

6

.....
2019

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2017

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2017

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6 A, 00520 Helsinki
PL 100, 00077 HSL
puhelin (09) 4766 4444
www.hsl.fi

Lisätietoja: Timo Elolähde, (09) 4766 4269
Mervi Vatanen, (09) 4766 4381
Jens West, 040 184 2633
Pekka Rätty, (09) 4766 4259
etunimi.sukunimi@hsl.fi

Copyright: Kartat, graafit, ja muut kuvat HSL
Kansikuva: HSL

Esipuhe

HSL:n ylläpitämän Helsingin seudun HELMET-liikenne-ennustejärjestelmän versio 1.0 otettiin käyttöön vuonna 2010. Sitä hyödynnettiin mm. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (HLJ 2011) laadinnassa ja sen osaselvityksissä, maankäyttö- ja verkkoselvityksissä, tie- ja joukkoliikenteen hinnoitteluselvityksissä sekä erilaisissa hanketason tarkasteluissa.

Saatujen kokemusten perusteella järjestelmää kehitettiin edelleen HLJ 2015-kierroksella. Liikennejärjestelmäkuvaukset tarkistettiin vuonna 2013. Lisäksi tehtiin selvitys, jossa tutkittiin erilaisia ajoneuvoliikenteen viivytysfunktioita ja niiden toimintaa sijoittelussa. Helsingin seudun työssäkäyntialueen sisäisen liikenteen kysyntämallit uudistettiin. Myös lentoaseman ja satamien matkustajaliikenteen sekä tavaraliikenteen ennustemenettelyä kehitettiin. Uusi versio 2.1 liikenne-ennustejärjestelmästä otettiin käyttöön kesällä 2014. Merkittävin käyttökohde on ollut Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma (HLJ 2015) ja sen vaikutusarviot.

Vuonna 2016 liikennejärjestelmäkuvauksia tarkennettiin ja korjattiin mm. määrittelemällä uusia kulkutapoja, solmutyyppejä ja linkkityyppejä. Myös aluejakoa tihennettiin. Vuonna 2017 estimoitiin kysyntämallien versiot 3.0, joissa mm. pyöräily on erotettu omaksi kulkutavakseen. Malleissa selitetään em. tutkimuksissa havaittua käyttäytymistä vastuksilla, jotka on saatu sijoittelemalla vuosien 2008 ja 2012 kysyntä korjatulle vuoden 2016 verkolle. Saatuja malleja on käytetty mm. MAL 2019:n vaikutusarviotarkasteluissa.

Tämän julkaisun on HSL:ssä koonnut ja toimittanut Timo Elolähde. Julkaisussa esitellään liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit. Järjestelmän osien kehittäjät ja raportin kirjoittajat ovat:

D Liikennejärjestelmämallit

Annika Rantala, Katarina Wallin, Pasi Metsäpuro, Virpi Pastinen ja Tuija Pakkanen (WSP)

Matti Keränen, Atte Supponen ja Markus Holm (Trafix Oy)

Miikka Niinikoski ja Antti Rahiala (Strafica Oy)

Timo Elolähde, Mervi Vatanen, Jens West ja Pekka Rätty (HSL)

Henkilö- ja tavaraliikenteen kysynnästä on tehty oma julkaisunsa. Siinä ovat osat:

A Henkilöliikennemallit (HELMET 3.0)

B Lentoaseman ja matkustajasatamien henkilöliikenne (HELMET 2.1)

C Tavaraliikenteen kysyntä (HELMET 2.1)

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne		Päivämäärä 14.6.2019	
Julkaisun nimi: Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2017			
Rahoittaja / Toimeksiantaja: HSL Helsingin seudun liikenne			
Tiivistelmä:			
Tässä julkaisussa (osa D) 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. Kysyntämalleista on erillinen julkaisunsa. Lisäksi kuvaukset muodostivat pohjan Helsingin seudun MAL 2019 -työssä käytetyille liikennejärjestelmämallille. Sekä auto- että joukkoliikennesijoittelun tuloksia tutkittiin monipuolisesti. Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallien ensimmäinen versio valmistui vuonna 2009. Kuvauksia päivitettiin vuonna 2013 versioksi 2.1. Helsingin seudun työssäkäyntialueella tarkoitetaan tässä laajaa 29 kunnan (2016 kuntajaolla) aluetta, johon kuuluvat pääkaupunkiseudun lisäksi koko muu Uudenmaan maakunta ja Riihimäen seutukunta. Suurimpien liikennevirtojen kuvaamisessa on hyödynnetty neliporrasmallia. Versiossa 2.1 tie- ja katuverkot sekä joukkoliikennelinjastot päivitettiin syksyn 2012 tilanteen mukaisiksi. Auto- ja raitiovaunuliikenteen viivytysfunktiot vaihdettiin pituusriippuvaisiksi myös ylikysyntätilanteessa. Muut muutokset vuonna 2010 valmistuneeseen versioon ovat ruuhkamaksujen käsittelyssä ja raskaan liikenteen sijoittelussa. Myös kysyntämalleja päivitettiin mm. tavaraliikenteen osalta. Vuonna 2016 tehtiin perusteellisempi tarkennus- ja korjaustyö, jossa mm. määriteltiin uusia kulkutapoja, solmutyyppejä ja linkkityyppejä. Lisäksi muutettiin mm. rautatie-, metro- ja raitiotiesolmujen numerointia sekä pysäkkien ja aksiajorataisten katujen koodaustapaa. Myös aluejakoa tiennettiin. Näin saaduilla liikennejärjestelmäkuvauksilla on laskettu vastukset, joita on käytetty ennustejärjestelmän version 3.0 estimoinnissa ja käytössä. Sen jälkeen on tarkennettu linkkien kapasiteetin ja vapaan nopeuden arvoja sekä tarkistettu sijoitteluparametreja. Systematiikkaa on lisätty siten, että solmutyypistä saadaan automaattisesti tieto pysäkeistä, joilla kukin bussi- tai raitiovaununlinja pysähtyy. Vastaavasti linkkityypistä saadaan bussikaistojen voimassaolo ja viivytysfunktioiden parametrit (mm. linkin kapasiteetti ja vapaa nopeus). Ennustejärjestelmän seuraavaa versiota varten on jo alettu valmistella mm. määrittelemällä pyörätieluokkia, joita voidaan käyttää apuna, kun valitaan pyöräliikenteen viivytysfunktioiden parametreja.			
Avainsanat: liikenne-ennuste, tarjontamalli, liikennejärjestelmä, neliporrasmalli, kulkutapa, hinnoittelu, viivytysfunktio			
Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 6/2019			
ISSN 1798-6184 (pdf)		Kieli: Suomi	Sivuja: 134
ISBN 978-952-253-329-6 (pdf)			
HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444			

Sammandragssida

Utgivare: HRT Helsingforsregionens trafik	
Redigerad av: Timo Elolähde	Datum 14.6.2019
Publikationens titel: Utbudsmodeller i Helsingfors pendlingsområdes trafikprognossystem 2017	
Finansiär / Uppdragsgivare: Helsingforsregionens trafik, Trafikverket, ELY-centralen i Nyland, Kommunikationsministeriet	
Sammandrag: Den här publikationen (D-delen) beskriver utbudsmodellerna för Helsingfors pendlingsområdes trafiksystem. Bil- och busstrafiken är i dem kodade på samma gatu- och vägnät. Kodningarna innehåller också spårvagns-, metro- och närtågstrafiken samt hela pendlingsregionens buss- och fjärrtågstrafik. Från dessa nät fås bl.a. restidsdata till arbetet med efterfrågemodellerna. En separat publikation beskriver efterfrågemodellerna. Dessutom utgör trafiknätsbeskrivningarna utgångspunkten för trafikprognoserna i Helsingforsregionens MAL 2019-planering. Såväl bil- som kollektivtrafikutläggningens resultat analyserades från flera olika synvinklar. Första versionen av utbudsmodellerna i Helsingfors pendlingsområdes trafikprognossystem blev klara år 2009. Modellerna uppdaterades år 2013 till version 2.1. Med Helsingfors pendlingsregion avses här ett vidsträckt 29 kommuners (enligt 2016 år kommunindelning) område, till vilket förutom huvudstadsregionen hela övriga Nyland och Riihimäki ekonomiska region hör. Modelleringen av de stora trafikflödena sker i en s.k. fyrstegsmodell. I version 2.1 uppdaterades väg- och gatunätet samt kollektivtrafiklinjenätet till att representera hösten 2012. Biltrafikens fördröjningsfunktioner byttes till avståndsberoende även för situationer med överefterfrågan. Andra förändringar som gjorts är i hanteringen av trängselavgifter och i utläggningen av tung trafik. Också efterfrågemodellerna uppdaterades bl.a. för godstrafikens del. År 2016 gjordes ett grundligare förbättringsarbete där bl.a. nya färdslag, nodtyper och länktyper definierades. Järnvägs-, metro-, och spårvägsnodernas numrering samt kodningen av hållplatser och gator med två körbånar ändrades. Områdesindelningen förfinades också. Generaliserade reskostnader från dessa trafiknät användes i estimeringen av prognossystemets version 3.0. Efter detta har länkarnas kapacitet och friflödes hastighet samt nätutläggningsparametrarna setts över. Systematik för att utgående från nodtypen automatiskt avgöra vilka buss- och spårvagnslinjer som stannar vid vilka hållplatser har lagts till. På motsvarande sätt fås bussfältens giltighetstid och fördröjningsfunktionernas parametrar (bl.a. länkens kapacitet och friflödes hastighet) från länktypen. Förberedelser för nästa version av prognossystemet har redan påbörjats genom att definiera cykelvägsklasser som kan användas till att bestämma parametrarna till cykeltrafikens fördröjningsfunktioner.	
Nyckelord: trafikprognos, utbudsmodell, trafik system, fyrstegsmodell, färdmedel, fördröjning, prissättning	
Publikationsseriens titel och nummer: HRT publikationer 6/2019	
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-329-6 (pdf)
Språk: Finska	
Sidantal: 134	
HRT Helsingforsregionens trafik. PB 100, 00077 HRT. tfn. (09) 4766 4444	

Abstract page

Published by: HSL Helsinki Region Transport			
Edited by: Timo Elolähde		Date of publication: 14 June 2019	
Title of publication: Supply models for the Helsinki region commuting area traffic forecasting system 2017			
Financed by / Commissioned by: HSL Helsinki Region Transport			
Abstract: This publication (Part D) describes the supply models developed for the Helsinki region commuting area transport system. In the models, car and bus traffic are described on the same street and road network. The models also include 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. There is a separate publication of the demand models. In addition, the models formed the basis for transport system models used in the Helsinki Region Land Use, Housing and Transport or MAL 2019 process. The results of the assignment of car traffic and public transport were studied comprehensively. The first version of the supply models for the Helsinki region commuting area traffic forecasting system was completed in 2009. The models were updated to version 2.1 in 2013. In this context, Helsinki region commuting area refers to a wide area consisting of 29 municipalities (using the 2016 municipal division). The area covers the Helsinki metropolitan area, the rest of the province of Uusimaa and the Riihimäki sub-region. The highest traffic flows have been modelled using a four-step model. In version 2.1, the street and road networks as well as public transport route networks were updated to correspond to the autumn 2012 situation. Car traffic volume-delay functions were replaced with distance-dependent ones also in an over-demand situation. Other changes from the 2010 version concern the processing of congestion charges and assignment of heavy-duty traffic. Also demand models, e.g. for freight traffic, were updated. More comprehensive revisions and corrections were made in 2016, including defining new modes of travel as well as new types of nodes and links. In addition, changes were made in the numbering of train, Metro and tram nodes as well as the coding of stops and streets with two carriageways. A denser spatial division was also adopted. Impedances obtained as a result of assigning these transport system models have been used in the estimation and application of version 3.0 of the forecasting system. After that, the capacity and free speed values of links have been specified and the assignment parameters have been revised. Information about the stops served by each bus and tram route is automatically obtained from the type of node, increasing systematicity. Correspondingly, the type of link provides information about the validity of bus lanes as well as the volume-delay parameters (e.g. link capacity and free speed). The next version of the forecasting system is already under development. For example, cycling route categories have been defined to facilitate selection of parameters for bicycle traffic volume-delay functions.			
Keywords: traffic forecast, supply model, transport system, four-step model, mode of travel, volume-delay function, pricing			
Publication series title and number: HSL publications 6/2019			
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-329-6 (pdf)	Language: Finnish	Pages: 134
HSL Helsinki Region Transport, P.O.Box 100, 00077 HSL, tel. +358 (0) 9 4766 4444			

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2017

D Liikennejärjestelmämallit 2017

Liikennejärjestelmämallit 2017



Tiivistelmä

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

Lähtötietoina käytettiin silloin Digiroad-aineistoa, HSL:n joukkoliikennerekisteriä (JORE) ja valtakunnallista liikenneluparekisteriä (VALLU). Työssä kehitettiin konversiomenettely, jolla yksityiskohdaisista 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.

Seuraavilla suunnitelmakierroksilla HLJ 2015 malleja kehitettiin edelleen. Konversiota ei enää edes yritetty, vaan muutokset tehtiin käsityönä.

Vuonna 2016 kuvauksia päivitettiin mm. määrittelemällä uusia kulkutapoja, solmutyyppejä ja linkkityyppejä. Lisäksi määriteltiin uusia väyläluokkia, joita käytetään autoliikenteen viivytysfunktioissa. Bussien pysähtymiskäyttäytyminen perustuu solmutyypikoodin arvoihin. Myös aluejakoa tihennettiin. Tämä raportti kuvaa tehtyä päivitystyötä ja selvitystä sijoittelujen kehittämiseksi, mutta alussa kerrotaan myös liikennejärjestelmäkuvausten tekohistoriasta.

HELMET-liikenne-ennustejärjestelmän version 3.0 estimoinnissa käytettiin vastuksia, jotka oli laskettu vuoden 2016 liikennejärjestelmällä. Siinä Kehärata on otettu käyttöön, mutta ei vielä Länsi-metroa eikä uutta raitiovaunulinjastoa. Kyseisellä ennustejärjestelmän versiolla tehtiin MAL 2019:n tarkastelut.

Tehdyissä liikennejärjestelmämalleissa on 1 918 sijoittelualueita, lähes 34 000 autoliikenteen linkkiä, lähes 14 000 muuta linkkiä sekä noin 1 500 joukkoliikennelinjaa (suunnat erikseen). Aamuruuhkassa, iltaruuhkassa ja päiväliikenteessä on sama linjasto, mutta vuoroväleissä on eroa. Jalan- kulkua on mahdollista lähes kaikilla kaduilla ja teillä. Pyöräily kulkutapana on määritelty, mutta erillistä pyöräilyverkon kuvausta ei tehty.

Työn yhteydessä testattiin kuvausten toimivuutta sekä auto- että joukkoliikennesijoittelussa mm. vertailemalla eri puolilta seutua valittujen alueiden välisiä matka-aikoja. Sekä kysyntä- että tarjontamallityössä päädyttiin jo vuonna 2009 siihen, että raskasta raideliikennettä (juna, metro) ei kuvata omana kulkutapavaihtoehtonaan, vaan erot bussi- ja raideliikenteen ominaisuuksissa otetaan sijoittelussa huomioon nousuajoissa.

Sijoittelu tehdään kultakin alueelta kaikille muille alueille. Ohjelma ei siis laske alueiden sisäisiä vastuksia (matka-aikoja, etäisyyksiä ym.), joten niiden määrittämiseen kehitettiin vuonna 2008 laskukaavat. Niitä ei enää päivitetty tällä kierroksella.

Sammandragssida

[Abstract page](#)

Sisällysluettelo

Liiteluettelo	8
Kuvaluettelo.....	8
Taulukkoluetelo	9
1 Yleistä.....	11
1.1 Malleista.....	11
1.2 Verkon kuvausten käsitteitä.....	12
1.3 Joukkoliikenteen kuvaustavat	13
2 Liikennejärjestelmäkuvausten tekohistoriaa	14
2.1 Vuoden 2008 kuvauksen teko	14
2.2 Liikennejärjestelmäkuvausten ominaisuuksista.....	15
2.2.1 Kulkuvälineet ja niiden nopeuksien määräytyminen	15
2.2.2 Uusien bussilinjojen luonti ja linkkien ominaisuuksien muuttaminen	16
2.3 Vuoden 2012 kuvauksen teko	16
2.3.1 Työn tausta ja tekijät.....	16
2.3.2 Tehdyt korjaukset ja päivitykset.....	17
2.3.3 Liikennejärjestelmäkuvausten tilastollinen testaus	17
2.4 Ennustevuosien verkkomallien teko	18
3 Liikennejärjestelmäkuvausten tarkennuksen ja korjauksen valmistelu.....	19
3.1 Tavoitteiden ja uuden verkon periaatteiden määrittäminen.....	19
3.2 Liikenneverkkojen kuvaus ja havaittuja ongelmia.....	21
3.3 Esiselvityksen tuloksia	22
3.4 Tarkennustyön lähtökohdat.....	24
4 Verkon tekniset ominaisuudet.....	25
4.1 Verkon dimensiot ja Emmen lisenssikoko	25
4.2 Aikajaksojen käsittely.....	25
4.3 Solmut.....	27
4.3.1 Koordinaatisto.....	27
4.3.2 Solmunumerot	27
4.3.3 Solmujen ominaisuudet	29
4.4 Kuljutavat ja joukkoliikenteen ajoneuvotyypit	31
4.5 Linkkien ominaisuudet	33
4.5.1 Yleistä linkkien ominaisuuksista	33
4.5.2 Linkkityypit ja väyläluokat	33
4.5.3 Yleisimmät linkkityyppi- ja kuljutapayhdistelmät.....	37
4.5.4 Syöttölinkit	38
4.5.5 Jalankulku ja pyöräily	39
4.5.6 Linkkien ominaisuuksia.....	40
4.6 Joukkoliikenteen liikennejärjestelmämallin periaate	40
4.7 Muita koodausperiaatteita.....	41
5 Verkon muokkauksen työvaiheet	43
5.1 Verkkojen muodostamisen periaatteet ja makrottaminen.....	43
5.2 Nykyverkolle täydennetyt hankkeet	44
5.3 Kaksiajorataisten katujen kuvaus ja kiertoliittymät	44
5.4 Kääntymiskiellot	46
5.5 Bussipysäkkien ja muun bussi-infran kuvaus	46
5.5.1 Bussipysäkkien koodausperiaatteet	46

5.5.2	Verkon läpikäynti bussipysäkkien ja muun bussi-infran osalta	48
5.5.3	Bussi- ja raitieliikenteen automaattinen pysähtymiskäyttäytyminen.....	51
5.6	Raideliikenteen verkot.....	53
5.7	Terminaalit ja kävely-yhteydet	54
5.8	Joukkoliikennelinjastot	55
5.8.1	Yleistä joukkoliikennelinjastoista	55
5.8.2	Joukkoliikenteen nopeus ja joukkoliikenteen funktiomakrot.....	56
5.8.3	Linjatunnus	57
5.8.4	HSL-alueen linjat	58
5.8.5	Vuorovälit ajankohtien erottajana	61
5.8.6	U-linjat.....	62
5.8.7	Kaukojunat.....	62
5.8.8	VALLU-linjat.....	63
5.8.9	Tulevaisuuden joukkoliikennelinjastot	63
5.9	Muut verkolliset tekijät.....	64
5.9.1	Pyöräliikenteen verkko	64
5.9.2	Keskustan huoltotunneli ja raskaan liikenteen rajoitukset Helsingin keskustassa	64
5.9.3	Ruuhkamaksut.....	66
6	Aluejaot 2016	67
6.1	Sijoittelualuejaon tarkennus.....	67
6.2	Sentroidit ja syöttölinkit	69
6.3	Ennustealuejaon tarkennus	71
6.4	Ennuste- ja sijoittelualueiden numerointi	73
6.5	Jakoluvut.....	75
7	Liikennejärjestelmän kuormitus ja testaus	77
7.1	Liikenne-ennustejärjestelmän toimintaperiaate	77
7.2	Autoliikenteen sijoittelut ja vastukset	77
7.2.1	Kuormitusperiaate ja tulossuureet.....	77
7.2.2	Raskas liikenne	78
7.2.3	Ruuhkamaksut.....	79
7.2.4	Sijoitteluparametrit.....	79
7.2.5	Kysyntämatriisit	80
7.2.6	Autoliikenteen viivytysfunktio.....	80
7.2.7	Autosijoittelun kehittäminen.....	81
7.3	Jalankulun ja pyöräilyn sijoittelut ja vastukset	87
7.4	Bussi- ja raideliikenteen erilliset sijoittelut ja vastukset	88
7.5	Joukkoliikenteen sijoittelut ja vastukset	88
7.5.1	Kuormitusperiaate ja tulossuureet.....	88
7.5.2	Joukkoliikenteen viivytysfunktio.....	91
7.5.3	Joukkoliikennesijoittelun kehittäminen	92
7.5.4	Joukkoliikennesijoittelun painokertoimet ja muut sijoitteluparametrit.....	94
7.5.5	Joukkoliikennesijoittelun painokertoimet Helmet 3.1 –järjestelmän loppusijoittelussa.....	98
7.5.6	Ruuhkautunut joukkoliikennesijoittelu	100
8	Verkkokuvauksen testaus	102
8.1	Autoliikenteen matka-ajat.....	102

8.2	Bussiliikenteen ajoajat	103
8.3	Joukkoliikenteen matkustajamäärät.....	106
8.3.1	Raitioliikenteen nousijamäärät.....	106
8.3.2	Metron nousijamäärät.....	107
9	Vastusmatriisien käsittely.....	109
9.1	Odotusajan vaimennus	109
9.2	Sisäiset vastukset ja aggregoinnit	109
	Lähdeluettelo	111

Liiteluettelo

Liite 1.	Ulkosyöttöjen numerointi.....	114
Liite 2.	Esimerkki U-linjojen koodauksesta.....	116
Liite 3.	Uuden ja vanhan numerointijärjestelmän vertailu.	118
Liite 4.	Bussiliikenteen ajoaikavertailut kartalla.....	122

Kuvaluettelo

Kuva 1.	Nykytilanteen 2008 autoverkko koko työssäkäyntialueella.....	14
Kuva 2.	Nykytilanteen 2008 autoverkko pääkaupunkiseudulla.....	15
Kuva 3.	Esimerkki liittymien koodaustavasta. Oikealla Kivikon eritasoliittymä, syöttölinkit punaisella.	42
Kuva 4.	Moottoritien ramppien hyödyntäminen suoraan ajamiseen.	46
Kuva 5.	Kolmen solmun kuvaus.....	47
Kuva 6.	"Tuulimylly"-kuvaus.....	48
Kuva 7.	Esimerkki kolmen solmun kuvauksesta (vasemmalla) ja "tuulimyllystä" (oikealla).....	48
Kuva 8.	Bussikulkutavat moottoritiemäisillä väylillä.....	51
Kuva 9.	Raitiovaunujen nopeudet aamuhuipputunnin 2016 aikana.....	57
Kuva 10.	Helsingin raskaan liikenteen rajoitusalue.....	65
Kuva 11.	Helsingin keskustan raskaan liikenteen rajoitusalue Emmessä.....	66
Kuva 12.	Esimerkiksi aluerajojen muutoksista Östersundomissa.....	76
Kuva 13.	Muutetut linkkityypit liikenneverkolla.....	83
Kuva 14.	Autoliikenteen uudet viivytysfunktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa.....	84
Kuva 15.	AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.....	86
Kuva 16.	IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.....	86
Kuva 17.	PT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.....	86
Kuva 18.	AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) liikennemäärät suhteessa mittauksiin.....	87
Kuva 19.	IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) liikennemäärät suhteessa mittauksiin.....	87
Kuva 20.	Alkuperäiset (sininen) ja päivitetyt (oranssi) linjojen ajoajat AHT ja IHT	93
Kuva 21.	AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) bussiliikenteen ajonopeudet.....	93
Kuva 22.	IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) bussiliikenteen ajonopeudet.....	94
Kuva 23.	Kuorma-asteen vaikutus ruuhkakertoimeen.....	100
Kuva 24.	Espoon testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.....	104
Kuva 25.	Helsingin testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.....	104
Kuva 26.	Vantaan testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.....	105
Kuva 27.	Sipoon ja Kirkkonummen testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.....	105

Kuva 28. Testilinjojen AHT-matka-ajat osuuksittain. Ennustettu = Emmen matka-aika.	106
Kuva 29. Testilinjojen AHT-matka-ajat osuuksittain. Ennustettu = Emmen matka-aika.	106
Kuva 30. Raitioliikenteen nousijamäärävertailu.	107
Kuva 31. Metron nousijamäärävertailu.	108
Kuva 32. Vallu-linja ja sitä vastaava U-linja (HSL-linja) Nurmijärven suunnalta Helsinkiin päin.	116
Kuva 33. Vallu-linja ja sitä vastaava U-linja (HSL-linja) Helsingistä Nurmijärven suuntaan.	117
Kuva 34. Esimerkki Tuusulan läpi ajavasta U-linjasta.	117
Kuva 35. Ennuste- ja sijoittelualueet Helsingin seudulla.	121
Kuva 36. Bussien AHT-ajoaikavertailu kartalla.	122
Kuva 37. Bussien AHT-ajoaikavertailu kartalla, koko seutu.	122
Kuva 38. Bussien PT-ajoaikavertailu kartalla.	123
Kuva 39. Bussien PT-ajoaikavertailu kartalla, koko seutu.	123
Kuva 40. Bussien IHT-ajoaikavertailu kartalla.	124
Kuva 41. Bussien IHT-ajoaikavertailu kartalla, koko seutu.	124

Taulukkoluettelo

Taulukko 1. Nykytilanteen verkon dimensioidut ennen päivitystä ja sen jälkeen.	25
Taulukko 2. Lähtötiedostojen nimien rakenne.	26
Taulukko 3. Solmunumeroavaruuden jako, sentroidit.	28
Taulukko 4. Solmunumeroavaruuden jako, tavalliset solmut (muut kuin sentroidit).	29
Taulukko 5. Solmujen attribuuttitiedot.	30
Taulukko 6. Solmutyypit (ui2) ja niiden selitykset.	30
Taulukko 7. Mallialueen kuntien kelakoodit (ui3) (vuoden 2016 kuntajako).	31
Taulukko 8. Kulku tapojen (modes) kuvaus.	32
Taulukko 9. Joukkoliikenteen ajoneuvotyypit (vehicles), niitä vastaavat kulkutavat ja kuvaus.	32
Taulukko 10. Linkkien ominaisuudet.	33
Taulukko 11. Linkkityypit.	35
Taulukko 12. Sijoittelufunktioiden jako väylätyyppeihin.	36
Taulukko 13. Yleisimmät linkkityyppi- ja kulkutapayhdistelmät.	37
Taulukko 14. Syöttölinkkien kulkutavat.	38
Taulukko 15. Pyörätieluokat ja viivytysfunktiot Helmet 3.1:ssä.	39
Taulukko 16. Linkkien kaistamäärät autoverkolla (mod=c).	40
Taulukko 17. Tie- ja katuverkon (mod=cb) linkkityypit.	40
Taulukko 18. Pysäkkityyppien (ui2) vastaavuus.	49
Taulukko 19. Joukkoliikennelinjojen attribuuttitiedot.	56
Taulukko 20. Raitiovaunulinjat ja niiden vuorovälit 2016.	59
Taulukko 21. Metrolinjat ja niiden vuorovälit 2016.	59
Taulukko 22. Raitiovaunulinjat ja niiden vuorovälit 2017.	60
Taulukko 23. Metrolinjat ja niiden vuorovälit 2017.	60
Taulukko 24. Lähijunalinjat ja niiden vuorovälit 2016 ja 2017.	61
Taulukko 25. Kaukojunalinjat ja niiden vuorovälit 2016 ja 2017.	62
Taulukko 26. Sijoittelualueiden määrät Helsingin seudun 14 kunnassa.	68
Taulukko 27. Sijoittelualuejaon muodostus kunnittain.	69
Taulukko 28. Sentroidien sijoittamisvaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet.	70
Taulukko 29. Ennustealueiden määrät Helsingin seudun 14 kunnassa.	72
Taulukko 30. Ennustealuejaon muodostus kunnittain.	72

Taulukko 31. Kuntaliitokset mallialueella vuoden 2008 jälkeen.	73
Taulukko 32. Sijoittelu- ja ennustealueiden numerointi kunnittain.	74
Taulukko 33. <i>Jakolukujen laskennassa käytetyt matkatuotosluvut</i>	75
Taulukko 34. Autoliikenteen uudet viivytysfunktiot.	84
Taulukko 35. Bussiliikenteen uudet viivytysfunktiot	91
Taulukko 36. Palvelutasoluokat ja nousuvastukset.....	96
Taulukko 37. Mallin tuottamia tuloksia suhteessa vertailuaineistoon.....	97
Taulukko 38. Vaihtoehtoisia nousuvastuksen ja verkon määrittelyitä.....	98
Taulukko 39. Joukkoliikenteen nousuvastukset (Helmet 3.1).	99
Taulukko 40. Mallin tuottamia nousumääriä (arkvrk) suhteessa vertailuaineistoon.....	101
Taulukko 41. Henkilöauton matka-aikavertailu TomTom vs. Emme.....	102
Taulukko 42. Henkilöauton matka-aikavertailu, Emmen uusi verkko vs. vanha verkko.	103
Taulukko 43. Raitioliikenteen nousijamäärävertailu.	107
Taulukko 44. Metron nousijamäärävertailu.	108
Taulukko 45. Autoverkon ulkosyötöt (mod= cvkyasf).	114
Taulukko 46. Rautatieverkon ulkosyötöt (mod=asf).....	115
Taulukko 47. Lentoaseman ja satamien syöttölinkit.	115
Taulukko 48. Kuntien ennuste- ja sijoittelualueiden vanhat ja uudet numerot.....	118
Taulukko 49. Sijoittelualueiden numeroinnin muutos ympäryskunnissa (Helmet 3.1).....	120
Taulukko 50. Sijoittelualueiden määrät ennustejärjestelmän eri versioissa.....	120

1 Yleistä

Tämä luku perustuu pitkälti raportin Elolähde ym. 2016 vastaavaan lukuun.

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 eli alueparien väliset matkamäärät. Niihin kuuluvat mm. matkatuotosta, suuntautumista ja kulkutavanvalintaa kuvaavat mallit. Lisäksi voi olla apumalleja, joilla kuvataan esimerkiksi autonomistuksen kehittymistä. 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 kysyntä- että tarjontamalleja erityisesti pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueelta (YTV 2003). Mallien estimointiaineistot saatiin pääosin liikkumistutkimuksista (HEHA), joita YTV teki 1988, 1995 ja 2000. Niissä haastateltiin vain pääkaupunkiseudun neljän kunnan asukkaita.

Vuonna 2006 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, joten sekä tutkimus että uudet mallit oli syytä tehdä 14 kunnan seutua laajemmin eli koko työssäkäyntialueella. Tutkimusaineistosta estimoitiin HELMET-liikenne-ennustejärjestelmän versio 1.0, josta tarkemmin raportissa HSL 2011.

Kysyntämallien versiot 1.0 (Pastinen ym. 2011) estimoitiin vuosien 2007–2008 liikkumistutkimusten (HEHA) aineistosta. Tutkimus tehtiin vuosina 2007–2008 Helsingin seudun työssäkäyntialueella, joka kattoi 37 silloista kuntaa Hangosta Loviisaan ja Riihimäelle asti. Kuntaliitosten takia kuntien määrä on myöhemmin pienentynyt.

Seuraavalla, vuonna 2015 päättyneellä HLJ-kierroksella sekä kysyntä- että tarjontamalleja kehitettiin edelleen. Estimointiaineistona oli edellä mainitun vuosien 2007–2008 aineiston lisäksi syksyn 2012 liikkumistutkimus, joka tehtiin vain Helsingin seudun 14 kunnan alueella. Tuloksena saatiin ennustejärjestelmän versio 2.1, josta tarkemmin raportissa HSL 2016a.

MAL 2019 –työtä varten tarjontakuvauksien tekoperiaatteita tarkennettiin ja kysyntämalleihin tehtiin rakenteellisia muutoksia, jolloin saatiin versio 3.0, jonka kysyntämalleja kuvataan julkaisussa HSL 2019b.

Tässä raportissa kuvataan viimeksi mainittujen kysyntämallien estimoinnissa ja testauksessa (eli HELMET-mallien päivitystyössä) vuonna 2017 käytettyjen tarjontamallien version 3.0 ominaisuuksia.

HSL:n liikenne-ennustejärjestelmä hyödyntää INRO Consultants Inc:n kehittämän Emme-ohjelmiston (INRO 1998) liikennejärjestelmäkuvausta ja matriisilaskentaa, joten osa termeistä on kyseisen ohjelmiston mukaisia. Emmellä ymmärretään tässä sekä uusinta Emme 4- että vanhempaa EMME/2-ohjelmistoa.

Tärkeä osa mallijärjestelmää ovat tarjontamallit eli tie- ja katuverkon sekä joukkoliikennelinjaston kuvaukset nyky- ja ennustevuosille. Aikaisemmin YTV:ssä käytetyt kuvaukset laadittiin 1980-luvun lopussa pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueelle, minkä jälkeen niitä aktiivisesti päivitettiin. Eri PLJ-kierroksilla tehtiin kuvauksia myös erilaisista tulevaisuuden liikennejärjestelmistä.

Liikennejärjestelmässä tapahtuneiden muutosten vuoksi liikenneverkkokuvaukset kaipaivat perusteellisempaa päivitystä. Myös pääkaupunkiseudun sukkulointialueen kasvu asetti vaatimuksia kuvausten laajentamiseksi vähintään nykyiselle työssäkäyntialueelle. Vuonna 2006 käynnistyneen 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 kaduilla, joilla ei ole joukkoliikennekaistoja.

Vuonna 2006 tavoitteena oli laatia uudet liikennejärjestelmämallit ja menetelmä, jolla sekä liikenneverkkojen että joukkoliikennelinjastojen kuvaukset saadaan siirrettyä olemassa olevista tietolähteistä samaan Emme-tietokantaan. Konversiosta saatujen kokemusten perustella päätettiin tehdä tässä ja edellisessä tarjontamalliraportissa HSL 2016b kuvatut mallien päivitykset ja tarkistukset käsitteinä.

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 keskustusten 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 Emme:ssä 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 vaakarivejä on yhtä monta kuin pystyrivejäkin. Matriisien erikoistapauksia ovat vektorit (yksi vaakarivi ja monta pystyriviä tai päinvastoin), joilla voidaan kuvata esimerkiksi alueiden asukasmääriä tai muita 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) kuorittamista 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 (INRO 1998) 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 reititiopashakua. Menetelmä sopii lähinnä kaukoliikenteeseen ja maaseutumaisille, suuren vuorovälin alueille.

Tässä työssä on käytetty vain vuorovälipohjaisia joukkoliikenteen kuvauksia ja sijoitteluja.

2 Liikennejärjestelmäkuvausten tekohistoriaa

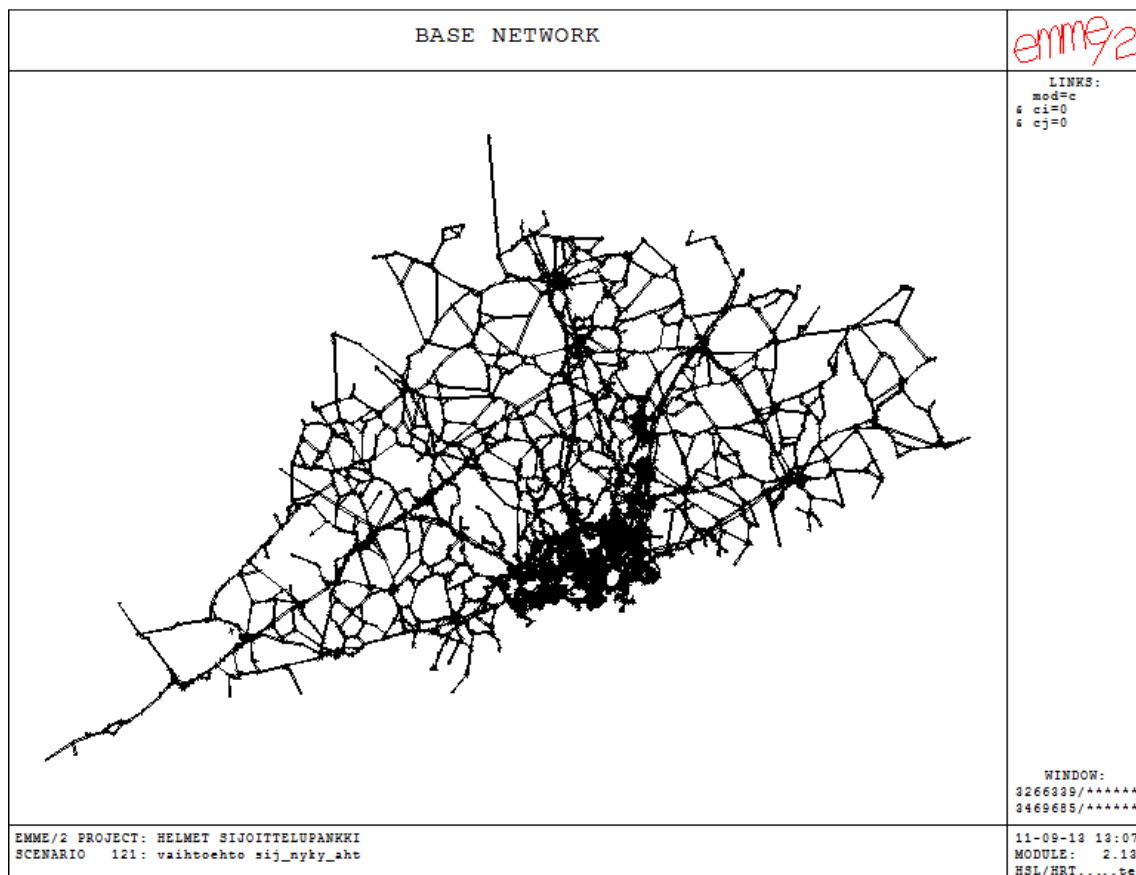
Tässä luvussa on otteita raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta luvusta.

2.1 Vuoden 2008 kuvauksen teko

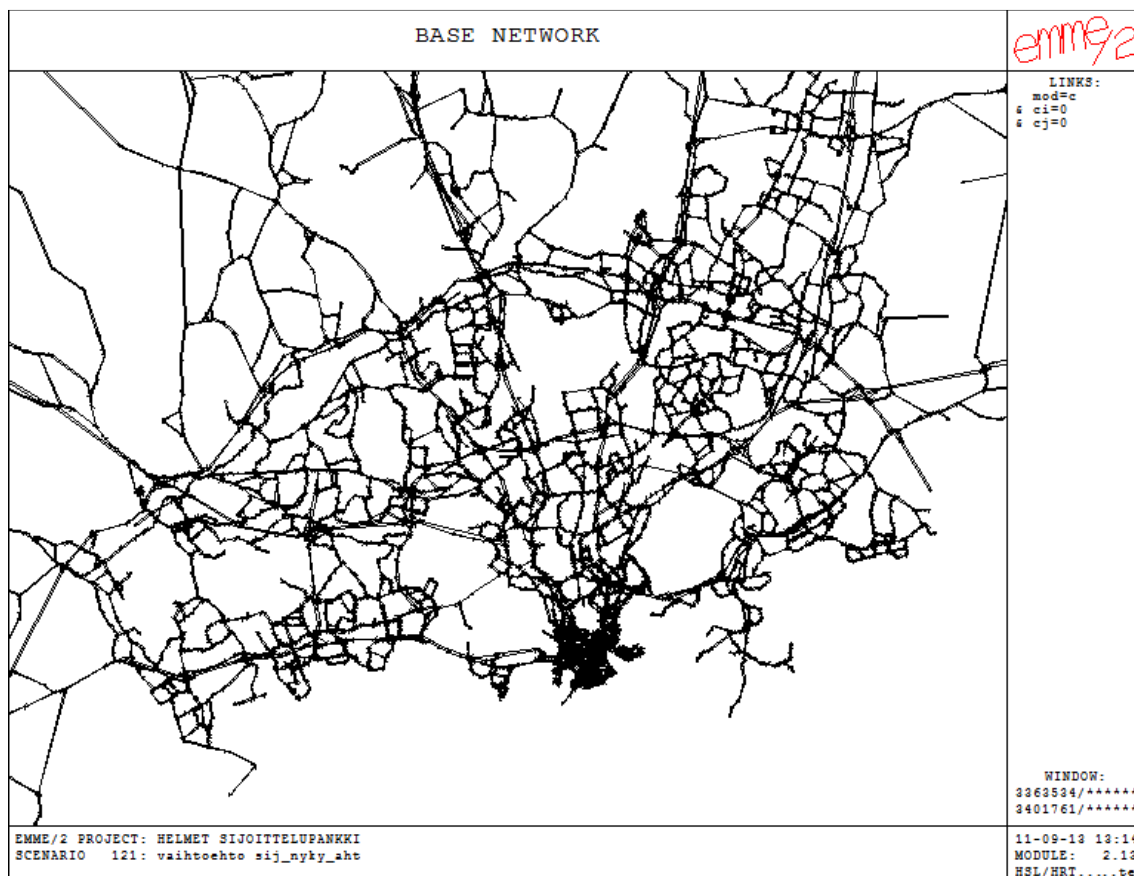
Verkkotyön määrittely aloitettiin jo 2006, jolloin ei vielä ollut tarkkaa kuvaa alueesta, jonka vuosien 2007–2008 laajan liikennetutkimuksen pitäisi kattaa ja jolle liikenne-ennusteita tarvitaan. Katsottiin kuitenkin, että alueen on oltava laajempi kuin HLJ 2011:ssä käsiteltävä 14 kunnan Helsingin seutu.

Erinäisten vaiheiden jälkeen 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 vuoden 2007 liikkumistutkimus ja kysyntämallit, mitä havainnollistaa kuvissa 1 ja 2 oleva nykytilanteen 2008 autoliikenteen verkko (Elolähde ym. 2011).

Tie- ja katuverkon kuvaus tehtiin ohjelmallisella konversiolla Digiroad-aineistosta. Pääkaupunkiseudun joukkoliikennelinjaston kuvaus saatiin joukkoliikennerekisteristä (JORE) ja muun linjaston osalta valtakunnallisesta liikenneluparekisteristä (VALLU). Sekä Digiroad että JORE ovat hyvin yksityiskohtaisia, mm. solmuja on paljon. Emme-kuvauksia ei ole mahdollista eikä mielekästä käyttää niin paljon solmuja. Niinpä yksi Emme-solmu voi vastata useata Digiroad- ja JORE-solmua.



Kuva 1. Nykytilanteen 2008 autoverkko koko työssäkäyntialueella.



Kuva 2. Nykytilanteen 2008 autoverkko pääkaupunkiseudulla.

Konversioprosessi oli monivaiheinen. Se on kuvattu tarkemmin 28.10.2008 päivätyssä muistiossa Blummé ym. 2008. Emme-makroilla mm. korjattiin aineistossa olevia virheitä. Tarkistuksia tehtiin myös käsityönä konversiokierrosten välillä. Konversio- ja tarkistusprosessia kaikkine vaiheineen kuvataan tarkemmin raportissa Elolähde ym. 2011.

Vuoden 2008 kuvausta täydennettiin edelleen kuvaamaan syksyn 2009 tilannetta, mistä tarkemmin muistiossa Keränen ym. 2009a.

2.2 Liikennejärjestelmäkuvausten ominaisuuksista

Toisin kuin YTV:n liikenne-ennustejärjestelmässä (Elolähde 2003), sekä auto- että joukkoliikenne on kuvattu samalle pohjaverkolle. Helsingin keskustasta on kuvattu jopa liityntäkadut, muualla pääkaupunkiseudulla kokoojakadut/ylidystiet ja seudun ulkopuolella alueelliset pääkadut/seututiet.

Seuraavassa on otteita muistiosta Holm, Keränen & Blummé 2009, joka löytyy kattavammin raportista Elolähde ym. 2011.

2.2.1 Kulkuvälineet ja niiden nopeuksien määräytyminen

Henkilöautojen nopeus määräytyy valittujen funktioiden ja kaistamäärän mukaan liikennemäärän funktiona. Funktioiden parametrina on mm. linkin kapasiteetti. Vastaavasti bussien määrä linkillä vaikuttaa 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 *u11*-kentän arvoista *xxyyzz*, jossa *xx* on aamuruuhkan, *yy* päivä-tunnin 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. Lisäksi junilla, jotka eivät pysähdy kaikilla asemilla, kahden pysähdyksen välinen matka-aika on yleensä laitettu vain yhdelle linkille (asemavälille), joten muilla linkeillä matka-aika on nolla.

Versiossa 3.0 käytettävistä viivytysfunktioista kerrotaan tarkemmin kohdissa 7.2.6 (autoliikenne) ja 7.5.2 (joukkoliikenne).

2.2.2 Uusien bussilinjojen luonti ja linkkien ominaisuuksien muuttaminen

Kun tehdään uusia bussilinjoja, korjataan vanhoja tai muutetaan linkkien ominaisuuksia, on tämän jälkeen ajettava funktiomakrojen 3, 4 ja 5 aamu-, päivä- tai iltaversio kyseistä aikaskenaariota vastaavasti. Nämä makrot luovat kullekin linjan segmentille vakion, joka viivytysfunktiossa lisätään linkin ajoaikaan, sekä valitsevat käytettävän viivytysfunktion bussikaistojen voimassaoloajan perusteella.

Linkkien ominaisuustietoja muutettaessa on hyvä tietää, että *u11*- ja *u12*-kenttien arvoja muuttamalla vaikutetaan funktioon eikä funktiomakroja tarvitse ajaa toimenpiteen jälkeen. Jos kuitenkin muutetaan tielinkin 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 (Keränen & Pesonen 2011) 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 *nobo*- ja *noali*- segmenttitietoja (eli pysäkkien nousu- ja poistumiskieltoja).

2.3 Vuoden 2012 kuvauksen teko

Otteita julkaisemattomasta muistiosta Holm, Supponen & Keränen 2013, joka löytyy kattavammin raportista Elolähde ym. 2016.

2.3.1 Työn tausta ja tekijät

Työn lähtötilanteena oli HSL:n käytössä ollut syksyn 2009 tilanteen mukainen kuvaus liikennejärjestelmästä. Kuvaus sisälsi tiedot muun muassa tie- ja katuverkosta kääntymiskieltoineen, raideliikenneverkosta sekä joukkoliikennelinjastosta. Työssä ne päivitettiin kuvaamaan syksyn 2012 liikennejärjestelmää, korjattiin raportoidut ja havaitut virheet sekä kehitettiin kuvausta monilta osin. Liikenneverkkojen ATK-kuvausten päivitys tehtiin Trafix Oy:ssä. Raideliikenteen (raitiovaunu, juna, metro) linjat ja linkit tarkistettiin HSL:ssä. Työ alkoi lokakuussa 2012 ja päättyi maaliskuussa 2013.

Vuosina 2007-2008 oli tehty ensimmäiset liikenneverkkokuvaukset HSL:n liikenne-ennustejärjestelmään. Mallin tuli palvella HLJ 2011 -työtä. Se tehtiin täysin puhtaalta pöydältä ja siinä hyödynnettiin digitaalisia aineistoja kuten Digiroadia ja VALLU-tietokantaa, jotka myöhemmin havaittiin puutteelliseksi tai virheelliseksi. Puutteet ja virheet johtivat suureen määrään käsin tehtyjä korjauksia. Koska aineistot olivat hieman vanhentuneet, jouduttiin kuvauksia myös päivittämään jo työn aikana, jotta vuoden 2009 tilanne saatiin kuvattua. Tämän työn uskottiin onnistuvan parhaiten siten, että mitään ei syötetä Emmeen ohjelmallisesti, vaan kaikki kulkee "ihmissuodattimen" läpi. Virheitä on todella vaikeaa löytää verkolta jälkikäteen etsimällä.

2.3.2 Tehdyt korjaukset ja päivitykset

Työssä päivitettiin järjestelmäkuvaukset vuoden 2012 tilanteeseen ja korjattiin alkuperäisessä verkossa havaittuja puutteita, virheitä ja omituisuuksia. Suurin yksittäinen mekaaninen työ oli linjastojen tarkistus HSL- ja VALLU-linjojen osalta. Päivitystyö oli kohtuullisen suoraviivaista päivitysten ja virheiden korjauksen osalta.

Suurista tiehankkeista päivityksen yhteydessä korjattiin sellaiset kohteet, joiden odotetaan valmistuvan vähintään seuraavan vuoden aikana päivitysajankohdasta. Mikäli hanke on syksyllä 2012 ollut keskeneräinen, tilanne kuvattiin Emme-verkkoon asettamalla keskeneräisille linkeille nopeusrajoituksia tai kieltämällä moottoriajoneuvoliikenne kokonaan. Keskeneräisille hankkeille tehtiin makrot, joilla tiet voidaan ottaa käyttöön. Lisäksi tehtiin päivityksiä Helsingin, Espoon ja Vantaan katu- ja tieverkkojen kuvauksiin.

HSL-linjojen osalta päivityksessä käytiin läpi jokaisen linjan reitit ja ne korjattiin syksyn 2012 mukaisiksi. Linjojen numerointi tehtiin syksyn 2012 mukaiseksi. Linjat, joita ei liikennöidä tietyn skenaarion aikavälillä (esim. liikennöi iltopäivällä, mutta ei aamulla) kuvattiin verkolle vuorovälillä *hdwy*=999. HSL:n toimivalta-alueen ulkopuolelle ulottuva ns. VALLU-linjasto käytiin läpi kuntakeskusten välisten linjojen osalta. Myös raideliikenteen (metro, juna, raitiovaunu) kuvaukset tarkistettiin.

Tarkempia tietoja vuoden 2012 kuvausten teosta on raportissa Elolähde ym. 2016 ja julkaisemattomassa muistiossa Holm, Supponen & Keränen 2013.

2.3.3 Liikennejärjestelmäkuvauksen tilastollinen testaus

Jotta päivityksen ja kehittämisen tuloksia voitiin tulkita ja testata, tehtiin tilastollista testausta. Tämä oli erittäin oleellinen osa kokonaisuuden laadun varmistusta. Testit sisälsivät useita Emmestä tulostettavia ja tosimaailmasta mitattuja tekijöitä, joita voitiin verrata toisiinsa ennen ja jälkeen tehtyjä muutoksia.

Tehdyistä testeistä kerrotaan raportissa Elolähde ym. 2016 sekä julkaisemattomassa muistiossa Holm, Supponen & Keränen 2013. Tarkempaa analyysiä on erikoistyössä Supponen 2013.

2.4 Ennustevuosien verkkomallien teko

Kullakin liikennejärjestelmäsuunnitelman (PLJ, HLJ) kierroksella on tehty nykytilanteen kuvauksen lisäksi vastaavia kuvauksia myös tarkasteltaville ennustevuosille ja jo sitä ennen alustavia kuvauksia, joita on käytetty ennustejärjestelmän testaamiseen.

Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelmatyön (HLJ2011) yhteydessä tehtiin kuvauksia vuosien 2020 ja 2035 liikennejärjestelmästä. Tarkempia tietoja skenaarioista ja niille tehdyistä tarkasteluista on julkaisussa Pesonen ym. 2012. HELMET-liikenne-ennustejärjestelmästä oli käytössä versio 1.0, josta tarkemmin raportissa HSL 2011.

Liikennejärjestelmäsuunnitelmatyön seuraavalla kierroksella (HLJ 2015) tehtiin erilaisia skenaarioita vuosille 2025, 2040 ja 2050 sekä verrattiin niitä nykytilaan 2012. Niitä on tarkemmin kuvattu julkaisussa HSL 2015a sekä työssä käytettyä liikenne-ennustejärjestelmän versiota 2.1 julkaisussa HSL 2016a ja HSL 2016b.

Vastaavasti MAL2019:ssä (HSL 2019a) tarkasteltiin vuosia 2030 ja 2050 sekä verrattiin niitä nykytilaan 2016, jossa Kehärata on otettu käyttöön, mutta Länsimetroa ei. Skenaarioiden vaikutusarvioihin ja muuhun analysointiin käytettiin liikenne-ennustejärjestelmän versiota 3.0, jonka kysyntämallista on tietoa raportissa HSL 2019b.

Seuraavaksi tässä raportissa kerrotaan tarkennustyöstä (Rantala ym. 2017), jossa mm. tehtiin liikennejärjestelmäkuvaukset tilanteesta, jossa Länsimetro liityntälinjastoineen on otettu käyttöön. Siinä muunnettiin myös HLJ2015:n skenaariot uuden kuvaustavan mukaisiksi, jotta niitä voitaisiin käyttää pohjana muodostettaessa MAL2019:ssä tarkasteltavia skenaarioita (vaihtoehdot ja versiot). Skenaarioiden yksityiskohtiin tässä raportissa ei kuitenkaan mennä.

Tarkennettuja liikennejärjestelmämalleja käytettiin version 3.0 kysyntämallien (HSL 2019b) estimoinnissa. Siinä selitettiin vuosien 2008 ja 2012 kysyntää mm. matka-ajoilla ja etäisyyksillä, jotka oli laskettu sijoittelemalla ko. vuosien ennustettu kysyntä vuoden 2016 verkolle.

3 Liikennejärjestelmäkuvausten tarkennuksen ja korjauksen valmistelu

Vuonna 2015 tehtiin esiselvitys (Keränen ym. 2015) HSL:n ylläpitämän Helsingin seudun työssä-käyntialueen liikennejärjestelmäkuvausten (Emme-verkot ja linjastot) tarkennuksesta ja korjauksesta.

3.1 Tavoitteiden ja uuden verkon periaatteiden määrittäminen

Tämä kohta perustuu esiselvityksen muistoon (Keränen ym. 2015).

Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennemallia käytetään tarkkuustasoltaan hyvinkin vaihtelevissa tarkasteluissa, aina seudullisista tarkasteluista tarkkaan detaljitason suunnitteluun (mm. joukkoliikenteen linjastosuunnittelu). Tarkkuustasoltaan erilaiset käyttötarkoitukset asettavat erilaisia vaatimuksia liikennejärjestelmäkuvauksille. Nykyisin käytössä olevissa liikennejärjestelmäkuvauksissa on havaittu monenlaisia puutteita ja ongelmia eri tarkkuustasojen tarkasteluissa.

Strategisella tasolla on tarve tarkastella useita erilaisia hankeyhdistelmiä, eikä verkon muokkaamisen tulisi varata liikaa resursseja.

Strategisen tason tarkasteluissa olisi periaatteessa mahdollista tulla toimeen hyvin yksinkertaisella verkkokuvauskella, jossa verkko ja linjasto on kuvattu yksinkertaistetusti. Selvitysten aikajänne on kaukana tulevaisuudessa, jolloin nykyisen kuvauksen yksityiskohdat eivät välttämättä enää pidä paikkaansa. Yksinkertainen verkkokuvaus, jossa kaikki liittymät kuvattaisiin yhdellä solmulla, saattaa olla riittävä strategisen tason tarkasteluihin, mutta aiheuttaa ongelmia sekä ajoneuvo- että joukkoliikenteen sijoitteluissa. Ajoneuvoliikenteen sijoittelussa yksinkertainen verkkokuvaus voi paikoin johtaa vääriin reitinvalintoihin, eikä kaikkien hankkeiden ominaisuuksia pystytä kuvaamaan oikein. Joukkoliikenteen sijoittelussa vaihtotapahtumat kuvautuvat yksinkertaisessa verkkokuvauksessa liian sujuvina, jolloin mallinnetuilla joukkoliikennematkoilla voidaan päätyä tekemään liikaa vaihtoja.

Nykyisin myös strategisella tasolla on lisääntyvää tarvetta yksityiskohtaisempiin verkon kuvauksiin. Esimerkiksi pyöräliikenteen mallintaminen edellyttää pyöräilyinfran melko yksityiskohtaista kuvausta, jotta pyöräilyyn vaikuttavia tekijöitä voidaan huomioida mallintamisessa.

Hanketarkasteluissa ja linjastosuunnittelussa liikennejärjestelmän olisi kuitenkin hyvä olla kuvattuna riittävän tarkalla tasolla. Tarkasteluissa kuvataan esimerkiksi yksittäisen hankkeen tai linjastosuunnitelman vaikutuksia alueellisesti. Tarkasteluissa ei tyypillisesti pyritä tarkastelemaan yksittäisiä linjoja (poikkeuksena raidehankkeet, joissa toisinaan kuvataan myös yksittäisen raidelinjan matkustajamääriä). Tämän tason tarkasteluissa on tärkeää, että esimerkiksi eritasoliittymien rampit, vastukset ja joukkoliikenteen vaihtoyhteydet on kuvattu riittävällä tarkkuudella. Nykyisellään liikenneverkkokuvausten yksityiskohtaisuus aiheuttaa paljon työtä yksittäisiä hankkeita tai hankeyhdistelmiä kuvattaessa. Hankekokonaisuuksien kuvaamista on pyritty sujuvoittamaan hankekuvauksia makrottamalla. Laaditut makrot eivät kaikissa tapauksissa toimi, sillä makrot joudutaan ajamaan tietyssä järjestyksessä ja joukkoliikenteen linjastot joudutaan lukemaan sisään erikseen.

Tarkemman tason verkoissa hankkeiden kuvaaminen modulaarisesti makroilla on monimutkaisempaa kuin yksinkertaisemmilla verkoilla. Kyse on pitkälti bussilinjastojen käsittelystä. Jos solmunumerointi yhtenäistetään eri ennustetilanteiden verkkokuvausten osalta, joukkoliikennelinjastot voi-

daan viedä liikennejärjestelmäkuvaukseen verkollisten muutosten koodaamisen jälkeen. Solmunumeroinnin yhtenäistäminen mahdollistaisi siten hankkeiden kuvaamisen modulaarisesti omina makroina.

Tarkemmissa hankesuunnitelmissa on usein tarvetta analysoida verkon toimivuutta. Kun tarkastelu-alue ei ole kovin suuri, on tarkoituksenmukaista tehdä toimivuustarkastelut simulointimallien avulla. Emmen tarkkuus ei riitä liittymäkohtaisten toimivuusanalyyysien tekoon.

Työn aikana pohdittiin kahden tasoisten verkkojen ylläpidon mahdollisuutta. Tämän todettiin kuitenkin johtavan helposti ristiriitaisiin tuloksiin eritasoisten verkkojen välillä ja kahden verkon ylläpito on raskasta, joten työssä päädyttiin suosittelemaan vain yhden tarkkuustason verkkojen jatkuvaa ylläpitoa.

Laadittavien verkkokuvausten on palveltava eritasoisia suunnittelutarpeita, jolloin verkkokuvaus on kompromissi yksinkertaisen ja yksityiskohtaisen kuvauksen välillä.

Hankkeiden kuvauksen helpottamiseksi on kehitettävä menetelmä, jolla useita hankekuvauksia voidaan lukea ja poistaa verkolta pienellä vaivalla. Hankkeiden kuvausten muuttuessa tulisi samat päivitykset kyetä ajamaan kaikkiin ylläpidettäviin verkkoskenaarioihin. Tärkeää olisi lisäksi, että yksittäisten hankkeiden kuvaukset olisivat niin yksiselitteisiä kuin mahdollista. Aina tämä ei varmaan onnistu, koska hankkeet ovat osittain päällekkäisiä. Liian raskasta prosessia verkon dokumentoinnista ei kuitenkaan kannata tehdä.

Verkkojen ylläpidossa on kiinnitettävä erityistä huomiota versiohallintaan ja siihen, että tulevaisuuden hankkeet ovat koodattavissa verkolle automatisoidusti. Versiohallinnan osalta on tärkeää, että tarkemmissa hanketarkasteluissa löytyvät virheet kootaan yhteen ja korjataan verkkoon jatkuvasti. On olennaisen tärkeää, että perusverkkojen sisältö tiedetään ja että niiden kuvauksiin voidaan luottaa. Verkkojen ylläpidolla on oltava yksi vastuutaho, joka ylläpitää viimeisintä versiota verkosta. Tämä vastuutaho vastaa myös päivitysten teosta.

Versiohallintaan on olemassa ohjelmistokehityksessä käytettäviä ohjelmia, jotka mahdollistavat tekstitiedostojen vertailun ja eri versioiden ja kehityshaarojen dokumentoinnin. Periaatteessa ylläpitoa voisi tehdä hajautetusti eri toimijoiden toimesta. Nimetty vastuutaho sitten hyväksyisi verkkoihin sisällytettävät muutokset.

Käytännössä on suositeltavaa, että muutokset perusverkkoihin tehdään yhden vastuutahon toimesta. Näin varmistetaan verkkojen koodauksen yhtenäisyys ja tehtyjen muutosten yhtenäinen dokumentointi.

Liikenne-ennusteiden nykytilaa kritisoidaan usein siitä, että sijoitteluiden tulokset eivät vastaa havaittuja matkustaja- tai liikennemääriä. Tämä tuo kiusauksen kalibroida matriiseja kalibrointimakroilla. Tämä ei kuitenkaan ole hyväksyttävää, koska kalibrointi muuttaa kysyntämatriiseja ennalta arvaamattomalla tavalla. Näiden muutosten heijastaminen ennusteisiin saattaa muuttaa mallilla laskettavia tuloksia huomattavasti suhteessa malliin kuvattujen mekanismien tuottamiin vaikutuksiin. Tämä voi aiheuttaa vääriä ja jopa todellisten vaikutusten kanssa päinvastaisia päätelmiä toimenpiteiden vaikutuksista. Kysyntämatriisien kalibroinnin sijaan tulisi pyrkiä löytämään mahdolliset liikenteen reitinvalintoihin vaikuttavat virheet verkosta sekä mahdolliset puutteelliset kysyntämallin

lähtötiedot. Myös sijoittelualuejaon paikallinen tihentäminen parantaa sijoittelutuloksia.

Liikennejärjestelmän kuvauksille voidaan siten asettaa seuraavat tavoitteet:

- verkkojen on palveltava eritasoisia selvitystarpeita
- eri vuosien verkkojen on oltava kuvattuna samalla tarkkuustasolla
- verkkojen ja niille kuvattujen tietojen on kuvattava liikennejärjestelmää oikein
- verkkojen on toimittava hyvin HELMET-mallijärjestelmässä
- on myös pyrittävä harmonisoimaan eri toimijoiden verkkoihin tekemiä muutoksia
- verkkojen ylläpidon on oltava selkeä
- eri vuosien skenaarioiden on oltava yhteismitallisia
- verkon tarkkuuden ja aluejakojen välillä on oltava toimiva suhde.

3.2 Liikenneverkkojen kuvaus ja havaittuja ongelmia

Tämä kohta perustuu esiselvityksen muistoon (Keränen ym. 2015)

Liikenneverkon kuvaus Emme-ohjelmistossa käsittää solmut, linkit ja kääntymiskiellot. Solmut kuvaavat liittymiä sekä muita liikenneverkolla olevia erityiskohteita. Väyliä kuvataan solmuja yhdistävillä linkeillä, joille kuvataan halutut kulkutavat sekä muut väylän ominaisuudet. Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikennemallissa tällä hetkellä käytettävät kulkutavat ovat ajoneuvoliikenne (kevyet ja raskaat ajoneuvot), linja-autot, raitiovaunut, junat ja metro. Lisäksi kävely- ja syöttölinkkejä käytetään osa-alueiden kytkemiseksi liikenneverkkoon ja myös omana kulkutapanaan. Linkeille kuvattavat ominaisuudet määrittävät niiden liikenteellisen merkityksen (esimerkiksi nopeustaso ja kapasiteetti). Liikenneverkon peruskuvauksessa koostuu tasoliittymiä kuvaavista solmuista ja näiden välisiä teitä ja katuja kuvaavista linkeistä. Nykyisessä (version 2.1 mukaisessa) liikenneverkkokuvauksessa kaksiajorataisilla väylillä molemmat ajoradat ja eritasoliittymien kaikki rampit on kuvattu erillisinä linkeinä. Joukkoliikenteen linjasto kuvataan liikenneverkkokuvauksen päälle linjakohtaisesti.

Liikenneverkkokuvauksissa on havaittu erilaisia ongelmia kaikkiin kuvauksen osiin liittyen. Yleisimpiä virheitä ovat mm. kääntymiskieltojen puutteelliset kuvaukset, linkkien virheelliset ominaisuustiedot, väärin kuvatut yhteydet sekä joukkoliikennelinjojen virheelliset pysäkkikuvaukset. Lisäksi eri ennustetilanteiden liikenneverkkokuvausten vertailu on osoittautunut hankalaksi, koska solmunumerointi ei ole yhdenmukainen eri ennustevuosien verkkokuvausten välillä.

Erityisesti Helsingin kantakaupungin osalta on havaittu liian suuria liikennemääriä ja ajonopeuksia autoliikenteen osalta, minkä takia myös bussien nopeudet kuvautuvat liian korkeiksi. Liikennemallin tuloksia tarkasteltaessa on myös havaittu, että Helsingin kantakaupungin kulkutapajakauma ei kuvaudu oikein ja eri joukkoliikennevälineiden matkustajamäärien suhteet eivät vastaa todellisuutta.

Helsingin kantakaupungissa bussien ajonopeudet kuvautuvat liikennemallissa todellista suurempina, kun taas raitiovaunujen nopeudet on kuvattu todellisuutta vastaavina. Tällöin raitiovaunujen käytön houkuttelevuus liikennemallissa pienenee suhteessa busseihin ja raitiovaunujen matkustajamäärät jäävät liian pieniksi. Tätä on pyritty korjaamaan bussien raitiovaunuja suuremmilla nousuvastuksilla.

Jatkossa sekä auto- että bussiliikenteen ajonopeudet pyritään kuvaamaan mahdollisimman hyvin todellista tilannetta vastaavina, minkä pitäisi korjata raitiovaunujen kuormituksen lisäksi myös kantakaupungin kulkutapajakaumaa liikennemallissa. Auto- ja bussiliikenteen todellisista nopeuksista

tarvitaan lisätietoja etenkin Helsingin kantakaupungin osalta.

Kun autoliikenteen ja bussien ajonopeuksia korjataan laajemmin, tulee muutosten laadinnan yhteydessä seurata auto- ja joukkoliikenteen vastusten tasoa ja keskinäisiä suhteita. Nopeusmuutosten vaikutuksia tulee testata ajamalla HELMET-kysyntämalli päivitettyillä vastuksilla. Muutosten yhteydessä joudutaan arvioimaan tarvetta muuttaa joukkoliikenteen nousuvastuksia ja tarvetta estimoida kysyntämalli uudelleen.

3.3 Esiselvityksen tuloksia

Esiselvityksessä (Keränen ym. 2015) pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja ja päädyttiin seuraaviin toimenpidesuosituksiin:

- Eri vuosien verkot ja linjastot
 - o Verkot suositellaan muodostettavaksi ”ylhäältä alas” –periaatteella. Työn alussa on määritettävä vuoden 2050 verkon pohjalta maksimiverkko, josta muodostetaan varhaisemmat vuodet poistamalla hankkeita.
 - o Linjastot suositellaan rakennettavaksi ”alhaalta ylös” –periaatteella. Nykylinjastoksi suositellaan länsimetron käyttöönoton mukainen tilanne. Nykylinjaston pohjalta tehdään tulevaisuuden linjastot vastaavien verkkojen päälle.
- Alueet
 - o Sijoittelualuejakoa suositellaan tihennettäväksi työn alussa. Aluejaon on oltava tiedossa, kun verkkoja ryhdytään rakentamaan.
 - o Sijoittelualuejakoa joudutaan erillistarkasteluissa usein tihentämään. Sijoittelualuejaon tapauskohtainen tihentäminen on ohjeistettava verkkokuvauksen päivittämisen yhteydessä, jotta aluejaon projektikohtaiset tihennykset tehdään yhtenevin periaattein ja malli toimii oikein (esimerkiksi kuinka tehdään sijoittelualuejaon niputus ennustealuejaon).
- Erilaisten autoväylien kuvaus
 - o Kaksiajorataiset katulinkit poistetaan ja ne kuvataan kaksisuuntaisilla linkeillä. Liittymät, myös kiertoliittymät, kuvataan yhdellä solmulla.
 - o Moottoritieväylien kuvaus suositellaan säilytettävän nykyisen kaltaisena, jolloin ajoradat kuvataan jatkossakin erillisinä.
 - o Eritasoliittymien osalta suositellaan niin ikään säilyttämään nykyinen kuvauspa, jossa liittymät pyritään kuvaamaan mahdollisimman hyvin fyysistä todellisuutta tai suunnitelmia vastaaviksi.
 - o Sekä moottoritieväylien että eritasoliittymien kuvaustavan muuttaminen aiheuttaisi paljon työtä, mutta muutoksen ei nähdä tuottavan erityisiä hyötyjä. Käytettävissä olevat resurssit esitetään kohdistettavaksi niihin verkkokuvauksen osiin, joissa muutostarve on suuri.
- Pysäkit
 - o Pysäkkien kuvaaminen tehdään eri alueilla eri tarkkuudella. Kehyskunnissa ja reuna-alueilla suositus noudattelee pääsääntöisesti nykyistä kuvausta.
 - o Työssä hyödynnetään JOREn pysäkkisolmuja. JOREn pysäkkitunnusten ja Emmen pysäkkisolmujen välille luodaan vastaavuustaulukko, joka mahdollistaa linjastojen automaattisen tuottamisen JOREsta.
 - o Karkeimmalla tarkkuudella kuvataan HSL-alueen ulkopuolella ns. VALLU-linjaston pysäkit, joissa periaatteena on kuvata pysäkit olemassa oleviin solmuihin (yhden solmun

kuvaus). Myös HSL-alueen ulkopuolella voidaan tarvittaessa käyttää tarkempia kuvauksia.

- o HSL-alueella pysäkkisolmuja pyritään yhdistelemään siten, että verkosta ei tule liian tarkkaan kuvattua. Perusratkaisuna on kuvata pysäkit kolmen solmun periaatteella (kuvattu kohdassa 5.5.1). Tämä mahdollistaa yleensä riittävän tarkkuuden myös vaihtojen kuvaamiseen.
- o Tärkeimpien vaihtopysäkkien ja terminaalien osalta on tarpeen tehdä tarkempi pysäkkien kuvaus. Kuvaus voi perustua esim. viiden solmun malliin, ”tuulimylly”-malliin tai vielä tarkempaan kuvaukseen (ks. kohta 5.5.1). Lopullisen kuvaustavan valinta riippuu mm. tapauskohtaisesti tarvittavasta vaihtoyhteyksien kuvauksen tarkkuudesta ja linjaston automaattisesta tuottamisesta, joka mahdollistaisi nykylinjastolla pysähdysten kuvaamisen vain niissä solmuissa, jotka vastaavat linjan JORE-pysäkkejä.
- Raideliikenne
 - o Suositellaan raitiovaunuverkon nykyisen kuvaustavan säilyttämistä eli omaa verkkoaan, joka yhdistetään muuhun verkkoon kävely-yhteyksillä. Raitiovaunuverkon kuvaus ja kävely-yhteydet on kuitenkin tarkistettava.
 - o Junatyyppejä ei erotella omille linkeilleen. Oleellista on kuvata terminaalien ja asemien kävely-yhteydet oikein. Bussiterminaalit asemien yhteydessä kuvataan omilla solmuillaan.
- Solmut
 - o Siirrytään uuteen koordinaatistoon. ETRS89-GK25 lienee suositeltavin.
 - o Solmunumeroinnin osalta sijoittelualuejaon osa-alueet, liityntäpysäköintialueet sekä raideliikenteen solmut kuvataan erillisiin numerosarjoihin.
 - o Osa-alueiden (sijoittelualueiden) numeroinnissa säilytetään kuntakohtaiset numerosarjat, mutta kuntien sisällä numeroinnin loogisuus tarkistetaan. Lisäksi osa-alueiden numeroinnissa huomioidaan viimeaikaiset kuntaliitokset ym. rajamuutokset. Osa-alueiden numerointilogiikan muuttuessa tulee muuttaa myös liikennemallin käyttämät alue-niputukset, joilla sijoittelu- ja ennustealuejaot kytketään toisiinsa.
 - o Esitetään, että liikenneverkon kuvauksessa käytettyihin solmuihin määritellään solmutyyppi, joka lisätään solmuattribuuttiin.
- Muita suosituksia
 - o Ajoneuvoliikenteen funktioiden päivitykselle ei ole havaittu tarvetta. Sen sijaan erillisten tavaraliikenteen funktioiden kehittämistä voidaan harkita, jos halutaan mm. ottaa huomioon kuorma-autojen alemmat nopeudet moottoriteillä. Bussien ja erityisesti bus-sikaistallisten osuuksien funktiot on tarpeen tarkistaa.
 - o Tarkennusten yhteydessä verkoille koodataan linkkien ominaisuuksia kuvaava linkkityyppi. Tyyppin kautta voidaan linkeille lisätä muut tarvittavat parametrit. Tämä nopeuttaa koodausta ja yhtenäistää linkkien kuvauksia. Lisäksi tämä yhtenäistää eri tahoilla käsiteltäviä verkkoja ja siten parantaa verkkokuvausten laatua.
 - o Malliin määritettävien ja liikenneverkolle kuvattavien kulkutapojen joukkoa joudutaan liikenneverkon kuvausten päivityksen yhteydessä laajentamaan. Tavaraliikenteen tarkennetun sijoittelumenettelyn myötä liikenneverkoille joudutaan kuvaamaan kulkutavat jokaiselle tavaraliikennelajille (jakeluliikenne kuorma-autoilla, yhdistelmäajoneuvot ja pakettiautot).
 - o Sijoittelumenetelmää on tarpeen kehittää niin, että tavaraliikenne sijoitellaan omina kulkutapoinaan ajoneuvotyypeittäin (pakettiautot, kuorma-autot, ajoneuvoyhdistelmät) verkolle.

3.4 Tarkennustyön lähtökohdat

Tämä kohta perustuu muistoon Rantala ym. 2017.

Työssä on tarkennettu Emme-verkon kuvausta esiselvityksessä kuvatuilla tavoilla. Kaikkia esiselvityksessä käsiteltyjä asioita ei kuitenkaan ole sisällytetty tähän työhön, ja toisaalta jotkin asiat on toteutettu osittain esiselvityksestä poikkeavasti. Jos liikennejärjestelmäkuvausta halutaan kehittää jatkossa, on tarpeen lukea esiselvitystä rinnakkain tämän muistion kanssa.

Tässä muistiossa on kuvattu verkon uusia ominaisuuksia ja koodausperiaatteita sekä työtä, joka on tehty verkon muokkaamiseksi uusien periaatteiden mukaiseksi. HELMET-mallin kehittämistarpeita on kuvattu lyhyesti sen valossa, miten tässä työssä tehdyt asiat vaikuttavat mallin kehitystarpeisiin. Esiselvityksessä on käyty laajemmin läpi kehitystarpeita sekä verkkojen versionhallintaa.

Verkon ominaisuuksiin on tehty lukuisia muutoksia.

- Solmujen numerointi on uudistettu ja solmuille on määritelty aiempaa monipuolisemmat solmutyypit.
- Samoin linkeille on määritelty linkkityypit, joiden kautta linkkien ominaisuuksia on jatkossa helpompi hallita.
- Kulikutapoja on lisätty: Verkolle on lisätty omina kulikutapoinaan pyöräily, runkolinjabussit, pikavuorot ja tavaraliikenteen kulkutavat, mikä mahdollistaa monipuolisemman mallintamisen jatkossa.
- Bussi- ja raitiolinjojen pysähtymiskäyttäytyminen on automatisoitu solmuihin koodatun pysäkkityypin ja erillisen makron avulla.

Suoraan verkkoon liittyvien muutosten lisäksi työssä on tarkennettu ennuste- ja sijoittelualuejakoja. Lisäksi on hieman testattu autoliikenteen matka-aikoja ja joukkoliikenteen matka-aikoja ja matkustajamääriä.

Edellä mainitun, vuonna 2017 tehdyn tarkennustyön jälkeen liikennejärjestelmäkuvaus ja niiden tekotapaa on kehitetty HSL:ssä edelleen, joten tässä julkaisussa on kuvattu myös Helmet 3.0:n yksityiskohtia, joita ei vielä ollut alkuperäisessä työssä.

Lisäksi ennen tämän raportin julkaisua HSL:ssä on jo alettu valmistella liikenne-ennustejärjestelmän seuraavaa versiota (Helmet 4.0), mm. täydennetty pyöräilyverkkoa, tarkennettu autoliikenteen sijoitteluparametrien määritymistä ja lisätty 10 ympäröivää kuntaa. Syntyneistä liikennejärjestelmäkuvausista ja menetelmistä käytetään seuraavissa luvuissa tunnusta Helmet 3.1.

4 Verkon tekniset ominaisuudet

Tämä luku perustuu pitkälti muistoon Rantala ym. 2017, mutta joitakin täydennyksiä on tehty.

4.1 Verkon dimensioid ja Emmen lisenssikoko

Nykytilanteen verkon todelliset dimensioid ennen ja jälkeen korjaus- ja päivitystyön on esitetty seuraavassa taulukossa. Vanha verkko mahtui Emmen lisenssikokoon 6. Päivitetty verkko mahtuu juuri ja juuri koon 8 lisenssiin, jossa rajoittavana tekijänä on sentroidien määrä. Uudessa verkossa sentroideja on 1 962, sisältäen sijoittelualueet sekä ulkosityöt. Alueellisia tihennyksiä ja muita sentroidien lisäystarpeita ajatellen koon 9 lisenssillä voi käsitellä verkkoa, jossa on 2 250 sentroidia, ja koon 10 lisenssillä verkkoa, jossa on 2 500 sentroidia.

HSL:n Emme-verkko mahtuu Emme-lisenssiin, jonka koko on vähintään 8. Rajoittavana tekijänä ovat sentroidit. Ohjelmistoversion on hyvä olla vähintään 4.3.

Taulukko 1. Nykytilanteen verkon dimensioid ennen päivitystä ja sen jälkeen.

		todellinen lkm ennen päivitystä	todellinen lkm päivityksen jälkeen	varattu (allocated) päivityksen jälkeen	maksimi lisenssi- koossa 8	maksimi li- senssi- koossa 10
sentroidit	<i>zones or centroids</i>	1 095	1 962	2 000	2 000	2 500
tavalliset solmut	<i>regular nodes</i>	12 049	14 996	17 999		
solmut yhteensä	<i>nodes incl. centroids</i>	13 144	16 958	19 999	20 000	25 000
linkit	<i>links</i>	39 345	49 008	55 000	100 000	125 000
kääntymiset	<i>turn entries</i>	4 889	7 100	10 000	160 000	200 000
joukkoliikenteen ajoneuvotyypit	<i>transit vehicle types</i>	10	10	30	999	999
joukkoliikenne- linjat	<i>transit lines</i>	1 030	1 553	2 000	8 000	10 000
joukkoliikenne- segmentit	<i>transit line segments</i>	78 422	148 495	200 000	320 000	400 000

4.2 Aikajaksojen käsittely

Saman vuoden eri aikajaksojen (aamuhuippu, päivätunti ja iltahuippu) tie- ja katuverkot ovat lähes samanlaisia. Lähinnä eroa on mahdollisissa bussikaistoissa. Aiemmin on ylläpidetty joka aikajaksolle omia verkkotiedostoja. Jotta ei olisi tarpeen ylläpitää lähes samanlaisia tiedostoja, on siirrytty käytäntöön, jossa joka vuoden Emme-verkoista on vain yksi verkkotiedosto (*d211_*.in*) ja yksi kääntymiskieltotiedosto (*d231_*.in*), jotka ovat yhteisiä kaikille ajanjaksoille (aamuhuipputunti, päivätunti ja iltahuipputunti). Eri ajankohtien verkoissa on eroa lähinnä mahdollisissa bussikaistoissa ja sen myötä viivytysfunktioiden (*vdf*) numeroissa. Lisäksi on oltava tiedosto *d241_hinta_*.in*, josta luetaan kunkin aikajakson linkkikohtaiset ruuhkamaksut tai tietullit. Jos maksuja ei ole, tiedosto on tyhjä.

Bussikaistat ja muut sijoittelufunktioihin vaikuttavat tekijät otetaan huomioon vasta luettaessa verkotiedostoja emmepankkiin. Bussikaistojen voimassaolo linkkityypin (*link type*) mukaan saadaan muutettua verkolle funktiomakrolla 3 (*f_bussi_M2016_3X.mac*, missä $X=a,i,p$) (ks. luku 4.5.2).

Makro *f_us2_M2016_4X.mac* muuttaa segmenttien *us2*-attribuuttien arvoja ja makro *f_jkl_M2016_5X.mac* määrittää joukkoliikenteen viivytysfunktion (*tff*) numeron.

Joukkoliikennelinjaston osalta on samoin vain yksi linjatiedosto (*d221_*.in*), jotta muutoksia ei tarvitse koodata moneen kertaan. Aikajaksojen väliset erot otetaan huomioon tiedostosta *d241_vuorovalit_*.in* luettavilla vuoroväleillä, joita on yksi kullekin aikajaksolle.

Ainakin toistaiseksi kaikissa aikajaksoissa on samat kääntymiskiellot. Jos aikajaksojen välille halutaan eroja, se olisi tehtävissä siten, että tiedostossa *d231_*.in* luetellaan (kuten nytkin) kaikki liittymät ja niiden virrat, joissa kääntymistä on rajoitettu, ja tehdään uusi tiedosto *d241_kaantymiset_*.in*, jonka sarakkeissa on tieto kunkin aikajakson kääntymisrajoituksesta (−1 = sallittu, 0 = kielletty, 1–99 = mahdollisen kääntymisvastusfunktion numero). Nyt kääntymisvastusfunktioita ei ole. Tämä vaatisi myös verkkotiedostojen lukumakroiin pienehköjä muutoksia, joita ei vielä ole tehty.

Taulukko 2. Lähtötiedostojen nimien rakenne.

tiedoston nimi	sisältö
<i>d211_verkko_XXXX_vvvvkkpp.in</i>	solmut ja linkit
<i>d221_linjat_XXXX_vvvvkkpp.in</i>	joukkoliikennelinjasto
<i>d231_verkko_XXXX_vvvvkkpp.in</i>	kääntymiset
<i>d241_vuorovalit_XXXX_vvvvkkpp.in</i>	linjojen vuorovälit aikajaksoittain
<i>d241_hinta_XXXX_vvvvkkpp.in</i>	linkkien ruuhkamaksut aikajaksoittain

Kaikkien edellä mainittujen datatiedostojen nimissä on sama tunnus, missä XXXX on vaihtoehto (esim. 2030_v0) ja vvvvkkpp versiota kuvaava päiväys (kaikissa sama, vaikka vain jotakin tiedostoa olisi muutettu). Makrolla *batin_3verkkoa_M2016.mac* voidaan kätevästi lukea em. tiedostot sijoittelupankin skenaarioihin 21, 22 ja 23 sekä tehdä aikajaksokohtaiset muokkaukset.

Verkot on rakennettu niin, että solmut ovat samat kaikissa eri vuosien verkkokuvauksissa. Verkolla ovat kuitenkin vain ko. vuoden hankkeiden linkit. Käytännössä siis verkoissa on "ylimääräisiä" solmuja, joista ei lähde yhtään linkkiä.

Pohjana olevien tiedostojen ei kannata ajatella kuvaavan mitään tiettyä aikajaksoa¹. Tällöin kaikki aikajaksot tulevat varmemmin muodostetuksi oikein. Tässä työssä on muodostettu alustava ohje (*Verkkojen_muodostus.docx*) siitä, miten eri aikajaksojen verkot muodostetaan pohjatiedostosta makrojen avulla.

Esimerkiksi HELMET 2.1 -mallissa on käytössä ruuhkamaksut, jotka ovat erilaiset eri aikajaksoilla, ja ne on tuotu sisään kunkin aikajakson omasta *d241_hinta_*.in*-tiedostosta. Koska eri aikajaksojen linkit ovat lähtötilanteessa täsmälleen samat, ei pitäisi olla ongelmaa tuoda tämänkaltaisia lisäominaisuuksia sisältäviä tiedostoja sisään, kun eri aikajaksojen verkot on ensin muodostettu emmepankkiin yhdestä pohjatiedostosta. Sittemmin tämä on myös toteutettu eli aikajaksokohtaiset ruuhkamaksut luetaan sisään samalla periaatteella kuin vuorovälitkin.

¹ Työssä muodostettu "pohjaverkko" on vastannut lähinnä AHT-tilannetta.

4.3 Solmut

4.3.1 Koordinaatisto

Esiselvityksessä päädyttiin suosittamaan verkon koordinaatistiksi ETRS89-GK25. Käytännössä koordinaatisto näkyy verkossa solmujen koordinaattitietoina, joten ne muunnettiin vanhasta KKJ-koordinaatistosta ETRS89-GK25:een (EPSG:3879)².

X-akseli kasvaa itään ja y-akseli pohjoiseen mentäessä. X-koordinaateissa on kahdeksan numeroa (joista alussa oleva 25 kuvaa projektiokaistaa GK25 eli 25° itäistä pituutta) ja y-koordinaateissa seitsemän numeroa. Yksikkönä on metri.

4.3.2 Solmunumerot

Vuoden 2008 verkon kuvauksessa (HELMET 1.0) solmunumero ei saanut olla suurempi kuin 260 000. Tämä johtui käytetyn konversio-ohjelman muistiavaruuden rajoituksesta. Niinpä alun perin rataverkon solmunumerot olivat raitiovaunuverkolla 250 003–250 330 sekä metro- ja junaverkoilla 250 532–250 824. Raitiovaunusolmuille jätettiin noin kahdensadan solmun puskuri uusia raitiovaunulinjoja varten. Myöhemmin nämä varaukset ovat osoittautuneet liian pieniksi, joten varsinkin ennusteskenaarioiden raidelinkkejä on koodattu monelle lukualueelle. Koska konversio-ohjelmaa ei enää käytetä, myös rajoitus on poistunut. Siitä huolimatta numerointia ei muutettu vielä ennustejärjestelmän versioissa 2.0 eikä 2.1.

Sen sijaan versiossa 3.0 solmujen numerointia muutettiin vanhempiin verkkoihin verrattuna. Nyt eri kulkutapojen solmuille on jätetty enemmän puskuria muutoksia varten. Pääpiirteissään muutokset ovat:

- **Sentroidit** ovat samassa solmunumeroavaruudessa kuin aiemmin, mutta niiden numerointia on muutettu. Tavallisten sentroidien numeroinnista on kerrottu tarkemmin aluejakojen yhteydessä (luku 6.4). Lisäksi on varattu tilaa erikoissentroideille (esim. liityntäpysäköinti-alueet).
- **Katu- ja tieverkon solmujen** numerointia ei ole muutettu, mutta solmuille on tehty lisää tilaa solmunumeroavaruudessa.
- **Raideliikenteen solmut** on viety kokonaan uuteen solmunumeroavaruuteen. Vanha solmunumeroavaruus oli välillä 250 000–251 000, ja uusi on välillä 800 000–819 999. Uuden ja vanhan verkon raideliikenteen solmunumeroiden vastaavuudet on dokumentoitu erilliseen Excel-tiedostoon *Raideliikenteen_solmunumerot.xlsx*. Tiedostosta selviää myös, mitä juna- ja metroasemaa mikäkin juna- ja metroverkon solmu vastaa.

Solmunumeroinnissa on käytetty ja verkkoa muokatessa tulisi noudattaa seuraavissa taulukoissa esitettyjä periaatteita. Taulukoissa mainitut "villit solmut" ja "villit sentroidit" ovat vapaasti käytettävissä olevia numeroita eri tahojen omiin tarkasteluihin ja hankkeisiin, joita ei ole tarkoitukseen viedä virallisiin HSL:n verkkoihin. Niitä muokattaessa on pyydyttävä HSL:stä solmunumerot, joita tietyn hankkeen koodaamiseen käytetään. Virallisissa verkoissa käytettävät solmunumerot ovat taulukoiden solmunumeroavaruuksissa, joiden kohdalla lukee "HSL:n hankkeiden" solmut. Työn loputtua HSL päivittää tarvittaessa valitun vaihtoehdon osaksi virallisia kuvauksia.

² Emme4:ssä käytetyn koordinaatiston pääsee valitsemaan reittiä File -> Project Settings -> GIS ->Browse. Koordinaatistotiedosto löytyy polkua: Coordinate Systems -> Projected Coordinate Systems -> National Grids -> Finland -> ETRS 1989 GK25FIN.prj

On kuitenkin huomattava, että Emme-tietokantojen (eli ”emmepankkien”) rakenteesta johtuen sentroidien lisääminen olemassa olevien numeroiden väliin voi johtaa odottamattomiin vaikutuksiin matriiseissa. Varsinkin on syytä välttää sitä, että jossakin emmepankissa on erilaisia aluejakoja.

HUOM: HLJ-työn yhteydessä voidaan koodata muutoksia suoraan verkon virallisille solmunumeroille. Tästä on sovittava HSL:n yhteyshenkilöiden kanssa erikseen.

Taulukko 3. Solmunumeroavaruuden jako, sentroidit.

numeroavaruus	selitys	aliavaruudet	selitys ja huomiot
1–30 999	sentroidit, tavalliset (aiemmin 1–38 999)	kunnittain tuhatluvun (1 tai 2 ensimmäisen numeron) perusteella, ks. tarkemmin kohta 6.4 Ennuste- ja sijoittelalueiden numerointi	
31 000–31 999	sentroidit, ulkosyötöt (aiemmin 39 000 -> 39 999)	31 000–31 299 (käytössä 31 000–31 036)	ulkosyötöt, autoväylät
		31 300–31 399 (käytössä 31 300–31 302)	ulkosyötöt, junaradat
		31 400–31 499 (käytössä 31 400)	ulkosyötöt, lentoasema(t)
		31 500–31 599 (käytössä 31 500–31 503)	ulkosyötöt, satamat
		31 600–31 999	tyhjää tilaa vielä tuntemattomien kulkutapojen ulkosyötöille
32 000–34 999	varautuminen mm. liityntäpysäköintialueisiin, muihin pysäköintialueisiin, kauppakeskuksiin, urheilulaitoksiin jne.	32 000–32 999	liityntäpysäköintialueet (varautuminen)
		33 000–34 999	tyhjää tilaa muille pysäköintilaitoksille, kauppakeskuksille ja urheilulaitoksille yms. (varautuminen)
35 000–39 999	”villit sentroidit”	35 000–39 999	tilaa vapaisiin tarkasteluihin, joissa halutaan lisätä sentroideja olemassa olevien sentroidien perään

Version 2.1 liityntäpysäköintimallissa (Rahiala ym. 2017). käytettiin liityntäpysäköintialueita kuvaavia erikoissentroideja, mutta versioon 3.0 niitä ei ole (ainakaan vielä) määritelty.

Taulukko 4. Solmunumeroavaruuden jako, tavalliset solmut (muut kuin sentroidit).

numeroavaruus	selitys	aliavaruudet	selitys ja huomiot
40 000–799 999	solmut, katu- ja tieverkko (sisältää myös erilliset ke- vyen liikenteen yhteydet)	40 000–599 999	Säilytetään katu- ja tiever- kon solmunumerot entisel- lään (40 000 ->), mutta sol- munumeroavaruuden lop- puun on lisätty tilaa.
		600 000–799 999	"villit" solmut
800 000–800 999	metroverkon solmut	800 000–800 499	"HSL:n hankkeiden" solmut
		800 500–800 999	"villit" solmut
801 000–801 999	junaverkon solmut	801 000–801 499	"HSL:n hankkeiden" solmut
		801 500–801 999	"villit" solmut
802 000–819 999	raitiovaunuverkon solmut + pikaraitiotieverkon sol- mut	802 000–805 999	nykyinen ja nykyisenkalta- nen raitiovaunuverkko
		806 000–809 999	"villit" solmut
		810 000–815 999	erillinen pikaraitiotieverkko (tiedossa olevat erilliset hankkeet kuten Raide-Jo- keri(t), Tiederatikka) ³
		816 000–819 999	"villit" solmut

Ulkoisten alueiden syöttöjen ominaisuudet on muokattu vastaamaan uusia verkon ominaisuuksia. Suurimpana muutoksena ulkosyöttöjä kuvaavien sentroidien numerot ovat muuttuneet, mikä on otettava huomioon HELMET-mallia käytettäessä ja muokattaessa. Muuten ulkoisten alueiden syöttölinkkeihin ei tässä työssä ole tehty erityisiä sisällöllisiä tarkistuksia; esimerkiksi syöttölinkkien pituuksia ei ole muutettu.

Verkolle on lisätty omat erikoissentroidit Helsinki-Vantaan lentoasemalle ja Helsingin satamille:

- Lentoasema: i = 30 400
- Katajanokka: i = 30 500
- Eteläsatama: i = 30 501
- Länsisatama: i = 30 502
- Vuosaaren satama: i = 30 503.

4.3.3 Solmujen ominaisuudet

Solmujen attribuuttitietoja käytetään uudella verkolla aiempaa monipuolisemmin kuvaamaan solmun ominaisuuksia ja sijaintia. Solmun "tyyppi" koodataan edelleen solmuattribuuttiin *ui2*, mutta se kuvaa nyt muutakin kuin pysäkkityyppejä, esimerkiksi onko solmu liittymä, pysäkki, muu solmu tai muu verkolle tärkeä tieto (Taulukko 5).

Pysäkkityypit on jatkossa koodattava erityisen huolellisesti, sillä raitiovaunu- ja bussilinjojen pysähtyminen perustuu solmuihin koodattuihin pysäkkityyppeihin (ks. tarkemmin luku 5.5.3).

³ Käytännössä tulee eteen tilanteita, joissa (pika)raitiolinja halutaan koodata ajamaan reittiä, joka sisältää sekä nykyisenkaltaista raitiotieverkkoa että pikaraitiotieverkkoa. Silloin valitaan käytettäväksi jommankumman solmunumerot uusien reittien osalta.

Verkolla käytetyt solmujen ominaisuudet on kuvattu seuraavissa taulukoissa.

Taulukko 5. Solmujen attribuuttitiedot.

attribuutti		selitys
solmuattribuutti	<i>ui1</i>	VAPAA
solmuattribuutti	<i>ui2</i>	solmun tyyppi (ks. Taulukko 6)
solmuattribuutti	<i>ui3</i>	sen kunnan kelakoodi, jossa solmu sijaitsee (ks. Taulukko 7)
solmun extra-attribuutti	<i>@hsl</i>	0/1 sen mukaan sijaitseeko solmu HSL-alueella vai ei (lasketaan attribuutissa <i>ui3</i> olevan kuntatiedon avulla, ks. tarkemmin luku 5.5.3)

*Taulukko 6. Solmutyypit (*ui2*) ja niiden selitykset.*

koodi (<i>ui2</i>)	kuvaus
0	muu solmu
1	raitiovaunupysäkki tai pikaraitiovaunupysäkki
2	bussipysäkki paikallisliikenne (sis. vakiovuorot)
3	bussipysäkki paikallis- ja runkoliikenne
4	bussipysäkki paikallis- ja pikavuoroliikenne
5	bussipysäkki paikallis-, runko- ja pikavuoroliikenne
6	bussipysäkki muu
7	bussipysäkki pikavuoro- ja vally-liikenne
11	bussiterminaali
12	varaus raitiovaunu- tai pikaraitiovaunuterminaalille
13	metroasema (myös asemavaraus)
14	rautatieasema (myös asemavaraus)
20	liittymä (ei pysäkki)
(21–39)	(varalla, jos liittymien tyyppejä tai osia halutaan eritellä tarkemmin)
40	liityntäpysäköinti (sentroidi)
(41–49)	(varalla, jos pysäköintialueiden tyyppejä halutaan eritellä tarkemmin)
50	kauppakeskus (sentroidi)
60	urheilulaitos (sentroidi)
70	satama (sentroidi)
80	lentoasema (sentroidi) (huom. lentomatikustajille)
90	normaali sentroidi (sijoittelualueita vastaavat)
91	ulkosyöttö, autoväylät (sentroidi)
92	ulkosyöttö, junaradat (sentroidi)

Taulukko 7. Mallialueen kuntien kelakoodit (ui3) (vuoden 2016 kuntajako).

kunta	kelakoodi (ui3)	kunta	kelakoodi (ui3)	kunta	kelakoodi (ui3)
Askola	18	Kerava	245	Porvoo	638
Espoo	49	Kirkkonummi	257	Pukkila	616
Hanko	78	Lapinjärvi	407	Raasepori	710
Hausjärvi	86	Lohja	444	Riihimäki	694
Helsinki	91	Loppi	433	Sipoo	753
Hyvinkää	106	Loviisa	434	Siuntio	755
Inkoo	149	Mäntsälä	505	Tuusula	858
Järvenpää	186	Myrskylä	504	Vantaa	92
Karkkila	224	Nurmijärvi	543	Vihti	927
Kauniainen	235	Pornainen	611		

4.4 Kulkutavat ja joukkoliikenteen ajoneuvotyypit

Verkolla käytettyjä kulkutapoja (modes) ja sen seurauksena myös joukkoliikenteen ajoneuvotyyppejä (vehicles) on muutettu aiempaan nähdessä:

- Bussiliikenteessä on erotettu erilaisen pysähtymiskäyttäytymisen linjat: HSL:n alueella runkolinjat tavallisista bussilinjoista ja VALLU-linjoissa pikavuorot tavallisista vuoroista. Näin on tehty, jotta bussilinjojen pysähtymiskäyttäytymistä voidaan automatisoida (ks. tarkemmin luku 5.5.3).
- Vesiliikenteeseen joukkoliikennemuotona ja ajoneuvotyyppinä varauduttiin. Mahdollisuus on otettu käyttöön Suomenlinnan lautan osalta.
- Tavaraliikenteessä on verkolle lisätty kolme erilaista kulkutapaa.
- Pyöräily kulkutapana on lisätty.

Kulikutavoista käytetään pieniä kirjaimia ja aiemmin käytössä olleista isoista kirjaimista on luovuttu. Tämä selkeyttää Emmen käyttöä esimerkiksi linkkivalinnoissa. Käytetyt kulkutavat ja joukkoliikenteen ajoneuvotyypit on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Emmen tietokantarakenne on sellainen, että kullekin joukkoliikennemuodolle (mode) on määriteltävä yksi tai useampi ajoneuvotyyppi. Nyt kaikissa joukkoliikennemuodoissa on vain yksi ajoneuvotyyppi. Jos sijoitteluissa halutaan tehdä kapasiteettitarkasteluja, on ehkä tarpeen määritellä uusia ajoneuvotyyppejä (esim. 51 = yksi Flirt-yksikkö, 52 = kaksi Flirt-yksikköä) ja antaa niille paikkamäärät. Koska kalustotyyppi annetaan linjan otsikkorivillä, sama kalusto on käytössä ko. linjan kaikilla lähdöillä koko aikajakson (AHT, IHT tai PT) ajan. Mahdolliset aikajaksokohtaiset erot voitaisiin lukea kullekin linjalle samaan tapaan kuin vuorovälitkin, mutta tätä ei ole vielä toteutettu.

Taulukko 8. Kulikutapojen (modes) kuvaus.

kulikutapa (mode)	kuvaus	aiempi kulikutapa (jos on tehty muutos)
c	henkilöauto ("car")	
b	HSL:n bussi	
g	HSL:n runkolinja	UUSI
d	muu bussi (kaukoliikenne, VALLU-rekisteristä)	aiemmin B
e	pikavuoro (kaukoliikenne, VALLU-rekisteristä)	UUSI (aiemmin sisältyi B:hen)
m	metro	
r	lähijuna	
j	kaukojuna	aiemmin R, VR:n kaukojuna
t	raitiovaunu	
p	pikaraitiovaunu	aiemmin P
w	vesiliikenne joukkoliikennemuotona ("water")	UUSI
v	pakettiauto ("van")	UUSI
k	kuorma-autot ilman perävaunua	UUSI
y	perävaunulliset kuorma-autot ("yhdistelmä")	UUSI
a	kävely sis. vaihtokävely	
s	syöttökävely, ulkosyöttö (vain konnektoreilla)	aiemmin ulkosyöttö A
f	pyöräily ("fillari") (kadut, erilliset pyörätiet ja syöttölinkit)	UUSI

Taulukko 9. Joukkoliikenteen ajoneuvotyyppit (vehicles), niitä vastaavat kulikutavat ja kuvaus.

ajoneuvotyyppi (vehicle)	kulikutapa (mode)	kuvaus
1	d	vakiovuoro
2	e	pikavuoro
3	b	HSL-bussi
4	m	metro
5	r	lähijuna
6	j	kaukojuna
7	t	raitiovaunu
8	g	HSL-runkobussi
9	w	lautta
10	p	pikaraitiovaunu

4.5 Linkkien ominaisuudet

4.5.1 Yleistä linkkien ominaisuuksista

Linkkien ominaisuuksista on muutettu tässä työssä varsinaisesti vain linkkityyppejä (luku 4.5.2) ja kulkutapoja (luku 4.4). Lisäksi joillakin linkkityypeillä joidenkin ominaisuuksien suositusarvoja on muutettu tilanteissa, joissa arvolla ei ole käytännön merkitystä, mutta linkkien valitseminen Em-messä muuttuu loogisemmaksi. Linkeillä on siis edelleen seuraavat taulukon mukaiset ominaisuudet:

Taulukko 10. Linkkien ominaisuudet.

kenttä		huomioita
linkkityyppi	<i>link type</i>	ks. luku 4.5.2
pituus	<i>length</i>	linkin pituus kilometreinä
kaistamäärä	<i>lanes</i>	bussikaista sisältyy ilmoitettuun kaistamäärään
kulkutavat	<i>modes</i>	ks. luku 4.4
autoliikenteen sijoittelufunktion nro	<i>vdf</i>	muilla kuin autolinkeillä suositellaan $vdf = 0$
<i>ul1</i>	<i>user data 1</i>	• autoverkko: linkin yhden kaistan kapasiteetti • raitiovaunuverkko: aamu-, päivä- ja iltaliikenteen nopeus • juna- ja metroverkko: ei käytössä (0) • kävely- ja pyöräilylinkit: ei käytössä (0)
<i>ul2</i>	<i>user data 2</i>	• autoverkko: linkin vapaa nopeus • raideliikenne: ei käytössä (0) • kävely- ja pyöräilylinkit: ei käytössä (0)
<i>ul3</i>	<i>user data 3</i>	• autoverkko: HELMET 2.1. -mallissa autoliikenteen linkeille sijoitellaan aluksi raskas liikenne, ja tulokset tallennetaan linkkiattribuuttiin <i>ul3</i> (oltava link user datassa eikä extra-attribuutissa, jotta tietoa voidaan käyttää sijoittelufunktioissa) • raideliikenne: ei käytössä (0) • kävely- ja pyöräilylinkit: ei käytössä (0)

4.5.2 Linkkityypit ja väyläluokat

Linkeillä on tämän työn yhteydessä otettu käyttöön entistä monipuolisemmat linkkityypit (*link type*). Esimerkiksi eri joukkoliikennemuodoilla on omat linkkityypit, mikä mm. helpottaa linkkivalintojen tekoa Emme-analyseissä, katso Taulukko 11 sivulla 35.

Katu- ja tieverkon osalta linkkityypeillä kuvataan myös väyläluokkia (ao. taulukon linkkityypit 101–699). Teoriassa tämä tuottaa mahdollisuuden hallita linkkien muita ominaisuuksia linkkityypin kautta (esimerkiksi mahdollisuuden muuttaa kaikkien saman tyyppisten linkkien kapasiteettia kerralla automaattisesti). Käytännössä kuitenkin linkkityypit on tässä työssä lisätty vanhalle verkolle, jonka kaikki linkit eivät kaikilta osin noudata väyläluokkataulukkoa (Taulukko 12 sivulla 36). Syitä siihen, että väyläluokkataulukkoa ei kaikilta osin ole aiemmin noudatettu, on useita, joista tämän työn yhteydessä on tunnistettu seuraavat:

- Alun perin automaattisesti Digiroadista tuotuja linkkejä on verkon luontiprosessissa yhdistetty automaattisesti, mikä on johtanut keskiarvoistettuihin nopeuksiin, joita ei ole taulukossa⁴.
- Lisäksi tieverkon ominaisuuksia on aiemmissa töissä kalibroitu vastaamaan paremmin havaittuja liikennemääriä. Näitä on mahdollisesti dokumentoitu, mutta ei keskitetysti.

Yllä mainituista syistä kaikille katu- ja tieverkon linkeille ei ole saatu tuotettua taulukoiden mukaista linkkityyppiä. Näiden linkkien tyypiksi on koodattu 999. Lisäksi on käytetty linkkityyppejä 299, 399, 499, 599 ja 699 linkeille, joilla on bussikaista tai jotka ovat joukkoliikennekatuja, ja jotka eivät noudata em. taulukkoa. Jatkossa verkolle ei saa koodata lisää linkkejä, joiden tyyppi on 999, vaan taulukoista 11 ja 12 poikkeavien linkkien tyypiksi on koodattava arvo $x9v$, missä x on bussikaistan voimassaolon mukainen sataluku ja v on käytettävän autoliikenteen viivytysfunktion numero $v=1\dots5$ (taikka 100, jos mikään muu ei sovi) ja dokumentoitava, miksi on poikettu määritetyistä linkki- tai väylätyypeistä.

Bussikaista otetaan huomioon sijoittelufunktioissa (Taulukko 12, suluissa olevat sijoittelufunktionumerot), jolloin henkilöautoilta vähennetään yksi kaista bussikaistan voimassaoloaikana. Funktiomakrolla 3 (*f_bussi_M2016_3X.mac*, missä $X=a,i,p$) muutetaan sijoittelufunktion numeroa bussikaistalinkeillä sen perusteella, onko bussikaista voimassa kyseisenä ajanjaksona. Tämä päätellään linkkityyppikoodin arvosta. Bussien nopeus bussikaistalla määritetään kuten ennenkin⁵ eli vapaan nopeuden ja bussien viiveparametrien perusteella, mihin tässä työssä ei ole tehty muutoksia.

Bussien nopeus bussikaduilla ja -rampeilla (linkkityypit 6NN), joilla ei ole henkilöautoliikenteen nopeutta, määräytyy kuten bussikaistallisilla linkeillä. Eli ne on tavallaan koodattu kuten aina voimassa olevat bussikaistat, ja funktiomakrot käsittelevät niitä sellaisina.

Viivytysfunktioista kerrotaan tarkemmin kohdissa 7.2.6 (autoliikenne) ja 7.5.2 (joukkoliikenne).

⁴ Nämä linkit ovat löydettävissä ja käsin korjattavissa, mutta linkkejä on niin paljon, että korjaustyötä ei ole tehty tämän työn yhteydessä. Ongelma koskee lähinnä ympäryskuntien haja-asutusalueen tieverkkoa. Helmet 3.1:ssä tämä on korjattu mm. ottamalla käyttöön tyypit $x9v$ eikä tyyppiä 100 tai 999 pitäisi enää olla.

⁵ ks. tarkemmin 7.5.2.

Taulukko 11. Linkkityypit.

linkkityyppi (link type)	selitys
1	poistunut käytöstä (oli käytössä vanhalla verkolla, ei saa koodata)
2	raitiovaunu
3	metro
4	junat
5	pikaraitiovaunu
6	raitiovaunuhybridi (varaus)
70	kävely ja pyöräily sis. vaihtokävely (pois lukien syötöt eli kumpikaan pää ei ole sentroidi, moottoriajoneuvoliikenne ei ole sallittua)
syöttölinkit erikoissentroideihin (84–86 vielä varauksia)	
84	liityntäpysäköinti (vain konnektoreita liipys-solmuihin)
85	kauppakeskus (vain konnektoreita kauppakeskus-sentroideihin)
86	urheilulaitos (vain konnektoreita urheilulaitos-sentroideihin)
87	satama (vain konnektoreita satama-sentroideihin)
88	lentoasema (vain konnektoreita lentoasema-sentroideihin)
syöttölinkit tavallisiin sentroideihin ja ulkosyöttöihin	
98	ulkosyöttölinkki
99	syöttölinkki
100	muu linkki (ei mikään muista mainituista; ominaisuudet poikkeavat tavanomaisista, perusteltava miksi poikkeaa)
katu- ja tieverkon linkit (pl. vain kevyen liikenteen käytössä olevat linkit), ks. seuraava taulukko	
121–142	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit, ei bussikaistaa
221–242	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit, bussikaista vain ruuhka-ai-koina
321–342	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit, bussikaista koko päivän
421–442	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit, bussikaista vain aamuruuh-kassa (varaus)
521–542	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit, bussikaista vain iltaruuhkassa (varaus)
621–642	joukkoliikenneväylä busseille (henkilöautoilu kielletty) (bussikadut, bussirampit yms.)
x9v–x9v (esim. 191–195, 199)	linkit ja bussikadut, joilla on taulukosta poikkeavat <i>u1</i> - ja <i>u2</i> -arvot verkolla (x = sataluku kuten edellä). Helmet 3.0:ssa v=9 ja <i>vdf</i> kuten linkille on koodattu. Helmet 3.1 käytetään viivytysfunktiota v=1–5.
999	vanhan verkon ”poikkeava linkki”, jonka dokumentaatio puuttuu (tätä linkkityyppiä ei saa koodata lisää; ks. linkkityyppi 100)

Taulukko 12. Sijoittelufunktioiden jako väylätyyppeihin.

Väyläluokka	Tarkennus	funktion parametrit				Linkkityyppi (link type)				
		Sijoi- telu- funk- tio ⁶	No- peus- rajoi- tus	Vapaa nopeus (km/h, u/2)	Ka- pasi- teetti (S, u/1)	Linkki- tyyppi, ei bussi- kaistaa	Linkki- tyyppi, bussi- kaista ruuhka- aikana	Linkki- tyyppi, bussi- kaista koko päi- vän	Varauk- set: 401–414, 501–514 ⁷	Linkki- tyyppi, bussi- väylä
21	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	2100 ⁸	121	221	321	4/521 621
22		moottoritie, kaistoja=>3		120	113	1700 (*)	122	222	322	4/522 622
23		moottoritie		100	97	2000	123	223	323	4/523 623
24		moottoritie, kaistoja=>3		100	97	1700 (*)	124	224	324	4/524 624
25		moottoritie		80	81	2000	125	225	325	4/525 625
26		moottoritie, kaistoja=>3		80	81	1700 (*)	126	226	326	4/526 626
27	Maantiet / Use- ampikaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie, 2 kaistaa	fd2 (fd7)	100	97	1900	127	227	327	4/527 627
28		maantie, kaistoja=>3		100	97	1700 (*)	128	228	328	4/528 628
29		maantie, 2 kaistaa		80	81	1850	129	229	329	4/529 629
30		maantie, kaistoja=>3		80	81	1700 (*)	130	230	330	4/530 630
31		maantie, 2 kaistaa		70	73	1600	131	231	331	4/531 631
32		maantie, 2 kaistaa		60	54 **)	1600	132	232	332	4/532 632
33	Useampikais- taiset pääkadut tasoliittymän valoilla	usea kaista, valot	fd3 (fd8)	70	61	1450	133	233	333	4/533 633
34		usea kaista, valot		60	54	1250	134	234	334	4/534 634
35	Pääkadut	esik.pääk, ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1150	135	235	335	4/535 635
36		esik.pääk, valot/ kesk.ei valoja		50	44	1000	136	236	336	4/536 636
37		esik. pääkatu, valot tai keskusta, ei valoja		40	41	1000	137	237	337	4/537 637
38	Kokooja-/tont- tikadut	kesk.pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	900	138	238	338	4/538 638
39		kesk.kokooja		40	36	750	139	239	339	4/539 639
40		keskusta, hidas pääkatu		40	36	900	140	240	340	4/540 640
41		pienet tonttikadut		30	30	600	141	241	341	4/541 641
42		keskusta, pienet kadut		30	23	500	142	242	342	4/542 642

*) Helmet 3.1:ssä linkin kapasiteettia kasvatettu arvoon 1800 ajon/h (paitsi linkkityypillä x22 arvoon 1900 ajon/h), jos autoliikenteen käytössä on vähintään kolme kaistaa ko. aikajakson aikana.

**) Helmet 3.1:ssä linkin vapaata nopeutta kasvatettu arvoon 63 km/h.

⁶ Suluissa oleva numero tarkoittaa bussikaistallisten linkkien ja bussikatuja sijoittelufunktiota

⁷ 421–442: bussikaista vain aamuruuhkassa, 521–542: bussikaista vain iltaruuhkassa

⁸ Alun perin 2200, mutta verkolla on käytetty johdonmukaisesti kapasiteettia 2100, Trafixin mukaan siksi, että 2200 on epärealistisen suuri kapasiteetti normaaleissa olosuhteissa, ja tekee moottoriteistä liian houkuttelevia vaihtoehtoja.

4.5.3 Yleisimmät linkkityyppi- ja kulkutapayhdistelmät

Edellisten kohtien perusteella päästään seuraavassa taulukossa esitettyihin yleisimpiin linkkityyppi- ja kulkutapayhdistelmiin. Nämä kattavat suurimmat osan verkon linkeistä, mutta tarvittaessa yhdistelmiä voi olla muitakin. Muilla kuin autolinkeillä noudatetaan yleisesti periaatetta $vdf = 0$, $ul1 = 0$, $ul2 = 0$, $ul3 = 0$, ellei näillä ole jotain erikoismerkitystä (kuten $ul1$ raitiovaunuilla).

Kävely ja pyöräily on lähtökohtaisesti sallittua autolinkeillä ja kiellettyä raideliikenteen linkeillä. Raitiovaunu- ja pikaraitiovaunulinkeille voi koodata kävelyn/pyöräilyn ("taf", "paf", "tpaf") jos ei ole rinnakkaista ajoneuvolinkkiä, jolle kävelyn voisi koodata. Metro- ja junaradoilla kävelyä/pyöräilyä ei kuitenkaan voi sallia (eli "maf", "rjaf" eivät ole sallittuja). Autolinkkejä, joilla kävely ja pyöräily eivät ole sallittuja, voi koodata poikkeustapauksissa, kuten tunnelit (esiintyy esimerkiksi Kampin terminaalissa).

Taulukko 13. Yleisimmät linkkityyppi- ja kulkutapayhdistelmät.

linkki- tyyppi	määritelmä	kulkutapa (mode)	vdf	ul1	ul2	ul3
1	poistuu (ei pitäisi olla verkolla eikä saa koodata)					
2	raitiovaunu	t, taf (myös ta)	0	nopeus ahptih	VAPAA (0)	VAPAA (0)
3	metro	m	0	VAPAA (0)	VAPAA (0)	VAPAA (0)
4	junat	rj	0	VAPAA (0)	VAPAA (0)	VAPAA (0)
5	pikaraitio- vaunu	p, paf (myös pa)	0	nopeus ahptih	VAPAA (0)	VAPAA (0)
6	raitiovaunu- hybridi (va- raus)	tp, tpaf, (myös tpa)	0	nopeus ahptih	VAPAA (0)	VAPAA (0)
70	kävely ja pyö- räily, sis. vaihtokävely	af, a	0 **)	VAPAA (0)	VAPAA (0)	VAPAA (0)
8y	erikoissyöttö- linkit	kuten syöttölinkit				
98	ulkosyöttö- linkki	cvkyasf	99	1000	100	raskaat si- joittelusta*
		asf	99	VAPAA (0)	VAPAA (0)	VAPAA (0)
99	syöttölinkki	cvkyaf	99	1000	100	raskaat si- joittelusta*
		af	99	VAPAA (0)	VAPAA (0)	VAPAA (0)
100	muu linkki (ei mikään muista mainituista; ominaisuudet poikkeavat ta- vanomaisista, perusteltava miksi poikkeaa)					0 / raskaat sijoittelusta*
xNN (x=1...5)	jalankulku, pyöräily, kaikki autot, bussit	cvkybgdeaf (myös cvkybgde, cvkbgdeaf, cvkyaf)	edellä olevasta taulukosta väylä- luokan (NN=21...42) perusteella			raskaat si- joittelusta*

linkki- tyyppi	määritelmä	kulkutapa (mode)	vdf	ul1	ul2	ul3
6NN	jl-väylä busseille	bgdeaf (myös bgde)	edellä olevasta taulukosta linkki- tyypin perusteella			raskaat si- joittelusta*
199, 299, 399, 499, 599, 699	vastaavasti kuin xNN (x=1...6)		ul1- ja ul2-arvot poikkeavat edellä olevasta taulukosta, ei koodata uusia (Helmet 3.0)			0 / raskaat sijoittelusta*
x9v (esim. 191–195)	vastaavasti kuin xNN (x=1...6)		käytetään viivytysfunktioita v=1...5, mutta ul1- ja ul2-arvot poikkeavat edellä olevasta taulu- kosta (Helmet 3.1)			0 / raskaat sijoittelusta
999	yleisimmin vastaavasti kuin xNN (x=1)		ominaisuudet poikkeavat tavan- omaisista vanhalla verkolla; ei saa koodata enää tällaisia link- kejä, vaan ne koodataan tyyppille x99 tai 100 (Helmet 3.0) taikka x9v (Helmet 3.1)			0 / raskaat sijoittelusta*

*) HELMET 2.1:ssä autoliikenteen linkeille sijoitellaan aluksi raskas liikenne, ja tulokset tallennetaan linkkiatt-
ribuuttiin ul3 (oltava link user datassa eikä extra-attribuutissa, jotta tietoa voidaan käyttää sijoittelufunkti-
oissa).

**) Helmet 3.1:ssä pyöräilyskenaarion 19 pyörälinkkeillä vdf=70...78.

4.5.4 Syöttölinkit

Tämä kohta on muokattu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta kohdasta.

Syöttölinkeillä eli konnektoreilla kuvataan alueen kaikkia yhteyksiä katuverkolle tai joukkoliikennejärjes-
telmään. Lyhyimpien syöttölinkkien pituus on vain 10 metriä ja pisimpien 13,4 kilometriä. Jotta alueelta
toiselle pääsisi autolla, on syöttölinkillä sallittava autokulkutapa c. Joukkoliikennematkat taas tarvitse-
vat kulkutavalla a kuvattuja jalankulkuyhteyksiä alueiden ja pysäkkien välillä. Joillakin syöttölinkeillä on
sallittu sekä autoilu että jalankulku. Sentroideja on yhteensä 1962 (joista 1918 sijoittelualueita, 39 ulko-
syöttöä ja 5 muuta sentroidia), mutta osa niistä on kytketty moneen verkon pisteeseen, joten syöttö-
linkejä on yli 5000. Tilastoja on seuraavassa taulukossa, jonka luvuista voidaan päätellä, että kukin
alue on kytketty tie- ja katuverkolle vain yhdellä autolinkillä, mutta jalankulkulinkejä pysäkeille voi olla
useita.

Taulukko 14. Syöttölinkkien kulkutavat.

alue	vain autot (cvky)	vain jalankulku (a) ja pyöräily (f)	sekä autot (cvky) että jk+pp (af)	yhteensä
nykytila 2016	0	3057	1962	5019
nykytila 2017	0	3057	1962	5019
2030 v0	0	3057	1962	5019

4.5.5 Jalankulku ja pyöräily

Tämä kohta on muokattu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta kohdasta.

Kevyen liikenteen verkkojen kuvaukset muodostettiin seuraavilla periaatteilla jo HELMET-versiossa 1.0. Sen jälkeen niihin on tullut muutoksia lähinnä vain auto- ja joukkoliikenteen kuvausten sivutuotteena.

Lähes kaikilla tavallisilla linkeillä, joilla on sallittu henkilöautoilu, on sallittu myös jalankulku. Jalankulkuverkkoa on laajennettu erityisesti asemien ja terminaalien seuduilla sekä Helsingin keskustassa. Jalankulku-linkkejä on lisätty myös joihinkin erityiskohteisiin, jos on huomattu yhteyspuutteita (katso muistio Holm, Keränen & Blummè 2009).

Toisin kuin YTV:n liikennejärjestelmämalleissa (YTV 2003), HELMET-malleissa ei alun perin muodostettu erillistä jalankulku- ja pyöräilyverkon kuvausta. Jalankulku (kulkutapa a) kumpaankin suuntaan on sallittu lähes kaikilla autolinkeillä. Perusteena oli muun muassa, että vaikka esimerkiksi moottoritieellä ei saakaan kävellä, sen vieressä kuitenkin useimmiten kulkee erillinen jalankulku- ja pyöräilyväylä. Paikallisesti tästä tulee joissakin tapauksissa (esimerkiksi Turunväylän itäpäässä) epätarkkuutta, joka jatkossa kannattaisi korjata.

Jalankulkuverkkoa laajennettiin silti erityisesti asemien ja terminaalien seuduilla sekä Helsingin keskustassa. Jalankulku-linkkejä on lisätty myös joihinkin erityiskohteisiin, jos on huomattu yhteyspuutteita. Lisäksi joukkoliikennejärjestelmän kuvauksessa on alueiden, pysäkkien ja asemien välillä syöttö- tai vaihtokävelylinkkejä.

Vasta versiossa 3.0 pyöräily on määritelty kysyntämalliin erillisenä kulkutapanaan ja on tehty myös yksinkertainen pyöräilyverkon kuvaus, jonka tarkentaminen on aloitettu. Tarkoitus kuitenkin on, että jatkossakin on vain yksi d211-verkkotiedosto, jossa on määritelty kaikkien kulkutapojen linkit.

Versiossa 3.1 määriteltiin pyörätieluokat ja niitä vastaavat viivytysfunktiot, joilla kuvataan ajamisen miellyttävyyttä koetun keskinopeuden kautta. Tietoja käytetään vain loppusijoittelussa.

Taulukko 15. Pyörätieluokat ja viivytysfunktiot Helmet 3.1:ssä.

	vdf	Pyörätieluokka	Linkkityypit	Miellyttävyys ”km/h”
Baana	70	4		19
Erillinen pyörätie	71	3		17
Pyörätie kadun varressa, maantie	72	2	27-32	17
Pyörätie kadun varressa, pääkatu	73	2	33-37	16
Pyörätie kadun varressa, pieni katu	74	2	38-42	15
Pyöräkaista	75	1		15
Sekaliikenne, maantie	76	0	27-32	12
Sekaliikenne, pääkatu	77	0	33-40	10
Sekaliikenne, pieni katu	78	0	41-42	12

4.5.6 Linkkien ominaisuuksia

Tämä kohta on muokattu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta kohdasta.

Lyhyimpien tavallisten linkkien pituus on alle 10 metriä ja pisimpien 46,3 kilometriä.

Bussikaistan tyyppitieto otetaan huomioon viivytysfunktioissa, jolloin henkilöautoilta vähennetään yksi kaista bussikaistan voimassaoloaikana. Bussien nopeus bussikaistalla määritetään vapaan nopeuden perusteella eikä se ole riippuvainen henkilöautojen määrästä (katso 7.5.2).

Taulukko 16. Linkkien kaistamäärät autoverkolla (mod=c).

kaistoja	linkkejä 2016
1,0	28 381
2,0	4702
3,0	732
4,0	76
yhteensä	33 891

Taulukko 17. Tie- ja katuverkon (mod=cb) linkkityypit.

tyyppi	selitys	linkkejä 2016
101–199	tavallinen linkki, ei bussikaistaa	27 174
201–299	bussikaista aamu- ja iltaruuhkassa	46
301–399	ympäri vuorokautinen bussikaista	540
401–499	bussikaista vain aamuruuhkassa	3
601–699	bussikatu tai –ramppi, henkilöautoilu kielletty	345
87, 88	sataman tai lentoaseman syöttö	10
98	ulkosyöttölinkki	74
99	syöttölinkki	3840
100, 999	muu autolinkki	2215
yhteensä		34 247

4.6 Joukkoliikenteen liikennejärjestelmämallin periaate

Tämä kohta on muokattu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta kohdasta.

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.

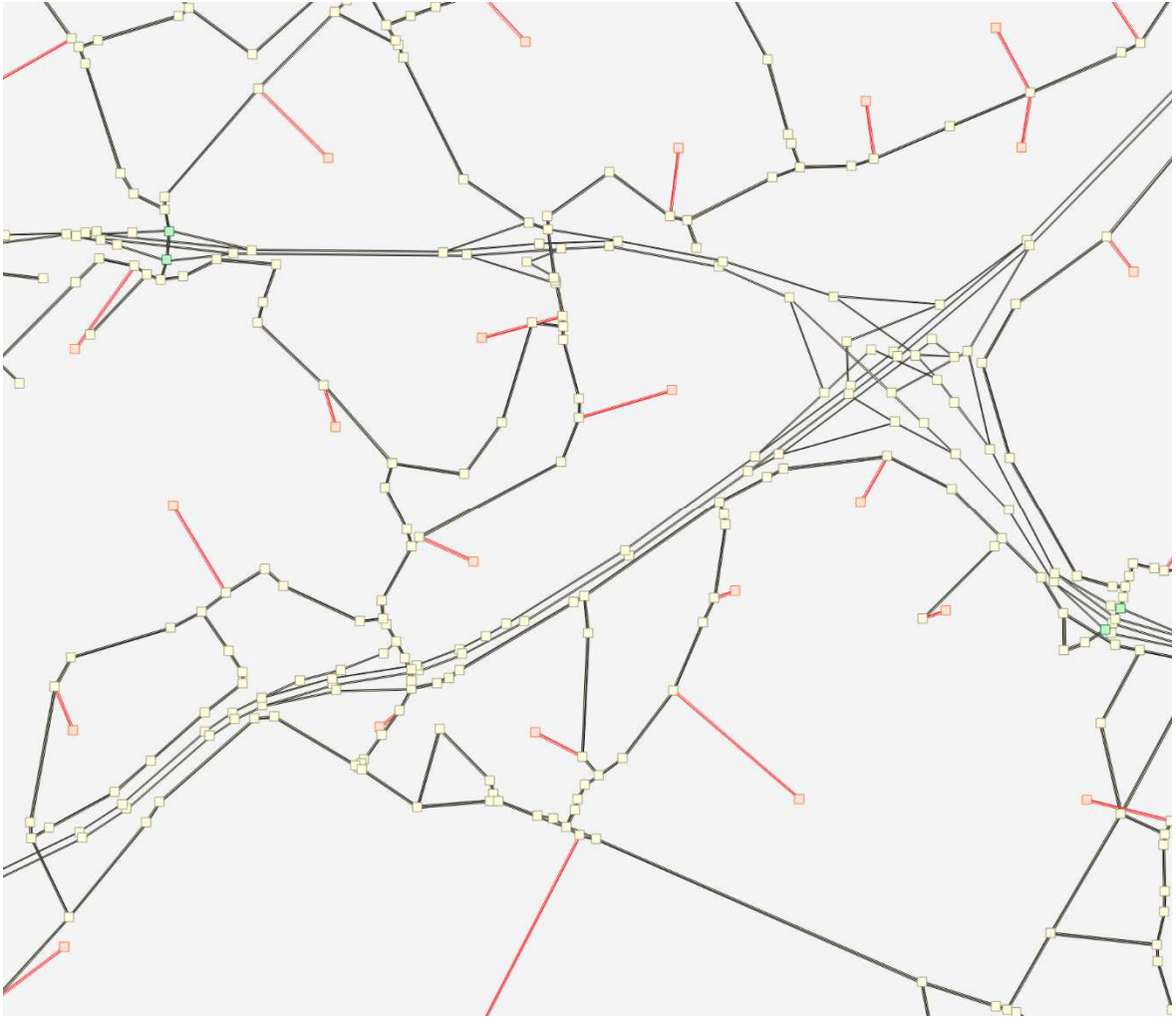
Toisin kuin pääkaupunkiseudun aiemmissa liikennejärjestelmämalleissa (YTV 2003), kumpikin ajosuunta on kuvattu erikseen, mikä on myös INRON nykyinen suositus. Niinpä erot ajosuuntien vuoroväleissa on voitu ottaa paremmin huomioon. Kuten kohdassa 4.2 kerrotaan, kaikille aikajaksoille (aamu-, iltaja päiväliikenne) on sama linjastotiedosto ja aikajaksojen erot otetaan huomioon vuoroväleissa.

Pääkaupunkiseudun sekä Hyvinkään, Järvenpään ja Riihimäen sisäisille bussi- ja raitiovaunulinjoille on otsikkorivillä 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 linjan ja kulkutavan oletusnopeudet eivät sijoittelussa tule käyttöön. Joukkoliikenteen viivytysfunktioista on tarkempi selostus kohdassa 7.5.2.

4.7 Muita koodausperiaatteita

Muita koodausperiaatteita on seuraavassa. Niitä on tarvittaessa käsitelty tarkemmin luvussa 5, jossa kerrotaan työssä Rantala ym. 2017 verkkoon tehdyistä muokkauksista.

- **Kaksiajorataiset tiet ja kadut** kuvataan verkossa siten, että kummankin ajoradan linkeillä käytetään samoja solmupareja (eli A:sta B:hen ja B:stä A:han, muutos aiempaan käyttöön esiselvityksen mukaisesti). Poikkeuksen tähän muodostavat moottoritiet, kehätiet ja muut moottoritiemäiset (esim. eritasoliittymien varustetut väylät. (Ks. tarkemmin luku 5.3.)
- **Eritasoliittymien ja moottoritiemäisten väylien** kuvaus on esiselvityksen suosituksen mukaisesti säilytetty entisenlaisena, eli tässä työssä niihin ei ole tehty muutoksia. Ajoradat kuvataan erillisinä, ja esiselvityksen mukaisesti: "Tavoitteena on ylläpitää kuvausta, joka vastaa mahdollisimman hyvin fyysistä todellisuutta tai eritasoliittymistä laadittuja suunnitelmia. Liittymät, joista suunnitelmia ei ole tehty, voidaan kuvata yksinkertaistettuina (esimerkiksi ns. salmiakkikuvaus)."
- **Kiertoliittymät** kuvataan yhdellä solmulla. Poikkeuksen muodostavat moottoritiemäiset, eri tasossa olevat kiertoliittymät, jotka voidaan tarvittaessa kuvata useammalla solmulla. (ks. tarkemmin luku 5.3)
- **Kääntymiskielloilla** autoilta on estetty moottoriteiden poistumisrampilta suoraan liittymisrampille ja takaisin moottoritielle ajaminen (katkoviivat Kuva 4). Tämä ei kuitenkaan estä bussilinjojen koodaamista suoraan rampeja pitkin (punainen viiva samassa kuvassa) niin, että ne pääsevät usein rampeilla sijaiseville pysäkeille.
- **Bussipysäkkien** koodausperiaatteita ja bussi- ja raitioliikenteen pysähtymiset automaattisesti tuottavaa pysähtymistietomakroa on kuvattu luvussa 5.5.
- **Raideliikenteen** verkkojen koodausperiaatteita on kuvattu luvussa 5.6



Kuva 3. Esimerkki liittymien koodaustavasta. Oikealla Kivikon eritasoliittymä, syöttölinkit punaisella.

5 Verkon muokkauksen työvaiheet

Tämä luku perustuu pitkälti muistoon Rantala ym. 2017, mutta joitakin täydennyksiä on tehty.

5.1 Verkkojen muodostamisen periaatteet ja makrottaminen

Verkot on tässä työssä rakennettu niin, että solmut ovat samat kaikissa eri vuosikymmenten verkkokuvauksissa. Verkolla ovat kuitenkin vain ko. vuoden hankkeiden linkit. Käytännössä siis verkoissa on "ylimääräisiä" solmuja, joista ei lähde yhtään linkkiä.

Työn pohjana ovat toimineet nykyverkon lisäksi HLJ2015-kierroksen vuosien 2025, 2040 ja 2050 verkot. Käytännössä nykytilanteen verkkoon tuotiin työn alussa vuoden 2050 verkolta sellaiset solmut, joita nykytilanteen verkossa ei ollut. Samalla jouduttiin käymään läpi tuodut solmut ja osin hankkeet, joihin ne liittyivät, jotta solmut saatiin valmiiksi "oikeille" paikoille, esimerkiksi keskelle nykyverkon linkkiä. Tällaisissa tilanteissa solmu saatiin usein myös tulevaisuuden joukkoliikenteen kannalta "oikeaan" paikkaan, jolloin joukkoliikennelinjat kuvautuvat verkolle oikein myös sen hankkeen lisäämisen jälkeen, johon solmu liittyy (esim. uudet tasoliittymät, joissa lisätään uusi solmu keskelle vanhaa linkkiä). Sen sijaan eritasoliittymiä lisättäessä verkko muuttuu usein niin paljon (ja vanhoja yhteyksiä voi poistua kokonaan), että niissä ei solmuja aina saatu valmiiksi sellaiseen paikkaan, että joukkoliikennelinjat kuvautuisivat sellaisenaan verkolle, johon eritasoliittymä on kuvattu.

Myöhemmin työn aikana tulevaisuuden hankkeita koodatessa solmuja hieman lisättiin ja poistettiin nykyverkosta tarpeen mukaan. Aivan työn loppuvaiheessa taas poistettiin sellaiset solmut, joista ei lähtenyt yhtään linkkiä minkään vuoden verkolla.

Tulevien vuosien verkot muodostettiin niin, että kaikki hankkeet koodattiin "hankemakroiksi", ja tulevaisuusverkot muodostettiin lopuksi nykyverkosta ajamalla siihen kullekin vuodelle tarpeelliset hankemakrot. Koodatut hankkeet olivat HLJ2015:n hankkeet sekä muutama muu hanke, jotka on dokumentoitu yhdessä hankemakrojen kanssa Exceliin *Tulevaisuusverkot.xlsx*.

Hankemakroja käytettäessä on huomattava, että makroilla muodostetaan verkkotiedostot ainoastaan solmujen, linkkien ja kääntymiskiellojen osalta. Hankemakrot on koodattu ja on siis myös ajettava verkoille, joilla ei ole joukkoliikennelinjastoja. Joukkoliikennelinjastot on muokattava erikseen käsin niiltä osin kuin ne eivät "sovi" hankemakroilla muokatulle verkolle. Tulevien vuosien joukkoliikennelinjastot eivät ole sisältyneet tähän työhön, vaan ne on koodattu HSL:ssä tässä työssä toteutuille verkoille.

Joukkoliikennelinjastojen käsitteleminen samoilla hankemakroilla muun verkkokuvauksen (solmut, linkit ja kääntymiskiellot) kanssa on todettu käytännössä mahdottomaksi. Ainakin kirjoitushetkellä Emmen makroihin tallentuvat kyllä myös joukkoliikennelinjojen muutokset, kun linkkejä ja solmuja muutetaan, mutta Emmen logiikkana on poistaa linja ja lisätä verkolle muokattu linja. Tällöin makron käyttö voi tuottaa yllättäviä tuloksia, jos joukkoliikennelinjastoa on välissä muokattu muista syistä. Lisäksi useasta hankkeesta koostuvia suurempia kokonaisuuksia verkkoon viettäessä eivät joukkoliikenteen muutokset välttämättä ole tiedossa siinä vaiheessa, kun katuverkkoa muokataan.

Toki riski siitä, että hankemakrot eivät enää toimi halutulla tavalla, kun verkkoa on välissä muokattu, koskee myös nyt koodattuja hankemakroja, vaikka niihin ei joukkoliikennelinjoja sisällykään. Siksi hankemakrot vaativat ylläpitoa, jos niiden halutaan jatkossakin toimivan.

Jos jatkossa (esim. MAL2019-kierros) halutaan pitää kiinni samasta ”yhtenäisten solmujen” periaatteesta, on uudet hankkeet koodattava niin, että ensin luodaan tarvittavat solmut. Sitten hankkeet koodataan (ja makrot tallennetaan) niin, että niissä käsitellään vain linkkejä ja solmujen ominaisuuksia, eikä tehdä solmujen lisäyksiä tai poistoja. Tällöin siis kaikkien vuosien verkkoja on aina muokattava samalla kertaa solmujen lisäysten ja poistojen osalta, tai vaihtoehtoisesti ylläpidettävä hankemakroja niin, että tulevaisuusverkot voidaan muodostaa nykyverkosta hankemakrot ajamalla.

5.2 Nykyverkolle täydennetyt hankkeet

Työn aluksi nykyverkkoon 2012 täydennettiin edellisen päivityksen jälkeen valmistuneita suurimpia hankkeita, jotta autoliikenteen verkko kuvaisi tilannetta **syksyllä 2016**:

- Kehä III 2. vaihe: ajoittui vuosille 2013–2016 ja piti sisällään parantamistoimenpiteitä välillä Lentoasemantie–Porvoonväylä
- Kehä I Leppävaarassa: joitakin tarkistuksia verkolle jo koodattuun hankkeeseen
- Turveradantie Espoossa Mankkaanlaaksontieltä Nuijalantielle
- Turvesolmun eritasoliittymä Turunväylälle (edelliseen liittyen, Espoossa Turveradantien pohjoispäässä)
- Kehä I Kivikontie: Kivikontien tasoliittymän korvaaminen eritasoliittymällä; tehty joitakin tarkistuksia verkolle jo koodattuun hankkeeseen
- Länsimetron liityntäyhteydet: Vuosina 2014–2016 Länsiväylällä parantamistoimenpiteitä Espoonlahden ja Matinkylän välillä; Gräsanlaaksontien ja Länsiväylän eteläisten ramppien liittymästä kiertoliittymä
- Mt 148 parantaminen Keravan kohdalla
- Vt 3, Arolammin eritasoliittymä, Riihimäki
- Västersundomin eritasoliittymä (myös silmukkaramppi Helsingin suunnasta vt7:ltä Kehä III:lle länteen).

Lisäksi verkolla epäloogisuuksia havaittaessa tehtiin pienempiä korjauksia, mm.

- Kt 51:n muuttaminen kaksiajorataiseksi välillä Kivenlahti-Kirkkonummi, joka vielä vuonna 2012 oli rakenteilla, mutta on nykyään moottoritie
- Vihdintien nopeusrajoituksen laskeminen 70 km/h -> 60 km/h Pitäjänmäentie ja Kehä III:n välisellä osuudella (tehty 2013).

5.3 Kaksiajorataisten katujen kuvaus ja kiertoliittymät

Kaksiajorataiset tiet ja kadut kuvataan verkossa jatkossa siten, että kummankin ajoradan linkeillä käytetään samoja solmupareja (muutos aiempaan käytäntöön esiselvityksen mukaisesti). Poikkeuksen tähän muodostavat moottoritiet, kehätiet ja muut moottoritiemäiset (esim. eritasoliittymän varustetut) väylät.

Kiertoliittymät kuvataan yhdellä solmulla. Poikkeuksen muodostavat moottoritiemäiset, eri tasossa olevat kiertoliittymät, jotka voidaan tarvittaessa kuvata useammalla solmulla.

Tässä työssä on muutettu aiemmin kahdella erillisellä linkillä kuvatut kaksiajorataiset väylät yhdellä linkillä (solmuparilla) kuvatuiksi, em. poikkeuksia lukuun ottamatta. Samalla havaitut kiertoliittymät on muutettu yhdellä solmulla kuvatuiksi. Kiertoliittymiä ei ole nyt merkitty verkolle omalla solmutyyppillään, mutta tässä työssä korjattujen kiertoliittymäsolmujen numerot on otettu talteen tiedostoon *Kiertoliittymät.xlsx*.

Kaksiajorataisten katujen ja teiden kuvauksessa on huomioitu myös eri vuosien verkkojen yhtenäisyys. On työlästä ja bussilinjojen kannalta ongelmallista muuttaa kuvausta yhden linkin kuvauksesta kahden linkin kuvaukseksi tai päinvastoin etenkin hankkeissa, joiden toteutumisesta ei ole varmuutta. Siksi nyt on päädytty kuvaamaan kahdella linkillä sellaiset kohteet, jotka (tämänhetkissä) tulevaisuusverkoissa muuttuvat moottoritiemäisemmiksi, käytännössä Vihdintie, Kehä II ja Kehä III välillä Muurla–Mankki. Sen sijaan Tuusulanväylä Vanhasta Tuusulantiestä pohjoiseen on jätetty yhdellä linkillä kuvatuksi⁹. Tämän ratkaisun ei kuitenkaan tarvitse olla lopullinen, sillä jos Vihdintien suunnittelua aletaan viedä kaupunkibulevardin suuntaan (niin kuin näyttää), niin sen olisi ehkä parempi olla yhdellä linkillä kuvattu.

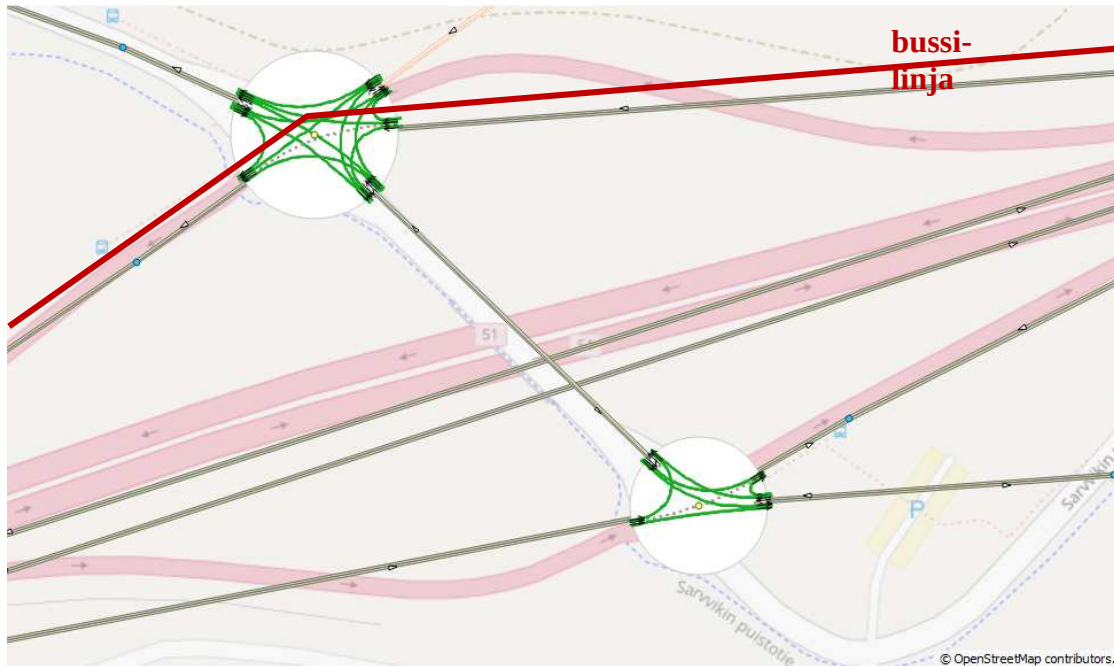
Seuraavat väylät on siis nyt muodostetussa verkossa kuvattu kaksiajorataisina:

- Sisääntulotiet / moottoritiet
 - o Länsiväylä (kt51) Kirkkonummelta Ruoholahteen (Purokummuntie–Porkkalankatu)
 - o Turunväylä (vt1) verkon ulkoreunalla Huopalahdentielle
 - o Vihdintie (mt 120) Kehä III:lta Vihdintien ympyrään (Pitäjänmäen ympyrään) – (Tiilipojanlenkki–Pitäjänmäentie)
 - o Hämeenlinnanväylä (vt3) verkon ulkoreunalla Hakamäentielle
 - o Tuusulanväylä (kt45) Tuusulasta (Vanhan Tuusulantien liittymästä) Pohjolankadulle
 - o Lahdenväylä (vt4) verkon ulkoreunalla Koskelantielle
 - o Porvoonväylä (vt7) verkon ulkoreunalla Lahdenväylälle
 - o Itäväylä Itäkeskuksesta Kehä I:n liittymästä Kalasatamaan.
- Kehätiet
 - o Kehä I koko matkan Länsiväylältä (Karhusaarensolmusta) Itäkeskukseen (Itäväylän liittymään)
 - o Kehä II koko matkan Länsiväylältä (Matinsolmusta) Turuntielle (maantie 110)
 - o Kehä III Mankinsolmusta (Kauklahdenväylältä) Vuosaaren satamaan.
- Moottoritiemäiset väylät
 - o Lentoasemantie Kehä III:lta pohjoiseen (Virkatie – Helsinki-Vantaan lentoasema), koska sen kaikki liittymät tuolla välillä ovat eritasoliittymiä.
- Esimerkki useammalla solmulla koodatusta moottoritiemäisestä kiertoliittymästä (voi olla muitakin):
 - o Lentoasemantien, Virkatien ja Äyritien liittymä Vantaalla.

⁹ Käytännössä siis 1) Vihdintie on jätetty kahdella linkillä kuvatuksi, vaikka se ei ole kehätie eikä moottoritiemäinen, 2) Kehä II on muutettu kahdella linkillä kuvatuksi myös välillä Karapellontie-Turuntie, vaikka siinä on nykyään vain yksi ajorata, ja 3) Kehä III on muutettu kahdella linkillä kuvatuksi myös välillä Muurla–Mankki, vaikka siinä on nykyään vain yksi ajorata.

5.4 Kääntymiskiellot

Verkon kääntymiskielloja on käyty läpi ja tarvittaessa korjattu kaksiajorataisten katujen yhdellä linkillä kuvaamisen yhteydessä, sekä moottori- ja kehäteillä. Moottoriteillä on kääntymiskiellolla estetty, että autot ajaisivat poistumisrampilta suoraan liittymisrampille ja takaisin moottoritielle (katkoviivat seuraavassa kuvassa) siellä missä sitä ei ollut vielä estetty (vaikutusta tällä on lähinnä pahiten ruuhkautuvilla verkko-osilla). Tämä ei kuitenkaan estä bussilinjojen koodaamista suoraan rampeja pitkin (punainen viiva kuvassa) niin, että ne pääsevät usein rampeilla sijaiseville pysäkeille.



Kuva 4. Moottoritien ramppien hyödyntäminen suoraan ajamiseen.

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

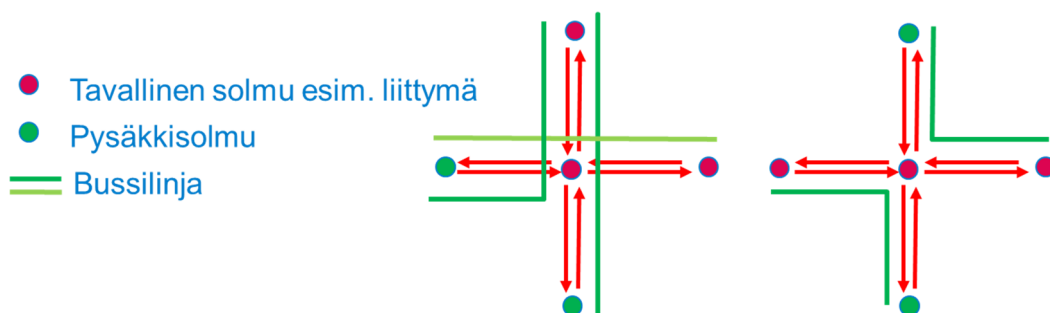
5.5 Bussipysäkkien ja muun bussi-infran kuvaus

5.5.1 Bussipysäkkien koodausperiaatteet

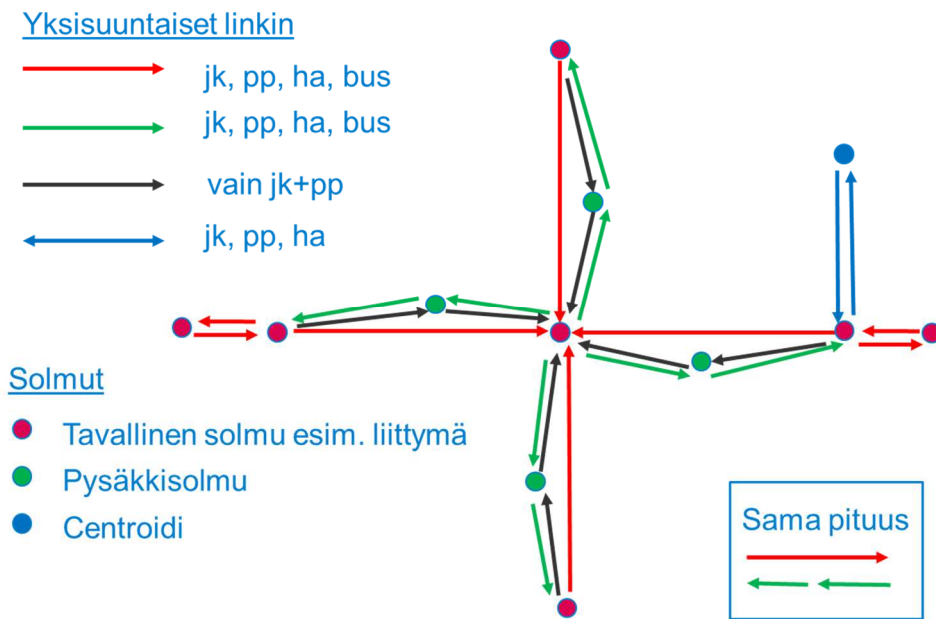
Bussipysäkkien koodausperiaatteiden muodostamiseen vaikutti esiselvityksen mainittujen asioiden lisäksi työn alussa tehty päätös siitä, että HSL-alueen bussipysäkeille ei yritetä muodostaa vastavuotta JORE-pysäkkeihin, koska linjojen tuottamista automaattisesti JOREsta Emmeen ei aiempien kokemusten perusteella pidetty realistisena. Sen sijaan päädyttiin siihen, että pysäkit koodataan niin, että linjojen pysähtymiskäyttäytymisen kuvaaminen voidaan automatisoida pysähtymistietomakron avulla (tätä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.5.3). Tällöin linjat on edelleen kuvattava verkolle ainakin osittain käsin, mutta kun linja on saatu paikoilleen, ei pysähtymisiä enää tarvitse kuvata käsin, kunhan pysäkkien kuvaus verkolla pidetään ajantasaisena.

Verkon koodauksessa päädyttiin noudattamaan bussipysäkkien osalta seuraavia periaatteita:

- Pysäkin tyyppi koodataan solmuattribuuttiin *ui2* (ks. tarkemmin luku 4.3.3).
- Linjojen pysähtymiset tuotetaan automaattisesti makrolla solmujen *ui2*-koodeihin perustuen. VALLU-linjoilla tarvitaan lisäksi tietoa ajosuunnasta ja muuttujaa *@hsl*. (ks. tarkemmin luku 5.5.3).
- Yhdellä linkillä kuvatuilla kaduilla ja teillä pysäkkiparin vastasuuntien pysäkit yhdistetään samaan pysäkkisolmuun. Tämä on välttämätöntä, jotta pysähtymiskäyttäytymisten automatisointi toimisi, toisin sanoen, jotta bussi ei pysähtyisi kummassakin ajosuunnassa sekä ennen liittymää että sen jälkeen.
- Kahdella erillisellä linkillä kuvatuilla teillä (moottoritiemäiset väylät ja eritasoliittymät) pysäkit kuvataan pääosin todellisuutta vastaavasti, eli mm. vastasuuntien pysäkit omille puolilleen. Tällöin myös vaihdot eritasoliittymissä kuvautuvat kohtalaisen realistisesti.
- Liittymien ja vuorotarjonnaltaan vilkkaiden katujen kuvaaminen:
 - o Yhden solmun kuvaus: kaikki liittymien läheisyydessä olevat pysäkit kuvataan liittymäsolmuun. Käytetään HSL-alueen ulkopuolella sekä tarpeen mukaan vastaavilla harvaan asutuilla alueilla myös HSL-alueella.
 - o Kolmen solmun kuvaus: Liittymä kuvataan maksimissaan viidellä solmulla, joista kaksi on pysäkkejä. Pysäkkisolmut valitaan sen mukaan, miten bussilinjat liittymässä ajavat niin, että jokainen linja pysähtyy täsmälleen yhdellä pysäkillä (Kuva 5). Käytetään pääsääntöisesti HSL-alueen liittymissä.
 - o Viiden solmun kuvaus: Viiden solmun kuvaus, jossa risteämiskohta on ainoa solmu, joka ei ole pysäkki, ei ole mahdollinen automaattisen pysähtymiskäyttäytymisen kanssa, koska silloin bussit pysähtyisivät liittymässä aina kahdessa solmussa: sekä ennen risteämiskohtaa että sen jälkeen. Ei käytetä.
 - o "Tuulimylly" (Kuva 6 ja Kuva 7): Monimutkaisempi kuvaus, jolla vastasuuntien pysäkit saadaan kuvattua erikseen. Käytetään tarjonnaltaan vilkkaissa liittymissä, tärkeimmissä vaihtopaikoissa tai kun vaihtoyhteyksiä muuten halutaan kuvata erityisen realistisesti, sekä silloin, kun kolmen solmun kuvausta ei voida käyttää linjojen kääntymisen geometrian takia.



Kuva 5. Kolmen solmun kuvaus.



Kuva 6. "Tuulimylly"-kuvaus.



Kuva 7. Esimerkki kolmen solmun kuvauksesta (vasemmalla) ja "tuulimyllystä" (oikealla).

5.5.2 Verkon läpikäynti bussipysäkkien ja muun bussi-infran osalta

Verkon muokkaus bussipysäkkien osalta alkoi sillä, että vanhan verkon pysäkkikoodit muunnettiin ensin automaattisesti uuden pysäkkiluokituksen mukaisiksi. Taulukossa 18 on vanhan ja uuden koodin vertailu. Suurin ero vanhaan nähden on siinä, että HSL:n liikenteen ulkopuolisessa (VALLU-)liikenteessä ei enää erotella toisistaan kaukoliikenteen vakiovuorojen ja paikallisliikenteen pysäkkejä toisistaan, koska tämä olisi tuottanut liikaa erilaisia pysäkkityyppejä (ja luultavasti myös hankaloittanut automaattisen pysähtymisen logiikkaa). Pikavuoropysäkit erotellaan edelleen, ja lisäksi uutena erotellaan runkolinjapysäkit. Automaattimuunnoksen jälkeen siirryttiin käsinkorjauksiin.

Taulukko 18. Pysäkkityyppien (ui2) vastaavuus.

vanha koodi	vanha selitys	uusi koodi	uusi selitys
1	raitiovaunupysäkki	1	raitiovaunu- tai pikaraitiovaunupysäkki
2	bussipysäkki paikallisliikenne	2	bussipysäkki paikallisliikenne (sis. vakiovuorot)
3	bussipysäkki kaukoliikenne	2	bussipysäkki paikallisliikenne (sis. vakiovuorot)
4	bussipysäkki paikallis- ja kaukoliikenne	2	bussipysäkki paikallisliikenne (sis. vakiovuorot)
	(ei käytössä)	3	bussipysäkki paikallis- ja runkoliikenne
5	bussipysäkki kaukoliikenne ja pikavuoro	4	bussipysäkki paikallis- ja pikavuoroliikenne
6	bussipysäkki paikallis- ja kaukoliikenne (ml. pikavuoro)	4	bussipysäkki paikallis- ja pikavuoroliikenne
	(ei käytössä)	5	bussipysäkki paikallis-, runko- ja pikavuoroliikenne
	(ei käytössä)	6	bussipysäkki muu
7	ei tietoa	7	bussipysäkki pikavuoro- ja valluliikenne
9	bussiterminaali (Digiroadin Palvelu-tilusta)	11	bussiterminaali (tarkistettiin käsin)
10	systemaattisesti generoitu pseudopysäkki	2	bussipysäkki paikallisliikenne (sis. vakiovuorot)

HSL-alueen bussipysäkit on käyty työssä yksitellen läpi ja merkitty niiden ympäristössä em. periaatteita noudattaen, mitkä solmut ovat pysäkkejä ja mitkä eivät. Moottoritiemäisten väylien osalta kävely-yhteyksiä pysäkeille on jonkin verran korjattu ja täydennetty. Pysäkkien läpikäynti perustui JORE-rekisterin pysäkkilistaan, jolloin uusimpia ja lähitulevaisuudessa käyttöön otettavia pysäkkejä puuttui. Näitä täydennettiin verkolle myöhemmin, kun havaittiin puutteita linjojen koodauksen yhteydessä.

Bussipysäkkien perustuminen vuoden 2016 pysäkkeihin on jatkossa verkkoa muokattaessa huomioitava etenkin uusilla alueilla sekä alueilla ja kaduilla, joilla ei vähään aikaan ole kulkenut bussiliikennettä (esim. Helsingin ydinkeskustan tietyt alueet). Uusien bussilinjojen koodauksen yhteydessä on syytä tarkistaa, missä koodattu linja pysähtyy ja että verkolla varmasti on pysäkkejä kaikkialla linjan varrella. Uusien ja suunniteltavien alueiden bussipysäkkien paikat myös tarkentuvat suunnitelmien tarkentuessa, mikä aiheuttaa jonkin verran tarkistustarpeita verkkoon.

Työn valmistuttua huomattiin, että mm. Topeliuksenkadulla ja Kaisaniemen kiertoliittymässä on joitakin entisten keskustalinjojen pysäkkejä, joilla pysähtyy vain osa HSL-linjoista¹⁰. Tämä voitaisiin ratkaista monella tavalla:

¹⁰ Tälle on historiallinen tausta. Vielä 1970-luvulla HKL:llä oli keskustalinjoja (mm. 14 Eira–Tukholmankatu ja 18 Kruununhaka–Meilahden klinikat), joilla oli pysäkkejä tiheämmin kuin esikaupunkilinjoilla.

1. Säilytetään solmut pysäkkeinä, jolloin mallin mukaan niillä pysähtyvät kaikki HSL-linjat, vaikka todellisuudessa osa ei pysähdy. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kaikki Rautatientorilta Hakaniemen suuntaan ajavat HSL-bussit pysähtyvät Kaisaniemen kiertoliittymän kummallakin puolella.
2. Poistetaan pysäkkikoodi, jolloin solmussa ei pysähdy mikään HSL-linja, vaikka todellisuudessa osa pysähtyy.
3. Määritellään uusia joukkoliikennemuotoja sekä niitä vastaavat ajoneuvotyypit ja pysäkkikoodit.
4. Korjataan reittikuvauksia käsityönä.

Päädyttiin siihen, että vaihtoehto 1) on yksinkertaisin ja mm. vaihtoyhteyksien toteutumisen kannalta turvallisin.

Tuulimyllyjä on tarvittaessa kuvattu em. periaatteiden mukaisesti. Tuulimyllyjen tarpeen kartoittamiseksi käytiin läpi tärkeimpiä vaihtopaikkoja¹¹, mutta käytännössä koko HSL-alueen tasolla tärkeimmillä vaihtopaikoilla vaihdetaan useimmiten raideliikenteeseen, jolloin vaihdot tapahtuvat terminaalissa, eikä bussiliikenteen tuulimylly useinkaan ole tarpeellinen. Lisäksi tarkasteltiin bussiliikenteen tarjonnaltaan vilkkaita liittymiä. Osaan näistä koodattiin tuulimylly, mutta kaikissa se ei verkon tai linjaston rakenteen takia ollut tarpeen. Lisäksi yksittäisiin liittymiin on koodattu kokonaisia tai osittaisia tuulimyllyjä silloin, kun kolmen solmun kuvaus ei ole ollut mahdollinen; näissä tuulimyllyjen tarve on perustunut nykyiseen linjastoon, joten tulevaisuudessa linjojen muuttuessa voi olla tarpeen kuvata lisää tuulimyllyjä yksittäisiin kohteisiin, jotta pysähtymiskäyttäytyminen saadaan kuvattua riittävän oikein. Tärkeimmät koodatut tuulimyllyt – mutta ei kaikkia yksittäisiä tarpeen mukaan koodattuja liittymiä – on koottu Excel-tiedostoon *Bussiterminaalit_ja_tuulimyllyt.xlsx*.

Runkolinjapysäkkejä (solmutyyppi *ui2* = 3 tai *ui2* = 5) koodattiin verkolle ensin nykyisille runkolinjoille 550 ja 560. Vuoden 2025 linjaston koodauksen alettua todettiin, että runkolinjoja on tulossa useita lisää, eikä nähty estettä koodata tulevien runkolinjojen pysäkkejä jo valmiiksi nykyverkolle. Etukäteen koodatuista runkolinjapysäkeistä ei ole verkolla haittaa niin kauan kuin nykyiset runkolinjat eivät käytä samoja tieosuuksia, eikä silloinkaan, jos ne käyttävät samoja pysäkkejä (kuten todennäköisesti tulee tapahtumaan).

Täten nykyverkolle on koodattu ainakin seuraavien runkolinjojen pysäkit:

- Nykyinen runkolinja 550 (Itäkeskus–Westendinasema; perustuu nykytilanteeseen, paitsi Tapiolassa ”tavoitetilanteeseen” Tapiolan bussiterminaalin valmistumisen jälkeen)
- Nykyinen runkolinja 560 (Rastila M–Malmi–Myyrmäki; perustuu nykytilanteeseen)
- Tuleva runkolinja 500 (Herttoniemi–Pasila–Munkkivuori; perustuu HSL:n karttaan)
- Tuleva runkolinja 510 (Pasila–Westendinasema, koodattu siltä osin kuin reitti ei ole päällekkäinen linjojen 550 ja 500 kanssa eli välille Munkkiniemenaukio–Otaniemi; perustuu raporttiin *Runkolinja 510*, HSL:n julkaisija 9/2016)
- Tuleva runkolinja 570 (Mellunmäki–Tikkurila–Aviapolis; perustuu vuoden 2015 raporttiin *Vantaan runkolinja 570*).

HSL-alueen ulkopuolella sijaitsevia pysäkkejä ei ole käyty läpi yhtä tarkasti, mutta VALLU-linjoihin koodauksen yhteydessä verkko on käyty läpi ja poistettu selvästi liian lähekkäin sijaitsevia

¹¹ HSL:n SOLMU-projektissa kootun listan pohjalta

pysäkkejä (esimerkiksi tapauksissa, joissa verkolla on merkitty pysäkeiksi pysäkkiparin molempia pysäkkejä vastaavat solmut, joita on Emmessä tarkoituksenmukaista kuvata samalla pysäkkisolmulla). **Pikavuoropysäkit** on käyty läpi koko verkolta Digiroadissa olevan pysäkkitietokannan perusteella (jossa lienee yksittäisiä virheitä etenkin HSL-alueen ulkopuolella).

Bussikaistat ja joukkoliikennekadut on käyty läpi ja korjattu tarvittaessa. Lisäksi on tarkistettu ja tarvittaessa korjattu moottoritiemäisillä väylillä olevat **bussiramppien** kuvaukset niin, että niillä on autokulkutavat kielletty (Kuva 8, siniset linkit). Bussilinjojen koodauksen yhteydessä päädyttiin myös siihen, että moottoritiemäisillä väylillä, joilla bussipysäkit ovat rampeilla, on busseilta kielletty ajaminen suoraan moottoritietä pitkin, jotta bussilinjat varmasti kulkevat pysäkkien kautta (Kuva 8, punaiset linkit). Tämä yhtenäistää samalla myös VALLU-linjojen pysähtymiskäyttäytymisen: mallissa kaikki linjat pysähtyvät samoilla pysäkeillä (paitsi pikavuorot vain pikavuoropysäkeillä), vaikka todellisuudessa kaikki kaukoliikenteen bussit eivät pysähdy kaikilla pysäkeillä¹².

Kuvan vihreät linkit ovat kävely- ja pyöräilylinkkejä. Bussipysäkit ovat vihreissä solmuissa.



Kuva 8. Bussikulkutavat moottoritiemäisillä väylillä.

5.5.3 Bussi- ja raitiliikenteen automaattinen pysähtymiskäyttäytyminen

Monessa kohtaa tässä muistiossa on viitattu bussi- ja raitiolinjojen automaattiseen pysähtymiskäyttäytymiseen, joka mahdollistuu, kun solmuihin on koodattu tieto pysäkkityypistä. Käytännössä työn aikana on tehty pysähtymistietomakro *pysakki.mac*, jolla bussi- ja raitiolinjojen pysähtymiset määritetään solmuattribuutin *ui2* avulla. Kun bussi- ja raitiolinjojen tehdään muutoksia, saadaan uusilla linjoilla ja muokatuilla osuuksilla pysähtymiset kohdalleen ajamalla makro uudelleen. Attribuutin *ui2* arvo on kuitenkin tarkistettava, jos käyttöön otetaan uusia pysäkkejä. Makro määrittää aina uusiksi kaikkien bussi- ja raitiolinjojen pysähtymiset, joten jos niiden pysähtymiskäyttäytymisestä halutaan

¹² VALLU-linjojen pysähtymiskäyttäytymisen kuvaaminen täysin oikein on muutenkin mahdotonta useista syistä: automaattisen pysähtymiskäyttäytymisen takia muiden kuin erillisillä rampeilla olevien pysäkkien jättäminen väliin on mahdotonta, sisääntuloväylillä on yhdistelty vuoroja, joilla saattaa olla erilainen pysähtymiskäyttäytyminen, ja vaikka näitä esteitä ei olisikaan, olisi täysin totuudenmukaisen pysähtymiskäyttäytymisen siirtäminen lähtöaineistoista Emme-kuvaukseen luultavasti joko työlästä tai mahdotonta (lähtöaineistot mm. eivät olleet kaikilta osin ajan tasalla esimerkiksi uusien eritasoliittymien osalta).

tehdä makrosta poikkeavaa, on muokattava makroa tai tehtävä poikkeavat muutokset käsityönä aivan lopuksi.

Pysähtymistietomakro laskee bussien, raitiovaunujen ja pikaraitiovaunujen pysähtymistiedot solmutyypin (*ui2*) ja kuntatiedon (*ui3*) perusteella. Pysäkin kuntatiedon (*ui3*) perusteella lasketaan tieto HSL-alueesta extra-attribuuttiin *@hsl*. Vuonna 2017¹³ HSL-alueen kuntia olivat Espoo (49), Helsinki (91), Vantaa (92), Kauniainen (235), Kerava (245), Kirkkonummi (257) ja Sipoo (753). Attribuuttia *@hsl* käytetään Vallu-linjojen pysähtymisiin HSL-alueella. Vallu-linjojen linjatunnuksessa on oltava täsmälleen 6 merkkiä, joista viimeinen kuvaa linjan suuntaa. Suunta 1 on Helsingistä poispäin ja suunta 2 Helsinkiin. HSL-alueen ulkopuolella kulkevilla linjoilla ei ole suunnalla väliä.

Pysähtymistietomakro määrittää vain bussilinjojen (modet b, g, d ja e) sekä raitiotie- ja pikaraitiotielinjojen (modet t ja p) pysähtymiset. Juna- ja metrolinjojen pysähtymiskäyttäytyminen pitää edelleen määrittää käsin. Pysähtymistietomakro käsittelee eri bussikulkutapoja (modet b, g, d ja e) hieman eri tavoin. Juuri tästä syystä verkolle on määritetty uusina kulkutapoina HSL-runkolinjabussi (mode=g) ja pikavuoro (mode=e) sekä niitä vastaavat pysäkkityypit. Näin jokainen bussikulkutapa saadaan pysähtymään oikeilla pysäkeillä.

Pysäkkityyppitiedon lisäksi käytetään tietoa siitä, sijaitseeko solmu HSL-alueella vai ei (lasketaan makrolla solmuattribuutissa *ui3* olevan kuntatiedon perusteella solmun extra-attribuuttiin *@hsl*). Tämän tiedon avulla on tehtävissä rajoitus, että muilla kuin HSL-busseilla (eli ns. VALLU-linjoilla, joita kuvaavat modet d ja e) ei voi tehdä HSL-alueen sisäisiä matkoja. Kaukojunille vastaava rajoitus on koodattava käsin.

VALLU-linjojen HSL-alueen sisäisten matkojen rajoittamiseen käytetään lisäksi tietoa linjan suunnasta: Helsinkiin vai Helsingistä poispäin (ks. tarkemmin luku 5.8.3). Makrossa oletetaan, että suuntatieto on koodattu kuudenteen eli viimeiseen merkkiin, joten kaikkien VALLU-linjojen nimen on oltava täsmälleen 6 merkkiä pitkiä ja päätyttävä suuntakoodiin 1 tai 2, jotta makro toimii.

Lisäksi on syytä huomata seuraavat pysähtymiseen vaikuttavat seikat:

- Kaikki bussilinjat pysähtyvät **bussiterminaaleissa (*ui2* = 11)**.
- Mikään bussilinja ei pysähdy bussipysäkeillä, jotka on merkitty koodilla ***ui2* = 6 (muu bussipysäkki)**. Näille pysäkeille on siis määritettävä jokin muu koodi, jos ne halutaan ottaa käyttöön.
- Solmutyypeissä on varauduttu **raitiovaunu- ja pikaraitiovaunuterminaaleihin (*ui2* = 12)**, mutta näitä ei ole vielä verkolla, eikä niitä ole otettu huomioon pysähtymistietomakrossa. Jos verkolla lisätään terminaaleja, pysähtymistietomakroa on muokattava niin, että raitiolinjat pysähtyvät terminaalissa.

Eri kulkutavat pysähtyvät pysähtymistietomakron ajamisen jälkeen seuraavasti:

- **Raitiolinjat (mode=t) ja pikaraitiolinjat (mode=p)** pysähtyvät kaikilla raitiovaunupysäkeillä (*ui2* = 1).
- **Tavalliset HSL-bussit (mode=b)** pysähtyvät kaikilla reitillään olevilla bussipysäkeillä (*ui2* = 2...5) ja bussiterminaaleissa (*ui2* = 11).

¹³ Helmet 3.1:en on tehty erilaisia versioita makrosta *hsl_kunnat.mac* sen mukaan, mitkä kunnat ovat HSL:n jäseniä.

- **HSL:n runkolinjat (mode=g)** pysähtyvät runkolinjapysäkeillä (*ui2* = 3 tai 5) ja bussitermiinaaleissa (*ui2* = 11).
- **Pikavuorot (mode=e)** pysähtyvät seuraavasti pikavuoropysäkeillä *ui2* = 4, *ui2* = 5, *ui2* = 7 tai *ui2* = 11 (bussitermiinaalit):
 - o 1-suuntaan eli Helsingistä poispäin: kyytiin voi nousta kaikilta pikavuoropysäkeiltä, mutta bussista voi poistua vain HSL-alueen ulkopuolella olevilla pikavuoropysäkeillä.
 - o 2-suuntaan eli Helsinkiin päin: kyytiin voi nousta vain HSL-alueen ulkopuolella olevilla pikavuoropysäkeillä, mutta bussista voi poistua kaikilla pikavuoropysäkeillä.
 - o Käytännössä siis näillä busseilla ei voi tehdä HSL-alueen sisäisiä matkoja.
- **"Muut bussit" (mode=d)**, eli HSL-alueen ulkopuoliset tai HSL:n rajan ylittävät bussilinjat, jotka eivät ole pikavuoroja, pysähtyvät seuraavasti:
 - o 1-suuntaan eli Helsingistä poispäin: kyytiin voi nousta kaikilta bussipysäkeiltä (*ui2* = 2...5 tai *ui2* = 7 tai *ui2* = 11), mutta bussista voi poistua vain HSL-alueen ulkopuolella olevilla pikavuoropysäkeillä
 - o 2-suuntaan eli Helsinkiin päin: kyytiin voi nousta vain HSL-alueen ulkopuolella olevilla pikavuoropysäkeillä, mutta bussista voi poistua kaikilla bussipysäkeillä.
 - o Näilläkään busseilla ei voi tehdä HSL-alueen sisäisiä matkoja¹⁴ ja kokonaan HSL-alueen ulkopuolella kulkevat linjat pysähtyvät kaikilla pysäkeillä molempiin suuntiin.

5.6 Raideliikenteen verkot

Junaliikenteen verkko kuvataan linkkityypillä 4 ja **metroliikenteen** verkko linkkityypillä 3. Molemissa verkko koostuu ainoastaan asemia kuvaavista solmuista, eli erillisiä välisolmuja (muotopisteitä) ei käytetä. Nopeus juna- ja metroverkolla määräytyy kuten aiemminkin, eli segmenttimuuttujan *us1* tallennettujen asemien välisten matka-aikojen perusteella. Matka-aika asemaväleittäin siis koodataan erikseen kullekin juna- tai metrolinjalle, eikä se ole sidoksissa verkon kuvaukseen. Jos juna ei pysähdy kaikilla asemilla, peräkkäisten pysähdysten välinen aika on kuitenkin koodattu vain yhdelle asemavälille ja muilla väleillä aikana on nolla. Tämä on otettava huomioon, jos halutaan laskea keskinopeuksia asemaväleittäin.

Tässä työssä on muutettu juna- ja metroverkkojen linkki- ja solmutyypit sekä poistettu solmut, jotka eivät kuvanneet asemia. Solmunumeroiden muutos vanhasta solmunumeroavaruudesta uuteen sekä kutakin solmua vastaavat asemien nimet on listattu Excel-tiedostossa *Raideliikenteen_solmunumerot.xlsx*. Koska solmut on yhtenäistetty eri vuosien verkkojen välillä, junaradoilta löytyy myös (mahdollisia) tulevia asemia (Kehäradan asemavaraukset, pääradalla Ristikytö, Palopuro ja Monni¹⁵ sekä Klaukkalan radan asemat; Klaukkalan rataa ei ole kuitenkaan kuvattu, koska se ei sisälly HLJ2015:een). Metron suunnitellut asemat ovat verkolla solmuina; niitä yhdistävät ratalinkit tuotetaan hankemakroilla.

Lakkautetut juna-asemat Luoma, Mankki, Purola ja Nuppulinna on jätetty verkolle. Junatyyppejä ei ole eroteltu omille raiteilleen, vaan entiseen tapaan kaikki junat ovat samoilla linkeillä. Poikkeuksen asemakoodaukseen muodostaa Pasilan asema, jossa entiseen tapaan kuvataan päärataa ja rantarataa kahdella erillisellä solmulla – ja siten kahdella erillisellä linkkiparilla Helsingin ja Pasilan välillä. Juna- ja metroliikenteen pysähtymiskäyttäytyminen koodataan käsin todellisuutta vastaavaksi:

¹⁴ Jos HSL-alueen sisäiset matkat ovat mahdollisia, linja on koodattu myös U-linjana kulkutavalla b (ks. kohta 5.8.6).

¹⁵ Ks. tarkemmin Liikennevirasto 2015.

lakkautetuilla asemilla juna ei pysähdy, eli niillä ei voi nousta kyytiin tai jäädä pois. Vastaavasti nykyisten asemien väliin valmiiksi koodatuilla tulevaisuuden asemilla ei myöskään voi nousta kyytiin tai jäädä pois, ellei erityisesti ole tarkoitus kuvata sitä, että asema otetaan käyttöön.

Raitiotieverkko kuvataan entiseen tapaan autoliikenteestä erillisillä linkeillä. Linkkien tyyppiä on muutettu 2. Nopeus raitiotieverkolla määräytyy linkkiattribuuttiin *ui1* koodattujen nopeuksien perusteella. Raitiotieverkolla raitiovaunupysäkit merkitään solmutyypillä *ui2* = 1, ja muut solmut solmutyypillä *ui2* = 0. Tällöin linjojen pysähtymiset kuvautuvat automaattisesti oikein pysähtymistietomakrolla (ks. tarkemmin luku 5.5.3).

Raitiotieverkon kuvausta ei ole tarkastettu tässä työssä, koska kuvausta on HSL:ssä käyty läpi jo aiemmin. Joidenkin pysäkkien sijaintia tai solmun tyyppiä on kuitenkin korjattu, kun muita muutoksia tehdessä on havaittu epäloogisuuksia. Samoin kuin junaverkolla, myös tulevien hankkeiden raitiotie- ja pikaraitiotiesolmut ovat valmiina verkolla. Niistä on karkealla tasolla tarkistettu, mitkä ovat pysäkkejä ja mitkä eivät, mutta etenkin yksittäisiä hankkeita tarkasteltaessa ja hankkeiden tarkentuessa pysäkkien sijainnit on suositeltavaa tarkistaa.

5.7 Terminaalit ja kävely-yhteydet

Juna- ja metroasemien kävely-yhteydet on tässä työssä tarkistettu karkealla tasolla. Kävelyetäisyyksiä ei ole lähdetty viemään nykyistä realistisemmalle tasolle, koska ei ole löydetty valmista aineistoa, jonka pohjalta työ voitaisiin tehdä. HSL:n reittioppaan aineistoa selviteltiin, mutta sekään ei ole metroasemien osalta yhtenäistä eikä sellaisessa muodossa, että soveltaminen Emmeen olisi yksinkertaista. Kävely-yhteyksien tarkentaminen ja liukuportaiden kuvaaminen jäävät siis edelleen tulevaisuuden kehitystarpeeksi¹⁶. Tunneliasemien osalta on huomattava, että kävelymatka maanpinnalla olevan pysäkin ja tunnelissa olevan laiturin välillä voi olla huomattavasti pitempi kuin ko. solmujen välinen vaakasuora etäisyys.

Bussiterminaalit on kuvattu pääsääntöisesti yhdellä solmulla (*ui2=11*), jossa kaikki terminaalin bussilinjat pysähtyvät. Kampin terminaalissa on kuitenkin kuvattu paikallis- ja kaukoliikenteen terminaalit omina solmuinaan. Bussiterminaalit, jotka tässä työssä on koodattu solmutyypillä *ui2* = 11, on koottu Excel-tiedostoon *Bussiterminaalit_ja_tuulimyllyt.xlsx*.

¹⁶ Jotenkin on huomioitava myös suunnitelmien kuvaaminen edes suunnilleen samanlaisella logiikalla, jos nykyiset kävely-yhteydet pystytään kuvaamaan tarkasti.

5.8 Joukkoliikennelinjastot

5.8.1 Yleistä joukkoliikennelinjastoista

Malliin koodataan vain tarjonnaltaan merkittävät linjat. Lähilinjoja (palvelulinjoja) ei koodata malliin. Emmen linjatunnukseen mahtuu vain 6 merkkiä, joten kirjainvariantteja on mahdollista koodata vain yksi. Useamman kirjainvariantin omaavat linjat yhdistetään johonkin toiseen parhaiten kuvautuvaan. Kirjaa tästä tieto mallitekniiseen muistioon. Myöskään linjojen kiertosuuntien muutoksia (esim. linjalla 993) ei koodata, vaan linjat kulkevat eri vuorokaudenaikoina pääsuunnan mukaisesti. Jos pääsuuntaa ei ole, niin suunta 1 on pääsuunta.

Linjoille koodataan malliin keskimääräiset vuorovälit [min] aamuruuhkassa (aht, n. 7:30–8:30), päiväliikenteessä (pt, n. 12–13) ja iltaruuhkassa (iht, n. 16–17). Linjojen vuorovälit pyöristetään puolen minuutin tarkkuuteen. Vuoroväli 999 min tarkoittaa, että linja ei liikennöi kyseisenä ajankohtana.

HSL ylläpitää joukkoliikennelinjoista vain yhtä versiota hankevaihtoehtoa kohden. Aikajaksojen erilaiset vuorovälit huomioidaan vuorovälitiedoston ja makron avulla. Myös linjojen pysäkkipysähtymiset määräytyvät makron avulla, joka lukee verkolta tiedon solmutyypeistä.

HSL:n julkaisemien verkkojen liitteenä on taulukko **Tarjonnan kuvaus**, jossa on mm. verkkojen sisältämien eri vuosien ja aikajaksojen vuorovälit. Taulukon välilehdeltä Vuorovälien Emme-siirto tiedot voi kopioida mallin ymmärtämässä muodossa ja lukea makrona sisään järjestelmään.

Joukkoliikennelinjojen pysäkkipysähtymiset määritellään pysähtymistietomakrolla, joka laskee bus-sien, raitiovaunujen ja pikaraitiovaunujen pysähtymistiedot solmujen *ui2*- ja *ui3*-datan perusteella. *Ui2*:lla kuvataan eri pysäkkityypit ja *ui3*:ssa on tieto kunnasta. *@hsl*-attribuutti kertoo, onko pysäkki HSL-alueella vai ei, ja se lasketaan *ui3*-kentän perusteella. Makro on HSL:n julkaisemien liikennejärjestelmäkuvausten liitteenä. Linjastomuutokset dokumentoidaan mallitekniiseen muistioon. Myös linjojen otsikot tulee päivittää linjatiedostoon reittimuutosten yhteydessä.

Metro- ja junalinjojen pysähtymiset on koodattu käsin, mutta bussi- ja raitiolinjojen pysähtymiset tuotetaan automaattisesti pysähtymistietomakrolla (ks. luku 5.5.3).

Seuraavaan taulukkoon on koottu attribuutteja, joita on käytetty tai ovat käytettävissä joukkoliikenteen kuvauksissa.

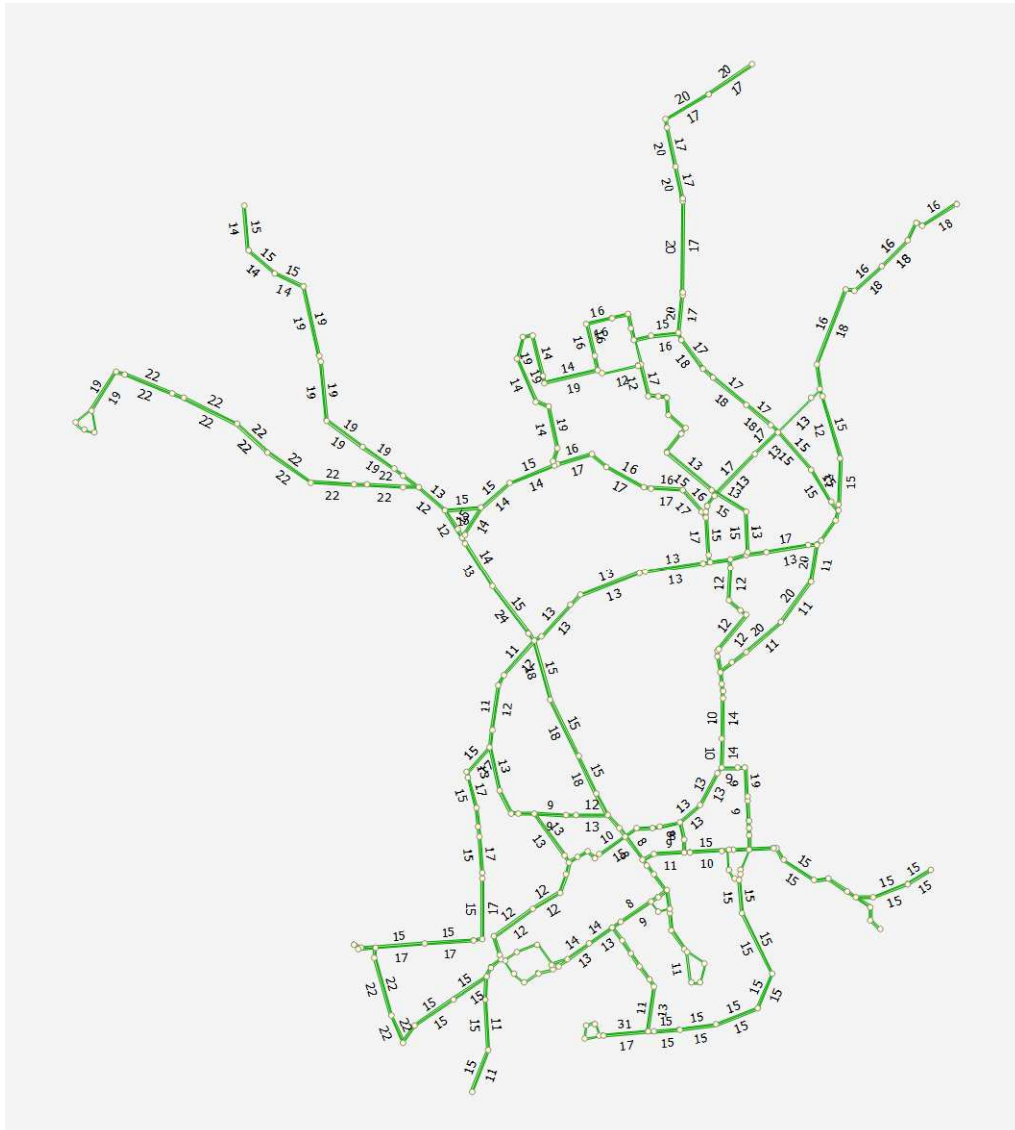
Taulukko 19. Joukkoliikennelinjojen attribuuttitiedot.

attribuutti	tyyppi	selitys
<i>ui2</i>	solmu	pysäkkisolmun tyyppi (ks. Taulukko 6)
<i>ui3</i>	solmu	sen kunnan kelakoodi, jossa solmu sijaitsee (ks. Taulukko 7)
<i>@hsl</i>	solmu	0/1 sen mukaan sijaitseeko solmu HSL-alueella vai ei (perustuu attribuutissa <i>ui3</i> olevaan kuntatietoon)
<i>ul1</i>	linkki	raitiovaunuverkolla aamu-, päivä- ja iltaliikenteen nopeus (km/h)
<i>headway</i>	jkl-linja	vuoroväli minuuteissa
<i>description</i>	jkl-linja	pääkaupunkiseutu: linjan nro ja suuntanro VALLU ja VR: mistä-mihin ja suunta
<i>ut1</i>	jkl-linja	VAPAA
<i>ut2</i>	jkl-linja	VAPAA
<i>ut3</i>	jkl-linja	linjan nousuvastus (joukkoliikennemuodon mukaan)
<i>@hwaht</i>	jkl-linja	extra-attribuutti, jonka avulla vuoroväli kopioidaan tiedostosta <i>d241_vuorovalit_*.in</i> AHT-skenaarion linjoille
<i>@hwiht</i>	jkl-linja	extra-attribuutti, jonka avulla vuoroväli kopioidaan tiedostosta <i>d241_vuorovalit_*.in</i> IHT-skenaarion linjoille
<i>@hwpt</i>	jkl-linja	extra-attribuutti, jonka avulla vuoroväli kopioidaan tiedostosta <i>d241_vuorovalit_*.in</i> PT-skenaarion linjoille
<i>us1</i>	segmentti	junilla ja metroilla: matka-aika edelliseltä asemalta, koodattu asemaa edeltävälle segmentille
<i>us2</i>	segmentti	bussiliikenteen viivytys
<i>us3</i>	segmentti	VAPAA

5.8.2 Joukkoliikenteen nopeus ja joukkoliikenteen funktiomakrot

Joukkoliikenteen nopeudet määräytyvät segmenttikohtaisesti funktioina kuten ennenkin. Nopeuden määräytymisperusteet on selostettu tarkemmin alkuperäisen liikennemalliraportin (HSL 2011) osissa C (Elolähde ym. 2011) ja D (Keränen & Pesonen 2011) sekä uudemman raportin (HSL 2016b) osassa D (Elolähde ym. 2016). Junille ja metroille määritetään edelleen segmenttikohtaiset matka-ajat linjoja koodattaessa. Raitio- ja pikaraitiolinjojen nopeudet koodataan linkkiattribuuttiin *ul1*. Seuraavasta kuvasta näkyvät raitiovaunujen nopeudet aamuruuhkassa 2016.

Bussien nopeuden määrittävä *us2*-attribuutti lasketaan edelleen funktiomakrolla 4 (*f_us2_M2016_4X.mac*, missä $X=a,i,p$), joka on päivitetty vastaamaan verkon uusia ominaisuuksia. Oikeiden joukkoliikennefunktioiden valinta tehdään kaikille kulkutavoille edelleen funktiomakrolla 5 (*f_jkl_M2016_5X.mac*, missä $X=a,i,p$), joka on myös päivitetty. Funktiomakrot on ajettava, kun joukkoliikennelinjoja on lisätty tai muokattu. Joukkoliikenteen viivytysfunktioista kerrotaan tarkemmin kohdassa 7.5.2.



Kuva 9. Raitiovaunujen nopeudet aamuhuipputunnin 2016 aikana.

5.8.3 Linjatunnus

HSL-alueen linjoilla Emmen linjatunnus (line) on sama kuin JORe:ssa eli muotoa *KNNNTS*, missä

- *K* = linjaryhmä
 - o 1 = Helsingin sisäinen linja
 - o 2 = Espoon sisäinen tai sinne ajava seutulinja
 - o 3 = metro tai lähiliikenteen juna
 - o 4 = Vantaan sisäinen tai sinne ajava seutulinja
 - o 5 = poikittaislinja
 - o 6 = Kirkkonummen sisäinen tai sinne ajava seutulinja
 - o 7 = U-linja
 - o 9 = Keravan tai Sipoon sisäinen tai sinne ajava seutulinja
- *NNNT* = linjatunnus (kolme numeroa ja mahdollisesti kirjain, paitsi metrolla "1M1" tai "1M2")
- *S* = ajosuunta
 - o 1 = Helsingistä poispäin tai idästä länteen
 - o 2 = Helsinkiin päin tai länneestä itään.

Esimerkiksi bussilinjan 615 tunnus JOReSSa ja EmmeSSä on 46151 (ajosuunta Helsingistä Lentoasemalle) ja E-junan Kaukalahdesta Helsinkiin 3002E2.

Kaukojunien linjatunnukset ovat muotoa 32xxxS. Ajosuunta S määräytyy kuten yllä.

Muilla kuin HSL-alueen linjoilla (ns. VALLU-linjoilla) linjatunnus on generoitu seuraavasti:

- VALLU-rekisteristä poimitut linjat: VxxxTS tai VxxxxS, missä
 - o xxxx = linjan numero, jos sellainen on ja se ei ole ristiriidassa muiden numeroiden kanssa, esimerkiksi. 0640; muulloin juokseva numero, alkaen numerosta 1000
 - o T = mahdollinen kirjaintunnus, jolloin numero annetaan 3 merkillä.
- Paikallisliikenteet: ZZxxxS tai ZZxxTS, missä
 - o ZZ = HY (Hyvinkään paikallisliikenne), RM (Riihimäen paikallisliikenne) tai JA (Järvenpään paikallisliikenne)
 - o xxx = paikallisliikenteen linjanumero, esim. 001 tai 011
 - o T = mahdollinen kirjaintunnus.

Myös VALLU-linjoilla ajosuunta S määräytyy kuten HSL-linjoilla:

1 = Helsingistä pois päin tai idästä länteen (tarvittaessa myös etelästä pohjoiseen)

2 = Helsinkiin päin tai lännestä itään (tarvittaessa myös pohjoisesta etelään).

VALLU-linjoilla suunnan S on aina oltava täsmälleen kuudes merkki, jotta pysähtymistietomakro (luku 5.5.3) toimisi oikein.

VALLU-linjoilla suunnalla on käytännön merkitystä vain HSL-alueen rajan ylittävillä linjoilla (koska tavoitteena on estää HSL-alueen sisäisten matkojen tekeminen niillä). Kaikille kokonaan HSL-alueen ulkopuolella kulkeville linjoille ei ole pystytty määrittämään suuntatietoa yhtenevällä tavalla (esimerkiksi rengaslinjat), mutta sillä ei ole käytännön merkitystä pysähtymisten kannalta. Kuitenkin, jotta pysähtymistietomakro ylipäätään määrittää pysähtymiset VALLU-linjoille (modet d ja e), on linjatunnuksen 6. merkin oltava joko 1 tai 2.

5.8.4 HSL-alueen linjat

Yleisesti ottaen nykytilanteen joukkoliikennelinjasto (bussit, raitiovaunut, metro, lähijunat) kuvaa syksyksi 2017 suunniteltua tilannetta, jossa uusi raitiovaunulinjasto on otettu käyttöön ja Länsi-metro Matinkylään liityntälinjastoinen olisi käytössä. Linjat ovat tammikuun 2017 suunnittelun mukaisia, johon keväällä 2017 tuli joitain muutoksia (lähinnä vuoroväleihin).

Kysyntämallien estimointia varten muodostettiin myös kuvaus vuoden 2016 liikennejärjestelmästä, jossa on Kehärata ja vanha raitiovaunulinjasto. Siitä puuttuu Länsimetro.

Taulukko 20. Raitiovaunulinjat ja niiden vuorovälit 2016.

linja	suunta	reitti	vuoroväli [min]		
			aht	pt	iht
1	s1	Kauppatori–Käpylä	999	22	999
	s2	Käpylä– Kauppatori	999	22	999
1A	s1	Eira– Kauppatori –Käpylä	10	999	10
	s2	Käpylä– Kauppatori –Eira	10	999	10
2	s1	Olympiaterminaali–Töölö–Eläintarha	10	10	10
	s2	Eläintarha –Töölö–Olympiaterminaali	10	10	10
3	s1	Olympiaterminaali–Kallio– Eläintarha	10	10	10
	s2	Eläintarha – Kallio–Olympiaterminaali	10	10	10
4	s1	Katajanokka–Munkkiniemi	6	7,5	6
	s2	Munkkiniemi–Katajanokka	6	7,5	6
5	s1	Katajanokan terminaali–Rautatientori	999	999	999
	s2	Rautatientori–Katajanokan terminaali	999	999	999
6	s1	Hietalahti–Arabia	8	10	8
	s2	Arabia–Hietalahti	8	10	8
7A	s1	Senaatintori–Töölö–Pasila	9	11	9
	s2	Pasila–Sörnäinen–Senaatintori	9	11	9
7B	s1	Senaatintori –Sörnäinen–Pasila	9	11	9
	s2	Pasila–Töölö– Senaatintori	9	11	9
8	s1	Jätkäsaari–Arabia	8	10	8
	s2	Arabia–Jätkäsaari	8	10	8
9	s1	Länsiterminaali–Itä-Pasila	10	10	10
	s2	Itä-Pasila– Länsiterminaali	10	10	10
10	s1	Kirurgi–Pikku-Huopalahti	6	7,5	6
	s2	Pikku-Huopalahti–Kirurgi	6	7,5	6

Taulukko 21. Metrolinjat ja niiden vuorovälit 2016.

linja	suunta	reitti	vuoroväli [min]		
			aht	pt	iht
M1	s1	Ruoholahti–Vuosaari	5	7,5	5
	s2	Vuosaari–Ruoholahti	5	7,5	5
M2	s1	Ruoholahti–Mellunmäki	5	7,5	5
	s2	Mellunmäki–Ruoholahti	5	7,5	5

Taulukko 22. Raitiovaunulinjat ja niiden vuorovälit 2017.

linja	suunta	reitti	vuoroväli [min]		
			aht	pt	iht
1	s1	Eira–Töölö–Sörnäinen–Käpylä	10	10	10
	s2	Käpylä–Sörnäinen–Töölö–Eira	10	10	10
2	s1	Olympiaterminaali–Töölö–Länsi-Pasila	10	10	10
	s2	Länsi-Pasila–Töölö–Olympiaterminaali	10	10	10
3	s1	Olympiaterminaali–Kallio–Meilahti	10	10	10
	s2	Meilahti–Kallio–Olympiaterminaali	10	10	10
4	s1	Katajanokka–Munkkiniemi	6	7,5	6
	s2	Munkkiniemi–Katajanokka	6	7,5	6
5	s1	Katajanokan terminaali–Rautatientori	999	20	10
	s2	Rautatientori–Katajanokan terminaali	999	20	10
6	s1	Hietalahti–Arabia	10	10	10
	s2	Arabia–Hietalahti	10	10	10
7	s1	Länsiterminaali–Sörnäinen–Länsi-Pasila	10	10	10
	s2	Länsi-Pasila–Sörnäinen–Länsiterminaali	10	10	10
8	s1	Jätkäsaari–Arabia	10	10	10
	s2	Arabia–Jätkäsaari	10	10	10
9	s1	Jätkäsaari–Itä-Pasila	10	10	10
	s2	Itä-Pasila–Jätkäsaari	10	10	10
10	s1	Kirurgi–Pikku-Huopalahti	6	7,5	6
	s2	Pikku-Huopalahti–Kirurgi	6	7,5	6

Taulukko 23. Metrolinjat ja niiden vuorovälit 2017.

linja	suunta	reitti	vuoroväli [min]		
			aht	pt	iht
M1	s1	Matinkylä–Vuosaari	5	7,5	5
	s2	Vuosaari–Matinkylä	5	7,5	5
M2	s1	Tapiola–Mellunmäki	5	7,5	5
	s2	Mellunmäki–Tapiola	5	7,5	5

Taulukko 24. Lähijunalinjat ja niiden vuorovälit 2016 ja 2017.

linja	suunta	reitti	vuoroväli [min]		
			aht	pt	iht
A	s1	Helsinki - Leppävaara	10	20	10
	s2	Leppävaara - Helsinki	10	20	10
E	s1	Helsinki - Kauklahti	30	30	30
	s2	Kauklahti - Helsinki	30	30	30
U	s1	Helsinki - Kirkkonummi	30	30	30
	s2	Kirkkonummi - Helsinki	30	30	30
X (2016)	s1	Helsinki - Kirkkonummi	120	999	120
	s2	Kirkkonummi - Helsinki	120	999	120
X (2017)	s1	Helsinki - Kirkkonummi	999	999	999
	s2	Kirkkonummi - Helsinki	999	999	999
Y (2016)	s1	Helsinki - Siuntio	120	360	120
	s2	Siuntio - Helsinki	120	360	120
Y (2017)	s1	Helsinki - Siuntio	60	360	60
	s2	Siuntio - Helsinki	60	360	60
P		Helsinki – Myyrmäki – Tikkurila - Helsinki	10	10	10
I		Helsinki –Tikkurila - Myyrmäki – Helsinki	10	10	10
K	s1	Helsinki - Kerava	10	10	10
	s2	Kerava - Helsinki	10	10	10
R	s1	Helsinki - Riihimäki	30	30	30
	s2	Riihimäki - Helsinki	30	30	30
D	s1	Helsinki - Riihimäki	999	999	30
	s2	Riihimäki - Helsinki	30	999	999
Z	s1	Helsinki - Lahti	60	60	60
	s2	Lahti - Helsinki	60	60	60

5.8.5 Vuorovälit ajankohtien erottajana

Joukkoliikennelinjastoja ei ole koodattu erikseen eri ajankohdille. On siis lähdetty siitä, että eri ajankohtien linjastot eroavat toisistaan vain vuoroväleiltään. Jos jokin linja ei liikennöi tietyssä ajankohdassa, sen vuoroväliksi asetetaan 999 minuuttia¹⁷.

Jokaisen ajankohdan verkossa on siis samat linjat, mikä hieman yksinkertaistaa linjastojen koodaamista. Eri ajankohtien vuorovälit haetaan erillisestä tiedostosta ja viedään Emmeen oikeisiin skenaarioihin. Tässä työssä vuorovälit on tulostettu Excel-tilukosta *d241*-tiedostoon, josta saatavat arvot voidaan makrolla lukea Emmeen linjan extra-attribuutteihin *@hwaht*, *@hwiht* ja *@hwpt* sekä niistä edelleen kunkin aikajakson vuoroväliksi (*hdwy*). (Ks. alustava ohje *Verkojen_muodotus.docx*).

¹⁷ Käytännössä työssä on todettu, että kun vuoroväliksi asetetaan 999, linjalla on useimmiten muutama ja maksimissaan noin 20–30 matkustajaa. Tiheästi liikennöidyillä alueilla tällä ei ole käytännön merkitystä, mutta haja-asutusalueilla, joilla 999-linja on ajankohdan ainoa linja, jotain vaikutusta voi olla.

5.8.6 U-linjat

U-linjat on pysähtymiskäytäntöjen takia koodattu osittain kahteen kertaan: HSL-linjoina, joilla voi tehdä vain HSL-alueen sisäisiä matkoja, sekä VALLU-linjoina, joilla voi tehdä HSL-alueen rajan ylittäviä tai kokonaan HSL-alueen ulkopuolisia matkoja.

HSL-versiot (mode=b) on koodattu HSL:n rajalle asti normaaleina HSL-linjoina ja nimetty HSL:n linjojen normaalin nimeämiskäytännön mukaisesti. Ne siis pysähtyvät HSL-alueen kaikilla pysäkeillä. VALLU-versiot (mode=d) on koodattu kuten muutkin VALLU-linjat, ja ne pysähtyvät niin, että niillä ei voi tehdä HSL-alueen sisäisiä matkoja. Liitteessä 2 on esimerkki kuvauksesta.

Poikkeuksena ovat Helsingistä tai Vantaalta Tuusulan läpi Keravalle kulkevat linjat, jotka on koodattu ainoastaan HSL-linjoina. VALLU-versiot on poistettu, koska niillä on molemmat päätepiisteet HSL-alueen sisällä, joten pysähtymistietomakro ei toimi järkevästi. Sen sijaan HSL-linjoilla voi matkustaa myös Tuusulaan ja Tuusulasta, koska linjat pysähtyvät joka tapauksessa kaikilla pysäkeillä.

Kaksinkertaisesta koodauksesta ei sinänsä pitäisi olla haittaa verkon ja mallin käytölle, ainakaan niin kauan kuin matkustajamäärät eivät vaikuta linjojen toimintaan. Käytännössä matkustajat, jotka oikeasti ovat yhdessä bussissa, jakautuvat Emmessä kahdelle eri linjalle. U-linjojen matkustajamääriä analysoitaessa kaksinkertainen koodaus on tietysti syytä huomioida. Käytännön haittaa aiheutuu, jos Emmen perusteella yritetään arvioida joukkoliikenteen suoritteita (linjakilometrejä) kokonaisuutena, koska kaksinkertainen koodaus tuottaa luonnollisesti liikaa bussiliikenteen linjakilometrejä.

5.8.7 Kaukojunat

Nykytilanteen kaukojunat (mode=j) on koodattu HSL:ssä syksyn 2016 tilanteen mukaisesti. Mm. Turun junat pysähtyvät Leppävaarassa Espoon ja Kirkkonummen asemesta. Lisäksi Y-juna ei kulje enää Karjaalle, vaan ainoastaan Siuntioon. Malliin ei kuvattu junia, jotka eivät pysähdy verkon alueella (esimerkiksi Turun "superpikajunat," jotka pysähtyvät Pasilan jälkeen vasta Kupittaaalla).

Taulukko 25. Kaukojunalinjat ja niiden vuorovälit 2016 ja 2017.

linja	vuoroväli [min]					
	aamu klo 7-9		päivä klo 9-15		ilta klo 15-18	
	s1	s2	s1	s2	s1	s2
Karjaa-Hanko	120	120	120	120	120	120
Hki-Hämeenlinna R	999	60	999	999	60	999
Hki-Hämeenlinna IC	60	60	60	60	60	60
Hki-Salo IC	60	60	60	60	60	60
Hki-Lahti IC	60	60	120	120	60	60
Riihimäki-Lahti	60	60	60	60	60	60

5.8.8 VALLU-linjat

Vallu-linjat on poimittu rekisteristä kesällä 2016 ja ne kuvaavat suurin piirtein syksyn 2016 tilannetta.

VALLU-linjoja eli HSL-alueen ulkopuolisia ja HSL:n rajan ylittäviä bussilinjoja on koodattu kahdesta lähteestä. VALLU-rekisteri pitää sisällään lähes koko Suomen bussireitit ja vuorot, mutta siinä on jonkin verran puutteita mm. kuntien itse ostamien liikenteiden osalta. VALLUsta poimittiin mallialueen sisäiset ja mallialueen rajat ylittävät vuorot, ja lisäksi käsin koodattiin VALLUsta puuttuneet Hyvinkään, Riihimäen ja Järvenpään paikallisliikenteen linjat¹⁸.

VALLU-rekisterin aineistossa on paljon vuoroja, jotka Emme-verkon alueella kulkevat samaa reittiä. Linjojen määrän vähentämiseksi sisääntuloteiden vuoroja yhdisteltiin ennen Emmeen vientiä samaksi linjaksi, jos ne kulkivat (lähes) samaa reittiä. Yhdistelyn lisäksi karsittiin pois vuorot, jotka eivät kuvaa syksyn arkipäivää. Lopusta vuoroista muodostettiin linjoja, joille määritettiin Excel-tiedostoon vuorovälit (aikajakson pituus / lähtömäärä) verkolle vietäväksi.

VALLU-rekisteristä poimitut linjat vietiin Emmeen lopulta Emmen omalla reititystyökalulla, joka sovitaa paikkatietomuodossa olevan linjan mahdollisimman hyvin Emmen linkeille. Ennen työkalun käyttöä linjat nimettiin, jotta niillä olisi Emmessä yksiselitteinen tunnus, jonka avulla voidaan tarvittaessa liittää muuta tietoa, kuten vuorovälit.

Työkalun todettiin toimivan periaatteessa hyvin. Käytännössä tuli kuitenkin ongelmia niissä kohdissa, joissa Emmen verkkoa on yksinkertaistettu Digiroadiin nähden, jonka päälle VALLU-linjojen linjaukset on tehty. Tästä syystä verkon kuvausta muutettiin vastaamaan paremmin todellisuutta niissä kohdissa, joissa oli eniten ongelmia ja eniten linjoja (mm. useat eritasoliittymät). Kun verkkoa oli muutettu riittävästi, linjat tuotiin verkolle. Kaikkia kohtia ei saatu muutettua sellaisiksi, että automaattireititys olisi toiminut, joten linjat käytiin käsin läpi. Samalla tarkistettiin, että linjat kulkivat oikeaa reittiä eivätkä esimerkiksi rinnakkaistietä, ja että ne päättyivät oikeaan paikkaan. Esimerkiksi Kampin terminaalissa kaikki linjat päättyivät yhtä solmua liian aikaisin¹⁹. Verkolla useat linjat tekivät laajoja ympyröitä kesken matkan, koska ne oli eritasoliittymissä reititetty kahdelle käytännössä rinnakkaiselle linkille, ja ne tulivat siis uudelleen samaan kohtaan tehtyään pitkän lenkin. Nämä ja lukuisia pienempiä virheitä korjattiin.

VALLU-linjojen määrät ja vuoromäärät Helsingin sisääntuloteilla ovat karkeasti samalla tasolla kuin aiemmalla verkolla. Yksittäisillä suunnilla on muutoksia, mutta on vaikea arvioida, miltä osin ne johtuvat kilpailun avautumisesta seuranneista tarjontamuutoksista ja miltä osin muista syistä. Kilpailun avautumisesta johtuva tarjonnan aiempaa nopeampi vaihtelu (ja hintojen aiempaa suurempi vaihtelu) ainakin yksittäisillä suunnilla (tällä hetkellä ainakin Porvoon suunta) hankaloittanevat jatkossa sen arviointia, onko VALLU-liikenteen kuvaus verkossa oikealla tasolla.

5.8.9 Tulevaisuuden joukkoliikennelinjastot

Tulevaisuusverkkojen joukkoliikennelinjastot on koodattu HSL:ssä kevään 2017 aikana, osin tämän työn aikana ja osin tämän työn päätyttyä. Tulevaisuudesta on HLJ2015-skenaarioiden lisäksi kuvattu vuodet 2021 (Länsimetro Kivenlahteen), 2025–2026 (Laajasalon raitiovaunu + Espoon kaupunkirata Espooseen) ja 2030 (Pisara, metron automatisointi).

¹⁸ VALLUssa voi olla muitakin puutteita. Puutteita ei selvitetty systemaattisesti, mutta toisaalta VALLUsta saatiin nyt jonkin verran enemmän linjoja kuin vanhoilla verkoilla oli.

¹⁹ Jos prosessi toistetaan, Kampin kaukoliikenneterminaalialueen kuvaavaa solmua kannattaa siirtää.

5.9 Muut verkolliset tekijät

5.9.1 Pyöräliikenteen verkko

Pyöräliikenne on otettu huomioon kulkutapana verkolla, mutta erityistä pyöräliikenteen verkkoa ei vuonna 2017 tehdyn verkon tarkistustyön yhteydessä vielä koodattu. Käytännössä pyöräily on verkossa sallittu kaikkialla missä kävelykin, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Muutamissa paikoissa on erikseen estetty pyöräily, jos se ei ole todellisuudessa mahdollista (mm. Suomenlinnaan ei pääse pyörällä eikä jalankulkijana, vaan on tehtävä joukkoliikennematka lautalla), mutta tällaisia tapauksia ei ole systemaattisesti käyty läpi.

Työssä on verrattu Emme-verkon sijoittelualueparien välisiä kevyen liikenteen matkan pituuksia Open Street Mapin verkolta pyörätieverkkoa pitkin laskettuihin etäisyyksiin. Suurimpien eroavaisuuksien kohdalla on täydennetty Emmen kävely- ja pyöräilyverkkoa. Moottori- ja kehäteiden varsin kevyen liikenteen väylästä ei ole käyty läpi, vaan pyöräily on sallittua moottoritienmäisten väylien linkeillä molempiin suuntiin samoin kuin kävelykin. Tämä onkin järkevää, jos moottoritien rinnalla tai läheisyydessä kulkee kevyen liikenteen väylä. Muussa tapauksessa saattaa syntyä liian lyhyitä yhteyksiä, mutta näitä ei siis lähdetty tarkistamaan eikä poistamaan. Tältä osin kuvausta ei siis ole muutettu, vaan se on jätetty myöhemmin tehtäväksi.

Pyöräliikenteen verkkoa ei erikseen koodattu, koska katsottiin, että tarkoituksenmukainen pyöräverkon kuvaus riippuu siitä, miten pyöräliikennettä jatkossa mallinnetaan.

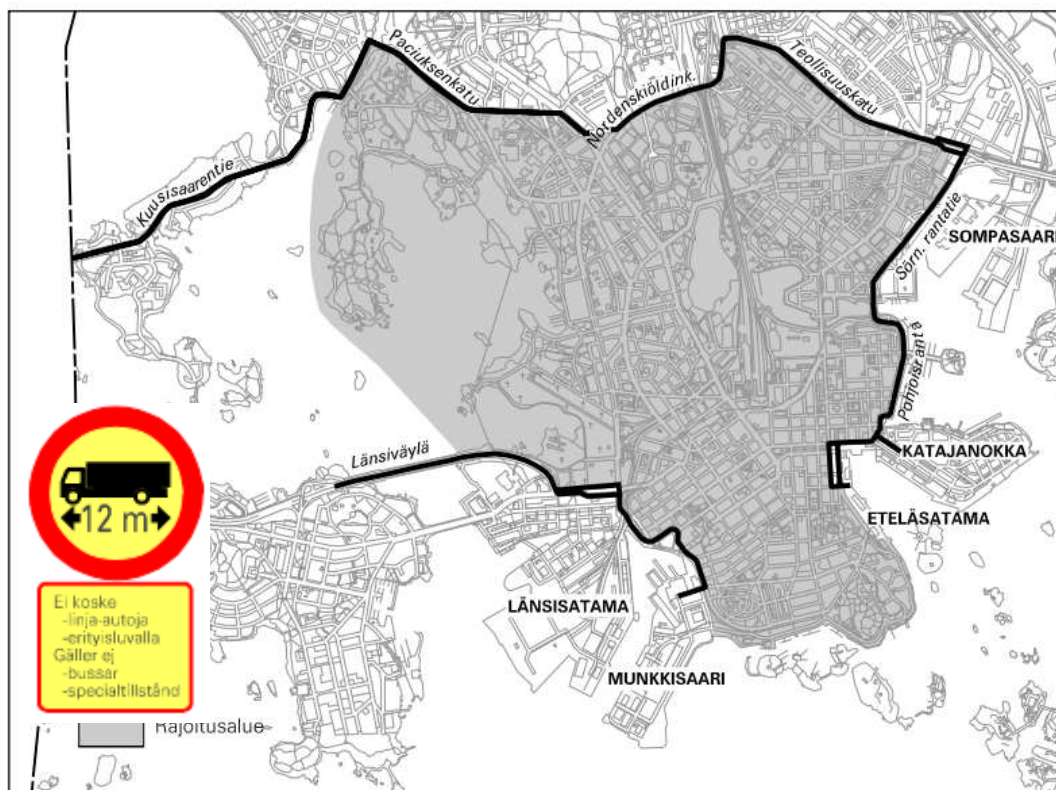
Sittemmin HELMET-versiossa 3.1 on tarkistettu ja täydennetty pyöräverkkoa sekä kehitetty nykyistä parempi loppusijoittelu, jossa voidaan ottaa huomioon mm. laatutekijöitä. Käytetyt pyörätieluokkakoodit ja viivytysfunktiot, ks. Taulukko 15 sivulla 39.

5.9.2 Keskustan huoltotunneli ja raskaan liikenteen rajoitukset Helsingin keskustassa
Tavaraliikenteen kulkutapojen (v, k, y) lisäämisen seurauksena verkolle kuvattiin myös Helsingin keskustan huoltotunneli sekä Helsingin keskustan raskaan liikenteen (yli 12-metrinen ajoneuvojen) rajoitusalue. Jos jatkossa sijoittelumenetelmän kehittämisen yhteydessä otetaan käyttöön kuorma-autoliikenteelle erityisiä sijoittelumenettelyjä, kannattaa huoltotunnelin ja rajoitusten toimivuutta tarkastella tarkemmin.

Keskustan huoltotunneli²⁰ on kuvattu verkolle kulkutapayhdistelmällä cvk. Ideaalisti siellä olisi sallittu vain huoltoliikenne (vk), mutta teknisistä syistä (oltava aina primary class) myös autokulkutapa c on sallittava. Toisaalta jokin määrä autoilijoita käyttänee huoltotunnelia läpiajoon ruuhka-aikana niin kauan kuin sitä ei valvota ja sakoteta. Vapaaksi nopeudeksi verkolle on nyt koodattu 15 km/h, jotta tunneliin ei menisi liikaa autoja, mutta tätä voi jatkossa olla tarvetta säätää (todellinen nopeusrajoitus tunnelissa on 30 km/h). Käytännössä keskustan huoltotunnelin käyttö nykytilanteessa on melko vähäistä, mutta tilanne voi jatkossa muuttua. Lisäksi huoltotunneli kannattaa huomioida, jos pysäköintilaitoksia lähdetään kuvaamaan verkolle, koska sisäänajot ovat osin yhteisiä.

²⁰ Lähde sijainnin osalta Saanio & Riekkola 2008 ja muiden asioiden osalta Ovenia 2015.

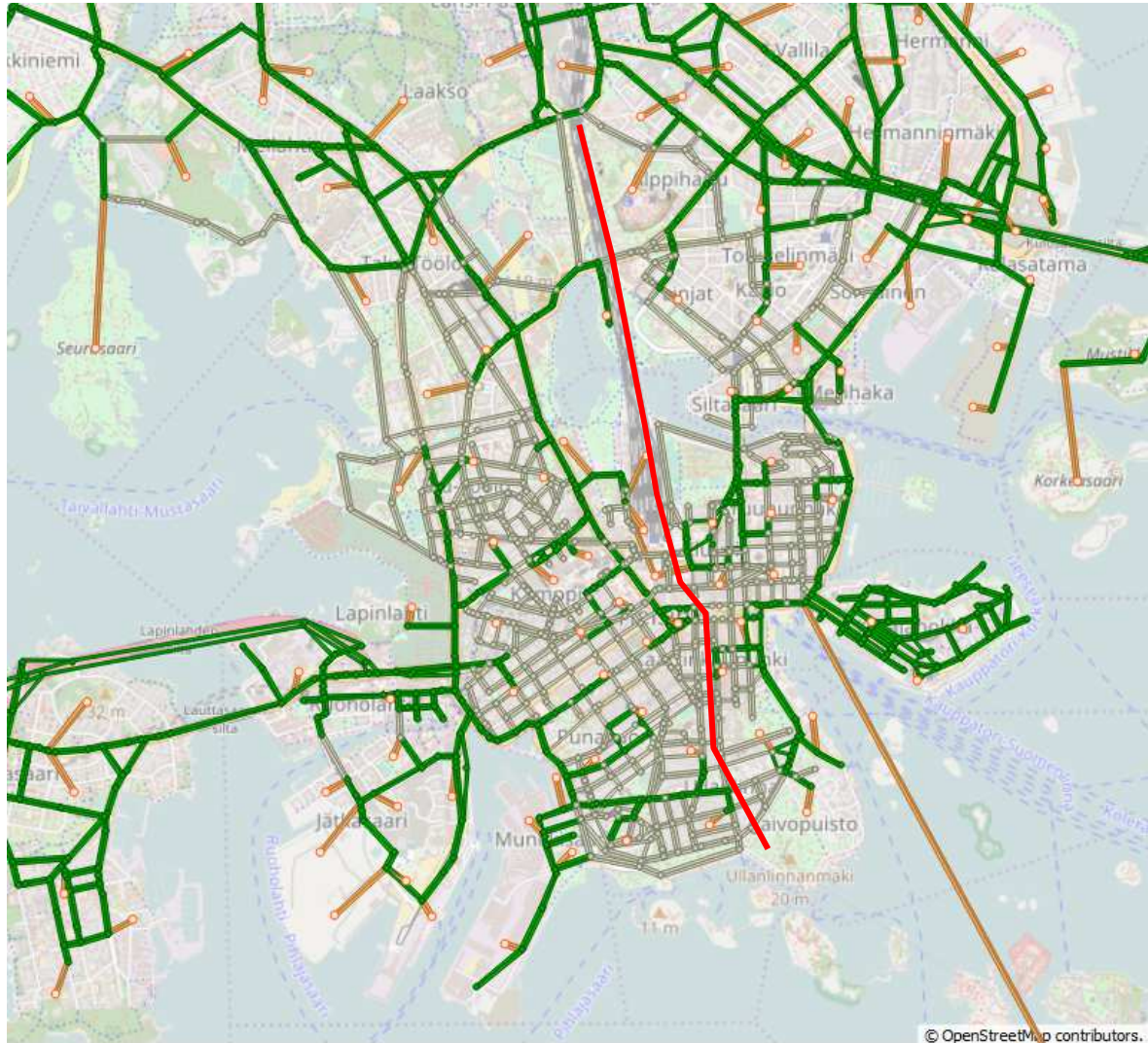
Helsingin keskustan raskaan liikenteen rajoitusalue koskee yli 12 metriä pitkiä ajoneuvoja (ei busseja), ks. seuraava kuva²¹. Mustalla viivalla merkittyä aluetta reunustavia katuja pitkin saa ajaa.



Kuva 10. Helsingin raskaan liikenteen rajoitusalue.

Verkolle rajoitusalue on kuvattu asettamalla rajoituksia y-kuljutavalle (perävaunulliset kuorma-autot), eli käytännössä poistamalla y-kuljutapa osalta linkkejä. Rajoitusaluetta ei voi kuvata kieltämällä y-kuljutapa kokonaan rajoitusalueella, koska myös y-kuljutavalla on oltava reitti jokaiseen sentroidiin. Niinpä y-kuljutapa on sallittu pääkaduilla sekä siten, että jokaiseen sentroidiin pääsee jotakin reittiä (Kuva 11). Y-kuljutapa on sallittu vihreillä ja oransseilla linkeillä. Oranssit linkit ovat syöttölinkkejä, joilla autokuljutavat on sallittu. Jotta keskustan läpiajo ei ole mahdollista (kuvan punaisen viivan yli), itäisiä alueita lähestytään idästä ja läntisiä alueita lännestä (joillekin alueille voi päästä molemmista suunnista).

²¹ Helsingin kaupunki: Raskaan liikenteen erityislupa Helsingin kantakaupunkiin (<http://www.hel.fi/www/helsinki/fi/kaupunki-ja-hallinto/hallinto/palvelut/asiointipalvelu?id=1557>)
Kartta: <http://www.hel.fi/static/ksv/lomakkeet/rajoitusalue.pdf>



Kuva 11. Helsingin keskustan raskaan liikenteen rajoitusalue Emmessä.

5.9.3 Ruuhkamaksut

Tämä kohta on muokattu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavasta kohdasta.

Ruuhkamaksu kuvataan liikenneverkolle halutuille linkeille erilliseen extra-attribuuttiin *@hinta* yksikössä euroa/kilometri. Kun tämä kerrotaan linkin pituudella, saadaan linkin ajamisen hinta (euroissa) attribuuttiin *@ruma*. Attribuuttiin *@ruma* voidaan syöttää myös portilla maksettavan tietullin suuruus.

HLJ 2015:ssä tutkittiin myös liikenteen hinnoittelua, joten vuosien 2025, 2040 ja 2050 luonnosskenaarioissa (v1L) oli ruuhkamaksu, jonka suuruus vaihteli aikajakson mukaan 0–0,08 e/km. Nykytilanteen verkoilla ja vertailuvaihtoehdoissa (v0N) ruuhkamaksun suuruus oli 0 e/km. MAL 2019:n ennusteskanaarioissa hinnoittelu perustuu tulliporilla veloitettaviin tietulleihin. Liikenne-ennustejärjestelmä mahdollistaa kuitenkin myös kilometripohjaisten maksujen käsittelyn.

6 Aluejaot 2016

Tämä luku perustuu pitkälti muistoon Rantala ym. 2017.

6.1 Sijoittelualuejaon tarkennus

Sijoittelualuejakoa tarkistettiin työssä Helsingin seudun 14 kunnan alueella. Ympäryskuntien aluejakoja ei muutettu kuin numeroinnin osalta (numeroinnista on kerrottu tarkemmin luvussa 6.4). Sijoittelualuejaon tarkistus tehtiin vuorovaikutuksessa kuntien edustajien kanssa. Aluksi kuntiin lähetettiin ohjeet ja pyydettiin kuntia toimittamaan sijoittelualuejako, ja sitten tarpeen mukaan neuvottiin kuntia ja neuvoteltiin niiden kanssa. Kuntien lähettämät ehdotukset tarkistettiin ja pyydettiin tarpeen mukaan korjauksia ja täydennyksiä. Jos kunnassa ei ollut resursseja tuottaa sijoittelualuejakoa itse, kuntaan lähetettiin aluejakoehdotus tarkistettavaksi ja hyväksyttäväksi. Lopulliset aluejaot yhdistettiin WSP:ssä yhdeksi paikkatietotiedostoksi.

Yleiset tavoitteet, jotka kuntiin lähetettiin, olivat seuraavat:

- Kuntien omista aluejaoista olisi mahdollista muodostaa joko sellaisenaan tai yhdistelemällä ennustejärjestelmän aluejako. Tavoitteena on, että liikennemalleissa käytetty sijoittelualuejako ei itsessään aiheuttaisi ylimääräistä vaivaa väestö- ja työpaikkaennusteiden tuottamisessa. Siksi on hyvä, että sijoittelualuejako olisi muodostettavissa aina yhdestä tai useammasta kunnan käyttämän aluejaon mukaisesta alueesta.
- Yhden sijoittelualueen väestö- ja työpaikkamäärä ei nykytilanteessa eikä ennustetilanteessa (10–30 vuotta eteenpäin) ylittäisi merkittävästi 5000 asukasta + työpaikkaa yhteensä.
- Jokainen nykyinen tai suunnitteilla oleva raideliikenteen asemanseutu muodostaisi oman alueensa siten, että yhdellä sijoittelualueella on enintään yksi raskaan raideliikenteen asema.
- Jokainen sijoittelualue muodostaa liikenneverkon kannalta ehyen kokonaisuuden niin, että alue on luontevasti kytkettävissä tieliikenneverkkoihin.
- Nykyistä sijoittelualuejakoa ei tarvitse ehdoin tahdoin muuttaa, jos edellä mainitut periaatteet täyttyvät.

Käytännössä pohjana toimivat lisäksi kunnan pienaluejako ja tarvittaessa vanha sijoittelualuejako (ja sen väestö- ja työpaikkamäärät), väestö- ja työpaikkamäärään sekä pinta-alaan perustuva tavoitteellinen aluemäärä sekä ennakoitua maankäytön muutokset. Kun tavoitteena oli tasapainoinen aluejako, jossa alueet eivät ole liian suuria niin pinta-alaltaan, asukasluvultaan kuin työpaikkamäärältään, sijoittelualuejako on tiheämpi taajama-alueilla kuin haja-asutusalueilla.

Kaikki tavoitteet eivät kaikkialla täyty, mutta sijoittelualueiden kasvanut määrä (ks. Taulukko 26) tarkentaa joka tapauksessa verkkoa. Kuntien pienaluejaot ovat hieman erilaisia ja osa sijoittelualuejaoista muodostettiin kunnan ja osa WSP:n ehdotuksen pohjalta, ks. tarkemmin Taulukko 27.

Taulukko 26. Sijoittelualueiden määrät Helsingin seudun 14 kunnassa.

kunta	sijoittelualueiden määrä aiemmin (2013)	sijoittelualueiden määrä nyt (2016)
Espoo	172	253
Helsinki	275	381
Hyvinkää	35	127
Järvenpää	25	63
Kauniainen	5	9
Kerava	10	58
Kirkkonummi	17	68
Mäntsälä	33	68
Nurmijärvi	38	144
Pornainen	3	10
Sipoo	54	111
Tuusula	44	112
Vantaa	159	258
Vihti	21	91
14 kuntaa yhteensä	891	1753
ympäryskunnat yhteensä	165	165
kaikki yhteensä	1056	1918

Vuonna 2019 liikenne-ennustejärjestelmää (Helmet 3.1) laajennettiin 10 uuteen ympäryskuntaan, jolloin sijoittelualueiden määrä kasvoi ympäryskunnissa 165:stä 224:än. Helsingin seudulla sijoittelualueiden määrä ei muuttunut.

Taulukko 27. Sijoittelualuejaon muodostus kunnittain.

kunta	selitys
Espoo	Kunnan oma ehdotus: pienaluejakoon pohjautuvan vanhan sijoittelualuejaon tihennys.
Helsinki	Kunnan oma ehdotus: pääosin pienaluejaon tihennys, mutta tehtynä eri tavoin kuin vanhassa sijoittelualuejaossa.
Hyvinkää	Hyvinkään keskustaajaman alueella kunnan pienaluejako, muualla Hyvinkään liikennemallin aluejako (tihennetty pienaluejaosta).
Järvenpää	Kunnan oma ehdotus: pienaluejaon tihennys.
Kauniainen	Pienaluejako.
Kerava	Kunnan oma ehdotus: pienaluejaon tihennys.
Kirkkonummi	WSP:n ehdotus: pienaluejaon tihennys, jossa keskusta-alueilla on pyritty noudattamaan osayleiskaavojen maankäytöllisten alueiden rajoja.
Mäntsälä	Kunnan ja WSP:n yhteistyönä: pienaluejaon tihennys, jossa suurimpien alueiden pilkkomiseksi on noudatettu osin osayleiskaavan maankäytöllisten alueiden rajoja taajamissa, vesistörajoja ja teitä.
Nurmijärvi	WSP:n ehdotus: lähtökohtana pienaluejako, jota on tihennetty pinta-alaltaan suurilla alueilla, jotka yhdistyivät liikenneverkkoon huonosti; keskusta-alueilla taas pienaluejako on ollut liiankin tiheä tähän tarkoitukseen, joten siellä alueita on yhdistelty.
Pornainen	Pienaluejako.
Sipoo	Kunnan oma ehdotus: pienaluejaon tihennys, tehtynä eri tavoin ja tiheämmin kuin vanhassa sijoittelualuejaossa.
Tuusula	WSP:n ehdotus: pienaluejaon tihennys.
Vantaa	Kunnan oma ehdotus: pääosin pienaluejaon tihennys, mutta tehtynä eri tavoin kuin vanhassa sijoittelualuejaossa.
Vihti	WSP:n ehdotus: lähtökohtana pienaluejako, jota on tihennetty pinta-alaltaan suurilla alueilla, jotka yhdistyivät liikenneverkkoon huonosti.

6.2 Sentroidit ja syöttölinkit

Kun Helsingin seudun 14 kunnan uudet sijoittelualueet oli saatu muodostettua, ne vietiin verkon sentroideiksi. Sentroidien sijoittamista pohdittiin kahden vaihtoehdon välillä: vanhaa käytäntöä noudatteleva tapa, jossa sentroidi asetetaan sijoittelualueen (maapinta-alan) maantieteelliseen keskipisteeseen, ja maankäytön sijoittumisen huomioiva tapa, jossa sentroidi asetetaan sijoittelualueen väestökeskipisteeseen. Väestökeskipisteeseen perustuvaa tapaa testattiin, mutta sen lukuisten käytännön huonojen puolien takia (Taulukko 28) päädyttiin käyttämään vanhan kaltaista tapaa. Ympäryskunnissa sentroidien paikkoja ei muutettu, sentroidit vain numeroitiin uudelleen.

Taulukko 28. Sentroidien sijoittamisvaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet.

sentroidin peruste	hyvät puolet	huonot puolet
maantieteellinen keskipiste	• käytetty vanhalla verkolla, ympäryskuntien sentroidit kelpaavat sellaiseen • helppo tuottaa	• ei kuvaa maankäytön sijoittumista, joten suurilla alueilla matkanpituudet epätarkemmat
väestökeskipiste	• kuvaa väestön sijoittumista (nykyisin), joten matkapi- tuudet ovat oike- ammat	• jos väestön sijainti muuttuu paljon, pitäisi sentroidin paikka määrittää uudelleen (tulevai- suusverkoissa systemaattisesti) • laskemiseen ei pienillä sijoittelualueilla kelpaa ruututasoinen väestö, vaan pitäisi käyttää ra- kennustasoista väestöä, jota ei ole saatavilla helposti kaikkialta eikä tuleville vuosille • kuvaa vain väestöä, ei kaikkea maankäyttöä -> esim. työpaikkavaltaisilla aluilla ei kuvaa maan- käytön painopistettä • jos väestöä ei ole (esim. työpaikka-alueet ja ke- hittyvät alueet), sentroidin paikka määrittävä erikseen • -> paljon erikoistapauksia, jotka olisi huomioi- tava käytännön määrittämisessä

Verkolle tuodut 14 kunnan sentroidit liitettiin verkkoon syöttölinkein. Ympäryskuntien ja ulkosyöttö- jen sentroidien syöttölinkkien ominaisuudet tarkistettiin uusien määrittelyjen mukaisiksi. Sijoittelu- alueita kuvaavista solmuista on verkoille kahdenlaisia konnektoreita: "autosyöttölinkkejä" (joilla myös kävely ja pyöräily on sallittu) sekä "kävelyn ja pyöräilyn syöttölinkkejä", joilla autoilu ei ole sal- littu. Autosyöttölinkkejä lähtee kultakin alueelta pääsääntöisesti vain yksi, ja sen lisäksi on kävelyn ja pyöräilyn syöttölinkkejä eri suuntiin. Tässä yritettiin noudatella vanhan verkon periaatteita. Tihe- ästi asutuilla alueilla, joilla verkkokin on tiheä, on usein neljä syöttölinkkiä (yksi joka suuntaan), ja harvaan asutuilla alueilla taas on usein järkevää, että syöttölinkkejä on yksi tai kaksi (vain lähim- mälle tielle). Syöttölinkkien ei tulisi mennä suoraan moottoritielle tai raideliikenteen asemille.

14 kunnan uudet syöttölinkit luotiin ensin automaattisesti, ja sitten niitä korjattiin käsin. Automaatti- menetelmää käytettiin erikseen tiheimmin asutuille kunnille (PKS ja Kerava) ja muille yhdeksälle kunnalle. Molemmilla alueilla syöttölinkkejä luotiin korkeintaan kolmen kilometrin päässä sentroidista oleviin solmuihin. Samoin tarkistettiin, ettei mikään syöttölinkki ole suhteettoman pitkä, eli yli viisi kertaa niin pitkä kuin lyhin ko. sentroidista lähtevä syöttölinkki.

PK-seudulla ja Keravalla luotiin ensin "autosyöttölinkki" lähimpään bussipysäkkisolmuun ($ui2 = 2, 3, 4, 5$) – näin syötöt saatiin mieluummin liittymien ulkopuolelle kuin liittymiin. Moottori- ja kehäteillä ($vdf = 1$ tai 2) olevat solmut rajattiin pois. Sen jälkeen luotiin kolmeen muuhun ilmansuuntaan käve- lyn ja pyöräilyn syöttölinkki lähimpään "autosolmuun" ($ui2 = 0, 2, 3, 4, 5, 20$) – moottori- ja kehä- teillä olevat solmut rajattiin edelleen pois.

Muissa yhdeksässä kunnassa bussipysäkit ja liittymät ovat paljon useammin samoissa solmuissa, ja toisaalta lähin bussipysäkki voi olla kaukana. Siksi siellä luotiin neljä syöttölinkkiä eri ilmansuuntiin bussipysäkkejä erikseen huomioimatta, eli lähimpiin "autosolmuihin" ($ui2 = 0, 2, 3, 4, 5, 20$). Koska $vdf = 2$ kehäteiden lisäksi maanteillä, rajattiin pois vain moottoritiet ($vdf = 1$). Eri suuntiin luoduista neljästä linkistä lyhyin valittiin autosyöttölinkiksi, ja lopuista tuli kävelyn ja pyöräilyn syöttölinkkejä.

Linkkien luomisen jälkeen käytiin käsin läpi 14 kunnan alueella, ettei syöttölinkkejä mene ratojen, moottori- ja kehäteiden eikä suurimpien vesistöjen yli. Samoin haja-asutusalueilla poistettiin syöttölinkkejä, jotka menivät asumattomien ja tiettömien alueiden halki niin, että jäljelle jäi 1–2 syöttölinkkiä sentroidia kohti. Taajamien kaikkia sentroideja ei käyty systemaattisesti läpi Helsingin keskustaa lukuun ottamatta, joten edellä kuvatut automaattiset rajaukset ovat luultavasti tuottaneet yksittäisiä outoja syöttölinkkejä, joita jouduttaneen korjaamaan sitä mukaa kuin sellaisia tulee vastaan. Esimerkiksi autosyöttölinkin tekeminen lähimpään bussipysäkkisolmuun voi tuottaa liian pitkiä syöttölinkkejä, jos bussipysäkkiä ei jostain syystä ole sattunut lähelle. Syöttölinkkien korjaamisessa ja uusien syöttölinkkien tekemisessä käsin ei siten ole noudatettu eikä kannata jatkossakaan täysin noudattaa samoja periaatteita kuin syöttölinkkien automaattisessa tuottamisessa.

6.3 Ennustealuejaon tarkennus

Sijoittelualuejaon tarkennusta tehdessä selvisi, että joissakin kunnissa pienaluejaot ovat muuttuneet niin paljon, että uudet, uusien pienaluejakojen pohjalta tehtävät sijoittelualueet eivät summaudu vanhoiksi ennustealueiksi. Lisäksi ennuste- ja sijoittelualueiden numerointi oli päätetty sitoa toisiinsa. Muun muassa näistä syistä päätettiin myös ennustealuejakoa tarkentaa tässä samassa yhteydessä Helsingin seudun 14 kunnan osalta. Tavoitteena oli myös lisätä ennustealueiden määrää kehyskunnissa (Taulukko 29), missä ennustealueet ovat olleet pinta-alaltaan huomattavasti suurempia kuin pääkaupunkiseudulla, ja siten parantaa vastusten tarkkuutta ja ennusteiden laatua.

Helsinki oli laatinut oman ehdotuksensa uudeksi ennustealuejaoksi sijoittelualuejaon tarkennuksen yhteydessä. Espoossa taas oli toivottu, että ennustealuejako pohjautuisi pienaluejakoon, ja pienaluejako todettiin soveltuvaksi lähtökohdaksi suurimmassa osassa muitakin 14 kuntaa (ks. Taulukko 30).

Taulukko 29. Ennustealueiden määrät Helsingin seudun 14 kunnassa.

kunta	ennustealueiden määrä aiemmin (2013)	ennustealueiden määrä nyt (2016)
Espoo	38	93
Helsinki	74	78
Hyvinkää	5	43
Järvenpää	5	29
Kauniainen	1	4
Kerava	5	21
Kirkkonummi	8	30
Mäntsälä	7	36
Nurmijärvi	11	47
Pornainen	3	10
Sipoo	11	40
Tuusula	8	49
Vantaa	37	82
Vihti	12	50
14 kuntaa yhteensä	225	612
ympäryskunnat yhteensä	42	42
kaikki yhteensä	267	654

Taulukko 30. Ennustealuejaon muodostus kunnittain.

kunta	selitys
Espoo	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. asemien ympäristössä.
Helsinki	Helsingin oman ehdotuksen mukaan.
Vantaa	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. asemien ympäristössä.
Kirkkonummi	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. keskustassa ja isoimpia tihennetty.
Vihti	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. keskustassa (ei yhtä tiheä kuin pienaluejako), ja isoimpia alueita tihennetty.
Nurmijärvi	Sijoittelualuejako on lähes sama kuin pienaluejako. Ennustealuejako on muodostettu tihentämällä vanhaa ennustealuejakoa niin, että alueet ovat suunnilleen samankokoisia.
Mäntsälä	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. keskustassa ja isoimpia alueita tihennetty.
Järvenpää	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. keskustassa ja isoimpia alueita tihennetty.
Pornainen	Ennustealueet samat kuin sijoittelualueet.
Sipoo	Pienalueet lähtökohtana, joitain alueita tihennetty (mm. keskustat, isommat alueet).
Kerava	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia (mm. keskustassa).
Hyvinkää	Pienalueet lähtökohtana, joitain poikkeuksia mm. isoimpia alueita tihennetty. Keskustassa pienaluejako niin tiheä, että sitä on harvennettu.
Tuusula	Sijoittelualuejako on lähes sama kuin pienaluejako. Ennustealuejako on muodostettu tihentämällä vanhaa ennustealuejakoa niin, että alueet suunnilleen samankokoisia.

6.4 Ennuste- ja sijoittelualueiden numerointi

Ennuste- ja sijoittelualueet on työssä numeroitu uudelleen alempana mainittuja periaatteita noudattaen. Kuntakohtaisessa numeroinnissa on huomioitu vuoden 2008 jälkeen tapahtuneet kuntaliitokset (Taulukko 31). Numerointiperiaatteiden muutosten ja kuntaliitosten seurauksena myös ympäryskuntien alueet on numeroitu uudelleen, vaikka alueiden määrä ja rajat eivät ole muuttuneet²². Tällöin on samalla vapautunut numeroita Emmen solmunumeroavaruudessa (ks. luku 4.3). Uuden ja vanhan numeroinnin (käytössä olevat koodit) vertailu on liitteessä 3.

Taulukko 31. Kuntaliitokset mallialueella vuoden 2008 jälkeen.

kunta (muutosvuosi)	vuoden 2008 kunnat, joista muodostunut	"numero- etuliite", vanha	"numero- etuliite", uusi
Raasepori (2009)	Tammisaari, Pohja ja Karjaa	16, 17, 18	17
Lohja (2009 ja 2013)	Lohja, Sammatti (2009), Karjalohja (2013), Nummi-Pusula (2013)	19, 21, 22, 23	19
Loviisan kau- punki (2010)	Pernaja, Liljendal, Ruotsinpyhtää ja Loviisa (Huom: Koillisosa Ruotsinpyhtäästä liitettiin Pyhtääseen, joka on mallialueen ulkopuolella -> aluerajat on muutettu uuden kuntajaon mukaiseksi.)	33, 34, 36, 37	30

Ennuste- ja sijoittelualueet on numeroitu kunnittain taulukon 32 mukaisesti. Lisäksi on noudatettu seuraavia periaatteita:

- Jos ennustealueella EEE on vain yksi sijoittelualue, sen numeroksi tulee EEE0.
- Jos ennustealueella EEE on 2-7 sijoittelualuetta, ne numeroidaan EEE1–7.
- Jos ennustealueella EEE on vähintään 8 sijoittelualuetta, ne numeroidaan EEE1–9 ja sitten (EEE+1)1–9 (jotta nollaan päättyvät tarkoittavat aina sitä, että sijoittelualue = ennustealue). Toisin sanoen hypätään seuraavan ennustealueen numeron yli eli ennustealuetta EEE+1 ei ole olemassa (näin varaudutaan siihen, että ennustealueen sisälle voidaan lisätä muutama sijoittelualue ja silti säilyttää numerointi).

Koska Helsingissä, Espoossa ja Vantaalla on nyt lähes sata ennustealuetta, näille kunnille on varattu tulevia tihennystarpeita varten kaksi satalukua. Vielä Helsingin esikaupungeissa, Espoossa ja Vantaalla ennustealueiden numerot ovat kuitenkin samalla sataluvulla kuin ennenkin eli 100...199, 200...299 ja 400...499 vastaavasti. Sen sijaan kehyskunnissa etuliitteet ovat kasvaneet yhdellä eli 600...1599 (ennen 500...1499).

Ympäryskunnissa ennustealueiden numerot etenevät kunnan sisällä samassa järjestyksessä kuin ennenkin (huomioiden kuntaliitokset). Helsingin ennustealueet on numeroitu Helsingin itse määrittelemässä järjestyksessä²³. Helsinkiä lukuun ottamatta 14 kunnassa ennustealueet on pyritty numeroimaan niin, että peräkkäiset ennustealueet muodostavat suuralueen²⁴. Aina numeroiltaan peräkkäiset suuralueet eivät ole vierekkäin, jolloin on valittu lähestymistapa, jossa suuralueet eivät

²² Lukuun ottamatta Ruotsinpyhtää, jonka koillisia osia liitettiin mallialueen ulkopuolella olevaan Pyhtääseen, kun pääosa kunnasta liitettiin Loviisaan. Tämä poikkeus on huomioitu poistamalla sijoittelu- ja ennustealueista Pyhtääseen liitetyt osat.

²³ Vastaa melko pitkälti Helsingin vanhaa numerointisysteemiä.

²⁴ Kaikissa kunnissa tämä ei ollut mahdollista, koska joissakin kunnissa suuralueita on vain 1.

etene järjestyksessä, mutta peräisillä numeroilla olevat ennustealueet olisivat vierekkäin, jotta alueet on helpompi löytää²⁵.

Taulukko 32. Sijoittelu- ja ennustealueiden numerointi kunnittain.

kunta (2016)	vanha kuntatunnus	uusi kunta-tunnus	ennustealueiden numerot	sijoittelualueiden numerot
Helsinki	1	0, 1	10–99, 100–199	100–999, 1000–1999
Espoo	2	2–3.4	200–349	2000–3499
Kauniainen	3	3.5	350–399	3500–3999
Vantaa	4	4, 5	400–599	4000–5999
Kirkkonummi	5	6	600–699	6000–6999
Vihti	6	7	700–799	7000–7999
Nurmijärvi	7	8	800–899	8000–8999
Tuusula	8	9	900–999	9000–9999
Kerava	9	10	1000–1099	10000–10999
Järvenpää	10	11	1100–1199	11000–11999
Sipoo	11	12	1200–1299	12000–12999
Mäntsälä	12	13	1300–1399	13000–13999
Hyvinkää	13	14	1400–1499	14000–14999
Pornainen	14	15	1500–1599	15000–15999
Hanko	15	16	1600–1699	16000–16999
Raasepori	16–18	17	1700–1799	17000–16999
Inkoo	20	18	1801–1899	18000–18999
Lohja	19, 21–23	19	1900–1908	19000–19999
Siuntio	24	20	2000–2099	20000–20999
Karkkila	25	21	2100–2199	21000–21999
Loppi	26	22	2200–2299	22000–22999
Riihimäki	27	23	2300–2399	23000–23999
Hausjärvi	28	24	2400–2499	24000–24999
Pukkila	29	25	2500–2599	25000–25999
Askola	30	26	2600–2699	26000–26999
Porvoo	31	27	2700–2799	27000–27999
Myrskylä	32	28	2800–2899	28000–28999
Lapinjärvi	35	29	2900–2999	29000–29999
Loviisa	33–34, 36–37	30	3000–3099	30000–30999

Vuonna 2019 liikenne-ennustejärjestelmää (Helmet 3.1) laajennettiin 10 uuteen ympäryskuntaan, jolloin sijoittelualueiden määrä kasvoi ympäryskunnissa 165:stä 224:än. Samassa yhteydessä joillekin ympäryskunnille varattiin vain 500 numeroa tuhannen asemesta, jotta ulkosyöttöjen numerot voitiin pitää ennallaan. Niinpä joidenkin ympäryskuntien kuntatunnus on muuttunut, ks. Taulukko 49. Helsingin seudulla sijoittelualueiden määrä ja numerointi eivät muuttuneet vuoden 2016 koodeihin verrattuna.

²⁵ Kuitenkin alueiden määrä huomioiden yksittäinen alue on helpointa löytää paikkatieto-ohjelman tai Emmen hakutoiminnolla.

6.5 Jakoluvut

Jakolukuja tarvitaan, kun ennustealuejaossa olevia matkamatriiseja hajotetaan eli muutetaan sijoittelualuejakoon. Niitä käytetään myös, kun sijoittelusta saatavia vastuksia aggregoidaan ennustealuejakoon. Työssä tuotettiin jakoluvut vanhoilta (vuoden 2013) ja uusilta ennustealueilta uusille sijoittelualueille²⁶. Jakoluvut tuotettiin YKR-tietojen perusteella (vuoden 2014 väestö ja vuoden 2012 työpaikat). Sijoittelualueille laskettiin ruuduista väestö- ja työpaikkamäärät. Useammalle sijoittelualueelle osuvien ruutujen väestö ja työpaikat jaettiin sijoittelualueiden pinta-alan suhteessa ko. sijoittelualueille.

Jakoluvut laskettiin HELMET-mallityössä²⁷ tuotettujen matkatuotoslukujen perusteella (Taulukko 33). Jakoluvut ovat erikseen eri aikajaksoille (AHT, PT, IHT), mutta samat eri kulkutavoille. Jakoluku on $(r1 \cdot \text{asukkaat} + r2 \cdot \text{työpaikat})$, missä $r1$ ja $r2$ ovat taulukon mukaiset kertoimet, $r1 = \text{matkaa/asukas}$ ja $r2 = \text{matkaa/työpaikka}$.

Taulukko 33. Jakolukujen laskennassa käytetyt matkatuotosluvut

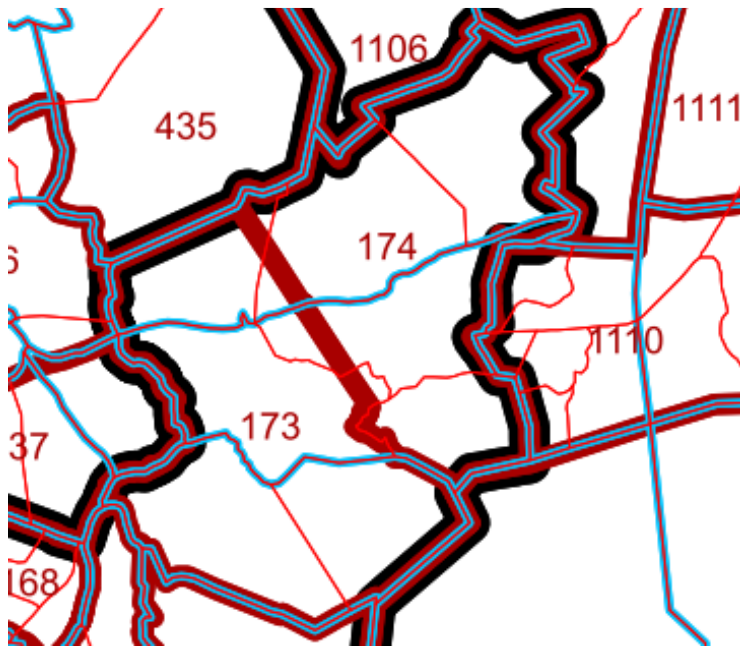
Matkaa/asukas		Matkaa/työpaikka	
VRK (läht.+saap.)	2,28	VRK (läht.+saap.)	2,2
AHT lähtevät	0,335	AHT lähtevät	0,022
AHT saapuvat	0,023	AHT saapuvat	0,570
IHT lähtevät	0,112	IHT lähtevät	0,513
IHT saapuvat	0,306	IHT saapuvat	0,029
PT lähtevät	0,057	PT lähtevät	0,055
PT saapuvat	0,057	PT saapuvat	0,055

Kun vanhan (vuoden 2013) ennustealuejaon mukaisia matriiseja muunnetaan jakolukujen avulla uuteen sijoittelualuejakoon, on huomioitava, että joissakin kunnissa uudet sijoittelualueet eivät summaudu vanhoiksi ennustealueiksi. Esimerkiksi Östersundomissa (ks. seuraava kuva) uudet sijoittelualueet (ohut punainen viiva) eivät summaudu vanhoiksi ennustealueiksi (paksu punainen viiva). Uudet ennustealueet ovat sinisellä.

Jos rajoissa on eroja, on päätelty sijoittelualueen keskipisteen perusteella, mille vanhalle ennustealueelle se kuuluu, mikä tuottaa epätarkkuutta liikenteen jakoon verkolle. Koko seudun mittakaavassa ongelma tuskin on kovin suuri, mutta paikallisempiin tarkasteluihin näitä jakolukuja ei suositella. Ongelmia summautumisessa on Helsingissä yksittäisissä kohdissa sekä Kirkkonummella ja Vihdissä koko kunnan osalta.

²⁶ Samalla tuotettiin myös Excel- ja Emme-formaateissa gq-aggregaatiot (ennustealue 2016), joista selviää, mikä sijoittelualue kuuluu mihinkin ennustealueeseen.

²⁷ Raportin HSL 2011 osan A (Pastinen ym. 2011) kohdassa 4.6 jakoluvut todetaan, että matkatuotosluvut on tuotettu raportin Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa (Suomen ympäristö 27/2008) sivujen 28 ja 37–38 tietojen perusteella.



Kuva 12. Esimerkiksi aluerajojen muutoksista Östersundomissa.

7 Liikennejärjestelmän kuormitus ja testaus

Tämä luku perustuu pitkälti raportin Elolähde ym. 2016 vastaavaan lukuun.

7.1 Liikenne-ennustejärjestelmän toimintaperiaate

HSL:n ennustejärjestelmän versiossa 3.0 lasketaan liikenteen kysyntä (tuotos, kulkutavan valinta ja suuntautuminen eli määräpaikan valinta) *sijoittelualuejaossa*²⁸. Saadut matkamatriisit kopioidaan sijoittelupankkiin (eli sijoittelualuejaon emmebank-tietokantaan), jossa on kuvattu tarjonta eli tie- ja katuverkko sekä joukkoliikennelinjasto ja viivytysfunktiot. Siinä tehdään reitinvalinta eli sijoittelu, josta saadaan mm. autoliikenteen liikennemäärät linkeittäin, joukkoliikenteen matkustajamäärät pysäkeillä ja linjoilla sekä vastusmatriisit eli matka-ajat, kustannukset ja etäisyydet alueparien välillä. Saadut sijoittelualuejaon vastusmatriisit kopioidaan ennustepankkiin (eli ennustealuejaon emmebank-tietokantaan), jossa ne ovat uuden ennustejärjestelmän syöttötietoina. Yhteenvetoja varten ne voidaan myös aggregoida *ennustealuejakoon* laskemalla niistä jakoluvuilla painotettu keskiarvo.

Matriisien numeroista ja muista ennustejärjestelmän yksityiskohdista kerrotaan tarkemmin teknisessä raportissa (Rantala & Elolähde 2018).

7.2 Autoliikenteen sijoittelut ja vastukset

7.2.1 Kuormitusperiaate ja tulossuureet

Edellä kuvattua liikennejärjestelmää eli autoliikenteen verkon kuvausta kuormitetaan kysyntämatriisilla, jossa ovat tietyn aikajakson (esimerkiksi aamuhuipputunnin) matkat kultakin alueelta muille alueille. Matriisin on oltava lähtö-määräpaikkasuunnattu tuntiliikennematriisi, koska viivytysfunktiotkin 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, etäisyyden ja mahdollisen ruuhkamaksun painotettua summaa eli yleistettyä matkavastusta. Linkin liikennemäärän on oletettu vaikuttavan linkin matka-ajan. Liittymiin on määritetty kääntymiskieltoja, mutta ei kääntymisvastuksia (ks. kohta 5.4)

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 minimissään, vaikka se yksittäisellä matkalla merkitsisikin vastuksen kasvua (esim. matka-ajan pitenemistä). Käytetty sijoittelualgoritmi on kuvattu Emme-manuaalin (INRO 1998) luvussa 6.2.

²⁸ Ennustejärjestelmän aiemmissa versioissa kysyntä laskettiin karkeammassa ennustealuejaossa, jolloin matkamatriisit piti sijoittelua varten hajottaa sijoittelualuejakoon ja saadut vastusmatriisit aggregoida ennustealuejakoon.

Minimietäisyydet alueelta alueelle saadaan, kun viivytysfunktio on muotoa $fdnn = length$ liikennemäärästä riippumatta eli matka-aika [min] on yhtä suuri kuin etäisyys [km]. Tämä vastaa keskinopeutta 60 km/h eli 1 min/km. Kysyntämatriisina voidaan silloin käyttää ykkösmatriisia (kaikki alkiot ykkösiä).

Käyttämällä ns. sivusijoittelua (*additional options assignment*) voidaan laskea myös kapasiteettirajoitetussa matka-aikasijoittelussa käytettyjen reittien keskipituudet (tai kustannukset). Nämä etäisyydet ovat hiukan suurempia kuin minimietäisyydet.

7.2.2 Raskas liikenne

Emmessä on mahdollisuus määritellä useita autokulikutapoja (kuorma-auto, moottoripyörä tms.) ja sallia nämä vain osalla verkkoa. Tällöin on kuitenkin tehtävä myös vastaavat kysyntämatriisit.

HELMET 2.1 –työn yhteydessä raskaan liikenteen sijoittelua muutettiin siten, että tavaraliikenne sijoitellaan malliajon alussa pohjakysynnäksi, jota ei muuteta malliajon aikana. Sijoittelu tehdään siten, että tavaraliikenteen ajoneuvoluokittaiset matriisit sijoitellaan erikseen (*multiclass assignment*) ja eri ajoneuvoluokkien liikennemäärät talletetaan verkon linkeille extra-attribuutteihin. Kaikissa käytettiin kuitenkin samaa autokulikutapaa ($mode=c$).

Versiossa 3.0 määriteltiin uusia autokulikutapoja (v, k tai y, katso Taulukko 8 sivulla 32), jolloin kukin matriisi voidaan sijoitella vastaavan kulkutavan verkolle. Koska kuorma-autot eivät ole ainoita ajoneuvoja kaduilla eivätkä siten voi valita reittejään täysin vapaasti, henkilöautoliikenteen matriisina käytetään samaa pohjakysyntämatriisia kuin henkilöliikenteen mallin vastusten laskennan ensimmäisellä iterointikierröksellä.

Ajoneuvotyyppikohtaiset kuormitukset summataan yhteen ja niihin lisätään linja-autoliikenteen määrä ajoneuvoina linjastojen keskimääräisistä vuoroväleistä laskettuna niillä linkeillä, joilla ei ole erillistä bussikaistaa. Raskaan liikenteen kokonaismäärä (sisältäen myös pakettiauto- ja bussiliikenteen) talletetaan verkon $u/3$ -kenttään, josta sitä käytetään lisäkuormituksena henkilöautoliikennettä sijoiteltaessa.

Raskaan liikenteen sijoittelu mahdollistaa jatkossa raskaan liikenteen aiheuttaman vastuksen tarkemman huomioon ottamisen, koska raskaan liikenteen määrä voidaan tarvittaessa muuttaa henkilöautoekvivalenteiksi, jolloin sijoittelu voidaan tehdä aina henkilöautoliikenteen sijoittelun yhteydessä. Se edellyttäisi kuitenkin viivytysfunktioiden käyttämien kapasiteettiarvojen määrittelyä niin ikään henkilöautoekvivalenteina.

Eri kulkutapoja käyttämällä verkon eri osien käyttöä voidaan myös rajata raskaan liikenteen rajoitusten mukaisesti. Ennustejärjestelmän versioon 3.0 rajausta on tehty perävaunullisten kuorma-autojen osalta (ks. kohta 5.9.2), minkä takia esim. Etelä- ja Länsisatamiin suuntautuva tavaraliikenne kuormittaa Töölön katuverkkoa vähemmän kuin versiossa 2.1.

7.2.3 Ruuhkamaksut

HELMET 2.1:ssä ruuhkamaksujen käsittely on lisätty osaksi mallijärjestelmää. Linkkien ruuhkamaksut näkyvät liikennemalleissa kulkutavan valinnassa (kustannusmatriisina), matkojen suuntautumisessa (logsumin kautta), autonomistuksessa (yleistettyjen vastusten kautta) ja tätä kautta edelleen matkatuotoksissa (katso tarkemmin Pastinen ym. 2019). Koska ruuhkamaksu vaikuttaa reitinvalintaan, se on otettu huomioon myös sijoitteluissa. Maksu voi olla joko kilometripohjainen tai tulliporteilla veloitettava.

Autoliikenteen sijoittelun tuloksena tallennetaan etäisyysmatriisi, matka-aikamatriisi sekä ruuhkamaksumatriisi. Ruuhkamaksumatriisi viedään kysyntämalliin, jossa ruuhkamaksuja käsitellään matkakustannuksena. Käytännössä ruuhkamaksumatriisi lisätään kulkutavanvalintamallissa henkilöauton ajokustannukseen²⁹, jota kautta se vaikuttaa myös suuntautumismallin logsumiin.

Ruuhkamaksu kuvataan liikenneverkon halutuille linkeille erilliseen extra-attribuuttiin *@hint*a yksikössä euroa/kilometri. HELMET 2.1:ssä autoliikenteen sijoittelun yhteydessä reitinvalinnassa huomioidaan matka-ajan lisäksi myös matkan pituus tietyllä painokertoimella. Jotta ruuhkamaksu voidaan huomioida sijoittelussa reitinvalintaan vaikuttavana tekijänä, muodostetaan erillinen sijoittelussa käytettävä muuttuja, jossa linkin pituuteen lisätään ruuhkamaksu matka-ajaksi muutettuna niin, että matkan pituuden painokerroin suhteessa aikaan kumotaan ruuhkamaksun osalta. Ruuhkamaksu muutetaan matka-ajaksi ajan arvosta tehdyn oletuksen (10 euroa/tunti eli 0,166667 euroa/minuutti) perusteella.

Autoliikenteen sijoittelussa reitinvalinnassa matka-ajan lisätekijä muodostetaan seuraavasti:

$$\text{reitinvalinnan_lisätekijä} = \text{matkan_pituus} + \left(\frac{1}{\text{matkan_pituuden_paino}} \right) * \text{matkan_pituus} * \left(\frac{\text{ruuhkamaksu}}{\text{ajan_arvo}} \right)$$

missä *matkan_pituuden_paino* on sijoittelussa annettava matkan pituuden paino (mallijärjestelmässä oletuksena arvo 0,20 min/km).

Malliteknisistä syistä on linkkien ruuhkamaksuksi asetettava 0 euroa/km silloin, kun kuvataan tilannetta, jossa ruuhkamaksua ei ole. Perustellusta syystä on mahdollista käsitellä ruuhkamaksuja eri tavallakin; tällöin asia kannattaa asia mainita ennusteiden tulosten kuvauksen yhteydessä.

7.2.4 Sijoitteluparametrit

Autoliikenteen sijoittelussa reitinvalinnan kriteerinä ei ollut matka-aika sellaisenaan, vaan yleistetty matkavastus, joka muodostettiin kaavalla

$$\text{vastus} = \text{matka-aika} + \text{matkan_pituuden_paino} * \text{reitinvalinnan_lisätekijä}$$

missä *paino*=0,20 min/km kaikille aikajaksoille. Paino perustuu asiantuntija-arvioon.

Sijoittelusta otettiin matka-aikojen lisäksi erikseen talteen omiin matriiseihinsa myös alueparien väliset etäisyydet ja ruuhkamaksut käytetyillä reiteillä.

²⁹ Toinen vaihtoehto olisi käsitellä ruuhkamaksua pysäköintikustannustyyppisenä. Aineistossa on kuitenkin vain vähän havaintoja, joissa pysäköintimaksu poikkeaa nolasta, joten estimointi ei olisi kovin luotettavalla pohjalla.

7.2.5 Kysyntämatriisit

Nykytilan 2012 aamuhuippu-, iltahuippu- ja päivätunnin kysyntämatriisit saatiin nykyennusteesta 2012, joka oli laskettu edellisellä ennustejärjestelmäversiolla 2.1, joka estimoitiin vuosien 2007–2008 ja 2012 liikkumistottumustutkimuksen aineistosta. Tavaraliikenteen kysyntämatriisien muodostamista kuvataan raportissa Niinikoski 2016.

Liikenne-ennustejärjestelmän version 2.1 tuottamia henkilöauto- ja joukkoliikenteen kysyntämatriiseja voidaan käyttää myös syöttötietona liityntäpysäköintimallissa, jonka toiminta perustuu siihen, että kustakin liityntäpysäköintialueesta on tehty oma sentroidinsa (Rahiala ym. 2017). Versioon 3.0 ei ole (ainakaan vielä) estimoitu liityntäpysäköintimalleja.

7.2.6 Autoliikenteen viivytysfunktiot

Autoliikenteen viivytysfunktiot kuvaavat linkin kulkemiseen kuluvaan aikaan minuutteina liikennemäärän, kaistamäärän ja linkin pituuden funktiona. Muita selittäjiä ovat linkin kapasiteetti, vapaa nopeus ja raskaiden ajoneuvojen liikennemäärä, jotka on talletettu linkin user data –kenttiin 1–3. Funktiot on tarkoitettu tuntiliikenteen tarkasteluun. Jos jostakin syystä halutaan kysyntämatriisina käyttää pitemmän tai lyhyemmän aikajakson matriisia, on funktioitakin muutettava vastaavasti.

HLJ 2011:n yhteydessä (ennustejärjestelmän versio 1.0) havaittiin, että käytettäessä vuonna 2009 kehitettyjä ja funktioraportissa (Keränen & Pesonen 2011) kuvattuja funktioita ennusteprosessissa kulkutapaosuudet heilahtelevat iterointikierrosten välillä. Nopeana, mutta karkeana keinona otettiin käyttöön leikkuri, jonka ansiosta linkin keskinopeus ei voi laskea alle 30 prosenttiin vapaasta nopeudesta. Vuoden 2014 alussa tutkittiin tarkemmin, mistä ongelma johtuu ja olisiko se mahdollisuus välttää. Tuloksena oli, että iterointikierrosten maksimimäärää pitäisi kasvattaa huomattavasti tai käyttää tehokkaampaa algoritmia. Samalla päätettiin muuttaa viivytysfunktiot niin, että myös ylikysyntätilanteessa matka-aika riippuu linkin pituudesta. Autoliikenteen viivytysfunktioiden vertailua ja versiossa 2.1 tehdyn valinnan perusteita kuvataan tarkemmin raportin HSL 2016b osassa E (Räikkönen ym. 2016).

Funktion numero ilmoitetaan linkkitiedostossa. Funktioiden yhtälöt (matka-aika minuutteina kilometriä kohden) ovat alla. Katso myös Taulukko 34 sivulla 84. Funktiot *fd1–fd5* ovat em. taulukon mukaisia perusfunktiota ja *fd6–fd10* vastaavia bussikaistallisten väylien funktioita, joissa linkin kaistamäärästä on vain vähennetty bussikaista. On huomattava, että muuttamalla vapaan nopeuden ja kapasiteetin arvoja samoilla kaavoilla saadaan useita erilaisia funktioita (14 kpl versioon 2.1 saakka ja 22 versiossa 3.0).

$$\begin{aligned} fd1 &= (put(60/ul2)*(1+0.02*put((volau+volad+ul3)/lanes)/ \\ &\quad (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.975))*length + \\ &\quad (get(2).gt.get(3))*(1.78*get(1)*length+0.0075*(get(2)-get(3))*length) \\ fd2 &= (put(60/ul2)*(1+0.09*put((volau+volad+ul3)/lanes)/ \\ &\quad (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.935))*length + \\ &\quad (get(2).gt.get(3))*(2.29*get(1)*length+0.0085*(get(2)-get(3))*length) \\ fd3 &= (put(60/ul2)*(1+0.1*put((volau+volad+ul3)/lanes)/ \\ &\quad (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.915))*length + \\ &\quad (get(2).gt.get(3))*(2.08*get(1)*length+0.011*(get(2)-get(3))*length) \\ fd4 &= (put(60/ul2)*(1+0.2*put((volau+volad+ul3)/lanes)/ \\ &\quad (ul1-get(2))))*(get(2).le.put(ul1*0.87))*length + \\ &\quad (get(2).gt.get(3))*(2.34*get(1)*length+0.014*(get(2)-get(3))*length) \end{aligned}$$

```

fd5 = (put(60/ul2)*(1+0.3*put((volau+volad+ul3)/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))*length)
fd6 = (put(60/ul2)*(1+0.02*put((volau+volad+ul3)/((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))*length)
fd7 = (put(60/ul2)*(1+0.09*put((volau+volad+ul3)/((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))*length)
fd8 = (put(60/ul2)*(1+0.1*put((volau+volad+ul3)/((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))*length)
fd9 = (put(60/ul2)*(1+0.2*put((volau+volad+ul3)/((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))*length)
fd10 = (put(60/ul2)*(1+0.3*put((volau+volad+ul3)/((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))*length)

```

missä

<i>ul1</i>	linkin kapasiteetti [ajon/h]
<i>ul2</i>	vapaa nopeus [km/h]
<i>ul3</i>	raskaan liikenteen määrä [ajon/h]
<i>length</i>	linkin pituus [km]
<i>lanes</i>	kaistamäärä
<i>volau</i>	sijoittelun perusliikennemäärä [ajon/h]
<i>volad</i>	mahdollinen lisäliikennemäärä.

Funktiolla *put* talletetaan välitulos ja funktiolla *get(n)* haetaan saman kaavan *n*:s välitulos. Kunkin kaavan kolmannella rivillä on ylikysyntätilannetta kuvaava suora, joka mm. HLJ 2011:stä saatujen kokeusten perusteella on muutettu pituusriippuvaiseksi (ks. HSL 2016b osa E).

Syöttölinkeillä on käytetty funktiota

$$fd99 = 1.3 * length$$

Kaikilla autolinkeillä on käytetty jotakin yllä olevista funktiosta, mutta viime kädessä tulos riippuu linkkikohtaisten parametrien *ul1* ja *ul2* arvoista. Tätä mahdollisuutta säätää sijoittelun toimintaa on joissakin tapauksissa käytetty tallettamalla *ul1*- ja *ul2*-kenttiin muitakin arvoyhdistelmiä kuin seuraavassa kohdassa (Taulukko 34 sivulla 84) on esitetty. Katso myös Taulukko 12 sivulla 36.

7.2.7 Autosijoittelun kehittäminen

Tarkennettujen liikennejärjestelmäkuvausten valmistuttua HSL teetti työn (Keränen & Supponen 2017), johon tämän kohdan teksti perustuu. Työn tarkoituksena oli selvittää tarpeet ja mahdollisuudet kehittää sekä auto- että joukkoliikenteen verkkokuvausta ja sijoittelutapaa siten, että liikennejärjestelmäkuvauksella saataisiin mahdollisimman hyviä auto- ja joukkoliikenteen vastuksia, keskinopeuksia ja kuormituksia.

Aiemmissa verkkokuvauksissa ja sijoittelussa oli havaittu seuraavia puutteita:

- Erityisesti Helsingin kantakaupungissa on havaittu liian suuria autoliikenteen liikennemääriä ja ajonopeuksia, joten myös bussien nopeudet kuvautuvat liian korkeiksi.
- Linjojen keskinäinen kuormittuminen on epätasaista tiheästi liikennöidyillä alueilla, kuten kantakaupungissa.
- Liikennemallin tuloksia tarkasteltaessa on myös havaittu, että Helsingin kantakaupungin kulkutapajakauma ei kuvaudu oikein ja eri joukkoliikennevälineiden matkustajamäärien suhteet eivät vastaa todellisuutta.

Työn ensimmäisessä osassa pyrittiin päivittämään autoverkon linkkityyppien (*link type*) määrittelyä vastaamaan paremmin havaintoja ajonopeuksista. Päivitys perustui mallin tuottamien ajonopeuksien ja havaittujen keskinopeuksien vertailuun valituilla reiteillä. Vertailussa pyrittiin tunnistamaan systemaattiset virheet mallin tuottamisessa nopeuksissa tarkastelemalla kaikkia yhteysvälejä kokonaisuutena. Samalla verrattiin sijoittelun tuottamia liikennemääriä liikennelaskentoihin, jotta huomataan tehtävien muutosten vaikutukset liikenteen sijoittumiseen (esimerkiksi alemman katuverkon ja suurempien väylien välillä).

Vertailuaineistot

Henkilöautoliikenteen osalta vertailuaineisto muodostettiin HSL:n keräämän TomTom-ajonopeusdatan pohjalta. TomTom-aineisto perustuu autojen navigaattoreista kertyviin havaintoaineistoihin, joita HSL on jalostanut matkanopeusmittauksiin³⁰. Aineisto sisältää kattavan otoksen havaituista ajonopeuksista katu- ja tieverkolla. Tässä työssä verrattiin ajonopeuksia kaikilla TomTom-aineiston mittausreiteillä.

TomTom-aineiston ja HELMET-liikenneverkkokuvauksen välille muodostettiin vastaavuus koodaamalla TomTom-dataa vastaavat yhteysvälit liikenneverkolle. Yhteysvälien koodauksessa ei voitu poimia täsmälleen samoja yhteysvälejä liikenneverkkokuvauksen karkeudesta johtuen, vaan välit voivat olla hieman todellista pidempiä tai lyhyempiä (erityisesti ympäryskuntien alueella, jossa liikenneverkon kuvaus on karkeampi). Siksi tarkasteluissa on käytetty mittarina keskinopeutta ajoajan sijaan.

Uudet linkkityypit ja verkkokuvaukset

Viimeisimmässä verkkopäivityksen periaatteisiin kuuluu, että linkkien parametrit perustuvat linkkityypeihin, joiden avulla voidaan määrittää bussikaistan voimassaolo, funktioluokka (*vdf*), vapaa nopeus (*ul2*) ja kapasiteetti (*ul1*). Käytännössä verkolle on kuitenkin jäänyt myös tuntemattomia linkkityyppejä, jotka eivät sovi määriteltäviin luokkiin³¹.

Tässä työssä muodostettavilla uusilla verkkokuvauksilla ja väyläluokilla pyritään yhtäaikaaisesti säätämään mallin parametreja todenmukaisempien ajonopeuksien aikaansaamiseksi sekä auttamaan käytännön työtä määrittämällä tuntemattomat linkkityypit virallisten taulukoiden mukaisiksi (tarvittaessa näille on lisätty paikka taulukossa).

Alkuperäiselle funktiotyyppi- ja verkkokuvaukselle muodostettiin työssä vaihtoehto, joka toistaa paremmin aineiston havainnot ajonopeuksista. Aineiston rajallisuuden vuoksi vaihtoehdon valinnassa pyrittiin mahdollisimman vähäisiin muutoksiin, joilla ajoneuvoliikenteen nopeuksista saadaan poistettua systemaattinen yliarviointi.

³⁰ Aineiston sisältö ja käsittely selostettu tarkemmin raportissa Lindeqvist & Kytö 2017.

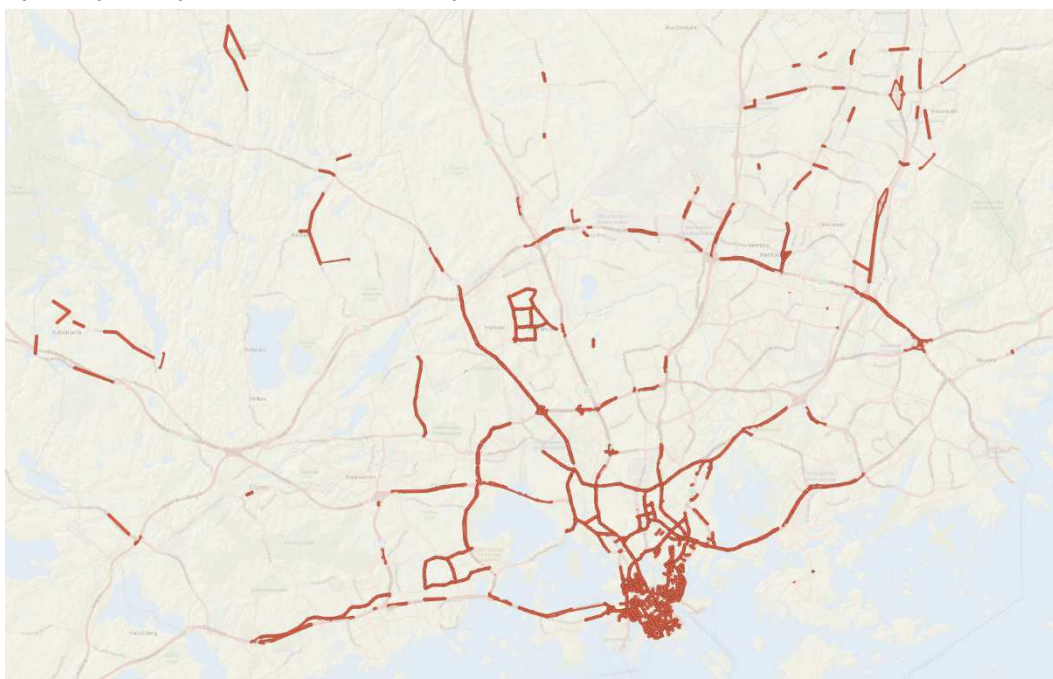
³¹ Linkkityyppien määrittelystä tarkemmin luvussa 4.5.2 ja muistiossa Rantala ym. 2017.

Tehtyjen tarkasteluiden perusteella väyläluokkien valikoimaan päädyttiin lisäämään kahdeksan uutta luokkaa, siis parametrien *vdf*, *u1* ja *u2* yhdistelmää. Vanhoilla verkoilla (HELMET-versioon 2.1 saakka) ajoneuvoliikenteen ja bussien käyttämiä väyläluokkia ja siten niitä vastaavia parametriyhdistelmiä oli 14 kappaletta, joille tarkennus- ja korjaustyön yhteydessä määriteltiin bussikaistojen voimassaoloa kuvaavat satasarjat. Näitä satasarjoja käytetään edelleen, mutta niiden sisällä on nyt 22 väyläluokkaa.

Uusia väyläluokkia on lisätty seuraavasti:

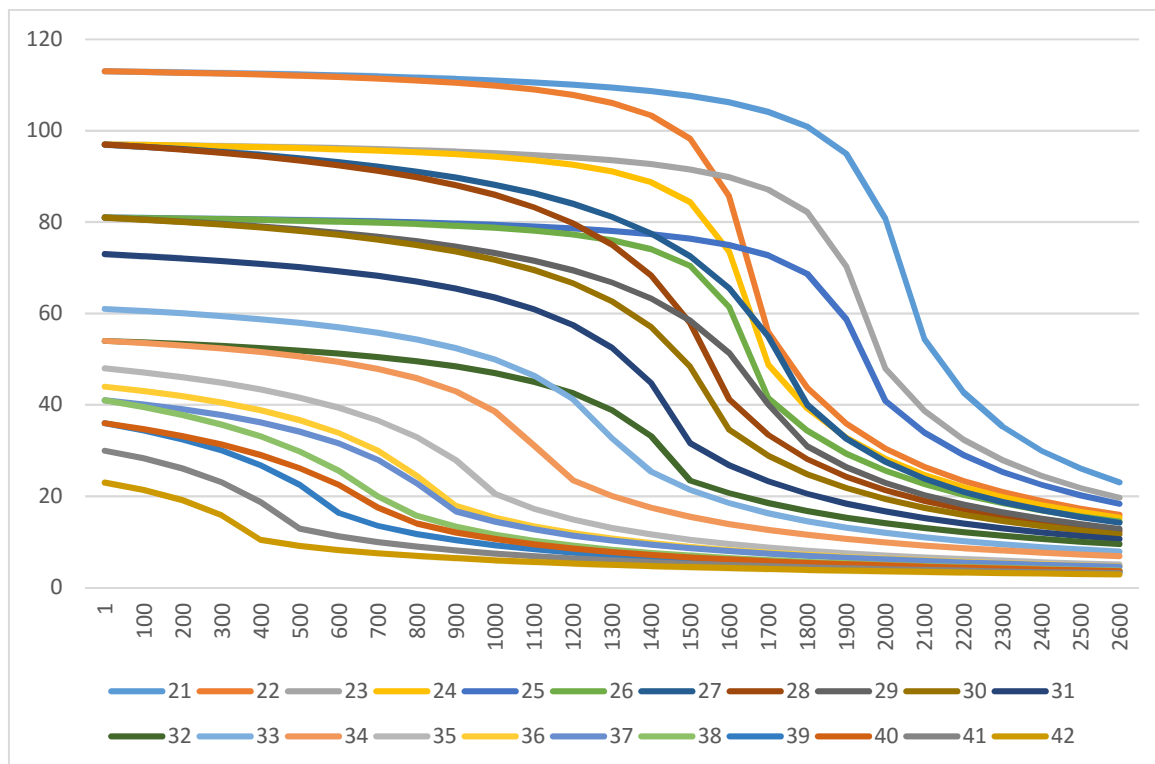
- Nopeimpiin funktioluokkiin fd1/fd6 ja fd2/fd7 tyypit 22, 24, 26, 28 ja 30, joita käytetään kolmen tai useamman kaistan linkeillä kuten tyypejä 21, 23, 25, 27 ja 29. Uusissa tyypeissä kapasiteettia on hieman alennettu, jotta kolme kaistaa tai enemmän ei tuottaisi linkille kohtuuttoman suurta kapasiteettia.
- Funktioluokkaan fd2/fd7 60 km/h nopeusrajoitusta vastaava tyyppi 32. Mm. Kehä I:n Mestarin-tunneli ja Hakamäentien tunneli on muutettu tähän tyyppiin.
- Funktioluokkaan fd5/fd10 keskustojen hitaita, 40 km/h nopeusrajoituksen pääkatuja vastaava tyyppi 40 sekä kantakaupungin hitaimpia ja liittymäväliltään lyhyitä katuosuuksia vastaava tyyppi 42.
- Linkkityyppien 1-100 ja X99 ominaisuuksia ei ole muutettu.

Työssä päivitetyt verkon linkit on esitetty seuraavassa kuvassa



Kuva 13. Muutetut linkkityypit liikenneverkolla

Käytettyjen funktioiden kuvaajat (nopeus km/h liikennemäärän ajon/h/kaista funktiona) ovat seuraavassa kuvassa. Päivitetyt väyläluokat ja niitä vastaavat parametrit on esitetty sen jälkeen olevassa taulukossa. Linkkityyppi (*link type*) saadaan, kun koodin alkuun lisätään bussikaistojen voimassaoloa kuvaava sataluku (ks. Taulukko 11 sivulla 35).



Kuva 14. Autoliikenteen uudet viivytysfunktiot liikennemäärä–nopeus-akselistossa.

Taulukko 34. Autoliikenteen uudet viivytysfunktiot.

vanha tyyppi	uusi tyyppi	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys- funktio	Nopeus- rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, ul2)	Vap nop matka-aika (min/km)	Kapasi- teetti S (ajon/h, ul1)	muoto- parametri J	Ylikysyntä- kerroin	Ylikysyntä- suoran alku (ajon/h)
1	21	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	2100	0,02	0,975	2048
-	22		moottoritie, kaistoja=>3		120	113	0,531	1700	0,02	0,975	1658
2	23		moottoritie		100	97	0,619	2000	0,02	0,975	1950
-	24		moottoritie, kaistoja=>3		100	97	0,619	1700	0,02	0,975	1658
3	25		moottoritie		80	81	0,741	2000	0,02	0,975	1950
-	26		moottoritie, kaistoja=>3		80	81	0,741	1700	0,02	0,975	1658
4	27	Maantiet / Useampikaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie, 2 kaistaa	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1900	0,09	0,935	1777
-	28		maantie, kaistoja=>3		100	97	0,619	1700	0,09	0,935	1590
5	29		maantie, 2 kaistaa		80	81	0,741	1850	0,09	0,935	1730
-	30		maantie, kaistoja=>3		80	81	0,741	1700	0,09	0,935	1590
6	31		maantie, 2 kaistaa		70	73	0,822	1600	0,09	0,935	1496
-	32		maantie, 2 kaistaa		60	54	1,111	1600	0,09	0,935	1496
7	33	Useampikaistaiset pääkadut tasoliittymän valoilla	monta kaistaa, valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1450	0,1	0,915	1327
8	34		monta kaistaa, valot		60	54	1,111	1250	0,1	0,915	1144
9	35	Pääkadut	esikaup, pääk, ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1150	0,2	0,87	1001
10	36		esik, pääk, valot/kesk, ei valoja		50	44	1,364	1000	0,2	0,87	870
11	37		esi, pääk, .valot/kesk, ei valoja		40	41	1,463	1000	0,2	0,87	870
12	38	Kokooja/tonttikadut	kesk, pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	900	0,3	0,81	729
13	39		keskustan kokooja		40	36	1,667	750	0,3	0,81	608
-	40		keskusta, hitaat pääkadut		40	36	1,667	900	0,3	0,81	729
14	41		pienet tonttikadut		30	30	2,000	600	0,3	0,81	486
-	42		keskusta, pienet kadut		30	23	2,609	500	0,3	0,81	405

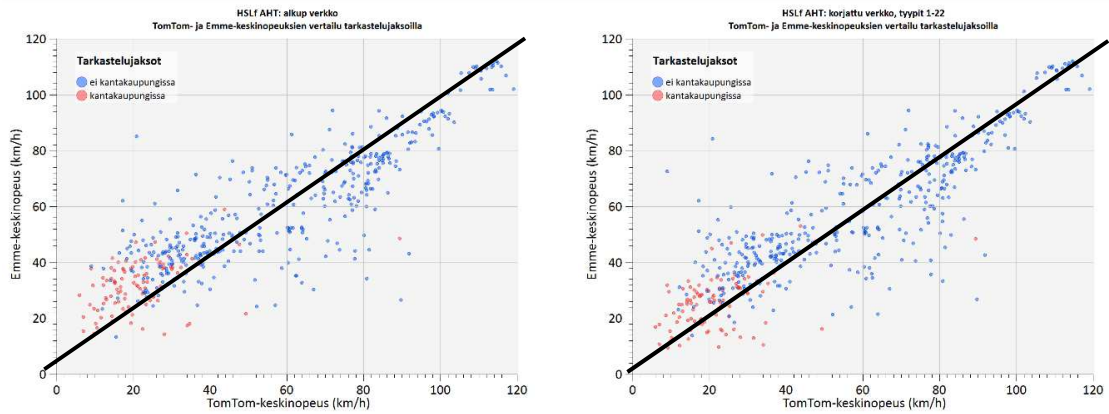
Vertailutulokset

Verkkokuvauksen ja funktiotyyppien vertailussa huomattiin, että alkuperäiset verkkokuvaukset tuottavat alhaisille nopeuksille keskimäärin liian suuria ajonopeuksia. Tämä ilmiö näkyy erityisesti kantakau-pungin ajonopeuksissa, jotka ovat kauttaaltaan yliarvioituja. Korkeamman nopeusrajoituksen väylillä selkeää systemaattista ali- tai yliarviointia ei ole havaittavissa, vaikka ajonopeuksien erotuksissa on hajontaa (kuvat 15–17, vasen puoli).

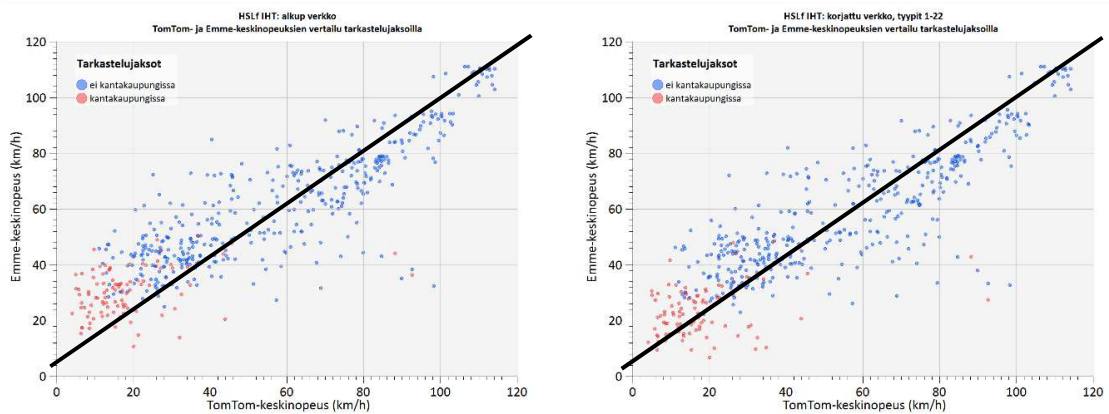
Uusilla väyläluokilla verkkokuvaukset korjaavat virhettä alimpien ajonopeuksien suhteen. Korkeampien ajonopeuksien osalta luokat on pääosin pidetty ennallaan, joten muutoksella ei ole merkittävää vaikutusta näihin (kuvat 15–17, oikea puoli).

Uusien väyläluokkien käytöllä ei ole merkittävää vaikutusta liikennemäärien jakautumiseen kantakaupungin katuverkolla, vaikka erityisesti kantakaupungissa luokkia on korjattu merkittävästi. Muutaman väylän osalta mallinnetut liikennemäärät siirtyvät enemmän havaintojen suuntaan (kuvat 18–19).

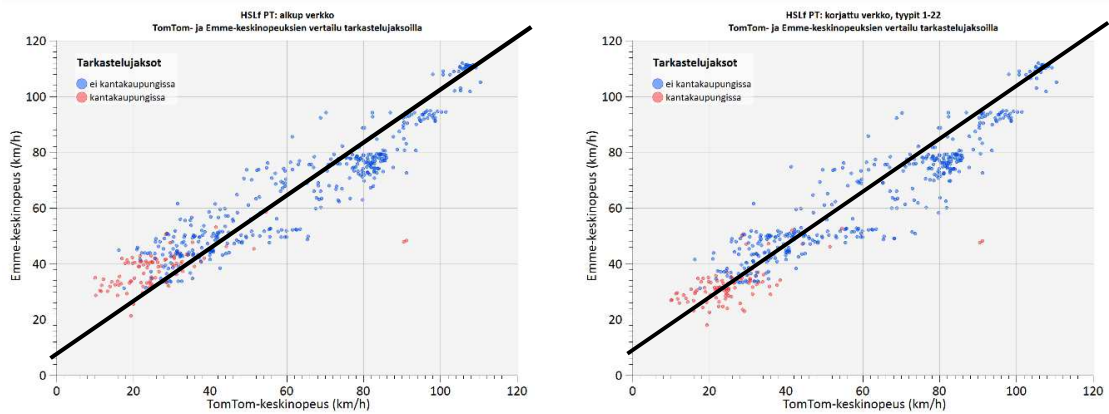
On kuitenkin muistettava, että käytetty havaintoaineisto on rajallinen, joten verkolla lienee vielä alueita, joilla väyläluokkia on jatkossakin tarkistettava suuntaan tai toiseen. Erityisesti katuverkon osalta havaintoaineistoa on ollut verrattain vähän, joten katuverkon nopeuksia on syytä päivittää jatkossa, jos havaintoaineistoa nopeuksista on saatavilla.



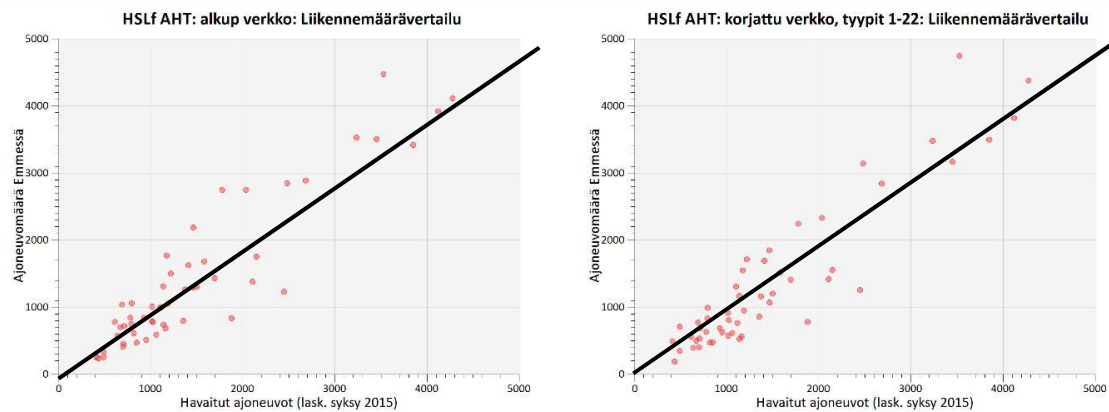
Kuva 15. AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.



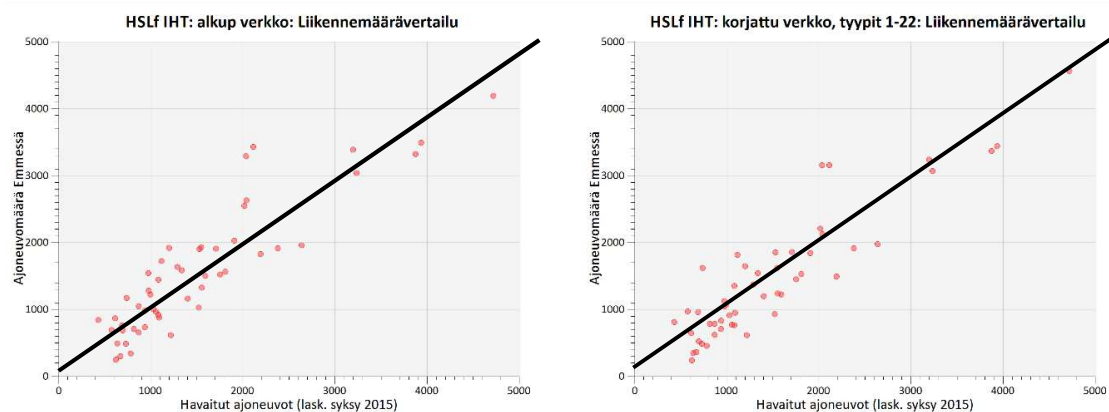
Kuva 16. IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.



Kuva 17. PT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) nopeudet suhteessa mittauksiin.



Kuva 18. AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetetyt (oikea) liikennemäärät suhteessa mittauksiin.



Kuva 19. IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetetyt (oikea) liikennemäärät suhteessa mittauksiin.

7.3 Jalankulun ja pyöräilyn sijoittelut ja vastukset

Jalankulun vastukset laskettiin käyttämällä kysyntämatriisina ykkösmatriisia, sillä matka-ajat oletettiin liikennemäärästä riippumattomiksi.

Jalankulkukuluttavan matka-ajat ja etäisyydet alueparien välillä laskettiin Emmen joukkoliikennesijoittelumoduulilla siten, että aktiivisena kulkutapana oli vain jalankulku (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 jalankulkua pysäkillä toiselle katuja pitkin. Jalankulunopeus oli 5,0 km/h. Sijoittelusta otettiin talteen sekä matka-aika että etäisyys, mutta muuten niitä ei käytetty ennustejärjestelmässä.

Pyöräily on käsitelty vastaavalla tavalla, mutta nopeutena on 17 km/h kaikilla linkeillä. Myös pyöräsijoittelusta otetaan talteen sekä matka-aika että etäisyys, mutta ennustejärjestelmä käyttää niistä vain jälkimmäistä. Etäisyydet leikataan korkeintaan arvoon 30 km.

Version 3.0 kulkutavanvalintamalleissa pyöräilyn selittäjänä on etäisyyden logaritmi, joka lasketaan edellä mainitun leikatun pyöräilyetäisyydematriisin pohjalta.

Versiossa 3.1 pyöräliikenteen loppusijoittelu tehdään autosijoittelualgoritmillä erillisessä pyöräliikenneskenaariossa käyttäen pyörätieluokan mukaisia viivytysfunktioita (ks. Taulukko 15 sivulla 39), joissa nopeudella kuvataan ajamisen miellyttävyyttä. Ko. skenaariossa pyöräily ($mod=f$) on määritelty autokuljetavaksi ja henkilöauton ($mod=c$) tyyppinä on aux auto. Ennustejoluupissa käytetään samaa menettelyä kuin versiossa 3.0, koska kysyntämallit on estimoitu siten tehdyillä vastuksilla.

7.4 Bussi- ja raideliikenteen erilliset sijoittelut ja vastukset

Vuoden 2008 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. Olisi siis määriteltävä, onko raskaalla raideliikenteellä kuljettu pisin aika, pisin etäisyys, vähintään yksi asemaväli vai onko se peräti ollut ainoa joukkoliikennemuoto. Määrittely on olennainen, sillä se vaikuttaa tapaan, jolla bussi- ja raideliikenteen vastukset ja matkustajamäärät lasketaan mallissa.

Laadittiin laskentamenettely, jossa tehtiin useita sijoitteluja, joissa suositettiin vuorotellen bussi- ja raideliikennettä. Saaduista tuloksista koottiin määritelmän mukaiset bussivastukset ja raideliikennevastukset. Menettely oli monivaiheinen ja -mutkainen.

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 joukkoliikennejärjestelmästä aina käyttäjän kannalta edullisimman reitin riippumatta matkamatriisien taustalla olevasta määritelmästä.

Niinpä vuonna 2008 päädyttiin vaihtoehtoiseen toimintamalliin, jossa raideliikennettä ja bussiliikennettä käsitellään yhdessä joukkoliikenteenä, mutta matkustusmukavuuden erot otetaan huomioon eri joukkoliikennemuotojen matka-aikavastustuksissa. Tehtyä valintaa ei katsottu tarpeelliseksi muuttaa seuraavallakaan HLJ-kierroksella.

Asiaa on pohdittu tarkemmin raportissa Pastinen ym. 2011 sekä muistioissa Keränen ym. 2009b ja Keränen 2009.

7.5 Joukkoliikenteen sijoittelut ja vastukset

7.5.1 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). Nousuvastus solmuissa riippuu puolestaan joukkoliikennemuodosta.

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.

Kysyntämatriisiin 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 jalankulku, 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 jalankululinkki. Vaihtoehdot ovat:

- Koodataan monta pistettä ja niiden välille syötöt (esimerkiksi bussipysäkillä metroasemalle tai toiselle pysäkillä). Tällöin vaihtojen kuvaus on lähempänä todellisuutta ja voidaan käyttää solmukohtaisia 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 paino on sama kuin ajoajalla, eikä siis kävelyajan paino. Lisäksi nousujen määrä kasvaa.

Tässä työssä on käytetty ensin mainittua tapaa. Pääosin liittymät on kuvattu kolmella solmulla, mutta tärkeimmissä vaihtopaikoissa on käytetty ns. tuulimyllyjä ja toisaalta ympäryskunnissa van yhtä pistettä (katso tarkemmin kohdasta 5.5.1).

Joukkoliikenteen sijoittelussa kaikki tietyn alueparin väliset joukkoliikennematkat syötetään vain yhdelle lähtöpysäkille, mutta sen jälkeen matkustajat voivat käyttää useita linjoja ja jopa montaa kulkutapaa. Samalta alueelta toiseen määräpaikkaan suuntautuvat matkat voivat kuitenkin käyttää toista lähtöpysäkkiä. Sijoittelu ei ole kapasiteettirajoitettu sen enempää väylien kuin joukkoliikennevälineidenkään suhteen³². Siksi joukkoliikennevastusten laskemisessa voitaisiin 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 tietenkin jopa tarpeen.

Käytetty sijoittelualgoritmi on kuvattu Emme-manuaalin (INRO 1998) luvussa 6.3. Haapamäki (2010) on diplomityössään tutkinut erilaisia tapoja tehdä joukkoliikennesijoitteluja.

Joukkoliikennesijoittelu on tehtävä osana malliajoa, koska autoliikenteen kysyntä vaikuttaa autoliikenteen nopeuksiin ja bussien nopeudet taas riippuvat niistä. Vastaavasti bussien (ja kuorma-autojen) määrä linkillä vaikuttaa henkilöautojen käytössä olevaan kapasiteettiin ja nämä kaikki yhdessä linkkien keskinopeuksiin.

Joukkoliikenteen sijoittelu tuottaa em. listausten lisäksi seuraavat matriisit:

- painotettu 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 kokonaismatka-aika, on laskettava yhteen em. aikakomponenttimatriisit ilman painoja. Näin tehtiinkin, vaikka painottomia joukkoliikenteen aikoja ei lopullisissa kulkutapamalleissa tarvittukaan, vaan yhtenä selittäjänä on painotettu kokonaismatka-aika.

HSL:ssä on kehitetty myös ruuhkautunut joukkoliikennesijoittelu, jota käytetään liikenne-ennustejärjestelmän version 3.1 loppusijoittelussa (ks. kohta 7.5.6).

³² Seuraavaa HELMET-versiota varten on sittemmin alettu valmistella menettelyä, jolla ainakin raskaan raide liikenteen kapasiteetti voidaan ottaa huomioon joukkoliikennesijoittelussa.

7.5.2 Joukkoliikenteen viivytysfunktiot

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 bussikaistaviivekertoimella *c* kerrottu ajoneuvoliikenteen vapaata nopeutta vastaava matka-aika. Muitakin parametrien arvoja kuin taulukossa esitetyt on joissakin tapauksissa käytetty.

Taulukko 35. Bussiliikenteen uudet viivytysfunktiot

vanha tyyppi	uusi tyyppi	Väyläluokka	Tarkennus	Viivytys-funktio	autoliikenne			ei bussikaistaa			on bussikaista		
					Nopeus- rajoitus (km/h)	Vapaa nopeus (km/h, ul2)	Vap nop matka-aika (min/km)	Viive-kerroin b	Bussi- nopeus (km/h)	Bussiviive a (min/km) (us2)	Bussikaista- viivekerroin c	Bussi- nopeus (km/h)	Bussiaika (min/km)
1	21	Moottoritiet	moottoritie	fd1 (fd6)	120	113	0,531	1,5	75,3	0,265	1,5	75,3	0,796
-	22		moottoritie, kaistoja=>3		120	113	0,531	1,5	75,3	0,265	1,5	75,3	0,796
2	23		moottoritie		100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
-	24		moottoritie, kaistoja=>3		100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
3	25		moottoritie		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
-	26		moottoritie, kaistoja=>3		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
4	27	Maantiet / Useampikaistaiset kaupunkiväylät eritasoliittymän	maantie, 2 kaistaa	fd2 (fd7)	100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
-	28		maantie, kaistoja=>3		100	97	0,619	1,5	64,7	0,309	1,5	64,7	0,928
5	29		maantie, 2 kaistaa		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
-	30		maantie, kaistoja=>3		80	81	0,741	1,5	54,0	0,370	1,5	54,0	1,111
6	31		maantie, 2 kaistaa		70	73	0,822	1,5	48,7	0,411	1,5	48,7	1,233
-	32		maantie, 2 kaistaa		60	54	1,111	1,5	36,0	0,556	1,5	36,0	1,667
7	33	Useampikaistaiset pääkadut tasoliittymän valoilla	monta kaistaa, valot	fd3 (fd8)	70	61	0,984	1,5	40,7	0,492	1,6	38,1	1,574
8	34		monta kaistaa, valot		60	54	1,111	1,5	36,0	0,556	1,6	33,8	1,778
9	35	Pääkadut	esikaup, pääk, ei valoja	fd4 (fd9)	50	48	1,250	1,5	32,0	0,625	1,7	28,2	2,125
10	36		esik, pääk, valot/kesk. ei valoja		50	44	1,364	1,5	29,3	0,682	1,7	25,9	2,318
11	37		esi, pääk, valot/kesk. ei valoja		40	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
12	38	Kokooja/tonttikadut	kesk. pääkatu, valot	fd5 (fd10)	50	41	1,463	1,5	27,3	0,732	1,7	24,1	2,488
13	39		keskustan kokooja		40	36	1,667	1,5	24,0	0,833	1,7	21,2	2,833
-	40		keskusta, hitaat pääkadut		40	36	1,667	1,5	24,0	0,833	1,7	21,2	2,833
14	41		pienet tonttikadut		30	30	2,000	1,5	20,0	1,000	1,7	17,6	3,400
-	42		keskusta, pienet kadut		30	23	2,609	1,5	15,3	1,304	1,7	13,5	4,435

Emme-muotoiset bussifunktiot ovat:

$$ft01 = us2 * length + timau, \text{ kun linkillä ei ole bussikaistaa } (1 \leq vdf \leq 5),$$

missä

us2 = funktiokohtainen bussiviive *a* [min/km]
length = linkin pituus [km]
timau = ajoneuvosijoittelun matka-aika [min].

$$ft02 = us2 * length, \text{ kun linkillä on bussikaista } (6 \leq vdf \leq 10)$$

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 mitattuja joukkoliikenteen nopeuksia pakattuina siten, että kuusinumeroisen luvun kaksi ensimmäistä numeroa ovat aamuruuhkan, kaksi seuraavaa päiväliikenteen ja viimeiset kaksi iltaruuhkan nopeuksia [km/h]. Luvut on tarkistettu vastaamaan vuonna 2012 havaittuja keskinopeuksia. 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. Funktiota on käytetty myös Suomenlinnan lautalla.

$ft6 = us1$

missä

$us1$ = asemien välinen matka-aika [min].

Joukkoliikenteen viivytysfunktioita ei ole muutettu vuoden 2009 jälkeen. Niiden muodostamista kuvataan tarkemmin funktioraportissa (Keränen & Pesonen 2011). Väyläluokkien määrä on kuitenkin kasvanut.

7.5.3 Joukkoliikennesijoittelun kehittäminen

Tämä kohta perustuu muistioon Keränen & Supponen 2017.

Autoliikenteen lisäksi myös joukkoliikennesijoittelussa on havaittu puutteita:

- Runkobusseille ja pikaraitiovaunuille ei ole määritetty nousuvastuksia.
- Raitiovaunuille käytetään samaa nousuvastusta kuin junille ja metrolle, vaikka niiden täsmällisyydessä on eroja.

Bussiliikenteen ajonopeudet kytkeytyvät suoraan autoliikenteen nopeuksiin, joten autojen nopeuksien ohella on työssä tarkasteltu myös bussiliikenteen ajonopeuksia. Bussien nopeuksia on verrattu samalla menetelmällä kuin ajoneuvoliikenteen nopeuksia, mutta vertailuaineistona toimii HSL:n matkakorttidatasta saatavat pysäkkivälien ajoajat.

Vertailuaineisto

Bussien osalta keskinopeuksia on verrattu HSL:n matkakorttiaineistoon. Matkakorttiaineisto sisältää tiedot HSL:n bussiliikenteen toteutuneista ajoajoista pysäkkien välillä. Aineisto on poimittu syyskuun 2016 ajalta. Bussien ajoaikojen osalta tarkasteltiin ajoaikoja pysäkkiväleittäin osuuksilla, joilla on yhtenäinen vdf -funktio. Lisäksi poimittiin otos 18 keskeisestä bussilinjasta, joiden ajoaikoja tarkasteltiin koko linjan osalta molempiin suuntiin.

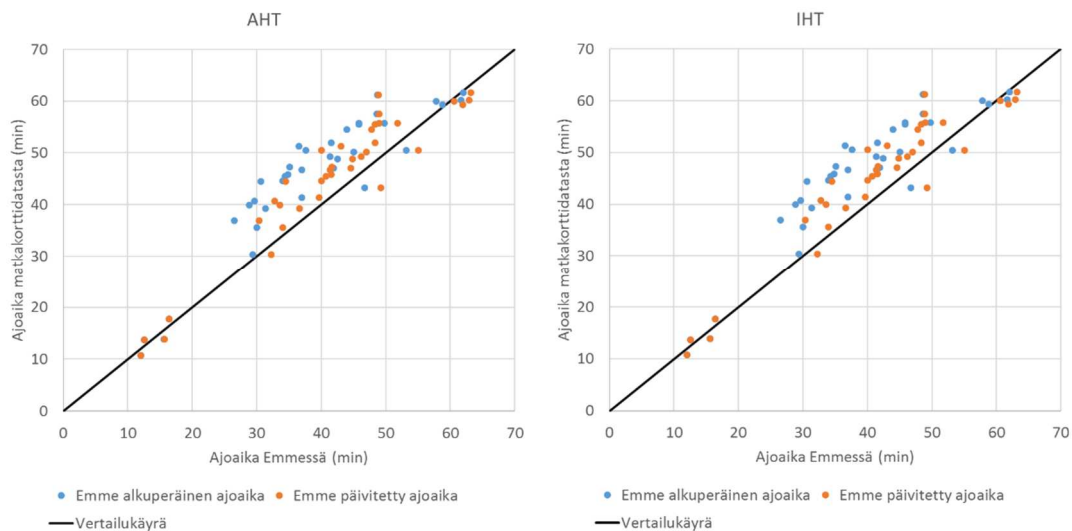
Bussien ajoajoissa on muodostettu vastaavuus liikenneverkkokuvaukseen koodaamalla matkakorttiaineiston pysäkkivälejä vastaavat yhteysvälit liikenneverkkokuvaukseen. Liikenneverkkokuvauksessa pysäkit eivät välttämättä ole täsmälleen oikealla paikallaan, joten myös tässä tapauksessa yhteysvälit voivat olla hieman todellisuutta lyhyempiä tai pidempiä.

Vertailutulokset

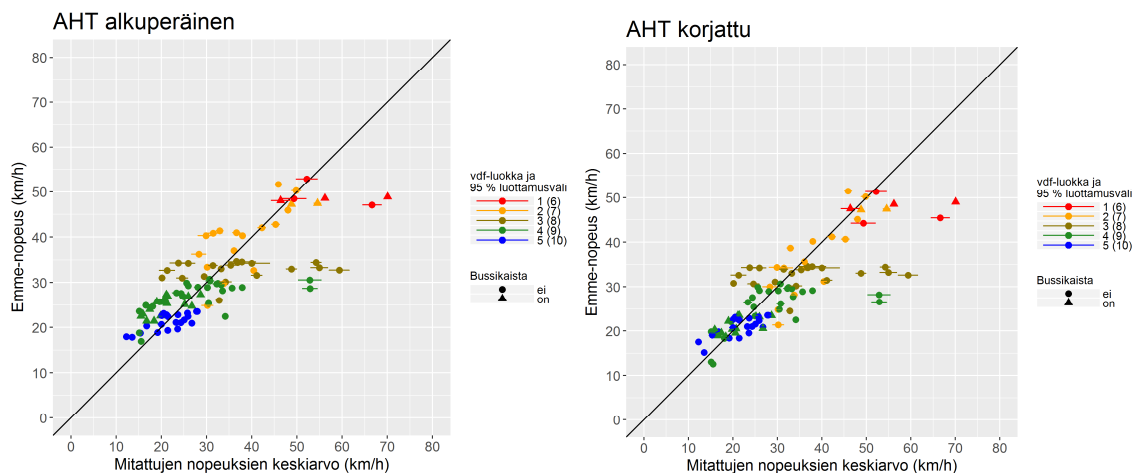
Bussien ajoajat ovat kokonaisuudessaan alkutilanteessa hieman yliarvioituja. Kokonaisten linjojen ajoajat ovat pääasiassa aliarvioituja suhteessa matkakorttiaineiston ajoajan mediaaniin (Kuva 20).

Lyhyemmillä osuuksilla on ajonopeuksissa nähtävissä myös alkuperäisillä väyläluokilla pientä yliarviointia. Osuuksittain katsottuna yliarviointi keskittyy pienimmän nopeusrajoituksen alueille sekä kantakaupunkiin. Lisäksi erityisesti bussikaistalliset osuudet sijoittuvat kaikki yliarvioitujen nopeuksien joukkoon alimmissa funktioluokissa (vdf 4 ja 5). (Kuvat 21–22, vasen puoli.)

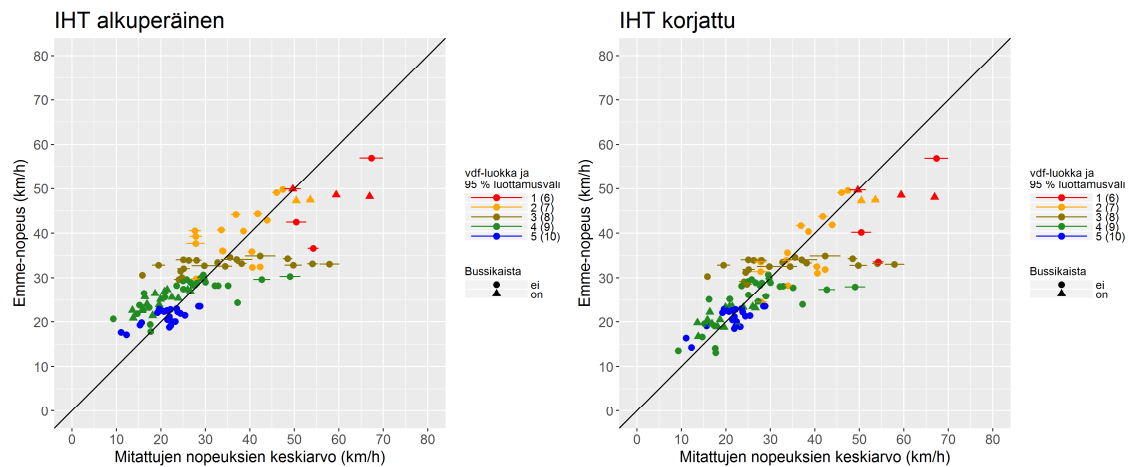
Autoverkon uusien väyläluokkien käyttö alentaa ajonopeutta myös bussien osalta ja siirtää hieman ajonopeuksia havaittuun suuntaan. Muutos on melko pienipiirteinen, mutta bussiliikenteen osalta ei päivityksen jälkeen jää nähtävää systemaattista virhettä, jota olisi tarve korjata bussiviivefunktioiden avulla. (Kuvat 21–22, oikea puoli.) Samoin kokonaisten linjojen ajoajat siirtyvät todenmukaisemmiksi (Kuva 20).



Kuva 20. Alkuperäiset (sininen) ja päivitetyt (oranssi) linjojen ajoajat AHT ja IHT



Kuva 21. AHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) bussiliikenteen ajonopeudet.



Kuva 22. IHT alkuperäiset (vasen) ja päivitetyt (oikea) bussiliikenteen ajonopeudet.

7.5.4 Joukkoliikennesijoittelun painokertoimet ja muut sijoitteluparametrit

Raportissa Elolähde ym. 2011 pohdittiin joukkoliikenteen sijoitteluparametrien määrittämistä ja tehtiin erilaisia testejä.

Tarkastelu painottui 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 jaettuun aikamatriiseihin käsittelemällä (ks. luku 9.1).

Tarkastelujen perusteella suositeltiin, että joukkoliikenteen sijoitteluissa käytetään toistaiseksi seuraavia sijoitteluparametreja:

- ut3* / boarding times (joukkoliikennemuotokohtaiset arvot)
- 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.

Näitä parametreja on siis käytetty liikenne-ennustejärjestelmän kaikissa versioissa. Saatujen kokemusten perusteella katsottiin tarpeelliseksi tarkistaa, olisiko painokertoimia tai nousuvastuksia syytä muuttaa. Asiaa pohditaan seuraavassa. Teksti perustuu muistioon Keränen & Supponen 2017

Työssä tehtävänä on ollut joukkoliikenteen nousuvastuksien kehittäminen siten, että ne tuottaisivat nykyistä parempia sijoittelutuloksia, ottaen huomioon myös em. uudet joukkoliikennemuodot. HSL:n tekemissä tarkasteluissa on todettu ongelmaksi, että pikaraitiovaunuille ja runkobussilinjoille ei ole määritelty nousuvastuksia. Myös tavallisten bussilinjojen reittipituuteen (ja siitä aiheutuvaan epävarmuuteen) pohjautuva kaava on joissakin tilanteissa pidetty ongelmallisena.

Reittipituuden käytössä ongelmana on se, että nousuvastus ei kuvaa linjan epävarmuuden lisäksi muita laatu- ja luotettavuustekijöitä (nousuvastus kuvaa HELMET-mallissa niitä joukkoliikennelinjojen ja -muotojen välisiä laatu- ja luotettavuuseroja, jotka eivät selity matka-ajalla, kävelyajalla pysäkillä ja odotusajalla) ja toisaalta linjan luotettavuus ei määräydy ainoastaan linjan pituuden perusteella. Alkuperäisellä määrittelyllä esimerkiksi lyhyet epäsäännölliset liityntälinjat saavat pieniä vaikutuksia suhteessa runkolinjoihin, joiden laatuun ja luotettavuuteen on panostettu enemmän.

Lisäksi aiemmin käytetty raideliikenteen nousuvastuksen arvo (1 minuutti) aiheuttaa joukkoliikennematkoille liikaa vaihtoja ja suosii merkittävästi liityntään perustuvia ratkaisuja. Yhden minuutin nousuvastus tarkoittaa, että liikennevälineen vaihtaminen raideliikenteeseen ei aiheuta matkustajalle juuri ollenkaan ylimääräistä vaivaa. Vaihtamiseen kuitenkin liittyy tutkimuksen mukaan kohtuullisen merkittävä lisävastus, vaikka vaihto-olosuhteet olisivat hyvät ³³.

Vertailuaineistot

Joukkoliikennesijoittelun painokertoimien tarkistuksessa vertailuaineistoksi poimittiin liikennettä verkollisella tasolla kuvaavia tunnuslukuja. Tarkoituksena oli autoliikenteen tavoin kuvata sijoittelussa esiintyviä systemaattisia virheitä, joita keskimääräistä matkaa kuvaavien parametrien päivityksellä voidaan korjata. Verkollisen tason tunnusluvut koottiin HSL:n liikkumistutkimuksesta sekä kaupunkien ja HSL:n tekemien matkustajalaskentojen pohjalta. Vertailussa ei ole mukana yksittäisiä linjoja, sillä mallin kuvaustarkkuus on liian karkea yksittäisten linjojen kuormitusten tuottamiseen.

Uudet nousuvastukset

Nousuvastukselle muodostettiin työssä uusi vaihtoehtoinen määrittely seuraavilla periaatteilla:

- Nousuvastuksen määrittelyn tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen. Bussien pituusriippuvaisesta vastuksesta luovutaan, jos se ei olennaisesti paranna mallin selityskykyä.
- Nostetaan alinta nousuvastusta kaikille kulkutavoille, jotta vaihtojen määrä vähenisi oikealle tasolle.
- Linjojen ja kulkutapojen välisen laadun ja luotettavuuden tulisi määräytyä sen perusteella, kuinka paljon niiden luotettavuuteen ja laatuun investoidaan.

Nousuvastuksen uusi määrittely on esitetty alla (Taulukko 36). Ehdotuksessa nousuvastus määräytyy kulkutavan palvelutasoluokan mukaan, samaan tapaan kuin linkkityypit määräytyvät autoliikenteen verkolla. Uusien hankkeiden kohdalla ne voidaan sijoittaa tiettyyn luokkaan suunniteltujen ominaisuuksien perusteella (esimerkiksi uudet runkobussilinjat, raitiotielinjat).

Käytännössä esitettyihin luokkakohtaisiin nousuvastuksiin on päädytty kokeellisesti ja tarkasteluiden rajallisuudesta johtuen kulkutapojen nousuvastuksien väliset suhteet on pyritty kuitenkin säilyttämään aiemmalla tasolla. Mallinnuksen ja hankkeiden arvioinnin kannalta on kuitenkin erittäin tärkeää jatkossa tarkastella palvelutasoluokkien välisiä eroja ja nousuvastuksen määrittelyä. Erityisesti luokan B osalta voisi olla perusteltua käyttää korkeampaa nousuvastusta kuin luokalla A.

On myös huomattava, että vaikka taulukossa kulkutavat on nyt sijoitettu kokonaan yhteen luokkaan, voisi jatkossa oikeampi tapa olla kuvata nousuvastusta linjakohtaisesti. Esimerkiksi raitiotie ja

³³ Vaihtovastusta tutkittu useissa tutkimuksissa, joita koottu yhteen esimerkiksi raportissa HSL 2015b.

runkobussilinjojen välillä voi olla merkittävää eroa laatu- ja luotettavuustekijöiden suhteen (täsmällisyys, häiriöt, kalusto, pysäkit). Käytännössä raitiotie- ja runkobussilinjat voivat osua toteutuksesta riippuen B tai C luokkaan.

Taulukko 36. *Palvelutasoluokat ja nousuvastukset.*

luokka	luokan ominaisuudet	luokan kulkutavat	nousuvastus
A	- Täysin eroteltu muusta liikenteestä, ei viivytyksiä - Asemat (pyöräpysäköinti, informaatio, säänsuoja, opastus, palvelut) - Korkea matkustusmukavuus (kaluston laatu, tasainen kulku, istumatilat, täsmällisesti laiturin viereen)	Metro, juna (mod=mrj)	3 min
B	- Tasoristeykset muun liikenteen kanssa, mutta pääosin omat kaistat ja joukkoliikenne-etuudet - Korkean laatutason pysäkit (pyöräpysäköinti, informaatio, säänsuoja) - Korkea matkustusmukavuus (kaluston laatu, tasainen kulku, istumatilat, täsmällisesti laiturin viereen)	Raitiotiet, pikaraitiotiet (mod=tp)	3 min
C	- Tasoristeykset muun liikenteen kanssa. Paikoitellen omat kaistat ja joukkoliikenne-etuudet - Korkean laatutason pysäkit (informaatio, säänsuoja)	Runkobussit (mod=g)	7,5 min
D	- Vähäinen tai ei ollenkaan erottelua - Säännöllinen liikenne - Pysäkkikatokset (säänsuoja)	Säännöllinen bussiliikenne (mod=b)	10 min
E	- Vähäinen tai ei ollenkaan erottelua - Epäsäännölliset vuorovälit - Osittain pysäkkikatokset (säänsuoja)	VALLU-liikenne (mod=de)	12 min

Myöhemmin myös lauttaliikenteelle (*mod=w*) päädyttiin käyttämään nousuvastusta 3,0 min. Nousuvastukset (*boarding time*) talletetaan linjakohtaiseen muuttujaan *ut3*.

Tulokset

Uudet nousuvastuksien tärkeimpänä muutoksena voidaan pitää vaihdollisten matkojen määrän pienentymistä, mikä on vahvasti linjassa havaintojen kanssa. Muutoin tulokset ovat melko samalla tasolla aiemman määrittelyn kanssa johtuen siitä, että kulkutapojen väliset suhteet on pidetty samoina. Kuitenkaan alinta nousuvastusta ei voitu nostaa tasolle, jolla vaihtojen määrä olisi havaitulla tasolla, koska silloin joukkoliikenteen kuormitukset (erityisesti raitiotie) jäivät liian alhaisiksi.

Pituusriippuvaiset bussiliikenteen nousuvastukset eivät näiden tunnuslukujen perusteella tuota parempia tuloksia kuin yksinkertaisempi määrittely. Bussien kokonaisnousumäärä putoaa uusilla vastuksilla hieman liikaa, mutta toisaalta kantakaupunkiin tulee yhä liikaa bussimatkustajia.

Taulukko 37. Mallin tuottamia tuloksia suhteessa vertailuaineistoon³⁴.

muuttujat	vertailu- aineistot	alkuper. verkko	uusi määrittely
vaihdollisten matkojen osuus kaikista joukkoliikennematkoista (arkivrk)	27 % ¹	44 %	36 %
kahden vaihdon matkojen osuus (arkivrk)	4,4 % ¹	10 %	5 %
Kantakaupungin sisäiset matkat, joilla käytetty raitiovaunua (arkivrk)	100 000 ¹	76 600	71 200
Helsingin sisäiset matkat, joilla käytetty raitiovaunua (arkivrk)	138 700 ¹	145 300	126 000
Helsingin sisäiset matkat, joilla käytetty metroa (arkivrk)	133 100 ¹	154 300	146 900
Helsingin sisäiset matkat, joilla käytetty junaa (arkivrk)	47 300 ¹	84 000	82 200
Helsingin sisäiset matkat, joilla käytetty bussia (arkivrk)	278 200 ¹	302 100	251 100
Niemen rajan laskentalinja raitiovaunulla (AH)	5 910 ²	5 500	5 700
Niemen rajan laskentalinja bussilla (AH)	21 050 ²	23 800	23 800
Niemen rajan laskentalinja junalla (AH)	19 860 ²	23 900	23 400
Niemen rajan laskentalinja metrolla (AH)	18 230 ²	19 900	19 700
Kantakaupungin laskentalinja raitiovaunulla (AH)	1 670 ³	2 100	2 200
Kantakaupungin laskentalinja bussilla (AH)	32 520 ³	46 400	46 700
Kantakaupungin laskentalinja junalla (AH)	31 310 ³	45 900	43 800
Kantakaupungin laskentalinja metrolla (AH)	21 600 ³	24 400	23 800
Nousijat bussit, pl. U-liikenne (arkivrk)	632 700 ⁶	662 300	585 000
Nousijat runkobussit (arkivrk)	57 400 ^{4, 5}	42 400	73 900
Nousijat raitiovaunut (arkivrk)	180 600 ⁶	205 400	174 200
Nousijat metro (arkivrk)	215 000 ⁶	206 500	189 400
Nousijat junat, pl. U-liikenne (arkivrk)	205 000 ⁶	280 200	265 900

1) HSL liikkumistutkimus 2012 (vrk)

2) Liikenteen kehitys Helsingissä 2015 (vrk)

3) Liikenteen kehitys Helsingissä 2014 (vrk), huom. Tilastovuotena Kehärata ei vielä käytössä

4) HSL matkustajatilastot 2014 (arkivuorokausi helmikuu)

5) HSL matkustajatilastot 2016 (arkivuorokausi helmikuu)

6) HSL matkustajatilastot 2016, lokakuun keskimääräinen arkipäivä

Varsinaisen ehdotuksen lisäksi työn aikana testattiin kokeiluluontoisesti muutamia erilaisia määrittelyitä nousuvastukselle sekä muita tuloksiin vaikuttavia tekijöitä. Näitä tekijöitä ja niiden vaikutukset on kuvattu seuraavassa taulukossa.

³⁴ Huom. Tuloksissa on otettu huomioon aiemmin tehdyt autoliikenteen nopeuskorjaukset, jotka vaikuttavat myös bussiliikenteen nopeuksiin ja sitä kautta bussien (ja raitioteiden) kuormituksiin kantakaupungissa.

Taulukko 38. Vaihtoehtoisia nousuvastuksen ja verkon määrittelyitä.

testattu muutos	keskeiset huomiot
Nousuvastuksen muuttaminen vaihtovastukseksi (<i>ut3</i> nousuvastusta ei mukana ensimmäisessä nousussa)	Vaihdollisten matkojen määrä vähentyy 3 minuutin vaihtovastuksella oikealle tasolle. Raidekulkumuotojen kuormitukset kuitenkin putoavat ja jäävät selvästi liian pieniksi. Tämä on seurausta siitä, että vaihdottomilla matkoilla ei enää ole raideliikennehyötyjä.
Nousuvastuksen alimman tason nostaminen 5 minuuttiin (<i>ut3</i> minimitaso 5 min)	Nostamalla alin nousuvastus 5 minuuttiin saadaan vaihdollisten matkojen määrä asettumaan oikealle tasolle. Kuitenkin raideliikenteestä erityisesti raitiotiematkojen määrä jää liian alhaiseksi ja Helsingin kantakaupungissa tapahtuu merkittävä siirtymä joukkoliikennenuosuista suoriin kävelymatkoihin.
Luokan B nousuvastuksen kasvattaminen luokkaan A suuremmaksi (raitoliikenne <i>ut3</i> muutetaan 3 min => 4 min)	Raitiotien kuormitukset putoavat liian alhaisiksi suhteessa nykytilaan.
Raitiovaunujen maankäyttökytkentöjen lyhentäminen (alueet kytketty suoraan raitiovaunupysäkeille)	Vaikuttaa merkittävästi raitieliikenteen kuormitukseen ja nostaa raitioteiden kuormituksen 3 minuutin nousuvastuksella liian suureksi. Nykyisten raitiotielinjojen heikko kuormittuminen selittyy siis nousuvastuksen ohella myös maankäyttökytkennöistä.

7.5.5 Joukkoliikennesijoittelun painokertoimet Helmet 3.1 –järjestelmän loppusijoittelussa

Liikenne-ennustejärjestelmän seuraavaa versiota varten HSL:ssä on kehitetty edelleen joukkoliikennesijoittelua (West ym. 2019). Niissä käytetään seuraavia kertoimia matka-ajan painottamiseen verrattuna ajoaikaan:

- Odotusaika 1,5
- Odotusajan pidennys vuorovälin hajonnan takia 3,5
- Kävelyaika 1,75

Kävelyaajan arvo muuttuu siis edellisen malliversion verrattuna 1,5:stä 1,75:een. Tämä muutos pohjautuu Joukkoliikenteen vaikutusten arvioinnin yleisohjeeseen (Metsäranta & Pesonen, 2007) ja sijoittelutestit näyttivät, että muutos mahdollisesti parantaa sijoittelun tarkkuutta.

Odotusajan keston laskenta säilyy matkan ensimmäisen nousun osalta ennallaan, eli $0,3 \cdot \text{vuoroväli}$. Vaihtojen odotusaikaa kuvaava kerroin sen sijaan muuttuu 0,5:ksi. Sijoittelutestit näyttivät, että tämäkin muutos mahdollisesti parantaa sijoittelun tarkkuutta.

Nousuvastus koostuu kolmesta komponentista: kiinteä nousuaika, odotusajan pidennys vuorovälin hajonnan takia (busseille ja ratikoille) sekä vaihtovastus.

Odotusajan pidennys vuorovälin hajonnan takia

Sijoittelun yhteydessä kaikille bussi- ja raitiovaunulinjoille lasketaan kumulatiivinen ajoaika minuutteina lähtöpysäkiltä kullekin reitin varrella olevalle pysäkille käyttäen luvun 7.5.2 viivytysfunktioita.

Samalla lasketaan myös kumulatiivinen etäisyys [km] ja niiden suhteesta edelleen kumulatiivinen ajonopeus (km/h)

$$\text{kumul. ajonopeus} = 60 * \text{kumul. etäisyys} / \text{kumul. ajoaika}$$

Saaduista luvuista lasketaan edelleen vuorovälin keskihajonta kaavoilla

Vuorovälin keskihajonta	
Bussit	$\sigma_b = 2,164 + 0,078 * \text{kumul. ajoaika} - 0,028 * \text{kumul. ajonopeus}$
Runkobussit	$\sigma_g = 2,127 + 0,034 * \text{kumul. ajoaika} - 0,021 * \text{kumul. ajonopeus}$
Ratikat	$\sigma_t = 1,442 + 0,060 * \text{kumul. ajoaika} - 0,039 * \text{kumul. ajonopeus}$
Pikaratikat	$\sigma_p = 1,442 + 0,034 * \text{kumul. ajoaika} - 0,039 * \text{kumul. ajonopeus}$

Lukuja voidaan käyttää keskimääräisen odotusajan laskemisessa

$$\text{keskimääräinen odotusaika} = \frac{\text{vuoroväli}}{2} + \frac{\text{keskihajonta}^2}{2 * \text{vuoroväli}}$$

Kansainvälisen kirjallisuuden mukaan epäluotettavan matka-ajan (myöhästymisen tai epävarmuuden) arvo on suurempi kuin normaalimatka-ajan. Ruotsin ASEK-ohjeissa³⁵ suhde on 3,5.

Kiinteät nousuvastukset

Junaliikenteessäkin on myöhästymisiä ja epäluotettavuutta. Niiden suuruutta ei ole laskettu, mutta sijoittelussa käytetään kiinteää nousuvastusta 2 min (muuttuja *ut3*). Tämä arvo on huomattavasti pienempi kuin bussi- ja raitiovaunuliikenteessä vuorovälin keskihajonnasta syntyvä vastus. Metro- ja vesiliikenteessä ei oleteta olevan epäluotettavuutta odotusajassa.

Helmet 3.1 tuottaa näillä parametreilla edelleen liikaa bussimatkustamista. Sen takia on lisätty keinotekoinen nousuvastus 3 min HSL-busseille ja 5 min muille busseille.

Taulukko 39. Joukkoliikenteen nousuvastukset (Helmet 3.1).

kulkutapa (mode)	kuvaus	nousuvastus <i>ut3</i> [min]
b	HSL:n bussi	3
g	HSL:n runkolinja	3
d	muu bussi (kaukoliikenne, VALLU)	5
e	pikavuoro (kaukoliikenne, VALLU)	5
m	metro	0
r	lähijuna	2
j	kaukojuna	2
t	raitiovaunu	0
p	pikaraitiovaunu	0
w	vesiliikenne joukkoliikennemuotona	0

³⁵ Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1 – Kapitel 8 Kostnad för trängsel och förseningar

Vaihtovastus

Sijoittelussa käytetään Joukkoliikenteen vaikutusten arvioinnin yleisohjeen mukaista kiinteää vaihtovastusta 5 min.

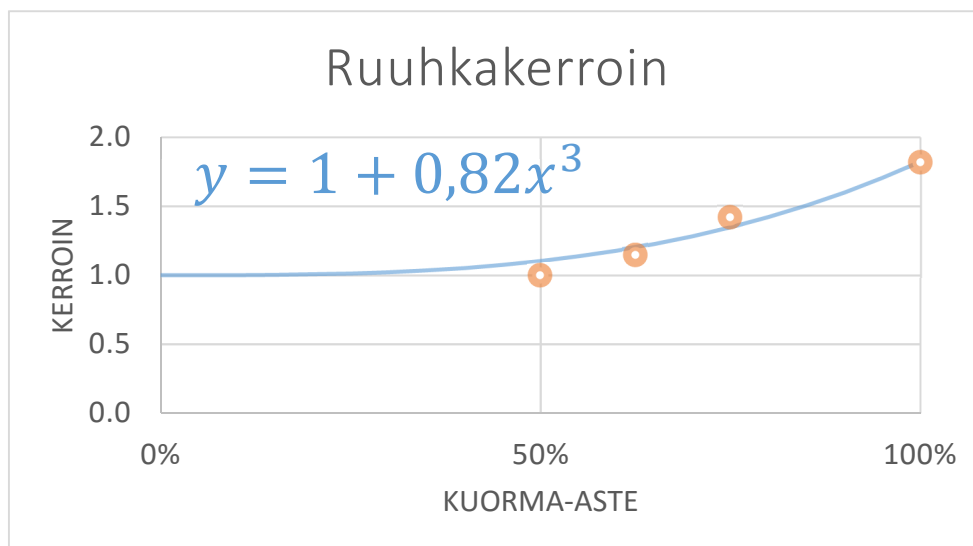
Kokonainen nousuaika lasketaan siis kaavalla

$$\text{nousuaika} = 1 * ut_3 + 3,5 * \frac{\text{keskihajonta}^2}{2 * \text{vuoroväli}} + 5 \text{ (jos vaihto)}$$

missä ensimmäinen termi on linjakohtainen arvo edellä olevasta taulukosta ja toinen kullekin segmentille laskettu kumulatiivinen arvo.

7.5.6 Ruuhkautunut joukkoliikennesijoittelu

Viimeisellä kierroksella käytetään Emmen ruuhkautuneen joukkoliikennesijoittelun (*congested transit assignment*) moduulia. Ajan arvo määritellään seuraavan kaavan mukaan (Björklund & Swärdh, 2017):



Kuva 23. Kuorma-asteen vaikutus ruuhkakertoimeen.

Kaavassa kuorma-aste 100% tarkoittaa linjan maksimikapasiteettia.

Keskimääräinen koettu kuorma-aste on yleensä suurempi kuin huipputunnin keskimääräinen kuorma-aste. Varovainen estimointi Helsingin seudun joukkoliikenteen osalta on että suhde on 1,15. Tästä seuraa, että ajan arvon funktio on

$$\begin{aligned} \text{Crowded VoT} &= \left(1 + 0.82 \cdot \left(\frac{\text{average perceived passenger load}}{\text{passenger capacity}} \right)^3 \right) \cdot \text{uncrowded VoT} \\ &= \left(1 + 0.82 \cdot \left(\frac{1.15 \cdot \text{average passenger load}}{\text{passenger capacity}} \right)^3 \right) \cdot \text{uncrowded VoT} \\ &= \left(1 + 0.82 \cdot 1.15^3 \cdot \left(\frac{\text{average passenger load}}{\text{passenger capacity}} \right)^3 \right) \cdot \text{uncrowded VoT} \\ &= \left(1 + 1.5 \cdot \left(\frac{\text{average passenger load}}{\text{passenger capacity}} \right)^3 \right) \cdot \text{uncrowded VoT} \end{aligned}$$

Tätä funktiota käytetään sijoittelussa. Iteroidaan sijoittelua enintään 10 kertaa.

Validointi

Helmet 3.1 -sijoittelun vuorokauden nousumääriä verrattiin Helmet 3.0:n tuloksiin sekä laskentatietoihin vuodesta 2016 (vrt. Taulukko 37 sivulla 97).

Taulukko 40. Mallin tuottamia nousumääriä (arkvrk) suhteessa vertailuaineistoon.

	Vertailuaineisto	Helmet 3.0	Helmet 3.1
bussi	632 700	653 823	749 982
runkobussi	57 400	74 276	56 591
muu bussi		77 826	94 503
pikavuoro		4 085	7 986
metro	215 000	173 692	206 407
lähijuna	205 000	299 316	213 802
kaukojuna		25 683	26 716
ratikka	180 600	169 155	133 868

Lähijunien ja metron nousumäärät korjaantuvat uudessa loppusijoittelussa, mutta bussien nousumäärät ovat lähteneet väärään suuntaan. Todennäköisesti kysyntämalli tuottaa liikaa pitkiä joukko-liikennematkoja ja liian vähän lyhyitä joukkoliikennematkoja kantakaupungissa. Tämä selittää bussinousujen runsautta sekä ratikkalousujen vähäisyyttä mallissa.

8 Verkkokuvauksen testaus

Tämä luku perustuu pitkälti muistoon Rantala ym. 2017. Vertailut on tehty ennen kuin väyläluokkien määrää kasvatettiin ja nousuvastuksia muutettiin aiemmissa luvuissa kuvatulla tavalla.

8.1 Autoliikenteen matka-ajat

Autoliikenteen nopeuksien osalta verrattiin Emmen tuottamia aamuhuipputunnin (AHT) matka-ajkoja TomTomin navigaattoridataan³⁶ (Taulukko 41). Koska erot olivat joiltain osin varsin suuria, verrattiin myös matka-aikoja vanhalta verkolta sen testaamiseksi, ovatko matka-ajat päivitystyössä muuttuneet erityisen paljon jollain välillä, mikä voisi indikoida koodausvirheitä verkolla päivitystyön yhteydessä. Tulokset (Taulukko 42) ovat kuitenkin varsin tasaisesti jakaantuneita sikäli, että joillain osilla verkkoa vanhan verkon matka-aika on lähempänä TomTomin dataa ("uusi huonompi"), joillakin osilla taas uuden verkon matka-aika on lähempänä TomTomin dataa ("uusi parempi"). Taulukossa on verrattu sitä, kuinka paljon edellisen taulukon "erotus %" on parantunut tai huonontunut vanhasta verkosta uuteen siirryttäessä. Keskiarvo ja mediaani viittaavat siihen, onko Emmen matka-aikaa verrattu TomTomin matka-ajan mediaaniin vai keskiarvoon.

Taulukko 41. Henkilöauton matka-aikavertailu TomTom vs. Emme.

Väylä	Risteysväli ja suunta (mistä mihin)	Linkin pituus (TomTom)	TomTom matka-aika (min)		Emme matka- aika	erotus %		erotus %	
		km	keskiarvo	mediaani	min	keskiarvo	K / E	mediaani	K / E
Turunväylä	vt 25 - Huopalahdentie	41,5	35,8	32,1	31,5	-12 % KYLLÄ	-2 % KYLLÄ	-2 % KYLLÄ	-2 % KYLLÄ
Hämeenlinnanväylä	vt 25 - Hakamäentie	42,3	33,3	29,1	34,1	2 % KYLLÄ	17 % EI	17 % EI	17 % EI
Lahdenväylä	vt 25 - Koskelantie	52,0	32,9	29,2	39,3	19 % EI	35 % EI	35 % EI	35 % EI
Porvoonväylä	Sipoon itäraja - Lahdenväylä	23,5	16,4	14,0	12,4	-25 % EI	-12 % KYLLÄ	-12 % KYLLÄ	-12 % KYLLÄ
Tuusulanväylä	Tuusulan itäväylä - Koskelantie	20,3	23,2	19,8	22,6	-3 % KYLLÄ	14 % KYLLÄ	14 % KYLLÄ	14 % KYLLÄ
Kt 51 (Länsiväylä)	Kirkkonummen länsiraja - Porkkalankatu	35,5	28,2	25,9	28,4	1 % KYLLÄ	10 % KYLLÄ	10 % KYLLÄ	10 % KYLLÄ
Vihdintie	Vt 25 - Kehä 3	27,0	23,1	22,1	24,2	5 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ
Turuntie (110)	Karvasmäentie - Vihdintien liikenneympyrä	12,5	25,8	19,8	18,5	-28 % EI	-7 % KYLLÄ	-7 % KYLLÄ	-7 % KYLLÄ
Vt 25	Lopentie (mt 132) - Lahdenväylä	41,5	29,5	29,0	31,1	6 % KYLLÄ	7 % KYLLÄ	7 % KYLLÄ	7 % KYLLÄ
Vt 25	Lahdenväylä - Lopentie (mt 132)	41,6	29,5	28,7	31,3	6 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ	9 % KYLLÄ
Kehä 3	Kt 51 - mt 170	47,9	38,9	36,5	38,2	-2 % KYLLÄ	5 % KYLLÄ	5 % KYLLÄ	5 % KYLLÄ
Kehä 3	mt 170 - Kt 51	47,6	37,3	35,8	36,3	-2 % KYLLÄ	2 % KYLLÄ	2 % KYLLÄ	2 % KYLLÄ
Kehä 1	Länsiväylä - Itäväylä	25,0	27,9	24,0	23,2	-17 % EI	-3 % KYLLÄ	-3 % KYLLÄ	-3 % KYLLÄ
Kehä 1	Itäväylä - Länsiväylä	25,5	35,3	28,2	25,7	-27 % EI	-9 % KYLLÄ	-9 % KYLLÄ	-9 % KYLLÄ
Hakamäentie	Vt 3 - Kt 45	2,7	5,8	4,3	4,4	-24 % EI	3 % KYLLÄ	3 % KYLLÄ	3 % KYLLÄ
Hakamäentie	Kt 45 - Vt 3	2,7	3,4	3,1	3,9	12 % KYLLÄ	24 % EI	24 % EI	24 % EI
Nordenskiöldinkatu - Mechelininkatu	Teollisuuskatu - Porkkalankatu	4,4	12,8	9,2	9,0	-30 % EI	-3 % KYLLÄ	-3 % KYLLÄ	-3 % KYLLÄ
Mechelininkatu - Nordenskiöldinkatu	Porkkalankatu - Teollisuuskatu	4,5	13,6	10,2	8,3	-39 % EI	-18 % EI	-18 % EI	-18 % EI
Sturenkatu - Runeberginkatu - Caloniuksenkatu	Hämeentie - Mechelininkatu	3,8	15,7	11,6	7,6	-52 % EI	-35 % EI	-35 % EI	-35 % EI
Caloniuksenkatu - Runeberginkatu - Sturenkatu	Mechelininkatu - Hämeentie	3,8	15,0	10,9	6,4	-58 % EI	-41 % EI	-41 % EI	-41 % EI
Sörnäisten rantatie - Pohj.ranta - Esplanadi	Junatie - Mannerheimintie	3,9	11,1	8,1	6,2	-44 % EI	-23 % EI	-23 % EI	-23 % EI
Esplanadi - Pohj.ranta - Sörnäisten rantatie	Mannerheimintie - Junatie	3,5	8,9	6,4	5,0	-44 % EI	-21 % EI	-21 % EI	-21 % EI
Kt 45	Vt 3 - Tuusulan itäväylä	25,5	23,8	22,2	19,7	-17 % EI	-12 % KYLLÄ	-12 % KYLLÄ	-12 % KYLLÄ

³⁶ TomTom-datassa mukana arkipäivät maanantaista torstaihin aikaväliltä 31.8.–3.11.2015, pois lukien koulujen syyslomaviikko ja autoton päivä, klo 7.30–8.30. Sisääntuloväyliltä nopeudet ovat vain ruuhkasuuntaan, poikittaisväyliltä molempiin suuntiin. TomTom-datassa on esim. sisääntuloväylillä eritasoliittymien kohdalla vain suoraan ajavat, kun taas Emmessä kaikilla linkin autoilla on sama matka-aika, riippumatta siitä tulevatko tai poistuvatko ne väylältä, mikä vaikuttaa tuloksiin jonkin verran.

Taulukko 42. Henkilöauton matka-aikavertailu, Emmen uusi verkko vs. vanha verkko.

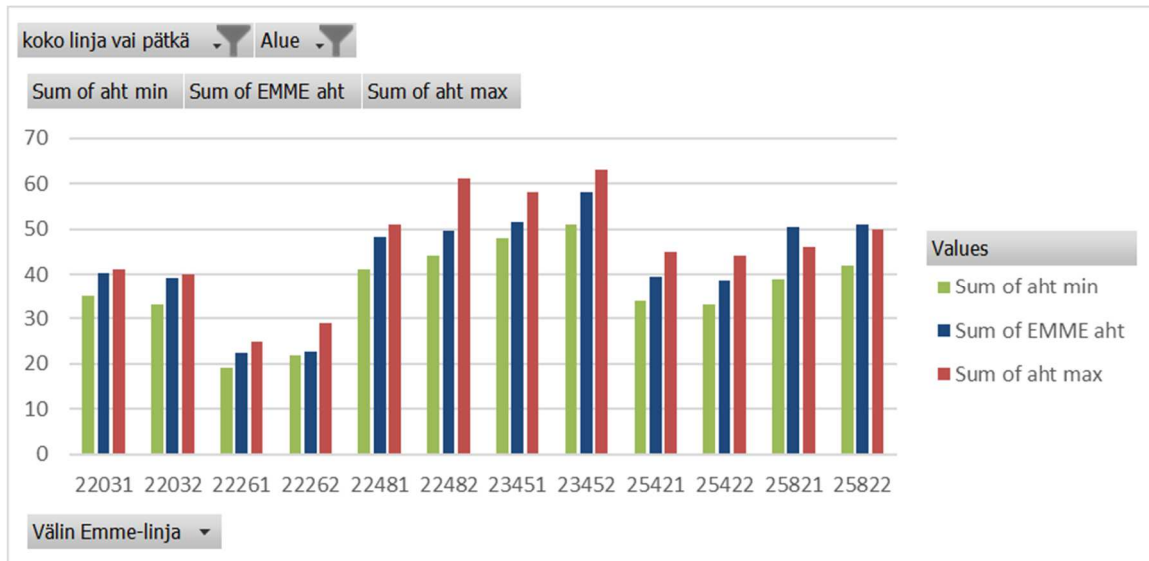
		Emme matka- aika	Emme vanha verkko		
Väylä	Risteysväli ja suunta (mistä mihin)	min	min	keskiarvo	mediaani
Turunväylä	vt 25 - Huopalahdentie	31,5	30,9	uusi parempi 2 %-y	uusi parempi 2 %-y
Hämeenlinnanväylä	vt 25 - Hakamäentie	34,1	33,3	uusi huonompi 2 %-y	uusi huonompi 3 %-y
Lahdenväylä	vt 25 - Koskelantie	39,3	37,5	uusi huonompi 6 %-y	uusi huonompi 6 %-y
Porvoonväylä	Sipoon itäraja - Lahdenväylä	12,4	12,2	uusi parempi 1 %-y	uusi parempi 2 %-y
Tuusulanväylä	Tuusulan itäväylä - Koskelantie	22,6	21,8	uusi parempi 4 %-y	uusi huonompi 4 %-y
Kt 51 (Länsiväylä)	Kirkkonummen länsiraja - Porkkalankatu	28,4	30,3	uusi parempi 7 %-y	uusi parempi 7 %-y
Vihdintie	Vt 25 - Kehä 3	24,2	24,3	uusi parempi 0 %-y	uusi parempi 0 %-y
Turuntie (110)	Karvasmäentie - Vihdintien liikenneympyrä	18,5	18,1	uusi parempi 2 %-y	uusi parempi 2 %-y
Vt 25	Lopentie (mt 132) - Lahdenväylä	31,1	31,1	uusi huonompi 0 %-y	uusi huonompi 0 %-y
Vt 25	Lahdenväylä - Lopentie (mt 132)	31,3	31,2	uusi huonompi 0 %-y	uusi huonompi 0 %-y
Kehä 3	Kt 51 - mt 170	38,2	38,5	uusi huonompi 1 %-y	uusi parempi 1 %-y
Kehä 3	mt 170 - Kt 51	36,3	36,1	uusi parempi 1 %-y	uusi huonompi 1 %-y
Kehä 1	Länsiväylä - Itäväylä	23,2	22,6	uusi parempi 2 %-y	uusi parempi 2 %-y
Kehä 1	Itäväylä - Länsiväylä	25,7	24,6	uusi parempi 3 %-y	uusi parempi 4 %-y
Hakamäentie	Vt 3 - Kt 45	4,4	4,1	uusi parempi 6 %-y	uusi parempi 8 %-y
Hakamäentie	Kt 45 - Vt 3	3,9	3,6	uusi huonompi 8 %-y	uusi huonompi 8 %-y
Nordenskiöldinkatu - Mechelininkatu	Teollisuuskatu - Porkkalankatu	9,0	8,1	uusi parempi 7 %-y	uusi parempi 10 %-y
Mechelininkatu - Nordenskiöldinkatu	Porkkalankatu - Teollisuuskatu	8,3	7,9	uusi parempi 3 %-y	uusi parempi 4 %-y
Sturenkatu - Runeberginkatu - Caloniuksenkatu	Hämeentie - Mechelininkatu	7,6	7,0	uusi parempi 4 %-y	uusi parempi 5 %-y
Caloniuksenkatu - Runeberginkatu - Sturenkatu	Mechelininkatu - Hämeentie	6,4	6,3	uusi parempi 1 %-y	uusi parempi 1 %-y
Sörnäisten rantatie - Pohj.ranta - Esplanadi	Junatie - Mannerheimintie	6,2	6,2	uusi huonompi 0 %-y	uusi huonompi 0 %-y
Esplanadi - Pohj.ranta - Sörnäisten rantatie	Mannerheimintie - Junatie	5,0	4,9	uusi parempi 2 %-y	uusi parempi 3 %-y
Kt 45	Vt 3 - Tuusulan itäväylä	19,7	19,8	uusi huonompi 1 %-y	uusi huonompi 1 %-y

8.2 Bussiliikenteen ajoajat

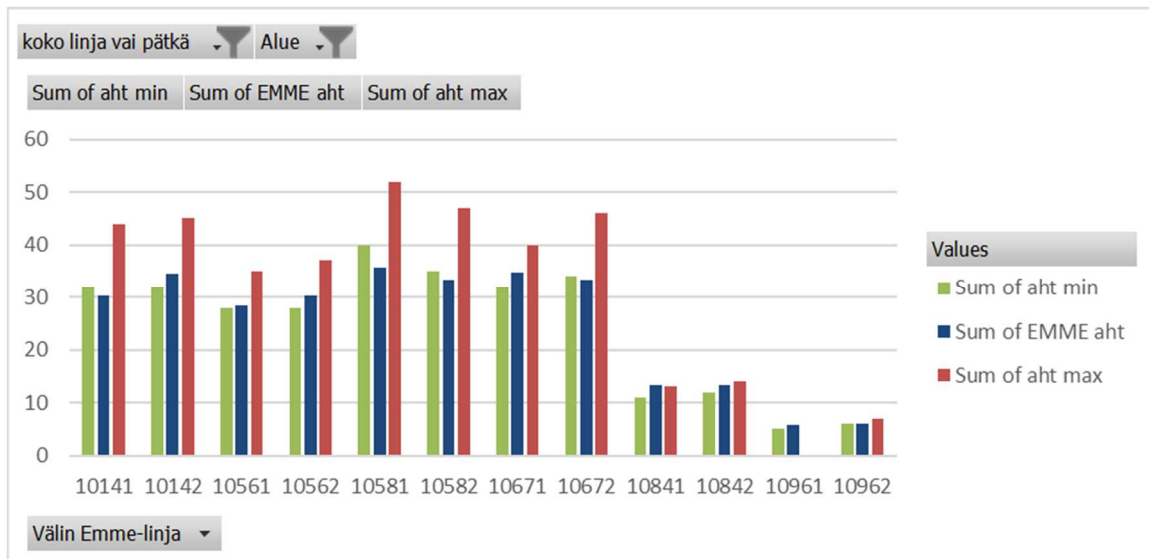
Bussilinjojen ajoaikoja tutkittiin 20 testilinjalla. Vertailuaineistossa jokainen bussilinja oli jaettu osuuksiin, joiden matka-aikaa verrattiin Emmeen. Osuuksilla esiintyy useampaa vdf- ja siten bussiviive (us2) -arvoa, ja osaan osuuksista sisältyy bussikaistallisia osuuksia. Siten ei voitu suoraan tutkia eroa eri funktioluokkien välillä, mutta toisaalta tätä on jo tutkittu Trafixin muistiossa (Holm, Supponen & Keränen 2013), eikä tilanne sen jälkeen liene muuttunut.

Vertailuaineistosta poimittiin testilinjojen aamu- ja iltahuipputunnille minimi- ja maksimijaoajat osuuksittain. Kuvissa 24–27 vihreä on AHT:n minimijaoaika, sininen on Emmen AHT-ajokaika ja punainen on AHT:n maksimijaoaika. Kuvissa on koko linjan AHT-matka-aika, siis ilman erottelua osuuksittain.

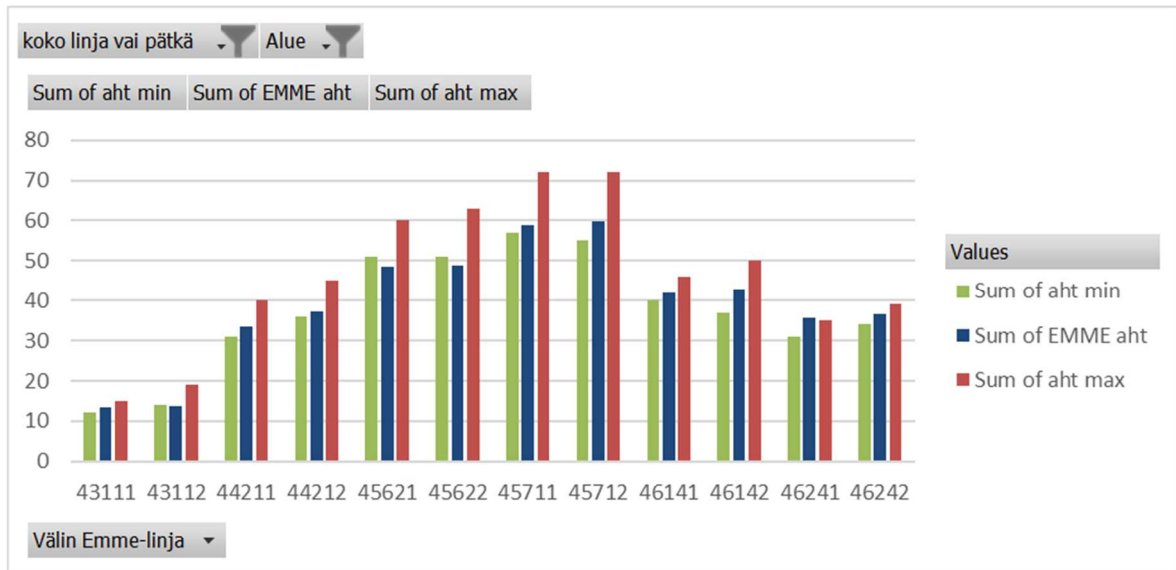
Espoon testilinjoilla (Kuva 24) AHT-tilanne on kohtuullisen hyvä ja Emmen ajoaika on pääosin minimi- ja maksimijaoajan välissä. Helsingissä (Kuva 25) monet linjat ovat liian nopeita jopa minimijaoaikaan nähden. Tämä näkyy erityisesti keskustan läpi ajavilla linjoilla (tässä 14, 67) ja poikittaislinjalla 58 (Itäkeskus–Pasila–Munkkivuori). Metron liityntälinjoilla (84, 96) tilanne on parempi. Vantaan linjoilla (Kuva 26) AHT-tilanne on kohtalaisen hyvä, tosin sielläkin osa linjoista on liian nopeita. Sipoon ja Kirkkonummen linjat (Kuva 27) ovat liian hitaita. Todennäköisin selitys on, että kun matkustajia on vähemmän ja ruuhkaa ei ole, bussin nopeus on lähempänä autojen nopeutta kuin taajama-alueilla. Tämä viitanee siihen, että maaseutumaisten alueiden linjoilla bussiviive on liian suuri.



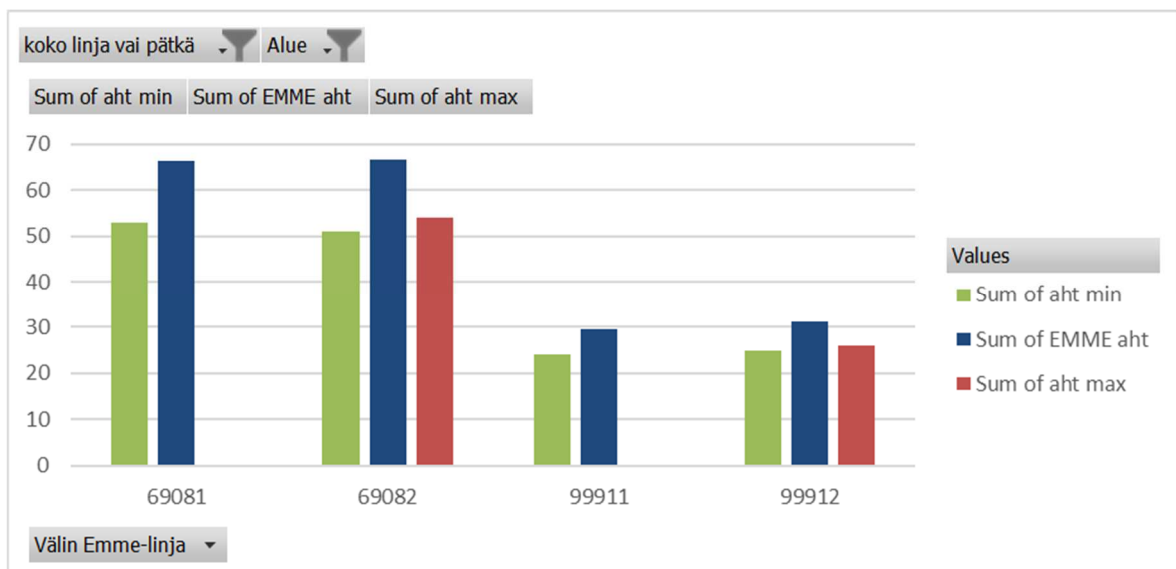
Kuva 24. Espoon testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.



Kuva 25. Helsingin testilinjojen AHT-ajoaikavertailu.

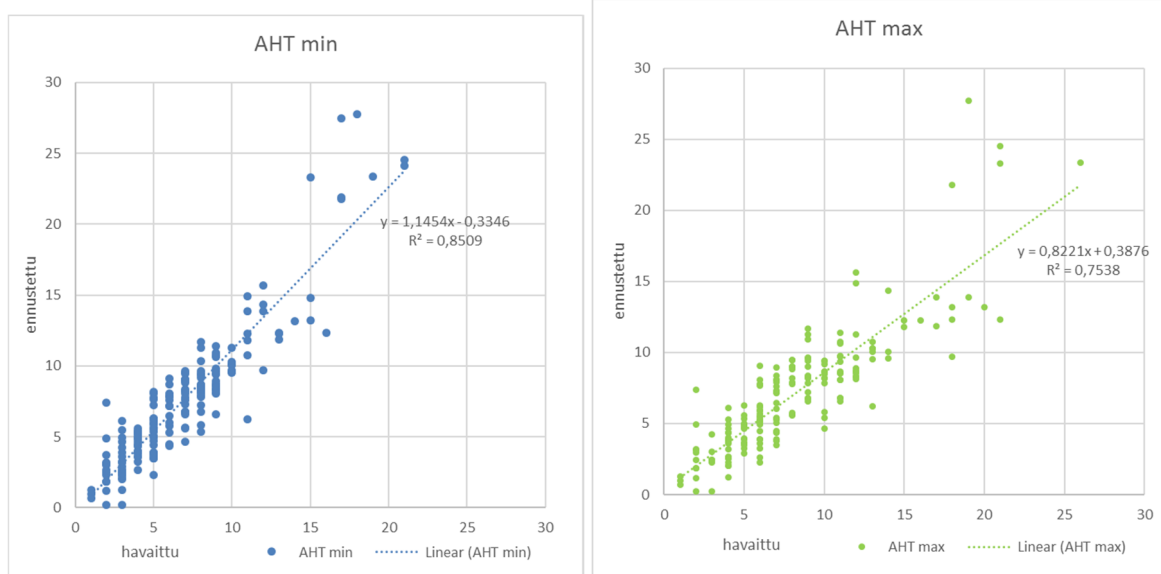


Kuva 26. Vantaan testilinjat AHT-ajokaikavertailu.

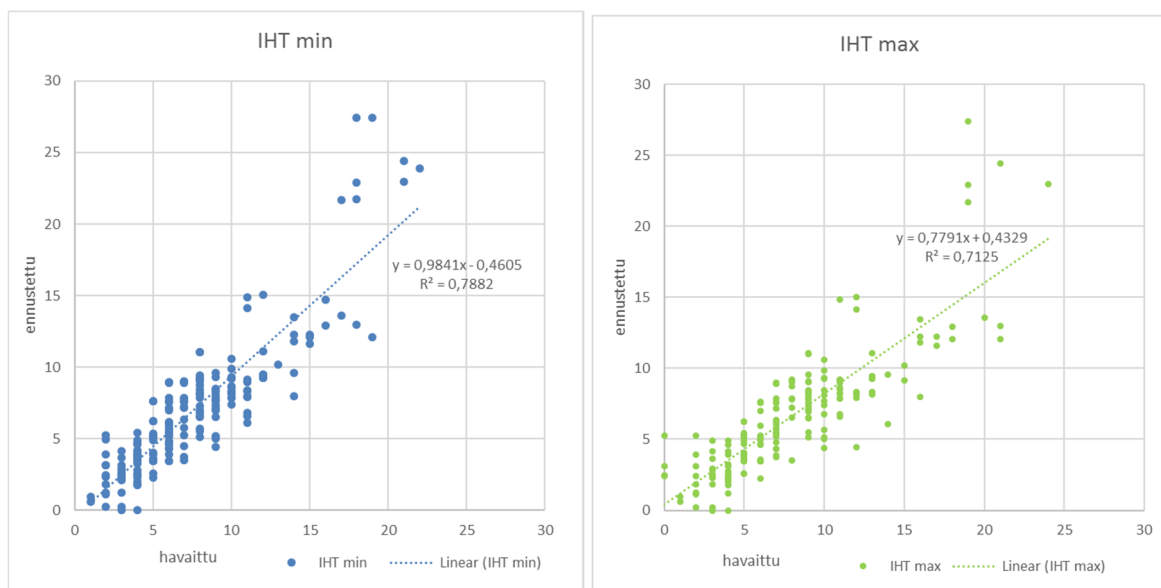


Kuva 27. Sipoon ja Kirkkonummen testilinjat AHT-ajokaikavertailu.

Linjojen kokonaismatka-aikojen lisäksi analysoitiin osuuksien matka-aikoja (Kuva 28 ja Kuva 29). Tästäkin nähdään, että osa osuuksista ajetaan Emmessä liian nopeasti ja osa liian hitaasti. Osuuksia analysoitiin myös kartalla (*Liite 4*), mutta lukuun ottamatta edellä mainittua havaintoa siitä, että maaseutumaisten alueiden linjojen ajoajat ovat luultavasti liian pitkiä, ei ole havaittavissa kovin selvää systematiikkaa siinä, missä ajoajat ovat liian nopeita ja missä liian hitaita. Ajoaikojen (bussivii-veker-toimen) korjaaminen vaatisi enemmän testausta ja analysointia, mikä jää jatkokehitystarpeeksi.



Kuva 28. Testilinjojen AHT-matka-ajat osuuksittain. Ennustettu = Emmen matka-aika.



Kuva 29. Testilinjojen AHT-matka-ajat osuuksittain. Ennustettu = Emmen matka-aika.

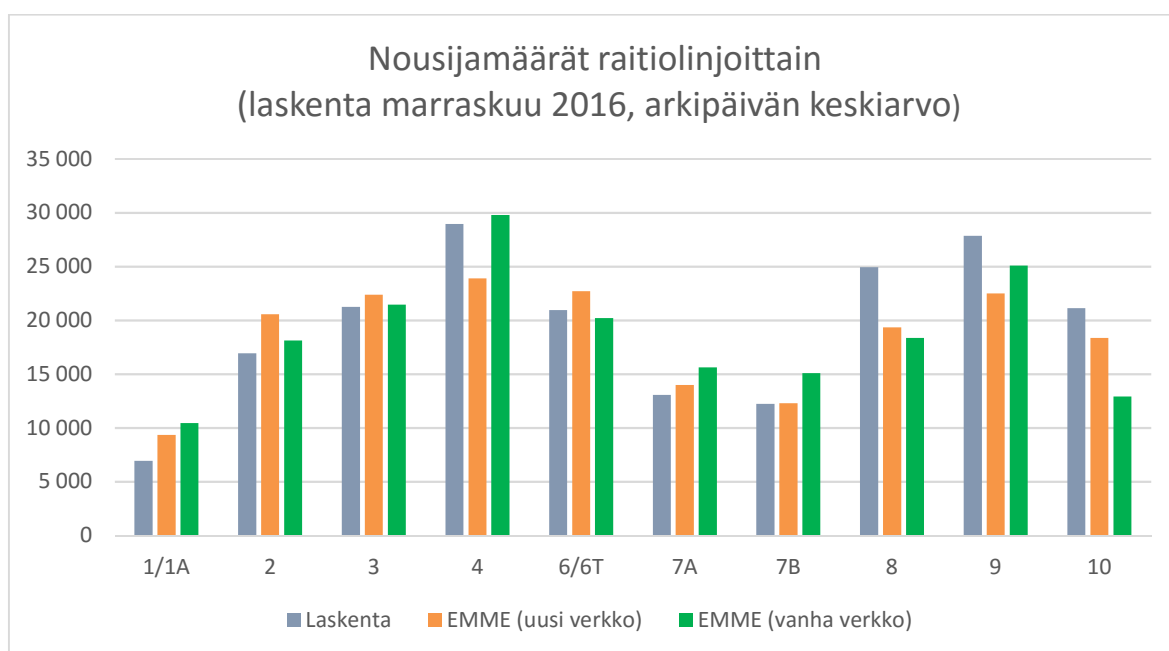
8.3 Joukkoliikenteen matkustajamäärät

8.3.1 Raitioliikenteen nousijamäärät

Raitioliikenteen matkustajamäärästä verrattiin arkipäivän nousijamääriä linjoittain (Taulukko 43 ja Kuva 30) sekä uudelta että vanhalta verkolta. Emmessä on raitioliikenteessä kokonaisuutena liian vähän nousuja, mutta tilanne vaihtelee linjoittain.

Taulukko 43. Raitioliikenteen nousijamäärävertailu.

Linja	Laskenta	EMME (uusi verkko)	erotus	erotus %	EMME (vanha verkko)	erotus	erotus %
1/1A	6 934	9 365	2 430	35 %	10 463	3 528	51 %
2	16 949	20 557	3 608	21 %	18 115	1 166	7 %
3	21 262	22 370	1 108	5 %	21 468	206	1 %
4	28 964	23 885	-5 079	-18 %	29 776	812	3 %
6/6T	20 954	22 711	1 757	8 %	20 208	-746	-4 %
7A	13 083	13 983	900	7 %	15 614	2 531	19 %
7B	12 240	12 291	51	0 %	15 100	2 860	23 %
8	24 929	19 356	-5 573	-22 %	18 379	-6 551	-26 %
9	27 850	22 512	-5 338	-19 %	25 080	-2 770	-10 %
10	21 121	18 379	-2 741	-13 %	12 910	-8 211	-39 %
5	790	60	-730	-92 %	0	-790	-100 %
Summa	195 076	185 469	-9 607	-5 %	187 113	-7 964	-4 %



Kuva 30. Raitioliikenteen nousijamäärävertailu.

8.3.2 Metron nousijamäärät

Metron matkustajamääristä verrattiin arkipäivän nousijamääriä asemittain (Taulukko 44 ja Kuva 31) sekä uudelta että vanhalta verkolta. Kokonaisuutena Emmessä on liian vähän nousuja metroon, mutta tilanne vaihtelee asemittain. Vertailua sotkee kuitenkin etenkin Kampin ja Rautatientorin asemien osalta se, että Emme-kuvauksissa Länsimetro Matinkylään on mukana, mutta laskentatie-doissa ei.

Taulukko 44. Metron nousijamäärävertailu.

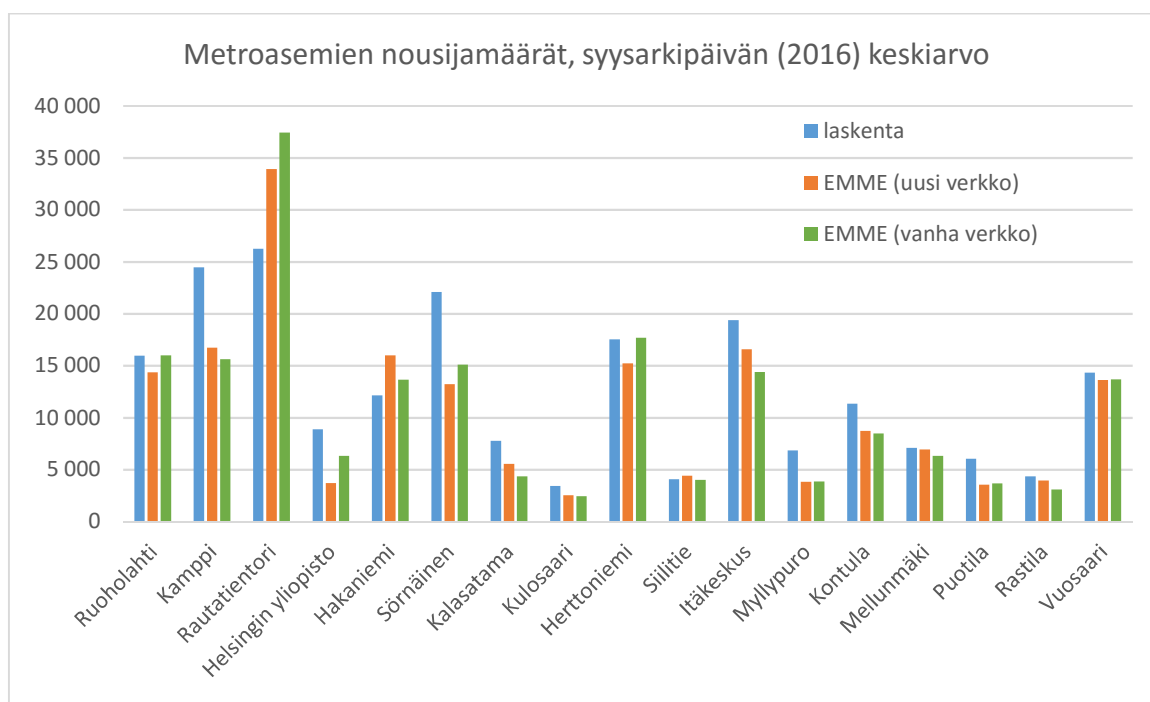
Metron nousijamäärät, arkipäivän keskiarvo. Laskenta = syys- ja lokakuun 2016 keskiarvo.									
Metroasema	laskenta	EMME (uusi verkko)	erotus (EMME - laskenta)	erotus %	EMME (vanha verkko)	erotus (EMME - laskenta)	erotus %	erotus EMME uusi - vanha	% laskenta-tuloksesta
Ruoholahti	15 978	14 364	-1 614	-10 %	15 988	10	0 %	-1 624	-10 %
Kamppi	24 459	16 749	-7 710	-32 %	15 624	-8 835	-36 %	1 126	5 %
Rautatientori	26 255	33 925	7 670	29 %	37 440	11 185	43 %	-3 515	-13 %
Helsingin yliopisto	8 888	3 703	-5 185	-58 %	6 334	-2 553	-29 %	-2 631	-30 %
Hakaniemi	12 132	15 986	3 854	32 %	13 648	1 515	12 %	2 338	19 %
Sörnäinen	22 095	13 223	-8 871	-40 %	15 093	-7 002	-32 %	-1 869	-8 %
Kalasatama	7 778	5 557	-2 221	-29 %	4 369	-3 410	-44 %	1 188	15 %
Kulosaari	3 429	2 550	-879	-26 %	2 435	-994	-29 %	115	3 %
Herttoniemi	17 527	15 214	-2 312	-13 %	17 697	171	1 %	-2 483	-14 %
Siilitie	4 082	4 415	333	8 %	4 015	-67	-2 %	400	10 %
Itäkeskus	19 386	16 577	-2 810	-14 %	14 382	-5 005	-26 %	2 195	11 %
Myllypuro	6 848	3 816	-3 032	-44 %	3 871	-2 976	-43 %	-56	-1 %
Kontula	11 341	8 723	-2 618	-23 %	8 466	-2 875	-25 %	257	2 %
Mellunmäki	7 093	6 937	-156	-2 %	6 310	-783	-11 %	627	9 %
Puotila	6 057	3 559	-2 497	-41 %	3 679	-2 378	-39 %	-120	-2 %
Rastila	4 343	3 968	-375	-9 %	3 089	-1 254	-29 %	879	20 %
Vuosaari	14 325	13 611	-713	-5 %	13 688	-636	-4 %	-77	-1 %
Yhteensä	212 015	182 880	-29 135	-14 %	186 128	-25 886	-12 %	-3 248	-2 %

erotus

< 15 %

15 - 30 %

> 30 %



Kuva 31. Metron nousijamäärävertailu.

9 Vastusmatriisien käsittely

Tämä luku perustuu raportin Elolähde ym. 2016 vastaavaan lukuun.

Sijoittelujen jälkeen joukkoliikenteen vastusmatriiseja muokattiin ennen ennustepankkiin siirtämistä.

9.1 Odotusajan vaimennus

Jos linjan vuoroväli on suuri, laskennallinen odotusaika kasvaa suureksi. Todellisuudessa matkustaja odottelee siinä tilanteessa mieluummin muualla kuin pysäkillä. Niinpä ensimmäistä odotusai-
kaa ja sen myötä muitakin aikavastuksia korjattiin.

Ensimmäistä odotusai-
kaa vaimennettiin siten, että se korvattiin arvolla

$$vaim_1odo = (1odo * 5/3)^{0,8}$$

missä

$vaim_1odo$ = vaimennettu 1. odotusaika
 $1odo$ = joukkoliikennesijoittelun tuottama 1. odotusaika.

Koska 1. odotusaika on osa kokonaisodotusai-
kaa, vastaava korjaus tehtiin myös siihen

$$vaim_kokodo = kokodo - 1odo + (1odo * 5/3)^{0,8}$$

missä

$vaim_kokodo$ = vaimennettu kokonaisodotusaika
 $kokodo$ = joukkoliikennesijoittelun tuottama kokonaisodotusaika.

Myös painottamatonta ja painotettua kokonaisai-
kaa oli korjattava vastaavasti.

$$vaim_kokaik = ajoaik + kavaik + vaim_kokodo + nouaik$$

$$vaim_pkokaik = ajoaik + 1,5 * kavaik + 1,5 * vaim_kokodo + nouaik$$

missä

$vaim_kokaik$ = vaimennettu painottamaton kokonaisai-
 $vaim_pkokaik$ = vaimennettu painotettu kokonaisai-
 $vaim_kokodo$ = vaimennettu kokonaisodotusaika
 $ajoaik$ = joukkoliikennesijoittelun tuottama ajoai-
 $kavaik$ = joukkoliikennesijoittelun tuottama syöttö- ja vaihtokävelyaika
 $nouaik$ = joukkoliikennesijoittelun tuottama nousuaika.

9.2 Sisäiset vastukset ja aggregoinnit

Verkon kuvauksissa kukin osa-alueen keskussolmu (sentroidi) edustaa kokonaista kaupunginosaa tai muuta aluetta. Sijoittelu tuottaa vastukset alueilta kaikille muille alueille. Sen sijaan kunkin alueen sisäisiä matkoja ei käsitellä, joten alueiden sisäiset vastukset ovat nollia. Siksi sisäiset vastukset on laskettava erikseen.

Joukkoliikenteen kuvauksissa kullekin sijoittelualueelle laskettiin keskiarvo kahdesta luvusta: pienin kokonaisai-
ka ko. alueelta kaikille muille alueille matkustettaessa ja vastaava arvo alueelle saapuvista. Saatu keskiarvo laitettiin sijoittelualuejaon matriisin lävistäjälle ennen aggregointia ennustealuejakoon.

Näin nollat eivät ole mukana vääristämässä aggregointia. Autoliikenteen matriiseille vastaavaa täydennystä ei tehty.

Aika-, etäisyys- ja ruuhkamaksumatriisien aggregointi ennustealuejakoon tehtiin kertomalla sijoittelualuejaossa oleva matriisi jakolukuvektoreilla, joiden laskentaa on kuvattu kysyntämalliraporttien Pastinen ym. 2016 ja Pastinen ym. 2019 luvussa 4.7.

Näin saatiin tulokseksi jakoluvuilla painotettu keskiarvo, joka on parempi kuin suora (painottamaton) keskiarvo, mutta toisaalta kuitenkin vakaampi kuin painottaminen joka kierroksella muuttuvilla matkamatriiseilla. Koska kysyntämallit lasketaan samalla tiheällä sijoittelualuejaolla, jolla vastuksetkin lasketaan, aggregoituja arvoja tarvitaan vain yhteenvetotulosteissa.

Sijoittelualuejaossa olevat vastusmatriisit kopioitiin kysyntämallien lähtötiedoiksi siten, että lävistäjällä olevat arvot eli sijoittelualueiden sisäiset vastukset korvattiin uusilla arvoilla kysyntämalliraportin Pastinen ym. 2019 kohdassa 6.3 kuvatulla tavalla.

Lähdeluettelo

Björklund, Gunilla & Swardh, Jan-Erik (2017). *Estimating policy values for in-vehicle comfort and crowding reduction in local public transport*. Transportation Research Part A 106, pp. 453-472.

Blummé, Juho; Holm, Markus; Keränen, Matti & Särkkä, Tapani (2008). *Pääkaupunkiseudun ja sen työssäkäyntialueen Emme-kuvausten teko*. Julkaisematon muistio 28.10.2008. Matrex Oy & Trafix Oy.

Elolähde, Timo (2003). *Liikennejärjestelmämallit 2000*. Osa E julkaisussa *Pääkaupunkiseudun liikenne-ennustemallit 2000*. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:9. YTV pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

Elolähde, Timo; Blummé, Juho; Holm, Markus; Keränen, Matti & Pesonen, Hannu (2011). *Liikennejärjestelmämallit*. Osa C julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010*. HSL:n julkaisuja 33/2011.

Elolähde, Timo; Holm, Markus; Supponen, Atte; Keränen, Matti & Niinikoski, Miikka (2016). *Liikennejärjestelmämallit 2012*. Osa D julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2014*. HSL:n julkaisuja 22/2016.

Haapamäki, Taina (2010). *Liikennejärjestelmän Emme-kuvauksen kehittäminen joukkoliikenteen suunnittelun tueksi*. Diplomityö, Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos.

Holm, Markus; Keränen, Matti & Blummé, Juho (2009). *Pääkaupunkiseudun ja sen työssäkäyntialueen EMME-verkkokuvauksen jatkotyön muistio 10/2008–2/2009 ja ohjeita verkon käyttäjille*. Julkaisematon muistio 10.2.2009. Trafix Oy.

Holm, Markus; Supponen, Atte & Keränen, Matti (2013). *HSL liikenneverkkojen ATK-kuvausten päivittäminen 2012*. Julkaisematon muistio 28.3.2013. Trafix Oy.

HSL (2011). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010*. HSL:n julkaisuja 33/2011.

HSL (2015a). *Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma HLJ 2015*. HSL:n julkaisuja 3/2015.

HSL (2015b). *Selvitys joukkoliikenteen vaihtovastuksesta. Solmu-projektin 1. osatehtävä*. HSL:n julkaisuja 18/2015.

HSL (2016a). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2014*. HSL:n julkaisuja 21/2016.

HSL (2016b). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2014*. HSL:n julkaisuja 22/2016.

HSL (2019a). *MAL 2019: Helsingin seudun maankäyttö, asuminen ja liikenne*. Suunnitelma 26.3.2019.

HSL (2019b). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2017*. HSL:n julkaisuja 5/2019.

INRO Consultants Inc. (1998). *EMME/2 User's Manual, Software Release 9*. Montreal 1998.

Keränen, Matti (2009). *Vastusten laskenta*. Julkaisematon muistio 13.5.2009, Trafix Oy.

Keränen, Matti; Holm, Markus & Lindholm, Sakari (2009a). *HST ennusteverkko 2030*. Julkaisematon muistio 24.8.2009. Trafix Oy

Keränen, Matti; Voltti, Ville & Holm, Markus (2009b). *Esiselvitys raidevastusten laatimisesta pääkaupunkiseudun työssäkäyntialueelle*. Julkaisematon muistio 24.3.2009, Trafix Oy & Linea Konsultit Oy

Keränen, Matti & Pesonen, Hannu (2011). *Liikennejärjestelmän viivytysfunktiot*. Osa D julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010*. HSL:n julkaisuja 33/2011.

Keränen, Matti; Holm, Markus; Niinikoski, Miikka; Rahiala, Antti & Supponen, Atte (2015). *HSL:n Emme-verkon tarkennus ja korjaus: esiselvitys*. Julkaisematon muistio 30.10.2015 Trafix Oy, Strafica Oy & HSL.

Keränen, Matti & Supponen, Atte (2017). *HELMET 2.5 -mallin ajoneuvo- ja joukkoliikennesijoitteluiden tarkistus*. Julkaisematon muistio 25.8.2017, Trafix Oy.

Liikennevirasto (2015). *Esiselvitys lähiliikenteen uusista seisakkeista Kerava–Riihimäki- ja Kerava–Lahti-väleillä*.

Lindeqvist, Matleena & Kytö, Samuli (2017). *Ajoneuvoliikenteen sujuvuus Helsingin seudulla syksyllä 2015*. HSL:n julkaisuja HSL 3/2017.

Metsäranta, Heikki ja Pesonen, Hannu (2007). *Joukkoliikenteen vaikutusten arviointi. Yleisohje*. Liikenne- ja viestintäministeriö.

Ovenia (2015). *Helsingin keskustan huoltotunnelin käyttö- ja kehittämisanalyysi* (realprojekti, Ovenia Group: http://www.uuttahelsinki.fi/sites/default/files/inline-attachments/2015-09/kehu_kaytto-ja_kehittamisanalyysi_20.3.2015.pdf)

Pastinen, Virpi; Rantala, Annika; Lehto, Hannu; Tuovinen, Samuel; Leppänen, Paula; Pesonen, Hannu; Rinta-Piirto, Jyrki; Moilanen, Paavo; Rahiala, Antti; Kurri, Jari; Elolähde, Timo & Rätty, Pekka (2011). *Henkilöliikennemallit (HELMET)*. Osa A julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010*. HSL:n julkaisuja 33/2011.

Pastinen, Virpi; Rantala, Annika; Pesonen, Hannu; Rinta-Piirto, Jyrki; Moilanen, Paavo; Rahiala, Antti; Elolähde, Timo & Rätty, Pekka (2016). *Henkilöliikennemallit (HELMET 2.1)*. Osa A julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2014*. HSL:n julkaisuja 21/2016.

Pastinen, Virpi; Rantala, Annika; Pesonen, Hannu; Rinta-Piirto, Jyrki; Moilanen, Paavo; Rahiala, Antti; West, Jens; Elolähde, Timo & Rätty, Pekka (2019). *Henkilöliikennemallit (HELMET 3.0)*. Osa A julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2017*. HSL:n julkaisuja 5/2019.

Pesonen, Hannu; Rahiala, Antti; Salomaa, Osmo & Laakso, Seppo (2012). *HLJ 2011 -skenaariot ja -liikenne-ennusteet*. HSL:n julkaisuja 24/2012.

Rahiala, Antti; Pesonen, Hannu & Rinta-Piirto, Jyrki (2017). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liityntäpysäköintimallit 2016*. HSL:n julkaisuja 4/2017.

Rantala, Annika; Wallin, Katarina; Metsäpuro, Pasi; Pastinen, Virpi & Pakkanen, Tuija (2017). *Helsingin seudun liikenteen Emme-verkon tarkennus ja korjaustyö 2016*. Julkaisematon muistio 30.3.2017. WSP.

Rantala, Annika & Elolähde, Timo (2018). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän (runkona HELMET 3.0) tekninen raportti*. Julkaisematon muistio 16.3.2018.

Räikkönen, Antti; Supponen, Atte; Keränen, Matti & Särkkä, Tapani (2016). *Viivytysfunktioiden vertailu*. Osa E julkaisussa *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2014*. HSL:n julkaisuja 22/2016.

Saario & Riekkola Oy (2008). *Keskustan huoltotunneli*, esitelmä.
http://www.sroy.fi/tiedostot/file/Keskustan_huoltotunneli_esitelma.pdf

Supponen, Atte (2013). *Validating the assignment model of HSL Traffic Forecasting System*. Erikoistyö, Aalto yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu.

West, Jens; Hashim, Ilaf; Hongas, Teemu & Vesaoja, Eeva (2019): *Joukkoliikenteen sijoittelun kehittäminen*. PowerPoint-esitys, Helmet käyttäjäkokous 9.5.2019.

YTV (2003). *Pääkaupunkiseudun liikenne-ennustemallit 2000*. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:9. YTV pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

Liite 1. Ulkosyöttöjen numerointi.Taulukko 45. Autoverkon ulkosyötöt (mod= cvkyasf).³⁷

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	

Vuonna 2019 liikennejärjestelmäkuvauksia laajennettiin 10 uuteen ympäryskuntaan, jolloin määriteltiin myös 14 uutta ulkosyöttöä (31101–31114).

³⁷ Solmunumeroon on lisättävä 31000.

Taulukko 46. Rautatieverkon ulkosyötöt (mod=asf).

solmunumero	solmu, johon syöttö liittyy	aseman nimi
31300	801052	Salo
31301	801028	Hämeenlinna
31302	801082	Lahti

Taulukko 47. Lentoaseman ja satamien syöttölinkit.

solmunumero	solmu, johon syöttö liittyy	kulikutapa ³⁸	nimi
31400	40713	cvkyasf	Helsinki-Vantaan lentoasema
31400	209909	asf	-----"
31500	200843	cvkyasf	Katajanokan satama
31500	203721	asf	-----"
31501	200604	asf	Eteläsatama
31501	203695	cvkyasf	-----"
31502	41786	cvkyasf	Länsisatama
31503	41049	cvkyasf	Vuosaaren satama
31503	204751	asf	-----"

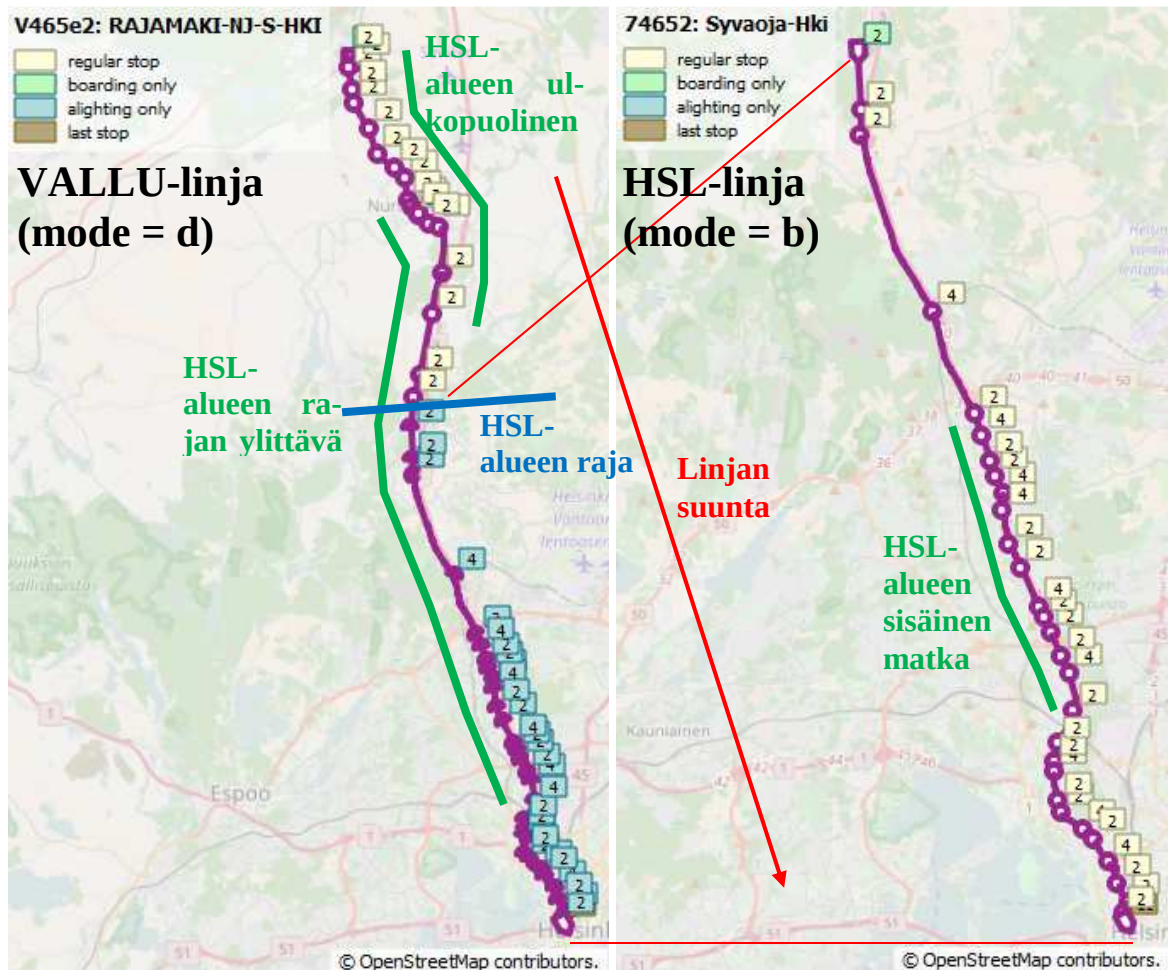
³⁸ Katso kulikutapakoodit Taulukko 8.

Liite 2. Esimerkki U-linjojen koodauksesta.

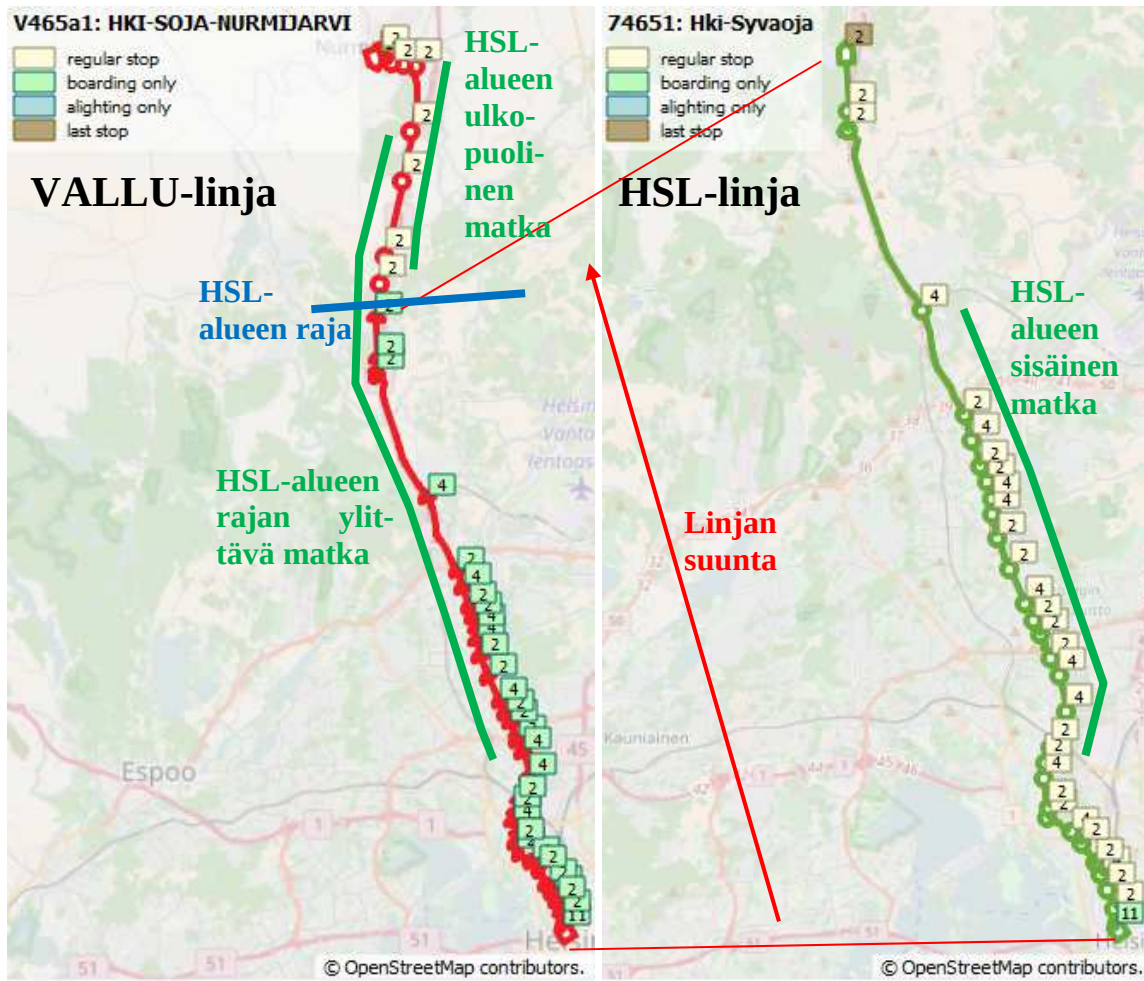
HSL-alueen sisäiset matkat tehdään HSL-linjoilla, eli varsinaisilla U-linjoilla. HSL:n rajat ylittävät matkat sekä kokonaan HSL-alueen ulkopuolella tehtävät matkat tehdään Vallu-linjoilla. Tuusula on poikkeus, kuten luvussa 5.8.6 on selostettu: Helsingistä tai Vantaalta Tuusulan läpi Keravalle kulkevat linjat pysähtyvät kuitenkin kaikilla pysäkeillä molempiin suuntiin HSL:n rajasta huolimatta (Kuva 34).

Kuvissa 32 ja 33 on esimerkki U-linjan 465 koodauksesta. HSL-linjojen tunnuksset (*mode* = *b*) ovat 74651 ja 74652. Vallu-linjoja (*mode* = *d*) on useita; niiden linjatunnuksset ovat muotoa V465x1 tai V465x2 missä x on kirjaintunnus, jolla eri variaatiot on erotettu toisistaan.

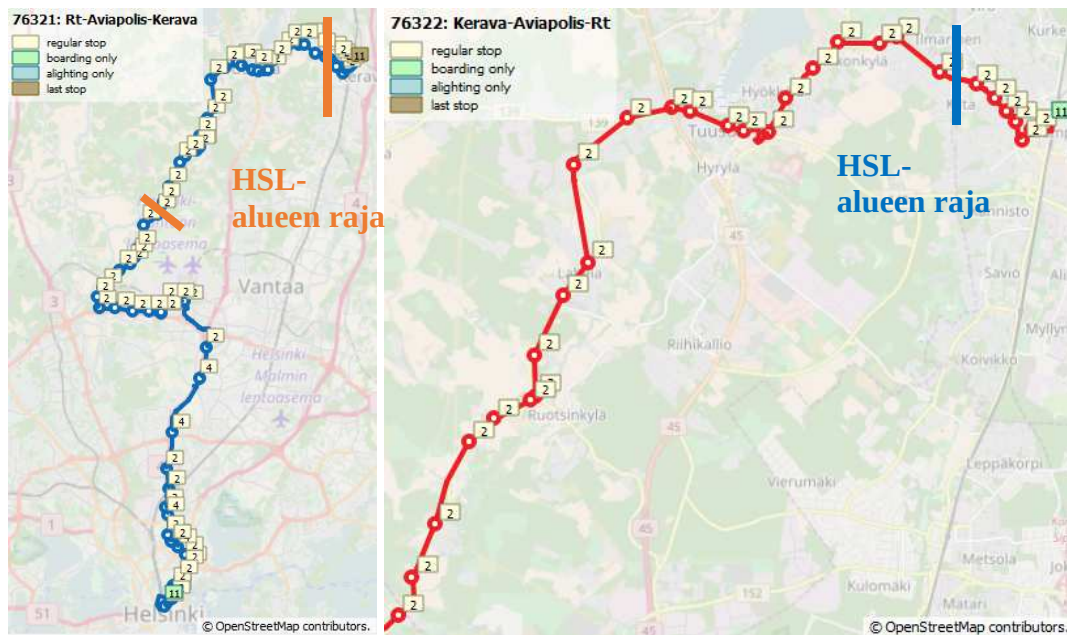
Kuvissa näkyvä koodi 2 / 4 / 11 on solmuattribuuttiin *ui2* koodattu pysäkkityyppi. "Regular stop" tarkoittaa pysäkkiä, jolla saa sekä nousta bussin kyytiin (*boarding*) että jäädä pois (*alighting*).



Kuva 32. Vallu-linja ja sitä vastaava U-linja (HSL-linja) Nurmijärven suunnalta Helsinkiin päin.



Kuva 33. Vallu-linja ja sitä vastaava U-linja (HSL-linja) Helsingistä Nurmijärven suuntaan.



Kuva 34. Esimerkki Tuusulan läpi ajavasta U-linjasta.

Liite 3. Uuden ja vanhan numerointijärjestelmän vertailu.

Kuntien ennuste- ja sijoittelualueiden uudet ja vanhat numerot:

Vuoden 2008 mukaisia kuntia ei ole huomioitu erikseen muuten kuin, että niillä on uudessa numeroinnissa peräkkäiset ennustealuenumerot. Aluejakojen paikkatietotiedostoista löytyy tieto myös vuoden 2008 kuntajaosta (kenttä KUNTA2008). Käytössä olevat numerot näkyvät seuraavasta taulukosta.

Taulukko 48. Kuntien ennuste- ja sijoittelualueiden vanhat ja uudet numerot.

		Kunta (2008)	Nro VAN HA	Ennuste- alueiden numerot VANHA	Sijoittelu- alueiden numerot VANHA	Kunta (2016)	Nro UUSI	Ennuste- alueiden numerot, UUSI	Sijoittelu- alueiden numerot, UUSI
14 kuntaa	Pk-seutu	Helsinki	1	101–174	1000–1274	Helsinki	0, 1	10–38, 100–160	101–386, 1001–1603
		Espoo	2	201–238	2000–2171	Espoo	2– 3.4	200–293	2001–2933
		Kauniainen	3	301	3000–3004	Kauniainen	3.5	350–353	3500–3532
		Vantaa	4	401–437	4000–4158	Vantaa	4, 5	400–487	4001–4870
	Kehvskunnat (10 kpl)	Kirkkonummi	5	501–508	5000–5016	Kirkkonummi	6	600–629	6000–6293
		Vihti	6	601–612	6000–6020	Vihti	7	700–749	7001–7490
		Nurmijärvi	7	701–710, 712	7000–7037	Nurmijärvi	8	800–849	8001–8495
		Tuusula	8	801–808	8000–8043	Tuusula	9	900–950	9001–9502
		Kerava	9	901–905	9000–9009	Kerava	10	1000–1020	10001–10206
		Järvenpää	10	1001–1005	10000–10024	Järvenpää	11	1100–1128	11001– 11280
		Sipoo	11	1101, 1103, 1105–1113	11000, 11003– 11005, 11007, 11011, 11013– 11029, 11031– 11061	Sipoo	12	1200–1239	12000–12392
		Mäntsälä	12	1201–1207	12000–12032	Mäntsälä	13	1300–1335	13001–13350
		Hyvinkää	13	1301–1305	13000–13034	Hyvinkää	14	1400–1442	14001–14422
		Pornainen	14	1401–1403	14000–14002	Pornainen	15	1500–1509	15000–15090
Ympärys-kunnat (v. 2008 oli 23 kpl, vuonna 2016		Hanko	15	1501	15000–15007	Hanko	16	1600	16001–16008
		Tammisaari	16	1601–1602	16000–16006	Raasepori (Tammisaari, Pohja ja Kar- jaa yhdistetty 2009)	17	1700–1705	17000–17055
		Pohja	17	1701	17000–17007				
		Karjaa	18	1801–1802	18000–18005				
		Inkoo	20	2001–2003	20000–20007	Inkoo	18	1800–1802	18001–18023
		Karjalohja	19	1901	19000–19005	Lohja (Karja- lohja, Sam- matti ja Nummi-Pusula liitetty Lohjaan 2013)	19	1900–1908	19001–19096
		Lohja	21	2101–2106	21000–21028				
		Sammatti	22	2201	22000–22004				
		Nummi-Pusula	23	2301	23000–23014				
		Siuntio	24	2401–2403	24000–24007	Siuntio	20	2000–2002	20001–20023
		Karkkila	25	2501	25000–25010	Karkkila	21	2100	21001– 21012

	Kunta (2008)	Nro VAN HA	Ennuste- alueiden numerot VANHA	Sijoittelu- alueiden numerot VANHA	Kunta (2016)	Nro UUSI	Ennuste- alueiden numerot, UUSI	Sijoittelu- alueiden numerot, UUSI
	Loppi	26	2601	26000–26003	Loppi	22	2200	22001–22004
	Riihimäki	27	2701–2702	27000–27009	Riihimäki	23	2300–2301	23001–23018
	Hausjärvi	28	2801	28000–28003	Hausjärvi	24	2400	24001–24004
	Pukkila	29	2901	29000	Pukkila	25	2500	25000
	Askola	30	3002	30000–30002	Askola	26	2600	26001–26003
	Porvoo	31	3101–3108	31000–31019	Porvoo	27	2700–2707	27000–27070
	Myrskylä	32	3201	32000	Myrskylä	28	2800	28000
	Lapinjärvi	35	3501	35000–35003	Lapinjärvi	29	2900	29001–29004
	Pernaja	33	3301	33000–33002	Loviisa (Per- naja, Liljendal ja Ruotsinpyh- tää liitetty Lo- viisaan 2010)	30	3000–3003	30001–30030
	Liljendal	34	3401	34000				
	Ruotsinpyhtää	36	3601	36000–36001				
	Loviisa	37	3701	37000				
	Ulkosyötöt (39 kpl), joista kolme junara- toja ja muut auto- väyliä	39	3901–3936 (auto), 3940–3942 (juna)	39 001–39 036 (auto), 39 300–39 302 (juna)	Ulkosyötöt (auto 36 kpl, juna 3 kpl)	31	3101–3136 (auto), 3140–3142 (juna)	31 001–31 036 (auto), 31 300–31 302 (juna)
					Erikois- sentroidit (len- toasema 1 kpl, satamat 4 kpl)	31	3150 (lento- asema), 3151–3154 (satamat)	31 400 (lentoasema), 31 500–31 503 (satamat)

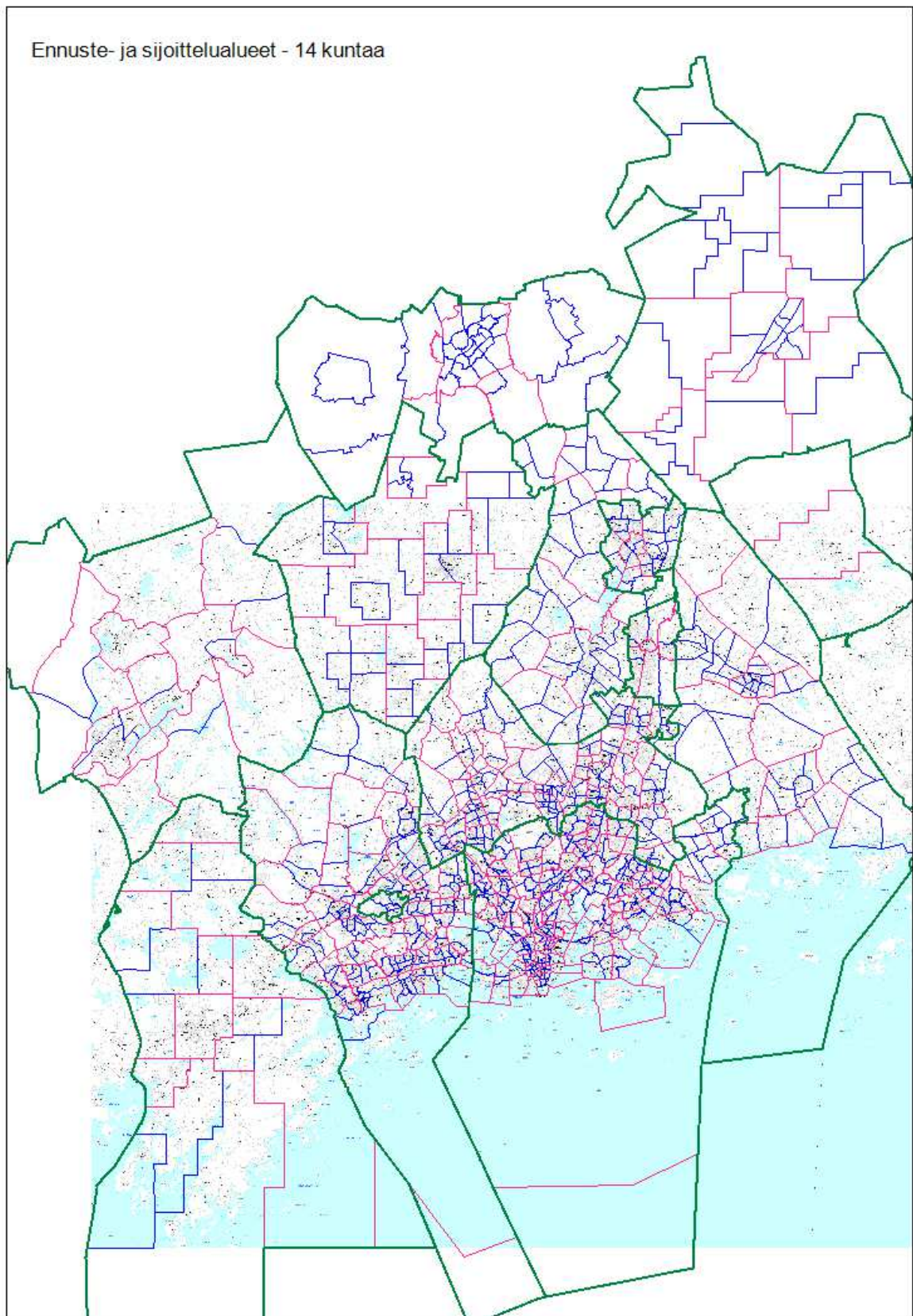
Vuonna 2019 liikenne-ennustejärjestelmää (Helmet 3.1) laajennettiin 10 uuteen ympäryskuntaan. Helsingin seudulla sijoittelualueiden määrä ja numerointi eivät muuttuneet vuoden 2016 koodeihin verrattuna. Sen sijaan joillekin ympäryskunnille varattiin vain 500 numeroa tuhannen asemesta, jotta ulkosyöttöjen numerot voitiin pitää ennallaan. Vastaavuustaulukko on seuraavana.

Taulukko 49. Sijoittelualueiden numeroinnin muutos ympäryskunnissa (Helmet 3.1).

sij16			sij19	
Hanko	16000–16999		Siuntio	15500–15499
Raasepori	17000–17999		Salo	16000–16499
Inkoo	18000–18999		Somero	16500–16999
Lohja	19000–19999		Raasepori	17000–17499
Siuntio	20000–20999		Hanko	17500–17499
Karkkila	21000–21999		Inkoo	18000–18499
			Karkkila	18500–18999
			Lohja	19000–19999
			Hämeenlinna	20000–20999
			Janakkala	21000–21499
			Hattula	21500–21999
Loppi	22000–22999		Loppi	22000–22499
Riihimäki	23000–23999		Tammela	22500–22999
Hausjärvi	24000–24999		Riihimäki	23000–23999
			Hausjärvi	24000–24499
			Kärkölä	24500–24999
			Orimattila	25000–25499
			Hollola	25500–25999
			Lahti	26000–26999
Pukkila	25000–25999		Porvoo	27000–27999
Askola	26000–26999		Pukkila	28000–28499
Porvoo	27000–27999		Askola	28500–28999
Myrskylä	28000–28999		Myrskylä	29000–29499
Lapinjärvi	29000–29999		Lapinjärvi	29500–29999
Loviisa	30000–30999		Loviisa	30000–30999

Taulukko 50. Sijoittelualueiden määrät ennustejärjestelmän eri versioissa.

HELMET	1.0	2.1	3.0	3.1
kuntaryhmä	sijoittelu- alueet	sijoittelu- alueet	sijoittelu- alueet	sijoittelu- alueet
	M2008	M2013	M2016	M2019
	lkm	lkm	lkm	lkm
pks-kunnat				
yhteensä	611	611	901	901
muu Helsingin				
seutu yhteensä	280	280	852	852
muut kunnat				
yhteensä	165	165	165	224
kunnat yhteensä	1056	1056	1918	1977
ulkosyötöt	39	39	39	53
erikoissentrolidit			5	5
kaikki yhteensä	1095	1095	1962	2035



Kuva 35. Ennuste- ja sijoittelualueet Helsingin seudulla.

Liite 4. Bussiliikenteen ajoaikavertailut kartalla.

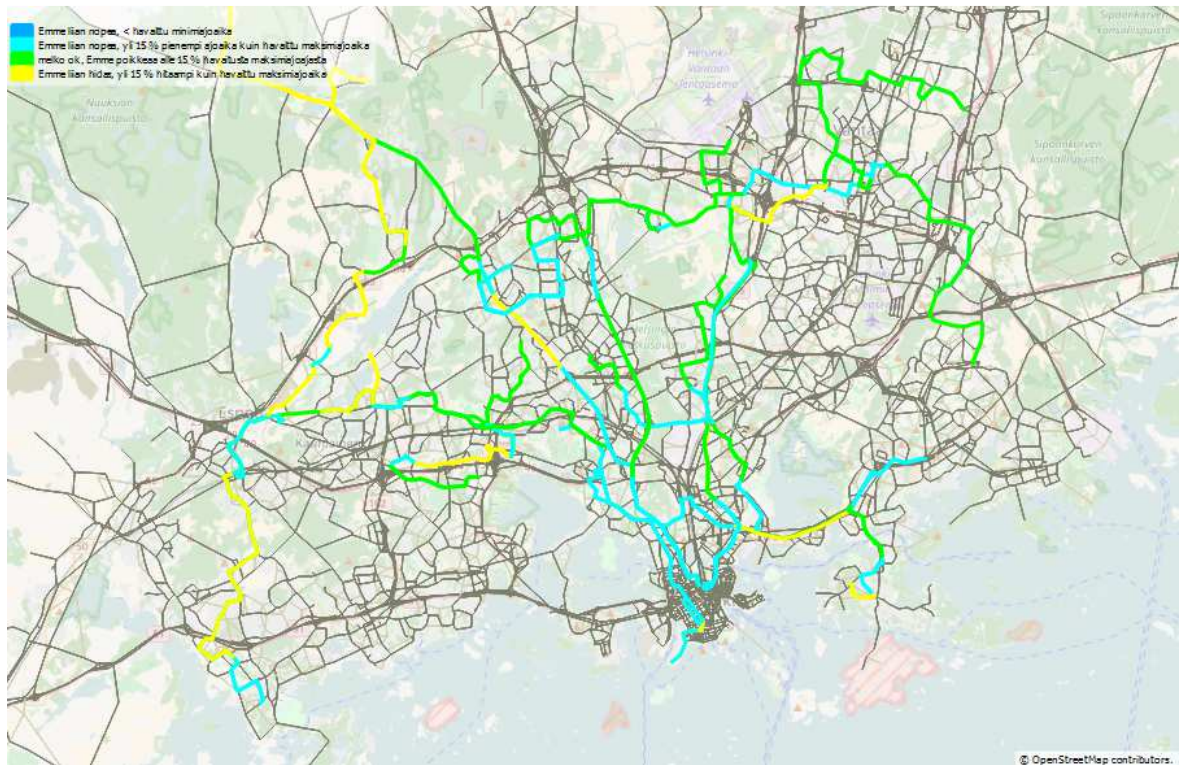
Bussien ajoaikaa Emmessä on verrattu osuuksittain aamu- ja iltahuippuna havaittuihin minimi- ja maksimijaoaikoihin ja päivällä havaittuun keskimääräiseen ajoaikaan (ks. tarkemmin luku 8.2).



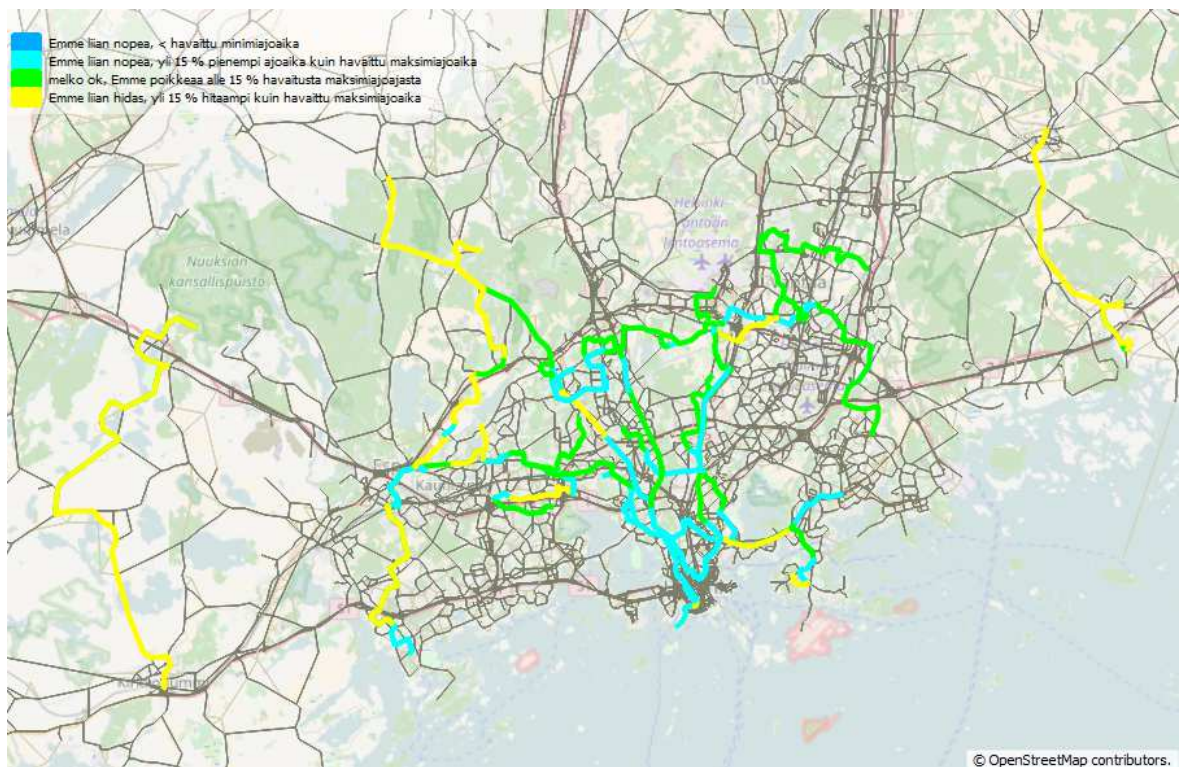
Kuva 36. Bussien AHT-ajokavertailu kartalla.



Kuva 37. Bussien AHT-ajokavertailu kartalla, koko seutu.



Kuva 38. Bussien PT-ajoaikavertailu kartalla.



Kuva 39. Bussien PT-ajoaikavertailu kartalla, koko seutu.



Kuva 40. Bussien IHT-ajokaikavertailu kartalla.



Kuva 41. Bussien IHT-ajokaikavertailu kartalla, koko seutu.

HSL:n julkaisu 6/2019
ISSN 1798-6184 (pdf)
ISBN 978-952-253-329-6 (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.efternam@hsl.fi