

# **OPTIMAALISEN AJOAJAN MÄÄRITTELY AIKATAULUSUUNNITTELUSSA**

SARA LUKKARINEN

Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulu yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella professori Tapio Luttisen valvonnassa tehty diplomityö.

Espoo 5.3.2012

AALTO-YLIOPISTO TEKNIKAN KORKEAKOULUT PL 12100, 00076 Aalto  <a href="http://www.aalto.fi">http://www.aalto.fi</a>		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Sara Lukkarinen			
Työn nimi: Optimaalisen ajoajan määrittely aikataulusuunnittelussa			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka			
Professori: Liikennetekniikka		Koodi: Yhd-71	
Työn valvoja: Professori Tapio Luttinen			
Työn ohjaaja(t): VTM Antti Lautela, HSL			
<p>Aikataulusuunnittelun pohjana käytetään toteutuneista mittauksista määriteltäviä ajoaikoja, joiden perusteella muodostetaan lähtöajat joukkoliikennevälineelle sekä matkustajainformaatiossa näkyvät pysäkkien arvioidut ohitusajat. Ajoaikojen määrittelyssä käytetään Helsingin seudun liikenteessä tällä hetkellä perusarvona mediaania. On kuitenkin ilmennyt tarve tutkia, tulisiko määrittelyssä käyttää jotakin toista tilastollista muuttujaa.</p> <p>Tässä työssä tutkittiin, kuinka ajoajat tulisi määrittellä sekä millaiset tekijät ajoaikoihin vaikuttavat. Tarkastelun lähtökohtana olivat matkustajan odotusajan minimoiminen pysäkeillä sekä toteuttamiskelpoiset aikataulut. Lisäksi toteutettiin kyselytutkimus kymmenelle operaattorille eri maissa. Työn tutkimusosuudessa toteutettiin nykytilatarkastelu kymmenelle HSL:n linjalle, jossa tarkasteltiin erityisesti linjojen hajontoja sekä täsmällisyyttä. Nykytilatarkastelun jälkeen näille kymmenelle linjalle muodostettiin uudet ajoajat käyttäen eri tilastollisia muuttujia sekä verrattiin näitä tuloksia kerättyyn aineistoon.</p> <p>Etujassa ajamisen haitallisuus on merkittävää suhteessa myöhästymiseen erityisesti sellaisilla linjoilla, joilla vuoroväli on suuri. Tämä tekijä tulisi ottaa huomioon myös ajoaikoja muodostettaessa. Tällä hetkellä tutkituilla linjoilla etujassa ajamista tapahtuu kohtalaisesti verrattaessa etujassa ajavien lähtöjen määrää myöhässä ajaviin. Kuitenkin huomioitaessa linjojen hajonnat, ja niistä aiheutuvat etujassa ja myöhässä ajettavien minuuttien määrä, voidaan todeta, että osalla seudun linjoja suuret hajonnat johtavat hyvinkin epätasaisesti aikatauluihin. Tällaisista aikatauluista aiheutuu matkustajille aikamenetyksiä, ja mahdollisesti pitkällä aikavälillä joukkoliikenteelle kysynnän laskua luotettavuuden heikentyessä. Suurten hajontojen ongelmaa ei voida ratkaista ajoaikojen määrittelyn keinoin, vaan ratkaisuna on puuttuminen linjan hajontaa aiheuttaviin ongelmiin ja luotettavuuden parantaminen esimerkiksi välipistepysäkkejä lisäämällä.</p> <p>Työn loppupäätelmänä suositellaan HSL:n linjoilla pääsääntöisesti käytettävän ajoaikojen määrittelyssä persentiiliä 40, joka ottaa huomioon etujassa ajamisen haitallisuuden, mutta säilyttää aikataulut ajettavina ja estää myöhästymisten määrän mittavaa kasvua. Jatkotyöskentelyssä tulisi suunnittelijoille saada käyttöön keinoja arvioida hajontojen merkitystä matkustajalle, jotta toimenpiteisiin hajonnan karsimiseksi on helpompi puuttua. Lisäksi ajoaikamittauksien keruussa ja käsittelyssä on tarvetta toimenpiteille mittauksien laadun parantamiseksi.</p>			
Päivämäärä: 5.3.2012		Kieli: suomi	Sivumäärä: 80+30
Avainsanat: ajoajat, aikataulusuunnittelu, joukkoliikenne, joukkoliikenteen luotettavuus			

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 12100, FI-00076 AALTO  http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS
Author: Sara Lukkarinen		
Title: Defining the optimal driving-time for scheduling		
School: School of Engineering		
Department: Civil and Environmental Engineering		
Professorship: Transportation Engineering	Code: Yhd-71	
Supervisor: Professor Tapio Luttinen		
Instructor(s): M.Sc. (Soc.) Antti Lautela, HRT		
<p>When scheduling bus timetables the realized measurements are used to define running times. Based on these running times timetables and the passing times for bus stops are created. At Helsinki Region Transport at the moment median is usually used for defining the running times. There has been a need to research should there be another statistical variable for defining.</p> <p>In this thesis has researched how the running times should be defined and what kind of factors has an effect on running times. Starting points for the inspections were to minimize the waiting of the passenger at the bus stops and to create realisable timetables. A questionnaire study was made for ten operators around the world. In the research part of the work ten HRT bus lines were examined for their present situation, special notion was made for deviation and on-time performance of the certain lines. After the current situation of the lines was examined the new running times were defined for these ten lines using the different variables and the results were compared to the data in use.</p> <p>According to the study made the bus being ahead the schedule is much more harmful for the passenger compared to being late especially when the headway is great. This should be considered when defining the running times. At the time on the lines studied the number of departures being ahead of schedule is reasonable small. But when considering the deviations of the lines and the amount of the minutes drove ahead and late of the scheduled times can be said that in some of the lines of the region has such considerable deviations that they will cause unpunctual timetables. These kinds of timetables can cause time loss for the passengers and will probably lead to the decrease of passenger demand when the reliability will diminish. The problem of the great deviations cannot be solved with the tools of defining the running times. The causes of deviation have to be defined and there's a need to concentrate to better the reliability for example increasing the amount of holding points.</p> <p>As the result of these thesis, the 40 percentile is been recommended to be used for defining the running times in HRT. This percentile will take into the consideration the bad influence of driving ahead of schedule but will keep the timetables realizable and will prevent great lateness.</p>		
Date: 5.3.2012	Language: Finnish	Number of pages: 80+30
Keywords: driving time, scheduling, public transportation, reliability of public transportation		

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Helsingin seudun liikenne –kuntayhtymälle (HSL), jossa työn ohjaajana on toiminut Antti Lautela. Työn valvojana on toiminut professori Tapio Luttinen Aalto –yliopistosta.

Haluan kiittää Antti Lautelaa ohjauksestani ja kannustamisestani työni edetessä sekä erityisesti sitoutumisesta työhöni muuttuneissa olosuhteissa. Lisäksi haluan kiittää työni valvoja professori Tapio Luttista sekä myös professori Timo Ernvallia avusta työni alkuun saattamisessa. Työtovereilleni HSL:ssä kuuluva kiitokset tuesta sekä kannustuksesta. Erityisesti haluaisin kiittää Jenniä, Ninaa ja Ireneä, jotka ovat olleet suureksi avuksi työni edetessä.

Perheelleni ja ystävilleni rakkaimmat kiitokset koko opiskelunaikaisesta kannustuksesta ja myötäelämisestä tämän työn välillä raskaassakin valmistumisprosessissa. Viimeisenä, muttei vähäisempänä, kiitokset Ollille, jolle kirjoitetut kiitokset tarvitsisivat oman liitteensä. Olet parhautta.

Sara Lukkarinen

Helsingissä 5.3.2012

## KÄYTETYT KÄSITTEET JA LYHENTEET

**Joukkoliikenne** on linja- ja aikataulusidonnaista liikennettä, jossa henkilöitä kuljetaan suurehkolle henkilömäärälle tarkoitetulla liikennevälineellä (Ojala ja Pursula 1994.)

**Ajoaika** on matkustajan kulkuvälineessä viettämä aika. Joukkoliikenteessä ajoaikaan liittyy kulkuvälineeseen nousu, välineen pysähdykset sekä ajo ja kulkuvälineestä poistuminen. (Ojala ja Pursula 1994.)

**Luotettavuus** kuvaa kuinka hyvin matkustajalle tarjottu palvelu toteutuu (Airaksinen ym. 2009).

**Täsmällisyys** kertoo kuinka hyvin aikataulussa pysytään. Täsmällisyyttä voidaan tarkastella esimerkiksi pysäkkien ohitusaikojen avulla. (Airaksinen ym. 2009).

**Paikka** on HASTUS – ohjelmiston käytössä tarvittava määrittely, joka kuvaa tiettyä pysäkkiä tai pysäkkiryhmää. Esimerkki paikasta on Elielinaukio, joka sisältää kaikki Elielinaukion pysäkit. Kullakin linjan reitillä on useita paikkoja, joiden kautta reitti kulkee. Ajoajat määritellään paikkaväleittäin.

**Kaavio** sisältää mahdollisesti useita linjoja eri reittivariaatioineen. Kaavio sisältää tiedot linjojen lähtöajoista sekä autokierroista.

**Prosenttipiste eli persentiili** on kohta, joka rajaa alapuolelleen tietyn prosenttimäärän havaintoja. Esimerkiksi 20 %:n prosenttipiste on arvo, jota pienempiä tai yhtäsuuria on 20 % havaintoarvoista.

**Suunta** kertoo linjan liikennöintisuunnan reitillään. Suunta 1 on yleisesti Helsingistä pois päin lähtevä suunta, ja suunta 2 vastakkainen suunta.

**HSL** Helsingin seudun liikenne –kuntayhtymä on jäsenkuntiensa joukkoliikenteen suunnittelusta, järjestämisestä sekä matkustajainformaatiosta vastaava toimielin. Lisäksi HSL:n tehtäviin kuuluu esimerkiksi Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman laadinta.

**HKL** Helsingin kaupungin HKL –liikelaitos. Liikelaitos vastasi Helsingin kaupungin sisäisestä joukkoliikenteestä enne HSL:n perustamista.

**YTV** Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. YTV vastasi Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten joukkoliikenteestä sekä ympäristöpalveluista vuoden 2009 loppuun.

**HASTUS** on GIRO –yhtiön joukkoliikenteen suunnitteluohjelmisto.

**ATP** on HASTUS –ohjelmiston ajoaikojen analyysimoduuli.

## TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

<b>ALKUSANAT .....</b>	<b>4</b>
<b>KÄYTETYT KÄSITTEET JA LYHENTEET .....</b>	<b>5</b>
<b>1. TUTKIMUKSEN TAUSTA.....</b>	<b>9</b>
1.1. TUTKIMUKSEN TAVOITE.....	10
1.2. TUTKIMUKSEN RAJAUKSET .....	10
<b>2. AIKATAULUSUUNNITTELU JOUKKOLIIKENTEESSÄ .....</b>	<b>11</b>
2.1. JOUKKOLIIKENTEN SUUNNITTELU.....	11
2.2. TÄSMÄLLISYYS JA LUOTETTAVUUS JOUKKOLIIKENTEESSÄ .....	12
2.3. MATKUSTAJAN ODOTUSAIKA .....	19
2.4. AJOAJAT .....	23
2.5. AJOAIKOJEN MÄÄRITTELY AIKATAULUSUUNNITTELUSSA.....	25
2.6. MATKUSTAJIEN LUOTTAMUS AIKATAULUIHIN JA AIKATAULUJEN TÄSMÄLLISYYS.....	33
<b>3. NYKYINEN SUUNNITTELUPROSESSI HSL:SSÄ .....</b>	<b>37</b>
3.1. AJOAIKAMITTAUKSIEN TUOTTAMINEN AIKATAULUSUUNNITTELUN TARPEISIIN.....	37
3.2. AJOAIKOJEN MUODOSTAMISPERIAATTEET .....	39
<b>4. KYSELYTUTKIMUS.....</b>	<b>42</b>
4.1. KYSELYN TAVOITE .....	42
4.2. TULOKSET .....	42
<b>5. OPTIMAALISEN AJOAJAN MÄÄRITTELY.....</b>	<b>45</b>
5.1. TUTKIMUSASETELMAN MÄÄRITTELY .....	45
5.2. NYKYTILA-ANALYYSIN TULOKSET JA ANALYYSI.....	51

5.3.	MÄÄRITTELYATTRIBUUTTIIEN VERTAILUN TULOKSET JA ANALYYSI .....	62
<b>6.</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>69</b>
6.1.	YHTEENVETO TAVOITTEISTA JA TULOKSISTA .....	69
6.2.	PÄÄTELMÄT .....	72
6.3.	JATKOSUOSITUKSET .....	73
	<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>76</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>80</b>



# 1. Tutkimuksen tausta

Tehdessään matkan joukkoliikennevälineellä matkustaja siirtyy pysäkille. Pysäkille siirtymiseen oikeaan aikaan on apuna usein joko opittu tieto siitä, kauanko bussin kestää ajaa pysäkille, aikataulutieto tai jokin sovellus, esimerkiksi Reittiopas, joka kertoo arvioidun ohitusajan pysäkille. Helsingissä ajoajat, joiden perusteella pysäkkiaikataulut muodostetaan, ovat pitkään noudattaneet yleisesti mediaania toteutuneista ajoajoista. Tämän perusteella voitaisiin siis olettaa, että 50 % kaikista lähdöistä, jotka pysäkille saapuvat, ovat etuajassa. Tätä kuitenkin matkustaja tuskin tiedostaa, ja saapuu usein pysäkille vasta arvioituna ohitusaikana, tai vasta vähän ennen kyseistä aikaa. Muualla pääkaupunkiseudulla, esimerkiksi Espoossa, ajoajat ovat usein olleet kireämpiä, jolloin etuajassa ajamista on tapahtunut harvemmin.

Helsingin seudun liikenne kuntayhtymä (HSL) on 1.1.2010 alkaen vastannut joukkoliikenteen suunnittelusta ja järjestämisestä jäsenkuntiensa alueella. Kuntayhtymän jäsenkuntia ovat Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen, Kirkkonummi, Kerava ja Sipoo. HSL:n perustamisen yhteydessä tapahtui organisaatiomuutos, jossa Helsingin alueen joukkoliikenteen suunnittelusta vastanneen HKL:n joukkoliikennesuunnittelu sekä pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV:n joukkoliikennesuunnittelu muodostivat HSL:n joukkoliikennesuunnitteluosaston. Kahden eri organisaation yhteenliittymä on mahdollistanut yhteisten toimintatapojen luomista eri suunnitteluprosesseihin, joista yksi on tässä työssä käsiteltävä optimaalisten ajoaikojen määrittäminen täsmällisten pysäkkiaikojen tuottamiseen. Tässä työssä tarkoituksena on määrittellä kuinka voidaan tuottaa matkustajan kannalta optimaalinen aikataulusuunnittelussa käytettävä ajoaika ottaen huomioon kuitenkin muut rajoittavat tekijät, kuten ajoajan toteutettavuus.

Täsmällisyys ja luotettavuus ovat joukkoliikenteessä tärkeitä kriteereitä määriteltäessä joukkoliikenteen toimivuutta asiakkaan näkökulmasta. Täsmällisistä pysäkkiajoista seuraavat lyhyemmät odotusajat saavat matkustajat todennäköisemmin käyttämään busseja säännöllisesti, tai ryhtymään säännöllisiksi bussimatkustajiksi (Guenthne ja Hamat 1988).

Optimaalisen ajoajan määrittelyä ei ole HSL:n toimesta tutkittu aiemmin laaja-alaisesti, vaikka pysäkkikohtaisten aikataulujen laadinnan onnistumisella on merkittävä vaikutus joukkoliikenteen täsmällisyyteen. Mikko Lehmuskoski (2007) on YTV:lle tehdyssä diplomityössään tutkinut yleisesti seudun linjojen ajoaikoja, ja niiden käyttäytymistä.

## **1.1. Tutkimuksen tavoite**

Tutkimuksen tavoitteena on määritellä millä ehdoin ja millä määrittelyattribuutilla HSL:ssä tulisi tuottaa ajoaikoja aikataulusuunnittelun tarpeisiin. Tarkoituksena on selvittää mitkä tekijät ajoaikoihin vaikuttavat, millä tavoin määritelty ajoaika olisi matkustajan kannalta optimaalisin sekä millaisia määrittelyattributteja on jo käytössä muualla. Tässä työssä ajoaikojen laadinnassa käytetään kriteerinä matkustajan odotusaikaa pysäkillä, jota pyritään minimoimaan määrittelemällä ajoaikoja, jotka tuottavat mahdollisimman täsmällisiä pysäkkiaikatauluja. Lisäksi on tarkoitus hahmottaa ajoaikojen nykytilannetta, kuinka täsmällistä pysäkkiaikataulutietoa voidaan ajoajoilla tuottaa ja yleisesti millaisia ajoajat ovat esimerkiksi keskihajonnaltaan.

Diplomityön tuloksia tullaan käyttämään hyväksi aikataulusuunnittelussa mahdollisesti jo syysaikataulukaudella 2012.

## **1.2. Tutkimuksen rajaukset**

Tässä työssä käsitellään optimaalisen ajoajan määrittelemistä ainoastaan bussiliikenteen näkökulmasta. Raide- ja raitioliikenteessä häiriöt ovat erilaisia, ja ajoaikojen hajonnat huomattavan poikkeavia bussiliikenteestä, joten näiden joukkoliikennevälineiden käsittely ei ole tässä yhteydessä mielekästä. Lisäksi tässä työssä käsitellään ainoastaan arjen ajoaikoja. Tarkoituksena on kuitenkin löytää erilaisille hajonnoille sopivat ajoikamäärittelyt, jolloin tulokset ovat laajennettavissa myös muille viikonpäiville.

HSL:ssä on jo määritelty päätepysäkkiajan osalta 95 -persentiili sellaiseksi ajaksi edellisen lähdön toteutuneista ajoajoista, jota ennen seuraava lähtöä ei saa suunnitella. Tässä työssä ei oteta kantaa tämän persentiilin määrittelyyn. Päätepysäkkiaika, eli 95 -persentiili, määrittelee käytettävien autopäivien määrän ja siten myös ajoaikojen taloudelliset vaikutukset. Tämän vuoksi taloudellisen tarkastelun huomioiminen tässä työssä ei ole etusijalla.

## 2. Aikataulusuunnittelu joukkoliikenteessä

### 2.1. Joukkoliikenteen suunnittelu

Joukkoliikennesuunnitteluprosessi jakaantuu viiteen osaan:

- Linjastosuunnittelu
- Vuorovälien määrittely
- Aikataulusuunnittelu
- Autokierron suunnittelu
- Ajosarja- ja työvuorosuunnittelu (Guihare ja Hao 2008).

Näistä kolmen ensimmäisen vaiheen aikana tapahtuu se osa suunnittelua, jolla on suoraa vaikutusta joukkoliikenteen käyttäjälle. Käyttäjän näkökulma on joukkoliikenteen kannattavuuden kannalta merkittävää. Joukkoliikenteessä joudutaan kuitenkin tasapainoilemaan käyttäjien tarpeiden ja taloudellisten resurssien välillä. (Guihare ja Hao 2008.) Neljä ensimmäistä vaihetta kuuluvat Helsingin seudun joukkoliikennesuunnittelussa HSL:lle, ajosarja- ja työvuorosuunnittelu ovat liikennöitsijän vastuulla.

Linjastosuunnittelua tehdään yleensä pitkällä aikavälillä ottaen huomioon kysynnän muutokset maankäytön muutoksien seurauksena ja liikennejärjestelmän muutokset. Vuorovälien määrittelyn apuna toimii HSL:n suunnitteluohje, jossa alueiden erilaisella luokittelulla määritellään käytettävä vuoroväli sekä liikennöinti-aika. HSL:n käytössä on vuodesta 2011 ollut yhteinen suunnitteluohje, aikaisemmin on käytetty HKL:n sekä YTV:n omia suunnitteluohjeita.

HSL:ssä tapahtuvan aikataulusuunnittelun tuotteena ovat lähtöajat ja kalustotyyppit sekä linjakohtaiset pysäkkiaikataulut kaikille linjaston linjoille. Jokaisen linjan aikataulu sisältää lähtöajan pääte-pysäkiltä, odotetun ohitusajan linjan reitin kaikilla pysäkeillä sekä oletetun saapumisajan pääte-pysäkille. Lähtötietoina aikataulusuunnittelulle toimivat suunnitteluohjeesta saatavat lähtökohdat, jotka kertovat esimerkiksi linjan liikennöinti-aajan sekä minimivuorovälin. Lisäksi lähtötietona aikataulusuunnittelulle ovat ajoaika-mittaukset edellisvuodelta, sekä pysäkkien nousijatiedot eli joukkoliikenteen kysyntä, joka vaihtelee alueittain, sekä esimerkiksi eri vuorokaudenaikojen ja viikonpäivien mukaan.

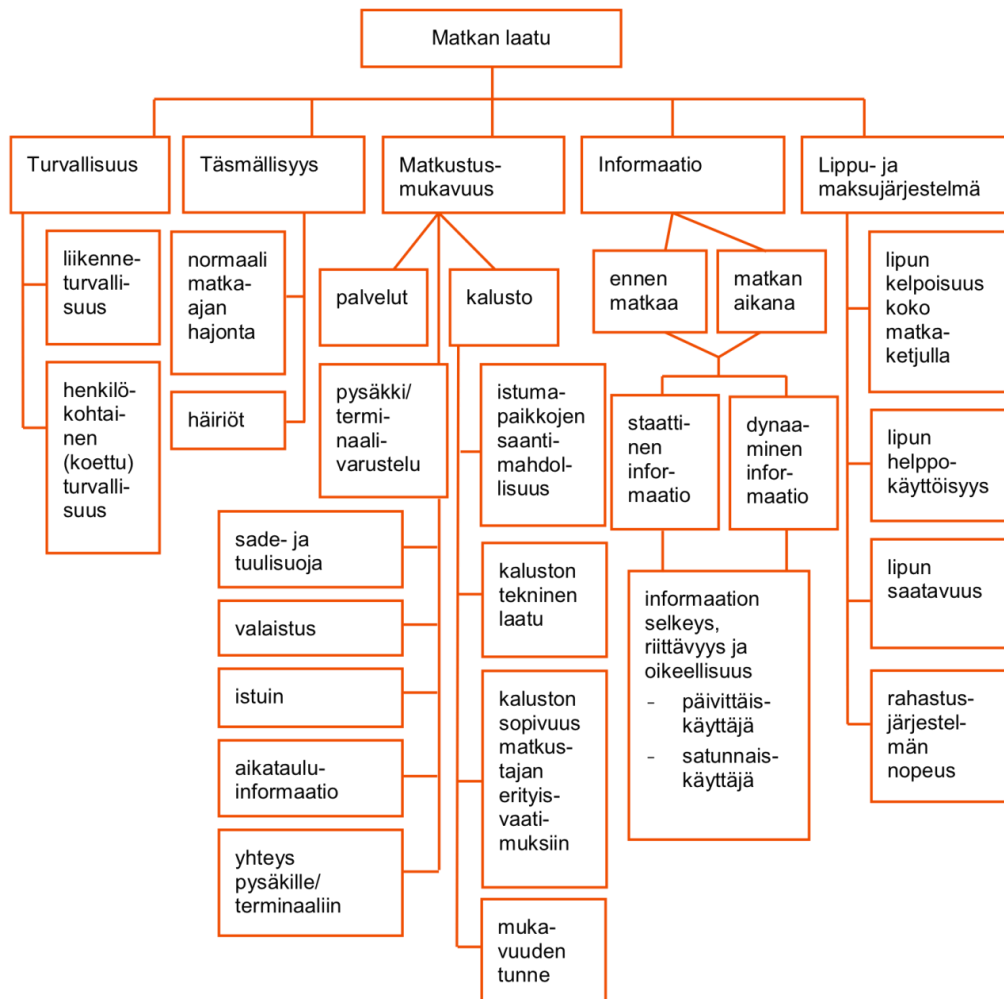
## **2.2. Täsmällisyys ja luotettavuus joukkoliikenteessä**

### **2.2.1. Täsmällisyyden ja luotettavuuden määrittely**

Luotettavuus on matkustajan kannalta tärkein joukkoliikenteen palvelutason osatekijä ja kuvaa sitä, kuinka hyvin matkustajalle tarjottu palvelu toteutuu. Luotettavuuteen sisältyy täsmällisyys, joka kuvaa kuinka hyvin aikatauluissa pysytään. Joukkoliikenteessä täsmällisyyttä voidaan mitata esimerkiksi vertaamalla pysäkkien ohitusaikojen vastaavuutta suunniteltuihin ohitusaikoihin. (Airaksinen ym. 2009).

Kuten todettu, luotettavuudella ei tarkoiteta samaa kuin täsmällisyydellä. Esimerkiksi, jos otetaan täsmällisyyden mittareiksi raja-arvot yksi minuutti etuajassa ja kolme minuuttia jäljessä, voidaan todeta, että aina neljä minuuttia aikataulua jäljessä kulkeva bussi ei ole täsmällinen. Kuitenkin matkustaja, joka on tähän jokaisen vuoron neljällä minuutilla myöhässä saapumiseen tottunut, voi kokea bussin liikennöinnin luotettavaksi. (Guenthner ja Hamat 1988.)

Tarkasteltaessa linjoja, joiden vuoroväli on tiheä, voidaan matkustajien olettaa saapuvan pysäkille tarkastelematta aikatauluja etukäteen. Tällöin luotettavuuden kannalta suurempi merkitys on linjan kyvystä säilyttää vuorovälinsä kuin linjan täsmällisyydellä pysäkkiaikataulujen suhteen. (Strathman ym. 2000.)



**Kuva 1 Matkan laatutekijöitä (LVM 36/2006)**

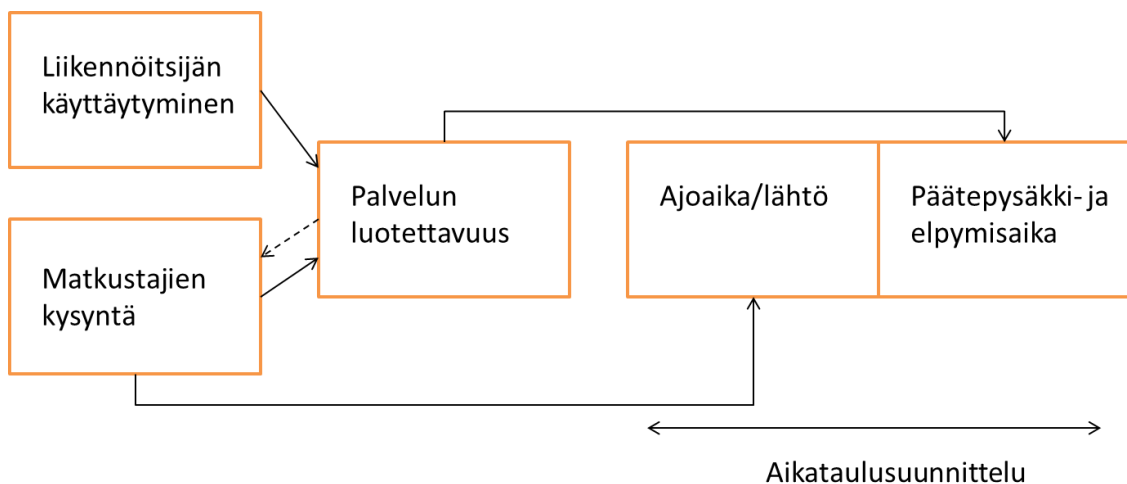
Kuvassa 1 on listattu joukkoliikenteen palvelutason osatekijöitä matkan laatutekijöiden avulla. Laatu on matkustajan kannalta todellinen saavutettu palvelu sekä palvelun vastaavuus matkustajan etukäteisodotuksiin. Täsmällisyys on mukana myös matkan laatutekijöissä, ja tärkeä osatekijä joukkoliikenteen palvelutasossa. Voidaankin todeta, että mikäli palvelujen tarjonta on epäluotettavaa, joukkoliikenteen kysyntä laskee. (LVM 36/2006.)

Luotettavuus ja täsmällisyys tärkeinä palvelutekijöinä linkittävät myös ajoaikojen suunnittelun matkustajille tarjottuun palveluun. Mullerin ja Furthin (2007) mukaan parasta palvelua voidaan matkustajille tuottaa silloin, kun ajoajat ovat mahdollisimman pieniä ja linjojen täsmällisyys on mahdollisimman suuri. Kuitenkaan tämä ei ole aina mahdollista, koska mitä pienempiä arvoja ajoajoille käytetään, sitä enemmän seuraa lähtöjä, jotka ovat merkittävästi myöhässä. Merkittävät myöhästymiset aiheuttavat ongelmia esimer-

kiksi vaihtoyhteyksiä toteutettaessa. Liian aikaisin pysäkin ohittavat lähdöt ovat erityisesti ongelmallisia silloin, kun linjalla on suuri vuoroväli.

## 2.2.2. Luotettavuuteen vaikuttavat tekijät

Kuva 2 näyttää luotettavuuden, liikennöitsijän vaikutuksen, matkustajakysynnän, ajoajan ja päätepysäkkiajan keskinäiset suhteet. Esimerkiksi matkustajamäärät vaikuttavat sekä luotettavuuteen että ajoaikoihin. Ajoaikoihin matkustajamäärät vaikuttavat esimerkiksi silloin, kun suuresti vaihteleva kysyntä lisää ajoaikojen vaihtelua. Tällöin aikataulusuunnittelija joutuu lisäämään ajoaikaa linjalle. (Strathman ym. 2004.)



**Kuva 2 Eri tekijöiden väliset suhteet luotettavuuden ja aikataulusuunnittelun kannalta (Suomennettu lähteestä Strathman ym. 2004)**

Luotettavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa myös seuraavasti:

- **Muusta liikenteestä johtuvat häiriöt liikennevirrassa;** voivat olla luonteeltaan joko säännöllisiä, kuten tietyn päivänajan ruuhkat, tai satunnaisia, kuten onnettomuudet.
- **Linjastoon, aikatauluihin ja infrastruktuuriin liittyvät suunnittelutekijät;** huono linjastosuunnittelu, jossa esimerkiksi reitille osuu useita pullonkaulapaikkoja, huonontaa linjan luotettavuutta.
- **Henkilöstöongelmat,** jotka aiheutuvat esimerkiksi huonosti motivoidusta henkilökunnasta tai henkilöstöpulasta. Esimerkiksi alkusyksystä 2011 VR:n konduktöörivaje huononsi junaliikenteen luotettavuutta.

- **Kuljettajien ajokulttuuri**, joka sisältää esimerkiksi ajonopeus ja –tyylierot, onnettomuusalttiuden sekä suhtautumisen etuajassa ajamiseen. (Airaksinen ym. 2009.)

HSL:ssä on käynnissä useita projekteja, joilla joukkoliikenteen luotettavuutta pyritään parantamaan. Näissä projekteissa luotettavuutta pyritään parantamaan karsimalla vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi pienillä infrastruktuuriin (liittymät, pysäkkijärjestelyt ym.) kohdistuvilla toimenpiteillä.

### **2.2.3. Täsmällisyyteen vaikuttavat tekijät**

Guenthner ja Hamat (1988) ovat artikkelissaan tuoneet esiin mahdollisia syitä huonoon täsmällisyyteen. Mahdollisista syistä on tunnistettu seuraavat:

#### **1. Matkustajamäärien muuttuminen**

Jos matkustajien määrässä reitillä on suuria päiväkohtaisia vaihteluja, bussi saattaa ajaa edellä aikataulustaan päivinä, jolloin matkustajia on vähän, ja taa-sen myöhässä aikataulustaan päivinä, jolloin matkustajia on runsaasti.

#### **2. Lisääntyneet matkustajamäärät**

Jos matkustajamäärät lisääntyvät huomattavasti reitillä aikataulujen voimaantu-lon jälkeen, bussi voi olla jatkuvasti myöhässä suunnitellusta aikataulustaan.

#### **3. Ulkoiset tekijät**

Ulkoisia tekijöitä voivat vaikka olla junia risteävillä linjoilla hitaat tai pitkät tavara-junat, jotka voivat aiheuttaa pitkiäkin odotuksia. Ulkoinen tekijä voi olla myös onnettomuus, joka katkaisee liikenteen.

#### **4. Vaihtelevat liikennemäärät**

Aikataulut voidaan sovittaa tietyille oletettaville liikennemäärille. Mikäli kuitenkin nämä liikennemäärät vaihtelevat, bussien saapumisaikojen arvioiminen heikke-nee. Bussien liikennevaloetuedet ja bussikaistat voivat helpottaa ongelmaa.

#### **5. Aikataulujen kontrolloimisen puute**

Operaattoreiden tulee varmistua siitä, että bussit liikennöivät ajallaan. Mikäli bussit eivät liikennöi täsmällisesti, lisäkontrolli voi olla tarpeellista.

## 6. Mahdoton aikataulu

On mahdollista, että suunnitellut ajoajat eivät ole noudatettavissa liikennesääntöjä rikkomatta. Jos liikennöinti on muuten täsmällistä, ajoaikojen uudelleen määrittely voi ratkaista täsmällisyysongelman.

Mikäli ongelmia ilmenee aikataulusuunnittelussa, ongelman luonteesta riippuen voidaan käyttää kahta strategiaa ongelman ratkaisemiseksi ja täsmällisyyden parantamiseksi. Keinoina voivat olla joko aikataulujen sovittaminen liikennöintiä vastaavaksi, tai liikennöinnin sovittaminen aikataulujen mukaiseksi. Aikatauluja sovitettaessa keinoina voi olla esimerkiksi väliaikapisteiden vaihtaminen, aikataulujen löysentäminen tai pääte pysäkkiaikojen pidentäminen tai lyhentäminen. Liikennöintiä mukautettaessa voidaan lisätä kontrollia, pidentää tai lyhentää reittejä, vähentää pysäkkien määrää, lisätä pikalinjoja tai lisätä bussietuuksia, kuten bussikaistoja tai liikennevaloetuksia. (Guenther ja Hamat 1988.)

HSL:ssä on periaatteena, että mikäli aikataulut todetaan mahdottomiksi aikataulukauden aikana, linjalle voidaan laatia uudet aikataulut. Mikäli ajoajat on määritelty siten, että niitä joudutaan uudelleen arvioimaan ja määrittelemään kesken aikataulukauden, seurauksena on usein lähtöaikojen muuttuminen. Tästä aiheutuu matkustajalle haittaa, mikäli tiedotusta ei pystytä tarpeeksi hyvin järjestämään. Tällaisessa tilanteessa myös pysäkkien ohitusajat ovat poikenneet usein huomattavastikin suunnitellusta ja täsmällisyys on ollut huonoa.

Kuljettajien saaman tiedon puute on myös yksi täsmällisyyteen vaikuttavista ongelmista Helsingin seudulla. Kuljettajilla on tiedossa pysäkkien ohitusajat ainoastaan niiden pysäkkien osalta, jotka ovat välipistepysäkkejä lukuun ottamatta linjoja, joilla on toiminnassa HELMI –järjestelmä, joka kertoo kuljettajalle tietoja matkan aikana. Välipistepysäkkejä on linjoilla yleensä noin 1-3, mutta lyhyillä linjoilla välipistepysäkkejä ei mahdollisesti ole ollenkaan. Aikataulujen kontrolloimisen puute ilmenee myös ongelmana, koska mikäli näitä välipistepysäkkejä ei noudateta, HSL:n aiempien sopimusten mukaisesti mitään sanktiota ei seuraa. Uusissa liikennöintisopimuksissa 2011 alkaen välipistepysäkkien noudattamattomuudesta sanktioidaan, jolloin voidaan olettaa välipistepysäkkien noudattamattomuudesta johtuvien ongelmien täsmällisyydessä poistuvan.



## 2.2.4. Täsmällisyyden indikaattorit

Täsmällisyydellä tarkoitetaan bussin saapumista tietylle reitillään olevalla pysäkillä, lähtemistä tältä pysäkillä tai tämän pysäkin ohittamista ajanjaksolla, joka ei ole x minuuttia ennen eikä y minuuttia jälkeen julkaistussa aikataulussa määriteltyä pysäkkiaikaa. Arvot x ja y vaihtelevat riippuen toimijoista. Yleisesti kuitenkin käytetään arvoja 1 minuutti etuajaisesta saapumiselle ja 5 minuuttia myöhässä saapumiselle. Tutkittaessa täsmällisyyttä eri linjoilla tulisi erotella toistuvasti myöhässä olevat linjat linjoista linjat, joiden myöhästyminen ei ole ennustettavissa (Guenther ja Hamat 1988). HSL:ssä tällaisia kriteerejä täsmällisyydelle ei vielä tämän diplomityön tekohetkellä syksyllä 2011 ollut määritelty. Myöskään YTV:ssä tai HKL:ssä tällaisia kriteereitä ei ollut määriteltyinä. Luotettavuuden määrittelyyn HSL:ssä ollaan kuitenkin kehittämässä luotettavuusindeksiä. Indeksien kehittelyn alkuvaiheessa määriteltiin indeksissä käytettäväksi täsmällisyyden indikaattoriksi -1, +2 minuuttia (Lautela ja Vanhanen 2011).

Eri operaattoreilla on käytössään omia indikaattoreitaan täsmällisen liikennöinnin määrittelyyn. Indikaattoreita ovat esimerkiksi pysäkeillä odotusaikaa mittaavat indikaattorit ja pysäkkien ohitusaikaa mittaavat indikaattorit. Esimerkiksi Chicagossa Pace operaattorilla, joka käyttää aikataulusuunnittelussaan samaa Hastus – ohjelmaa kuin HSL, on käytössään määrittely, jonka mukaan liikennöinti on täsmällistä, mikäli bussi ei ole yli 1 minuuttia etuajassa, tai 5 minuuttia myöhässä (Balvanyos ja Owen 2008).

Useilla operaattoreilla on käytössä indikaattoreita, jotka määrittelevät minutteja halusta vuorovälistä tai ohitusajasta. Useimmissa tapauksissa myöhästymistä sallitaan enemmän kuin etuajassa ajamista. (Trompet ym. 2011.) Yhdysvalloissa on myös tehty operaattoreille laaja (yli 80 toimijaa) kysely indikaattoreista vuonna 1994, ja tällöin 42 % toimijoista salli bussien olla yli 5 minuuttia myöhässä, ja silti lähdon katsottiin olevan täsmällinen, 24 % vastaajista salli etuajassa ajamista. Kanadassa on myös tutkittu täsmällisyyskäsitettä, ja 17:sta vastaajasta 11 käytti täsmällisyysindikaattorina arvoja enintään 3 tai 4 minuuttia myöhässä. Muut 6 vastaajaa salli 5 minuutin myöhästymisen. Vain kaksi vastaajaa salli etuajassa ajamista. (TCQSM 2003.)

Tarkkojen lähdöille sallittujen minuuttimäärittelyjen lisäksi voidaan käyttää täsmällisyyden määrittelyssä poikkeamaa aikataulutetusta vuorovälistä. Osalla joukkoliikenneoperaattoreista on käytössä myös asiakkaalle annettavassa aikatauluinformaatiossa ainoastaan tieto vuorovälistä tietyllä kellonaikavälillä sen sijaan, että tarjottaisiin täsmällistä minuuttiaikataulua pysäkillä saapuvista lähdöistä. Tarkasteltaessa täsmällisyyden määrittelyä suhteessa vuoroväleihin, voidaan todeta, että etuajassa ajamisen negatii-

vista vaikutusta painotetaan myös näissä määrittelyissä. Esimerkiksi Barcelonassa TMB :llä täsmällisyysindikaattori on [-1; 3 minuuttia] poikkeamana aikataulutettuun vuoroväliin, Brysselissä STIB:llä sekä Pariisissa RATP:lla täsmällisyysindikaattori on [0; 2] minuuttia. Milanossa, Lissabonissa sekä Singaporessa sallitaan myöhästymistä ja etuajassa ajamista yhtä paljon. (Trompet ym. 2011.) Yleisesti voidaan siis todeta, että indikaattorit painottavat etuajassa ajamisen haitallisuutta, mutta sallivat kuitenkin muutamien minuuttien myöhästymisen.

Palvelun laadun kannalta täsmällisyyttä voidaan myös kuvata käyttämällä kuusiportaista LOS – palvelutasomäärittelyä (taulukko 1). Tässä määrittelyssä täsmällisyyskriteerinä on käytetty indikaattoria, joka sallii lähdön olla 0-5 minuuttia myöhässä, jotta lähtö voidaan määritellä täsmälliseksi. Lisämäärittelynä kuitenkin todetaan, että etuajassa ajavat lähdöt voidaan määritellä täsmälliseksi, mikäli etuajassa ajamista tapahtuu vain päätepusäkillä tai muissa paikoissa missä matkustajat ainoastaan jäävät bussista pois. (TCQSM 2003.)

**Taulukko 1 Palvelutasoluokitus täsmällisyyden perusteella (TCQSM 2003)**

Palvelutaso (LOS=Level of service)	Täsmällisyysosuus (on-time percentage)
A	95-100 %
B	90-94,9 %
C	85-89,9 %
D	80-84,9 %
E	75-79,9 %
F	<75 %

Palvelutasot on määritelty seuraavasti ottaen huomioon matkustajan saapumisen määränpäähänsä (TCQSM 2003):

- A. Matkustajien kokema palvelu on hyvin luotettavaa, ja matkustaja voi olla varma saapumisestaan määränpäähän aikataulun mukaisesti. Poikkeuksena ovat ainoastaan erittäin epätavalliset olosuhteet.
- B. Palvelu on erittäin luotettavaa, mutta matkustaja kohtaa noin yhden myöhässä olevan joukkoliikennevälineen viikossa.
- C. Keskierto matkustaja kohtaa keskimäärin enemmän kuin yhden myöhässä olevan joukkoliikennevälineen viikossa.

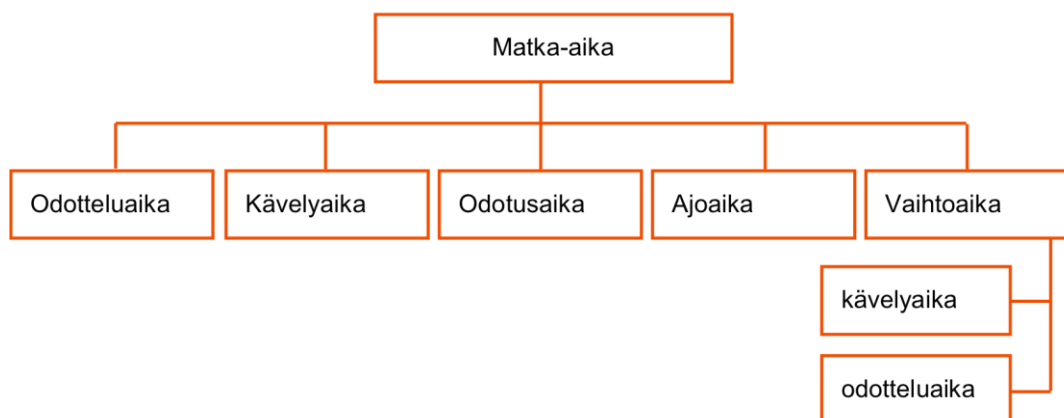
- D ja E. Matkustaja tulee yhä enemmän epävarmaksi aikataulunmukaisesta saapumisestaan ja saattaa valita aikaisemman lähdön varmistukseensa saapumisensa määränpäähän haluttuna aikana.
- F. Myöhässä olevien lähtöjen määrä on erittäin merkittävä matkustajille.

### 2.3. Matkustajan odotusaika

Joukkoliikenteen huono luotettavuus vaikuttaa matkustajan odotusaikaan pidentäen odotusaikoja ja nostaen tarvetta budjetoida enemmän aikaa odottamiseen (Furth ym. 2006).

Tässä työssä matkustajan odotusaikaa pidetään optimoitavana tekijänä. Tärkeintä olisi optimoida aikataulusuunnittelussa käytettävä ajoaika siten, että matkustajan pysäkillä käyttämä odotusaika olisi minimoitu. Tähän päästään tuottamalla mahdollisimman täsmällistä ja luotettavaa aikatauluinformaatiota.

Matkustajan matka-aika käytettäessä joukkoliikennettä voidaan jakaa eri osavaiheisiin: lähtökävelyaika, odotusaika, ajoaika ja saapumiskävelyaika. Lisäksi vaihdollisissa yhteyksissä matka-aikaan sisältyy myös vaihtoaika, joka sisältää sekä vaihtodotteluajan sekä vaihtokävelyaajan. Matka-aikaan voidaan myös laskea kuuluvaksi matkustajan odottelu-aika, jolla tarkoitetaan aikaa joka matkan tekopäätöksen jälkeen joudutaan viettämään lähtöpaikassa, ennen lähtökävelyaajan aloittamista. (Ojala ja Pursula 1994.) Matka-ajan komponentit on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 3 Matka-ajan komponentit (LVM 2006)**

Odotusajan merkitystä matkustajalle on tutkittu arvottamalla odotusajan osuutta matka-ajasta. Odotusaika riippuu silloin vuorovälistä ja käytetystä odotusaikakertoimesta.

Yleisesti odotusajaksi oletetaan puolet linjan vuorovälistä. Kuitenkin useissa tapauksissa matkustajista osa saapuu pysäkillä tietäen linjan aikataulun, tällöin odotusaika on usein vähemmän kuin puolet vuorovälistä. Odotusajan painokertoimet ovat yleisesti noin 1,5–2,0, joista suurempi painokerroin arvo kuvaa ikävämmäksi koettua odotusta. Ajoajan painokerroin on noin 1,0, mikäli saatavilla on istumapaikka. Odotusajan merkitys matkustajalle on täten suhteellisesti huomattavasti suurempi kuin bussissa vietetty matka-aika. (Pesonen ym. 2006.) Tiehallinnon oppaassa ”Joukkoliikenne hankkeuvioinnissa” esitetyt matkan osatekijöiden painokertoimet ovat taulukossa 2. Näissä painokertoimissa odotusajan painokerroimen ylärajana on käytetty lukua 3,7. (Tiehallinto 2001.) Tällöin odotusajan suhde ajoaikaan nousee vielä korkeammaksi, ja odotusajan minimoimista ajoajan kasvun kustannuksella voitaneen pitää sallittuna. Esimerkiksi lisättäessä välipistepysäkkejä voidaan olettaa osalla matkustajilla ajoajan kasvavan, kun etuajassa pysäkillä saapuvat lähdöt joutuvat tasaamaan aikaa pysäkillä. Toisaalta kuitenkin tällä tavoin saadaan usein hajontaa tehokkaasti pienennettyä, jolloin odotusaikojen pysäkeillä voidaan olettaa laskevan.

**Taulukko 2 Matka-ajan osatekijöiden painokertoimia (Tiehallinto 2001)**

<b>Osatekijä</b>	<b>Painokerroin</b>
Ajoaika, istumapaikka	1
Ajoaika, seisomapaikka	1,1 - 1,7
Kävelyaika	1,5 - 2,5
Odotusaika	1,7 - 3,7
Vaihtoaika	2,0 - 3,5

Seuraavaksi tarkastellaan vielä tarkemmin odotusaikaa ja odotusajan muodostumista lyhyillä ja pitkillä vuoroväleillä.

### 2.3.1. Odotusaika lyhyillä vuoroväleillä (Furth ym. 2006)

Vuorovälien ollessa lyhyitä, voidaan olettaa, että matkustaja saapuu pysäkillä satunnaisesti ilman tietoa arvioidusta ohitusajasta. Tällöin oletettaessa myös, että matkustaja pystyy nousemaan ensimmäiseen saapuvaan ajoneuvoon, voidaan matkustajan odotusaika johtaa vuorovälistä. Tällöin voidaan käyttää keskimääräiselle odotusajalle seuraavaa kaavaa:

$$E[W] = 0.5E[H](1+c^2),$$

jossa  $E[W]$  on keskimääräinen odotusaika

$E[H]$  keskimääräinen vuoroväli

$c$  (coefficient of variation of headway) vuorovälin variaatiokerroin.

### 2.3.2. Odotusaika pitkillä vuoroväleillä

Vuorovälien ollessa pitkiä matkustajat kohdentavat pysäkillä saapumisen annettuun saapumisaikaan, eikä pysäkillä yleensä saavuta satunnaisesti.

Ohitusaikahajontaa, jota matkustaja pyrkii arvioimaan, voidaan kuvata seuraavasti:

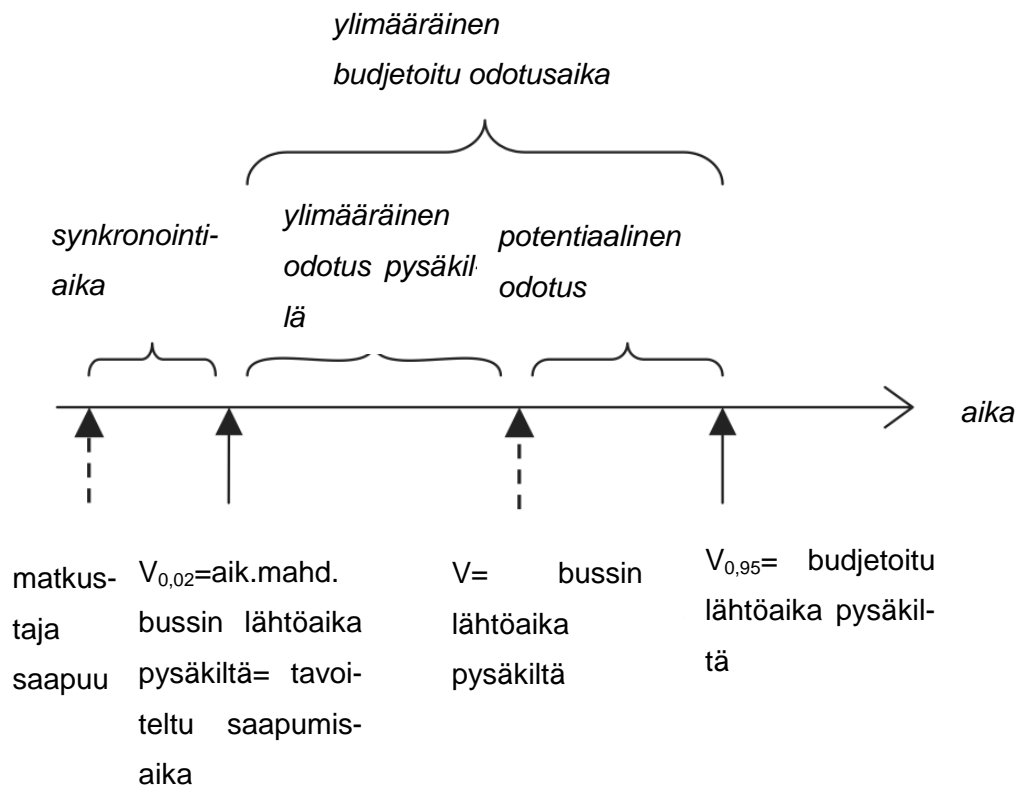
$V$  = pysäkin ohitusaika - aikataulussa ilmoitettu pysäkin ohitusaika,

jossa  $V$  on pysäkin ohitusaikahajonta.

Matkustajalla voidaan otaksua olevan aika, jota ennen hän olettaa, ettei bussi ohita pysäkkiä. Matkustaja saapuu pysäkillä tänä aikana tai hieman sitä ennen. Jotta bussiin ehditään varmasti, voidaan täksi ajaksi määritellä 2 – persentiili, eli aika, jolloin vain 2 % busseista on jo ehtinyt ohittaa pysäkin. Toisaalta voidaan määritellä 95 – persentiili pysäkin ohitusajan hajonnasta sellaiseksi, jonka matkustaja budjetoi, ja ottaa huomioon aikana, jolla hän ehtii määränpäähensä ajoissa. (Furth ym. 2006.)

Tällöin pitkillä vuoroväleillä odotusaika voidaan jakaa kuvassa 4 esitettyihin komponentteihin. Ylimääräinen budjetoitu odotusaika koostuu ylimääräisestä pysäkillä tapahtuneesta odotusajasta, sekä siitä ajasta, joka varataan ylimääräiseksi, jotta matkan kohteeseen saavutaan varmasti ajoissa (Furth ym. 2006.) Voitaneen kuitenkin ajatella, että osa matkoista on sellaisia, esimerkiksi kotiin suuntautuvat matkat, jolloin

matkan kohteeseen saapuminen tietyssä ajassa ei ole merkityksellistä, jolloin potentiaalinen odotusaika ei tarvitsisi huomioida.



Kuva 4 Matkustajan odotusajan osatekijät pitkillä vuoroväleillä (Furth ym. 2006)

Epäluotettavuus aiheuttaa täten kahdenlaisia kustannuksia matkustajille:

- Liiallisesta odotuksesta aiheutuvaa kustannusta, koska matkustajien tulee saapua aikaisin pysäkillä, koska matkustaja ei voi olla varma bussin saapumisajasta
- Budjetoitu lisäaika, jolla matkustaja varmistaa, että ehtii perille ajoissa, vaikka bussi olisikin myöhässä (Furth ja Muller 2006.)

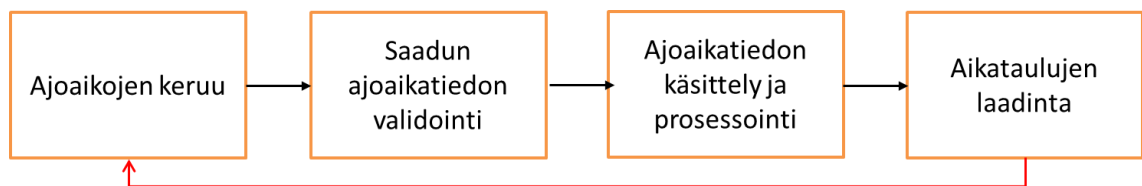
Aikakustannusten suuruutta voidaan arvioida esimerkiksi, jossa matkustaja 20 minuutin vuorovälillä liikennöivällä linjalla saapuu pysäkillä kerran siten, että bussi on jo mennyt etuajassa. Tällöin matkustaja kokee 20 minuutin aikamenetyksen. Seuraavan sadan päivän aikana matkustaja tulee aina varmuuden vuoksi 2 minuuttia etuajassa pysäkillä, tämä aiheuttaa hänelle 200 minuuttia ylimääräistä odotusta. (Furth ym. 2006.)

## 2.4. Ajoajat

Aikataulusuunnittelun tärkeänä lähtötietona ovat reittikohtaiset toteutuneet ajoajat. Toteutuneet ajoajoissa voidaan havaita erilaisia vaihteluita, kuten vuodenaikavaihteluita, viikonpäivävaihteluita, tuntivaihteluita sekä mahdollisesti muista tekijöistä kuten liikenneolosuhteista aiheutuvia tai kuljettajista aiheutuvia satunnaisia vaihteluita.

Ajoaikojen vaihtelu on matkustajille lisäkustannus, koska vaihtelu lisää epävarmuutta matkan toteutumiseen tarvittavasta ajasta, ja todennäköisyydestä myöhästyä bussista (Duarte ja Lage 2008). Matkustajille, joiden matkaan sisältyy vaihto, ajoaikojen vaihtelu on vielä suurempi ongelma, koska vaihtelu voi aiheuttaa vaihtoyhteyksien toteutumattomuutta sekä odotusaikojen kasvua

Jotta suunnittelija pystyy tekemään ajoaikojen määrittelyyn liittyviä päätöksiä, tulee hänen tiedostaa mahdolliset selittämättömät vaihtelut ajoajoissa ja tunnistaa näiden vaihteluiden syyt, jotta voidaan muodostaa mahdollisimman luotettavia ajoaikoja seuraaville aikataulukausille. Courval (2011) on esittänyt kaavion ajoaikojen käsittelyn prosessille (kuva 5).



**Kuva 5 Ajoaikojen kalibrointiprosessi (suomennettu kuvasta, Courval 2011)**

Ajoikaan vaikuttavia tekijöitä ovat reitin pituus, pysäkkien määrä reitillä (vaikuttavia tekijöitä kiihdytysaika, jarrutusaika ja pysäkillä viipymisaika), matkustajien määrä, liikenneolosuhteet ja -onnettomuudet, liikennevalo-ohjattujen risteyksien määrä ja katu-pysäköinnin esiintyminen (Strathman ym. 2000). Lisäksi ajoikaan voi vaikuttaa kuljettajan ajotapa, ajosuunta sekä infrastruktuuri (El-Generdy ym. 2009). Ajoajan vaihteluun vaikuttavat tekijät voidaan myös jaotella kysyntään ja kapasiteettiin liittyviin tekijöihin. Kysyntään vaikuttavat tekijät ovat liikennevirta sekä matkustajien kysyntä, ja kapasiteettiin vaikuttavat tekijät ovat sääolosuhteet, onnettomuudet, kuljettajien käyttäytyminen sekä hallinnolliset menettelytavat. (Mazlouni ym. 2010.)

Seuraavaksi tarkastellaan vielä tarkemmin muutamia ajoikaan vaikuttavia tekijöitä.

#### **2.4.1. Matkustajamäärien vaikutus**

Matkustajamäärät vaikuttavat suunniteltuun ajoikaan joko suoraan kysynnän vaihte-  
luiden mukaan tai epäsuorasti luotettavuusvaikutusten mukaan. Kysynnän kasvu ajan  
funktiona luo tarpeen joko ajoajan lisäämiseen tai uuden lähdön lisäämiseen. Suuresti  
vaihteleva kysyntä johtaa lisääntyneeseen ajoajan vaihteluun, joka vaikuttaa kierrosten  
loppuun lisättävän päätepysäkkiajan kasvattamiseen ja pysäkkiaikojen täsmällisyyden  
heikkenemiseen. (Strathman ym. 2004.)

#### **2.4.2. Kuljettajan ja liikennöitsijän vaikutus**

Ajoaikojen määrittelyssä merkittävänä tekijänä on myös kuljettajien käyttäytyminen  
ajoaikoja muuttaessa. Carey (1998) on tutkimuksessaan osoittanut, että lisättäessä  
väljyyttä ajoaikoihin, kuljettajat mahdollisesti ulosmittaavat tätä väljyyttä omalla käyttäy-  
tymisellään. Liikennöitsijöiden vaikutuksen ajoaikoihin on tunnistanut myös CTA, jossa  
on todettu, että muuttaessa ajoaikoja, liikennöitsijät mukauttavat ajotapansa muutok-  
sia vastaaviksi. Tällöin voi tapahtua esimerkiksi niin, että jos reitti on aikataulutettu 25  
minuutin sivun ajoikaan, jossa 50 % lähdöistä ajetaan 25 minuutissa, 65 % lähdöistä  
ajetaan 30 minuutissa ja 95 % ajetaan 45 minuutissa. Tällöin voidaan valita, että sivun  
ajoaika nostetaan 30 minuuttiin (CTA käyttää yleisesti 65 -persentiiliä). Tällöin voi  
kuitenkin käydä niin, että liikennöitsijät muuttavat ajamistaan siten, että 50 % lähdöistä  
ajetaan 28 minuutissa, 65 % matkoista ajetaan 32 minuuttiin ja 95 % lähdöistä ajetaan  
45 minuuttiin. Seurauksena on, että ajoajat jatkavat kasvuaan, eivätkä koskaan piene-  
ne. (CTA:n vastaus kyselytutkimukseen)

Toisaalta liikennöitsijöiden ja kuljettajan käyttäytymiseen voivat vaikuttaa myös epä-  
realistiset aikataulut. Jos aikataulut ovat epärealistista, kuljettajien ei voida olettaa  
odottavan välipisteillä, jos tiedossa on, että seuraavaan välipisteeseen tai päätepysäkil-  
le laskettu ajoaika on mahdoton toteuttaa (Furth ja Muller 2006).

#### **2.4.3. Talven vaikutus ajoaikoihin**

HSL:ssä tutkittiin syksyllä 2011 talven vaikutusta ajoaikoihin. Tulokseksi saatiin, että  
yleisesti syksyn ja talven ajoajoissa ei ole niin merkittävää eroa (loka- ja tammikuun  
ajoaikojen poikkeaman mediaani noin 2 minuuttia), että erillisiä keskitalven aikatauluja  
olisi tarpeellista tehdä. Kuitenkin tutkimuksessa todettiin, että joillakin linjoilla poik-



keamat saattavat kuitenkin olla merkittäviä. Esimerkiksi linjalla 1058 1-suunnassa poikkeama oli jopa 8 minuuttia. (Into 2011.) Aikaisemmin ajoaika-aineistosta on tutkittu lokakuun 2005 ja tammikuun 2006 välisiä vaihteluita. Tällöin on todettu, että tammikuun matka-ajat olivat useimmilla linjoilla (tutkittu 9 linjaa) ja suunnilla pidempiä kuin lokakuussa. Matka-aikakäyrät olivat kuitenkin näillä eri ajanjaksoilla lähes identtisen muotoiset. Matka-aikojen suurin erotus oli tutkituista linjoista linjan 506 viimeisen pysäkin ajoajoissa, 300 sekuntia. (Lehmuskoski 2007.)

Vaikka erot on määritellyt niin pieniksi, ettei erillisiä aikatauluja tarvitse muodostaa, tulee kuitenkin ottaa huomioon, että kahden minuutin poikkeama mediaanissa voi kuitenkin aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia matkustajien odotusajoille pysäkeillä. Tämä on ongelma varsinkin siinä tapauksessa, jos talven ajoajat ovat kasvattaneet ajoaikoja siten, että alkusyksystä ja keväällä etuajassa ajamista tapahtuu huomattavasti enemmän.

Kesän ja talven välisten ajoaikojen merkitys on ajoaikojen luotettavuuden kannalta pieni, koska kesäaikatauluille määritellään omat ajoajat.

## **2.5. Ajoaikojen määrittely aikataulusuunnittelussa**

Ajoaikojen määrittelyn onnistumisella on suuri merkitys seuraavan aikataulukauden aikataulujen toimivuuteen. Suunnittelijan tavoitteina ajoaikojen määrittelyssä ovat ainakin seuraavat:

1. Tuottaa matkustajille paikkansapitävät ja luotettavat aikataulut.
2. Tuottaa liikennöitsijöille sellaiset aikataulut, joiden mukaan ajaminen voidaan tehdä nopeusrajoituksia noudattaen ja turvallisesti.
3. Tehokkaan operoinnin mahdollistaminen. Ajoaikasuunnittelulla on suoria vaikutuksia liikennöintikustannuksiin erityisesti kokonaisajoajan määrittelyn osalta.
4. Välttää etuajassa ajamisen seuraukset, esimerkiksi vaikutukset vaihtoyhteyksiin.
5. Vähentää myöhässä ajamista ja bussien ketjuuntumista liian tiukkojen ajoaikojen seurauksena.
6. Täsmällisen liikennöinnin maksimointi (Boyle ym, 2009).

Aikataulusuunnittelun tärkeänä osana ja muodostettavien aikataulujen pohjana käytetään usein toteutuneita ajoaikamittauksia edelliseltä aikataulusuunnittelukaudelta. Toteutuneita ajoaikoja saadaan erilaisilla ajoneuvon kulkua automaattisesti tallentavilla

laitteilla. Näiden mittaustietojen avulla voidaan erilaisia analyysitapoja ja – ohjelmistoja käyttämällä määrittää tilastollisia tunnuslukuja, joiden avulla voidaan luoda ajoajat tulevien aikataulusuunnittelukausien tarpeisiin. Koska useilla operaattoreilla on käytössään suuri määrä mittauksia sekä analysointiin tarkoitettuja suunnitteluohjelmia, erilaiset tarkatkin teoreettiset analysoinnit ovat mahdollisia mahdollisimman oikeanlaisten ajoaikojen tuottamiseen. Ongelmana ajoaikojen määrittelyn teoreettisessa tarkastelussa on, että erilaisilla analyyseillä voidaan luoda erittäin tarkkaan määriteltyjä ajoaikoja tutkimalla toteutuneiden ajoaikojen hajontoja. Todellisuudessa kuitenkin aikataulusuunnittelussa ajoajat määritellään minuutteina, vaikka tieto toteutuneista ajoajoista saadaan sekunteina. Pyöritykset lähimpiin minuutteihin aiheuttavat virhettä. Toinen tärkeä virhettä aiheuttava tekijä on, että määriteltävät ajoajat ovat aina ennusteita, eikä määriteltyjen ajoaikojen paikkansapitävyyttä voida varmistaa.

Määriteltäessä sopivaa ajoaikaa tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavat linjan ominaisuuksiin ja ajoaikoihin vaikuttavat asiat (Oort ym. 2009):

- **Ajoaikojen hajonta**, mitä suurempi on hajonta, sitä suurempi on vaikutus täsmällisyyteen
- **Vuoroväli**, mitä suurempi on vuoroväli, sitä suurempi on vaikutus, mikäli ajetaan etuajassa.
- **Nousujen määrä pysäkiltä**, tärkeintä on tunnistaa linjan reitiltä paikat, josta suurin osa henkilöistä nousee bussiin. Matkustajan noustua bussiin, seuraavien pysäkkien ohitusajat eivät ole enää merkityksellisiä matkustajalle.
- **Päätepysäkkiäika**, aikaa, joka on suunniteltu päätepysäkille ennen seuraavan lähdön suunniteltu lähtöaikaa, voidaan käyttää hyväksi myöhässä ajavien vuorojen ajoajan tasoittamiseksi. Toisaalta tulee ottaa huomioon, että osa tästä ajasta on varattu kuljettajien taukoon, tai pysäkin lastausaikaan.

### 2.5.1. Ajoaikojen määrittelyn merkitys

Ajoajan määrittelyn merkitys on suuri. Huonosti määritellyn ajoajan seuraukset voivat vaikuttaa esimerkiksi matkustajamääriin ja siten menetettyihin lipputuloihin. Vaikutusta voi olla myös kuljettajien kokemaan stressiin, mikäli ajoajat ovat liian tiukkoja, sekä matkustajien aikamenetyksiin. Oikean persentiilin valinta onkin tärkeä kysymys monissa joukkoliikennettä suunnittelevissa yrityksissä (Oort ym. 2009).

Liian löysä ajoaika vaikuttaa matkustajiin kahdella tavalla: 1) Jos liikennöitsijät ajavat tarpeettoman hitaasti pysyäkseen aikatauluissa, bussin kyydissä olevat matkustajat

kokevat turhia aikamenetyksiä. 2) Jos liikennöitsijät eivät noudata aikatauluja ja ajavat suunniteltua nopeammin, bussit ohittavat pysäkit arvioitua aikaa edellä, ja vaikutusta on matkustajiin, jotka saapuvat pysäkillä aikataulun mukaisesti. (Strathman ym. 2004)

Jos oletetaan, että käytetään mediaania ajoajoista, tällöin matkustajalla, joka saapuu pysäkillä annettuna ohitusaikana, on 50 % mahdollisuudet myöhästyä bussista. Tällöin aikataulujen suunnittelijoiden tulee tasapainotella sen välillä, kumpi on tärkeämpää, matkustajien ehtiminen bussiin, vai se, että kokonaismatka-aika vastaa mahdollisimman hyvin matkustajien odotuksia. (Duarte ja Lage 2008.)

Toisaalta myös pysäkkiaikojen määrittelyyn valittavalla attribuutilla on merkitystä siihen, kuinka matkustaja kokee joukkoliikenteen täsmällisyyden. Esimerkiksi valittaessa ohitusaikojen määrittelyyn attribuutiksi suuri persentiili, myöhästyneiden lähtöjen määrä vähenee, mutta toisaalta taas lähtöjen määrä, jotka kulkevat etuajassa lisääntyy. Toisaalta taas valittaessa pieni persentiili, liian aikaisin pysäkin ohittavien lähtöjen määrä vähenee, kun taas myöhässä ohittavien osuus suurenee.

Ajoajan määrittelyn seurauksia ovat lisäksi seuraavat (Oort ym. 2009):

Vaikutukset tarjontaan

- Todennäköisyys aikataulunmukaiseen lähtöaikaan
  - Jos useat bussit ovat myöhässä, todennäköisyys, että seuraava lähtö lähtee myöhässä, kasvaa. Toisaalta, mikäli aikataulussa on varattu riittävästi päätepysäkkiaikaa, todennäköisyys kasvaa vähemmän.
- Kuljettajan saapuminen pysäkillä
  - Mitä pidempi on ajoaika, sitä suurempi on todennäköisyys, että kuljettaja saapuu suunnitellun ajoajan mukaisesti. Toisaalta, mitä pidempi ajoaika, sitä suurempi mahdollisuus, että kuljettajat ajavat etuajassa
- Tarvittavien ajoneuvojen määrä
  - Tarvittavien ajoneuvojen määrä määräytyy kierrosajan ja vuorovälin perusteella. Kierrosaika sisältää ajoajan ja päätepysäkkiajan.

Vaikutukset kysyntään

- Matkustajien matka-aika
  - Odotusajan merkitys on suuri. Mikäli määritelty ajoaika ei ole onnistunut, odotusajat pysäkillä kasvavat.

## 2.5.2. Yleistä ajoaikojen määrittelytavoista

Yleisesti voidaan määrittellä kahdenlaisia ajoaikoja käyttötarkoituksen mukaan. Ajoaikoja voidaan määrittellä pysäkkien ohitusajoille, jolloin voidaan määrittelyn perustana käyttää tiukempia kriteerejä, esimerkiksi persentiiliä 50, jolloin puolet toteutuneista ajoajoista alittaa näin määritellyn käytettävän ajoajan ja puolet ylittää ko. ajan. Tällöin 50 % lähdöistä voidaan olettaa ohittavan pysäkin ennen arvioitua ohitusaikaa. Toinen määriteltävä ajoaika on pääte pysäkkiaika. Tämän ajoajan määrittelyyn käytetään myös toteutuneita ajoaikoja, mutta tällöin määrittelyn perustana käytetään korkeampaa persentiiliä esimerkiksi persentiiliä 95. Tällöin 95 % toteutuneista ajoajoista, eli lähes kaikki lähdöt ovat ehtineet pääte pysäkille. Tämän avulla varmistetaan, että lähdöt ehtivät pääte pysäkille ennen kuin lähtö toiseen suuntaan on merkitty alkavaksi.

Aikataulusuunnittelussa käytetään yleensä hyväksi havaittuja nyrkkisääntöjä. Yksi yleisemmistä säännöistä on välipisteiden ajoaikojen asettaminen vastaamaan havaittujen ajoaikojen keskiarvoa. (Furth ja Muller 2007.) Syynä tähän on ollut ajoaikojen keräämisen vaikeus, ja täten pienet otoskoot. Automatisoidut paikannuslaitteet ovat kuitenkin mahdollistaneet tarkempien tulosten ja laajempien otosten saamisen. Tällöin aikataulusuunnittelun perustana on mahdollista tarkastella keskiarvon sijaan ääriarvoja, esimerkiksi persentiilejä 85 ja 95. Ääriarvojen merkitys matkustajille korostuu, koska matkustajille ajoaikojen keskiarvon mukainen liikennöinti ei ole niin merkityksellistä kuin ääriarvojen välttäminen, jolloin bussi saapuu pysäkille joko liian aikaisin, tai huomattavasti myöhässä. (Furth ym. 2006.)

Taulukossa 3 on listattu Courvalin (2011) esittämiä eri ajoaikojen määrittelytapojen etu ja haittapuolia.

**Taulukko 3 Ajoaikojen määrittelytapojen haittoja ja etuja (Courval 2011)**

	<b>Edut</b>	<b>Haitat</b>
<b>Keskiarvo</b>	Helppo ymmärtää ja laskea.	Herkkä väärille havainnoille, erityisesti jakauman vinoudelle Ei välttämättä edusta havaintojoukkoa. Sama painoarvo aikaisille/ myöhäisille havainnoille.
<b>Mediaani tai persentiili</b>	Vähemmän herkkä väärille havainnoille Edustaa paremmin havaintojoukkoa.	Ei välttämättä ainutkertainen arvo. Sama painoarvo aikaisille/ myöhäisille havainnoille.
<b>Moodi</b>	Vähemmän herkkä väärille havainnoille Arvo, joka on havaintojoukossa yleisin. Edustaa hyvin havaintojoukkoa.	Ei välttämättä ainutkertainen arvo. Sama painoarvo aikaisille/ myöhäisille havainnoille.
<b>Aikaikkunan (esimerkiksi -1/+5) maksimointi</b>	Läheisesti sidoksissa täsmällisyysindikaattoreihin  Yhdistää kaikki eniten havaitut arvot.  Vahvasti vinoutunut kohti pienempää arvoa (suurempaa nopeutta)	Vahvasti vinoutunut kohti pienempää arvoa (suurempaa nopeutta)  Suurempi ja määritelty painoarvo aikaisille havainnoille

Keskiarvon käyttäminen on siis helppo ja selkeä tapa määritellä ajoaikoja, mutta lopputulos ei välttämättä ole käyttökelpoinen. Mikäli linja ei ole erittäin lyhyt tai linjan ajoajoissa ole vain pientä vaihtelua, aikataulujen laatiminen perustuen keskiarvoihin johtaa laajaan negatiiviseen hajontaan, jossa etuajassa kulkevia lähtöjä on paljon. Tämä pätee erityisesti sellaisissa tilanteissa, jossa ajoaikoja ei kontrolloida esimerkiksi välipistepysäkkien avulla. Mikäli kontrollia ei käytetä, tulisi käyttää lyhyitä ajoaikoja, koska tällöin vaikka hajonta on suurta mittauksien välillä, suurin osa hajonnasta on positiivista (lähdöt myöhässä) negatiivisen (lähdöt etuajassa) sijaan. (Muller ja Furth 2000.)

Mikäli aikataulusuunnittelussa tehdään ainoastaan yhdet ajoajat, jotka ovat käytössä sekä kuljettajilla että matkustajainformaation pohjana, tulee ajoaikojen suunnittelussa ottaa vahvasti huomioon matkustajanäkökulman lisäksi ajoaikojen ajettavuus kuljettajalle. Ajoaikojen määrittelyssä onkin tärkeää ettei määritellä sellaisia ajoaikoja jotka vaativat kuljettajilta liikennesääntöjen rikkomista aikataulussa pysymiseksi. Tällöin suunnittelijan tulee olla tietoinen siitä, että suunniteltu ajoaika on riittävä, jotta kuljettaja voi ajaa reittiään noudattaen liikennesääntöjä. Tämän kuitenkin voidaan olettaa toteutuvan käytettäessä tarpeeksi suurta persentiiliä, mikäli suurin osa kuljettajista ajaa liikennesääntöjä noudattaen.

HSL:ssä käytettävässä Hastus -ohjelmassa ajoaikojen määrittelyyn käytetään ATP-sovellusta. ATP –sovellusta käytetään muodostettaessa suunnittelussa käytettäviä ajoaikoja ja päätepysäkkiaikoja toteutuneista ajoajoista. Hastuksessa ajoajat ovat suunniteltuja kestoja, jolloin bussi kulkee kahden paikan välillä päivän eri ajanjaksoina.

Hastus -ohjelman ATP-sovellus tarjoaa kolme vaihtoehtoa ajoaikojen määrittelemiseen. Vaihtoehdot ovat normaalijakauma, persentiili sekä intervalli. Tarjolla on erilaisia vaihtoehtoja, koska eri toimijat voivat käyttää eri perusteita linjojensa suunnitteluun, ja lisäksi erityyppisiä linjoja kannattaa suunnitella käyttäen eri vaihtoehtoja. (ATP Path –ohje.) Kyseiset vaihtoehdot perustuvat ATP:ssa erilaisiin attribuutteihin, jotka esitellään seuraavaksi.

### **Persentiili (ATP By Path 2010)**

Persentiili –attribuutti määrittelee sen arvon, jonka tapauksessa jakaumasta jää kyseinen prosenttiosuus. Tällöin voidaan määritellä esimerkiksi attribuutti ”40 % below”, jolloin määritellään, että havaintojen jakaumasta 40 % mittauksista jää määrittelyn alle.

### Keskihajonta (Rtp std deviation) (ATP By Path 2010)

Keskihajonta – attribuutti laskee, kuinka laajasti arvot ovat hajaantuneet kyseiselle jaksolle lasketusta ajoajasta. Attribuutin kaava on seuraava

$$\sqrt{\frac{\sum (x-d)^2}{(n-1)}}$$

, jossa  $x$  on arvo, joka sisältyy jaksoon

$d$  on jakson kestoaikaa

$n$  on jaksolle sisältyvien mittausten määrää

### Intervalli (Rtp% outside range) (ATP By Path 2010)

Intervalli -attribuutti kuvaa prosenttiosuutta aktiivisista mittauksista, joiden arvot eivät ole tietyn vaihtelualueen (range) sisällä, joka kuvaa keskimääräisiä ajoaikoja tietyllä ajanjaksolla. Toisella attribuutilla voidaan määritellä sallittu vaihtelualue, joka kuvataan keskiarvon yläpuolella ja alapuolella olevilla minuuttiarvoilla. Esimerkiksi siten, että jos käytettävät rajat ovat -2 minuuttia sekä +5 minuuttia, tällöin jos tietyn välin keskimääräinen ajoaika on 6 minuuttia, ajoajat, jotka ovat olleet 4,5,7,8,9,10 sekä 11 minuuttia sisältyvät tähän vaihtelualueeseen (range). Tuloksena tämä attribuutti (Rtp% outside range) laskee ensin kyseiselle ajalle aktiiviset mittaustulokset, ja sen jälkeen laskee prosenttiosuudet, joka jää keskimääräisen vaihtelualueen ulkopuolelle.

Kaava, jolla attribuutti määritellään, on seuraava (esimerkissä käytetty vaihtelualueetta (0, +2)):

```
(rtm_run_time >= (rtp_run_time - 0h00)) AND
```

```
(rtm_run_time <= (rtp_run_time + 0h02))
```

### 2.5.3. Käytettyjä ja ehdotettuja määrittelytapoja

Kuten aikaisemmin todettiin, ajoaikojen määrittelyssä erilaiset keskiarvot ovat olleet käytettyjä. Erilaiset ajoaikoja mittaavat ja analysoinnin mahdollistavat ohjelmistot ovat kuitenkin mahdollistaneet muidenkin määrittelytapojen käytön. Erilaisien persentiilien käyttöä aikataulusuunnittelussa on myös tutkittu tarkemminkin, ja eri persentiilien käyttöä on ehdotettu. Seuraavaksi käsitellään muutamia esitettyjä persentiilejä.

Oort ym. (2009) ovat päätyneet esittämään 35 – persentiiliä sopivana persentiilinä aikataulusuunnittelussa. Tulokseen he ovat päätyneet tutkimalla matkustajille aiheutuva lisäystä matka-aikaan, joka aiheutuu eri persentiilien käytöstä.

Chicagossa operoiva Pace käyttää samaa Hastus ATP – ohjelmistoa kuin HSL. Heillä käytössä on 55 – persentiili perusteluna pitkät vuorovälit (15 tai 30 minuuttia). Pace:n periaatteiden mukaisesti 55 – persentiilillä voidaan välttää etuajassa ajaminen, koska etuajassa ajaminen esimerkiksi 30 minuutin vuorovälin tapauksessa kasvattaa matkustajan ajoaikaa huomattavasti. (Balvanyos ja Owen 2008.)

Daniel Pelletierin (2011) mukaan 40-45 –persentiili on yleisesti toimiva määrittely ajoaikasuunnittelussa. Toisaalta voidaan ajatella, että mikäli reitin aikaisemmissa osissa määritellään ajoaika 40 – persentiilillä, voidaan viimeisellä paikkavälillä ajoaika kasvattaa 60 –persentiiliin, jolloin saadaan tasattua mahdollisesti ajoajan tiukkuudesta aiheutunutta myöhästymistä.

Mikko Lehmuskoski 2007 on diplomityössään tutkinut myös YTV -alueen ajoaikoja, ja todennut, että toteutuneista ajoaikamittauksista tulisi tuottaa kahdenlaisia ajoaikoja, joista toiset olisivat matkustajien ja toiset liikennöitsijöiden käyttöön. Lehmuskosken mukaan matkustajille tulisi tuottaa ajoaikoja, jotka vastaavat keskiarvoa, tällöin tulisi huomioida sekä yksittäisten matkojen että vaihtoyhteyksien tarpeet. Tällöin kuitenkin matkustajan tulisi itse huomioida lähtökohtaiset vaihtelut ajoajoissa, koska ajoaikaa ei painoteta mitenkään. Liikennöitsijälle voitaisiin toimittaa 75 persentiilin mukaiset ajoaikakaaviot, jolloin voitaisiin huomioida vaikeiden olosuhteiden aiheuttamat pidentyneet ajoajat. Kuten aiemmin on todettu, ja kuten Lehmuskoski työssään on myös esittänyt, keskiarvoja käytettäessä matkustajan saama informaatio voi olla usein epäluotettavaa, koska tällöin etuajassa ajamista voi tapahtua merkittävästi.

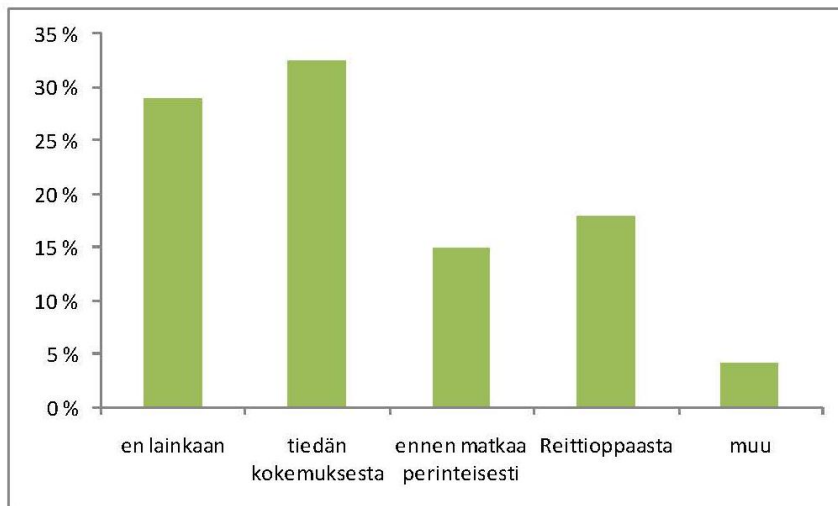


## **2.6. Matkustajien luottamus aikatauluihin ja aikataulujen täsmällisyys**

Teknillisen Korkeakoulun (TKK) tutkimusryhmä on tehnyt HKL:n ja YTV:n eli nykyisen HSL:n toimeksiannosta joukkoliikenteen luotettavuuteen liittyvää Joukkoliikenteen luotettavuuden ja ennustettavuuden arvo matkustajille-tutkimusta (JENNA), jossa on toteutettu pääkaupunkiseudun liikenteessä matkustaville matkustajakysely vuosina 2009 ja 2010. Tutkimuksessa on kysytty useita luotettavuuteen liittyviä kysymyksiä, joista seuraavaksi esitellään tuloksia niistä kysymyksistä, jotka liittyvät aikataulujen täsmällisyyteen sekä matkustajien luottamukseen aikatauluja kohtaan.

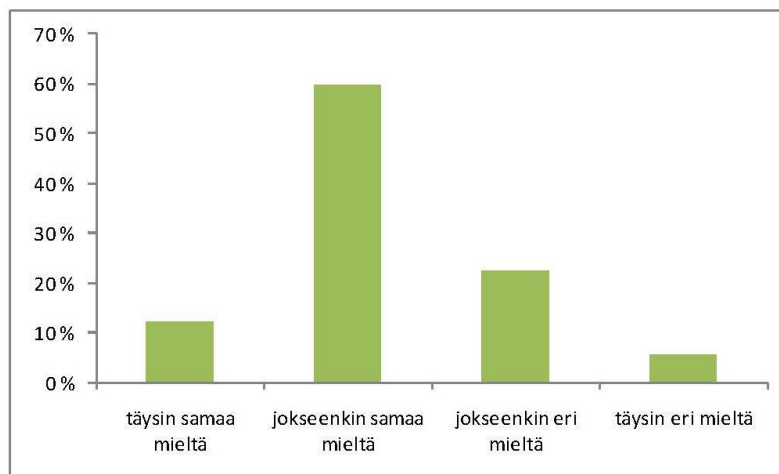
Tutkimuksessa on kysytty matkustajilta ovatko he saapuneet pysäkille aiemmin bussin mahdollisen etuajassa ajamisen vuoksi. Vastaajista 62 % ilmoittivat, etteivät olleet tulleet etuajassa pysäkille, 27 % ilmoittivat tulleensa, 11 % vastaajista oli tekemässä vaihdollista matkaa. Vastaajista, jotka olivat tulleet etuajassa pysäkille, suurin osa (33 %) ilmoitti tulleensa pysäkille 5 minuuttia etuajassa. Suurin osa vastauksista (85 %) olivat 5 minuuttia tai alle. (Kurri 2011) Voitaneen siis olettaa, että esimerkiksi reittiopasta käyttävät matkustajat olettavat linjan tulevan pysäkille lähes silloin, kun reittiopas on ohitusajan kertonut olevan. Kuitenkin, mikäli ajoaikojen vaihtelu on jopa 10 minuuttia, on mahdollista, että linja on jo ohittanut pysäkin matkustajan saapuessa pysäkille.

Tiedostaen etukäteen pysäkille saapuvien pientä määrää voinee selittää JENNA – tutkimuksesta (2011) saatu tieto, jonka mukaan suurin osa matkustajista saapuu pysäkille hyödyntämättä lainkaan aikataulutietoja, tai kokemukseräisen tiedon mukaisesti (kuva 6).



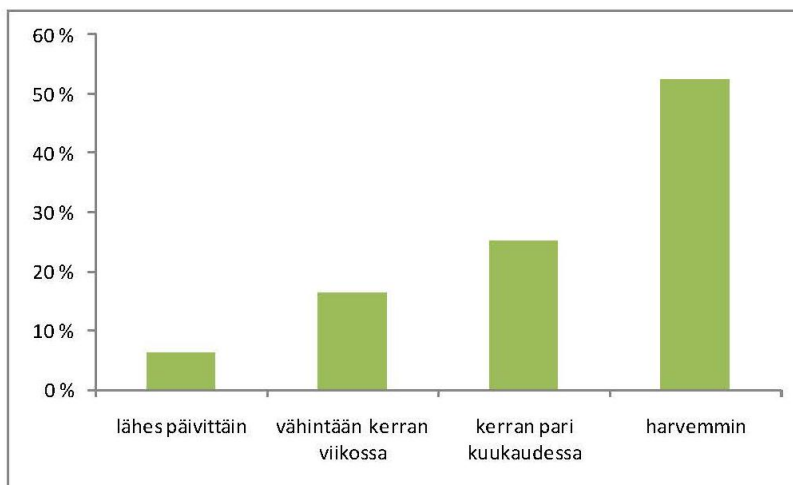
**Kuva 6 Aikataulutietojen hyödyntäminen ennen matkalle lähtöä (Kurri 2011)**

Kyselyssä on tiedusteltu myös matkustajien käsitystä aikataulujen paikkaansa pitävyydestä. Vastaajista suurimman osan mielestä pysäkkiaikatauluihin voi yleensä luottaa ainakin jokseenkin (kuva 7) ja vain noin 5 % on täysin eri mieltä väitteestä eli voitaneen todeta matkustajien kokeman täsmällisyyden olevan kohtalainen nykytilanteessa. (Kurri 2011.)

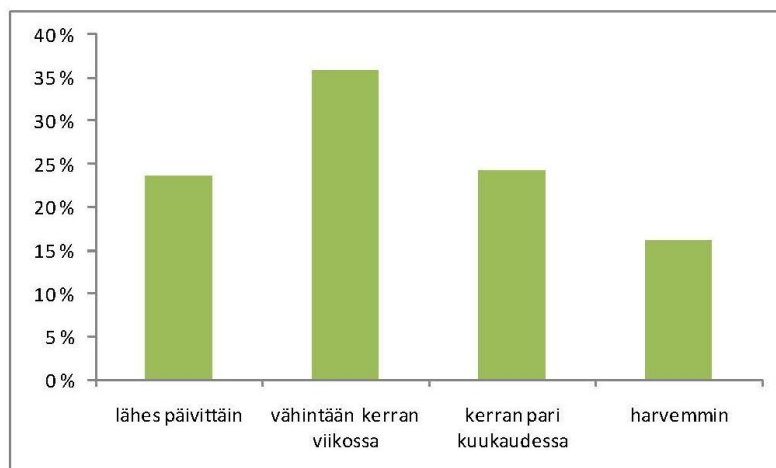


**Kuva 7 Vastaajien käsitys väitteestä "Pysäkkiaikatauluihin voi yleensä luottaa" (Kurri 2011)**

Tarkemmin pysäkkiaikataulujen luotettavuutta kuvaavat matkustajille esitetyt kysymykset etuajassa ja myöhässä ajamisesta (kuvat 8 ja 9). Vastaajista noin puolet on kokenut harvemmin tilannetta, jossa bussi on aikatauluun verrattuna yli kaksi minuuttia etuajassa. Myöhästymisten suhteen noin 23 % vastaajista on lähes päivittäin tilanteessa, jossa bussi on pysäkkiaikatauluun verrattuna yli kaksi minuuttia myöhässä. Myöhästymistä koetaan siis selkeästi enemmän kuin etuajassa ajamista. (Kurri 2011.) Toisaalta sellaisten linjojen osalta, joilla vuoroväli on tiheä, voi olla mahdollista, että runsaasti etuajassa ajanut lähtö tulkitaankin myöhässä olevaksi lähdeksi.



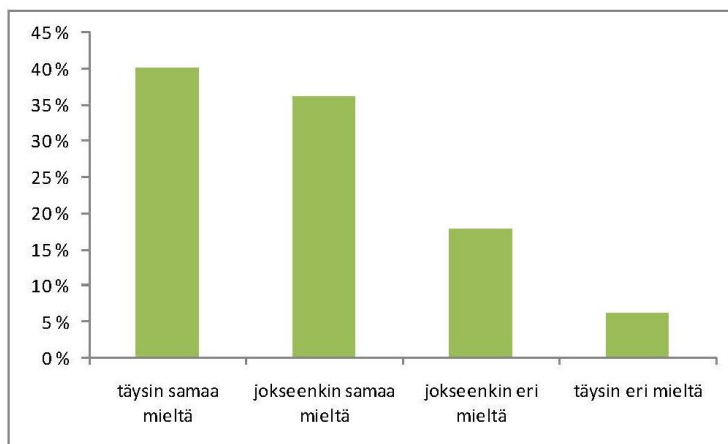
**Kuva 8 Vastaajien käsitys siitä, kuinka usein bussi on pysäkkiaikatauluun verrattuna yli kaksi minuuttia etuajassa (Kurri 2011)**



**Kuva 9 Vastaajien käsitys siitä, kuinka usein bussi on pysäkkiaikatauluun verrattuna yli kaksi minuuttia myöhässä (Kurri 2011)**

Kyselyssä matkustajilta tiedusteltiin myös toiveita pysäkkiaikataulujen laatimiseen. Kyselyn mukaan suurin osa vastaajista oli täysin tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että pysäkkiaikataulut pitäisi laatia siten, että ne kertoisivat bussin aikaisimman mahdollisen saapumisajan mieluummin kuin keskimääräisen (kuva 10) (Kurri 2011).

Tällaista toivetta voidaan pitää ymmärrettävänä tapauksissa, joissa linjoilla on suuri hajonta, ja bussin saapuminen pysäkille on keskimääräisen saapumisajan mukaisesti hyvin vaikeasti ennakoitavissa. Toisaalta, mikäli tällaisilla linjoilla ilmoitettaisiin aikaisin mahdollinen saapumisaika pysäkille, suurten hajontojen linjoilla myöhästymiset voisivat olla merkittäviä, ja matkustajan vastuulle jäisi arvioida myöhästymisajan määrä.



**Kuva 10 Vastaajien käsitys väitteestä "Pysäkkiaikataulut pitää laatia niin, että ne kertovat bussin aikaisimman mahdollisen saapumisajan mieluummin kuin keskimääräisen" (Kurri 2011)**

### 3. Nykyinen suunnitteluprosessi HSL:ssä

Aikataulujen suunnitteluprosessi on pitkäaikainen ja jatkuva prosessi, joka kulminoituu tiettyihin pisteisiin vuodessa, jolloin julkaistavat aikataulut valmistuvat. Aikatauluja tuotetaan kesästä 2012 lähtien ainoastaan kahdelle aikataulukaudelle, talvi ja kesä. Aikaisemmin osalla linjoista on ollut käytössä myös harvennetut keskikesän aikataulut. Talvikauden aikataulut ovat voimassa elokuun puolivälistä juhannusviikolle ja kesäkauden aikataulut ovat voimassa juhannusviikosta elokuun puoliväliin. Määritellyt aikataulukaudet tuovat haasteita aikataulusuunnitteluun. Kesäkaudella liikennöintiolosuhteet sääolosuhteiden osalta pysyvät lähes samanlaisena koko aikataulukauden aikana, jolloin liikennöintiolosuhteista riippuvat muutokset ajoajoissa ovat pieniä. Talvikaudella esimerkiksi sääolosuhteista aiheutuvia vaihteluita ajoaikoihin on huomattavasti enemmän. Esimerkiksi katujen jäätyessä bussien jarrutusmatkat pysäkeille kasvavat, jolloin vaikutusta ajoaikoihin ilmenee. Ongelmana kuitenkin on, että aikataulukausien aikana pysäkkiaikataulut oletettavasti ohitusaikoinaan pysyvät muuttumattomina.

Aikataulujen suunnitteluprosessissa on useita eri lähtöarvoja, joiden pohjalta aikataulut muodostuvat:

1. Toteutuneet ajoajat
2. Aikaisemmat aikataulut
3. Linjojen sidonnaisuudet muihin linjoihin
4. Matkustajamäärät
5. Tavoiteltava vuoroväli
6. Mahdolliset reittimuutokset
7. Palautteet matkustajilta sekä liikennöitsijöiltä

#### **3.1. Ajoaikamittausten tuottaminen aikataulusuunnittelun tarpeisiin**

##### **3.1.1. Ajoaikamittausten kerääminen**

HSL:ssä on käytössä matkakorttijärjestelmä, joka kerää tietoja matkan tapahtumista, joita voidaan myöhemmin käyttää hyödyksi esimerkiksi ajoaikojen suunnittelussa. Matkakorttijärjestelmässä kuljettaja lähtiessään vuorolle kirjaa itsensä sisään matkakorttijärjestelmään ja lopettaessaan järjestelmästä ulos. Matkakorttijärjestelmä tallentaa tällöin tiedon vuoron liikkumisesta reitillään, pysäkillä saapumis- ja lähtemisajat, sekä

esimerkiksi nousujen määrän. Paikannus tapahtuu nk. askelluksen avulla, tarkoitus on kuitenkin siirtyä GPS –mittauksien käyttöön. (Reinikainen 2002.)

### **3.1.2. Mittausten analysointi ja karsinta**

Mitattuja ajoaikoja käsitellään aikataulusuunnittelun tarpeisiin kahdessa osassa, joihin molempiin liittyvät omat epävarmuustekijänsä. Ensimmäisessä vaiheessa matkakorttijärjestelmästä kerätyistä ajoajoista karsitaan pois mittaukset, jotka eivät ole päteviä, tai joiden voidaan epäillä olevan virheellisiä. Tällaisia mittauksia ovat esimerkiksi sellaiset mittaukset, jotka ovat tallentuneet vain osalta reitistä, tai joissa askellus ei ole toiminut. Tämä ajoaikamittausten karsinta tehdään automaattisesti tietyillä määritellyillä kriteereillä, joilla epävalidit mittaukset tunnistetaan. (Reinikainen 2002.) Näin karsitut mittaukset ladataan liikenteen tietokantaan (L-info), josta mittaukset siirretään ajoaikojen analysointiohjelma ATP:hen. ATP:ssa suunnittelija käy läpi tietyille reitille ladatut mittaukset, ja ennen analysoinnin aloittamista suunnittelija poistaa vielä käsin, tai mahdollisesti erilaisilla valintakriteereillä, mittaukset, joiden hän olettaa olevan virheellisiä tai muuten analysointiin haitallisesti vaikuttavia. Tällaisia mittauksia voivat olla huomattavan lyhyet tai pitkät ajoajat verrattuna muihin mittauksiin.

### **3.1.3. Virhelähteet**

Luotettavien tulosten saaminen ATP – ohjelman avulla vaatii lähtöaineistolta tarkkuutta. Vääristyneet mittaustulokset ja selkeästi virheelliset mittaustulokset aiheuttavat epätarkkuutta attribuuttien avulla määriteltäviin ajoaikoihin. Tulosten luotettavuuden parantamiseksi tuleekin määritellä selkeät toimenpiteet, joilla tulosten vääristymät voidaan poistaa ja voidaan saada aikaiseksi luotettavia ajoaikamäärittelyjä.

Matkakorttijärjestelmästä tulevissa mittauksissa voi myös olla virheellisiä mittauksia, jotka päätyvät mittauksiksi ATP-ohjelmaan. Ongelmallista myös on, että mittaus ei siirry ATP:hen mikäli kaikille reitin paikoille ei ole tallentunut mittauksia. Tällöin ATP:hen päätyy suhteellisesti vähemmän mittauksia lyhyistä ajoajoista, jolloin matkustajia on ollut vähän, ja bussi ei ole pysähtynyt kaikilla pysäkeillä.

Mikäli epävalideja mittauksia ei muuten saada aineistosta poistettua, joudutaan mittausten karsiminen suorittamaan suunnittelijan toimesta, jolloin karsiminen tapahtuu käsityönä suunnittelijan omaan arvioon perustuen. Tämä lisää tulosten epäluotettavuutta.

## **3.2. Ajoaikojen muodostamisperiaatteet**

Aikataulusuunnittelua tehdään kahdella eri määrittelyattribuutilla. Toisella attribuutilla määritellään linjan ajoaika eri paikkaväleille, tämän ajoajan avulla muodostetaan pysäkkiaikataulut ja välipisteajat. Toisella attribuutilla määritetään se aika, jota ennen seuraava lähtö ei saa lähteä eli päätepysäkkiaika.

HSL:n yleisenä ohjeena aikataulusuunnittelukaudella 2011 on ollut mediaanin käyttäminen ajoaikojen attribuuttina ja 95-persentiiliin käyttäminen päätepysäkkiajan määrittelyyn. Ajoaikojen määrittelyyn apuna käytetään Hastus -ohjelmiston ATP-ohjelmaa, jonka avulla voidaan muodostaa ajoaikoja perustuen mittauksiin toteutuneista ajoajoista.

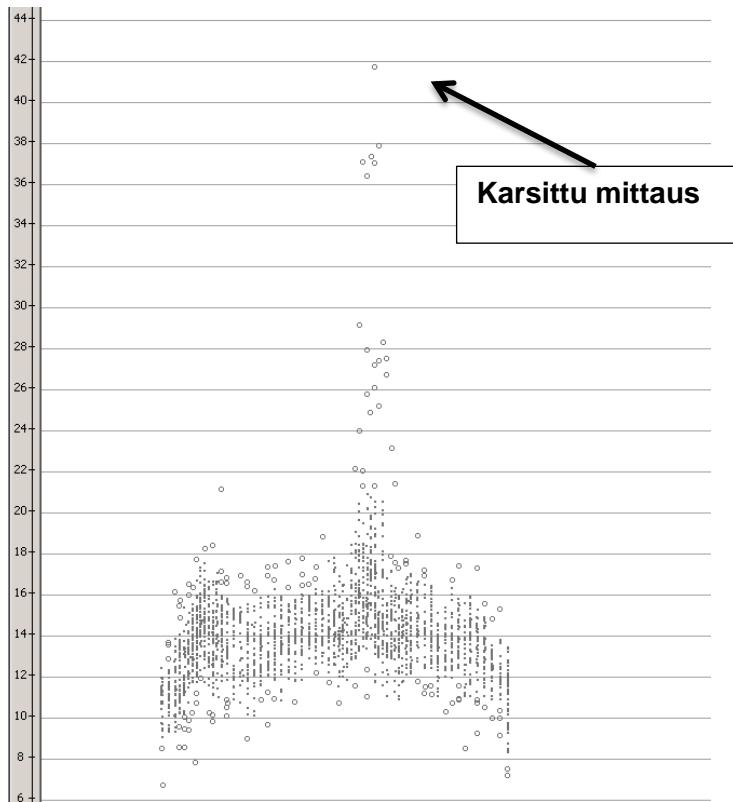
### **3.2.1. Ajoaikojen määrittely ATP:ssa**

ATP:ssa ajoaikojen määrittely suoritetaan reitille määriteltyjen paikkojen välille. Esimerkiksi Helsingin sisäisellä linjalla 1042 paikkoja ovat lähtöpysäkki Elielinaukio, Ruskeasuo, ja päätepysäkki Kannelmäki. Määriteltäviä paikkoja voi olla reitillä suunnittelijan valinnan mukaisesti yleensä noin 3-8. Paikat pyritään sijoittamaan sellaisiin kohtiin, joissa ajonopeus poikkeaa merkittävästi, esimerkiksi siirtyminen suuremman nopeusrajoituksen tielle, tai merkittäviin terminaalikohtiin, joihin on määritelty myös välipiste paikka. Esimerkiksi linjan 1042 tapauksessa mittausten analysointi suoritetaan siis kahdelle eri mittausjoukolle väleille Elielinaukio-Ruskeasuo sekä Elielinaukio-Kannelmäki.

Ajoaikojen suunnitteluprosessin kulku ATP:ssa:

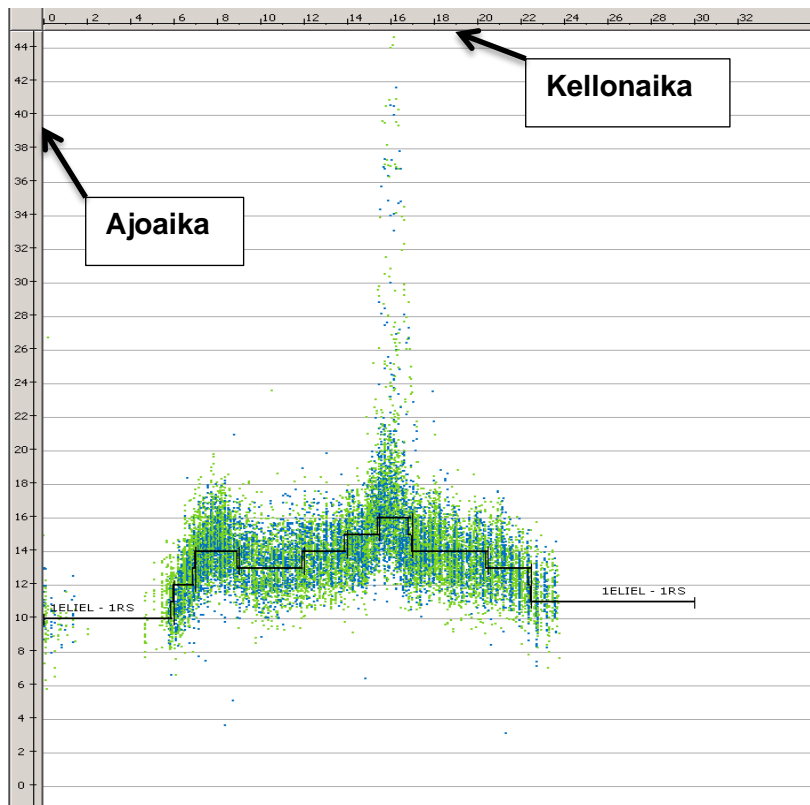
1. ATP:hen ladataan mittaukset toteutuneista ajoajoista tarkasteltavalta paikkaväliltä.
2. Mittauksista karsitaan pois sellaiset mittaukset joiden voidaan olettaa olevan kelpaamattomia, esimerkiksi selvästi liian hitaat tai nopeat ajoajat. Karsinta perustuu suunnittelijan omaan näkemykseen. Kuvassa 11 on esitetty karsittuja mittauksia linjalla 1042 välillä Elielinaukio-Ruskeasuo.
3. Suoritetaan analyysi halutulla attribuutilla kuten 50-persentiilillä. Tuloksena saadaan ajoaikamittauksiin sovitettuja ajoajat paikkaväleille. Kuvassa 12 on mittauksiin sovitettu ajoaikakäyrä paikkavälillä Elielinaukio-Ruskeasuo.
4. Suunnittelija muokkaa ajoaikoja tarvittaessa halutulla tavalla manuaalisesti.

5. Saatu ajoaika tallennetaan tarkastellulle reitille, ja suunniteltaessa aikatauluja tämä ajoaika on käytössä eikä salli kireämmälle ajoajalle tehtyjen aikataulujen tekoa.



Kuva 11 Karsittuja mittauksia linjalla 1042 välillä Elielinaukio-Ruskeasuo

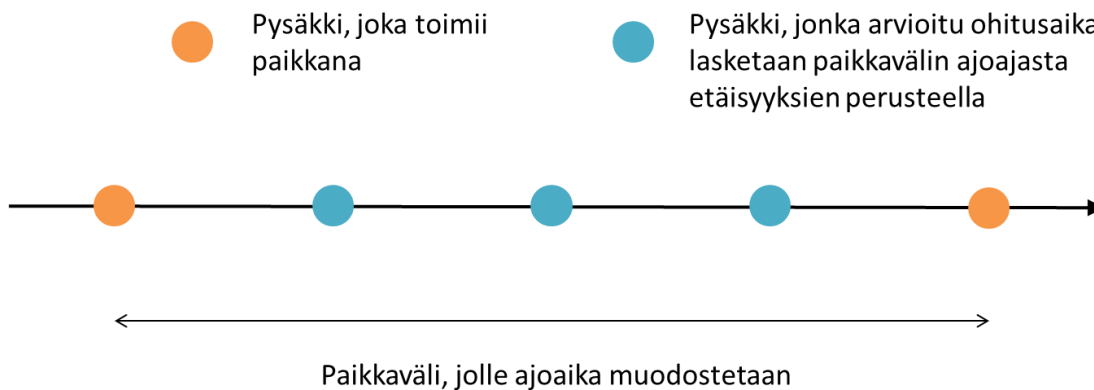




Kuva 12 Linjan 42 mediaani ajoaika välillä Elielinaukio-Ruskeasuo

### 3.2.2. Pysäkkikohtaisten ohitusaikojen muodostaminen

Hastuksesta saatavat ajoajat toimivat pohjana pysäkkikohtaisten ohitusaikojen muodostamisessa. Pysäkkikohtaiset ajoajat lasketaan paikkojen välille määriteltyjen ajoaikojen sekä pysäkkien välisen etäisyyden perusteella. Tällöin suunnittelija ei suoraan pysty vaikuttamaan kunkin yksittäisen pysäkin ohitusaikaan, vaan ainoastaan paikkojen välisiin ajoaikoihin.



Kuva 13 Pysäkkikohtaisten ohitusaikojen muodostumisen periaate

## 4. Kyselytutkimus

### 4.1. Kyselyn tavoite

Työn yhteydessä toteutettiin kyselytutkimus talvella 2010 kymmenelle toimijalle Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Koska aikataulusuunnittelu on usein käytännönläheistä ja tapauskohtaisesti suuresti vaihtelevaa, kirjallisuudesta saatavia tietoja haluttiin laajentaa ja täydentää kyselytutkimuksen avulla. Kysely koostui aikataulusuunnitteluun, käytettäviin persentteihin ja aikataulujen koettuun luotettavuuteen liittyvistä kysymyksistä (Liite 7). Kysymykset olivat avoimia kysymyksiä, joista osaan sisältyi tarkentava kysymys. Kyselyn tarkoituksena oli kerätä tietoja siitä, millä keinoin ajoaikoja määritellään, millaisesta aineistosta ajoaikoja voidaan seurata, ja tarkentavasti, mitä persenttejä on tällä hetkellä käytössä, mikäli niitä käytetään. Kyselyn tavoitteena oli saada lähtötietoja tutkimuksessa käytetyn persenttiin valintaan, sekä kerätä tietoa yleisesti aikataulusuunnitteluprosessista muilla toimijoilla.

### 4.2. Tulokset

Kyselyyn saatiin seitsemän vastausta eri operaattoreilta (taulukko 4). Esitettyjä kysymyksiä oli 8, joista seuraavaksi käydään läpi saadut vastaukset tämän diplomityön kannalta keskeisimpiin kysymyksiin.

**Taulukko 4 Kyselyyn vastanneet operaattorit maittain ja kaupungeittain**

<b>Maa</b>	<b>Kaupunki</b>	<b>Operaattori</b>
Hollanti	Amsterdam	GVB
USA	Oregon	Tri-Met
USA	Chicago	CTA
Suomi	Oulu	Oulun kaupunki
Suomi	Turku	Turun joukkoliikennetoimisto
Iso-		
Britannia	Lontoo	London Buses
Ranska	Pariisi	RATP

#### **4.2.1. Käytettävä järjestelmä ajoaikojen keräämiseksi ja järjestelmän luotettavuus**

Lähes kaikilla kyselyyn vastanneista toimijoista on käytössään GPS – järjestelmän avulla saatuja tietoja toteutuneista ajoajoista. GPS -järjestelmä on yleisesti koettu luotettavaksi. Muutamia ongelmia kuitenkin havaittiin. Ongelmaksi koettiin esimerkiksi huonosti määritellyt GPS – kuplat pysäkkien kohdilla, jolloin tieto pysäkille pysähtymisestä saattoi jäädä riittämättömäksi. Lisäksi CTA:n mukaan GPS – aineiston luotettavuuteen vaikutti kuljettajien ajokäyttäytyminen reiteillä, joilla oli ajantasauspysäkkejä. Suurempana ongelmana mainittiin myös tilanteet, jolloin päätepysäkiltä lähdetään myöhässä. Tri-Metin mukaan tällöin on vaikea määrittellä onko ajoaika todellisuudessa riittävä.

#### **4.2.2. Ajoajan määrittely**

Kyselyyn vastanneista operaattoreista ajoajan määrittelyyn persentiilejä käyttävät GVB, CTA sekä Tri-Met. CTA sekä Tri-Met käyttävät 65 -persentiiliä ja GVB 75-persentiiliä. Muista attribuuteista keskiarvoaikoja käyttää yksi operaattori, RATP. Lisäksi ajoajan määrittelyyn apuna RATP käyttää esimerkiksi luottamusväliä.

Hastusta käytävällä TriMetillä on käytössä 65-persentiili, mutta tämä on laskettu aineistosta, josta on esikarsittu 20- ja 80-persentiilin mittaukset mediaanin ympäriltä. CTA:lla käytössä on persentiili, mutta on pohdittu myös mahdollisuutta käyttää keskihajontaa nykyään käytössä olevan 65-persentiilin sijasta. Syynä tähän mahdolliseen muutokseen on bussien ketjuuntumisen vähentäminen reiteillä. Lisäksi perusteluna on, että 65 –persentiilillä matkustajille aiheutuu ajantasauspysäkeillä enemmän odotusaikaa kuin mahdollisesti alhaisemmalla persentiilillä. Keskihajonnalla tuotettujen ajoaikojen on testattu tuottavan noin 50-55 –persentiilin mukaisia ajoaikoja.

Oulussa liikennöivillä Koskijoinjoilla on ajoajan määrittelyssä käytössä keskinopeus, sekä ajoajan tähtääminen symmetriseen aikatauluun.

#### **4.2.3. Muu käytetty tieto ajoajan määrittelyä varten**

Kyselyssä tiedusteltiin myös, onko käytössä toteutuneiden ajoaikojen lisäksi muuta tietoa, jota voitaisiin käyttää hyväksi aikataulussa käytettäviä ajoaikoja määriteltäessä. Pysäkkien lastausaikoja käyttävät hyväkseen kaksi toimijaa CTA ja Tri-Met, lisäksi Tri-Met käyttää apuna automaattisen matkustajalaskennan tarjoamia tietoja. CTA ottaa

huomioon lastausajan tärkeimmissä terminaaleissa ja esimerkiksi suuremmissa kaupakeskuksissa. Tällöin ajoaikaa tähän paikkaan käsitellään ilman lastausaikaa.

#### **4.2.4. Ajantasauspysäkkien käyttö**

Kyselyyn osallistuneista toimijoista GVB:llä, CTA:lla RATP:lla sekä Turussa on käytössä ajantasauspysäkit. Syyksi, miksi ajantasauspysäkkejä ei käytetty, kerrottiin esimerkiksi, että ohitusajat suunnitellaan siten, että ajetaan ennemmin hieman myöhässä, jolloin ajantasauspysäkeille ei ole tarvetta. Toisaalta taas todettiin, että joillakin toimijoilla on niin tiheällä vuorovälillä liikennöitäviä linjoja, ettei bussista myöhästyminen ole matkustajan kannalta ongelma. Tällöin kuitenkin ajantasauspysäkkejä käytettiin esimerkiksi yölinjoilla järjestettyjen vaihtojen onnistumiseksi.

#### **4.2.5. Ajoaikojen määrittelyn vaikutus luotettavuuteen**

CTA:n mukaan yleisesti voidaan todeta, että ajoaikojen muokkaaminen toteutuneisiin ajoaikoihin perustuen lisää luotettavuutta, mikäli linjaan ei kohdistu merkittäviä muita vaikutuksia. Muista vaikutuksista CTA on tunnistanut seuraavat:

- Kausivaihtelut: CTA:lla kausivaihteluiden aiheuttamat ongelmat ajoaikojen määrittelyyn ovat merkittävät, koska käytössä ovat vain kerran vuodessa määriteltävät ajoajat eikä kesäaikatauluille määritellä uusia aikatauluja.
- Muutokset vuorovälissä sekä matkustajien käyttäytymisen selkeät muutokset: Mikäli vuorovälejä muutetaan, vaikutukset ajoaikoihin voivat olla merkittäviä matkustajakuormien muuttuessa eri lähdöillä.
- Muutokset liikennöitsijöiden käyttäytymisessä. Tehtäessä ajoaikamuutoksia on huomattu, että muutokset eivät toteudu suoraan, koska liikennöitsijä sopeuttaa omaa ajotapaansa muutoksiin. Seurauksena on, että ajoajoilla on taipumusta kasvaa jatkuvasti. CTA on ottanut käyttöön ”piilotettuja” välipistepysäkkejä, jotka eivät näy aikataulusuunnittelun ulkopuolelle tällaisen käyttäytymisen tunnistamiseksi.

Trimetin mukaan vuoroväleistä tulee epäluotettavia, mikäli koko reitille lasketut ajoajat ovat pienempiä kuin 65 % tai suurempia kuin 75 %. Lisäksi Trimetin mukaan inhimillinen vaikutus on kaikkein suurin vaikutus luotettavuuteen.

## **5. Optimaalisen ajoajan määrittely**

### **5.1. Tutkimusasetelman määrittely**

Tutkimusosuuden tavoitteena on selvittää nykyisin käytössä olevien ajoaikojen suunnitteluperiaatteiden toimivuus sekä luoda eri määrittelyattribuuteilla uudet ajoajat tarkasteltaville linjoille ja tutkia näin saatujen uusien ajoaikojen toimivuutta täsmällisyyden ja matkustajan odotusajan perusteella.

Tutkimusosuuden ensimmäisessä osassa tehdään nykytila-analyysi valitsemalla 10 HSL:n alueen linjaa ja tarkastelemalla näiden ajoaikoja. Tutkimusosuuden tulokset on esitelty luvussa 5.2.. Ajoikahavainnot ovat aikaväleiltä 13.9. -14.11.2010 ja 6.1.-19.2.2011, joita on käytetty ajoaikojen analysoinnissa ja määrittelyssä aikataulukaudelle 2010-2011.

Tutkimusosuuden toisessa osassa pyritään löytämään HSL:n käyttöön sopivin tapa ajoaikojen määrittelyyn. Tarkoituksena on tutkia ensin, mikä tai mitkä eri Hastus -ohjelman attribuuteista soveltuvat parhaiten HSL:n käyttöön, ja sen jälkeen miten tätä tarkastelutapaa voitaisiin käyttää HSL:n linjojen aikataulusuunnittelussa. Tutkimusosan tulokset on esitetty luvussa 5.3.. Mittauksien karsinta käytetystä aineistosta sekä ajoaikojen määrittely ATP:ssa on suoritettu luvussa 3.2.1 määrittelyllä tavalla.

#### **5.1.1. Valittujen linjojen ominaisuudet**

Tässä työssä analysoitavaksi on otettu vain sellaisia linjoja, joilla ei ole ollut käytössä HELMI -järjestelmää. HELMI -järjestelmässä olevilla linjoilla kuljettajat saavat tietoa linjan kulusta reitillään, ja ei voida varmuudella tietää, vaikuttaako näin saatava tieto kuljettajien ajokäyttäytymiseen reitillä. Tutkittaviksi linjoiksi on myös pyritty valitsemaan oletettavasti ajoaikojen hajonnaltaan erilaisia linjoja. Lisäksi linjojen valinnassa on huomioitu, ettei tutkittavilla linjoilla ole välipistepaikkoja, jotka voisivat vaikuttaa linjan hajontaan.

## Taulukko 5 Tutkittavat linjat, reitit ja perusominaisuudet

1042	Elielinaukio-Myyrmäki	Tyypillinen keskustasta säteittäisesti lähtevä linja. Kuormittuminen 1-suunnassa suurinta keskustasta lähdeettäessä.
1054	Itäkeskus-Malmi-Pitäjänmäki	Tyypillinen kaupungin sisäinen poikittaislinja. Kuormittuminen jakaantuu tasaisemmin reitille, kuormitetuin osuus reitin keskellä.
1056	Kalasadama-Metsälä-Kannelmäki	Tyypillinen kaupungin sisäinen poikittaislinja. Kuormittuminen jakaantuu tasaisemmin reitille, kuormitetuin osuus reitin keskellä.
1062	Rautatientori-Pirkkola	Tyypillinen keskustasta säteittäin lähtevä linja, jolla hajonta on kohtuullista. Kuormittuminen 1-suunnassa suurinta keskustasta lähdeettäessä.
1074	Hakaniemi - Tapanila - Puistola	Säteittäinen linja, joka ei lähde keskustasta, hajonta kohtuullista. Kuormittuminen 1-suunnassa suurinta keskustasta lähdeettäessä.
1080	Herttoniemi-Roihuvuori-Roihupelto	Lyhyt liityntälinja metroaseman ja työpaikka-alueen välillä. Pieni hajonta ajoajoissa.
1092	Itäkeskus-Myllypuro	Lyhyt liityntälinja metroaseman ja asuin/työpaikka-alueen välillä. Pieni hajonta ajoajoissa.
2154	Kamppi - Suomenoja - Tuomarila	Säteittäinen Kampista lähtevä seutulinja, joka kulkee Länsiväylää. Kohtuullinen hajonta ajoajoissa. Kuormittuminen 1-suunnassa suurinta linjan alkuosassa.
2195	Elielinaukio - Latokaski	Linja, joka lähtee Elielinaukiolta, ja kulkee Munkkiniemen kautta Espooseen. Linjalla sekä kaupunkien sisäisiä, että kaupungista toiseen kulkevia matkustajia..
4623	Rautatientori-Rekolanmäki	Säteittäinen seutulinja Helsingistä Vantaalle. Kuormittuminen 1-suunnassa suurinta linjan alkuosassa.

Valitut linjat ja niiden perusominaisuudet on esitetty taulukossa 5. Tarkemmat reittikuvaukset ovat liitteessä 6. Tutkituista linjoista seitsemän on Helsingin sisäisiä linjoja, kaksi Espoon ja Helsingin välillä kulkevia seutulinjoihin sekä yksi Helsingin ja Vantaan välillä kulkeva seutulinja. Linjojen reittipituudet poikkeavat toisistaan huomattavasti myös linjan luonteen takia; linjat 1080 sekä 1092 ovat liityntälinjoja metrolle, ja siksi hyvinkin lyhyitä. Pisimmät linjapituudet tutkituista linjoista on seutulinjoihin (taulukko 6).

**Taulukko 6 Tutkittavien linjojen reittipituudet**

Linja	km
1080	4
1092	4,8
1062	10,5
1056	11,1
1042	13,4
1074	18
1054	19,8
2195	22,5
2154	23,1
4623	27,6

### **5.1.2. Otokoot**

Keskimääräinen otoskoko lähtöä kohti on esitetty taulukossa 7. Otokoot vaihtelevat suuresti lähdöittäin. Osalle lähdöistä ei ollut tallentunut yhtään mittausta. Koska kyseessä oli kuitenkin merkittävän pitkä ajanjakso, jolta mittauksia saatiin (13.9. - 14.11.2010 ja 6.1.-19.2.2011), otoskokoja voidaan pitää pieninä. Pienet otokoot selittyvät osittain sillä, että tarkasteluun on otettu vain ne ajoaikamittaukset, jotka ovat tallentuneet sille lähtöajalle, joka on ollut aikataulussa. Näin on toimittu, koska muuten ei olisi varmuudella voitu lyhyiden vuorovälien linjoilla kohdentaa ajoaikoja oikeille lähdöille.

Mikko Lehmuskoski (2007) on YTV –alueen ajoaikoja käsittäneessä diplomityössään saanut otoskokoja, joissa useilla linjoilla 20 otoksen saavutettavissa ollut maksimimäärä on täyttynyt. Tällä kertaa tutkituissa linjoissa otokoot ovat jääneet kuitenkin nyt huomattavasti alhaisimmaksi suhteessa tarkasteltaviin päivänmääriin. Syynä on oletettavasti myös mittauksien tallentamisessa tällä hetkellä käytettävät tiukemmat kriteerit, jotka karsivat virheellisiä mittauksia tehokkaammin pois.

**Taulukko 7 Lähtöjen keskimääräinen otoskoko**

<b>Linja</b>	<b>Suunta 1</b>	<b>Suunta 2</b>
1042	33,2	31,2
1054	26,1	28,8
1056	25,2	16,3
1062	28,6	31,5
1074	19,2	18,8
1080	35,6	14,6
1092	35,0	33,4
2154	23,2	20,2
2195	21,3	20,5
4623	16,8	15,2

### **5.1.3. Nykytila-analyysi**

Nykytila-analyysin lähtötietona ovat toteutuneet ajoajat tarkasteltavilta linjoilta paikkakohtaisesti aikataulukaudelta 2010–2011 sekä ajoajat, jotka olivat tälle aikataulukaudelle määritelty, ja joista pysäkkien ohitusajat ovat kyseiselle aikataulukaudelle muodostetut. Määritellyt ajoajat saatiin käyttöön Hastuksen vanhoista tietokannoista, sekä joukkoliikennerekisteristä.

#### **Keskihajonta**

Ajoaikojen hajontaa linjoilla on tutkittu määrittelemällä käsiteltävän aineiston keskihajonta linjoittain ja lähdöittäin. Hajontaa on myös verrattu linjojen pituuteen.

#### **Vinous**

Jakauman vinous kertoo kuinka arvot ovat jakautuneet havaintojen keskiarvon ympärille. Jos vinous on positiivinen, on jakaumassa enemmän keskiarvoa pienempiä arvoja, negatiivinen vinous tarkoittaa, että jakaumassa on enemmän keskiarvoa suurempia arvoja.

#### **Keskiarvo, mediaani, minimi ja maksimi**

Linjojen ajoajoista tutkittiin myös muita tunnuslukuja linjojen yleiseksi kuvaukseksi. Valitut tunnusluvut olivat keskiarvo, mediaani sekä minimi ja maksimi arvot linjoilta lähdöittäin. Keskiarvo, mediaani, minimi ja maksimi määriteltiin paikkakohtaisesti. Tarkemmat tarkastelut esitetään keskimmäisestä paikasta. Niillä linjoilla, joilla paikkoja



on parillinen määrä, on valittu lähimpänä reitin alkua oleva paikka, jotta vältetään koko sivun ajoaikojen tarkastelulta.

## **Täsmällisyys**

Täsmällisyyttä tutkittiin vertaamalla linjalle paikkakohtaisesti määriteltyä ajoaikaa toteutuneisiin ajoaikoihin. Niillä linjoilla, jolla paikkakohtaisesti määriteltyä ajoaikaa ei ollut saatavilla (2154, 2195, 4623, 1080, 1092) käytettiin linjan nykyisiä paikkoja vastaavia pysäkkien arvioituja ohitusaikoja aikataulukaudelta 2010-2011. Täsmällisyyttä määritettäessä laskettiin seuraavat luvut linjoilta paikkaväleittäin:

1. Etuajassa ja myöhässä ajaneiden lähtöjen määrä
2. Etuajassa ja myöhässä ajaneiden lähtöjen poikkeavuus suunnitellusta ajoajasta
3. Yli 2 minuuttia suunnitellusta ajoajasta myöhässä ajaneiden lähtöjen määrä
4. Yli 1 minuuttia suunnitellusta ajoajasta etuajassa ajaneiden lähtöjen määrä

Näistä lasketuista luvuista määriteltiin seuraavat tunnusluvut, joita käytettiin linjojen vertailussa:

1. Prosenttiluku, kuinka paljon enemmän etuajassa ajaneita lähtöjä oli myöhässä ajaneisiin lähtöihin verrattuna. Tämän luvun tarkoitus on kertoa yleisesti suunnitellun ajoajan toimivuudesta linjalla otettaessa huomioon, että kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että etuajassa ajaminen on usein merkittävämpi haitta matkustajalle kuin myöhässä ajaminen.
2. Keskiarvo täsmällisysehdon täyttävien lähtöjen osuus, kuinka suuri osuus keskimäärin lähdöistä on täyttänyt täsmällisysehdon -1, +2 minuuttia.
3. Keskiarvo myöhässä ajatusta ajasta, kuinka paljon keskimäärin on ajettu myöhässä.
4. Keskiarvo etuajassa ajatusta ajasta, kuinka paljon keskimäärin on ajettu etuajassa.

### **5.1.4. Määrittelyattribuuttien testaus ja vertailu**

Testauksen tarkoituksena on tunnistaa, mikä eri ATP:n tarjoamista vaihtoehtoista on HSL:n aikataulusuunnittelun käyttöön sopivin. Tarkastelu tehdään sovittamalla eri vaihtoehtoja kerättyyn ajoaika-aineistoon ja tarkastelemalla millaisia ajoaikoja näillä eri vaihtoehtoilta saataisiin muodostettua ja miten näin muodostetut aikataulut soveltuisivat käytäntöön. Samalla on tarkoitus tunnistaa, millaisissa tapauksissa ehdotettua

määrittelyä ei tule käyttää, syynä esimerkiksi linjan liian suuri hajonta. Tarkempi toimintatapa ajoaikojen määrittelyssä ATP –ohjelmassa on kerrottu kappaleessa 3.2.1..

Tutkimus toteutetaan määrittelemällä ensin ATP-ohjelmalla aikataulukauden 2010-2011 ajoaika-aineistosta ajoajat käyttäen seuraavia attribuutteja:

- Persentiili
  - 30, 40, 50, 60, 70
    - Ääriarvot 10 ja 90 jätetään määrittelemättä, koska nämä kuvastavat hajonnan äärijoukkoja, eivätkä täten voi soveltua ajoajan määrittelemiseen. Lisäksi arvot 20 ja 80 jätetään määrittelemättä, koska näin pieniä/suuria arvoja ei kirjallisuustutkimuksessa ole tullut esiin.
    - Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan vain täysiä 10 –persentiilejä, mikäli erot jäävät suuriksi eri kymmenien välillä, voidaan soveltuvaa kymmenpersentiiliä vielä tarkastella 5 yksikön välein.
- Intervalli
  - -1, 2; -1,5; -2, 5
    - Intervalli -1, 2 valintaperusteena on kyseisen intervallin käyttö myös HSL:n luotettavuusindikaattorissa. Lisäksi intervalli -1,2 painottaa selkeästi etuajassa ajavien lähtöjen negatiivista merkitystä suhteessa myöhässä ajaviin.
    - Intervalli -1, 5 on valittu, koska tämä intervalli vastaa kirjallisuustutkimuksessa usein esille tullutta käytettyä täsmällisyysmäärittelyä: ” lähtö on täsmällinen, jos se saapuu pysäkillä enintään minuutin etuajassa, tai 5 minuuttia myöhässä”.
    - Intervalli -2,5 on valittu, koska tämä intervalli voisi olla käytettävissä suurilla hajonnoilla, koska myös etuajassa ajoa sallitaan enemmän.

ATP –ohjelmassa käytössä olevista attribuuteista käytettiin ainoastaan intervaleja sekä persentiilejä, koska ajoaikoja aineisto on vinoutunutta, eikä keskihajonnan käyttäminen tällöin tulle kyseeseen.

Muodostetuista ajoajoista määriteltiin samat tunnusluvut kuin nykytilavertailussa:

1. Prosenttiluku, kuinka paljon enemmän etuajassa ajaneita lähtöjä oli myöhässä ajaneisiin lähtöihin verrattuna. Tämän luvun tarkoitus on kertoa yleisesti suunnitellun ajoajan toimivuudesta linjalla otettaessa huomioon, että kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että etuajassa ajaminen on usein merkittävämpi haitta matkustajalle, kuin myöhässä ajaminen.
2. Keskiarvo täsmällisysehdon täyttävien lähtöjen osuus, kuinka suuri osuus keskimäärin lähdöistä on täyttänyt täsmällisysehdon -1, +2 minuuttia.
3. Keskiarvo myöhässä ajatusta ajasta, kuinka paljon keskimäärin on ajettu myöhässä.
4. Keskiarvo etuajassa ajatusta ajasta, kuinka paljon keskimäärin on ajettu etuajassa.

## 5.2. Nykytila-analyysin tulokset ja analyysi

### 5.2.1. Vinous

Linjojen vinouksien keskiarvot koko sivun osalta on esitetty taulukossa 8. Suurimmalla osalla linjoista vinouden arvot ovat positiivisia. Tällöin linjat ovat positiivisesti vinoutuneita, jolloin jakaumassa on enemmän keskiarvoa pienempiä arvoja. Tähän samaan tulokseen tuli myös Mikko Lehmuskoski diplomityössään (2007) omien linjojensa osaltaan. Lehmuskoski selitti tulosta fysiikan laeilla, jotka asettavat tiukat raamit ajoajan lyhyimmälle kestolle, mutta jotka eivät rajoita ajoajan kasvua. Tämä lienee myös osasyynä nyt tutkitun aineiston vinoudelle, mutta osaltaan tulosta voi selittää myös lyhyet mittaukset, jotka ovat sisältäneet reitin paikkoja, joilla ei ole pysähdetty, ja mittaukset ovat siksi karsiutuneet jo ennen niiden lataamista Hastukseen. Tällöin keskiarvo sijoittuu korkeammalle, kun erittäin lyhyet mittaukset puuttuvat aineistosta.

**Taulukko 8 Linjojen keskimääräiset vinoudet koko reitin osalta suunnittain**

Linja	Suunta 1	Suunta 2
1042	0,47	0,40
1054	0,55	0,68
1056	0,35	0,36
1062	0,82	0,31
1074	-0,04	-0,06
1080	0,49	0,29
1092	0,46	0,33
2154	0,34	0,19
2195	0,27	0,14
4623	0,44	0,66

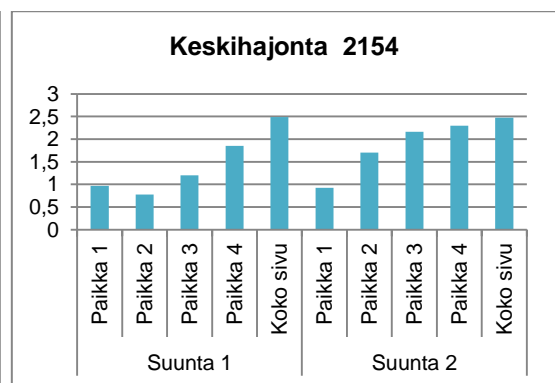
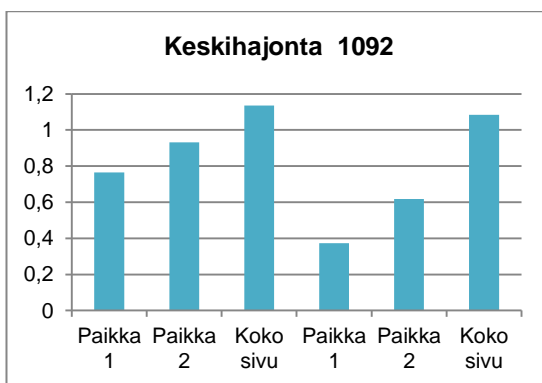
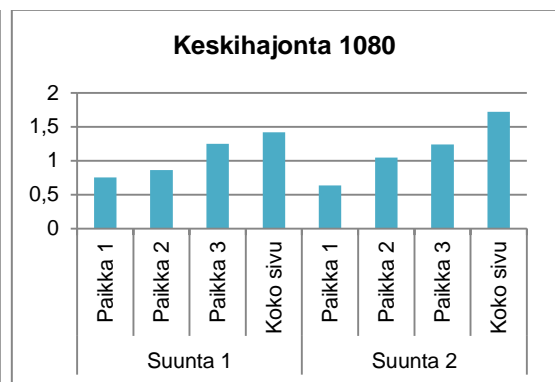
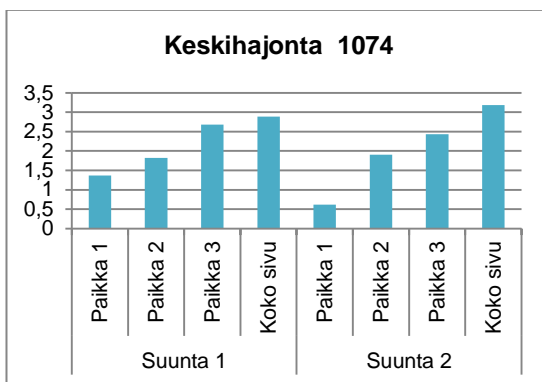
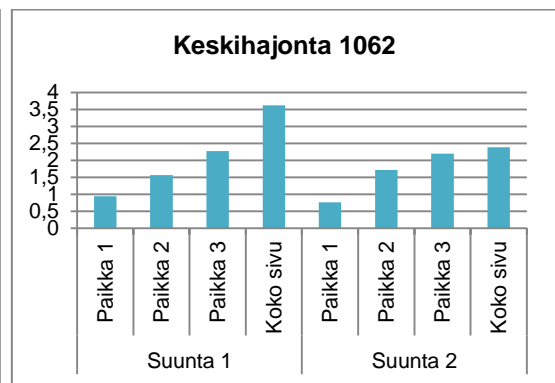
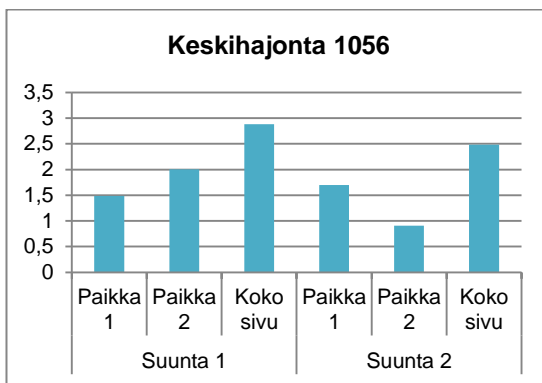
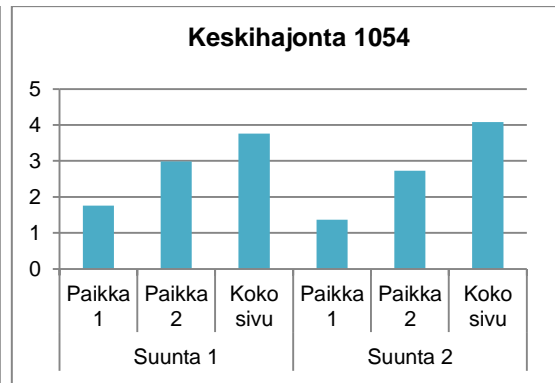
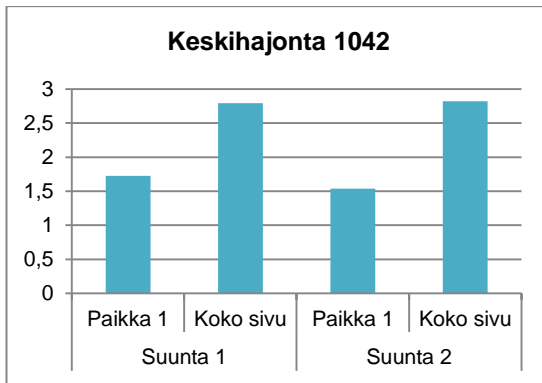
## 5.2.2. Keskihajonta

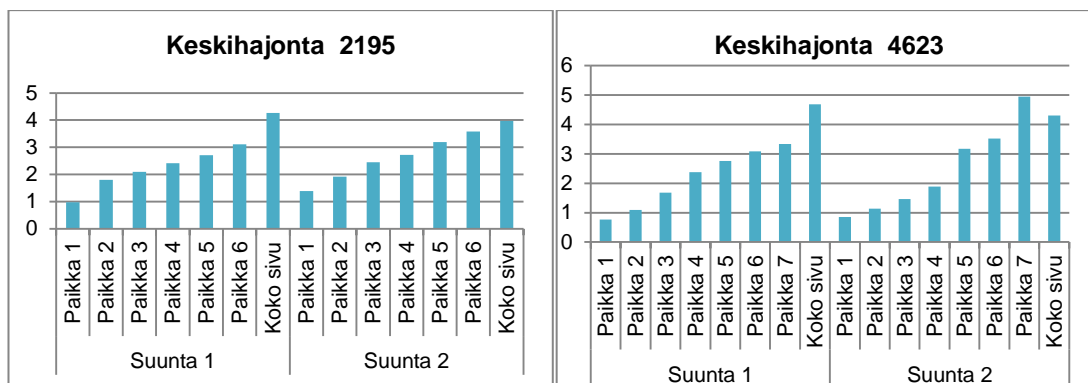
Linjojen keskihajonnoista on suuria eroavaisuuksia. Koko sivun osalta suurimmat keskihajonnat ovat molemmissa suunnissa linjoilla 4623, 2195 sekä 1054. Pienimmät keskihajonnat ovat linjoilla 1092 ja 1080 (taulukko 9).

**Taulukko 9 Koko sivun keskihajontojen keskiarvot linjoittain ja suunnittain**

Linja	Suunta	Keskihajonta (min)
1092	Suunta 2	1,083
1092	Suunta 1	1,135
1080	Suunta 1	1,419
1080	Suunta 2	1,722
1062	Suunta 2	2,384
2154	Suunta 2	2,473
1056	Suunta 2	2,484
2154	Suunta 1	2,488
1042	Suunta 1	2,794
1042	Suunta 2	2,822
1056	Suunta 1	2,882
1074	Suunta 1	2,889
1074	Suunta 2	3,187
1062	Suunta 1	3,618
1054	Suunta 1	3,764
2195	Suunta 2	3,972
1054	Suunta 2	4,078
2195	Suunta 1	4,259
4623	Suunta 2	4,306
4623	Suunta 1	4,682

Keskihajonnat kasvavat reitin edetessä (kuva 14). Muutamia poikkeuksia löytyy, joissa tietyllä paikalla keskihajonta onkin edellistä paikkaa pienempää. Esimerkiksi linjalla 2154 1-suunnassa toisella paikalla keskihajonta on paikkaa 1 pienempää, mutta kasvaa taas seuraavalle paikalle. Tällaisia tapauksia voidaan kuitenkin pitää poikkeuksina.





**Kuva 14 Keskihajonnat linjoilla suunnittain**

Linjan pituudet ja viimeisen sivun keskihajonnat (keskihajonnaltaan pienemmän sivun keskihajonta) on esitetty oheisessa taulukossa 10. Linjan pituudella on selkeä korrelaatio keskihajonnan kanssa. Tätä ei kuitenkaan voida pitää yleispätevänä sääntönä. Esimerkkinä linja 2154, joka on tarkastelluista linjoista toiseksi pisin, mutta joka kuitenkin keskihajonnaltaan on mediaania pienempi. Tämä selittyyne reitin liikennöintiolosuhteilla, reitti kulkee suurimmalta osaltaan Länsiväylää pitkin, joka on vähemmän alttiimpi liikenneolosuhteiden muutoksille mm. bussikaistojensa vuoksi kuin esimerkiksi reittipituudeltaan lyhyemmän linjan 2195 reitti.

**Taulukko 10 Linjojen pituudet ja keskihajonnat koko sivulla**

Linja	km	Keskihajonta
1080	4	1,42
1092	4,8	1,08
1062	10,5	2,38
1056	11,1	2,48
1042	13,4	2,79
1074	18	2,89
1054	19,8	3,76
2195	22,5	3,97
2154	23,1	2,47
4623	27,6	4,31

## **Matkustajan budjetoima odotusaika pitkillä vuoroväleillä**

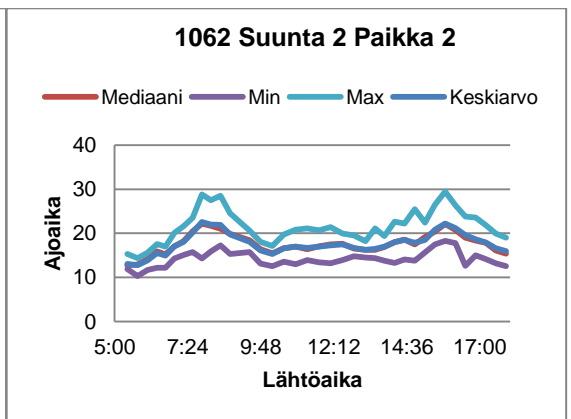
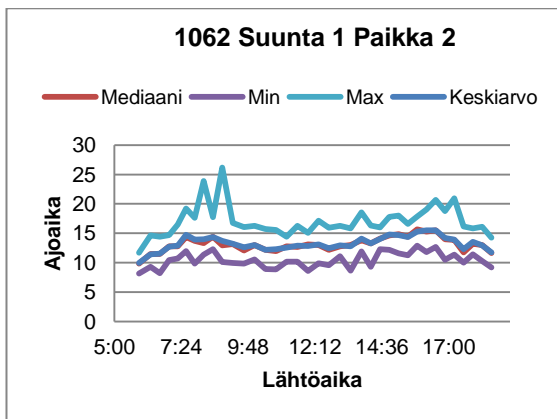
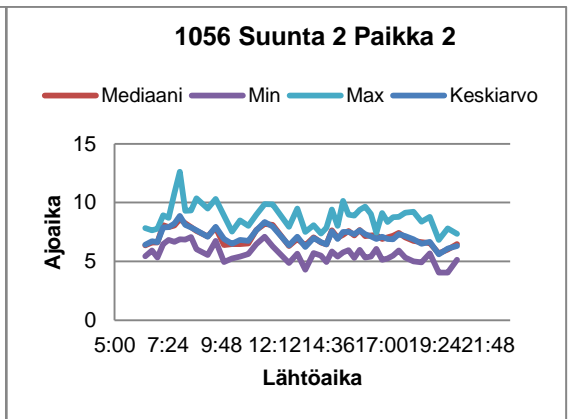
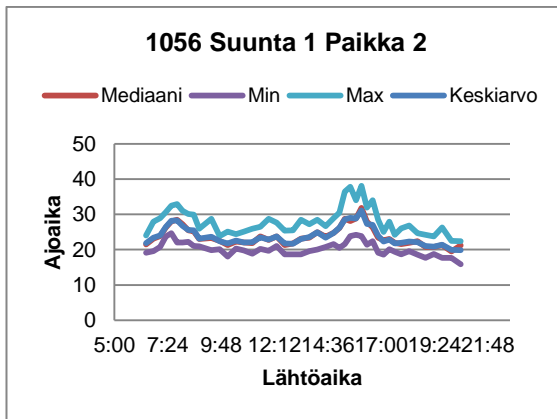
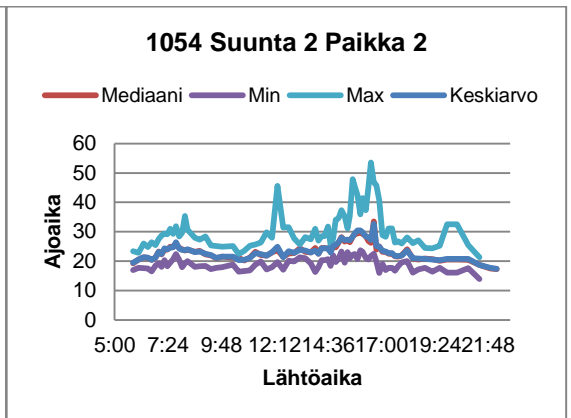
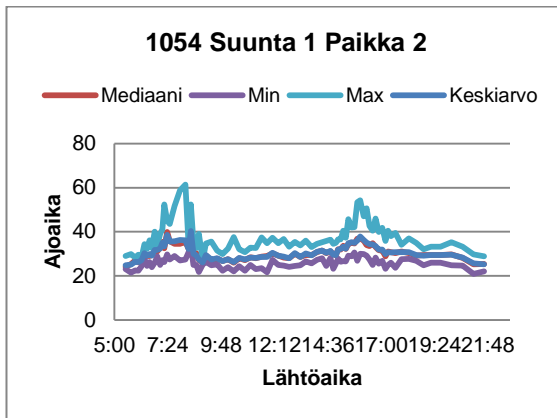
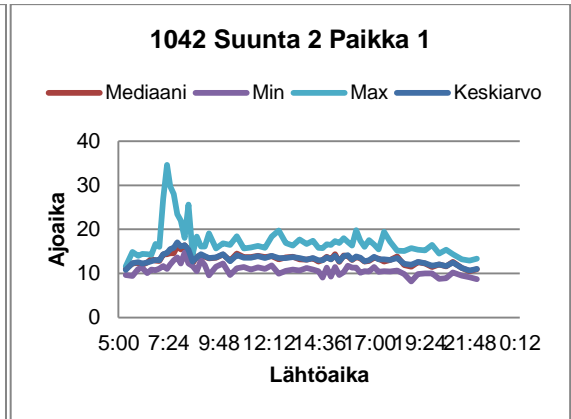
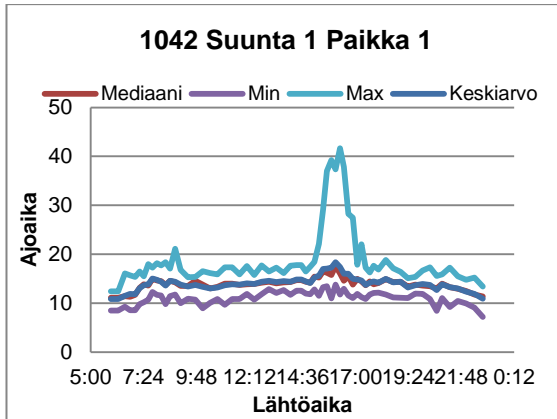
Kirjallisuusosuudessa on jo käsitelty matkustajan odotusaikaa. Matkustajalla voidaan otaksua olevan aika, jota ennen hän olettaa, ettei bussi ohita pysäkkiä. Matkustaja saapuu pysäkille tänä aikana tai hieman sitä ennen. Jotta bussiin ehditään varmasti, voidaan täksi ajaksi määritellä 2 -persentiili, eli aika, jolloin vain 2 % busseista on jo ehtinyt ohittaa pysäkin. Toisaalta voidaan määritellä 95 -persentiili pysäkin ohitusajan hajonnasta sellaiseksi, jonka matkustaja budjetoii, ja ottaa huomioon aikana, jolla hän ehtii määränpäähensä ajoissa. (Furth ym. 2006) Voitaneen siis olettaa, että matkustaja joutuu budjetoimaan mahdollista odotusaikaa vähintään noin puolet enemmän kuin keskihajonta. Mikäli keskihajonta on suurta 2-persentiili sekä 95 -persentiili voivat sijoittua vielä merkittävästi kauemmaksi keskiarvosta, jolloin odotusaikaa tulee lisää.

### **5.2.3. Keskiarvo, mediaani, minimi ja maksimi**

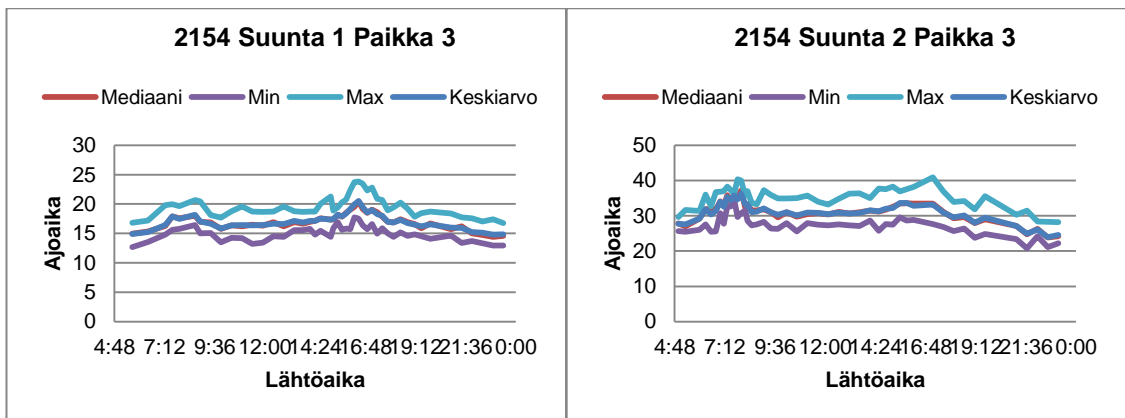
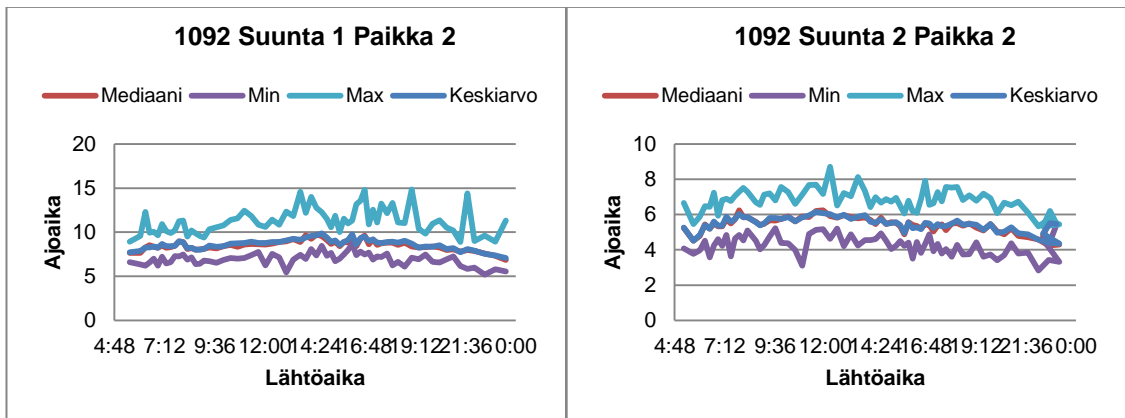
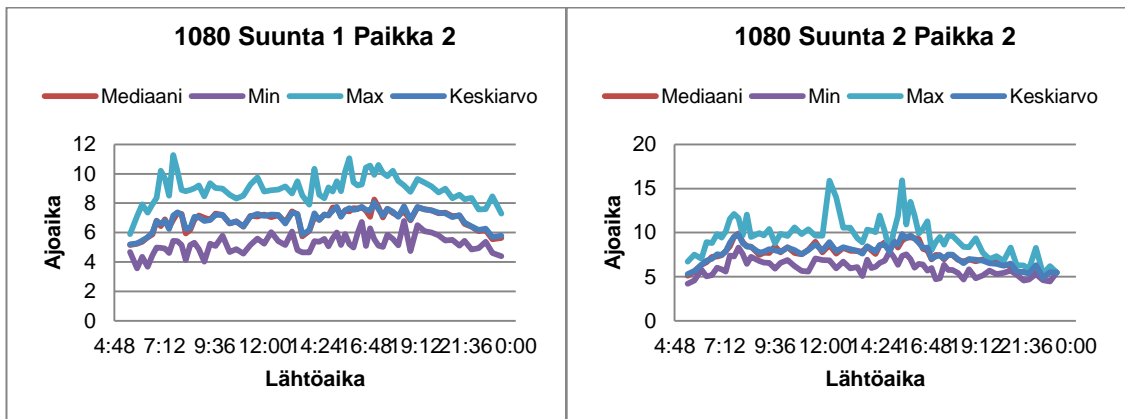
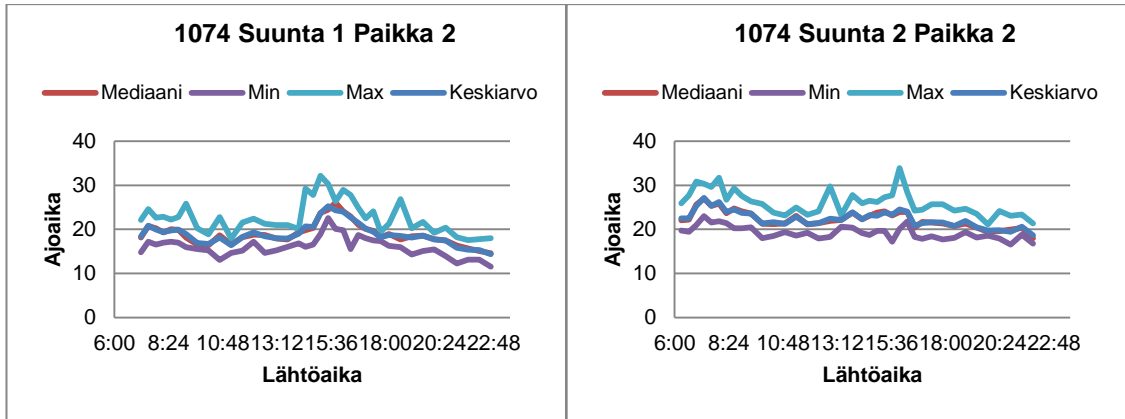
Keskiarvoa, mediaania, minimi- ja maksimiarvoja ajoaikamittauksista on tarkasteltu linjojen reittien keskimmaisilla paikoilla. Tulokset on esitetty kuvassa 15. Tarkasteltaessa ajoaikojen muutoksia vuorokaudenajan suhteen useilla linjoilla havaitaan ajoajassa selkeimmät muutokset ruuhka-ajoissa. Esimerkiksi linjalla 1042 mediaani ajoajat kasvavat selkeästi 1 -suunnassa iltapäiväruuhkassa sekä 2 -suunnassa aamupäiväruuhkassa. Muina aikoina ajoajat kasvavat varhaisesta aamusta aamuruuhkaan, pysyvät keskipäivällä vähän aamun ajoaikoja korkeammalla tasolla, ja myöhäisessä illassa ajoajat taas pienenevät. Tämä ajoaikojen käyttäytyminen on havaittavissa lähes kaikissa tarkastelluissa tapauksissa.

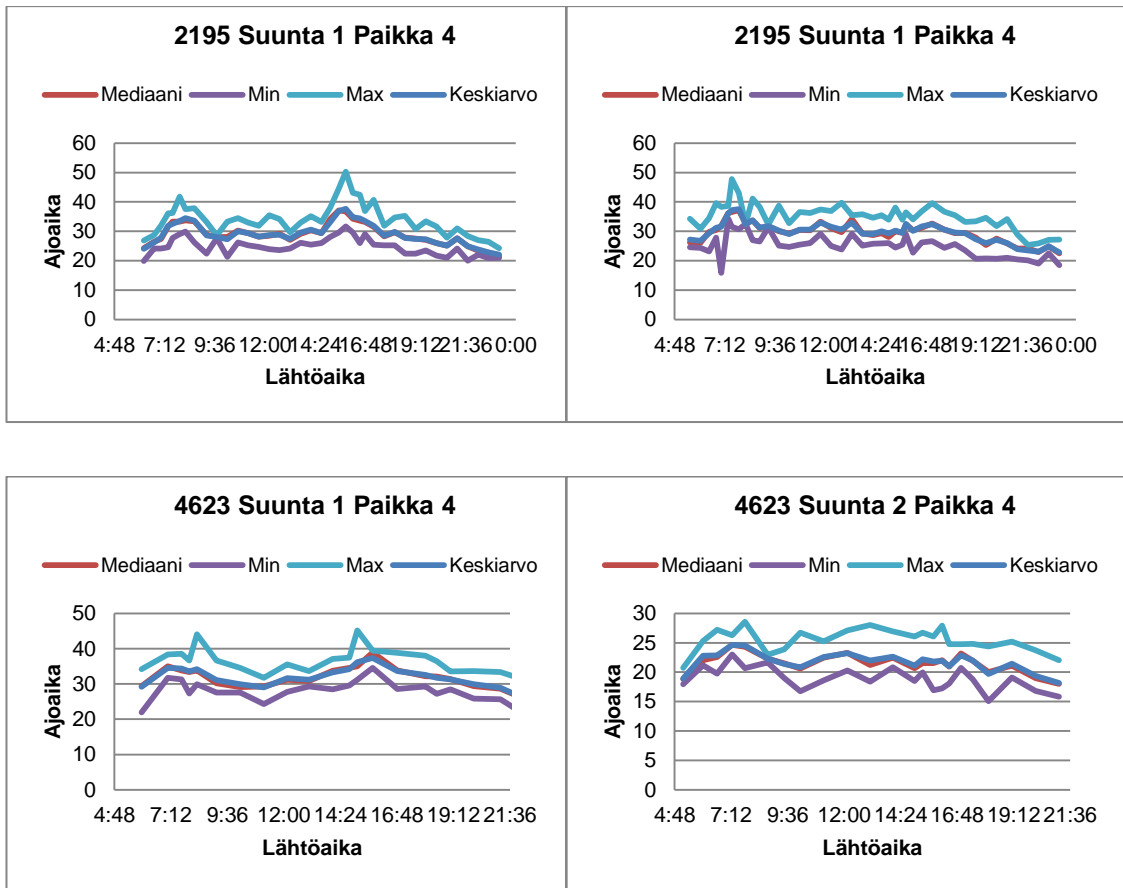
Keskiarvo ja mediaani poikkeavat vähän toisistaan, ja kuten aiemmin tarkastellut vinoumatkin kuvasivat, keskiarvo on yleisesti mediaania suurempi, eli jakauma on positiivisesti vinoutunut jolloin jakauman oikea häntä on pidempi. Samanlaisia tuloksia on saanut myös Mikko Lehmuskoski diplomityössään (2007), tällöin keskiarvoilla ja mediaaneilla oli myös vähäistä vaihtelua tarkastelluilla linjoilla. Suurimmat poikkeamat löytyvät ruuhka-aikoina, jolloin myös keskihajontaa on enemmän, ja ajoajat helposti kasvavat ruuhkan vaikutuksesta.

Vinouma selittyy myös tarkastelemalla minimi- ja maksimiarvojen etäisyyttä mediaanista ja keskiarvosta. Maksimiarvot sijaitsevat pääsääntöisesti kauempana keskiarvosta ja mediaanista kuin minimiarvot. Minimiarvot eivät vaihtelee samalla tavoin säännöllisesti kuin ruuhka-aikoina selkeämmin kasvavat maksimit.









Kuva 15 Mediaani, keskiarvo, minimi ja maksimi linjoilla suunnittain keskimmaisilla paikoilla

#### 5.2.4. Täsmällisyys

##### Etujassa ajaminen

Useimmilla linjoilla etujassa ajaneita lähtöjä on ollut selkeästi vähemmän kuin myöhässä ajaneita lähtöjä. Taulukossa 11 on esitetty, kuinka suurella osalla lähdoistä on tapahtunut enemmän etujassa ajamista kuin myöhästymistä. YTV –taustaisilla linjoilla (2154, 2195 ja 4623) etujassa ajamista on tapahtunut vähemmän kuin HKL -taustaisilla linjoilla, jolloin etujassa ajamisen vähyyden voidaan olettaa johtuneen erilaisista suunnitteluperiaatteista sekä ajoaikojen muodostamistavasta. Etujassa ajaneiden lähtöjen määrän suhteessa myöhästyneisiin lähtöihin ei voida näiden tulosten perusteella todeta muuttuvan reitin edetessä tietyllä tavalla. Eri linjoilla on huomattaviakin eroja eri paikkojen välillä, mutta etujassa ja myöhässä ajamisen suhteen käyttäytyminen poikkeaa huomattavasti linjoittain ja suunnittain.

**Taulukko 11 Lähtöjen osuus prosentteina, joilla etuajassa ajamista on ollut enemmän kuin myöhästymistä.**

Linja	Paikka	Suunta 1	Suunta 2	Linja	Paikka	Suunta 1	Suunta 2
1042	Paikka 1	48,4	92,2	2154	Paikka 1	26,1	0,0
	Koko sivu	21,9	46,9		Paikka 2	5,6	0,0
1054	Paikka 1	21,4	56,8		Paikka 3	15,2	0,0
	Paikka 2	19,0	33,3		Paikka 4	19,6	0,0
	Koko sivu	22,2	22,0		Koko sivu	10,9	2,2
1056	Paikka 1	0,0	77,1	2195	Paikka 1	5,3	11,9
	Paikka 2	0,0	0,0		Paikka 2	5,1	23,8
	Koko sivu	6,5	8,3		Paikka 3	2,6	21,4
1062	Paikka 1	13,5	18,4		Paikka 4	0,0	14,3
	Paikka 2	16,2	23,7		Paikka 5	0,0	7,1
	Paikka 3	16,2	18,4		Paikka 6	7,7	11,9
	Koko sivu	16,2	21,1		Koko sivu	0,0	11,9
1074	Paikka 1	34,2	2,6	4623	Paikka 1	4,8	0,0
	Paikka 2	27,8	2,6		Paikka 2	14,3	0,0
	Paikka 3	30,6	2,6		Paikka 3	0,0	0,0
	Koko sivu	21,1	10,5		Paikka 4	23,8	0,0
1080	Paikka 1	27,9	50,7		Paikka 5	14,3	0,0
	Paikka 2	63,2	50,0		Paikka 6	23,8	0,0
	Paikka 3	42,6	56,7		Paikka 7	14,3	0,0
	Koko sivu	48,5	1,4		Koko sivu	4,8	34,8
1092	Paikka 1	81,8	16,9				
	Paikka 2	54,5	2,9				
	Koko sivu	57,6	78,5				

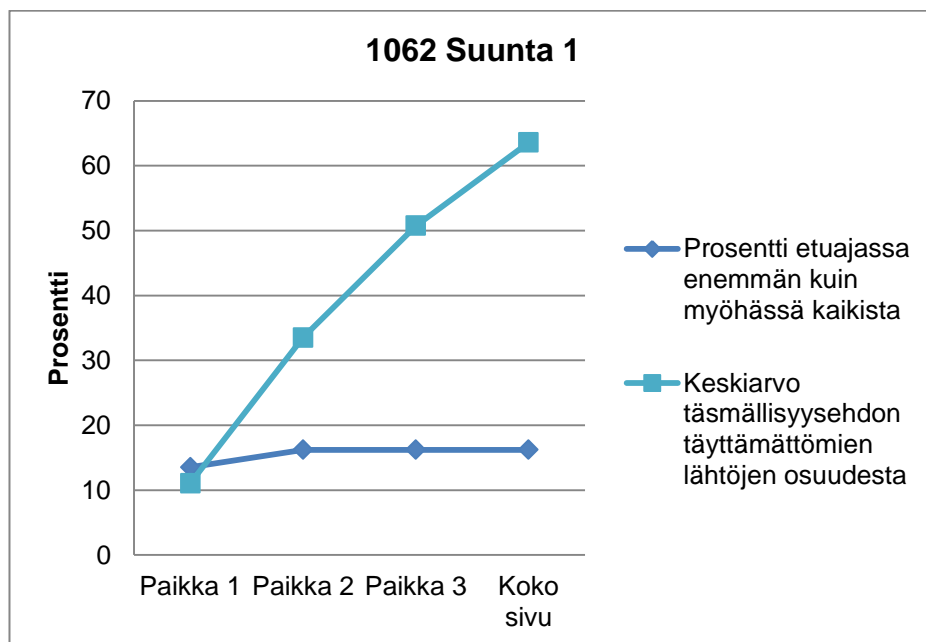
### Täsmällisysehdon täyttyminen

Täsmällisysehtoa -1, +2 minuuttia täyttämättömien lähtöjen osuus vaihtelee linjoilla noin 5 prosentista noin 90 prosenttiin. Pahimmissa tapauksissa, esimerkiksi linjalla 2195 1-suunnassa osuus kasvaa lähelle 80 % jo reitin alkuvaiheessa ja pysyttelee noin 80 %:ssa loppureitin. Parhaat tulokset täsmällisyydestä saadaan lyhyillä liityntälinjoilla 1080 sekä 1092, joilla täsmällisysehtoa täyttämättömien lähtöjen osuus pysyy alle 40 % lukuun ottamatta linjan 1080 2 -suunnan koko sivun ajoaikaa.

Yleisesti voidaan todeta, että täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuus kasvaa reitin loppua kohden. Osuuden kasvu voi olla tasaista eri paikkaväleillä, esimerkki-

nä linjan 1054 2 -suunta tai linjan 1062 1 -suunta. Osuuden kasvu voi olla myös reitin alkuosaan painottuvaa kuten linjan 1074 2 -suunnassa tai linjan 2195 1 -suunnassa. Tästä yleisestä käyttäytymisestä poikkeavia linjoja kuitenkin myös on. Esimerkiksi linjalla 1042 2 -suunnassa kasvua ei käytännössä ole, linjalla 1056 1 -suunnassa sekä linjalla 1074 1 -suunnassa täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen määrä kasvaa linjan alussa, mutta koko sivun kohdalla määrä vähenee. Tämä muutos nähdään myös tarkasteltaessa keskiarvoja etuajassa ja myöhässä ajetuista ajoista.

Etujassa ajamisen ja täsmällisysehdon täyttymisen riippuvuudesta ei voida tämän aineiston perusteella tehdä selkeää päätelmää. Esimerkkinä näiden kahden määrittelyn riippuvuuden käyttäytymisestä voidaan käyttää linjaa 1062 (kuva 16). Vaikka etujassa ajamisen osuus ei ole merkittävästi muuttunut reitin edetessä, täsmällisysehtoa täyttämättömien lähtöjen osuus on kasvanut merkittävästi (paikka 1 noin 10 %, paikka 2 noin 33 %, paikka 3 noin 51 % ja koko sivulla noin 62 %). Tämä kasvu selittyy tarkastelemalla linjan etuajassa sekä myöhässä ajettujen minuuttien keskiarvoa. Keskiarvot kasvavat reitin edetessä siten, että paikassa 3 etuajassa ajettujen ajan keskiarvo kasvaa jo yli 1 minuutin, myöhässä ajettujen keskiarvo jo yli 2 minuutin.



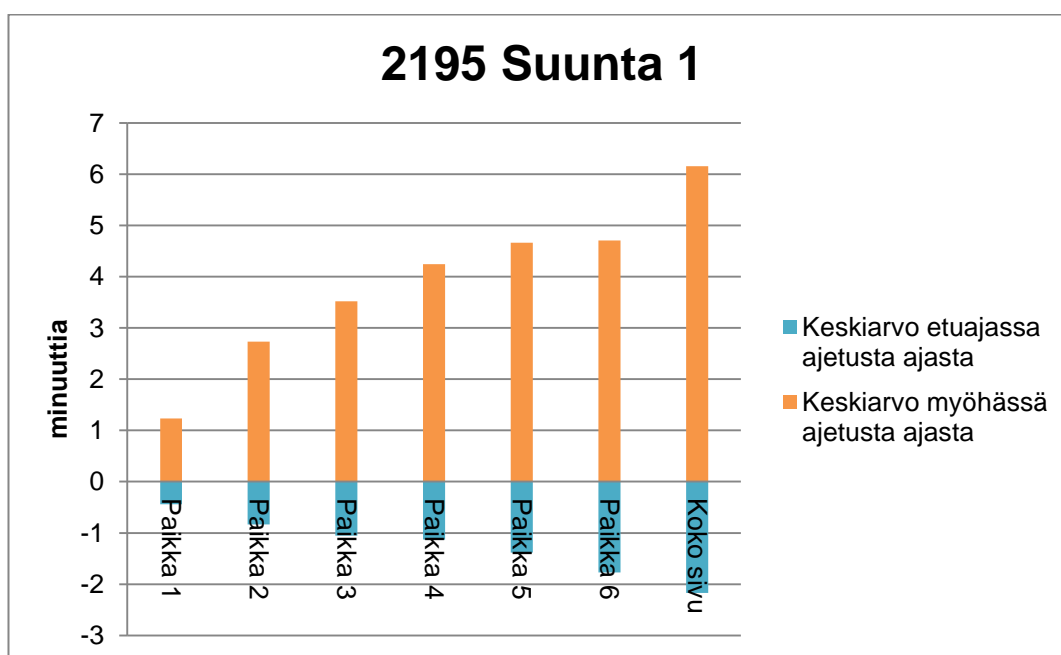
**Kuva 16 Linjan 1062 täsmällisysehdon täytyminen sekä etuajassa ajamisen osuus**

Tulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

## Myöhässä ja etujassa ajamisen määrä

Keskiarvot myöhässä ja etujassa ajatusta ajasta vaihtelevat merkittävästi eri linjoilla. Lyhyillä reiteillä, joilla hajonnat toteutuneissa ajoajoissa ovat pieniä, myöhästymistä ja etujassa ajamista ei pääse kertymään huomattavia määriä. Esimerkiksi linjalla 1080 koko sivun osalta suunnassa 1 myöhästymisen keskiarvo on noin 1,4 minuuttia, ja etujassa ajamisen osalta noin 1 minuuttia. Linjalla 1042, jota voidaan pitää ns. perustapauksena, jossa hajonta on kohtalaista, ja reitin pituus kohtalainen, suunnan 1 paikassa 1 (Ruskeasuo) etujassa ajamisen keskiarvo on noin 1,1 minuuttia, ja myöhästymisen noin 1,2 minuuttia. Koko sivun osalta myöhästymisen on noin 2,8 minuuttia, ja etujassa ajaminen noin 1,8 minuuttia. Voitaneenkin todeta, että linjan liikennöinti on ollut kohtalaisen täsmällistä. Tarkemmat tulokset linjojen etujassa ja myöhässä ajamisesta on esitetty liitteessä 2.

Linjalla 2195, jolla reitti on pitkä, ja hajonnat ajoajoissa huomattavia, linjan ongelmat näkyvät myös suurempina arvoina myöhästymisissä ja etujassa ajamisissa (kuva 17). Koska linjalla etujassa ajavia lähtöjä on suhteessa huomattavasti vähemmän kuin myöhässä ajavia, näkyy tämä myös keskiarvoissa. Vaikka keskiarvo myöhässä ajamisesta nousee jo kolmannella paikalla (3/7) yli kolmen minuutin, on tällä paikalla etujassa ajamisen keskiarvo vasta saavuttanut yhden minuutin. Onkin selvää, että tämän linjan ongelmana on ollut merkittävät myöhästymiset arvioiduista pysäkkiaikatauluista, mutta etujassa ajaminen ei ole ollut merkittävä ongelma.



Kuva 17 Keskimääräinen myöhässä ja etujassa ajettu aika minuutteina linjalla 2195

On kuitenkin huomioitavaa, että JENNA -tutkimuksen (Kurri 2011) mukaan kyselyyn osallistuneista vastaajista 62 % ilmoittivat, etteivät he tulleet pysäkille etuajassa. Tällöin minuutinkin keskimääräinen etuajassa ajaminen voi jo aiheuttaa usealle matkustajalle myöhästymisen lähdöstä. Voitaneen olettaa, että osassa tapauksissa linjan myöhästyminen on jo niin säännöllistä, että matkustaja saattaa tulla pysäkille jopa ohitusaikaa myöhemmin, koska linjan tiedetään saapuvan myöhässä.

### **5.3. Määrittelyattribuuttien vertailun tulokset ja analyysi**

#### **5.3.1. Etuajassa ajaminen**

Persentiilien keskinäiset suuruussuhteet ovat järjestyksessä tarkasteltaessa, kuinka paljon sallitaan etuajassa olevia lähtöjä suhteessa myöhästymisiin (taulukko 12). Mitä suurempaa persentiiliä käytetään, sitä enemmän sallitaan etuajassa ajavia lähtöjä suhteessa myöhässä ajaviin lähtöihin. 30 -persentiili sallii vähiten etuajassa ajamista, kun taas persentiili 70 sallii kaikkein eniten etuajassa ajamista. Eroa kuitenkin löytyy siinä, kuinka lähelle määritellyt persentiilit osuvat tarkasteltua etuajassa ja myöhässä ajamisen suhdetta. Erityisesti korkeammat persentiilit 60 ja 70 tuottavat enemmän etuajassa olevia lähtöjä persentiililukuunsa nähden. Useissa tapauksissa 70-persentiilillä määritellyt ajoajat sallivat vertailuaineistossa jopa 90 % lähdöistä ajavan etuajassa. 50 -persentiilin käyttäytyminen vaihtelee, tuottaen välillä yli 50 % etuajassa lähteviä, välillä alle 50 %. Tarkemmat tulokset etuajassa ajamisesta on esitetty liitteessä 3.

**Taulukko 12 Lähtöjen osuus prosentteina, joissa keskimmaisilla paikoilla lähtöjä on ollut enemmän etuajassa kuin myöhässä. Pystysarakkeessa linjat, vaakasarakkeessa tarkastellut määrittelyattribuutit.**

Suunta 1	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	6	14	48	75	88	14	2	5
1054	14	37	58	68	79	29	15	17
1056	22	40	47	69	80	27	2	22
1062	16	30	41	51	89	30	5	11
1074	16	29	42	63	84	26	3	21
1080	18	18	21	82	81	18	1	9
1092	14	21	23	85	94	14	0	11
2154	15	35	39	72	80	15	0	4
2195	28	41	54	69	79	38	26	10
4623	5	19	33	52	76	14	5	10
Suunta 2	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	13	28	64	64	80	20	2	6
1054	23	32	53	69	75	32	12	17
1056	50	50	53	55	61	49	60	51
1062	32	47	61	74	76	42	11	18
1074	11	37	61	68	95	32	5	8
1080	19	37	48	58	72	30	1	22
1092	25	43	43	88	95	25	0	43
2154	17	33	41	65	80	22	20	17
2195	19	36	50	69	81	36	19	19
4623	22	30	39	70	78	43	9	30

### 5.3.2. Täsmällisyys

30 ja 40 –persentiilin ajoajoilla täsmällisyyskriteerin (-1, +2) täyttämättömien lähtöjen osuus on pienin (taulukko 13). Tulos on odotettu, koska valittu kriteeri sallii enemmän myöhästymistä kuin etuajassa ajamista, jolloin tähän pyrkivien persentiilien 30 ja 40 edut korostuvat.

**Taulukko 13 Täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuus prosentteina keskimäisillä paikoilla**

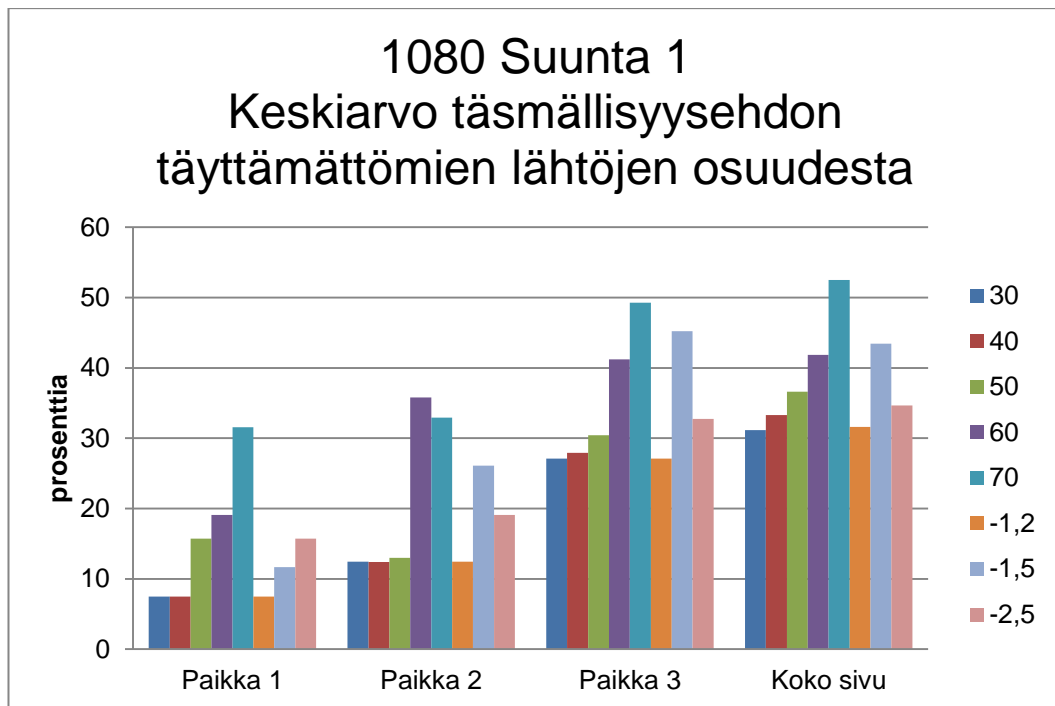
Suunta 1	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	33	32	35	40	48	33	47	41
1054	63	62	65	69	72	63	64	63
1056	13	32	40	70	70	13	0	4
1062	35	34	39	42	53	34	50	41
1074	44	44	44	55	61	44	51	46
1080	12	12	13	36	33	12	26	19
1092	12	12	12	27	32	12	28	16
2154	24	28	29	44	46	24	49	35
2195	59	64	67	69	72	60	61	79
4623	55	53	54	55	60	51	60	62

Suunta 2	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	31	32	40	40	48	32	42	37
1054	59	61	63	67	69	56	63	60
1056	16	16	22	30	32	16	35	21
1062	52	52	61	66	67	51	51	51
1074	47	48	50	54	67	48	52	49
1080	18	20	24	29	41	20	37	24
1092	4	6	6	21	25	4	11	6
2154	54	52	56	60	63	50	55	55
2195	66	66	68	72	73	68	67	66
4623	45	48	48	56	60	45	46	48

Koska käytössä on ollut kireä täsmällisyysmittari, joka sallii etuajassa ajamista vain 1 minuuttia ja myöhässä ajamista vain 2 minuuttia, eri määrittelyehdoilla saatujen ajoaikojen väliset erot ovat merkittäviä ainoastaan pienillä hajonnoilla. Esimerkiksi pienen hajonnan linjalla 1080 (kuva 18) täsmällisyyslukujen erot näkyvät vielä koko sivunkin ajoajoissa, vaikka keskihajonta alkaa lähestyä jo 2 minuuttia. Suuremmilla hajonnoilla tarkasteluväliin -1,+2 minuuttia osuvien lähtöjen määrä eri ajoaikojen määrittelyparametreilla alkaa vakiintua, eikä eroja enää eri parametrien välillä löydy merkittävästi. Toisaalta mikäli hajonta on niin pientä, että lähes kaikki ajoajat täyttävät täsmällisyyskriteerin, persentiilien välille ei synny eroa. Esimerkiksi linjalla 1092 2-suunnassa ainoastaan persentiili 70 muodostaa merkittävästi täsmällisysehtoa täyttämättömiä lähtöjä. Tämän persentiilin käyttäytymistä selittää se, että tämä suuri persentiili sallii jo merkittävästi etuajassa ajamista, jolloin vaikka hajonta on pientä, suuri osa lähdistä on enemmän kuin -1 minuuttia etuajassa. Voidaan kuitenkin todeta, että persentiilit 30 ja 40 tuottavat kaikkein eniten täsmällisyyskriteeriä (-1,+2) täyttäviä lähtöjä.





**Kuva 18 Täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuus määrittelyattribuuteittain**

Tarkasteltaessa alimpia persentileitä, persentileitä 30, 40 ja 50 voidaan huomata, että näistä persentileillä 30 ja 40 saadaan lähes kaikissa tapauksissa kaikkein eniten täsmällisysehdon täyttäviä lähtöjä verrattuna muihin persentileihin, Persentili 50 tuottaa lähes aina enemmän täsmällisysehtoa täyttämättömiä lähtöjä, mutta suurilla hajonnoilla osuus vastaa usein 30 ja 40 –persentiliä niin kuin myös muita tutkittuja persentileitä.

Voidaan todeta, että mikäli käytettäisiin niin tiukkaa täsmällisyyskriteeriä kuin -1,+2, vain harvalla linjalla voitaisiin muodostaa sellainen ajoaika, joka voisi täyttää tämän kriteerin edes puolella lähdoistä. Tässä tarkastelluista linjoista ainoastaan pienen hajonnan linjat, lyhyet liityntälinjat 1080 sekä 1092 pystyvät täyttämään täsmällisyyskriteerin yli puolella lähdoistä koko reitillä.

Täsmällisyysluvut löytyvät tarkemmin liitteestä 4.

### 5.3.3. Myöhässä ja etuajassa ajamisen määrä

Keskimmäisten paikkojen etuajassa sekä myöhässä ajamisen keskiarvot suunnittain on esitetty taulukoissa 14 ja 15. Tarkasteltaessa kaikkien linjojen etuajassa sekä myöhässä ajamista voidaan todeta, että persentilit käyttäytyvät toivotulla tavalla siten, että mitä suurempi persentili on käytössä, sitä vähemmän myöhästymistä ja toisaalta sitä enemmän etuajassa sallitaan. Intervallien käyttäytyminen on riippuvaista hajonnasta,

mutta yleisesti voidaan todeta -1,+2 – intervallin sallivan samanlaista myöhästymistä kuin persentiilit 30 tai 40.

Persentiilillä 40 tehdyllä ajoajalla, joka tuotti persentiili 30:n lisäksi eniten täsmällisyysehtoja täyttäviä lähtöjä, suurin keskimääräinen myöhästymisen on linjalla 1054 suunnassa 1 sekä linjalla 2195 suunnassa 2, molemmissa 3 minuuttia. Tällaista myöhästymistä voidaan pitää jo hyvin merkittävänä, kyseessä on kuitenkin vasta reitin keskimääräinen paikka, ja keskimääräinen myöhästymisen kasvaa reitin loppua kohden keskihajonnan kasvaessa. Pienillä hajonnoilla (linjat 1080 ja 1092) persentiilin 40 tuottaa lähes aina samankaltaisen myöhästymisen tai etuajassa ajamisen kuin persentiili 50.

**Taulukko 14 Keskimääräisen paikan myöhässä ajamisen keskiarvot linjoittain ja suunnittain**

Suunta 1	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	1,70	1,70	1,60	1,52	1,46	1,72	2,24	2,05
1054	3,31	3,00	2,97	2,74	2,56	3,13	3,48	3,29
1056	2,24	1,93	1,67	1,58	1,50	2,22	2,79	2,29
1062	1,65	1,53	1,41	1,32	1,15	1,60	2,30	1,82
1074	1,95	1,76	1,65	1,50	1,45	1,87	2,31	2,02
1080	0,94	0,91	0,87	0,62	0,63	0,94	1,52	1,25
1092	0,97	0,93	0,93	0,80	0,76	0,97	1,61	1,13
2154	1,34	1,18	1,18	0,97	0,90	1,34	2,17	1,73
2195	2,98	2,60	2,24	2,09	1,93	2,74	3,11	4,51
4623	2,51	2,29	2,09	1,89	1,76	2,33	3,07	2,90
Suunta 2	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	1,63	1,46	1,25	1,25	1,12	1,59	2,04	1,88
1054	2,88	2,65	2,42	2,39	2,25	2,68	3,34	2,93
1056	1,07	0,90	0,83	0,71	0,53	1,07	1,73	1,26
1062	2,18	2,09	1,74	1,55	1,48	2,11	2,48	2,39
1074	1,86	1,65	1,52	1,41	1,41	1,73	2,41	2,14
1080	1,13	1,05	0,99	0,99	0,83	1,07	1,83	1,24
1092	0,67	0,59	0,59	0,43	0,41	0,67	1,18	0,59
2154	2,43	2,31	2,03	1,78	1,48	2,33	2,64	2,48
2195	3,12	3,00	2,80	2,52	2,17	2,91	3,38	3,25
4623	2,07	1,89	1,85	1,73	1,50	1,90	2,28	2,23

**Taulukko 15 Keskimmäisen paikan etuajassa ajamisen keskiarvo linjoittain ja suunnittain**

Suunta 1	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	-0,88	-0,95	-1,16	-1,31	-1,52	-0,94	-0,64	-0,70
1054	-1,76	-2,00	-2,26	-2,74	-3,18	-1,94	-1,76	-1,79
1056	-1,27	-1,48	-1,73	-1,84	-2,14	-1,28	-1,06	-1,22
1062	-0,80	-0,92	-1,09	-1,22	-1,60	-0,88	-1,08	-0,78
1074	-1,06	-1,23	-1,34	-1,73	-2,02	-1,16	-1,09	-1,09
1080	-0,53	-0,55	-0,58	-1,03	-0,95	-0,53	-0,37	-0,48
1092	-0,48	-0,53	-0,53	-0,82	-0,90	-0,48	-0,36	-0,47
2154	-0,68	-0,85	-0,85	-1,23	-1,28	-0,68	-0,52	-0,49
2195	-1,58	-1,87	-2,20	-2,61	-3,23	-1,74	-1,60	-1,31
4623	-1,30	-1,56	-1,77	-1,95	-2,25	-1,81	-1,21	-1,21

Suunta 2	30	40	50	60	70	-1,2	-1,5	-2,5
1042	-0,76	-0,91	-1,18	-1,18	-1,43	-0,81	-0,54	-0,61
1054	-1,50	-1,77	-2,06	-2,46	-2,83	-1,60	-1,22	-1,46
1056	-0,51	-0,62	-0,76	-0,93	-0,93	-0,51	-0,32	-0,50
1062	-1,19	-1,28	-1,71	-2,10	-2,18	-1,25	-0,98	-0,95
1074	-1,33	-1,50	-1,65	-1,76	-2,21	-1,45	-0,99	-1,16
1080	-0,59	-0,72	-0,81	-0,99	-1,13	-0,67	-0,35	-0,61
1092	-0,41	-0,47	-0,47	-0,73	-0,79	-0,41	-0,32	-0,47
2154	-1,37	-1,46	-1,65	-2,06	-2,40	-1,38	-1,22	-1,38
2195	-2,10	-2,09	-2,41	-2,89	-3,44	-2,55	-1,96	-2,09
4623	-1,08	-1,22	-1,25	-1,73	-2,06	-1,17	-0,90	-1,13

Taulukoista voidaan todeta, että 1- suunnassa linjalla 1054 tapahtuu vertailuaineistoon nähden eniten myöhässä ajamista, poikkeuksena persentiili -2,5, jolla eniten myöhässä ajamista tapahtuu linjalla 2195. Lukujen vertailukelpoisuuteen vaikuttaa keskimmäisen paikan sijainti linjalla, keskimmäinen paikka ei aina välttämättä sijaitse linjan reitin keskikohdassa, joten eroja voi aiheutua myös tästä hajonnan kasvaessa linjan loppua kohden. Linjalla 1054 keskihajonta on kuitenkin kolmanneksi suurinta linjojen 2195 ja 4623 jälkeen, joten luvun voidaan olettaa olevan vertailukelpoinen.

Koska vertailuaineistossa selkeästi hitaampia ajoaikoja on enemmän kuin selkeästi nopeampia, kuten vinoutta tarkasteltaessa on huomattu, painottuu esimerkiksi 50 – persentiili siten, että keskiarvot myöhästymisen suhteen ovat suurempia kuin etuajassa ajamisen suhteen. Tällöin, vaikka persentiili 30 tuottaa parhaiten täsmällisysehtoa täyttäviä lukuja hieman enemmän kuin persentiili 40, on kuitenkin perusteltua suositella 40-persentiiliä, koska tällä luvulla myöhästymisten keskiarvo ei kasva yhtä suureksi

kuin 30 –persentiilillä. 40-persentiilin käytöllä painotetaan kuitenkin enemmän etuajassa ajamisen negatiivista merkitystä suhteessa myöhästymiseen, joka on tavoiteltavaa.

Tulos vastaa myös Oort ym. (2009) esittämää tulosta, jossa päädyttiin esittämään persentiiliä 35 sopivana persentiiliä aikataulusuunnittelussa. Kyseisessä työssä samaan tulokseen päädyttiin kuitenkin painottamalla matkustajille aiheutuvaa lisäystä matka-aikaan, joka eri persentiilien käytöstä seuraa.

40 -45 – persentiiliä suositteli myös Daniel Pelletier (2011) yleisesti toimivana määritellynä ajoikasuunnittelussa. Hän korosti kuitenkin mahdollisuutta kasvattaa ajoaikaa reitin loppua kohden, jolloin ajoajan tiukkuuden vaikutuksia saadaan korjattua. Toisaalta tähän pystytään kuitenkin vaikuttamaan korjaamalla päätepysäkkiaikaa suuremmaksi, jolloin estetään seuraavasta lähdöstä myöhästymisen ja varmistetaan kuljettajan riittävä elpymisaika.

#### **5.3.4. Intervallien käyttäytyminen suhteessa persentiileihin**

- -1,+2 intervalli vastaa 40 –persentiiliä useimmissa tapauksissa, kun suhteutetaan etuajassa ja myöhässä ajavien lähtöjen määrää.
- -2,+5 intervalli vastaa 30-persentiiliä tarkasteltaessa etuajassa ajavien lähtöjen määrää sekä keskimääräisiä etuajassa ja myöhässä ajamisia, poikkeuksena kuitenkin pienet hajonnat, jolloin -2,+5 intervalli saattaa vastata jopa 50 tai 60 –persentiiliä.
- -1,+5 –intervallin käyttäytyminen tarkasteluissa on arvaamattominta, eikä sitä voida rinnastaa nyt tarkastelluista persentiileistä mihinkään.

Intervallit toimivat kohtalaisen luotettavasti, ja voisivat olla erityisen käyttökelpoisia niissä tilanteissa, kun esimerkiksi tietyllä paikkavälillä ei haluta tapahtuvan ollenkaan etuajassa ajamista tai myöhästymistä, esimerkiksi saavuttaessa terminaaliin tietynä aikana. Tällöin kuitenkin sopivan intervallin valintaan on kiinnitettävä suurta tarkkuutta, jotta välttyttäisiin tilanteelta, jossa esimerkiksi pienellä hajonnalla käytetty -2, +5 -intervalli tuottaakin lähes 50-persentiiliä vastaavaa etuajassa ajamista.

## 6. Johtopäätökset

### 6.1. *Yhteenvedo tavoitteista ja tuloksista*

Työn tavoitteena oli selvittää, millä ehdoin ja millaisilla määrittelyattribuuteilla ajoaikojen suunnittelua tulisi tehdä HSL:ssä. Tarkastelun näkökulmana oli matkustajan matkajan minimoiminen muodostamalla mahdollisimman tarkkoja pysäkkiaikatauluja. Pysäkkiaikataulujen määrittelyn pohjana käytetään aikataulusuunnittelussa tuotettavia ajoaikoja, joiden tarkasteluun tässä työssä keskityttiin. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman täsmällisiä ajoaikoja tuottava määrittelyattribuutti.

Tarkempina tutkimuskysymyksinä olivat nykyisten suunnitteluperiaatteiden toimivuus, ajoaikoihin vaikuttavat tekijät, sekä optimaalisin määrittelyattribuutti HSL:n käyttöön. Lisäksi pyrittiin etsimään esimerkkejä ja suosituksia käytettäviksi määrittelyattribuuteiksi sekä määrittämään millainen liikenne on täsmällistä.

Tuloksena saatiin määriteltyä HSL:n käyttöön sopivin määrittelyattribuutti, sekä käyttötavat kyseiselle attribuutille. Lisäksi työn tuloksena saatiin tietoa linjojen ajoaikojen ja täsmällisyyksien nykytilasta sekä yleistä tietoa ajoaikojen määrittelyyn liittyvistä ongelmista.

Kirjallisuustutkimuksen avulla pyrittiin löytämään esimerkkejä käytettävistä ja suositelluista määrittelyattribuuteista. Esimerkkejä määrittelyattribuuteista saatiin myös kyselytutkimuksen avulla, johon saatiin seitsemän vastausta kansainvälisiltä toimijoilta. Lisäksi tarkasteltiin tarkemmin matkustajan kokemaa täsmällisyyttä ja odotusaikaa. Käytössä oli myös JENNA –tutkimuksen tulokset, joiden avulla pystyttiin arvioida matkustajien kokemaa täsmällisyyttä HSL:n liikenteessä nykytilanteessa.

Joukkoliikenteen luotettavuus on tärkeä tekijä joukkoliikenteen kilpailukyvyille. Tärkeänä osana luotettavuutta on se, kuinka täsmällisesti eri liikennevälineet liikennöivät. Täsmällisyyttä voidaan kuvata toteutuneiden pysäkkien ohitusaikojen suhteena suunniteltuun ohitusaikaan. Täsmällisen liikenteen määrittelyssä käytetään apuna täsmällisyysindikaattoreita. Useissa maissa on kirjallisuustutkimuksen perusteella käytössä erittäin tiukkoja kriteerejä sallitun etuajassa ajamisen määrästä myöhästymiseen suhtautumisen ollessa hyväksyttävämpää. Matkustajan kannalta etuajassa ajamisen haitallisuus korostuu suhteessa myöhässä ajamiseen erityisesti suurten vuorovälien linjoilla.

Nykytila-analyysin perusteella etuajassa ajamista on esiintynyt hyvin vähän erityisesti YTV -taustaisilla linjoilla, ja myös HKL -taustaisilla linjoilla etuajassa ajaminen on ollut siedettävää. Myös JENNA –tutkimuksen mukaan matkustajat kokevat pääkaupunki-seudun liikenteessä etuajassa ajamista suhteellisen vähän (Kurri 2011).

Etujassa ajamisen vähyys ei kuitenkaan tarkoita, että linjat olisivat liikennöineet täsmällisesti. Suuret hajonnat linjan ajoajoissa aiheuttavat merkittäviä myöhästymisiä ja mahdollisesti myös merkittävää etuajassa ajamista, mikäli ajoaikaa määriteltäessä myös etuajassa ajamista sallitaan. Lisäksi, koska HSL:ssä määriteltävät ajoajat ovat sekä matkustajien että kuljettajien tarpeisiin samat, voidaan todeta, että liian kireitä ajoaikoja ei pitäisi määritellä. Liian kireät ajoajat voivat aiheuttaa kuljettajalle turhaa kiireen tuntua. Toisaalta kireitä ajoaikoja käyttämällä annetaan matkustajalle liian optimitinen kuva linjan todellisesta kulkemisesta reitillään erityisesti linjoilla, joilla ajoajojen hajonta on suurta. Tärkeää olisi kuitenkin löytää tasapaino esitettyjen tarpeiden välillä.

Määrittelyattribuuttien testauksessa voitiin todeta persentiilien käyttäytyvän oletetusti, jolloin mitä suurempaa persentiiliä käytetään, sitä enemmän etuajassa ajamista aiheutuu. Toisaalta kuitenkin etuajassa ajamisen määrä on minuutteina pienempää kuin myöhästymisten, joka aiheutunee aineiston vinoudesta. Käytettäessä täsmällisyyskriteerinä -1, +2, joka ottaa huomioon etuajassa ajamisen haitallisuuden suhteessa myöhästymiseen, saatiin 30- sekä 40- persentiileillä eniten kyseistä täsmällisyyskriteeriä toteuttavia lähtöjä. Lisäksi voidaan todeta, että erittäin pienillä hajonnoilla eri määrittelyattribuuttien välille ei pystytä saamaan merkittäviä eroja, kun suurin osa mittauksista voi sijoittua täsmällisyyskriteerin arvojen sisäpuolelle. Toisaalta suurilla hajonnoilla käytettävän määrittelyattribuutin merkittävyys vähenee.

Tehtyjen tarkasteluiden perusteella suositellaan persentiiliä 40 käytettäväksi ajoajojen määrittelyparametrina aikataulusuunnittelussa. 40 –persentiili on toimiva määrittelyattribuutti lähes kaikilla hajonnoilla ja vastaa kirjallisuustutkimuksessa esiteltyjä suositusarvoja. Tällä persentiilillä tuotetut ajoajat huomioivat etuajassa ajamisen haitallisuuden matkustajalle, mutta ajoajat eivät kuitenkaan ole merkittävästi kireämpiä kuin esimerkiksi aiemmin käytetyllä 50 –persentiilillä tuotetut, jolloin ajoajat säilyvät kuljettajille ajettavina.

Työssä pyrittiin myös hakemaan vastausta siihen, onko mahdollista, että tietyllä mittauksien hajonnalla ei pystytä täsmällistä ajoaikaa tekemään, vaikka käytössä olisi kaikki mahdolliset tavat määritellä ajoajat. Tällaisia tapauksia pystyttiin tarkastelluilta linjoilta

löytämään, ja näiden linjojen kannalta voidaan todeta, että toimenpiteisiin linjan luotettavuuden kannalta on ryhdyttävä, jotta linjalle voidaan muodostaa ajoajat, jotka mahdollistavat mahdollisimman täsmälliset aikataulut. Lisäksi suurien hajontojen karsiminen esimerkiksi välipistepysäkkejä käyttämällä on perusteltua, koska tällöin matkustajan kokema täsmällisyys ja luotettavuus paranevat. Koska matkustajan ajoneuvossa viettämän ajan painokerroin on huomattavasti pienempi kuin odotusajan, matkustajalle mahdollisesti ylimääräisistä odotuksista välipisteissä seuraava lisäaika kompensoituu.

### **6.1.1. Yhteenveto käytettävistä ajoajoista**

Tässä työssä tehtyjen tarkastelujen perusteella ehdotetaan ajoaikojen määrittelyn pohjaksi 40 -persentiiliä. Vaikka yleissääntönä voidaan pitää tätä 40 -persentiiliä, linjojen ajoaikojen hajonnan piirteet, kuten hajonnan suuruus ja vaihtelu reitillä, mahdollistavat linjojen karkean jaon kolmeen ryhmään, jotka vaativat vielä tarkempaa tarkastelua suunniteltaessa. Voidaan tunnistaa seuraavat tapaukset:

1. Linjat, joilla ajoaikojen hajonta on pientä kaikilla reitin osilla. Tällaisia linjoja ovat esimerkiksi liityntälinjat. Mikäli linjojen hajonta on pientä, voidaan 40 -persentiiliin sijasta käyttää ajoaikojen määrittelyssä keskiarvoja tai mediaania (Boyle ym. 2009). Näin siinä tapauksessa, että mediaania tai keskiarvoa käytettäessä etuajassa ajaminen on minuutteina mitattuna myös pientä.
2. Linjat, joilla ajoaikojen hajonta on suurempaa, mutta hajonta on vielä sellaista, että persentiiliin määrittely on mahdollista siten, että voidaan tuottaa vielä kohtuullisen täsmällisiä ajoaikoja. Tällöin 40 -persentiiliin käyttö on suositeltavaa lähes kaikissa tapauksissa.
3. Linjat, joiden ajoaikojen hajonta on niin suurta, ettei minkäänlaista persentiiliä tai intervallia käyttämällä ole mahdollista muodostaa sellaisia ajoaikoja, jotka tuottaisivat täsmällistä matkustajainformaatiota. Tällaisilla linjoille pitää suorittaa tarkasteluja, ja mahdollisilla infrastruktuuriparannuksilla, reittimuutoksilla tai välipisteitä lisäämällä hajontaa tulisi pienentää. Näilläkin linjoilla pitäisi kuitenkin pyrkiä käyttämään 40 -persentiiliä, mikäli toimenpiteisiin ei pystytä nopealla aikataululla ryhtymään

## **6.2. Päätelmät**

### **6.2.1. Tulosten merkittävyys**

Persentiili 40 on tämän tutkimuksen perusteella yleisesti soveltuvin määrittelyattribuutti HSL:n linjojen ajoaikasuunnittelussa. Kyseinen persentiili ottaa huomioon etuajassa ajamisen haitallisuuden, mutta säilyttää aikataulut ajettavina ja estää myöhästymisten määrän mittavaa kasvua. Persentiiliä 40 voidaan useissa tapauksissa käyttää tällä hetkellä käytetyn 50 –persentiilin sijasta, jolloin etuajassa ajavien lähtöjen määrän voidaan olettaa pienentyvän. Seurauksena matkustajien kokema täsmällisyys kasvaa sekä odotusajat voivat pienentyä erityisesti suurten vuorovälien linjoilla. Huomattavaa kuitenkin on, että mikäli linjalla on suuri hajonta, ei persentiilin muuttamisesta aiheutune huomattavaa eroa täsmällisyyteen.

Matkustajan kannalta yhtenäisten suunnitteluperiaatteiden merkitys korostuu, jos matkustetaan useilla eri linjoilla, tai linjoilla, joiden käyttäytymistä ei tunneta. Mikäli voidaan olettaa, että kaikki linjat HSL -alueella olisivat suunniteltu siten, että käytössä on 40 -persentiili ainakin suurimmalla osalla matkaa, matkustajat voisivat totuttautua siihen tietoon, että linjan etuajassa ajaminen on mahdollista, mutta etuajassa ajamista ei voi tapahtua useita minutteja. Vaihdollista matkaa tekevien matkustajienkin kannalta on tärkeää, että aikataulujen suunnitteluperiaatteet vastaavat toisiaan, jolloin todennäköisyys vaihdon onnistumiselle ei ole riippuvainen yleiseksi suunnitteluperiaatteeksi valitusta persentiilistä.

### **6.2.2. Tutkimuksen tekoon liittyvät rajoitteet ja epävarmuudet**

Tutkimuksessa on tarkasteltu kymmentä HSL –alueen linjaa. Kuitenkin näidenkin linjojen osalta on jo ollut havaittavissa, että jokainen linja eroaa ominaisuuksiltaan toisistaan, ja esimerkiksi pituudeltaan samankaltaisissa linjoissa voi olla merkittäviä eroja. Tämän vuoksi tämän tutkimusten tulosten laajentamisessa koskemaan koko HSL:n linjastoa tulee olla harkitsevainen.

Ajoaikojen määrittelyssä käytettävät mittauksen toteutuneista ajoajoista ovat laadultaan heikkoja. Lähdöittäin tarkasteltuna otoskoot jäivät tutkimuksessa huomattavan pieniksi verrattuna oletettuihin otoskokoihin. Lisäksi ladattaessa mittauksia ATP:hen mittausten määrä karsiutuu entisestään, ja aineiston laatu heikkenee edelleen. Tämän vuoksi tässä työssä on käytetty enemmän keskiarvoja lähtökohtaisista luvuista kuin lähtökohtaisia tarkasteluja.



Tuloksien tarkastelussa on huomioitava, että vaikka tehdyt ajoajat perustuvat samaan aineistoon, kuin vertailuaineisto, on näissä aineistoissa eroja. ATP:ssa aineistoa on käsitelty poistamalla aineiston reunoilta hajanaisia mittauksia. Vertailuaineistossa karsintaa on tapahtunut, kun mukana on ainoastaan täsmällisesti lähtöminuutille tallentuneet mittaukset.

Edellisvuoden toteutuneista ajoaikamittauksista tehtyjen ajoaikojen ei voida olettaa toteutuvan täsmällisesti seuraavalla aikataulukaudella. Ajoajoissa on yleisesti kasvava trendi esimerkiksi muun liikenteen lisääntymisen seurauksena. Tällöin mikäli mikään poikkeusolosuhde ei ole vaikuttanut määrittelyaineistoon, voidaan olettaa 40 – prosenttiilillä suunniteltujen ajoaikojen painopisteen siirtyvän myöhästymisten puolelle seuraavana aikataulukautena. Tällöin on mahdollista, että etuajassa ajamista tulee vielä vähemmän kuin 40 -prosenttiilillä määritelty ajoaika mahdollistaisi. Lisäksi kirjallisuustutkimuksessa todettu kuljettajien käyttäytyminen ajoaikaa kasvattavasti vaikuttaa myös tähän.

On lisäksi todettava, että linjan liikennöintiolosuhteilla seuraavana aikataulukautena on merkittävä vaikutus siihen, kuinka suunnitellut ajoajat toteutuvat. Onkin tärkeää myös tarkastella niitä tekijöitä, jotka liikennöintiolosuhteisiin vaikuttavat (esimerkiksi infrastruktuurimuutokset, ruuhkat, kuljettajien ajotapa) ja pyrittävä mahdollisuuksien mukaan vähentämään näiden tekijöiden vaikutusmahdollisuuksia, jotta muodostettavat ajoajat voisivat myös käytännössä toimia tavoitellulla tavalla.

### **6.3. Jatkosuositukset**

Tällä hetkellä aikataulusuunnittelijoiden käytössä ei ole työkaluja, joilla he voisivat tarkastella määrittelemiään ajoaikoja esimerkiksi täsmällisyyden suhteen. Mittauksiin sovitettujen ajoaikalinjat eivät välttämättä kerro ajoajan todellista sijaintia suhteessa etuajassa ja myöhässä ajamiseen mikäli mittauksia on paljon kasaantuneina samoille kohdille. Tarpeen olisikin selvittää, voisiko HASTUS -ohjelmiston avulla saada tällaista tarkempaa analysointitietoa, jolloin esimerkiksi suurten hajontojen linjoilla suunnittelija pystyisi helpommin hahmottamaan, kuinka suurta myöhästymistä ja etuajassa ajamista eri määrittelyattribuuttien käytöstä seuraa. Tällöin voitaisiin myös helpommin tunnistaa linjat, jotka tarvitsevat toimenpiteitä hajonnan tasaamiseksi, jotta täsmällisten aikataulujen luominen olisi mahdollista.

Suunnittelun oman laadunvarmistuksen kannalta olisi myös tärkeää määritellä selkeä täsmällisyysindikaattori, johon suunnittelussa pyritään. Luotettavuusindikaattorissa

mahdollisesti käytettävä -1, +2 minuuttia voi olla suunnittelun kannalta liian tiukka, ja tulisikin harkita esimerkiksi indikaattorien -1, +5 tai 0,5 käyttöä.

ATP:hen ladattavien mittausten oikeellisuuksien vaikutus on merkittävää määrittelyjen onnistumiseksi. Tällä hetkellä useilla linjoilla latausten määrä ei ole riittävä luotettavien analyysien tekemiseksi. GPS -laitteiden yleistymisen myötä mittausten määrän voidaan olettaa lisääntyvän, jolloin tähän ongelmaan saataneen ratkaisu. Toisaalta analyysiin vaikuttaa liian pienet ja suuret mittaukset, joiden poistaminen ATP:ssa tapahtuu tällä hetkellä käsin. Tätä työtä helpottamaan ja analyysin tulosta parantamaan olisi tarpeen luoda menetelmä, jolla esimerkiksi poikkeuksellisista sääoloista johtuvat mittaukset tulevat karsituiksi jo ennen mittauksien latausta ATP:hen. Poikkeuksellisten sääolosuhteiden lisäksi merkittävät tietyt ja kesken aikataulukauden tapahtuneet nopeusrajoitusten muutokset pitäisivät olla suunnittelijan tiedossa, jotta näistä seuranneet poikkeukselliset mittaukset voitaisiin poistaa havainnoista. Jotta tällaisten mittauksien poistaminen olisi mahdollista, tulee erilaisten infrastruktuurihankkeiden kirjaamisen olla säännöllistä ja vaikutus eri linjoihin olla tunnistettavissa. Tämä edellyttänee eri osastojen selkeää työnjakoa ja tarkoin määriteltyä prosessia, jonka avulla tällaiset ongelmat pystytään tunnistamaan ja tieto saadaan välitettyä suunnittelijalle, joka pystyy tällaiset päivämäärävälit poistamaan käsittelemästään mittausaineistosta.

Mikäli tässä työssä tuotetut tavat määritellä ajoaikoja otetaan käyttöön aikataulusuunnittelussa, tulisi myös selvittää, pitäisikö matkustajille tiedottaa laajemmin aikataulusuunnitteluperiaatteista joita HSL:llä käytetään. Tiedottamisen tarkoituksena olisi selvittää asiakkaille, kuinka mahdollista on, että bussi ohittaa pysäkin etuajassa.

Kirjallisuustutkimuksen sekä kyselytutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nousija- ja kuormitustietojen käyttö ajoikasuunnittelussa on huomattavasti vähäisempää HSL:ssä kuin monella muulla operaattorilla. Matkustajalaskentalaitteiden käyttö on lisääntymässä HSL:n linjoilla, mutta näistä saatavan tiedon integrointi Hastuksessa tapahtuvaan ajoikasuunnitteluun ja ajoaikojen määrittelemiseen tulee tutkia käytössä olevien mittauksien lisääntyessä.

Tässä työssä ei ole otettu kantaa siihen, pitäisikö eri paikkaväleillä käyttää erilaista persentiiliä reitin edetessä. Tätä tulisi kuitenkin tarkastella eri linjoilla, mutta koska näiden arvojen määräytyminen on paljon kiinni linjan luonteesta ja sen kuormittumisesta eri paikkavälillä, ei tähän ole otettu kantaa tässä työssä. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että koko sivun ajoajan kannalta, mikäli linja on sellainen, ettei nousijoita enää reitin loppuvaiheilla ole, voi persentiilin nostaminen yli 40 olla kannattavaa. Tällöin

myös mahdollisesti kuljettajan kokemaa painetta kireästä ajoajasta voidaan vähentää, ja tällöin myöskään matkustaja ei saa koko linjaa koskevaa liian optimistista arvioitua saapumisaikaa linjan päätepysäkille. Toisaalta tämä voidaan kompensoida myös käytämällä riittävää päätepysäkkiaikaa.

## LÄHDELUETTELO

Airaksinen, S. & Wallin J. & Anttila, T. 2009. *Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma – A-osa*. HKL:n julkaisusarja D: 10/2009. 61 s.

ATP – By Path. 2010. User Guide. GIRO.

Balwanyos, T. & Owen B. 2008. *Use of Automated Vehicle Location and Passenger Counters in Planning and Scheduling at Pace Suburban Bus*. Transport Chicago conference 2008. [Viitattu 17.1.2012] Saatavissa:

<http://www.transportchicago.org/uploads/5/7/2/0/5720074/betterbus-balwanyosowen.pdf>

Boyle, D. & Pappas, J. & Boyle, P. & Nelson, B. & Sharfarz, D. & Benn, H. 2009. *Controlling System Costs: Basic and Advanced Scheduling Manuals and Contemporary Issues in Transit Scheduling*. Transportation Research Board. 405 s. ISBN 978-0-309-11783-8

Bruinsma R. & van Vuuren, D.J. 1999. *Coping with unreliability in public transport chains*. [Viitattu 17.1.2012] Saatavissa:

<http://dSPACE.uvu.vu.nl/bitstream/1871/1527/1/19990031.pdf>

Carey, M..1998. *Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response*;

Transpn Res. -B. Vol 32:5. S. 329-324.Pergamon. [Viitattu 17.1.2012 ] Saatavissa:

<http://www.qub.ac.uk/research-centres/TransportResearch/FileStore/Filetoupload,10040,en.pdf>

Courval, M. 2011. Calibration of runtimes and layover requirements. TRAM & CIRRELT weekly transportation seminar. [Viitattu 14.1.2012] Saatavissa:

<http://tram.mcgill.ca/Teaching/seminar/presentations/McGill%20Seminar%20CSched-Runtime%20and.pdf>

Duarte, E. & Lage, B. 2008. *Travel time analysis for timetable improvements*. [Viitattu 17.1.2012] Saatavissa: <http://www.liaad.up.pt/~amjorge/docs/Triana/Duarte08.pdf>

El-Geneidy, A.M. & Hourdos, J. & Horning & J. 2009. *Bus Transit Service Planning and operations in a competitive environment*. Journal of Public Transportation, Vol. 12:3. S. 39-59. [Viitattu 20.10.2010] Saatavissa: <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT12-3ElGeneidy.pdf>.

Furth, P & Hemily B. & Muller, T.H.J. & Strathman J.G.2006. *Using Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Managemen*. TCRP Report 113. Wachington, USA: Transportation Research Board. 94 s.ISBN-10: 0-309-09861-0 (sähköinen).

Furth, P. & Muller, T. 2006. *Service reliability and hidden waiting time: Insights from automatic vehicle location data*. Transportation Research Record. Vol.1955. S. 79-87. [Viitattu 29.9.2011]. Saatavissa:  
<http://www1.coe.neu.edu/~pfurth/Furth%20papers/2006%20Service%20reliability%20%20hidden%20waiting%20time,%20Furth%20%20Muller%20TRR.pdf>

Furth, P. & Muller, T.H.J.2007. *Service realibility and optimal running time schedules*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 2034/2007 s. 55-61. DOI 10.3141/2034-07.

Guenthner, R.P. & Hamat, K. 1988. *Distribution of Bus Transit On-Time Performance*. Transportation Research Record No. 1202, Transit Issues and Recent Advances in Planning and Operations Techniques. Washington, USA: Transportation Research Board. ISBN: 0-309-04801-X.

Guihare, V. & Hao. J-K. 2008. *Transit network design and scheduling: A global review*. Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 42:10. S. 1251-1273. [Viitattu 17.1.2012] DOI:10.1016/j.tra.2008.03.011.

Into, L. 2011. Talven vaikutus ajoaikoihin. Julkaisematon esitelmä.

*Joukkoliikenne hankearvioinnissa*, Tiehallinnon selvityksiä 40/2001. Tiehallinto, Helsinki. ISBN 951-726-788-6. [Viitattu 12.1.2012] Saatavissa:  
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200686.pdf>

Kurri, J. 2011. Joukkoliikenteen luotettavuuden ja ennustettavuuden arvo matkustajille (JENNA). Luonnos 2.9.2011. Saatu sähköpostilla projektitutkija Jari Kurrielta 16.9.2011.

Lautela, A. & Vanhanen, K. 2011. Aikataulujen luotettavuusindeksi ja luotettavuusraportti, alustava määrittely. Luonnos. Saatu sähköpostilla 16.9.2011.

Lehmuskoski, M. 2007. *YTV:n matkakorttijärjestelmään perustuvien joukkoliikenteen matka-aikaennusteiden kehittäminen*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 102 s.

Mazloumi, E. & S.M.ASCE & Currie, G. & Rose G. 2010. *Using GSP Data to Gain Insight Into Public Transport Travel Time Variability*. Journal of transportation Engineering. Vol. 136:7. S. 623-631. [Viitattu 6.10.2011]. Saatavissa: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000126](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000126)

Muller T.H.J & Furth P.G. 2000. *Integrating bus service planning with analysis, operation control and performance monitoring*. ITS America 10th meeting. [Viitattu 15.9.2011] Saatavissa: [http://50.56.99.157/component/docman/cat\\_view/9-personal-mobility?start=165](http://50.56.99.157/component/docman/cat_view/9-personal-mobility?start=165)

Nakanishi, Y.J. 1997. *Bus Performance Indicators, On-Time Performance and Service Regularity*. Transportation Research Record. Vol. 1571. S.3-13. [Viitattu 17.1.2012] Saatavissa: <http://www.utrc2.org/publications/assets/23/busperformance1.pdf>.

Ojala J. & Pursula M. 1994. Taajamien joukkoliikenteen suunnittelu ja hoito. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, opetusmoniste 13. Espoo. 237 s.

Oort, N. & Boterman J.W. & Nes, R. 2009. *Effect of driving-time determination and holding points on reliability*. Final paper for the 11th international conference on advanced systems for public transport. [Viitattu 17.10.2011]. Saatavissa: [https://www2.htm.net/Documenten/Final\\_paper\\_CASPT09\\_Van\\_Oort\\_Boterman\\_Improving\\_reliability.pdf](https://www2.htm.net/Documenten/Final_paper_CASPT09_Van_Oort_Boterman_Improving_reliability.pdf)

Pesonen, H. & Moilanen, P. & Tervonen, J. & Wieste, H. 2006. *Joukkoliikenteen palvelusotekijöiden arvottaminen*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 36/2006. 74 s. ISBN 952-201-568-7 8 (sähköinen).

Reinikainen, J. 2002. Pääkaupunkiseudun matkakortti-järjestelmän keräämien ajonuevotapahtumatietojen hyödyntäminen. 65 s.

Strathman, J. G. & Kimpel, T. J. & Dueker K. J. 1999. *Service Reliability Impacts of Computer-Aided Dispatching and Automatic Vehicle Location Technology: A Tri-Met Case Study*. [Viitattu 14.6.2011 ] Saatavissa: <http://www.upa.pdx.edu/CUS/publications/docs/PR125.pdf>

Strathman, J. G. & Kimpel, T. J. & Callas, S. 2004. *Improving Scheduling Performance Monitoring Using AVL/APC Data*. [Viitattu 17.1.2012 ] Saatavissa: [http://www.its.pdx.edu/upload\\_docs/1248894227awBVBI drTc.pdf](http://www.its.pdx.edu/upload_docs/1248894227awBVBI drTc.pdf)

TCQSM kts. Transit Capacity and Quality of Service Manual

*Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM)*. 2003. Transit cooperative research program. Report 100. 2<sup>nd</sup> edition. Part 3. ISBN 0-309-08776-7.

Trompet M. & Liu, X. & Graham D.J. 2010. *Development of a key performance indicator to compare regularity of service between urban bus operators*. Transportation Research Board 90th Annual Meeting (2011). [Viitattu: 27.9.2011]. Saatavissa: [http://www.imperial.ac.uk/workspace/rtsc/Public/Trompet\\_Liu\\_Graham%20Regularity%20F%20for%20TRB%20Compendium%20of%20papers.pdf](http://www.imperial.ac.uk/workspace/rtsc/Public/Trompet_Liu_Graham%20Regularity%20F%20for%20TRB%20Compendium%20of%20papers.pdf)

## **LIITTEET**

Liite 1 Nykytilanne, etuajassa ajaminen ja täsmällisysehdon täytyminen

Liite 2 Nykytilanne, etuajassa ja myöhässä ajamisen määrä

Liite 3 Määrittelyattribuuttien vertailu, etuajassa ajaminen

Liite 4 Määrittelyattribuuttien vertailu, täsmällisysehdon täytyminen

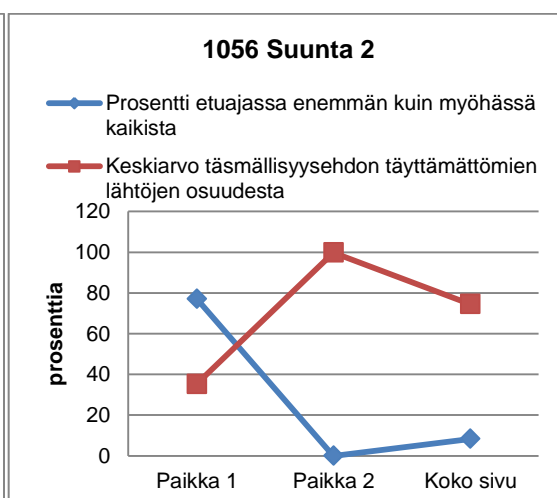
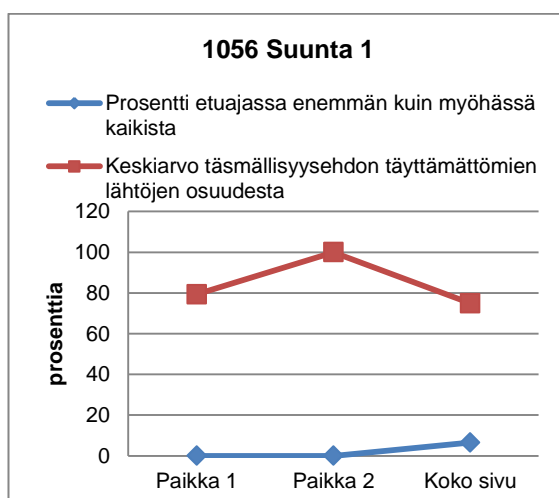
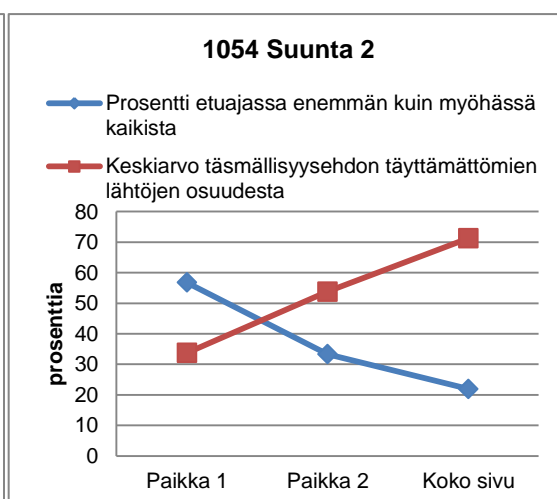
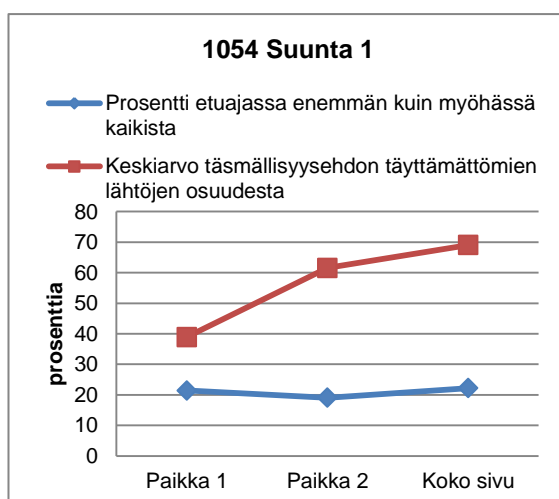
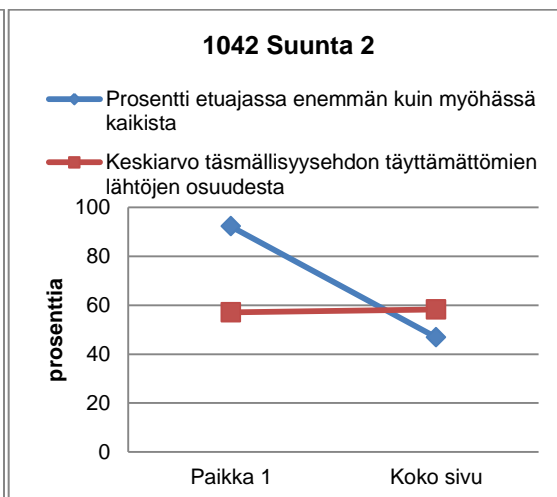
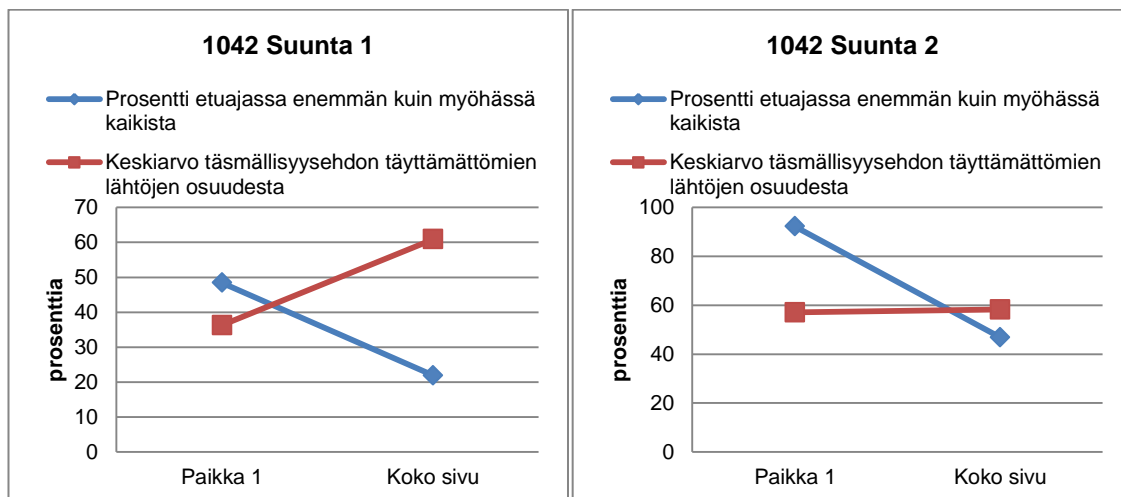
Liite 5 Määrittelyattribuuttien vertailu, etuajassa ja myöhässä ajamisen määrä

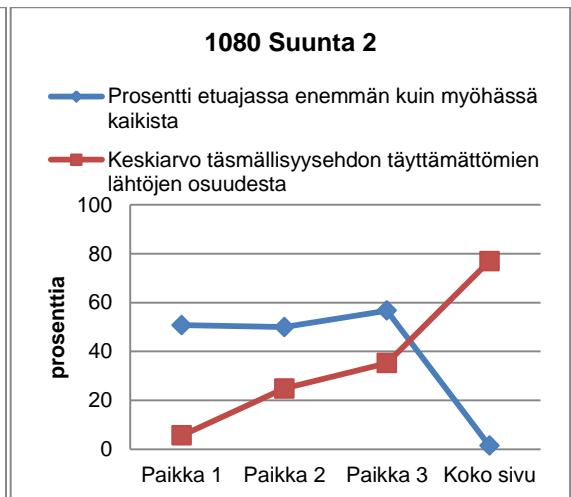
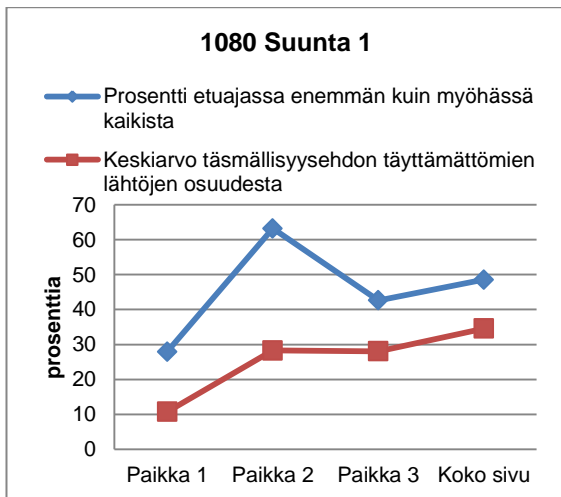
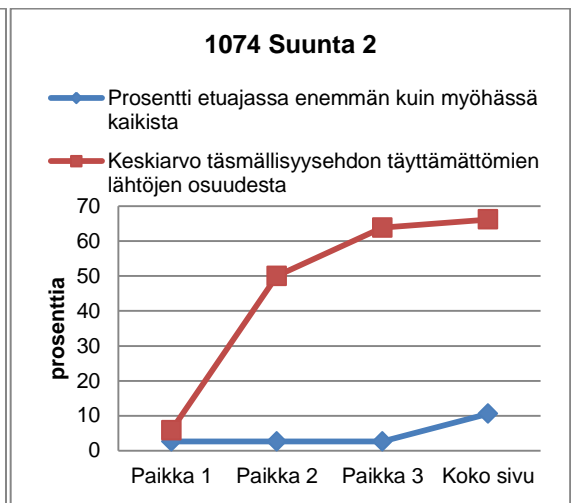
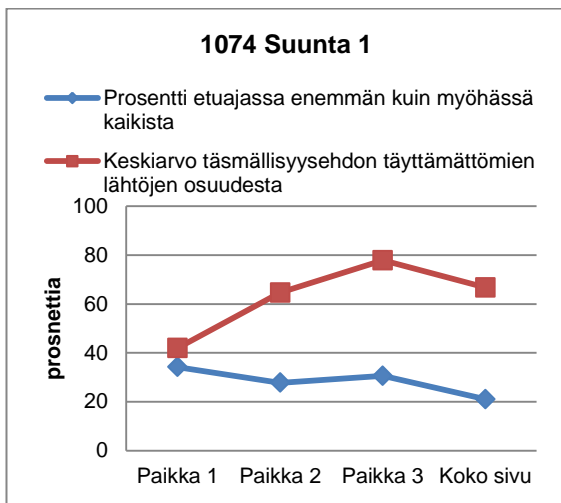
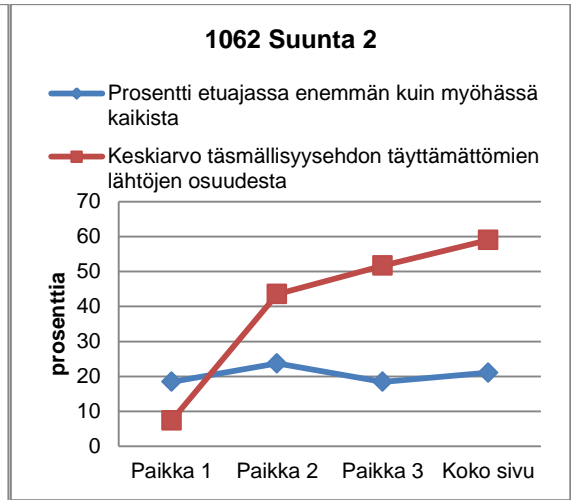
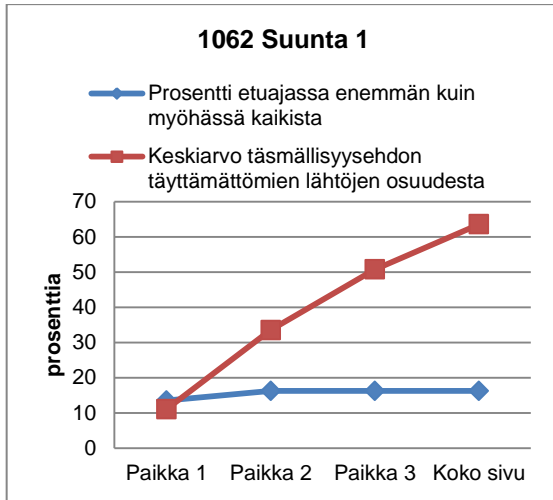
Liite 6 Linjojen reittikuvaukset ja reittien paikat

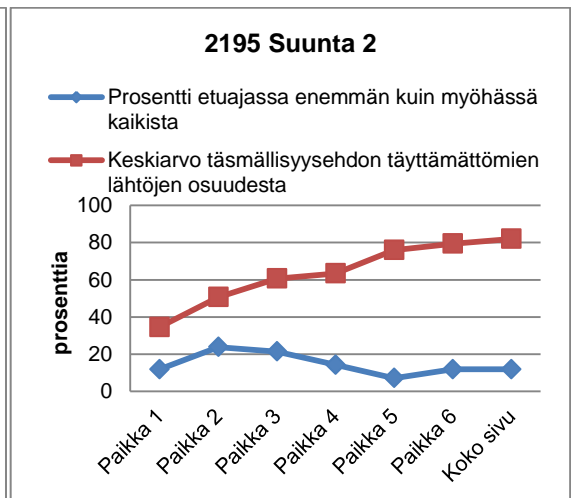
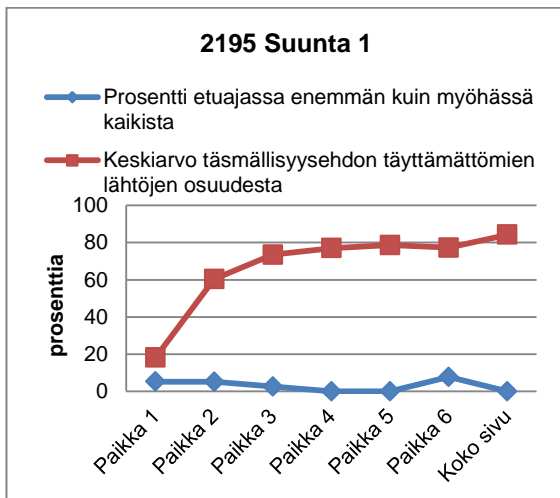
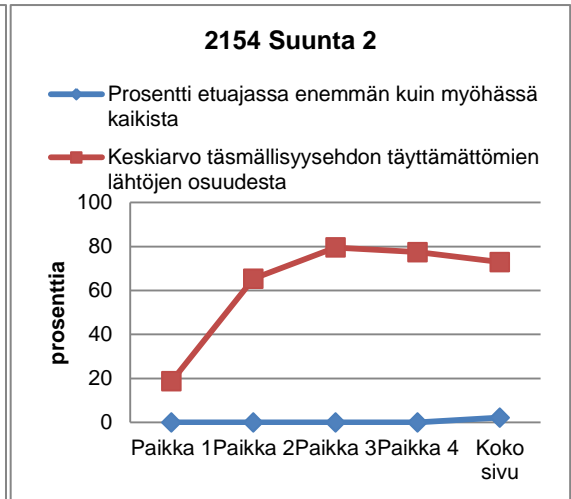
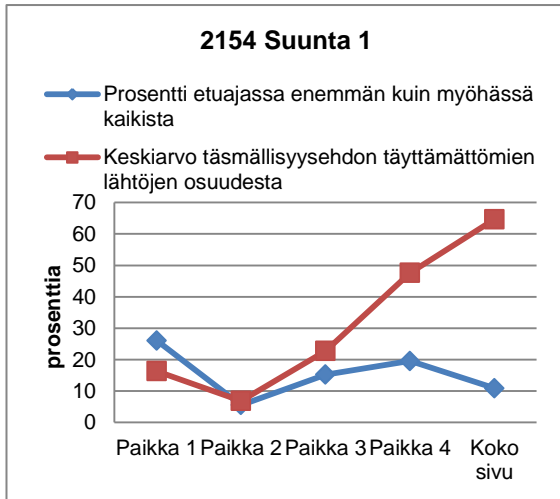
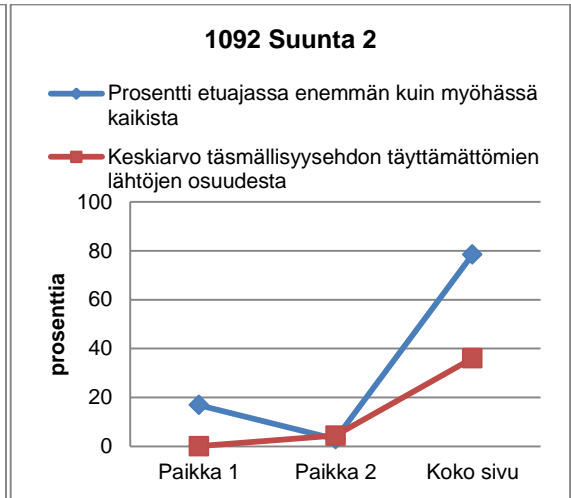
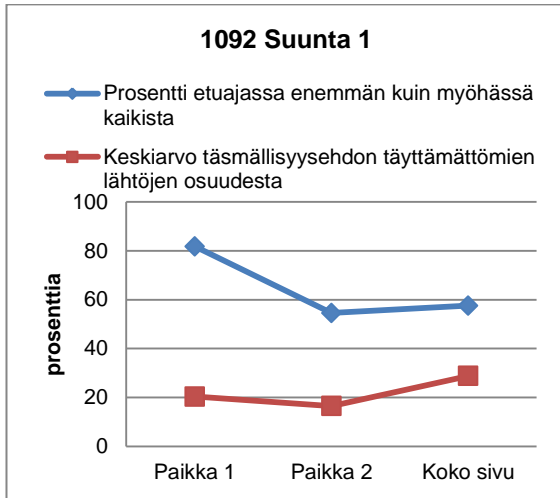
Liite 7 Kyselytutkimuksen kysymykset



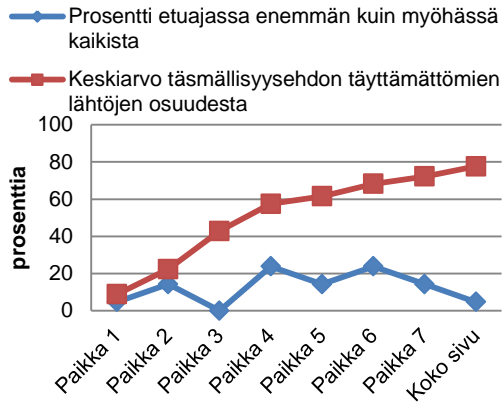
## NYKYTILANNE, ETUJASSA AJAMINEN JA TÄSMÄLLISYYSEHDON TÄYTTYMI- NEN



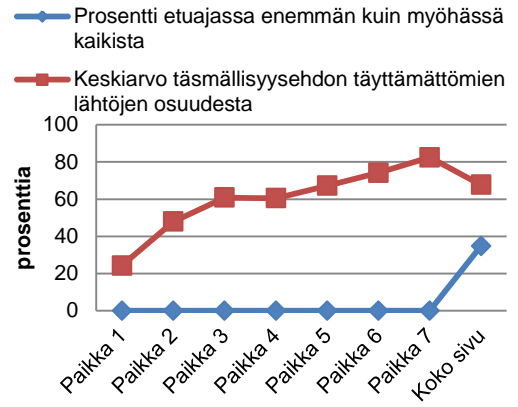




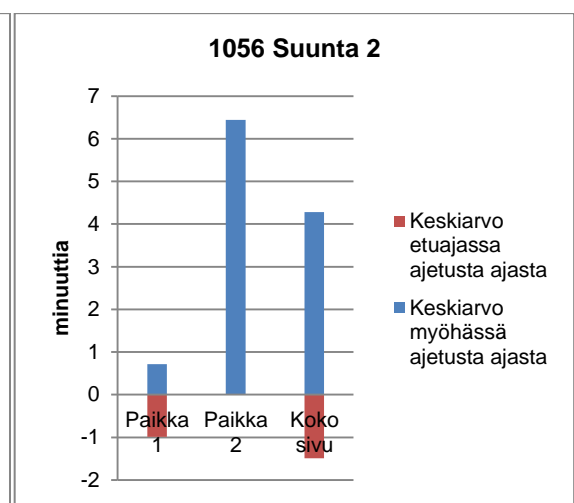
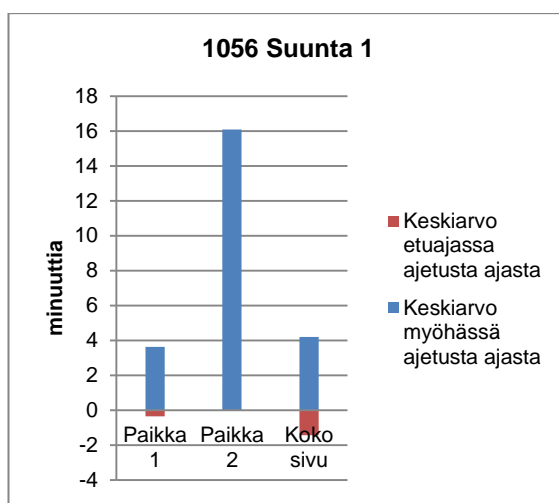
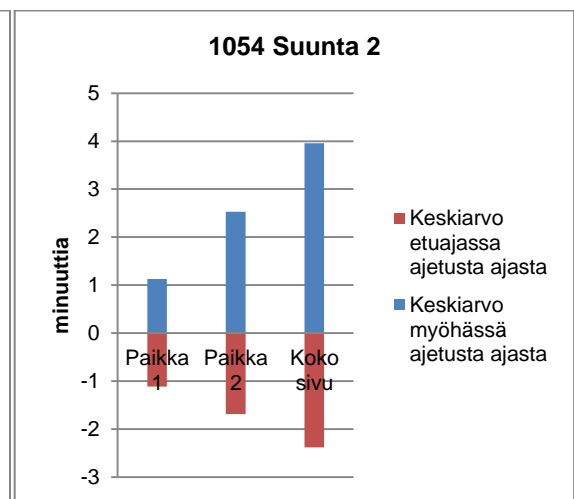
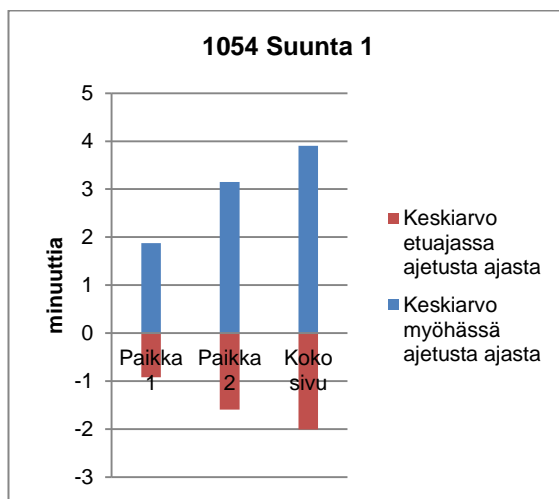
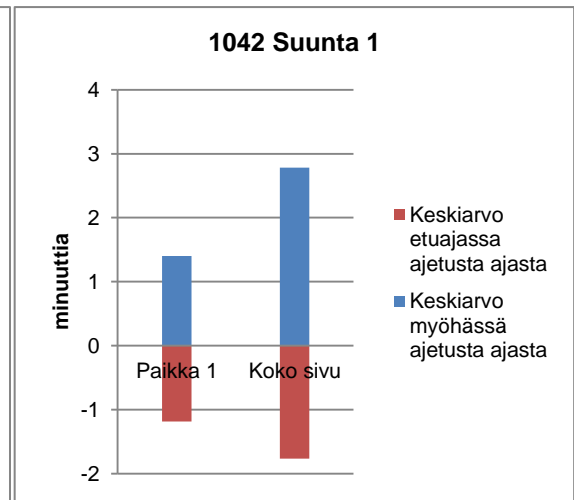
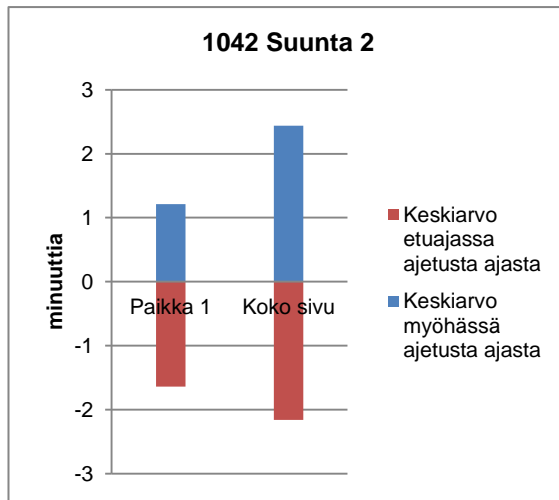
### 4623 Suunta 1

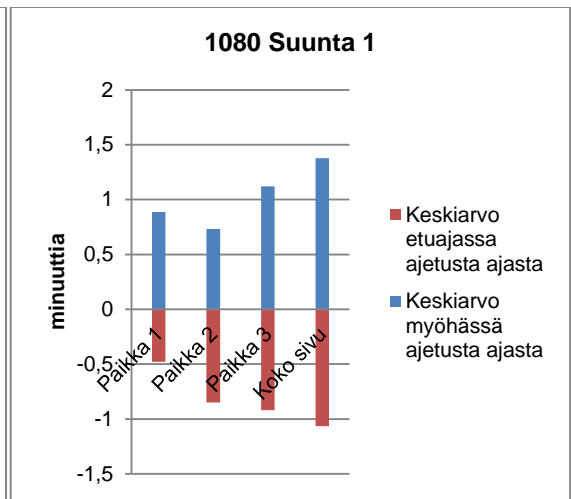
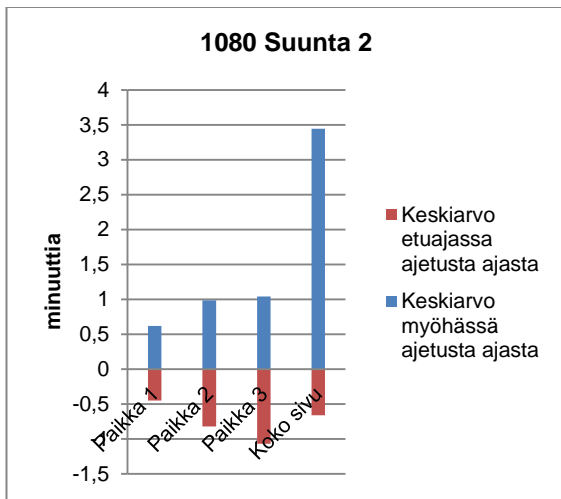
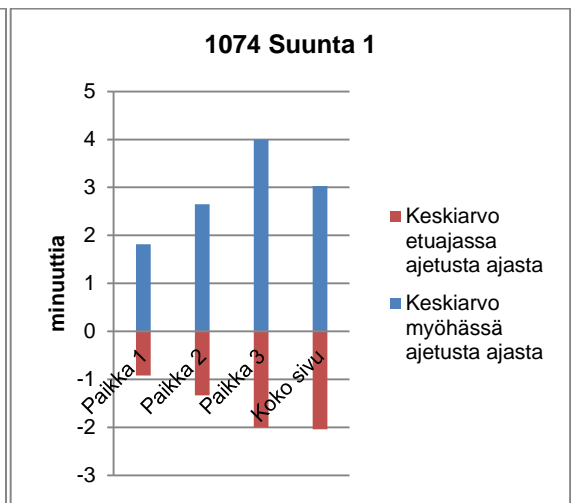
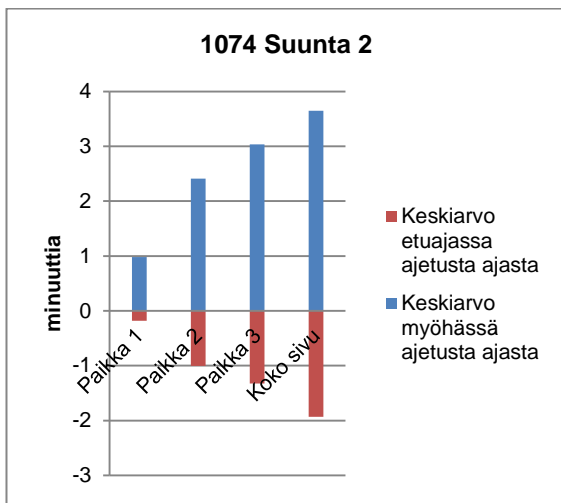
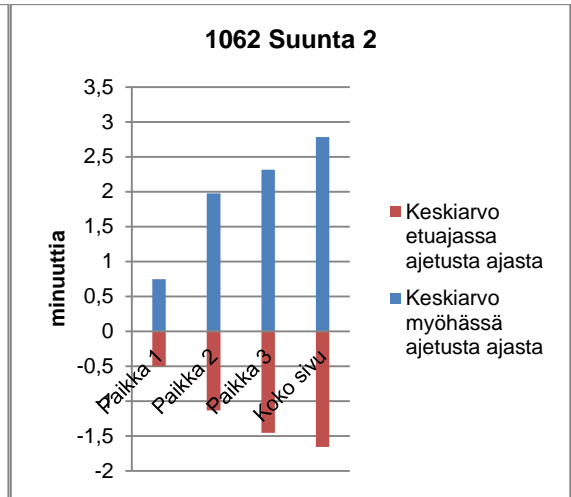
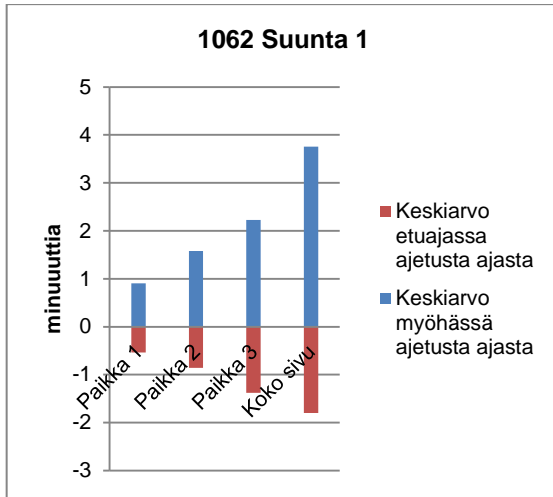


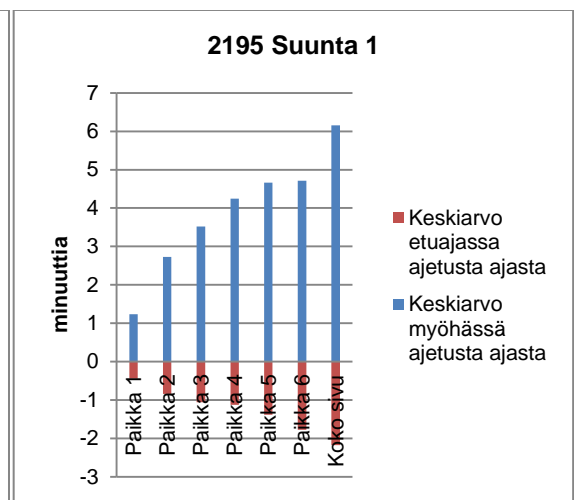
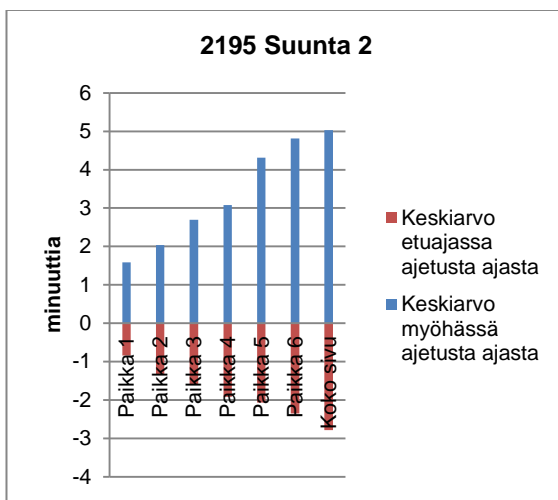
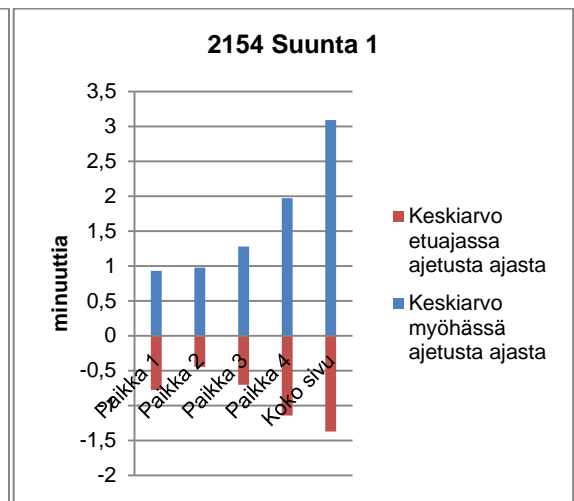
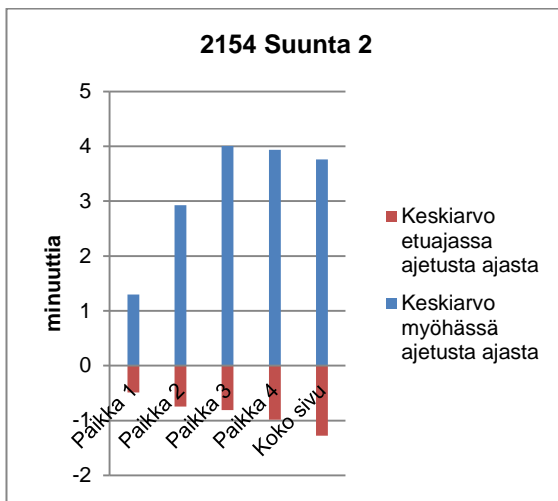
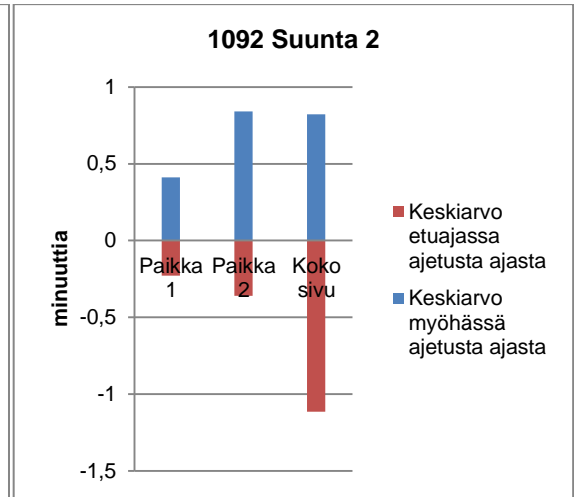
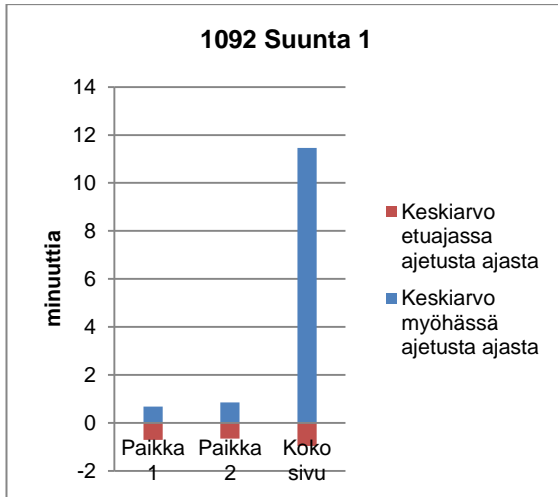
### 4623 Suunta 2

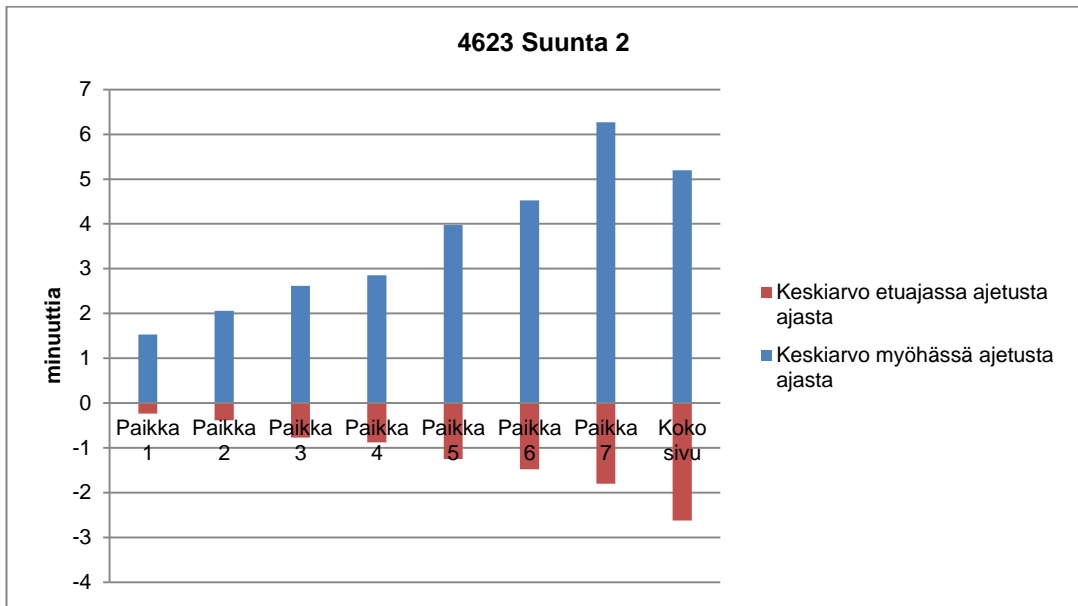
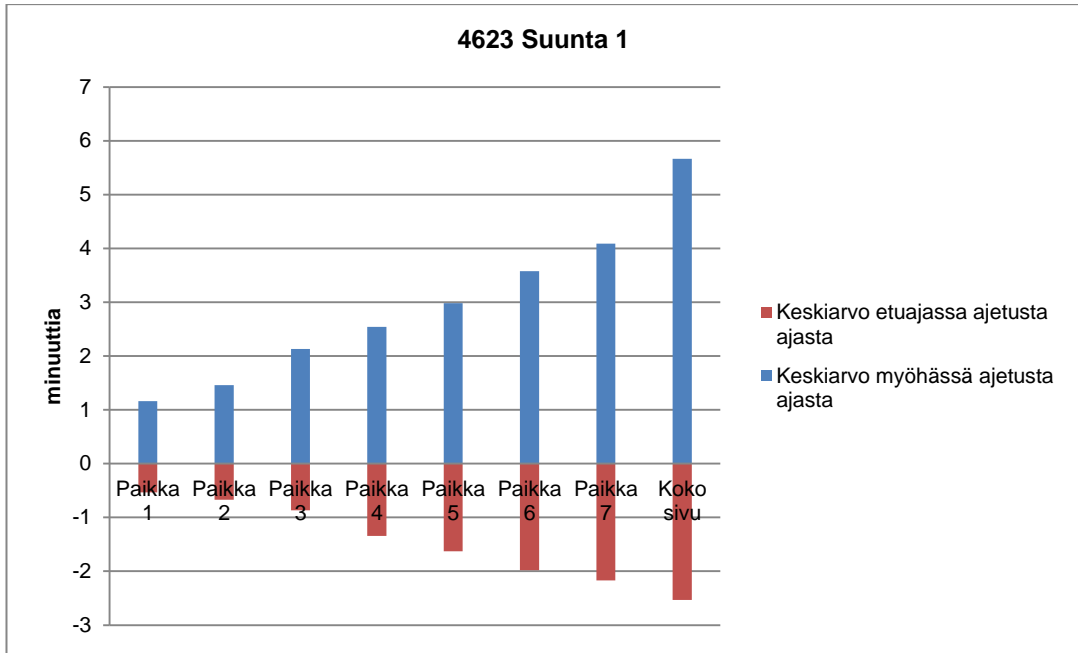


NYKYTILANNE, ETUJASSA JA MYÖHÄSSÄ AJAMISEN MÄÄRÄ



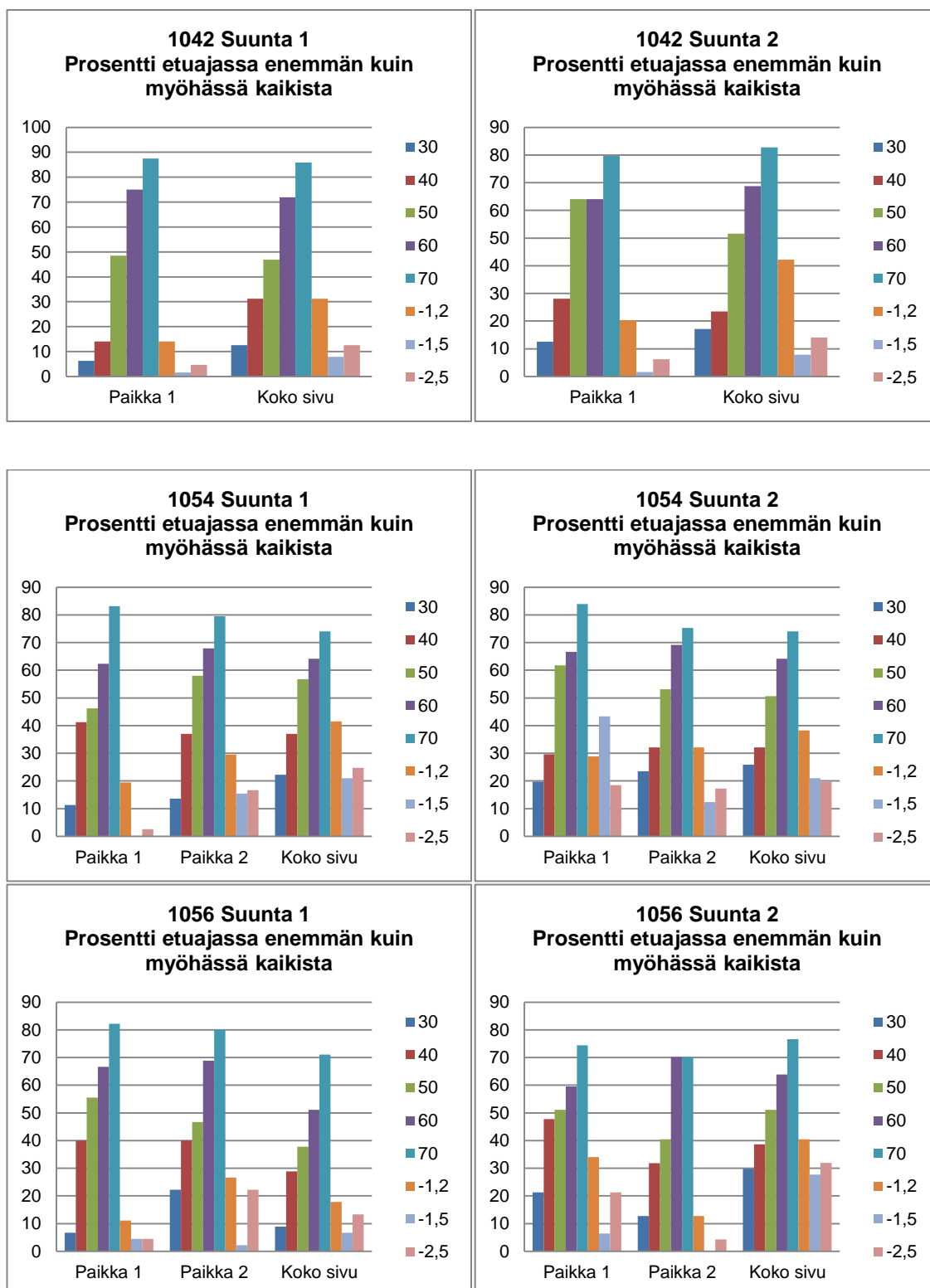




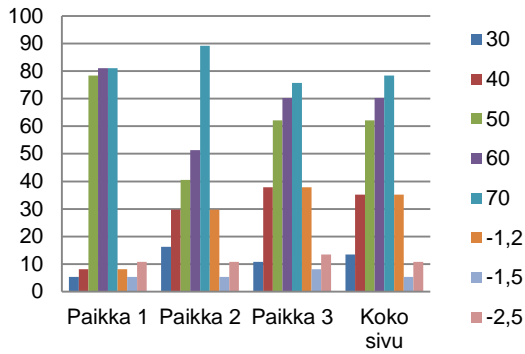




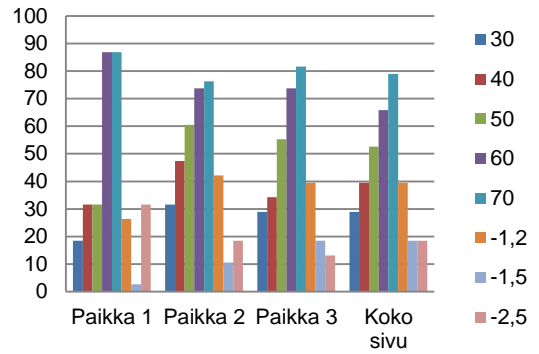
## MÄÄRITTELYATTRIBUUTTIIEN VERTAILU, ETUAJASSA AJAMINEN



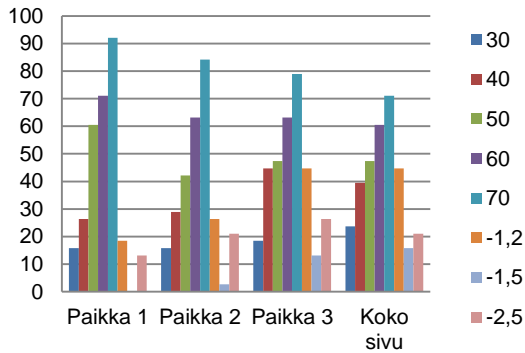
**1062 Suunta 1**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



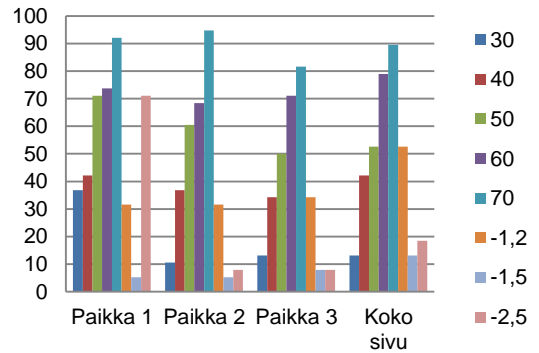
**1062 Suunta 2**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



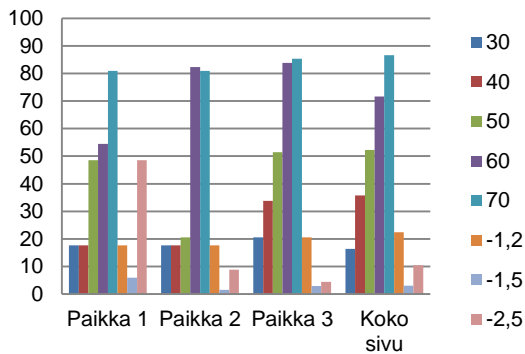
**1074 Suunta 1**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



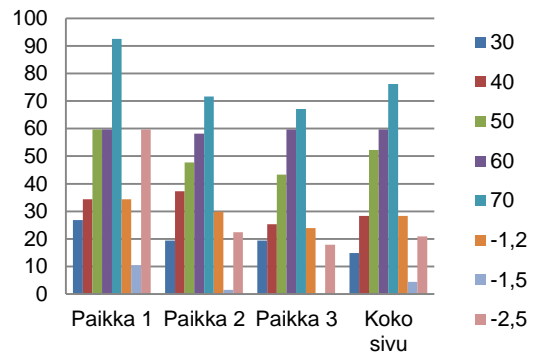
**1074 Suunta 2**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**

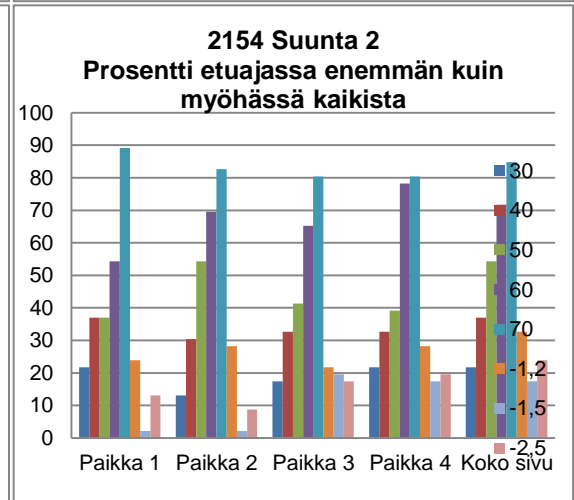
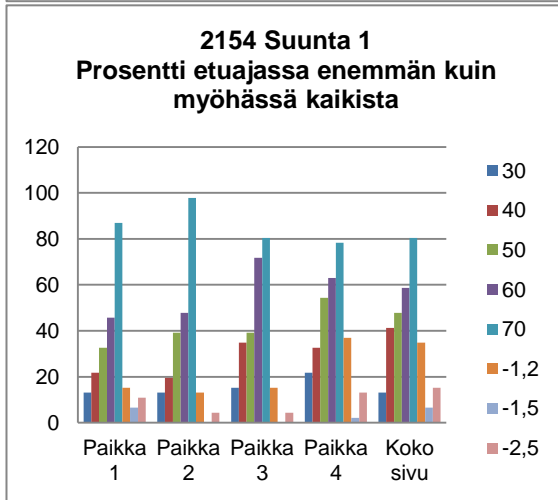
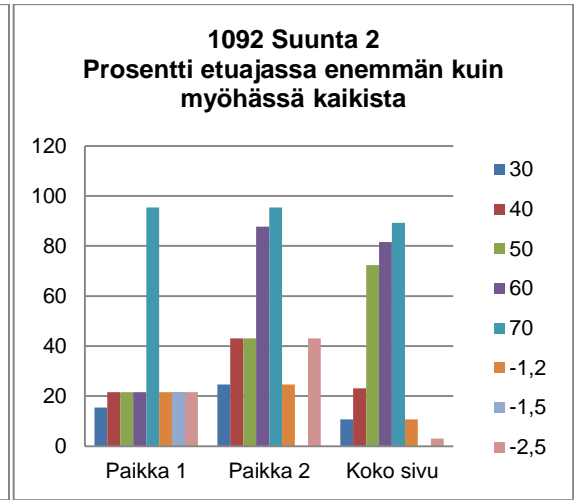
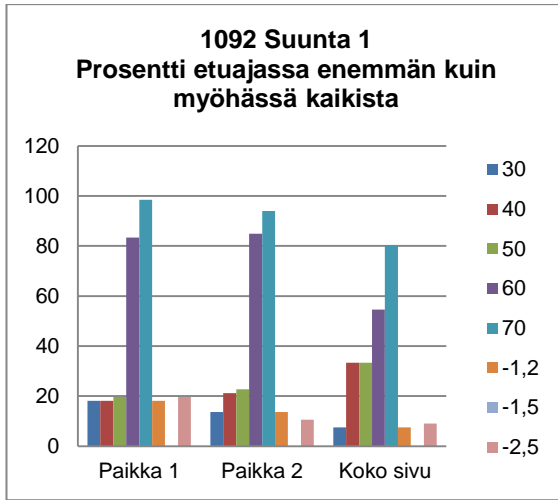


**1080 Suunta 1**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**

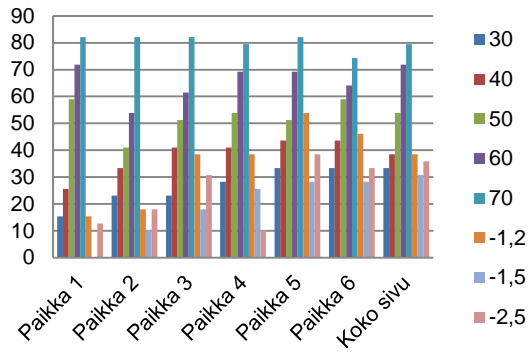


**1080 Suunta 2**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**

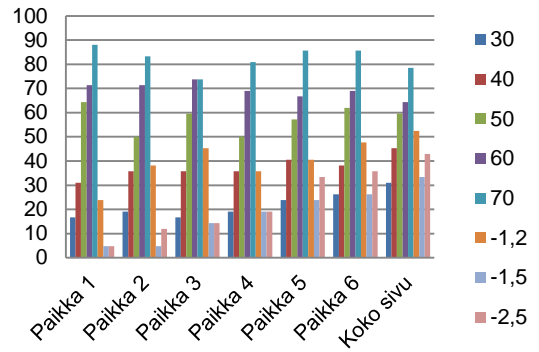




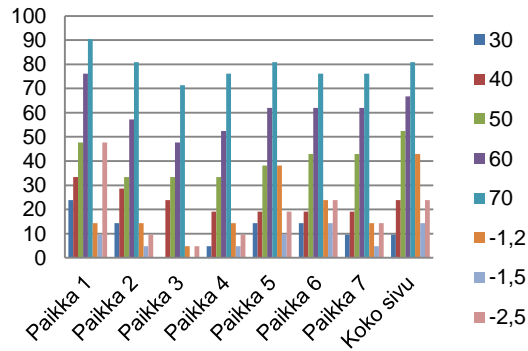
**2195 Suunta 1**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



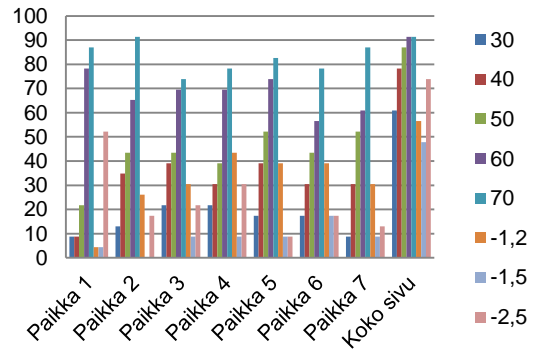
**2195 Suunta 2**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



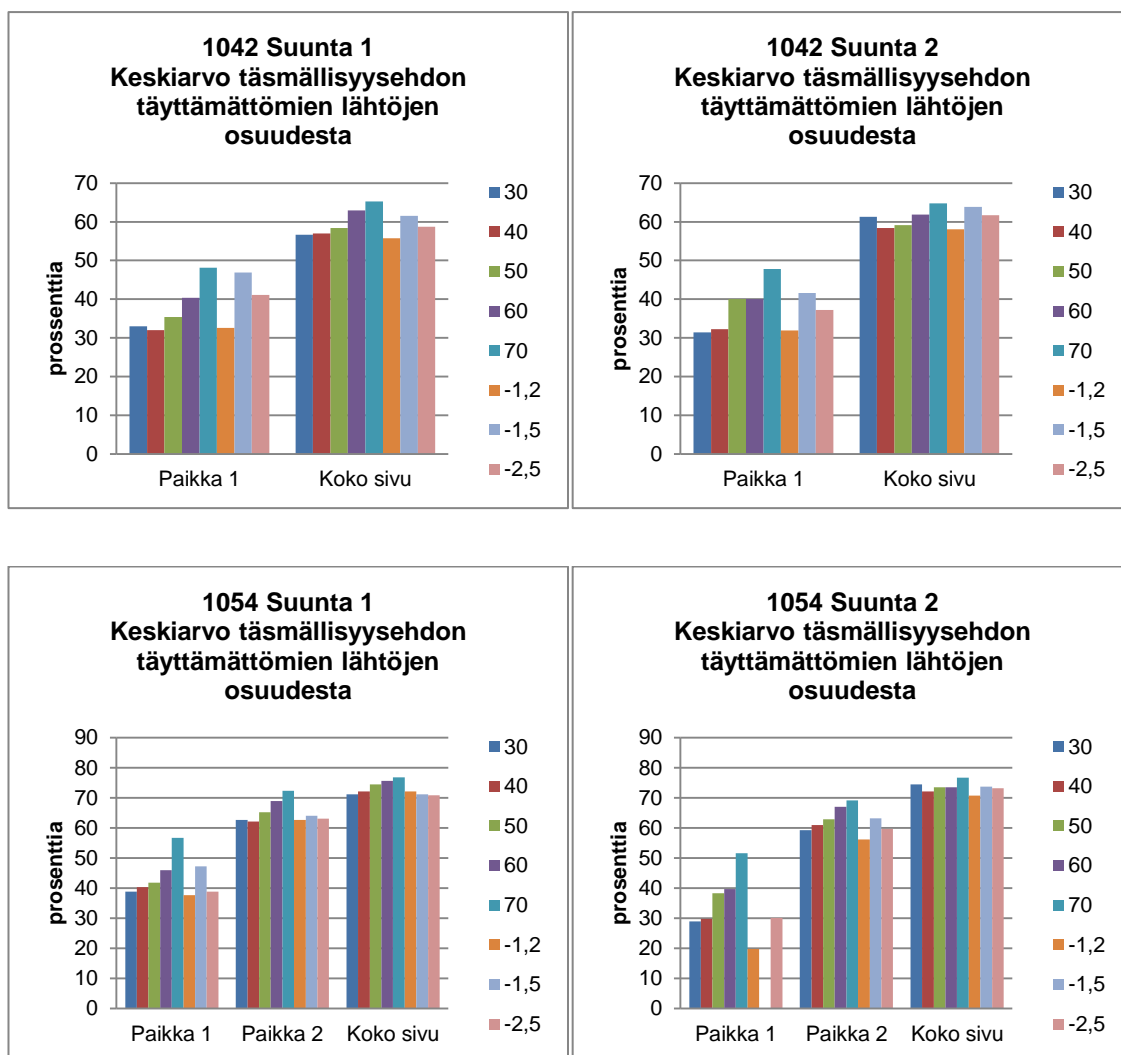
**4623 Suunta 1**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



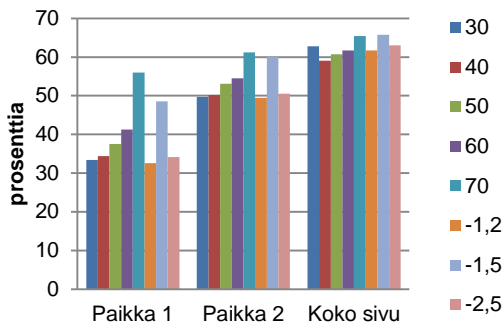
**4623 Suunta 2**  
**Prosentti etuajassa enemmän kuin myöhässä kaikista**



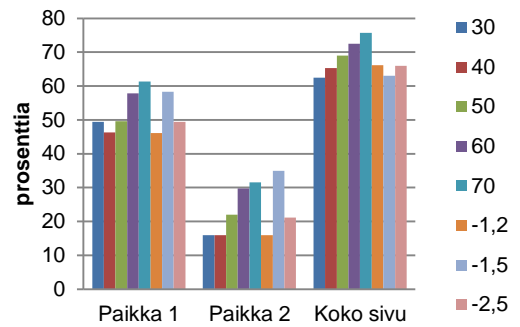
## MÄÄRITTELYATTRIBUUTTIIEN VERTAILU, TÄSMÄLLISYYSEHDON TÄYTTYMINEN



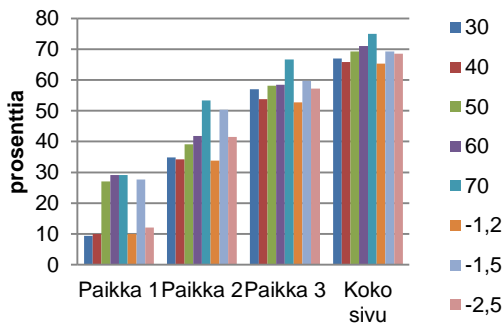
**1056 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



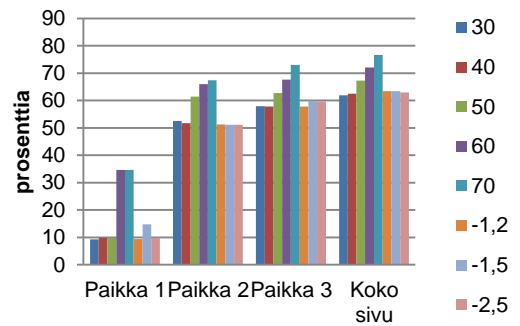
**1056 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



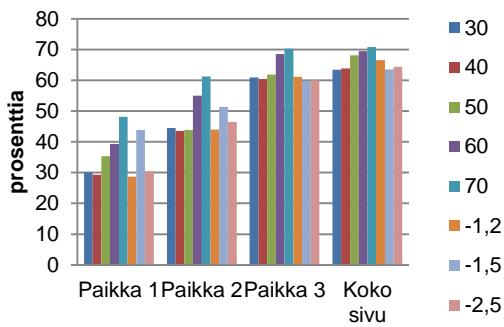
**1062 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



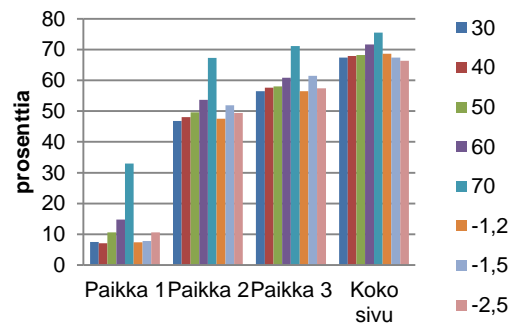
**1062 Suunta 2**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



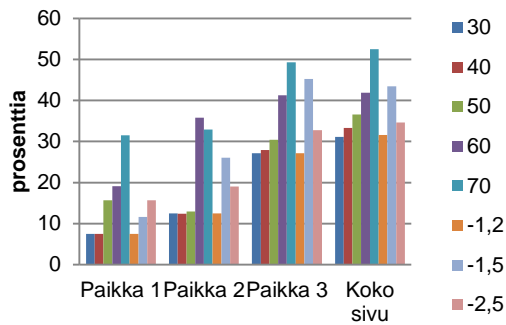
**1074 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



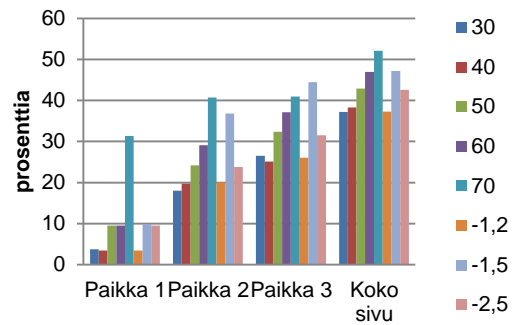
**1074 Suunta 2**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



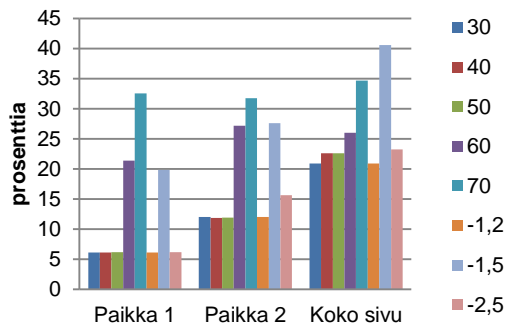
**1080 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



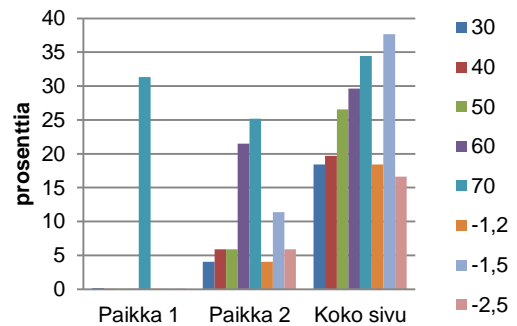
**1080 Suunta 2**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



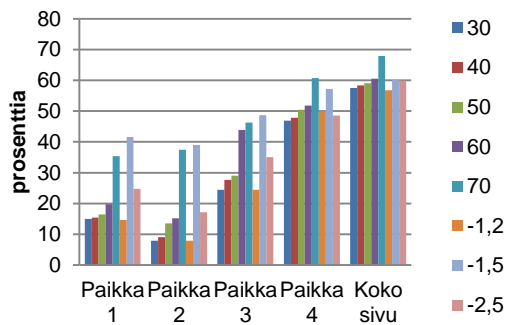
**1092 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



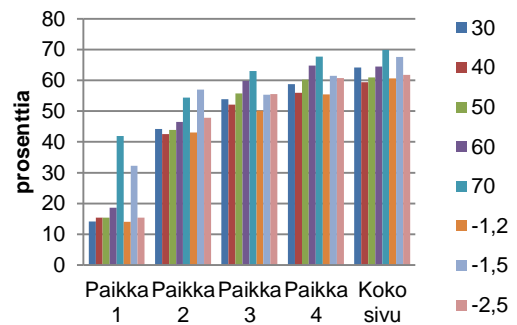
**1092 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



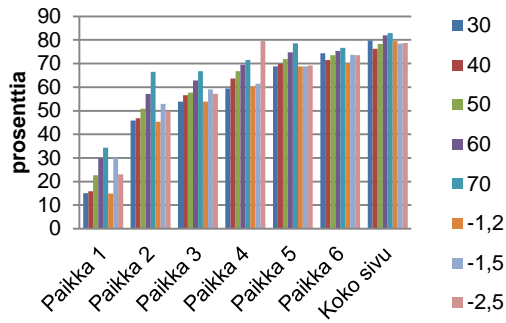
**2154 Suunta 1**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



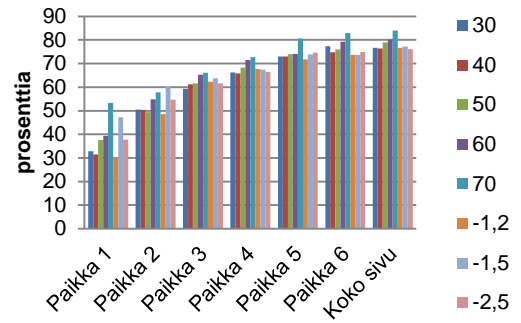
**2154 Suunta 2**  
Keskiarvo täsmällisysehdon täyttämättömien lähtöjen osuudesta



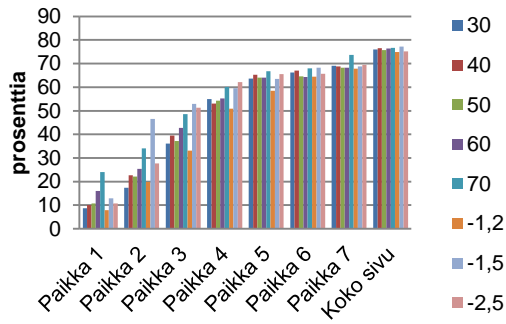
**2195 Suunta 1**  
**Keskiarvo täsmällisysehdon**  
**täyttämättömien lähtöjen**  
**osuudesta**



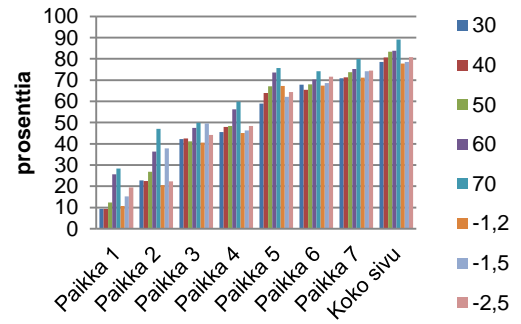
**2195 Suunta 2**  
**Keskiarvo täsmällisysehdon**  
**täyttämättömien lähtöjen**  
**osuudesta**



**4623 Suunta 1**  
**Keskiarvo täsmällisysehdon**  
**täyttämättömien lähtöjen**  
**osuudesta**

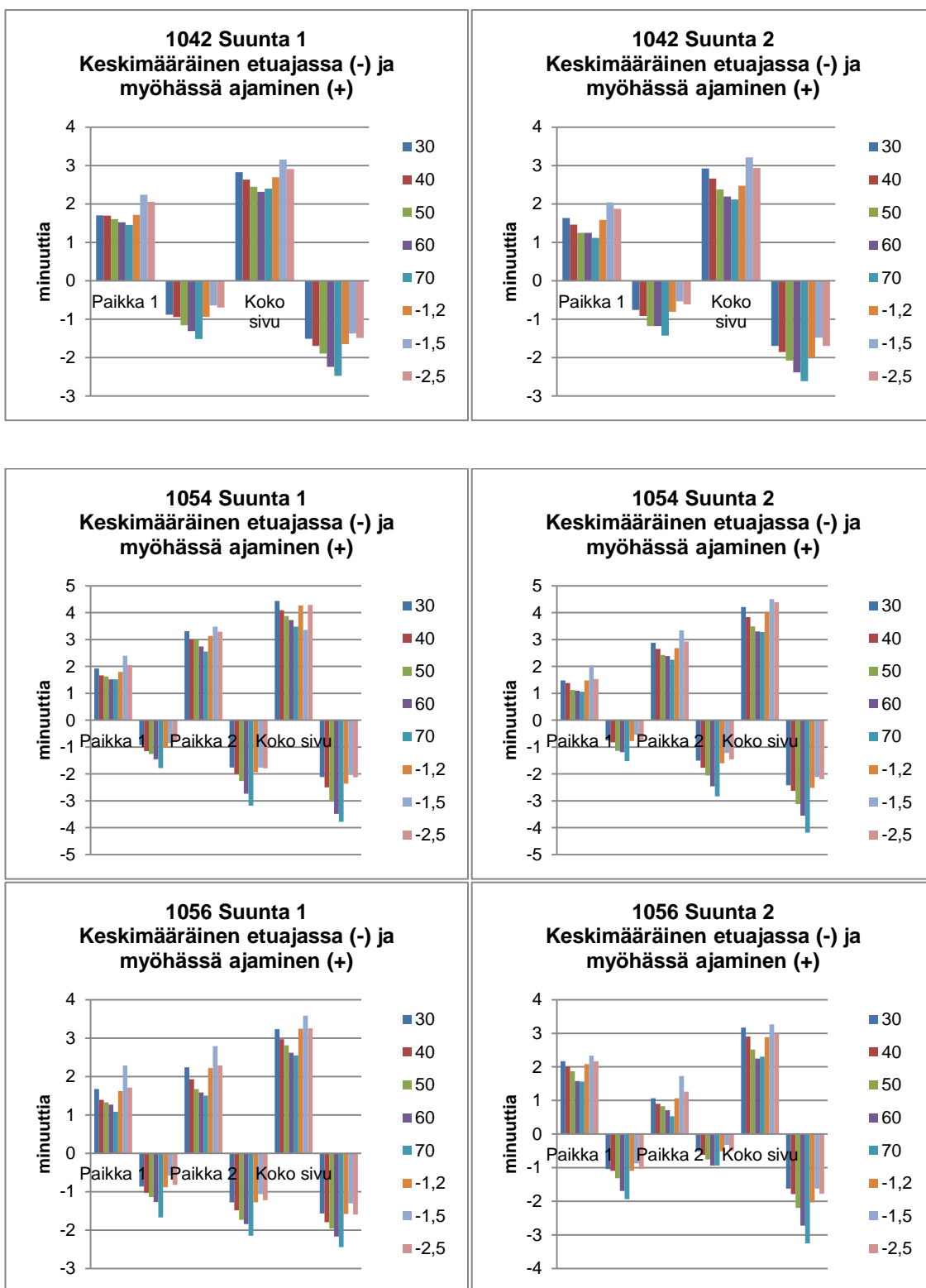


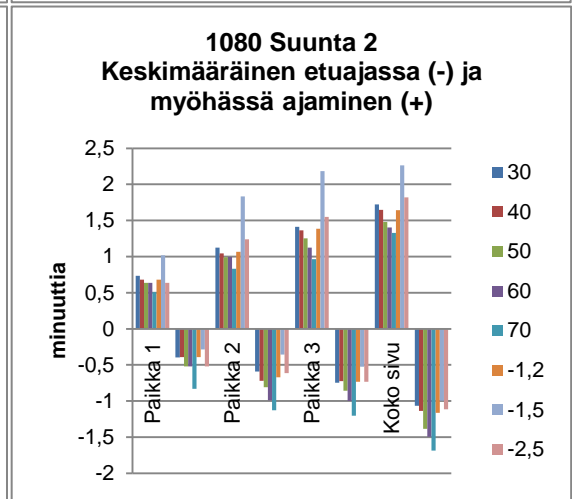
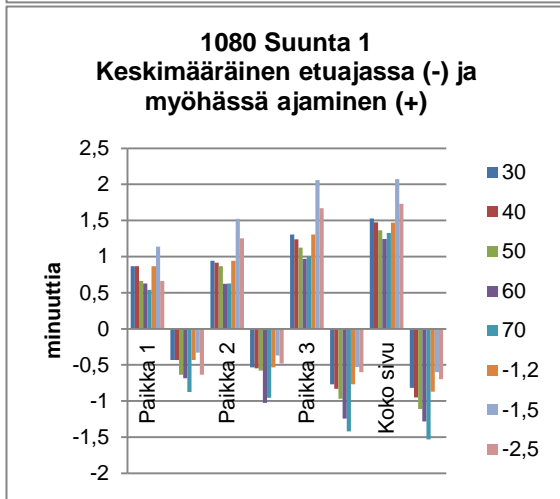
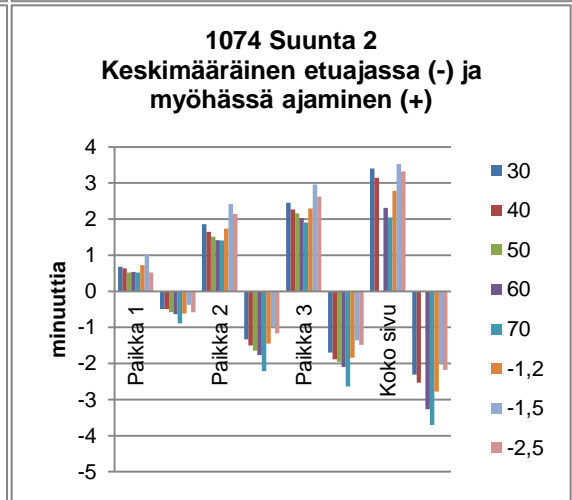
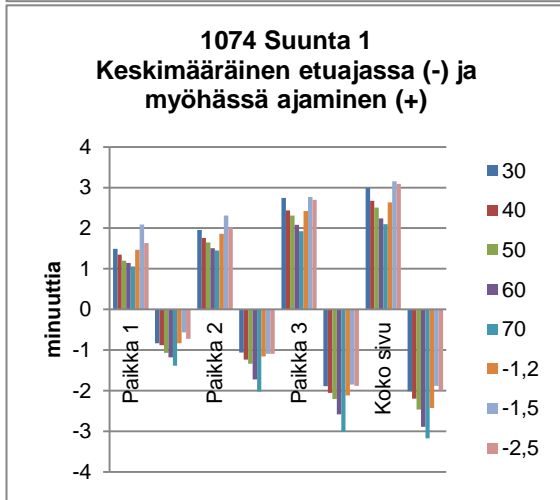
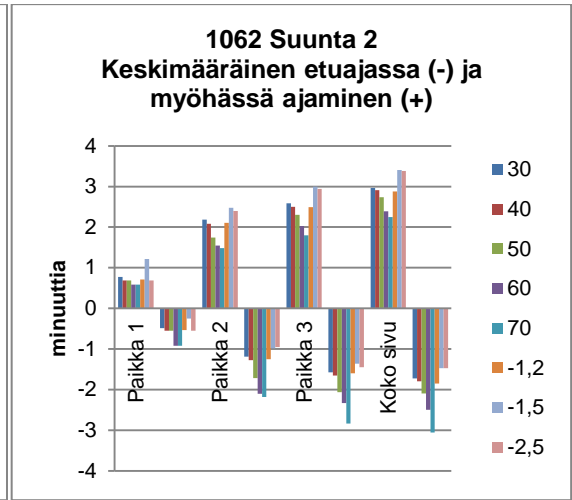
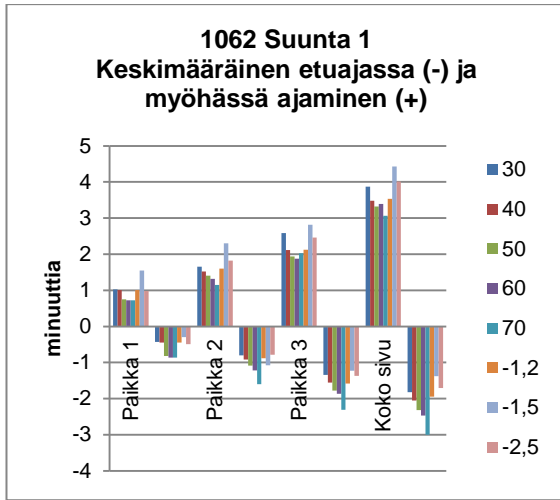
**4623 Suunta 2**  
**Keskiarvo täsmällisysehdon**  
**täyttämättömien lähtöjen**  
**osuudesta**



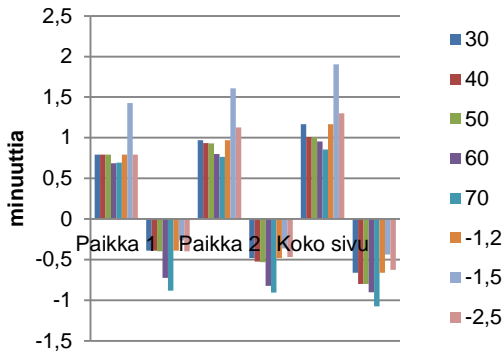


MÄÄRITTELYATTRIBUUTTIEKORJITUS, ETUAJASSA JA MYÖHÄSSÄ AJAMINEN

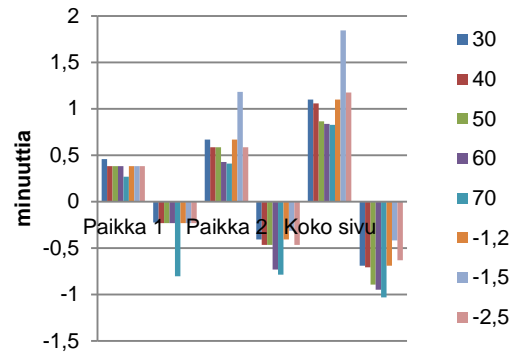




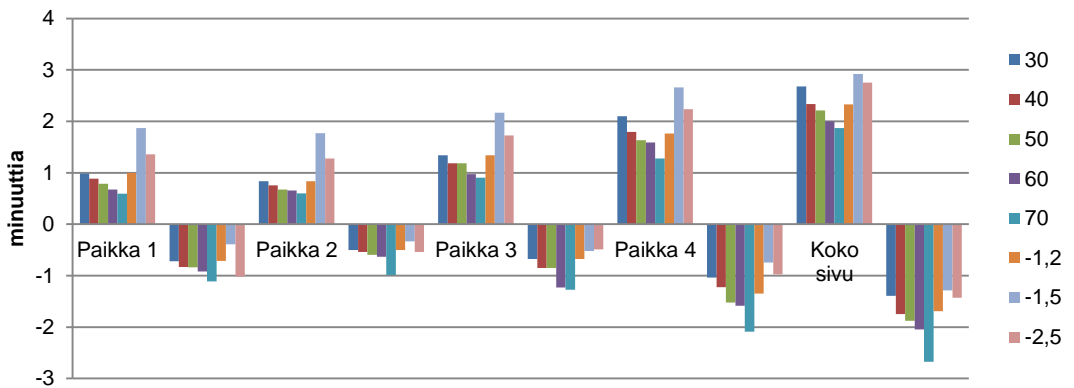
**1092 Suunta 1**  
Keskimääräinen etujassa (-) ja myöhässä ajaminen (+)



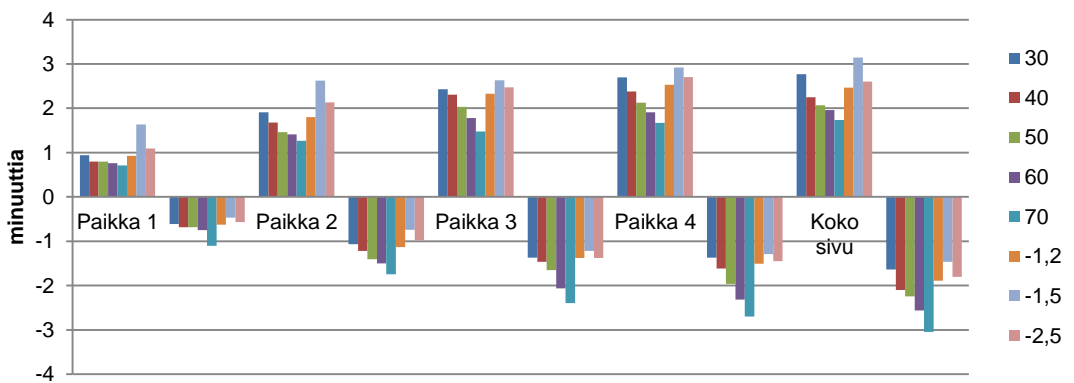
**1092 Suunta 2**  
Keskimääräinen etujassa (-) ja myöhässä ajaminen (+)

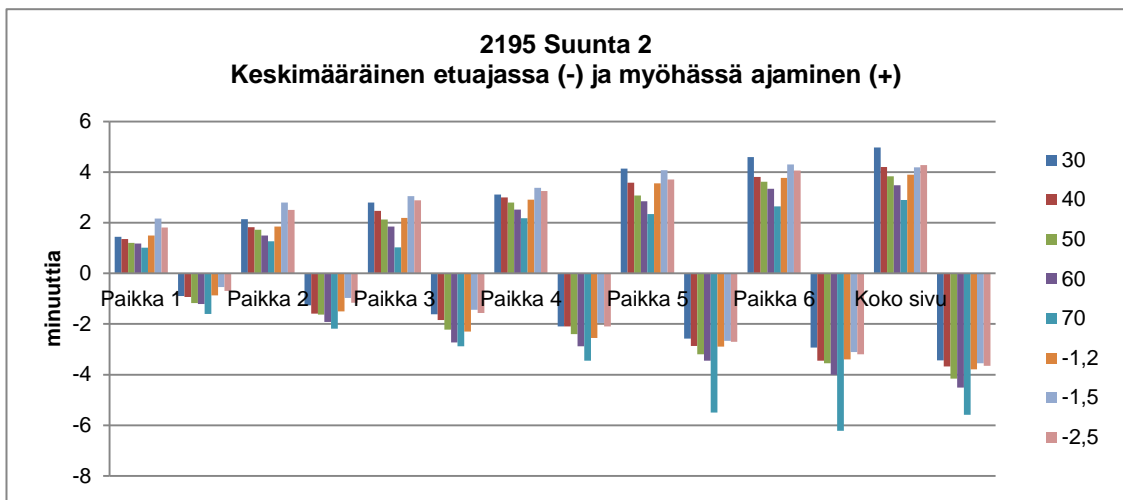
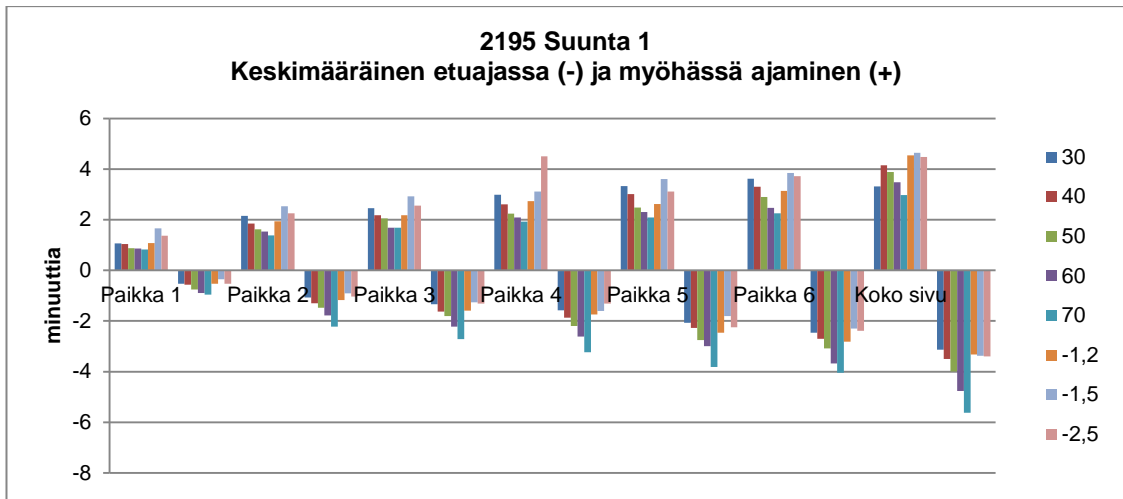


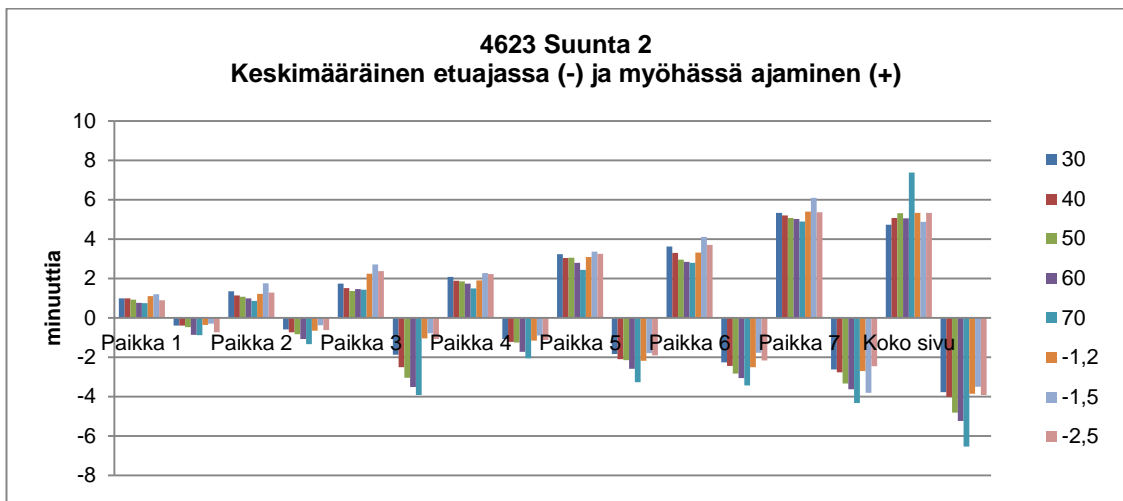
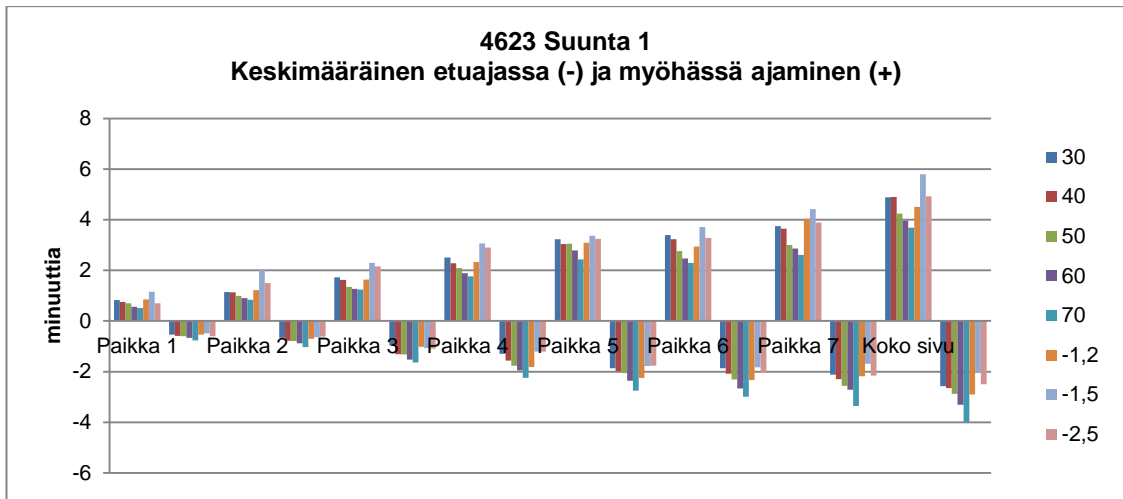
**2154 Suunta 1**  
Keskimääräinen etujassa (-) ja myöhässä ajaminen (+)

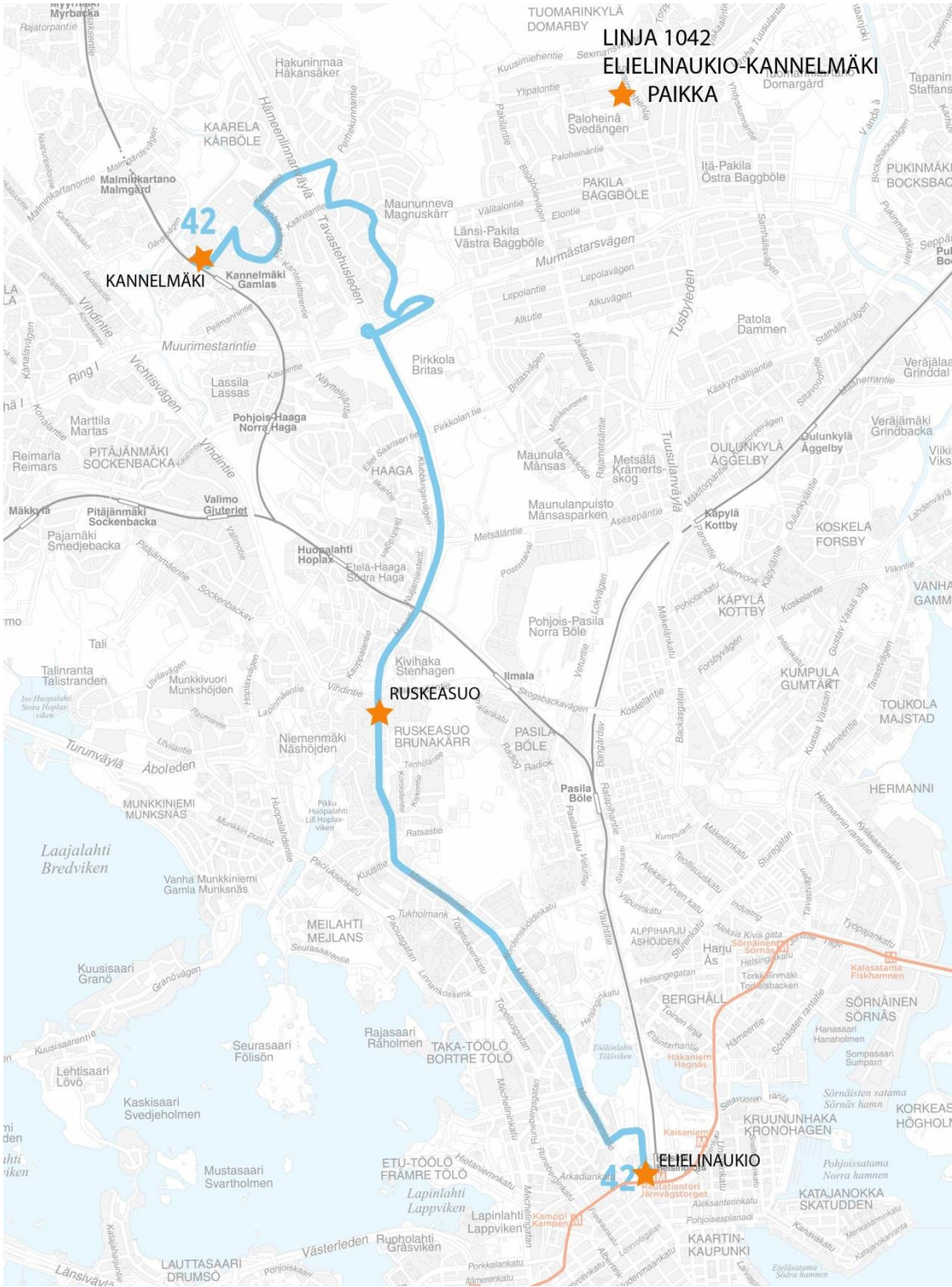


**2154 Suunta 2**  
Keskimääräinen etujassa (-) ja myöhässä ajaminen (+)

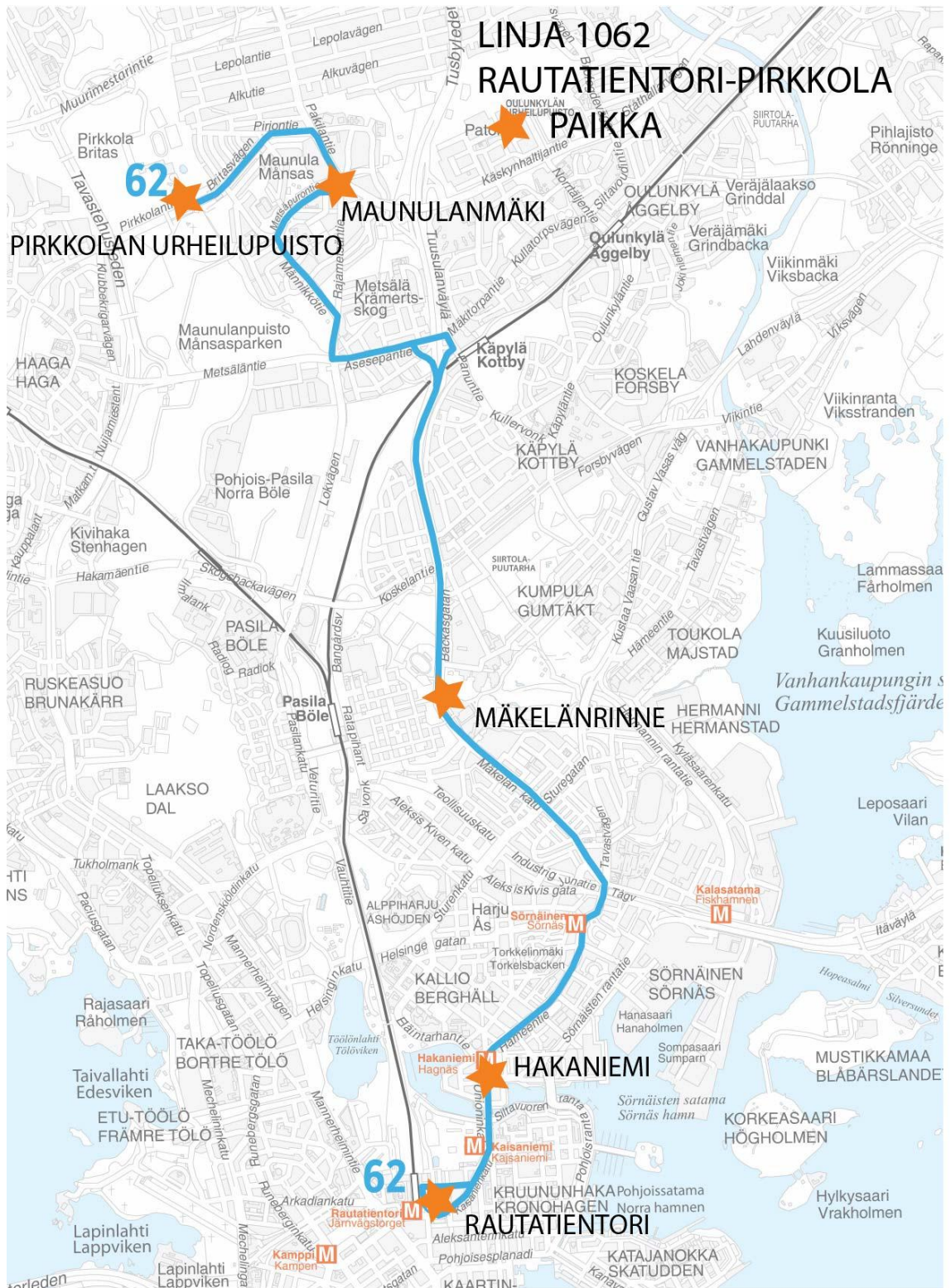








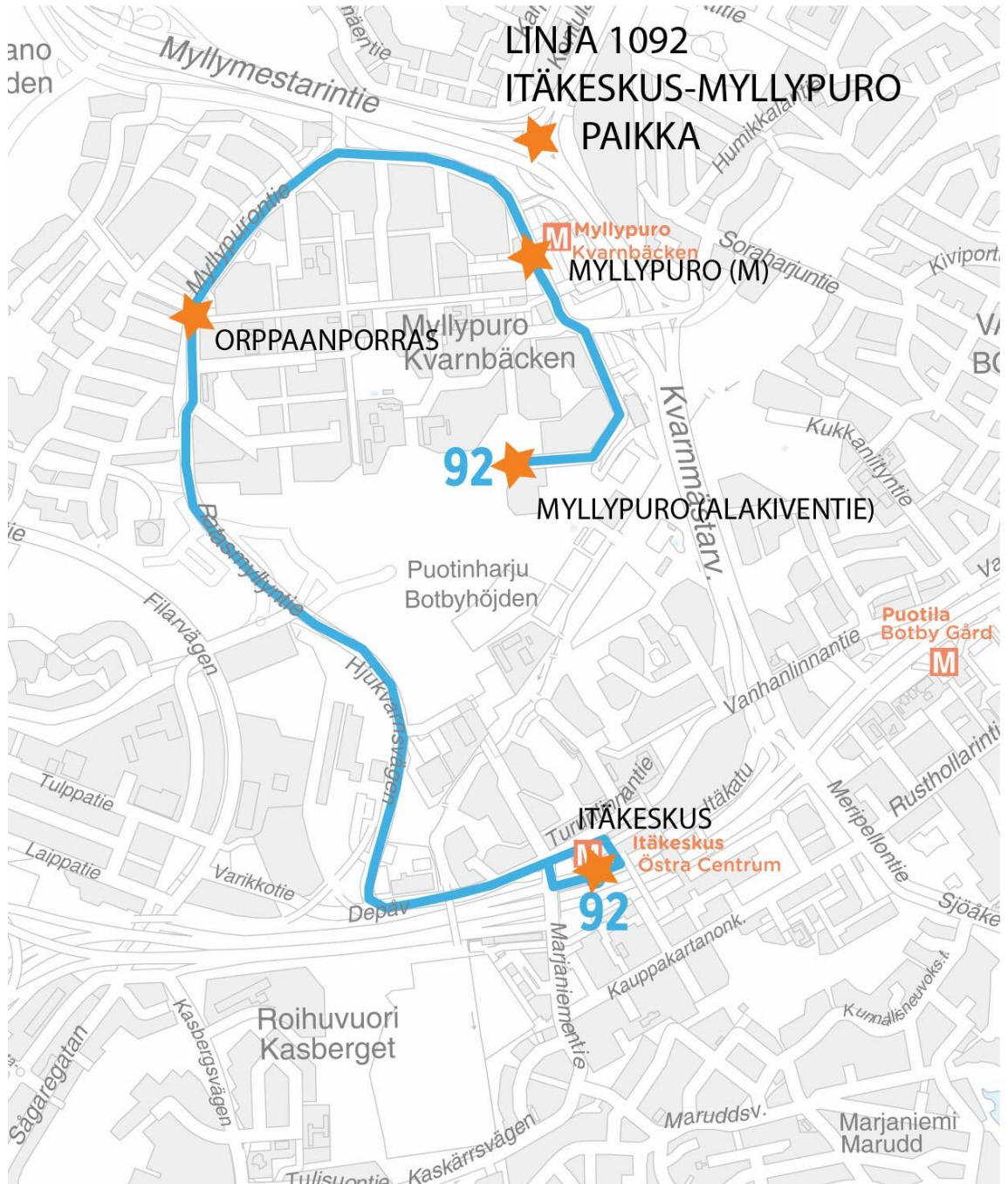




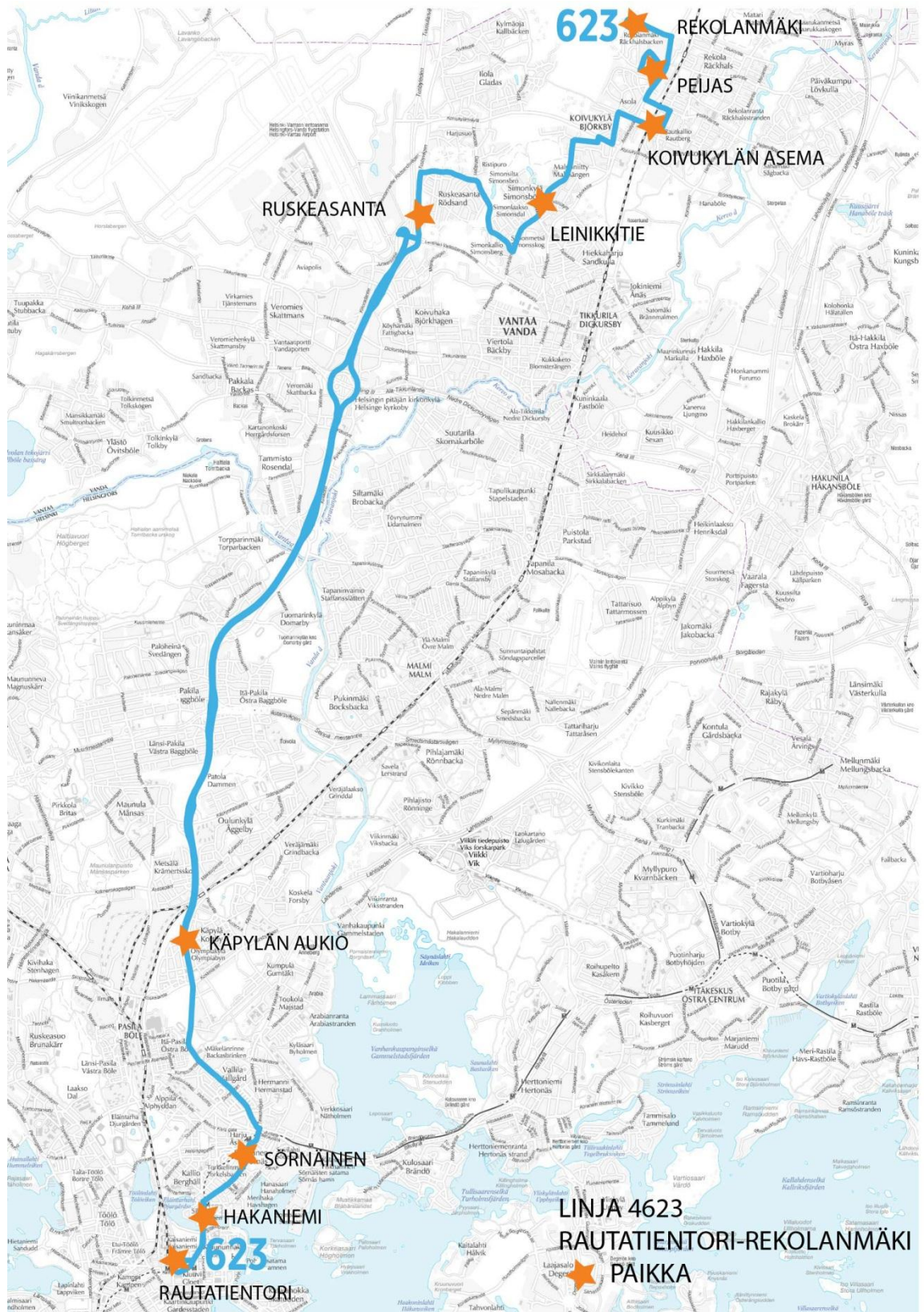












## **A questionnaire on the process of scheduling and determination of bus transport running times**

HSL 3.9.2010 Sara Lukkarinen

1. Define shortly the process of scheduling in your agency?
2. What kind of data on realized running times is used in your agency? How has this data been collected (GPS, tachometer etc.)?
3. Have you found the collected data on realized running times reliable? If not, why?
4. How has the running time in use been determined (percentile, median etc.)? In case of percentile, which percentiles have been used?
5. Does your agency consider other kind of data (APC, dwell times etc.), when determining the running times?
6. Does your agency use different running times at different times of days and on different days of the week? If yes, how does the running time differ between these?
7. Are there holding points in use on the routes of your agency? If yes, does the way in which the run time is determined differ from routes where there are no holding points?
8. Does the way of determining running times affect reliability? In case your agency uses percentiles, are there been differences in reliability between different percentiles in use?