarvo, johon on pakattu peräkkäin raitiovaunujen nopeus (km/h) aamu-, päivä- ja iltaliikenteen aikana (esimerkiksi 182015)

Lähi- ja kaukojunien sekä metron funktiona on aikatauluista poimittu asemien välinen matka-aika (minuutteina), joka on talletettu segmenttimuuttujaan *us1*. Tieto on linjakohtainen.

$ft6 = us1$

missä

us1 = asemien välinen matka-aika (minuuttia).

3.4 Funktioiden sijoittelutestit

Uudet funktiot sijoitettiin työssäkäyntialueen verkolle. Funktioiden valinta linkeille tehtiin seuraavassa kappaleessa kerrotulla tavalla. Sijoitteluissa käytettiin koko työssäkäyntialueen ajoneuvo- ja joukkoliikenteen matriiseja, jotka muodostettiin vanhoista matriiseista tätä työtä varten. Matriisit laskettiin YTV:n vuoden 2005 tilanteen mukaisista tuntiliikenteen ennusteista sekä Uudenmaan tiepiirin alueen vanhasta KVL-matriisista (vuoden 2001 tilanne). Matriisit muutettiin uuteen aluejakoon. Uudenmaan tiepiiriin matriisi muutettiin tuntiliikennetasoiseksi kertoimella 0,1 ilman suuntajakaumakorjausta. Sijoittelussa käytetty matriisi on siten yhdistelmä eri tarkoituksiin tehdyistä matriiseista ja saatuja tuloksia on tarkasteltava tämä muistena.

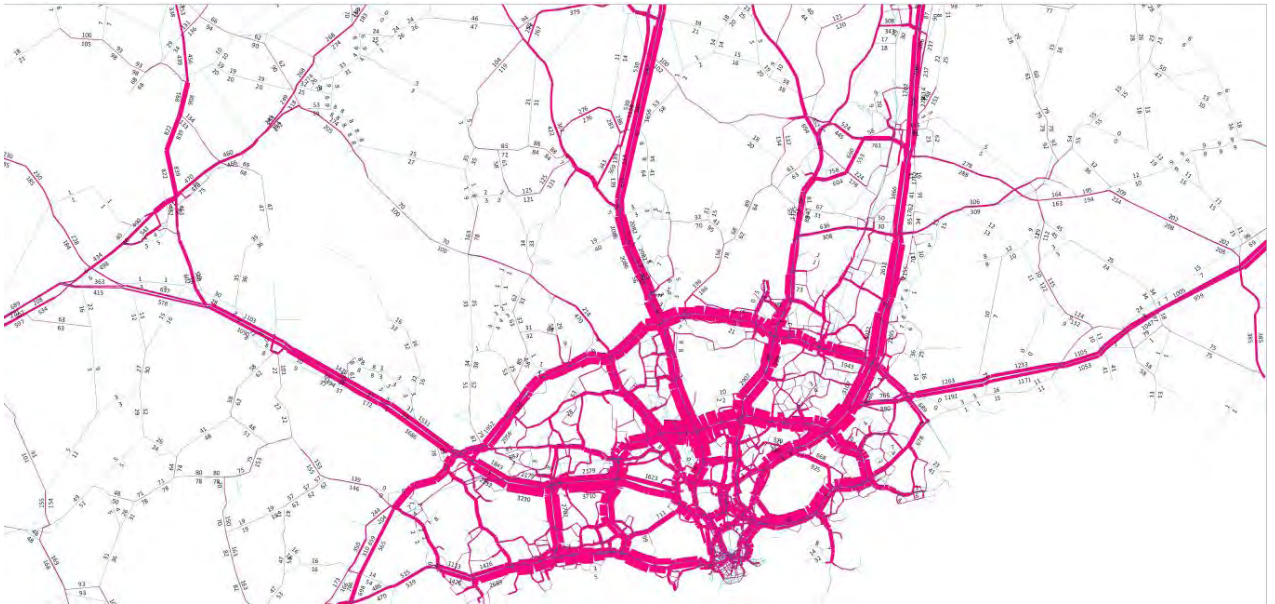
Ajoneuvojen sijoittelut tehtiin lopetuskriteereillä 100 iteraatiota, 0,2 min suhteellinen aikaero ja 0,2 min absoluuttinen aikaero. Sijoittelu suppenee normaalisti ilman kummallisuuksia. Joukkoliikenteen sijoittelut tehdään ajoneuvosijoitteluiden jälkeen. Sijoittelussa ei havaittu erikoisuuksia.

Funktiot on asetettu linkeille nyt käytettävissä olleen Digiroadin konversion sisältämien ominaisuustietojen perusteella (konversion ja sen pohjalta tehdyn verkon tarkempi kuvaus on tämän julkaisun osassa C). Näin tehty valinta ei aina tuota parasta lopputulosta. Sijoitteluita tarkasteltaessa havaitaan kohteita, joissa funktioluokkaa on syytä vaihtaa, etenkin liikennevaloihin päättyvien linkkien osalta. Mm. Kehä III:n ja valtatie 3 liittymän liikennevaloja ei ole huomioitu funktioita valittaessa, mikä näkyy liittymäalueen hyvänä sujuvuutena. Jatkossa on syytä tarkentaa verkon kuvausta, kunhan funktioiden toimivuudesta saadaan kokemuksia. Myös reaali maailmassa tilanne muuttuu eri väylähankkeiden myötä.

Sijoitteluiden nopeustasot uusilla funktioilla vaihtelevat enemmän kuin vanhoilla funktioilla. Uusilla funktioilla nopeudet laskevat jyrkästi, kun linkin kapasiteetti ylitetään. Tämä ohjaa liikennettä nopeasti muille reiteille. Jos rinnakkaisetkin reitit ovat ruuhkaisia, laskevat nopeudet hyvin alas, jopa 1–2 km/h tasolle, mitä ei kuitenkaan reaali maailmassa tapahdu. Kyse on kaikki kerralla -sijoittelumenetelmän ominaisuudesta. Ruuhkan aiheuttavalle pullonkaulalinkille kohdistuu laajemman alueen ruuhkan viivytys.



Kuva 3. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät Helsingin työssäkäyntialueella.



Kuva 4. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät pääkaupunkiseudun kehysalueella.



Kuva 5. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat liikennemäärät pääkaupunkiseudulla.



Kuva 6. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat ajonopeudet.



Kuva 7. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat matka-ajat (min/km).



Kuva 8. Aamuhuipputuntimatriisin sijoittelun tuottamat joukkoliikenteen matkustajamäärät.

3.5 Vertailu aikaisempiin funktioihin

Uusia ajoneuvoliikenteen funktioita verrattiin aikaisempiin YTV:n käyttämiin funktioihin. Vertailu tehtiin YTV:n vuoden 2005 nykytilanteen verkolla, jonne asetettiin uudet funktiot. Sijoittelussa käytettiin YTV:n tuottamaa vuoden 2005 mukaista aamuhuipputunnin matriisia. Lisäksi sijoittelut tehtiin 10 % kasvatetulla matriisilla, jolla tarkasteltiin verkon ruuhkautumisen vaikutuksia funktioiden käyttäytymiseen.

On varoitettava, että johtopäätökset, joita jäljempänä kerrotaan, perustuvat nyt tehtyyn suhteelliseen karkeaan linkkikohtaiseen funktioiden valintaan ja yleisiin linkkikohtaisiin ominaisuuksiin (kapasiteetti ja vapaa nopeus). Tilanne muuttuu, jos funktiovalintaa muutetaan.

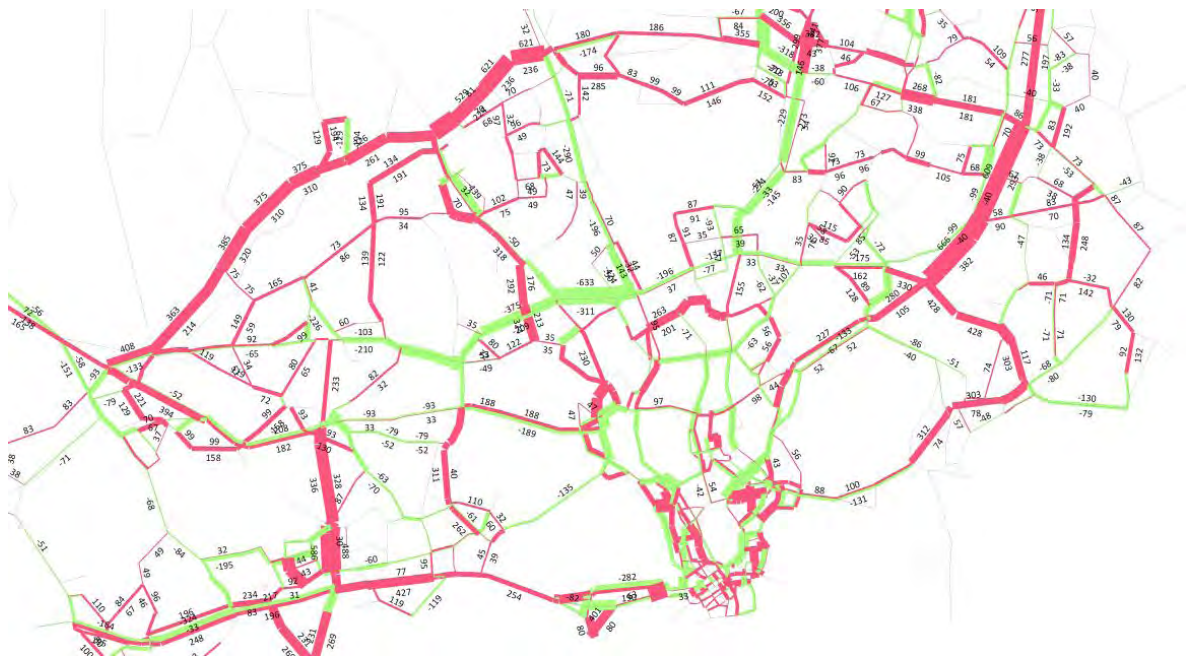
Uusilla funktioilla korkealuokkaisten pääväylien nopeustasot ovat selvästi korkeammat kuin vanhoilla funktioilla. Myös liikennettä ohjautuu enemmän pääväylille kuin vanhoilla funktioilla. Toisaalta havaitaan myös ruuhkaisen Kehä I:n saaneen hieman vähemmän liikennettä kuin aiemmin. Tämä korostuu liikennemäärien lisääntyessä, jolloin liikennemäärien kasvu uusilla funktioilla on suurempaa Kehä III:lla. Kehä I on ruuhkaosuuksilla jonoutunut koko tunnin ajan, eikä sinne enempää autoja mahtuisikaan, joten sijoittelussa nähtävä tulos vaikuttaa todennukaiselta.

Uusilla funktioilla liikennemäärien kasvaessa nopeudet pienenevät selvästi nopeammin kuin vanhoilla funktioilla. On huomattava, että uusilla funktioilla pääväylien nopeudet ovat alentuneet huomattavasti voimakkaammin kuin vanhoilla funktioilla suuremmilla liikennemäärillä. Tämä tarkoittaa myös sitä, että funktioiden koodauksessa on syytä tuntea linkkien kapasiteetit, koska kapasiteettiarvon ylittävillä liikennemäärillä matka-aika kasvaa voimakkaasti ja liikenne hakeutuu vaihtoehtoisille reiteille.

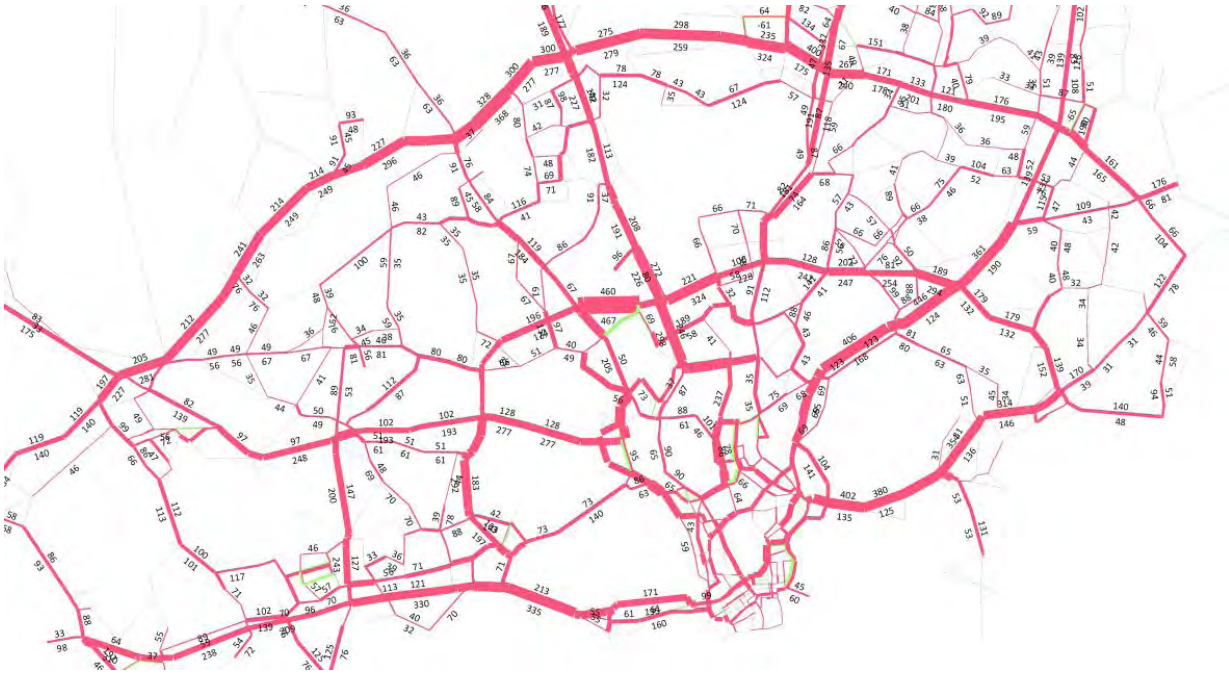
Kiinnostavaa on, saadaanko uusilla funktioilla parempia tuloksia kuin vanhoilla. Sijoittelutuloksia vertaillaan yleensä laskettuihin liikennemääriin. Tässä yhteydessä vertailu laskentoihin oli vielä liian aikaista, sillä uutta verkkoa ja linkeille koodattuja funktioita ja parametreja oli vielä tarkennettava. Mutta uusilla funktioilla liikennemäärät pyrkivät jäämään lähemmäs kapasiteettia ylikysyntätilanteessa ja nopeudet ovat realistisempia, joten voidaan olettaa sijoitteluiden vastaavan paremmin havaintoja jatkossa, kun funktioiden koodaukset tarkentuvat.



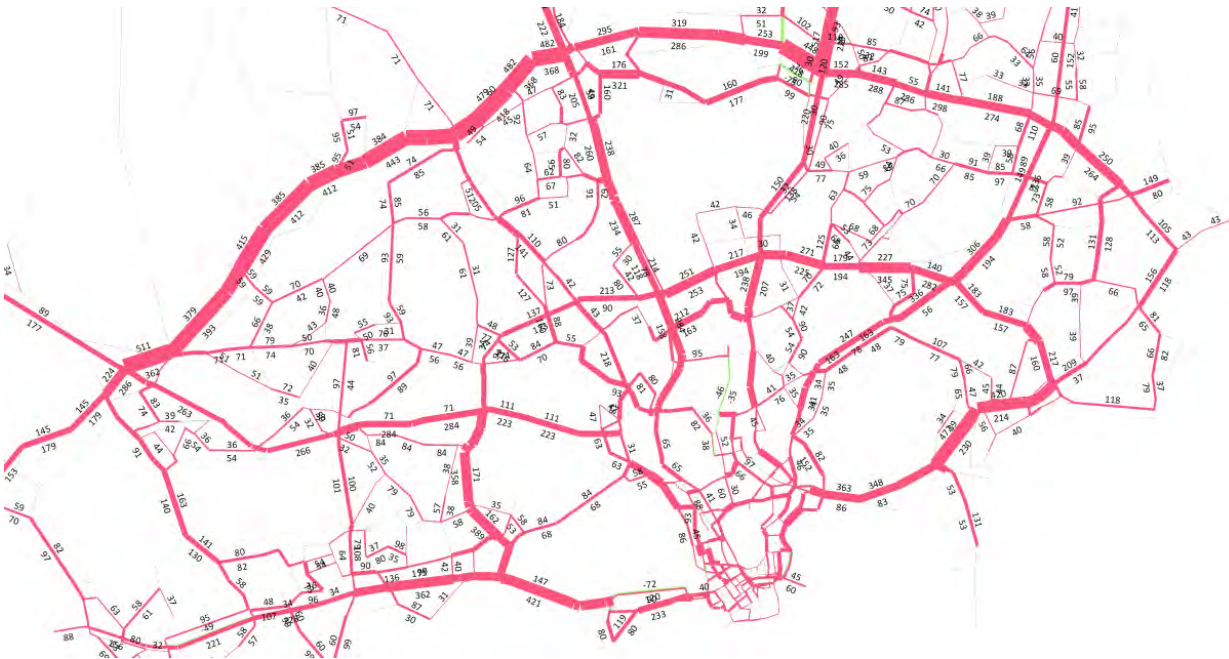
Kuva 9. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla ja vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla ja vuoden 2005 aamuhuipputuntin matriisilla.



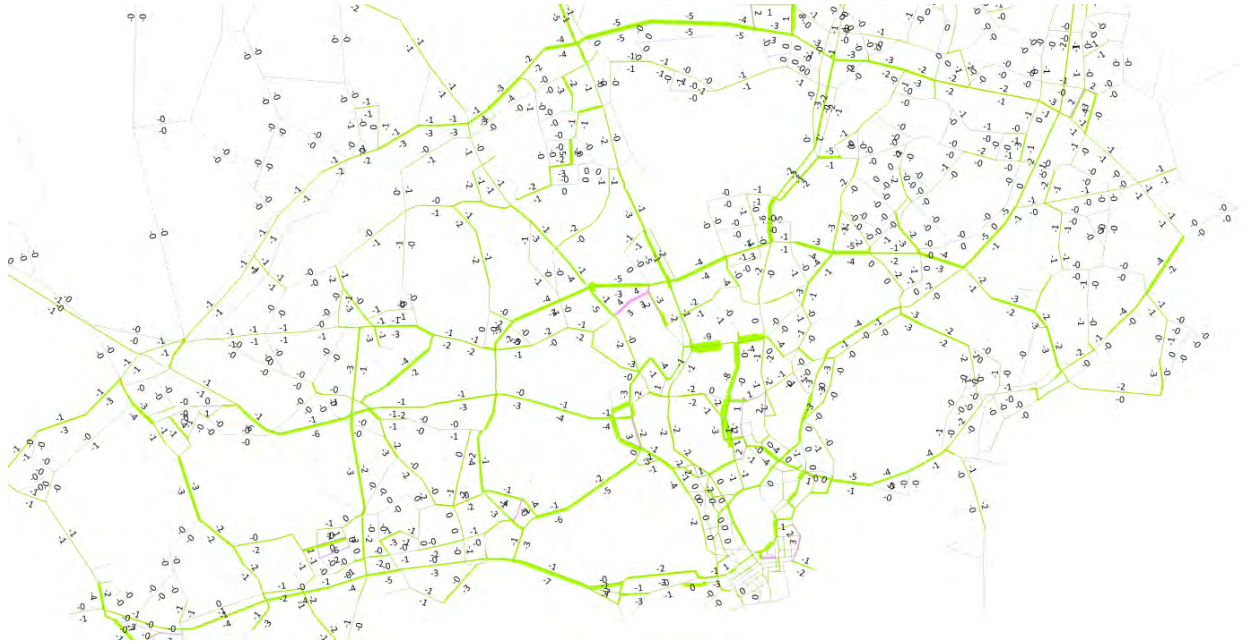
Kuva 10. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla ja vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla ja vuoden 2005 aamuhuipputuntin +10 % matriisilla.



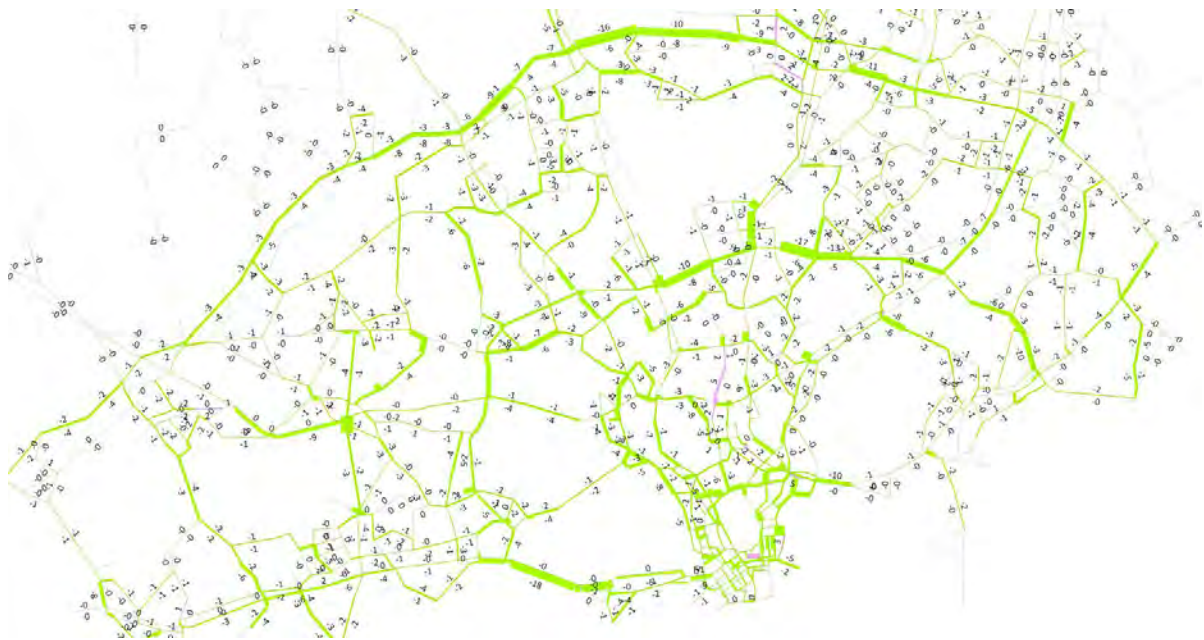
Kuva 11. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.



Kuva 12. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien liikennemäärien ero uusilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.



Kuva 13. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien ajonopeuksien ero vanhoilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.



Kuva 14. Aamuhuipputuntimatriisin sijoitteluiden tuottamien ajonopeuksien ero uusilla funktioilla vuoden 2005 verkolla verrattaessa +10 % kasvatettua matriisia vuoden 2005 aamuhuipputunnin matriisiin.

Koko verkon yli lasketut aika- ja pituussuoritteet ovat suurempia uusilla funktioilla kuin vanhoilla funktioilla (taulukko 6). Pituussuorite on 2,4 % suurempi ja aikasuorite 7,3 % suurempi kuin vanhoilla funktioilla aamuhuipputunnin 2005 matriisilla. Kun matriisia kasvatetaan 10 %, on pituussuorite suunnilleen saman verran suurempi (+2,6 %) uusilla funktioilla verrattuna vanhoihin funktioihin, mutta aikasuorite peräti 14,8 % suurempi. Tämä kertoo uusien funktioiden ruuhkautumisherkyydestä ja samalla on osoitus matka-aikasuoritteiden nopeasta kasvusta, kun liikennemäärät lisääntyvät. Tämä näkyy myös verrattaessa liikennemäärän lisäämisen vaikutusta uusien ja vanhojen funktioiden välillä. 10 % lisäys liikenteessä kasvattaa aikasuoritetta 17 % vanhoilla funktioilla ja pituussuoritetta 10 %. Uusilla funktioilla aikasuoritteiden lisäys on 26 %, kun pituussuorite kasvaa yhtä paljon kuin vanhoilla funktioilla (10 %).

Taulukko 6. Suoritteet vertailuverkoilla uusilla ja vanhoilla funktioilla aamuhuipputunnin sijoittelussa.

	ah2005		ah2005+10%		+10% lisäys		ero %	
	volh	volkm	volh	volkm	volh	volkm	volh	volkm
vanhat	29 362	1 333 642	34 497	1 467 939	5 135	134 297	17 %	10 %
uudet	31 502	1 365 664	39 616	1 506 766	8 114	141 102	26 %	10 %
uudet-vanhat	2 140	32 022	5 119	38 827				
ero %	7,3 %	2,4 %	14,8 %	2,6 %				

Uusien viivytysfunktioiden testausta jatkettiin mallityössä. Tätä kuvataan tarkemmin tämän julkaisun osassa C.

3.6 Yhteenveto uusien funktioiden käyttäytymisestä

Nopeustasot

- Uudet funktiot tuottavat korkeampia ajonopeuksia kuin vanhat funktiot, moottoriteiden ajonopeudet vastaavat reaalimaailman tilannetta.
- Nopeuserot ovat suuria.
- Ruuhkautuvissa kohdissa nopeudet uusilla funktioilla ovat selvästi alhaisemmat kuin vanhoilla funktioilla.
- Liikennemäärien kasvu alentaa nopeuksia nopeammin uusilla kuin vanhoilla funktioilla.

Ruuhkautunut verkko

- Uudet ja vanhat funktiot tuottavat eroja liikenteen sijoittumisessa, uusilla funktioilla liikenne karttaa ruuhkautuneita kohtia.
- Aikasuoritteet kasvavat uusilla funktioilla ruuhkautumisen myötä huomattavasti nopeammin kuin vanhoilla.
- Pituussuoritteessa ei ole eroa uusien ja vanhojen funktioiden välillä.

Joukkoliikenne

- Uudet bussifunktiot on sidottu ajoneuvojen nopeuksiin.
- Bussikaistat on huomioitu, mikä tuo esiin bussikaistojen hyödyt aikasuoritteissa.

Funktioiden koodauksesta

- Uudet funktiot vaativat koodaajalta enemmän huolellisuutta. Etenkin ruuhkautuvien kohteiden määrittely on tärkeätä, koska funktioilla on voimakas taipumus ohjata liikenne pois ruuhkista.
- Perusmakroilla pääsee alkuun, mutta linkkikohtaisia kapasiteetti- ja vapaan nopeuden arvoja on syytä tarkistaa etenkin verkon kriittisten kohtien (mm. suuret valoliittymät) osalta.
- Jatkossa pitäisi pyrkiä saamaan tieto valo-ohjauksen olemassa olostaan mukaan Digiroadin ja Emmen linkeille.

3.7 Funktioiden käyttö

Kun funktiot ja tarvittavat lisätiedot on koodattu verkkoon, niitä voidaan käyttää sijoitteluissa. Nyt koodauksessa on käytetty linkkimuuttujia *ul1* (linkin kapasiteetti) ja *ul2* (vapaa nopeus), jotka Digiroad-konversiossa oli varattu muille muuttujille. Digiroadin muuttujat on talletettu Emme-pankissa extra-attribuutteihin *@ul1*, *@ul2* ja *@ul3*.

3.7.1 Konversio

Funktiot valitaan linkeille väylätyyppien mukaan (taulukot 3 ja 4). Käyttäjällä on mahdollisuus koodata linkin ominaisuuksia tarkemmin kuin vanhoilla funktioilla linkin kapasiteetin ja vapaan nopeuden avulla, jos ne pystytään arvioimaan tarkemmin kuin taulukon 4 yleispätevät arvot. On suositeltavaa tehdä näin, jos arvot osataan arvioida tarkemmin. Kuitenkin on yleisesti syytä pitäytyä väyläluokka-funktio-sidonnaisuudessa, jotta koodaustapa säilyy johdonmukaisena koko verkolla. Linkkikohtaisten muuttujien variointi hävittää funktioiden rajaa, mutta ei poista niitä. Oleellista on myös tuntee linkkien ruuhkautumiskäyttäytyminen, jota kuvataan funktioissa J-parametrin avulla.

Funktiot on valittu Digiroad-konvertoituun ja korjattuun verkkoon viidellä Emme-makrolla. Näistä makrot 3, 4 ja 5 käsittelevät joukkoliikenteen funktioita ja tarvittavia parametreja.

f_valinta_1.mac

- Sijoittaa linkeille kapasiteetin, laskee nopeusrajoituksen, vapaan nopeuden ja valitsee sopivan funktion.
- Nopeusrajoitus pitää laskea erikseen funktioille, koska Digiroad-konversio aggregoi nopeusrajoitustiedot maaseudun pitkillä yhteyksillä.
- Uudet tiedot sijoitetaan extra-attribuutteihin, jotka luodaan tarvittaessa.

f_kopio_2.mac

Kopioi Digiroad-konversioverkosta talteen muuttujat *ul1*, *ul2* ja *ul3* (tallennus vastaavasti *@ul1*, *@ul2* ja *@ul3*).

Sijoittaa muuttujiin *ul1* ja *ul2* tarvittavat tiedot (*ul1*= kapasiteetti ja *ul2*=vapaa nopeus).

- **HUOM aja vain kerran, muuten kopioi extra-attribuuttien päälle uudet arvot.**

f_bussi_3(a,p,i).mac

Sijoittaa bussikaistaosuuksille sopivan ajoneuvofunktion (*vdf*).

- Bussikaistatieto on koodattu linkin type-muuttujaan.
- Käytössä on eri makrot aamulle, päivälle ja illalle.

f_us2_4(a,p,i).mac

Sijoittaa segmenttimuuttujaan *us2* bussien (kulkutavat *b* ja *B*) niiden tarvitseman matka-aikakertoimen, jolla ajoneuvojen nopeus muutetaan bussien nopeudeksi.

- Laskee myös bussikaistamatka-ajat.
- Käytössä on eri makrot aamulle, päivälle ja illalle.

f_jkl_5(a,p,i).mac

- Valitsee segmenteille sopivat joukkoliikennefunktiot. Käytössä on eri makrot aamulle, päivälle ja illalle.
- bussit *tff* = 1
- bussikaistat *tff* = 2
- raitiovaunut, aamu *tff* = 3
- raitiovaunut, päivä *tff* = 4
- raitiovaunut, ilta *tff* = 5
- junat ja metro *tff* = 6

Funktioden valintojen jälkeen on tarkistettava, jääkö verkkoon autolinkkejä, joilla *vdf*=0 tai *lanes* = 0.

Konversio on tehty ja sen tuloksena syntyneitä kuvauksia on muokattu. Prosessi oli sen verran monimutkainen ja –vaiheinen, että jatkossa liikennejärjestelmän kuvausten päivitys on parempi tehdä editoimalla.

3.7.2. Sijoittelut

Ajoneuvoliikenteen sijoittelut suositellaan tehtäväksi seuraavilla Emme-ohjelmiston kriteereillä:

ruuhka-aika

- iteraatioiden lopetusehto 30–50 kpl
- minimi gap 0,5 min
- minimi suhteellinen gap 0,5 %
- Lisäksi sijoittelut suositellaan ajettavaksi generalised cost-sijoitteluna, jossa reitinvalinnassa huomioidaan matka-ajan lisäksi matkan pituus. Matkan pituuskertoimeksi suositellaan arvoa 0,2 ruuhka-ajan sijoitteluissa (eli *aika* + 0,2**pituus*).

ei ruuhka-aika

- iteraatioiden lopetusehto 20–50 kpl
 - minimi gap 0,1 min
 - minimi suhteellinen gap 0,1 %
- Matkan pituuskertoimen arvoksi suositellaan arvoa 0,5 (eli *aika* + 0,5**pituus*)

Joukkoliikenteen sijoittelut on tehtävä ajoneuvosijoitteluiden jälkeen.

HSL:n julkaisuja 33/2011

ISSN 1798-6176 (nid.)

ISBN 978-952-253-124-7 (nid.)

ISSN 1798-6184 (pdf)

ISBN 978-952-253-125-4 (pdf)

**HSL Helsingin seudun liikenne**

Opastinsilta 6A, Helsinki

PL 100, 00077 HSL

puh. (09) 4766 4444

etunimi.sukunimi@hsl.fi

**HRT Helsingforsregionens trafik**

Semaforbron 6 A, Helsingfors

PB 100, 00077 HRT

tfn (09) 4766 4444

fornamn.efternamn@hsl.fi