

Aapo Halminen

**Avorahastuksen soveltuvuus
Tampereen seudun
linja-autoliikenteeseen**

Rakennetun ympäristön tiedekunta
diplomityö
kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Aapo Halminen: Avorahastuksen soveltuvuus Tampereen seudun linja-autoliikenteeseen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2019

Joukkoliikenteen kilpailukyvyyn lisääminen on asetettu tavoitteeksi niin Tampereen kaupungin kuin Suomen valtion tasolla. Linja-autoliikenteen osalta avorahastus on yksi keino kilpailukyvyyn parantamiseen. Tässä diplomityössä tarkastellaan avorahastusta ja sen vaikutuksia mm. matka-aikoihin, joukkoliikenteen järjestäjän talouteen sekä matkustajatytyväisyyteen. Erityisenä tarkastelun kohteena tässä tutkimuksessa on avorahastus Tampereen seudun linja-autoliikenteessä. Tutkimukseen liittyy Tampereen seudun joukkoliikenteen linjalla 2 toteutettu avorahastuspilotti. Suuri osa tutkimustuloksista on kuitenkin sovellettavissa myös muihin kaupunkeihin.

Avorahastuksessa matkustajan sallitaan nousta linja-autoon muualtakin kuin etuovesta. Pysäkkiajat lyhenevät, sillä matkustajien linja-autoon nousemiseen kuluva aika lyhenee, mikä lyhentää matka-aikoja. Avorahastuksen käyttöönotto lisää myös matkustajatytyväisyyttä. Toisaalta avorahastuksen käyttöönotolla on myös taloudellisia vaikutuksia, sillä ilman asianmukaista matkalippua matkustaminen yleistyy. Keskiövien kortinlukijoiden asentamisesta ja matkalipuntarkastajien palkkaamisesta aiheutuu myös kustannuksia. Tarkasteltaessa keinoja ehkäistä liputtomuutta tehokkaimmaksi keinoksi todettiin lipuntarkastukset ja vaikuttaminen matkustajien mielikuvaan niistä.

Pysäkkiajat muodostuvat ovien käyttöön kuluvasta ajasta sekä matkustajapalveluajasta. Näistä matkustajapalveluajaksi voidaan vaikuttaa avorahastuksella. Avorahastus voi vaikuttaa matkustajapalveluajaksi kolmella tapaa: jakamalla nousijamäärän useammalle ovelle, lyhentämällä kävelymatkaa pysäkillä sekä tasaamalla linja-auton kuormitusta. Keskeisin näistä tavoista on nousijamäärän jakautuminen. Eri arvioiden mukaan siitä seuraa pysäkkiajan 1–1,5 sekunnin nopeutuminen matkustajaa kohden. Saavutettavat hyödyt riippuvat ovien lukumäärästä sekä käytetystä maksutavasta. Saavutetut hyödyt ovat riippuvaisia myös siitä, kuinka suuri osa matkustajista hyödyntää keskiovia nousemiseen.

Työssä selvitettiin kokemuksia avorahastuksesta neljällä eri alueella. Yhteistä kaikille alueille oli, että avorahastuksella saavutettiin tai arveltiin saavutettavan matkustajatytyväisyyshyötyjä. Avorahastuksen todettiin myös toimivan monimutkaisissakin lippujärjestelmissä.

Tampereen seudun avorahastuspilotti tarkastelu osoittautui vaikeaksi, sillä pilottilinjalla käytetyistä autoista suuressa osassa ei ollut avorahastuksen edellyttämää varustelua, jolloin niissä käytettiin kuljetta-arahastusta. Pilotista voitiin kuitenkin havaita avorahastuksesta seuraavan matka-aikojen nopeutuminen, vaikka sen suuruutta ei pystytty arvioimaan tarkasti. Lisäksi avorahastuksen todettiin parantavan täsmällisyyttä ruuhka-aikoina.

Avorahastuksen matka-aikavaikutuksien arvioimiseksi luotiin regressionalyysillä malli, jolla voidaan laskea pysäkkiaikojen muutos matkustajamäärien perusteella. Mallia sovellettiin Tampereen seudun joukkoliikenteen runkolinjoille, joiden keskimääräiseksi matka-ajan muutokseksi arvioitiin 3,2 %. Ruuhka-aikoina matka-aikahyödyt nousevat yli neljän prosentin. Matka-aikojen nopeutumisen myötä arvioitiin linjoilla 5 ja 8 saavutettavan sama palvelutaso yhdellä linja-autolla vähemmän, jolloin saavutetaan arviolta 580 000 € liikennöintikustannussäästöt vuodessa. Avorahastuksen talousvaikutukset riippuvat siitä, mihin liputtomuus asettuu sekä siitä, kuinka suuri osa matkustajista halutaan tarkastaa. HSL-alueen liputtomuusasteen perusteella liputtomuudesta arvioitiin aiheutuvan noin 820 000 € vuosittaiset tulonmenetykset. Lisäksi avorahastuksen myötä kasvaneista matkustajamääristä arvioitiin saatavan 310 000 € vuosittaiset tulot. Vaikka tarkkaa euromääräistä kustannusta tai tulonlisäystä avorahastuksen käyttöönotolle ei voida esittää, voidaan kuitenkin todeta avorahastuksella olevan vain vähäinen merkitys joukkoliikenteen järjestäjän taloudelle.

Avainsanat: avorahastus, linja-autoliikenne, pysäkkiaika, matka-aika, liputta matkustaminen.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Aapo Halminen: Suitability of All-Door Boarding in Tampere Regional Transport
Master's Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
June 2019

Improving competitiveness of public transport has been set as an objective on level of city of Tampere as well as on level of state of Finland. For bus traffic, all-door boarding is a mean of improving competitiveness. In this master's thesis all-door boarding and its effects on e.g. trip times, economy of transport authority and customer satisfaction are examined. Special focus is on all-door boarding on Tampere region bus transport. The research is related to all-door boarding pilot conducted on bus line 2 of Tampere Regional Transport. Large proportion of results can however be applied to other cities as well.

In all-door boarding system passengers are allowed to board a bus also on doors other than front door. Dwell times shorten as passengers' boarding time shortens which then shortens trip times. Implementing all-door boarding also increases passenger satisfaction. On the contrary, implementing all-door boarding has financial impacts as travelling without proper ticket becomes more common. Installing travel card readers on middle doors has its costs also. The most effective ways to prevent fare evasion is conducting ticket inspections and influencing passengers' perception of ticket inspections based on literature review.

Dwell times are composed of time needed for operating doors and passenger service time latter of which can be affected implementing all-door boarding. All-door boarding can effect passenger service time three ways: dividing boarding passengers to multiple doors, shortening walk time on a bus stop and distributing load of a bus. Most essential way is dividing passengers to multiple doors. According to various estimates it causes 1–1.5 second reductions in dwell time per boarding passenger. Benefits depend on amount of doors and payment method used. Benefits depend also how great proportion of passengers use middle doors for boarding.

In the thesis experiences of all-door boarding were discovered on four case areas. Common for all areas was that passenger satisfaction increase was achieved or was suspected to be achieved by implementing all-door boarding. All-door boarding was also found to function on even complex fare structures.

Examining all-door boarding pilot by Tampere Regional Transport proved to be difficult as great proportion of buses used on the pilot line were not equipped with equipment necessary for all-door boarding and therefore used usual front-door boarding method instead. It was noticed that implementing all-door boarding caused decrease in trip times, although precise value of that decrease couldn't be presented. All-door boarding was also found out to improve reliability during peak times.

In order to estimate all-door boarding's effect on trip times a regression analysis was carried out, which can be used to calculate change of dwell time based on passenger figures. The method was applied to trunk lines of Tampere Regional Transport in which average reduction in trip time was estimated to be 3.2 %. During peak times trip time benefits will increase to over 4 %. It was estimated that on lines 5 and 8 same level of service can be achieved with using one bus less than on current situation, which is estimated to cause 580 000 € save of expenses in a year. Financial effects will depend on fare evasion rate and which proportion of passengers travelling will be inspected for fare evasion. It was estimated based on fare evasion rate of transit organised by Helsinki Regional Transport Authority that non-realized ticket incomes are 820 000 € per year. It was also estimated that increase of income by 310 000 € in a year can be expected by increase in number of passengers caused by implementing all-door boarding. Even when precise financial effect of implementing all-door boarding cannot be presented, it can be stated that implementing all-door boarding has only a minor impact on economy of public transport authority.

Keywords: all-door boarding, proof-of-payment, dwell time, trip time, fare evasion.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Mahdollisuus tämän diplomityön tekemiselle tarjoutui liki sattumalta. Olin oikeaan aikaan oikeassa paikassa, eli tarkemmin huoneessa RK201C tiistaina 2.10.2018 kello 13:30, ja kuulin alkamassa olevasta avorahastuspilotista ja siihen liittyvästä diplomityötarpeesta. Kun rahoitus työn tekemiselle varmistui marraskuun puolivälissä, olin erittäin tyytyväinen, sillä sain hyvän diplomityöaiheen ja -paikan helposti. Nyt reilut puoli vuotta työntekoa, lukuisia tehtyjä ja syötyjä kakkuja sekä yksi sähköpöytäepisodi myöhemmin olen edelleen tyytyväinen tähän mahdollisuuteen. On ollut ilo työskennellä liikenteen tutkimuskeskus Vernessä mielenkiintoisen aiheen parissa.

Työtä ovat ohjanneet Kalle Vaismaa ja Markus Pöllänen Vernestä sekä Riikka Salkonen Tampereen seudun joukkoliikenteestä, joita kaikkia haluan kiittää arvokkaista kommenteista. Lisäksi haluan kiittää Riku Viriä, joka käännösti minut Adobe Illustratorin ja Indesignin käyttäjiksi. Kiitos myös kaikille verneläisille erinomaisesta seurasta ja kakkujensyömisavusta, sekä pahoittelut ajoittaisesta äänihaitasta.

Aapo Halminen

torstaina 27. kesäkuuta 2019

Vernen Akvaariossa, Tampereen Hervannassa

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen tavoitteet	2
1.2.	Tutkimuksen rajaukset	3
1.3.	Tutkimusmenetelmät, tutkimuksen rakenne ja tutkimuksen toteutus.....	3
2.	JOUKKOLIIKENNE TAMPEREEN SEUDULLA	7
2.1.	Runkolinjat	7
2.2.	Lippujärjestelmä	7
2.3.	Avorahastuksen pilotointi	9
3.	AVORAHASTUS	11
3.1.	Avorahastuksen vaikutukset pysäkkiaikoihin	12
3.2.	Avorahastuksen vaikutukset matka-aikaan	16
3.3.	Matkustajakokemus	19
3.4.	Liputta matkustaminen	20
3.5.	Avorahastuksen vaikutukset joukkoliikenteen talouteen	24
4.	PYSÄKKIAJAT	26
4.1.	Pysäkkiaikojen merkitys.....	26
4.2.	Pysäkkiaikaan vaikuttavat tekijät	28
4.3.	Pysäkkiajan mallintaminen.....	29
4.3.1.	Levinsonin malli.....	29
4.3.2.	Nousevat ja poistuvat matkustajat erotteleva malli.....	31
4.3.3.	Epälineaarinen malli.....	32
4.3.4.	Muut mallit.....	32
5.	KOKEMUKSIA AVORAHASTUKSESTA.....	34
5.1.	Zürich.....	34
5.2.	Bern	38
5.3.	HSL-alue.....	41
5.3.1.	Pysäkki- ja matka-aikojen muutos	42
5.3.2.	Lipuntarkastusnäkökulma	43
5.3.3.	Matkustajakokemusnäkökulma	46

5.4.	Montreal.....	47
5.4.1.	Montrealin avorahastuskokeilu	48
5.4.2.	Käyttäjättyytyväisyys	49
5.4.3.	Avorahastus Montrealissa nykyään	51
6.	AVORAHASTUSPILOTTI.....	53
6.1.	Oletettavissa olevat matka-aikamuutokset	53
6.2.	Avorahastuspilotin haasteet	54
6.3.	Matkustajakäyttäytyminen pilotin aikana.....	57
6.4.	Matka-aikamuutokset pilotin myötä.....	61
6.5.	Täsmällisyysmuutokset pilotin myötä	64
7.	AVORAHASTUS RUNKOLINJOILLA.....	67
7.1.	Havaintoaineiston kerääminen	67
7.2.	Pysäkkiajan mallinnus	68
7.2.1.	Vertailu teoriaan	70
7.2.2.	Lopullinen pysäkkiaikamalli	71
7.3.	Matka-aikavaikutukset.....	75
7.3.1.	Tulokset	75
7.3.2.	Vertailu teoriaan	78
7.4.	Talous- ja matkustajamäärävaikutusten arvioiminen.....	79
7.5.	Matkustajamäärävaikutukset	82
7.6.	Talousvaikutukset	83
8.	PÄÄTELMÄT	86
8.1.	Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	86
8.1.1.	Kokemukset avorahastuksesta muualla.....	86
8.1.2.	Vaikutukset pysäkki- ja matka-aikoihin	87
8.1.3.	Vaikutukset talouteen	88
8.1.4.	Avorahastus Tampereen seudulla	89
8.1.5.	Matkustajatyytyväisyysvaikutukset	89
8.1.6.	Avorahastuksen soveltuvuus Tampereen seudulle.....	90
8.2.	Tutkimuksen arviointi.....	90
8.3.	Jatkotutkimustarpeet.....	91
	LÄHTEET	92
	LIITE A: ARVIOIDUT MATKA-AJAN NOPEUTUMISET	101
	LIITE B: MALLINNUKSEN YKSINKERTAISTUKSET	103

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Tutkimuksen rakenne ja käytetyt tutkimusmenetelmät.....	6
Kuva 2.	Tampereen seudun joukkoliikenteen vyöhykejako.....	8
Kuva 3.	Linjan 2 reitti.....	9
Kuva 4.	Nousu- ja poistumisaikojen riippuvuus matkakortin tyypistä ja linja-auton ovien lukumäärästä.	14
Kuva 5.	Pysäkkikävelyn vaikutus linja-auton pysäkkiajan viivytykseen ruuhkahuipputuntina tavallisella yhden linja-auton pysäkillä.	15
Kuva 6.	Pysäkkikävelyn vaikutus linja-auton pysäkkiajan viivytykseen ruuhkahuipputuntina BRT-asemalla.	16
Kuva 7.	Linja-auton matka-ajan jakautuminen.	27
Kuva 8.	Matkustajapalveluajan osuus matka-ajasta sekä matkustuskysyntä Sydneyn joukkoliikennejärjestelmään perustuvassa mallinnuksessa.	27
Kuva 9.	Zürichin alueen joukkoliikenteen vyöhykejako.	35
Kuva 10.	Esimerkki lyhyen matkan lipun voimassaoloalueesta.	36
Kuva 11.	Lipunmyynti myyntikanavittain Zürichissä vuonna 2017.	37
Kuva 12.	Bernin joukkoliikennelinjasto ja maksuvyöhykkeet.....	39
Kuva 13.	Libero-tariffialueen kartta.	39
Kuva 14.	HSL:n linja-autoliikenteen runkolinjat.	41
Kuva 15.	Pysäkkiajat eri vuorokaudenaikoina ennen ja jälkeen avorahastuksen käyttöönoton linjalla 550.	42
Kuva 16.	Linjan 550 aikataulussa pysyneiden vuorojen osuudet kaikista linjan vuoroista.....	43
Kuva 17.	Otteita HSL-alueen avorahastusta käsittelevästä matkustajakyselystä keväällä 2017.	47
Kuva 18.	Matkustajatytytyväisyyskyselyn tulokset Montrealissa.	50
Kuva 19.	Matkustajien arvio matka-ajan muuttumisesta Montrealin avorahastuspilotin yhteydessä.....	51
Kuva 20.	Keskimääräiset nousujen ja poistumisten määrät tunneittain linjalla 2.	54

Kuva 21.	Avorahastuksesta kertova ohje matkustajille valokuvattuna linja-auton kyljestä.	55
Kuva 22.	Matkakortinlukijan sijoitus Solaris Urbino 12,9 Hybrid -linja-autoissa.....	57
Kuva 23.	Matkakortinlukijan sijoitus Solaris Urbino 12 Electric -linja-autoissa.....	58
Kuva 24.	Linja-auto on pysähtynyt matkustajien odotuspaikan kohdalle.....	59
Kuva 25.	Linja-auto on pysähtyneenä taakse suhteessa matkustajien odotuspaikkaan.	59
Kuva 26.	Täsmällisyys linjalla 2.	64
Kuva 27.	Aikataulussa olleiden lähtöjen osuudet ennen pilottia ja sen aikana.	65
Kuva 28.	Aikataulussa olleiden lähtöjen osuudet ruuhka-aikoina (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ennen pilottia ja sen aikana.	66
Kuva 29.	Linjojen 2 ja 550 havaintoaineistoon perustuvien mallien pysäkkiaikojen prosentuaaliset erot eri nousija- ja poistujamäärillä.....	73
Kuva 30.	Keskimääräinen avorahastuksella saavutettava matka-aikahyöty eri vuorokaudenaikoina runkolinjoilla.	78

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Tutkimusta varten haastatellut henkilöt.	5
Taulukko 2.	Matkustajapalveluaikoja kuljettajarahastuksella TCRP:n mukaan.	12
Taulukko 3.	Arvioidut prosentuaaliset matka-aikasäästöt aamuruuhkan aikana avorahastuksesta eniten hyötyväksi arvioituilla Montrealin linja-autolinjoilla.	17
Taulukko 4.	Pysäkkiaikojen arvioidut keskimääräiset prosentuaaliset nopeutukset Torinossa eri skenaarioissa. Negatiiviset arvot merkitsevät ajan pidentymistä ja positiiviset lyhentymistä.....	18
Taulukko 5.	Matka-aikojen arvioidut keskimääräiset prosentuaaliset nopeutukset Torinossa eri skenaarioissa. Negatiiviset arvot merkitsevät ajan pidentymistä ja positiiviset lyhentymistä.....	18
Taulukko 6.	Pysäkkiajan prosentuaalinen nopeutuminen siirryttäessä kuljettajarahastuksesta avorahastukseen.	19
Taulukko 7.	Pysäkkiajan prosentuaalinen nopeutuminen siirryttäessä kuljettajarahastuksesta avorahastukseen.	19
Taulukko 8.	Arvioidut linja-autotarpeet eri skenaarioissa Torinossa.	25
Taulukko 9.	Levinsonin mallin parametreja Levinsonin tutkimuslinjoilla.	30
Taulukko 10.	Levinsonin mallin parametreja eräillä New Jersey linjoilla.	30
Taulukko 11.	Nousevat ja poistuvat matkustajat erotteluvan mallin parametreja eräillä New Jersey linjoilla.	31
Taulukko 12.	Epälineaarisen mallin parametreja eräillä New Jersey linjoilla.	32
Taulukko 13.	Liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien osuudet liikennemuodoittain HSL-alueella vuonna 2018.....	44
Taulukko 14.	Liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien osuudet HSL-alueen linja-autoliikenteen runkolinjoilla vuonna 2018.	44
Taulukko 15.	Matkustajajakauma ovittain.	60
Taulukko 16.	Matkustajajakauma ovittain HSL-alueen linjalla 550 laskettuna HSL:ltä saadusta matkustajalaskentalaitetiedosta.	60
Taulukko 17.	Keskimääräiset matka-ajat linjalla 2 ja vertailulinjoilla ennen avorahastuspilottia ja sen aikana.	62

Taulukko 18.	Linjan 2 matka-aikojen tilastollisia tunnuslukuja ennen pilottia ja sen jälkeen.	62
Taulukko 19.	Keskimääräiset ruuhka-ajan (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ajoajat ennen avorahastuspilottia ja sen aikana.....	63
Taulukko 20.	Linjan 2 matka-aikojen tilastollisia tunnuslukuja ruuhka-aikoina (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ennen pilottia ja sen aikana.....	63
Taulukko 21.	Matka-aikojen keskihajonnat ennen pilottia ja sen aikana linjalla 2 ja vertailulinjoilla.	63
Taulukko 22.	Erinäisten mallien selitysasteita eri havaintoaineistoissa.	69
Taulukko 23.	Regressioanalyysin tulokset linjan 2 kuljettajarahastuksen osalta.	69
Taulukko 24.	Regressioanalyysin tulokset linjan 2 avorahastuksen osalta.	69
Taulukko 25.	Regressioanalyysin tulokset linjan 550 osalta.....	69
Taulukko 26.	Lopulliset pysäkkiaikojen mallinnusyhtälöt.....	70
Taulukko 27.	Pysäkkiaikojen nopeutuminen sekunteina verrattaessa linjan 2 avorahastusta linjan 2 kuljettajarahastukseen.....	72
Taulukko 28.	Pysäkkiaikojen nopeutuminen sekunteina verrattaessa HSL:n linjan 550 avorahastusta linjan 2 kuljettajarahastukseen.	72
Taulukko 29.	Avorahastuksella saavutettavat matka-ajan nopeutumiset runkolinjojen eri reittivariaatioilla lähtöä kohden.	76
Taulukko 30.	Keskimääräiset avorahastuksen matka-aikahyödyt runkolinjoilla lähtöä kohden.	77
Taulukko 31.	Mallinnetut yhden talviarkipäivän matkustajamäärät linjoittain kuljettaja- ja avorahastuksella.	82
Taulukko 32.	Arvioidut avorahastuksen käyttöönotosta seuraavat liikennöintikustannussäästöt talviarquivuorokaudessa.	84
Taulukko 33.	Arvioidut avorahastuksen käyttöönotosta koituvat vuosittaiset lipputulomenetykset.	85
Taulukko A-1.	Arvioidut matka-ajan nopeutumiset avorahastusta käytettäessä sekunteina lähtötunneittain ja linjoittain lähtöä kohden.....	101
Taulukko A-2.	Arvioidut matka-ajan nopeutumiset avorahastusta käytettäessä prosenteina lähtötunneittain ja linjoittain lähtöä kohden.	102

1. JOHDANTO

Joukkoliikenteen kilpailukyvyyn lisääminen on asetettu tavoitteeksi niin Tampereen kaupungin kuin Suomen valtion tasolla [1][2]. Kilpailukykyä voidaan parantaa mm. matkustajatytyväisyyttä parantamalla ja matka-aikaa lyhentämällä. Avorahastus, joka Henkilöliikenteen palveluiden sanastossa määritellään järjestelmäksi “jossa matkustusoikeutta ei säännönmukaisesti tarkisteta liikennevälineeseen noustessa, matkan aikana tai poistuttaessa” [3], vaikuttaa niin matkustajatytyväisyyteen kuin matka-aikaankin, joten se on yksi mahdollinen keino vastata kilpailukykytavoitteisiin. Avorahastus on vastakohta suljetulle rahastusjärjestelmälle, jossa matkaliput tarkistetaan kaikilta matkustajilta, yleensä liikennevälineeseen noustaessa [3]. Linja-autoliikenteessä suljettu rahastusjärjestelmä toteutetaan yleensä kuljettajarahastuksena, jossa kuljetteja tarkastaa nousevien matkustajien matkustusoikeuden ja tarvittaessa myy matkalippuja. Määritelmällisesti avorahastus ei välttämättä edellytä nousemisen sallimista useammista ovista, mutta se yleensä mielletään liittyvän keskeisesti avorahastukseen. Tässä työssä avorahastukseen katsotaan sisältyväksi mahdollisuus nousta linja-autoon myös muualta kuin etuovesta.

Linja-auton matka-ajasta ruuhka-aikana noin 12 % kuluu paikallaanoloon pysäkeillä. Suurimmillaan paikallaanolon osuus voi olla jopa 17 %. [4]. Paikallaanoloon kuluva ajasta suurin osa kuluu matkustajapalveluun [5, s. 6-6](sic). Siirtymällä avorahastukseen, eli mahdollistamalla keskioivista nouseminen kaikille matkustajille, voidaan matkustajapalveluun kuluva aikaa vähentää. [6][7] Kun pysäkillä kuluu vähemmän aikaa, matkustajien matka-aika lyhenee, jolloin kilpailukyky paranee.

Nykyään Tampereen seudun joukkoliikenteellä on käytössä kuljettajarahastus kaikissa ajoneuvoissa, eli linja-autoon saa pääsääntöisesti nousta vain etuovesta ja kuljettaja tarkastaa kaikkien matkustajien matkustusoikeuden¹. Matkustajat todistavat matkustusoikeutensa joko leimaamalla² matkakorttinsa lukijassa, jolloin kuljettaja näkee lipun tiedot päätelaitteeltaan tai esittämällä paperisen vaihtolipun kuljettajalle. Kuljettaja myös myy matkalipun tarvittaessa käteisellä matkustajille. Kun raitioliikenne alkaa Tampereella vuonna 2021, on päätetty siirtyä käyttämään avorahastusta ainakin raitioliikenteessä [8]. Samassa yhteydessä on luontevaa harkita avorahastukseen siirtymistä myös linja-autoliikenteessä. Koska avorahastusta ei ole Tampereen seudulla aiemmin käytetty, on sen soveltuvuutta arvioitava ennen mahdollista käyttöönottopäätöstä.

1 Poikkeuksellisesti keskioivesta saavat turvallisuussyistä nousta pyörätuolia käyttävät matkustajat saat-tajineen sekä lastenvaunuja työntävä aikuinen ja tämän mukana matkustavat alle seitsemänvuotiaat lapset. Nämä matkustajat saavat myös matkustaa ilmaiseksi. Lisäksi kuljettaja voi harkintansa mukaan päästää keskioivesta nousemaan esimerkiksi rollaattoria käyttävän tai suurten matkalaukkujen kanssa kulkevan matkustajan, mutta näiden matkustajien on käytävä leimaamassa lippunsa auton etuosassa.

2 Tässä työssä leimaamisella tarkoitetaan matkalipun, matkakortin, mobiililipun viivakoodin tai muun matkustamiseen oikeuttavan asian esittämistä koneelliselle lukijalle.

Käytännöt lipun leimaamisen suhteen vaihtelevat. HSL-alueen linja-autolinjoilla 550 ja 560 ajoneuvon voi nousta linja-autoon leimaamatta, jos matkustajalla on voimassa oleva matkalippu. Tässä työssä tarkasteltavassa Tampereen seudun pilotissa puolestaan lipun leimaamista edellytetään kaikilta niiltä matkustajilta, joiden on suljetun rahastusmallin linjoillakin leimattava lippunsa¹. Montrealissa puolestaan etuovesta nousevien on leimattava lippunsa aina, mutta taka- ja keskiovista nousevilta kausilipullisilta matkustajilta leimaamista ei edellytetä [9]. Tässä työssä termillä *avorahastus* ei oteta kantaa siihen, onko lippu leimattava ajoneuvon noustaessa.

Aiemmin avorahastusta on aiemmin tutkittu teoreettisesti mallintamalla Montrealissa, Kanadassa [10] sekä myöhemmin toteutettuun Montrealin avorahastuspilottiin pohjautuen [9]. Torinossa, Italiassa, puolestaan tutkittiin aihetta käänteisesti, sillä paikallisen lainsäädäntömuutoksen myötä kaikkien matkustajien on leimattava lippunsa, mikä tarkoittaa joko kuljettajarahastuksen käyttöönottoa tai matkalippujen leimaamisen edellyttämistä avorahastuksessa [11]. Lisäksi avorahastukseen tiiviisti liittyvää pysäkkiaikojen määräytymistä on tutkittu lukuisissa tutkimuksissa. Koska matka-aika- ja liikennöintikustannussäästöt ovat joissain määrin riippuvaisia paikallisesta joukkoliikennejärjestelmästä, on avorahastuksen arviointi nimenomaan Tampereen seudun kontekstissa tarpeen.

Tässä tutkimuksessa selvitetään avorahastuksen soveltuvuutta Tampereen seudun linja-autoliikenteeseen. Tutkimuksen on tarkoitus toimia päätöksenteon tukena sitten, kun rahastusmallin valinta tulee raitioliikenteen aloittamisen myötä ajankohtaiseksi. Tutkimukseen liittyy keskeisesti Tampereen seudun joukkoliikenteen linjalla 2 toteutettava avorahastuspilotti, joka kestää vuoden 2019 ajan. Sen tavoitteena on testata käytännössä avorahastukseen siirtymistä, jotta käyttöönottopäätöksen tueksi on tarjolla paremmin tietoa. Siinä kuusi linjalla 2 käytössä olevaa autoa varustetaan avorahastusta varten. Teoriassa näillä kuudella autolla voisi hoitaa linjan 2 liikennöinnin kokonaisuudessaan, mutta käytännössä linjalla on myös jonkin verran kuljettajarahastusautoja. Pilotin tuloksia tarkastellaan kevään 2019 aikana osana tutkimusprosessia.

1.1. Tutkimuksen tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena on arvioida avorahastuksen soveltuvuutta Tampereen seudun joukkoliikenteeseen. Päättökysymyksenä on: *Onko avorahastus soveltuva rahastusmalli Tampereen seudun linja-autoliikenteeseen?* Alatutkimuskysymyksiä ovat:

¹ Mm. lasta lastenvaunuissa kuljettavilla, alle seitsenvuotiailla ja pyörätuolia käyttävillä matkustajilla on oikeus matkustaa ilman matkalippua. Näiden matkustajien ei luonnollisesti tarvitse leimata lippuaan.

1. Millaisia kokemuksia avorahastuksesta linja-autoliikenteessä on muualla?
2. Miten avorahastus vaikuttaa linja-autoliikenteen pysäkki- ja matka-aikoihin?
3. Miten avorahastus vaikuttaa linja-autoliikenteen talouteen?
4. Miten avorahastus vaikuttaa matkustajatyytyväisyyteen?
5. Millaisia talous- ja matka-aikavaikutuksia seuraisi avorahastuksen käyttöönotosta Tampereen seudun joukkoliikenteen runkolinjoilla?

Teoreettisena viitekehystenä selvitetään mm. avorahastuksen vaikutusta pysäkkiaikoihin, liputtomien määrään sekä matkustajakokemukseen. Työssä selvitetään myös, millaisia lippujärjestelmiä on käytössä avorahastusta hyödyntävissä kaupungeissa.

Avorahastuksen soveltuvuutta tarkastellaan tässä työssä matka- ja pysäkkiaikojen, matkustajatyytyväisyyden sekä talousvaikutusten näkökulmista. Nämä näkökulmat ovat relevantteimmat sekä kirjallisuuden että työn toimeksiantajan toiveiden perusteella.

Pilottilinjan havaintojen perusteella tarkastellaan mm. matka-aikojen muutosta. Havaintoja ja teoreettista viitekehystä käytetään hyödyksi arvioitaessa avorahastuksen soveltuvuutta myös muille Tampereen seudun joukkoliikenteen linjoille.

1.2. Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen kohteena on nimenomaan paikallislinja-autoliikenne, joten avorahastusta muissa liikennemuodoissa ei tutkita. Tutkimuksen ulkopuolelle rajataan käytettävissä olevien resurssien rajallisuuden vuoksi myös matkustajatyytyväisyyden selvittäminen kyselytutkimuksella sekä kuljettajahaastatteluiden teko. Matkustajatyytyväisyyttä käsitellään kuitenkin kirjallisuuskatsauksessa ja luvussa 5 esiteltyjen esimerkkikaupunkien kohdalla.

Mallinnettaessa avorahastuksen matka-aika- ja matkustajamäärävaikutuksia Tampereen seudulla rajoitetaan tarkastelu runkolinjoihin käytettävissä olevien resurssien vuoksi. Avorahastusjärjestelmästä saadaan suurin hyöty matkustajamäärältään suurilla linjoilla [10], mikä puoltaa tarkastelun rajaamista runkolinjoihin.

1.3. Tutkimusmenetelmät, tutkimuksen rakenne ja tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen tieteenfilosofisena suuntauksena on pragmatismi. Siinä korostetaan tutkimuskysymyksen merkitystä ja siihen parhaiten vastaavien menetelmien valintaa. Pragmatismi myös korostaa, että kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen käyttäminen samassa tutkimuksessa voi olla erittäin tarkoituksenmukaista. [12, s. 109]

Tutkimusfilosofisen suuntauksen perusteella tutkimus on päätetty toteuttaa *mixed-method* -tutkimuksena. Se tarkoittaa, että tutkimuksessa käytetään sekä kvalitatiivisia, että kvantitatiivisia aineistonkeruu- ja analysointimenetelmiä, mutta niitä ei yhdistetä

toisiinsa, vaan kvalitatiivinen aineisto analysoidaan kvalitatiivisesti ja kvantitatiivinen aineisto kvantitatiivisesti. [12, s. 151–153] Menetelmien tuottamat tulokset yhdistetään tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi.

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys muodostetaan tutkimalla aikaisemmin tehtyjä selvityksiä, tutkimuksia ja muita aineistoja kirjallisuustutkimuksena. Näin pyritään kuvailemaan mm. linja-autoliikenteen pysäkkiaikojen muodostumista sekä avorahastuksen vaikutusmekanismeja. Aiemman tutkimusaineiston avulla osoitetaan tutkimuksen yhteys aiempiin tutkimuksiin [12, s. 258]. Luotua teoreettista viitekehystä hyödynnetään myöhemmin arvioitaessa avorahastuksen soveltuvuutta Tampereen seudun linja-autoliikenteeseen. Kirjallisuustutkimusta varten aineistoa haetaan mm. Tampereen yliopiston kirjaston Andor-hakupalvelusta, Google Scholarista sekä Scopus-tietokannasta. Hakusanoina käytetään mm. termejä *all-door boarding (avorahastus)*, *bus (linja-auto)*, *boarding (nouseminen)*, *dwell time (pysäkkiaika)*, *fare evasion (liputta matkustaminen)*, *proof of payment (avorahastus)* ja *public transport (julkinen liikenne)* eri yhdistelminä. Lisäksi tietoa etsitään tarkastelemalla löydettyjen lähteiden lähdeluetteloja sekä niihin viittaavia julkaisuja.

Havainnointi jaetaan kahteen päätyyppiin: strukturoituun ja strukturoimattomaan havainnointiin. Näistä ensin mainitussa kerätään kvantitatiivista dataa esimerkiksi havainnointilomaketta hyödyntäen. Strukturoimaton havainnointi puolestaan on laadullista. Siinä tutkija merkitsee ylös kaikki tutkimukselle relevantit tapahtumat sekä havainnot käyttäytymisestä. [13, s. 104–105][14, s. 37] Yksinkertaisilta vaikuttavat ilmiöt voivat osoittautua monimutkaisiksi, kun niitä havainnoi pidempiä ajanjaksoja. Laadullisen havainnoinnin tavoitteena on löytää, kuvata ja analysoida yleisten ilmiöiden monimutkaisuutta. Tutkija kerää havaintoaineistoa huolellisella tarkkailulla, dokumentoinnilla ja havaintojen analysoinnilla. [13, s. 177–179]

Koska tutkimus toteutetaan *mixed-method* -tutkimuksena, on luonnollista käyttää kumpaakin havainnointitapaa. Strukturoidulla havainnoinnilla kerätään aineistoa mm. pysäkkiaikojen arviointia varten. Strukturoimaton havainnointi puolestaan auttaa ymmärtämään ilmiötä ja sen taustoja paremmin. Havainnoinnin lisäksi kvantitatiivista dataa saadaan myös Tampereen seudun joukkoliikenteen tietojärjestelmistä.

Tampereen seudun joukkoliikenteen avorahastuspilotin kvantitatiivisia havaintoja analysoidaan data-analyysin keinoin. Koska aikaa ja matkustajamääriä voidaan mitata lukumääräisesti, kahden arvon välinen ero voidaan laskea ja data voi teoriassa saada mitä tahansa lukuarvoja soveltuvalta väliltä, on kyseessä jatkuva data suhdeasteikolla [15, s. 417]. Kvantitatiivisen data-analyysin tekniikoilla data voidaan prosessoida ja muuttaa hyödynnettävissä olevaksi tiedoksi. Data-analyysin tekniikat mahdollistavat datan esittelyn, kuvailun ja tutkimisen. [15, s. 414]

Kvalitatiiviset havainnot analysoidaan käyttäen laadullista sisällönanalyysiä. Sillä tarkoitetaan tietoaineiston tiivistämistä mahdollistamaan tutkittavien ilmiöiden kuvailu lyhyesti ja yleiskielellä. Sen avulla voidaan tarkastella asioiden ja tapahtumien merkityksiä sekä yhteyksiä ja seurauksia. [16, s. 21–24]

Koska Tampereen seudun joukkoliikenteen avorahastuspilotin aikana havaintoaineistoa saadaan vain yhdeltä linjalta, arvioidaan avorahastuksen palvelutaso- ja liikennöintitalousvaikutuksia koko joukkoliikennejärjestelmässä mallintamalla. Mallinnuksen etuna on kustannustehokkuus ja joustavuus sekä mukautuvuus verrattuna muihin metodeihin. Tietokonemallinnuksella voidaan tarkastella konsepteja, joiden tarkastelu olisi hyvin vaikeaa esimerkiksi tavanomaisella matematiikalla. Mallinnukset pyrkivät kuvaamaan tosielämää, mutta ovat kuitenkin aina yksinkertaistuksia. Ne ovat kuitenkin hyödyllisiä työkaluja vaikutustenarvioinnissa. [17]

Kokemuksia avorahastuksesta selvitetään myös asiantuntijahaastatteluin. Haastattelut toteutetaan puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Niissä haastattelun lähtökohdat on etukäteen suunniteltu, mutta teemojen sisällä kysymyksiä muotoillaan haastattelun aikana. Menetelmän etuna on tutkittavan äänen tuominen kuuluviin. [14, s. 47–48] Puolistrukturoidut teemahaastattelut antavat vastaajalle mahdollisuuden selittää vastauksiaan ja tuoda esille osa-alueita, joita tutkija ei ole aiemmin tullut pohtineeksi [15, s. 324].

Haastatteluiden tavoitteena on laajentaa näkökulmaa ja tarkastella kokemuksia avorahastuksesta myös muualla kuin Tampereen seudulla. Haastatteluilla saadaan esille tietoa, jota ei kirjoitetussa muodossa ole saatavilla ja näin täydennetään kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Taulukossa 1 on lueteltu haastateltavat henkilöt. Kaikki haastateltavat edustivat paikallisjoukkoliikenteen järjestämisestä vastaavia viranomaistahoja. Helsingin seudun liikenteen (HSL) alue valikoitui tarkastelun kohteeksi kotimaisuutensa vuoksi, jolloin liputta matkustamisesta saadaan vertailukelpoisempaa tietoa. Bern ja Zürich puolestaan valikoituivat pitkien avorahastusperinteidensä vuoksi.

Taulukko 1. *Tutkimusta varten haastatellut henkilöt.*

haastateltava	asema	organisaatio ja paikka	haastattelutapa
Rolf Meyer	Herald of Corporate Communications	Bernmobil, Bern, Sveitsi	sähköposti
Jaana Juvonen	tarkastusesimies	HSL, Helsingin seutu	puhelin
Sanna Hirvi	tarkastusesimies	HSL, Helsingin seutu	puhelin
Oliver Tabbert	projektipäällikkö	VBZ, Zürich, Sveitsi	sähköposti

Ulkomaisten haastateltavien kohdalla teemoina olivat avorahastuksen käyttöön siirtyminen, joukkoliikenteen ja järjestäjien kokemukset avorahastuksesta sekä liputta matkustaminen ja keinot sen estämiseksi. HSL:n lipuntarkastusesimiehien kohdalla teemoina olivat yleisvaikutelma avorahastuksesta linja-autoissa, liputtomuuden määrä sekä liputtomuuden ja lipuntarkastustoiminnan erot eri liikennemuodoissa ja alueellisesti. Haastattelututkimuksen tuloksia analysoidaan kvalitatiivisella sisällönanalyysillä.

Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen rakenne sisältöluokien osalta. Sinä on myös havainnollistettu, mitä aineistonkeruu- ja analysointimenetelmiä on pääasiassa käytetty kussakin luvussa.

pääluku	aineistonkeruumenetelmät	analysointimenetelmät
1. Johdanto		
2. Joukkoliikenne Tampereen seudulla		
3. Avorahastus	kirjallisuustutkimus	kirjallisuustutkimus
4. Pysäkkiajat	kirjallisuustutkimus	kirjallisuustutkimus
5. Kokemuksia avorahastuksesta	haastattelut kirjallisuustutkimus	laadullinen sisällönanalyysi kirjallisuustutkimus
6. Avorahastuspilotti	strukturoitu havainnointi strukturoimaton havainnointi	data-analyysi laadullinen sisällönanalyysi
7. Avorahastus runkolinjoilla	strukturoitu havainnointi	data-analyysi mallintaminen
8. Päätelmät		

Kuva 1. *Tutkimuksen rakenne ja käytetyt tutkimusmenetelmät.*

Tarkemmat yksityiskohdat aineistonkeruusta ja analysoinnista on esitetty pääluvuissa, jos se on nähty tarpeelliseksi. Pääasiassa tämä pätee lukuihin 6 ja 7.

2. JOUKKOLIIKENNE TAMPEREEN SEUDULLA

Tampereen seudun paikallisjoukkoliikenteen järjestämisestä vastaa toimivaltaisena viranomaisena Tampereen seudun joukkoliikenne. Se toimii Tampereen, Kangasalan, Lempäälän, Nokian, Oriveden, Pirkkalan, Vesilahden ja Ylöjärven kuntien muodostamalla alueella. Päätävänä elimenä toimii Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikennelautakunta, joka toimii Tampereen kaupunginhallituksen ja -valtuuston alaisuudessa. Tampereen seudun joukkoliikenne vastaa palvelusopimusasetuksen mukaisesta liikenteen järjestämisestä toiminta-alueellaan. Se vastaa liikenteen suunnittelusta, asiakaspalvelusta sekä tilaamisesta [18][19].

Palvelutuotannosta vastaavat yksityiset liikennöitsijät sekä Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitos [18]. Liikennöintisopimukset tehdään pääosin bruttosopimuksina, eli liikennöitsijöille maksetaan linjan liikennöinnistä kiinteä korvaus ja lipputulot, ja niiden menetykset, jäävät Tampereen seudun joukkoliikenteelle.

2.1. Runkolinjat

Tampereen seudun joukkoliikenteen linjat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 ja 10, joilla liikennöidään tiheällä vuorovälillä ja matkustajamäärät ovat suuria, on määritelty runkolinjoiksi. Näille linjoille kohdistetaan muita linjoja enemmän kehittämistoimenpiteitä, kuten informaation ja infrastruktuurin parantamista sekä vuorotarjonnan lisäämistä [20]. Myös tässä työssä keskitytään arviomaan avorahastuksen vaikutuksia ensisijaisesti runkolinjoilla.

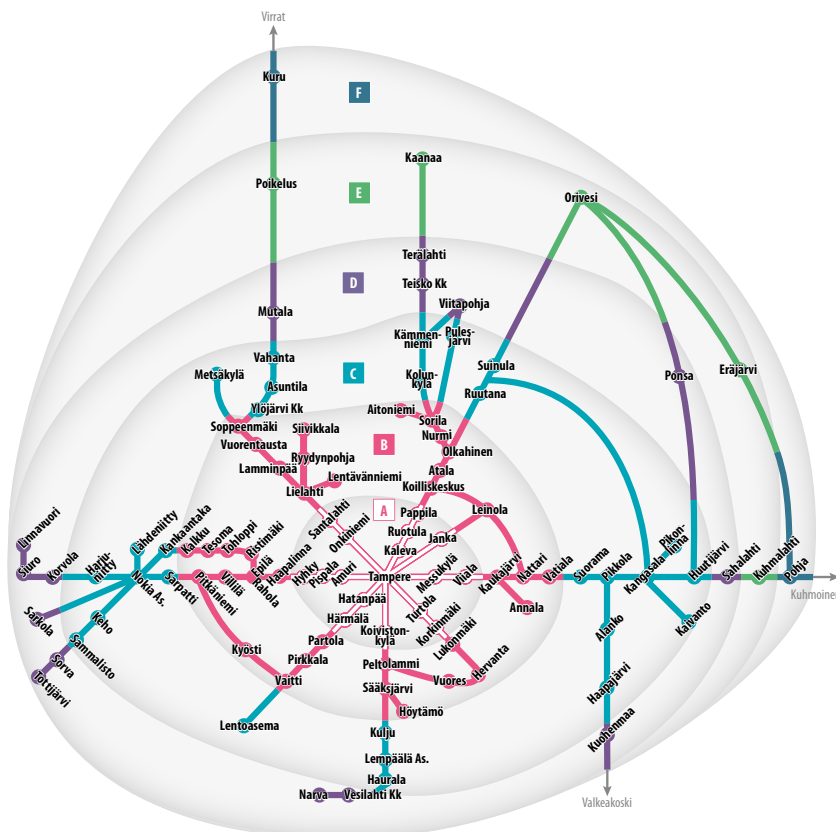
Runkolinjoilla käytetään pääasiassa telilinja-autoja, jotka ovat matalalattiaisia etu- ja keskiovien välillä. Pääsääntöisesti etuovi on yksilehtinen, keskiovi kaksilehtinen ja takaovi yksilehtinen. Toisinaan etuovi voi kuitenkin olla kaksilehtinen. Tyypillisessä autossa istumapaikkoja on noin 53. Linja 10 on poikkeus, sillä sitä liikennöidään pääosin pienemmillä kaksiakselisilla linja-autoilla, jotka muuten vastaavat muiden runkolinjojen kalustoa. Istumapaikkoja näissä on 36.

2.2. Lippujärjestelmä

Tampereen seudun joukkoliikenteessä käytetään maksuvälineenä pääasiassa etäluettavia matkakortteja: 88 % nousuista tehdään etäluettavalla matkakortilla olevalla kausi- tai arvolipulla. Kuljettajalta ostettavien kertalippujen osuus on vain 7,5 %. Kausilipuilla tehdään enemmän nousuja (57,0 %) kuin arvolipuilla (32,0 %). [21]

Lippujärjestelmä on vyöhykepohjainen. Toiminta-alue on jaettu kehämäisiin vyöhykkeisiin kuvan 2 osoittamalla tavalla. Tampereen kantakaupunki sijoittuu vyöhykkeille A ja B. Samoin kaikki runkolinjat kulkevat vyöhykkeillä A ja B lukuun ottamatta linjaa 1A, joka jatkaa vyöhykkeellä C olevalle lentoasemalle.

Lippuja myydään aina vähintään kahdelle vyöhykkeelle. Kausilipun vyöhykevalinnat on tehty jo lippua ostettaessa, eikä niitä voi muuttaa. Tosin asiakaspalvelussa on mahdollista palauttaa käsittelykulua vastaan entinen lippu ja ostaa uusi, eri vyöhykkeitä koskeva, tilalle. Arvolippua varten matkakortille asetetaan oletusvyöhykkeet, joita matkustaja voi muuttaa tarvittaessa internetissä tai myyntipisteissä. Matkustettaessa kausilipulla tai ostettaessa arvolippu oletusvyöhykkeille voi matkakortin leimata suoraan lukijassa. Mikäli matkustaja haluaa ostaa oletusvyöhykkeistä poikkeavan arvolipun, on hänen valittava haluamansa vyöhykkeet matkakortinlukijan näytöltä¹ ennen leimausta. Käytännössä siis lähes kaikki matkakortilla matkustavat matkustajat voivat vain leimata lippunsa ja vain hyvin harvoin matkustaja joutuu tekemään erillisiä valintoja matkakortinlukijalla, mikä nopeuttaa ja sujuvoittaa ajoneuvon nousemista.



Kuva 2. Tampereen seudun joukkoliikenteen vyöhykejako. [22]

Kuljettajalta ostettavan kertalipun rinnalle on tullut vuoden 2019 alkupuolella QR-koodilla varustettu mobiilikertalippu, joka leimataan näyttämällä se matkakortinlukijan optiselle lukijalle puhelimen näytöltä. Huhtikuun alussa tuli käyttöön myös mobiilivuorokausilippu. Mobiililipun leimaaminen on hitaampaa kuin matkakortin,

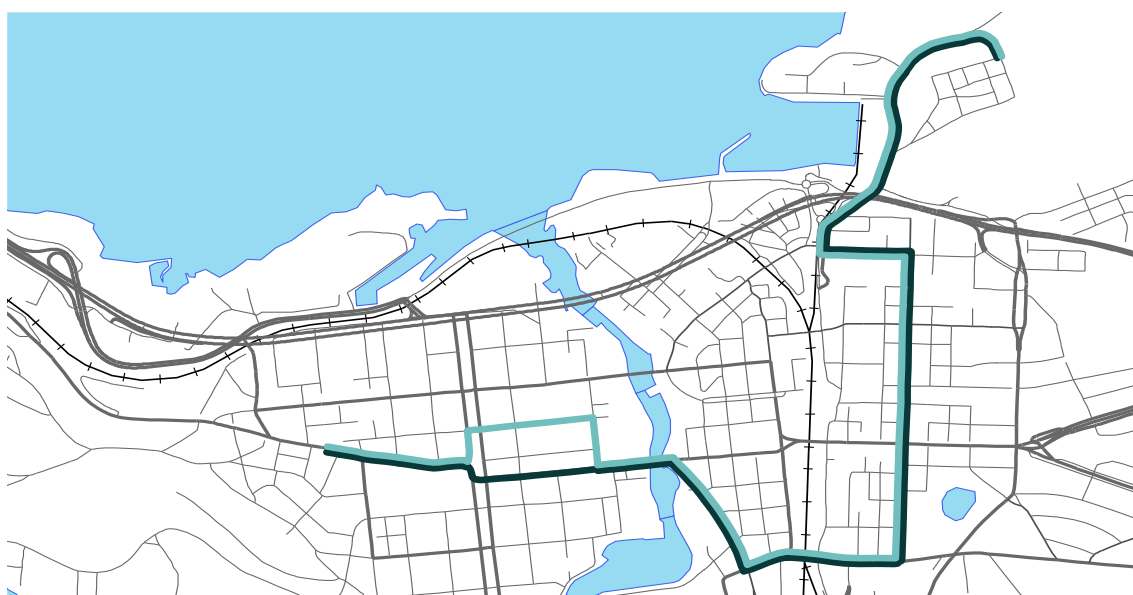
¹ Jos linja-autossa on vanhanmallinen kortinlukija, kuljettaja asettaa vyöhykkeet.

mutta nopeampaa verrattuna kertalipun ostaminen kuljettajalta usein on. Mobiililippuja on ostettu ensimmäisinä kuukausina lanseeraamisen jälkeen keväällä 2019 noin 10 000 kappaletta kuukautta kohden, joka on varsin vähän verrattuna nousujen kokonaismäärään 3,4 miljoonaa kuukaudessa [21][23]. Mobiililipun käyttö on kuitenkin kalliimpaa kuin matkan maksaminen arvolipulla, joten nykyhinnoittelulla matkakortin käyttömäärät tuskin vähenevät.

2.3. Avorahastuksen pilotointi

Avorahastusta pilotoidaan Tampereen seudun joukkoliikenteessä vuoden 2019 ajan linjalla 2. Kyseinen linja on valikoitunut pilottilinjaksi, sillä sillä käytetään, ainakin teoriassa, aina samoja autoja johtuen tavoitteesta liikennöidä linjaa sähkölinja-autoilla.

Linja 2 kulkee Pyynikintorin ja Rauhaniemen välillä kuvassa 3 esitettyä reittiä pitkin. Linja kulkee kokonaisuudessaan vyöhykkeellä A. Reitillä on 17 pysäkkiä Pyynikintorin suuntaan ja 16 pysäkkiä Rauhaniemen suuntaan. Pyynikintorille päin ajettaessa käytössä ollut pysäkki Tammelan puistokatu 34 on poistettu reitiltä 19.12.2018. Vaikka pysäkki-muutos on tapahtunut ennen pilotin aloittamista, on sillä silti merkitystä vertailtaessa matka-aikoja ennen ja jälkeen pilotin. Lisäksi Keskustorin pysäkki ajettaessa Rauhaniemen suuntaan on siirtynyt muutamilla kymmenillä metreillä raitiotietyömaasta johtuen.



Kuva 3. Linjan 2 reitti. Tummemmalla reitti itään (Rauhaniemeen) ja vaaleammalla reitti länteen (Pyynikintorille). [24][25]

Hämeenkadulla ja Pirkankadulla rakennetaan raitiotietä, minkä takia liikennejärjestelyt reitillä ovat vaihdelleet muun muassa Pyynikintorin ympäristössä. Lisäksi raitiotietyömaa on saattanut ajoittain aiheuttaa viivästyksiä linja-autoliikenteelle. Liikennejärjestelyt ovat kuitenkin pysyneet samankaltaisina eikä niistä aiheutuneen haitan linja-autoliikenteelle ole arvioitu muuttuneen merkittävästi pilotin ja sitä edeltäneen vertailuajanjakson aikana.

Ensisijaisena kalustona linjalla 2 on neljä Solaris Urbino 12 Electric -sähkölinja-autoa ja kaksi Solaris Urbino 12,9 Hybrid -linja-autoa, joista kerrallaan liikenteessä on viisi autoa. Nämä autot on varusteltu avorahastuskokeilua varten asentamalla matkakortinlukijat myös keskioville ja liimaamalla avorahastuksesta matkustajille kertovat ohjetarrat ovien ulkopuolelle ja ajoneuvojen sisätiloihin. Solaris Urbino 12 Electric -autot ovat kokonaan matalalattiaisia kaksiakselisia autoja, joissa on yksilehtinen etuovi, kaksilehtinen keskiovi ja kaksilehtinen takaovi. Istumapaikkoja on 35. Solaris Urbino 12,9 Hybrid -autot ovat niin ikään kokonaan matalalattiaisia, mutta niissä ei ole lainkaan takaovea. Istumapaikkoja on 39 kappaletta. Molemmat autotyypit poikkeavat siis tavanomaisista Tampereen seudulla käytetyistä linja-autoista niin rakenteensa kuin istumapaikkamääränsäkin puolesta.

Linjalla käytetään kuitenkin toissijaisesti myös muuta kalustoa, jota ei ole varusteltu avorahastusta varten, vaan näiden autojen kohdalla nouseminen on sallittua vain etuovesta. Pyrkimyksenä on minimoida muun kuin avorahastusvarustellun kaluston käyttö, mutta linjalla on ollut lähes päivittäin myös kuljettajarahastusautoja. Tarkemmin pilotin tuloksia käsitellään luvussa 6.

3. AVORAHASTUS

Avorahastuksen suurimpana etuna pidetään usein pysäkkiaikojen lyhenemistä. Lyhyemmät pysäkkiajat taas johtavat nopeampaan matka-aikaan. Matka-aika on puolestaan yksi keskeisimmistä joukkoliikenteen kilpailukykytekijöistä ja vaikuttaa merkittävästi myös matkustajatytyväisyyteen¹.

Avorahastuksella on myös talousvaikutuksia niin hyvässä kuin pahassakin. Avorahastus lisää tyypillisesti liputtomuutta, mikä laskee joukkoliikenteen järjestäjän tuloja. Toisaalta matka-aikojen nopeutuminen voi vähentää linjan autotarvetta, jolloin kertyy liikennöintikustannussäästöjä².

Avorahastus voidaan ottaa käyttöön kolmella eri toteutustavalla: linja-, järjestelmä- ja pysäkkitasolla. Linjatasoisella toteutustavalla tarkoitetaan avorahastuksen käyttöönottamista jollakin tai joillakin linjoilla. Siinä avorahastuksen piiriin voidaan valita siitä eniten hyötyvät linjat, eli ne joissa nousijamäärät ovat suuret valtaosalla pysäkeistä. [10] Linjatasoinen toteutustapa voi olla luonteva aloitus avorahastukselle, josta voidaan myöhemmin siirtyä linjastotasoiseen toteutustapaan, mikäli avorahastus on havaittu hyödylliseksi. Näin on toimittu esimerkiksi Göteborgissa, jossa linja-autoliikenteen runkolinjoilla avorahastus otettiin käyttöön 2003 ja avorahastukseen siirryttiin kaikessa liikenteessä vuonna 2011. Tätä ennen avorahastus tosin oli ollut käytössä pitkään kaupungin raitioliikenteessä. [26]

Järjestelmätasoisessa toteutuksessa avorahastus on käytössä kaikilla joukkoliikenteen järjestäjän linjoilla. Johdonmukaisena ratkaisuna se olisi matkustajille helppo ymmärtää. Lisämatkakortinlukijat täytyisi kuitenkin asentaa kaikkiin linja-autoihin. On epätodennäköistä, että matka-aikasäästöt olisivat kaikilla linjoilla niin suuret, että ne korvaisivat matkakortinlukijoiden asentamisesta koituvat kustannukset ja liputtomuudesta aiheutuvat tulonmenetykset. [10]

Pysäkkitasoisella toteutustavalla tarkoitetaan mahdollisuutta nousta kyytiin useammasta ovesta tietyillä pysäkeillä linjasta riippumatta. Käytännössä pysäkkitasoiseen toteutustapaan valittavat pysäkit voidaan valita pääasiassa suuren matkustajamäärän perusteella. [10] Toteutustavan kustannukset saattavat nousta korkeiksi, sillä otettaessa avorahastus käyttöön yhdelläkin pysäkillä linjan varrella on keskiovet varustettava matkakortinlukijoin. Vaihtoehtoisesti voitaisiin toki asentaa säänkestävät matkakortinlukijat avorahastusta käyttäville pysäkeille. Pysäkkitasoinen järjestelmä on harvinainen, mutta käytössä ainakin Montrealissa ja Seattlessa. Montrealissa se on tosin käytössä vain tietyillä linjoilla³. Seattlessa pysäkkitasoinen avorahastus on otettu käyttöön 23.3.2019

1 Matka-ajan vaikutuksesta matkustajatytyväisyyteen on kerrottu tarkemmin luvussa 3.3.

2 Avorahastuksen vaikutusta joukkoliikenteen talouteen käsitellään tarkemmin luvussa 3.5. Liputta matkustamista käsitellään myös luvussa 3.4.

3 Ks. kpl. 5.4.3.

siten, että kaupungin pääasialliselle joukkoliikennekadulle on asennettu pysäkeille matkakortinlukijoita, joissa matkakortin voi leimata ennen nousua kulkuneuvoon [27]. Tietoa toteutustavan selkeydestä matkustajan kannalta ei löydetty tätä tutkimusta tehtäessä.

3.1. Avorahastuksen vaikutukset pysäkkiaikoihin

Avorahastus voi vaikuttaa pysäkkiaikoihin kolmen mekanismin kautta: jakamalla matkustajavirrat useammalle ovelle, vähentämällä kävelymatkaa pysäkillä sekä tasaamalla linja-auton kuormitusta [10]. Näitä kolmea mekanismia käsitellään seuraavaksi tarkemmin.

Mekanismeista matkustajavirtojen jakautuminen on ilmeisin. Sen sijaan, että matkustajat nousisivat autoon yksi kerrallaan, nousuja tapahtuu useita yhtä aikaa. Ainakin teoriassa tämän pitäisi lyhentää matkustajien nousuun kuluva aikaa. Esimerkiksi Transit Cooperative Research Programin (TCRP) mukaan linja-autoon nousemisessa kuluu keskimäärin 2,5 s matkustajaa kohden, mikäli linja-autoon noustessa ei tarvitse maksaa matkaa. Kun nousevat matkustajat jakautuvat kahdelle ovelle, kuluu aikaa 1,8 s matkustajaa kohden. Kun tarkastelussa otetaan huomioon lisäksi matkan maksamiseen kuluva aika, kuluu aikaa saman lähteen mukaan matkakortilla maksettaessa matkustajaa kohden 3,5 s yhdestä ovesta noustaessa ja 2,4 s kahdesta ovesta noustessa. Lukuarvot ovat korkealattiaisille linja-autoille ja matalalattiaikalustoa käytettäessä luvuista tulee vähentää 0,5 sekuntia matkustaja kohden. [6] Taulukossa 2 on esitetty vertailun vuoksi matkustajapalveluaikoja kuljettajarahastuksella eri lipputyypeillä. Siinä on esitetty sekä havaittu vaihteluväli keskimääräisissä matkustajapalveluajoissa että arvo, jonka tutkimuksessa arvioidaan olevan lähinnä todellista useimmissa tilanteissa.

Taulukko 2. *Matkustajapalveluaikoja kuljettajarahastuksella TCRP:n mukaan. [6]*

tilanne	matkustajapalveluaika (s / matkustaja)	
	havaittu vaihteluväli	ehdotettu oletusarvo
nousu		
ennakkomaksu*	2,25–2,75	2,5
kertalippu tai poletti	3,4–3,6	3,5
etäluettava matkakortti	3,0–3,7	3,5
tasaraha	3,6–4,3	4,0
magneettiraitamatkakortti	4,2	4,2
poistuminen		
etuovi	2,6–3,7	3,3
takaovi	1,4–2,7	2,1

HUOM:

Lisää 0,5 sekuntia/matkustaja nousuaikoihin, jos seisomapaikkoja on käytössä.

Vähennä 0,5 sekuntia/matkustaja nousuajoista ja 1,0 sekuntia/matkustaja etuoven poistumisajoista matalalattialinja-autoissa.

* sisältäen: ilmainen joukkoliikenne, vaihtolippu ja maksaminen poistuessa

On kuitenkin syytä huomata matkustajien poistumiseen linja-autosta kuluvan oma aikansa, joten ajoneuvoon nousemisen nopeuttaminen ei välttämättä laske pysäkkiaikaa joka pysäkillä. Tyypillisesti se, kuluuko matkustajien nousemiseen vai poistumiseen enemmän aikaa, riippuu pysäkestä.

Sergio Jara-Díaz ja Alejandro Tirachini selvittivät tutkimuksessaan [7] matkustajien keskimääräisiä nousu- ja poistumisaikoja¹ (s/hlö²) riippuen rahastusjärjestelmästä ja käytetystä matkakorttityypistä. Tutkimuksessa tunnistettiin kaksi keskeistä tekijää joilla voidaan vaikuttaa nousu- ja poistumisaikoihin: *teknologiaefekti* ja *oviefekti*. Tästä johtuen nousu- ja poistumisajat määriteltiin erikseen yleisimmille maksutavoille ja eri ovien määrille. Tarkasteluun otettiin kaikista maksutapa- ja ovilukumääräyhdistelmistä erikseen tapaukset, joissa nousu linja-autoon tapahtuu vain etuovesta tai kaikista ovista. Eri maksutapojen vaikutuksen arviointi perustuu nousuaikojen havaintoihin Sydneyssä ja Santiagossa. Esitetyt ajat on saatu laskemalla nousu- ja poistumisajat erikseen viidelle eri kuormitustilanteelle ja laskemalla niistä painotettu keskiarvo. Kuvassa 4 on esitetty tutkimuksen tuloksia. Kuvasta voidaan havaita kaikista ovista sisään nousemisen sallivan avorahastuksen käytön nopeuttavan yhden matkustajan nousemiseen tai poistumiseen kuluvaa aikaa 2,6 sekunnista 1,6 sekuntiin kaluston ollessa kolmiovista ja maksutavan etäluettava kortti. [7]

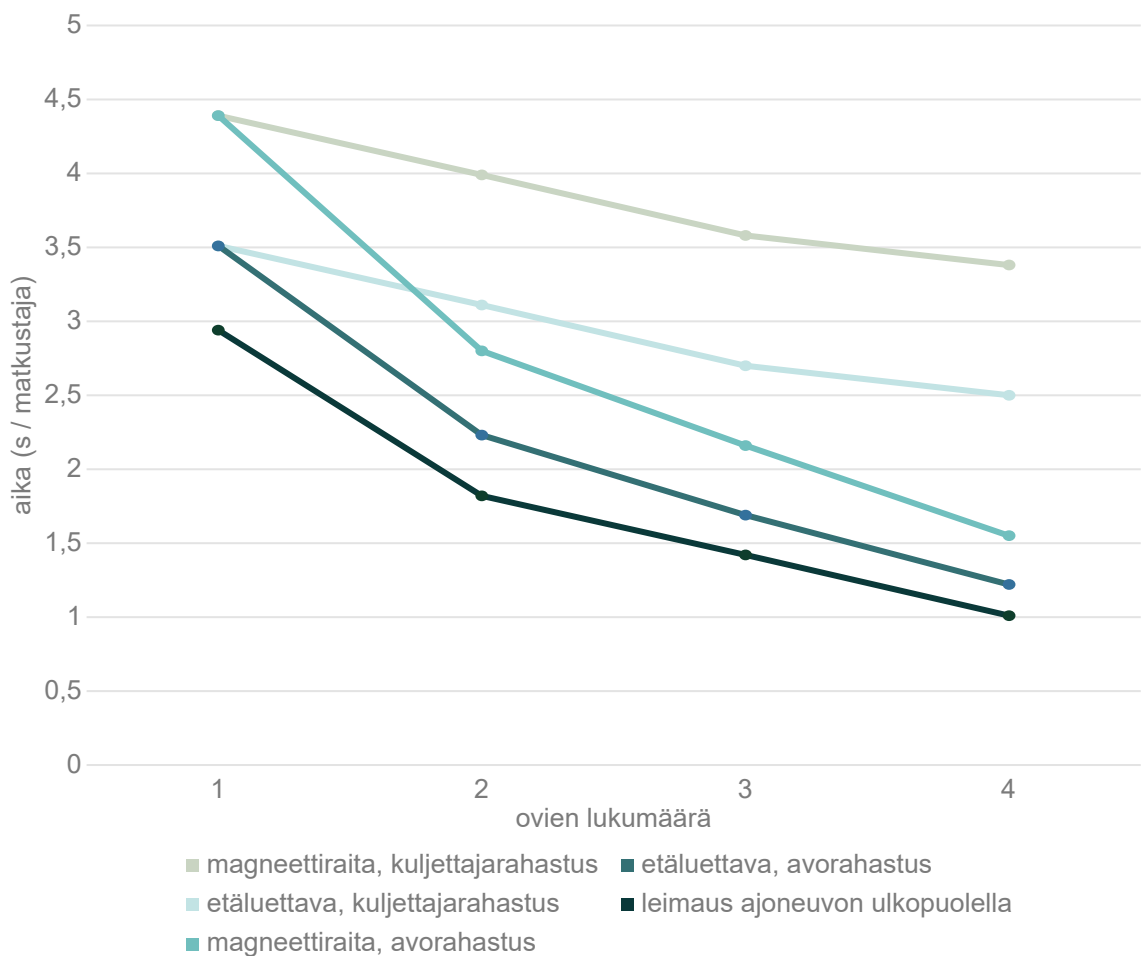
Tutkimuksessa, johon kuva 4 perustuu, on käsitelty vain tilanteet, joissa linja-autoon noustaankin joko kaikista ovista tai vain etuovesta, muttei Tampereen seudulla pilotoitua mallia, jossa nousu tapahtuu etu- ja keskiovista takaoven ollessa pelkästään poistumista varten. Voidaan kuitenkin olettaa, että takaovi poistumista varten ei ainakaan pidennä nousu- ja poistumisaikaa verrattuna kaksiovisen linja-autoon, sillä se vähentää poistuvien matkustajien määrää keskiovellä, mikä vähentää keskiovien ruuhkautumista, mikä nopeuttaa ajoneuvoon nousemista. Kaksiovisen linja-auton nousu- ja poistumisaika on kuvan 4 mukaan avorahastusta käytettäessä n. 2,2 sekuntia, joka on selvästi lyhyempi kuin kolmiovisen linja-auton kuljettajarahastusta käytettäessä vaatima 2,7 s matkustajaa kohden. [7]

Kuvaa 4 apuna käyttäen voidaan arvioida leimausvelvoitteen vaikutusta matka-aikoihin. Vaikka kuva 4 käsittelee eri maksutapojen vaikutusta, voidaan sitä soveltaa myös leimausvelvoitteen arviointiin. Ajankäytöllisesti leimaaminen linja-auton ulkopuolella on verrattavissa tilanteeseen, jossa kaikki matkustajat matkustaisivat kausilipuilla eikä leimausvelvoitetta olisi, sillä kummassakin tilanteessa ajoneuvoon noustaessa ei leimaamisesta tai matkan maksamisesta aiheudu minkäänlaista viivettä. Kuvasta 4 nähdään, että lipun leimaus jo pysäkillä lyhentää matkustajakohtaista nousu- ja poistumisaikaa 0,2–0,3 s [7]. Tästä saadaan yläraja ajalle, jonka leimausvelvoite voisi lisätä yhden matkustajan nousu- ja poistumisaikaan verrattuna tilanteeseen, jossa leimausvelvoitetta ei olisi. Koska

1 Tutkimuksessa ei ole eritelty nousevien ja poistuvien matkustajien kuluttamaa aikaa, vaan on laskettu vain keskimääräinen aika nousevaa/poistuvaa matkustajaa kohden.

2 Ajat on määritetty jakamalla matkustajapalveluun kuluva kokonaisaika nousevien ja poistuvien matkustajien määrän summalla. Aika on siis eri kuin yhden matkustajan nousuun tai poistumiseen kuluva aika, sillä nousut ja poistumiset voivat tapahtua osittain samanaikaisesti.

Tampereen seudulla nousuista linja-autoon 55,4 % tapahtuu kausilipuilla, 32,6 % arvolipuilla ja loput 12 % jollakin muulla lipputyypillä [28], vain hieman yli puolet matkustajista¹ voisi nousta linja-autoon ilman tarvetta lipun leimaamiselle tai käteisellä maksamiselle, vaikkei leimausvelvoitetta olisikaan. Voidaan siis todeta leimausvelvoitteen lisäävän nousu- ja poistumisaikaa, mutta ajanlisäys jää melko pieneksi, arviolta 0,1–0,2 sekuntiin matkustajaa kohden. Samasta kuvasta voidaan havaita myös maksutavan merkityksen pienenevän ovien määrän lisääntyessä. Nivellinja-autossa leimausvelvoite siis pidentää pysäkkiaikoja vähemmän kuin jäykkärakenteisessa suuremmasta ovien määrästä johtuen. Suuremmasta ovilukumäärästä johtuen raitiovaunussa leimausvelvoitteen merkitys olisi vielä pienempi.

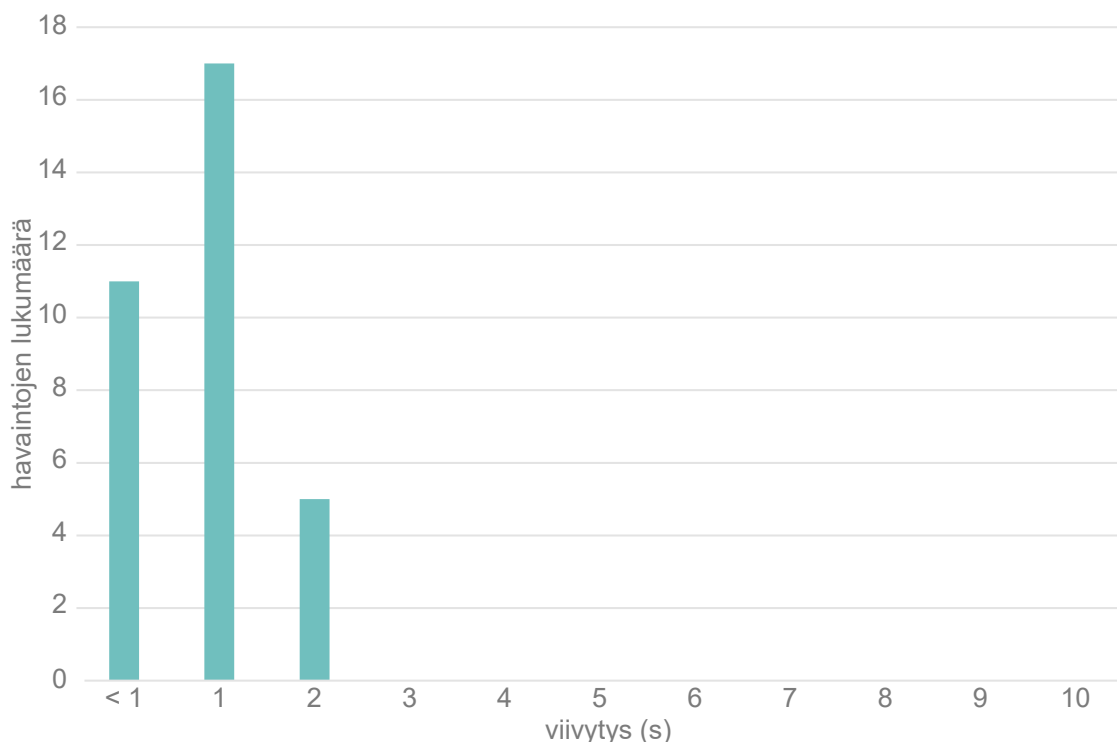


Kuva 4. *Nousu- ja poistumisaikojen riippuvuus matkakortin tyypistä ja linja-auton ovien lukumäärästä. [7]*

Kävely matka pysäkillä tarkoittaa sitä matkaa, jonka linja-autoon nousemassa oleva matkustaja joutuu kävelemään päästäkseen odotuspaikaltaan linja-auton ovelle tai sen edessä olevaan jonoon. Tähän luonnollisesti kuluu myös aikaa, mikä viivyyttää linja-auton kulkua. Avorahastusmallissa on mahdollista, että matka ja sitä kautta myös aika lyhenee,

¹ Ilman leimausvelvoitetta linja-autoon voisivat nousta leimaamatta kausilipulla matkustavien lisäksi myös vuorokausilippua käyttävät sekä vaihtolipulla matkustavat.

kun matkustaja voi valita itseään lähimmän oven. Pysäkillä, jossa pysähtyy vain yksi linja-auto kerrallaan, kävelyn vaikutus pysäkkiaikaan on korkeimmillaankin kaksi sekuntia [29]. Tavanomaisempaa on huipputunninkin aikana, että kävelyn vaikutus pysäkkiaikaan on sekunti tai alle [29]. Kuvassa 5 on esitetty kävelyn vaikutus pysäkkiaikaan mukaan.

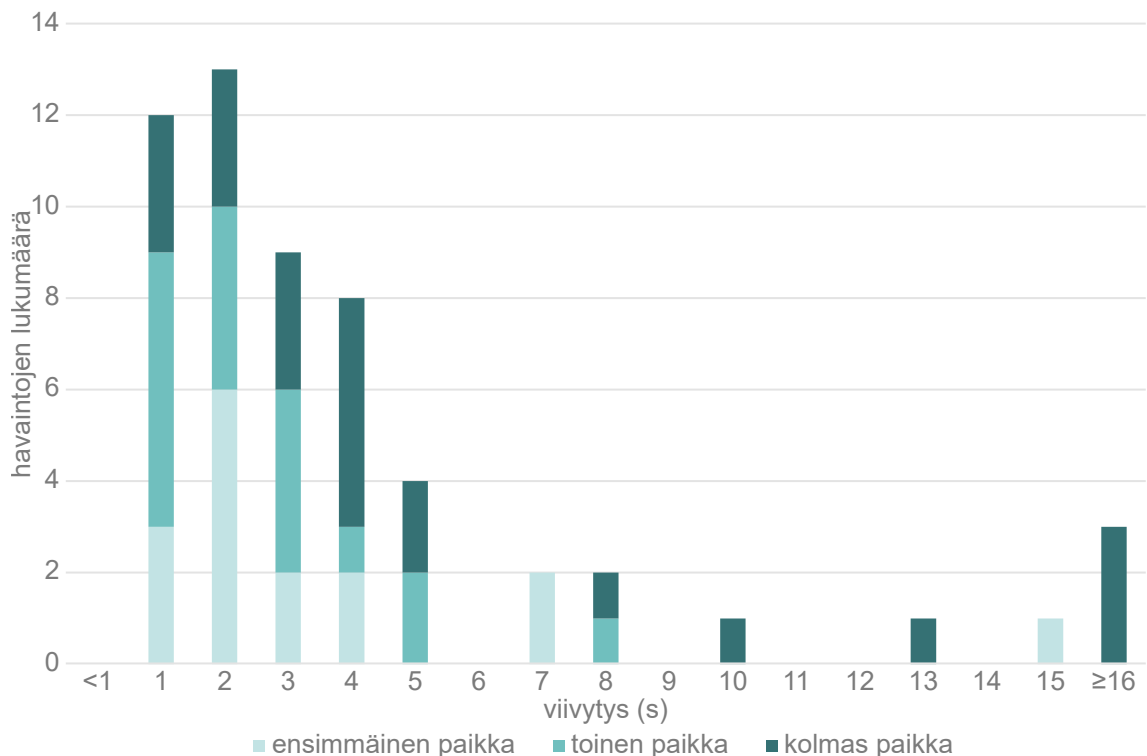


Kuva 5. *Pysäkkikävelyn vaikutus linja-auton pysäkkiajan viivytykseen ruuhkahuipputuntina tavallisella yhden linja-auton pysäkillä. Sisäänkäynti vain etuovesta. [29]*

Teoriassa kävelyaika voisi olla lähestulkoon nolla, mikäli matkustajat asemoituisivat täsmälleen oikein pysäkillä jo ennen linja-auton saapumista. Käytännössä näin ei kuitenkaan tapahdu kovin usein. Voidaan todeta, että kävelyaajan vaikutus pysäkkiaikaan yhden linja-auton pysäkeillä on varsin pieni ja näin avorahastuksen nopeuttamispotentiaalikaan ei ole kovin suuri kävelyaajan osalta.

Usein pysäkillä on kuitenkin useampi kuin yksi auto. Tampereella pysäkit mitoitetaan useimmiten kahdelle telilinja-autolle. Varsinkin keskusta-alueilla on yleistä, että samaa pysäkkiä palvelee kaksi linja-autoa samanaikaisesti. Joskus autoja on pysäkillä samanaikaisesti kolmekin. Kuvassa 6 on esitetty kävelyn vaikutus pysäkkiaikaan kolmen linja-autopaikan BRT-asemalla¹. Asemalla, jossa tutkimus suoritettiin, oli kolme perättäistä linja-autopaikkaa [29]. Kuvasta huomataan, että BRT-asemalla kävelyaajat ovat hieman pidemmät kuin yhden linja-auton pysäkillä. BRT-asemaa ei voida verrata suoraan tavalliseen kadunvarsipysäkkiin infrastruktuurin ja matkustajamäärien erojen takia. Kuva kuitenkin havainnollistaa kävelyaikojen pitenemistä linja-automäärän kasvaessa.

¹ BRT:llä tarkoitetaan linja-autoilla toteutettua nopeaa, pääosin tai kokonaan muusta liikenteestä eristettyä, joukkoliikennettä.



Kuva 6. Pysäkkikävelyn vaikutus linja-auton pysäkkiajan viivytykseen ruuhkahuipputuntina BRT-asemalla. Sisäänkäynti vain etuovesta. [29]

Linja-auton kuormituksen tasaamisella tarkoitetaan matkustajien sijoittumista linja-auton sisätiloihin tasaisemmin. Avorahastuksella kuormitus tasaantunee, jolloin ovien läheisyydet ruuhkautuvat vähemmän. [9] Kun seisomapaikkoja on käytössä, on kortinlukijalta eteenpäin siirtyminen hitaampaa, mikä taas estää seuraavien matkustajien pääsyn maksamaan [5, s. 6-6](sic). Pahimmillaan etuoven edustan ruuhkautuminen voi nostaa yhden matkustajan nousuun kuluvaan aikaan 0,5 s [9][10]. Samaten seisomapaikkojen käyttö voi häiritä autosta poistumista [5, s. 6-6](sic).

Pysäkkiaikojen muodostumista käsitellään myös luvussa 4.2. Matemaattisia malleja pysäkkiajan arvioimiseksi puolestaan esitetään luvussa 4.3.

3.2. Avorahastuksen vaikutukset matka-aikaan

Avorahastuksen vaikutus matka-aikaan riippuu joukkoliikennejärjestelmästä. Kuten jo avorahastuksen vaikutusta pysäkkiaikoihin arvioitaessa todettiin, ei avorahastuksesta ole juuri hyötyä vähäliikenteisillä linjoilla. Samoin mm. lippujärjestelmä ja pysäkkitiheys vaikuttavat avorahastuksen tehokkuuteen [10]. Kirjallisuutta matka-aikavaikutuksista on saatavilla heikosti johtuen oletettavasti juurikin hyötyjen joukkoliikennejärjestelmäriippuvuudesta. Ainoa löydetty arvio avorahastuksen matka-aikavaikutuksista yleistasolla on, että matka-ajat vähenisivät kolmiovisilla linja-autoilla 4,6–13,3 % [10]. Luvun 5

esimerkkikaupungeista on kerrottu arvio matka-aikojen muutoksista, mikäli tieto on ollut saatavissa. Tampereen seudun pilotin matka-aikavaikutuksia on käsitelty luvussa 6.4 ja muutoksia matka-ajassa muilla linjoilla on arvioitu luvussa 7.3.

Colin Stewart ja Ahmed El-Geneidy [10] selvittivät avorahastuksen potentiaalia Montreallissa monimutkaisen matemaattisen mallin avulla¹. Tutkimukseen valittiin joitakin avorahastuksesta eniten hyötyväksi arvioituja linjoja Montrealista. Taulukossa 3 on esitetty prosentuaaliset matka-aikasäästöt näillä linjoilla aamuruuhkan aikaan. Taulukossa on erikseen arviot muutoksen ylä- ja alarajalle. Taulukosta nähdään avorahastuksella saavutettavan merkittäviä matka-aikahyötyjä linjatasolla toteutettuna. Siitä havaitaan myös, että avorahastuksen käyttöönottoaminen vilkkaimmilla pysäkeillä voi sekin nopeuttaa matka-aikaa hieman.

Taulukko 3. *Arvioidut prosentuaaliset matka-aikasäästöt aamuruuhkan aikana avorahastuksesta eniten hyötyväksi arvioituilla Montrealin linja-autolinjoilla. [10]*

skenaario	linja							
	45	67	121	161	165	435	439	467
linjatasoinen								
matala arvio	6,9	7,6*	-	4,7	6,8*	-	6,2	9,2
korkea arvio	9,2	10,1*	-	7,1	9,1*	-	8,7	12,2
matala arvio, leimaus ulkopuolella	8,9	9,8*	-	7,4	8,8*	-	7,9	11,8
korkea arvio, leimaus ulkopuolella	10,5	11,6*	-	9,1*	10,4*	-	9,4	13,9
suuret pysäkit								
matala arvio	-	2,3	2,4	0,8	1,5*	1,9	-	3,2
korkea arvio	-	3,2	3,3	1,2	2,0*	2,6	-	4,3
matala arvio, leimaus ulkopuolella	-	3,1	3,3	1,3	1,9*	2,5	-	4,1
korkea arvio, leimaus ulkopuolella	-	3,7	4,0	1,6	2,3*	3,0	-	5,0

* linja-autotarve pienentynyt yhdellä

Matka-aikojen keskimääräisen nopeutumisen lisäksi avorahastuksen on havaittu vähentävän matka-aikojen keskijajontaa, eli toisin sanoen parantavan linja-autoliikenteen täsmällisyyttä [30][31]. Täsmällisyyden parantuminen on joukkoliikenteen kilpailukyvyyn ja matkustajien kannalta edullista, sillä täsmällisyys on yksi tärkeimmistä palvelutasotekijöistä [32][33][34]. Erään lähteen mukaan täsmällisyys on jopa tärkeämpää kuin matka-aika [34].

Avorahastuksen vaikutusta matka-aikaan tutkittiin myös Torinossa. Siellä lähestymistapa vain oli käänteinen, sillä paikallinen lakimuutos velvoittaa joukkoliikenteen järjestäjää edellyttämään leimaamista kaikilta matkustajilta. Tutkimuksen alussa havainnointiin matkustajakäyttäytymistä Torinon vilkkaimmalla, nivellinja-autoin liikennöidyllä, linjalla valvontakameroiden avulla. Nauhoitteista havainnoitiin käsin mm. nousevat ja poistuvat matkustajat sekä pysäkkiajat. Näiden havaintojen perusteella luotiin matemaattinen malli kyseisen linjan pysäkki- ja matka-ajoille. Tutkimuksessa mallinnettiin neljä skenaariota:

¹ Myöhemmin suoritettiin pilotti, jossa mallia testattiin käytännössä. Pilotti on esitelty luvussa 5.4.1.

- S0 Nykytilan mallinnus.
 S1 Nousu- ja poistuminen kaikista ovista, leimausvelvoite.
 S2 Nousu vain etuovesta, leimausvelvoite.
 S3 Nousu etu- ja takaovista, leimausvelvoite. Poistuminen keskiovista.

Jokaisesta skenaariosta nykytilannetta lukuun ottamatta luotiin kolme alaskenaariota, jotka mallinsivat leimaamisesta aiheutuvaa yhden, kahden tai kolmen sekunnin viivettä, sillä tutkijat eivät osanneet arvioida tarkasti leimaamiseen kuluvaan aikaan¹. Taulukossa 4 on esitetty tutkimuksessa saadut pysäkkiaikojen muutokset ja taulukossa 5 matka-aikojen muutokset eri skenaarioissa.

Taulukko 4. *Pysäkkiaikojen arvioidut keskimääräiset prosentuaaliset nopeutumiset Torinossa eri skenaarioissa. [11] Negatiiviset arvot merkitsevät ajan pidentymistä ja positiiviset lyhentymistä.*

leimaamiseen kuluva aika	S0	S1			S2			S3		
	-	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s
arki 7–9	1,18	16,88	28,62	43,11	29,76	60,14	91,15	22,56	41,99	63,31
arki 9–16	-2,69	12,95	28,79	43,66	32,54	65,29	98,05	24,12	37,53	59,73
arki 16–20	-2,37	15,51	33,39	51,28	39,76	69,79	103,41	25,16	49,05	73,35
lauantai	-1,27	12,26	21,39	35,33	42,21	63,99	90,92	28,24	49,74	71,70
sunnuntai	0,01	15,63	19,70	37,16	56,91	84,44	115,96	40,61	66,55	92,71

Taulukko 5. *Matka-aikojen arvioidut keskimääräiset prosentuaaliset nopeutumiset Torinossa eri skenaarioissa. [11] Negatiiviset arvot merkitsevät ajan pidentymistä ja positiiviset lyhentymistä.*

leimaamiseen kuluva aika	S0	S1			S2			S3		
	-	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s
arki 7–9	0,13	1,88	3,20	4,81	3,32	6,72	10,18	2,52	4,69	7,07
arki 9–16	-0,33	1,61	3,58	5,42	4,04	8,11	12,18	3,00	4,66	7,42
arki 16–20	-0,28	1,84	3,96	6,08	4,72	8,28	12,27	2,98	5,82	8,70
lauantai	-0,18	1,77	3,08	5,09	6,08	9,22	13,11	4,07	7,17	10,34
sunnuntai	0,00	2,28	2,88	5,43	8,32	12,35	16,96	5,94	9,73	13,56

Taulukoista 4 ja 5 voidaan havaita leimausvelvoitteen kasvattavan matka- ja pysäkkiaikoja jonkin verran. Sekä matka- että pysäkkiajat ovat kuitenkin huomattavasti pidempiä skenaarioissa S2 ja S3, joissa ei sallita nousemista kaikista ovista. Kaikkein huonoin tilanne on skenaariossa S2 eli kuljettajarahastusskenaariossa. Eri skenaarioiden liikennöintitalousvaikutuksia on kuvattu luvussa 3.5.

¹ Muiden tutkijoiden arvioita on esitetty luvussa 3.1.

Taulukko 6. *Pysäkkiajan prosentuaalinen nopeutuminen siirryttäessä kuljettajarahastuksesta avorahastukseen.*

leimaamiseen kuluva aika	S1 vs S2		
	1 s	2 s	3 s
arki 7–9	9,93	19,68	25,13
arki 9–16	14,78	22,08	27,46
arki 16–20	17,35	21,44	25,63
lauantai	21,06	25,98	29,12
sunnuntai	26,31	35,10	36,49

Taulukko 7. *Pysäkkiajan prosentuaalinen nopeutuminen siirryttäessä kuljettajarahastuksesta avorahastukseen.*

leimaamiseen kuluva aika	S1 vs S2		
	1 s	2 s	3 s
arki 7–9	1,39	3,30	4,87
arki 9–16	2,34	4,20	6,02
arki 16–20	2,75	3,99	5,51
lauantai	4,07	5,62	7,09
sunnuntai	5,57	8,43	9,85

Leimausajoista 1 sekunti vaikuttaisi olevan lähinnä totuutta, tai jopa liian suuri, TCRP:n sekä Jara-Díazin & Tirachinin mukaan. Näin kuljettajarahastuksesta seuraisi ajankohdasta riippuen 3,32–8,32 % suuruinen pidennys pysäkkiaikaan verrattuna avorahastustilanteeseen, jossa lippuja ei leimata lainkaan. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty taulukoiden 4 ja 5 lukuihin perustuen, kuinka paljon pysäkki- ja matka-ajat lyhenisivät siirryttäessä kuljettajarahastuksesta leimausvelvoitteelliseen avorahastukseen.

3.3. Matkustajakokemus

Avorahastuksella saavutetaan myös matkustajatytyväisyshyötyjä [9][10]. Stewart ja El-Geneydymainitsevatkolmesyytäparantuneellematkustajatytyväisyydelle:lyhentyneet matka-ajat, ruuhkautumisen vähenemisen ja valinnanvapauden kasvamisen [10].

Matka-aikaa pidetään yleisesti yhtenä tärkeimmistä, ellei jopa tärkeimpänä, joukkoliikenteen kilpailukykytekijöistä [32][33, s. 18][35, s. 28], vaikkakin myös vastakkaisia näkemyksiä on esitetty [36]. Mikäli avorahastus nopeuttaa matka-aikoja, parantaa se myös matkustajatytyväisyyttä ja lisää joukkoliikenteen käyttöä. Joukkoliikenteen nopeutumisen on arvioitu vaikuttavan eniten niihin, jotka käyttävät henkilöautoa paljon tai ainakin jonkin verran, mutta lisäävän joukkoliikenteen käyttöä jonkin verran myös nykyisten käyttäjien keskuudessa [34, s. 12]. Matka-aikojen muutosta avorahastuksen myötä on tarkasteltu luvuissa 3.2, 6.4 ja 7.3.

Matkustajajakauma tasaantunee linja-auton sisällä avorahastuksen myötä, mistä seuraisi ruuhkautumisen väheneminen. Ruuhkautumisen väheneminen antaisi taas enemmän tilaa matkustajille. Valinnanvapaus puolestaan tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että matkustaja saa valita mistä ovesta nousee sisään, mikä parantanee matkustajatytyväisyyttä matkustajan voidessaan vaikuttaa matkansa kulkuun nykyistä enemmän. [9][10]. Toisaalta avorahastuksesta seuraa väistämättä liputta matkustamisen lisääntyminen, joka voi heikentää matkustajatytyväisyyttä, sillä toistuvasti ilman matkalippua matkustavat matkustajat usein myös aiheuttavat häiriötä käytöksellään [37].

Matkustajatytyväisyys ei myöskään aina vastaa todellista muutosta palvelussa, vaan matkustajat saattavat arvioida esimerkiksi matka-ajan muutoksen suuremmaksi tai pienemmäksi kuin se todellisuudessa on [38]. Joukkoliikenteen houkuttelevuuden kannalta on oleellista juurikin miten matkustajat kokevat sen laadun, ei niinkään onko linja-auton kuormitus matkustajia neliometrillä mitattuna erisuuruinen auton eri osissa. On siis tärkeää arvioida kuinka matkustajat kokevat muutoksen [9].

Avorahastuksen vaikutuksesta matkustajakokemukseen on olemassa useampia tapausesimerkkejä. Luvussa 5.4.2 on esitelty matkustajatytyväisyyskyselyn tuloksia Montrealin avorahastuspilotista ja luvussa 5.3.3 HSL-alueen avorahastuksesta, joiden perusteella avorahastuksella vaikuttaisi olevan merkittävät matkustajatytyväisyshyödyt.

3.4. Liputta matkustaminen

Liputta matkustamisen lisääntymistä pidetään usein merkittävimpänä avorahastukseen siirtymisen haittana. Näkökanta on perusteltu, sillä avorahastusjärjestelmässä ei voida estää liputta matkustamista kokonaan. Sitä voidaan kuitenkin vähentää lipuntarkastustoiminnalla. Joukkoliikenteen järjestäjän on päätettävä, kuinka suuri liputtomuusaste¹ on vielä hyväksyttävissä. [10][37].

Liputta matkustaminen aiheuttaa useita haittoja. Joukkoliikenteen järjestäjän tulojen väheneminen on niistä ilmeisin. Sen lisäksi liputta matkustavat voivat vaikuttaa negatiivisesti joukkoliikenteen järjestäjän julkisuuskuvaan maksavien matkustajien kokiessa tilanteen epäreiluksi. [37] Lisäksi ilman lippua matkustavat voivat olla samoja henkilöitä, jotka syyllistyvät myös häiriökäyttäytymiseen. [39]

Liputta matkustaminen arvioidaan usein yleisemmäksi, kuin se oikeasti on [10][40][41]. Tämä voi johtaa edellä kuvattuun joukkoliikenteen järjestäjän julkisuuskuvan heikkeneeseen. Mielikuva suuresta liputtomien määrästä on vahva etenkin joukkoliikennejärjestelmissä, joissa lipuntarkastukset ovat harvinaisia ja matkakortteja ei leimata rutiininomaisesti kulkuneuvoon noustaessa, koska tällöin matkustajalla ei ole mitään keinoa osoittaa muille matkustajille matkustusoikeuttaan. Leimausvelvoite voi lieventää käsitystä liputta matkustamisesta, sillä matkustajat näkevät muilla matkustajilla olevan matkustusoikeus. Ongelmalliseksi voi kuitenkin muodostua vakiintuneen leimauskulttuurin luominen.

¹ Liputtomuusaste on liputta matkustavien matkustajien osuus kaikista matkustajista.

Etuovesta noustessa kuljettaja voi kontrolloida leimaamista, mutta keski- tai takaovesta noustessa kontrollintimahdollisuus on huono. Voiko matkalipuntarkastaja nuhdella matkustajaa leimaamattomuudesta, jos matkustajalla on voimassa oleva matkalippu? Tulisiko näin ylipäätään toimia, vaikka voisikin? [41]. Laissa joukkoliikenteen tarkastusmaksuista [42] todetaan: “Jos matkustaja ei esitä asianmukaista matkalippua, hän on matkalipun hinnan lisäksi velvollinen suorittamaan tarkastajan määräämän tarkastusmaksun.” [42]. Laista voisi päätellä, ettei tarkastusmaksua voi kausilipulla matkustettaessa määrätä vain leimaamattomuuden takia, sillä matkustajalla on tällöin esittää asianmukainen matkalippu¹.

Kansainvälisesti liputta matkustaa keskimäärin 4,2 % matkustajista perustuen 31 kaupungissa 18 eri maassa pääasiassa linja-autoliikenteestä kerättyyn havaintoaineistoon [43, ks. 44]. Luvuissa on kuitenkin paikallisia vaihteluita. Esimerkiksi Ottawassa liputta matkustaa vain 2,4 % matkustajista avorahastuksesta huolimatta [10], kun San Franciscossa liputta matkustaa 7,9 % matkustajista [30] ja Göteborgissa noin 9 % [26]. Hyvin alhainen liputtomuus on myös Bernissä (2 %) [45] ja Zürichissä (1,5 %) [46]. HSL-alueella raitioliikenteessä ja linja-autolinjojen runkolinjoilla liputtomuus on keskimäärin 4,21 % [47].

Eri matkustajaryhmillä on eri syitä liputta matkustamiseen. Liputta matkustajat voidaan jakaa neljään luokkaan:

1. vahingossa liputta matkustavat
2. “ei se minun vikani ole” -matkustajat
3. laskelmoivat riskeeraajat
4. jatkuvasti liputta matkustavat. [48]

Ensimmäiseen ryhmään, vahingossa liputta matkustaviin, kuuluvat matkustajat pitävät liputta matkustamista vääränä aina, mutta saattavat matkustaa liputta esimerkiksi leimauslaitteiden ollessa rikki tai unohtaessaan leimata lippunsa. Toiseen ryhmään, “ei se minun vikani ole” -matkustajiin, kuuluvat matkustajat, jotka normaalisti maksavat matkansa, mutta matkustavat liputta maksamisen ollessa liian vaikeaa. Kyse voi olla esimerkiksi liiallisesta ruuhkasta, jonka takia kortinlukijalaitteelle on vaikea päästä, tai tahattomasta arvon loppumisesta matkakortilta. [48] Nämä kaksi ryhmää ovat samankaltaisia, joten toisinaan ne on yhdistetty yhdeksi ryhmäksi [37]. Mahdollisuus ladata matkakortti automaattisesti² saattaa estää joitakin matkakortin arvon loppumisesta johtuvia liputta matkustamisia, mutta monet matkustajat eivät voi tai halua käyttää kyseistä ominaisuutta [48].

1 Leimausvelvoitetta on käsitelty myös HSL-alueen osalta luvussa 5.3.2. Havaintoja leimaamisesta Tampereen seudun pilotin aikana on esitelty luvussa 6.3.

2 Automaattisessa latauksessa matkakortin arvon laskiessa ennalta määritellyn rajan ali matkakortille ladataan ennalta määritelty summa ja käyttäjää veloitetaan automaattisesti. Järjestelmä on käytössä esimerkiksi Lontoossa.

Kolmanteen ryhmään, laskelmoiviin riskeeraajiin, kuuluvat matkustajat matkustavat tarkoituksella ilman lippua. Tyypillistä liputta matkustaminen on tämän ryhmän keskuudessa silloin, kun kiinnijäämisen riski arvioidaan pieneksi. Tyypillisiä tilanteita ovat lyhyt matka, myöhäinen ilta tai hyvin ruuhkainen linja-auto, jossa lipun tarkastaminen olisi vaikeaa. Vaikka liputta matkustaminen on tahallista, voidaan lippu maksaa normaalisti useimmilla matkoilla. Riski liputta matkustamisesta otetaan, jos se koetaan ottamisen arvoiseksi. [48]

Neljänteen ryhmään, jatkuvasti liputta matkustaviin, kuuluvat matkustajat eivät osta matkalippuja lainkaan. Syynä saattaa olla yksinkertaisesti arvio siitä, että tarkastusmaksujen maksaminen tulee halvemmaksi kuin lippujen ostaminen. Osa ryhmään kuuluvista saattaa myös jättää tarkastusmaksut maksamatta, koska tarkastusmaksuja ei kyetä perimään esimerkiksi velkaongelman vuoksi. [48]

Koska Tampereen seudulla on käytössä vyöhykejärjestelmä, on ryhmien 1–3 ilman asianmukaista matkalippua matkustaminen mahdollista myös kuljettajarahastusta käytettäessä. Kokonaan liputta ei voi kuljettajarahastuksen takia matkustaa, mutta väärät vyöhykkeet kattavalla matkalipulla kyllä. Pilottilinjalla 2 tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole, sillä linja kulkee vain A-vyöhykkeen alueella ja näin ollen lippu, jolla linja-autoon voi nousta, on joka tapauksessa validi koko matkan ajan¹. Koko Tampereen seudun joukkoliikennettä pohdittaessa mahdollisuus väärän lipun käyttöön on kuitenkin syytä pitää mielessä. Tahaton liputta matkustaminen on mahdollista vain yksittäisillä matkoilla, sillä linja-autoon nousemiseksi on oltava ko. vyöhykkeelle soveltuva lippu. Jos menomatkan matkustaa väärän vyöhykkeen lipulla vahingossa, huomaa virheen paluumatkalla. Käytännössä väärinkäyttömahdollisuudet rajautuvat siis lähinnä tahalliseen väärin vyöhykkeiden valintaan. Avorahastuksen käyttöönotto kuitenkin avaisi muita väärinkäyttömahdollisuuksia.

Suurin osa matkustajista kuuluu ensimmäiseen tai toiseen ryhmään, eli maksaa ja leimaa lippunsa asianmukaisesti ainakin lähes aina. Näiden matkustajien liputtomuutta vähentänee lippujärjestelmän käyttäjäystävällisyyden parantaminen. Samaten lipuntarkastusjärjestelmä, jossa ensimmäisen rikkeen kohdella matkustajaa vain ohjeistetaan ja neuvotaan, saattaa toimia paremmin kuin suora tarkastusmaksun määrääminen. Käytännön etuna on myös mahdollisesti parempi maine joukkoliikenteen järjestäjälle, kun matkustajia ei leimata ”syyllisiksi” epähuomioissa tehtyjen virheiden vuoksi. [48] Näiden menetelmien vaikutukset liputtomuuteen ovat kuitenkin vain valistuneita arvioita, eikä tiedettävästi missään ole tehty kvantitatiivista tutkimusta niiden vaikutuksesta liputta matkustamiseen. Lisäksi Suomen lainsäädäntö ei välttämättä mahdollista tällaista käytäntöä.

Perinteinen, ja myös tehokkain, keino liputtomuuden hallintaan on lipuntarkastukset [49, ks. 37]. Lipuntarkastuksien määrä on kuitenkin syytä määrittää riittävällä tarkkuudella. Jos lipuntarkastuksia suoritetaan vähän, on liputta matkustaminen yleistä. Jos taas lipuntarkastajien määrä on liiallinen, voivat tarkastustoiminnan kustannukset ylittää

1 Jonkin verran lienee silti tapauksia, joissa matkustetaan esimerkiksi väärän ikäryhmän lipulla tai toisen henkilön henkilökohtaisella lipulla.

sillä saavutetut hyödyt. Benedetto et al. määrittivät matemaattisesti sardinialaisen joukkoliikenneoperaattorin datan perusteella, että 38 matkustajan tarkastaminen tuhannesta on taloudellisesti kannattavinta [37]. Luku ei välttämättä ole täsmälleen sama suomalaisessa joukkoliikenteessä, sillä paikalliset olosuhteet¹ vaikuttanevat siihen. Huomionarvoista on myös, ettei taloudellisesti kannattavin tarkastusaste suinkaan tarkoita pienintä liputtomuuden määrää [37]. Menetettyjä lipputuloja, liputtomuuden muita haittoja ja tarkastustoiminnan kustannuksia täytyisi siis tarkastella kokonaisuutena, mikä vaatisi liputtomuuden muiden haittojen arvottamista. Koska optimaalisen lipuntarkastustiheyden määrittäminen on varsin monimutkaista, saattaa pelkän valistuneen arvauksen käyttäminen olla käytännöllisempää ja tehokkaampaa kuin työajan käyttäminen tarkastusten määrän optimointiin. Lisäksi joukkoliikenteen järjestäjä ei Suomessa välttämättä pääse valitsemaan lipuntarkastajien määrää vapaasti. Näin on tilanne HSL-alueella².

Suomessa matkalipuntarkastustoiminnan kustannukset ovat noin 62 000 € henkilötyövuotta kohden [50], eli n. 170 € tarkastajaa kohden vuorokaudessa. Benedetto et al. käyttivät optimaalista tarkastusväliä määrittäessään 160 € hintaa yhden tarkastajan päivittäisenä kustannuksena, joten tältä osin tutkimus on hyvin sovellettavissa Suomeen. HSL-alueella määrätystä tarkastusmaksusta saadaan perittyä 60 % [51], kun Benedetto et al. käyttivät 40 % maksuosuutta tutkimuksessaan [37]. Benedetto et al. käyttivät yhden tarkastusmaksun suuruutena kolmeakymmentä euroa [37], kun tarkastusmaksu on Suomessa yleisimmin kahdeksankymmentä euroa [52]. Suomessa tarkastustoiminnan tulot ovat siis suuremmat kuin Sardiniaassa. Suurempien tarkastustoiminnan tulojen vaikutuksen optimaaliseen tarkastustiheyteen tarkastelu vaatisi mallinnustyötä, johon ei tämän projektin puitteissa ole mahdollisuutta.

Edellä kuvattua 38 matkustajan tarkastamista tuhannesta on helpompi hahmottaa, kun sen suhteuttaa Tampereen seudun joukkoliikennejärjestelmään. Tampereen seudun joukkoliikenteessä oli vuonna 2017 liki 40 miljoonaa nousua [28]. Mainitun tarkastustiheyden ylläpitäminen kaikessa seudun linja-autoliikenteessä vaatisi 4 144 matkustajan tarkastamista vuorokaudessa, mikä vaatisi 17 lipuntarkastajan päivittäisen työpanoksen³. Runkolinjoilla nousuja on 18,4 miljoonaa vuodessa [28], jolloin pelkkien runkolinjojen tarkastaminen kyseisellä tarkastustiheydellä vaatisi päivittäin kahdeksan lipuntarkastajaa. Palkkalistoille tarkastajia tarvittaisiin enemmän mm. vapaapäivien ja lomien kompensoimiseksi. Raitoliikenteessä, joka tulee lähitulevaisuudessa kattamaan noin kolmanneksen runkolinjojen liikenteestä, tullaan joka tapauksessa käyttämään avorahastusta, mikä vaikuttaa tarvittavien tarkastajien määrään linja-autoliikenteessä.

Myös tarkastusmaksujen suuruuden vaikutusta liputtomuuteen on tutkittu. Sen ei ole kuitenkaan havaittu vaikuttavan liputta matkustamiseen kovin paljoa [37][53]. Lisäksi Suomessa joukkoliikenteen järjestäjät voivat vaikuttaa tarkastusmaksun suuruuteen vain rajallisesti, sillä tarkastusmaksun suuruuden vahvistaa liikenne- ja viestintäministeriö [52] ja tarkastusmaksulle on määritelty laissa maksimihinta [42]. Sen sijaan matkustajien

1 Paikallisilla olosuhteilla tarkoitetaan mm. eroja matkustajien maksukäyttäytymisessä.

2 Ks. kpl. 5.3.2.

3 Lipuntarkastajien määrä on laskettu HSL-alueen tavoitetarkastusmäärän perusteella. Ks. kpl. 5.3.2.

mielikuvaan lipuntarkastusten yleisyydestä vaikuttaminen voi vähentää liputta matkustamista varsinkin matkustajaryhmissä kolme ja neljä, vaikka itse lipuntarkastukset eivät lisääntyisikään. Mielikuva voidaan saavuttaa esimerkiksi markkinointiviestinnän keinoin tai tekemällä lipuntarkastuksesta näkyvämpää. [48]

3.5. Avorahastuksen vaikutukset joukkoliikenteen talouteen

Avorahastuksen käyttöönotolla on myös talousvaikutuksia, joihin lukeutuvat ainakin seuraavat:

1. lipputulojen menetys
2. lipuntarkastajien palkkamenot
3. kortinlukijoiden asentamiskustannukset
4. liikennöintikustannussäästöt ajoajan nopeutuessa
5. joukkoliikenteen käyttäjämäärien muutoksesta syntyvät lipputulot.

Kuljettajarahastusjärjestelmässä kuljettaja tarkastaa matkalipun jokaiselta matkustajalta, joten tarve matkalipuntarkastajille on vähäinen. Lisäksi liputta matkustaminen kuljettajarahastusjärjestelmässä on harvinaista. Avorahastusjärjestelmään siirryttäessä menetetään väistämättä jonkin verran lipputuloja. Lisäksi lipuntarkastajia on palkattava, mistä aiheutuu palkkakustannuksia. [10] Osa kustannuksista voidaan kuitenkin kattaa liputta matkustavilta perittävillä tarkastusmaksuilla. Tarkemmin liputta matkustamista, lipuntarkastustoiminnan kustannuksia ja näiden keskinäistä suhdetta on käsitelty luvussa 3.4 ja HSL-alueen osalta luvussa 5.3.2.

Kun kuljettajarahastuksessa riittää matkakortinlukija etuovella, on avorahastusjärjestelmässä asennettava matkakortinlukija kaikille niille oville, joista ajoneuvoon nousu sallitaan [10]. Kustannukset matkakortinlukijoiden asentamisesta ovat noin 1 500 € ovea kohden [54]. Kustannuksissa on huomioitava myös vara-autojen kortinlukijat. Yhden kortinlukijan hinta vastaa kutakuinkin yhden lipuntarkastajan yhdeksän päivän työn hintaa¹, joten pitkällä aikavälillä lipuntarkastustoiminnan kustannukset nousevat merkittävämmiksi.

Merkittävimmät avorahastuksen tuomat säästöt koituvat ajoajan nopeutumisesta. Joukkoliikenteen järjestäjälle säästöt konkretisoituvat yleensä vain, mikäli matka-aikasäästöjen vuoksi sama vuoroväli pystytään ylläpitämään yhdellä linja-autolla vähemmän kuin kuljettajarahastusta käytettäessä, jolloin joukkoliikenteen järjestäjälle kertyy säästöä sekä autopäivissä että linjatunneissa. Taulukossa 3 sivulla 17 on esitetty arvioituja matka-aikasäästöjä Montrealissa ja mahdolliset säästöt linja-autotarpeessa. Selvää korrelaatiota ajoajan lyhentymisen ja linja-autotarpeen vähenemisellä ei ole, vaan potentiaali säästölle autopäivissä on linjakohtainen. Syynä ilmiöön on se, että tarvittava automäärä on pyöristettävä ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun. Jos siis linjan liikennöintiin tarvitaan

¹ Ks. luku 3.4.

teoriassa¹ 10,1 linja-autoa, tarvitaan niitä käytännössä 11. Pienikin ajoajan nopeutuminen laskisi teoreettisen tarpeen 10,0:aan, jolloin myös käytännössä kymmenen autoa riittäisi. Jos taas teoreettinen tarve on 10,9, vaadittaisiin huomattavasti suurempia matka-aika-säästöjä saman kustannussäästön aikaansaamiseksi. [10][34].

Taulukko 8. *Arvioidut linja-autotarpeet eri skenaarioissa Torinossa. Vaaleansinisellä taustavärillä merkitty tarve yhdelle lisäautolle ja tummansinisellä tarve kahdelle lisäautolle. [11]*

	nykytila	S0	S1			S2			S3		
leimaamiseen kuluva aika	-	-	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s	1 s	2 s	3 s
arki 7-9	24,58	24,61	25,01	25,31	25,68	25,34	26,12	26,91	25,16	25,65	26,20
arki 9-16	20,14	20,08	20,44	20,81	21,16	20,90	21,66	22,42	20,70	21,01	21,53
arki 16-20	18,73	18,68	19,05	19,42	19,79	19,55	20,17	20,87	19,25	19,74	20,25
lauantai	13,60	13,58	13,83	13,99	14,24	14,37	14,77	15,25	14,12	14,51	14,91
sunnuntai	8,33	8,33	8,51	8,56	8,75	8,97	9,29	9,64	8,79	9,08	9,38

Taulukossa 8 on esitetty arvioidut autotarpeen muutokset Torinossa otettaessa leimausvelvoite käyttöön tai siirryttäessä kuljettajarahastukseen. Skenaario 0 on avorahastus ilman leimausvelvoitetta, S1 on avorahastus leimausvelvoitteella ja S2 on kuljettajarahastus. [11] Kyseisestä tutkimuksesta on kerrottu laajemmin luvussa 3.1. Taulukosta havaitaan avorahastusjärjestelmän luovan säästöjä linja-autotarpeessa. Muutokset eivät kuitenkaan ole juurikaan suhteessa linja-autotarpeeseen, vaan arkipäivänä, jolloin tarvitaan 25 linja-autoa, säästöt linja-autotarpeessa ovat yhdestä kahteen linja-autoa. Sunnuntaisin, kun linja-autotarve on vain 9 autoa, säästöt ovat nolasta yhteen autoa.

¹ Teoreettinen autotarve saadaan jakamalla kierrosaika vuorovälillä.

4. PYSÄKKIAJAT

Pysäkkiajalla (engl. *dwell time*) tarkoitetaan aikaa, jonka linja-auto kuluttaa pysäkillä matkustajapalveluun¹ sekä ovien avaamiseen ja sulkemiseen [5]. Määritelmät vaihtelevat jonkin verran eri lähteissä. Esimerkiksi El-Geneidy et al. [9] laskevat myös ajantasauksen kuuluvan pysäkkiaikaan ja määrittelevät erikseen termin *ylimääräinen pysäkkiaika* (engl. *excess dwell time*), jolla tarkoitetaan pysäkillä muuhun kuin matkustajapalveluun tai ovien käyttöön kuluvaan aikaan. Ero terminologiassa selittyy paikallisilla käytännöillä: Montrealissa ajantasauspysäkkejä on linjan varrella kohtalaisen paljon [9], kun taas Tampereen seudulla ajantasauspysäkkejä on lähinnä heilurilinjoilla keskustassa. Raitioliikenteessä puolestaan ajantasaus voidaan laskea mukaan pysäkkiaikaan, sillä pysäkkiaika pyritään pitämään vakiona senhetkisestä matkustajamäärästä riippumatta täsmällisyyden parantamiseksi [55, s. 31]. Tässä työssä noudatetaan linja-autoliikenteen osalta Transit Capacity and Quality of Service Manualin [5] määritelmää, jossa mihin tahansa muuhun kuin matkustajapalveluun tai ovien käyttöön kuluvaan aikaan ei lasketa mukaan pysäkkiaikaan [5].

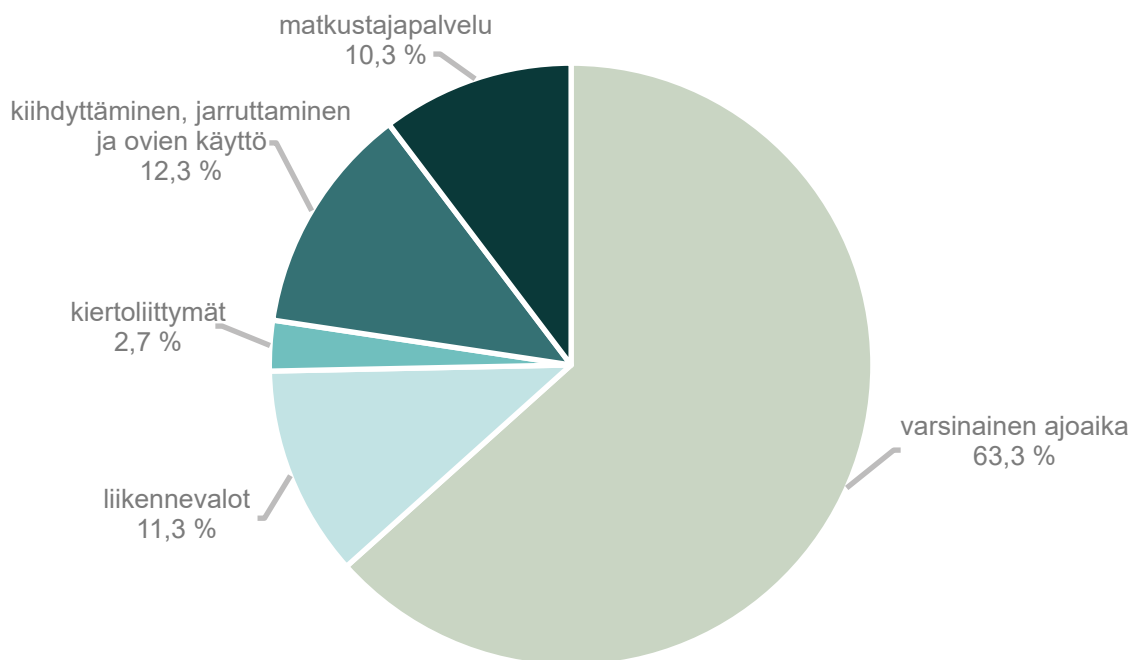
4.1. Pysäkkiaikojen merkitys

Pysäkkiajat muodostavat merkittävän osan linja-auton matka-ajasta. HSL:n tutkimuksen mukaan pysäkkiajan osuus matka-ajasta aamun huipputunteina vaihtelee 10 ja 17 prosentin välillä ollen keskimäärin 12 % [4]. Sydneyn joukkoliikenneverkkoon perustuvalla mallinnuksella puolestaan arvioitiin matkustajapalveluun kuluvaan 10,3 % matka-ajasta ja tämän lisäksi pysäkeistä johtuviin kiihdytyksiin, jarrutuksiin ja ovien käyttöön 12,3 % matka-ajasta. Kuvassa 7 on esitetty graafisesti matka-ajan jakautuminen. [56]

Matkustajapalveluajan osuus matka-ajasta ei ole vakio, vaan se vaihtelee vuorokauden ajan mukaan. Illan hiljaisina tunteina matkustajapalveluajan osuus matka-ajasta on vain 4,6 % kun aamupäivällä se on 13,8 %. [56] Kun otetaan huomioon HSL:n laskeneen pysäkkiaikoja kokonaisuudessaan ja Sydneyn joukkoliikenneverkkoon perustuvalla mallinnuksella laskettiin vain matkustajapalveluaikoja, ovat havainnot hyvin linjassa keskenään.

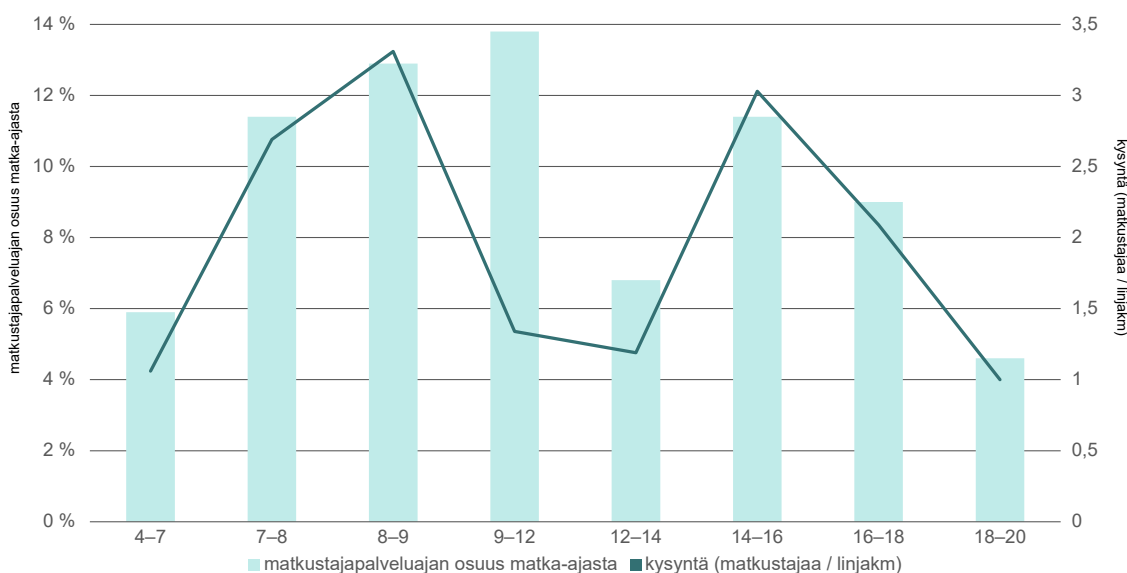
Kuvassa 8 on esitetty Sydneyn joukkoliikennejärjestelmään perustuvassa mallinnuksessa saadut matkustajapalveluajan osuudet matka-ajasta sekä vertailuaineistona joukkoliikenteen matkustajakysyntä linjakilometriä kohden riippuen kellonajasta. Matkustajapalveluajan osuus matka-ajasta riippuu melko suoraan matkustajakysynnästä lukuun ottamatta kellonaikaväliä 9–12, jolloin matkustajapalveluajan suhteellinen osuus on pisimmillään, mutta kysyntä on pientä. Yksi luonteva selitys aikavälin 9–12 suurelle matkustajapalveluajan osuudelle olisi heikommin liikkuvien matkustajien suuri määrä.

¹ Matkustajapalveluun kuluva ajalla tarkoitetaan aikaa, joka koostuu matkustajien nousemisesta ja poistumisesta, rahastamisesta, opastamisesta, pyörätuolimatkustajien avustamisesta ja muista näihin verrattavista toimista.



Kuva 7. Linja-auton matka-ajan jakautuminen. [56]

Kuvan 8 perusteella avorahastuksen suurin potentiaali matka-ajan nopeutumiselle olisi ruuhka-aikoina sekä mahdollisesti päiväsaikaan. Aikaisin aamulla ja myöhään illalla matkustajapalveluajan muodostaessa pienemmän osan matka-ajasta potentiaali on pienempi.



Kuva 8. Matkustajapalveluajan osuus matka-ajasta sekä matkustuskysyntä Sydneyn joukkoliikennejärjestelmään perustuvassa mallinnuksessa. [56]

Lisäksi on syytä huomioda, että yhden linjan pysäkkiajat vaikuttavat myös muihin linjoihin silloin, kun pysäkillä saapuva linja-auto joutuu odottamaan edellä olevien autojen poistumista ennen pääsyä pysäkillä [57][58]. Samoin liikkeellelähtö pysäkiltä

saattaa viivästyä edessä olevan linja-auton pidemmän pysäkkiajan takia [58][59]. Avorahastus jollakin linjalla saattaa siis välillisesti nopeuttaa myös muiden linjojen matka-aikoja tilanteissa, joissa pysäkeille pääsemisestä tai siltä poistumisesta aiheutuu viiveitä. Tutkimuksia aiheesta on kuitenkin niukasti. Tätä tutkimusta tehdessä löydettiin ainoastaan Göteborgin ja Tukholman linja-autoliikenteen pysäkkiaikojen vertailua käsittelevä tutkimus [58], jossa oli tarkasteltu myös pysäkkien ruuhkautumisen vaikutusta matka-aikoihin. Tutkimuksen mukaan avorahastuksen käyttöönotto yhdellä linjalla hyödyttää merkittävästi myös toista, osin samaa reittiä kulkevaa, linjaa. Sekä täsmällisyys, odotusajat että ajoaika lyhenevät kummallakin linjalla, vaikka vain toisella otetaan käyttöön avorahastus. Lisäksi arvioitiin, että todellisuudessa pysäkkiajat lyhenevät kaksi kertaa niin paljon kuin vain nousu- ja poistumisaikojen perusteella olisi syytä olettaa johtuen vähäisemmästä odottamisesta muiden linja-autojen takana sekä pienemmästä linja-auton ruuhkautumisen vaikutuksesta. [58]

4.2. Pysäkkiaikaan vaikuttavat tekijät

Highway Capacity Manualin [60] mukaan pysäkkiaikaan vaikuttaa kaksi keskeistä tekijää: matkustajakysyntä ja yhden matkustajan palvelemiseen kuluva aika [60, s. 14-5](sic). Lähes kaikki pysäkkiaikaan vaikuttavat tekijät kohdistuvat näistä joko toiseen tai molempiin. Listaan tulee kuitenkin lisätä vielä ovien avaamiseen ja sulkemiseen kuluva aika, sillä ero pysäkkiajan kiinteän osuuden pituudessa on nopeimmilla ja hitaimmilla ovilla varustettujen autojen välillä noin seitsemän sekuntia. Kahdenkymmenenviiden pysäkin linjalla tämä tarkoittaisi noin kolmen minuutin matka-aikaeroa hitaimmilla ja nopeimmilla ovilla varustettujen autojen välillä, jos jokaisella pysäkillä pysähdyttäisiin [34, s. 57–61].

Ovien avautumis- ja sulkeutumisaika on pysäkkiajan tekijöistä yksinkertaisin. Se on ajoneuvoyksilöllä normaalitilanteessa vakio. Siihen voidaan kuitenkin vaikuttaa rajallisesti hankkimalla linja-autoja, joiden ovet aukeavat ja sulkeutuvat nopeasti. Koska ovien avaamiseen ja sulkemiseen kuluva ajassa kyse on puhtaasti ajoneuvon ominaisuudesta, ei avorahastus vaikuta siihen, minkä takia aiheetta ei käsitellä tässä yhteydessä laajemmin.

Matkustajakysyntä on jo astetta monimutkaisempi, vaikka peruseriaate on yksinkertainen: mitä enemmän matkustajia täytyy palvella, sitä kauemmin siinä kestää [5]. Tilanne kuitenkin monimutkaistuu, mikäli pysäkkiajan muutoksen myötä pidentyneet tai nopeutuneet matka-ajat vaikuttavat matkustajakysyntään, jolloin myös pysäkkiajat muuttuvat. Iteratiivinen prosessi voi siis olla tarpeen mallinnettaessa pysäkkiaikojen muutosta ja sen vaikutusta joukkoliikenteen matkustuskysyntään ja matka-aikoihin. Matkustajakysyntään liittyy myös pysäkkien sijoittelu, sillä pysäkkien ollessa harvemmassa matkustajamäärät pysäkkiä kohden nousevat ja sitä kautta pysäkkiajat pitenevät. Jos taas pysäkkejä on liian tiheässä, kuluu kiihdytyksiin, jarrutuksiin ja ovien käyttöön paljon aikaa [60, s. 14-6](sic).

Yhden matkustajan palvelemiseen kuluva aika on pysäkkiaikaan vaikuttavista tekijöistä monimutkaisin, sillä se riippuu lukuisista tekijöistä. Siihen vaikuttavat ainakin:

1. maksujärjestelmä [7][60][61][62][63]
2. käytettävä kalusto [63][64][65]
3. demografia [63]
4. matkustajien kierto ajoneuvon sisällä [5]
5. liikkumisrajoitteiset matkustajat [61][66]
6. seisomapaikkojen käyttö ja linja-auton ruuhkaisuus [5, s. 6-6][9][10](sic)
7. linja-autopysäkin infrastruktuuri [67]
8. nousevien ja poistuvien matkustajien määrät eri ovilla [6]
9. lastenvaunuja käyttävien matkustajien määrä [4].

Vain osa näistä tekijöistä on merkityksellisiä tämän tutkimuksen kannalta, sillä voidaan olettaa esimerkiksi lastenvaunuja käyttävien matkustajien palvelemisen kuluttaman ajan olevan riippumaton rahastusmallista. Avorahastus vaikuttaa suoraan nousevien ja poistuvien matkustajien määrään ovilla sekä mahdollisesti matkustajien kierto ajoneuvossa. Lisäksi maksujärjestelmä on relevantti arvioitaessa leimausvelvoitteen merkitystä. Muiden tekijöiden tunteminen on kuitenkin tärkeää, jotta niiden vaikutus tunnistetaan arvioitaessa avorahastuksen hyötyjä tai haittoja.

4.3. Pysäkkiajan mallintaminen

Pysäkkiajan mallintamiseen on luotu useita matemaattisia malleja. Niiden pyrkimyksenä on mahdollistaa matka-aikojen tarkempi mallintaminen kuin käytettäessä vakioittaisia pysäkkiaikoja. Mallien monimutkaisuus vaihtelee paljon sen myötä, mitkä kaikki asiat otetaan mallissa huomioon. Tässä luvussa esitellään joitakin pysäkkiaikamalleja, joita voitaisiin käyttää arvioitaessa avorahastuksen soveltuvuutta Tampereen seudun linja-autoliikenteeseen.

4.3.1. Levinsonin malli

Yksinkertaisimmillaan mallit pysäkkiajalle ovat muotoa $T=a \cdot n+b$, jossa on n pysäkillä nousevien ja poistuvien matkustajien summa ja kaksi muuta termiä ovat vakioita. Vakioista a kuvaa yhden matkustajan palvelemiseen kuluvaan aikaan ja b ovien käyttöön kuluvaan aikaan. Mallin esitti ensimmäisenä luultavasti Herbert S. Levinson [68] vuonna 1983. Kyseisessä tutkimuksessa määriteltiin vastaavaa muotoa olevia yhtälöitä yksittäisille linjoille ja vuorokaudenajoille muutamassa yhdysvaltalaisessa kaupungissa. Parametrin a arvo vaihteli välillä 1,7–3,7 s ja parametrin b arvo välillä 3,9–5,6 s Arvojen $a = 2,75$ s ja $b = 5$ s todettiin tarjoavan kohtuullinen arvio pysäkkiajoista kaikkialla. Taulukossa 9 on esitetty vakiot a ja b pysäkkiajoille Levinsonin tutkimuslinjoilla. [68]

Taulukko 9. *Levinsonin mallin parametreja Levinsonin tutkimuslinjoilla.*
[68]

kaupunki	linja	vuorokaudenaika	a	b
Boston	1	iltapäivä	1,7	4,0
	1	keskipäivä	2,5	5,0
	71	aamupäivä	2,6	2,1
	71	keskipäivä	3,1	5,1
	77	iltapäivä	2,0	4,3
	77	keskipäivä	1,2	4,0
Chicago	240A	keskipäivä	3,7	5,7
New Haven	B-1	iltapäivä	3,2	3,9
	B-1	iltapäivä	2,7	5,6
	D1-2	iltapäivä	2,5	5,1
	D1-2	iltapäivä	3,0	5,1
	J1,2,3	iltapäivä	2,8	4,4
	J1,2,3	iltapäivä	2,6	4,6

Myöhemmin vastaavaa mallia käytettiin myös vuonna 2003 Newarkissa ja sen lähialueilla New Jersey'n osavaltiossa¹. Taulukossa 10 on esitetty kyseisessä tutkimuksessa arvioitut arvot vakioille a ja b sekä mallin selitysaste². Taulukosta nähdään, että vakio a saa huomattavasti korkeampia arvoja kuin Levinsonin tutkimuksessa vakion b arvon ollessa hieman pienempi, mutta kuitenkin samassa suurusluokassa. Linjakohtainen vaihtelu a :n arvoissa on kuitenkin huomattavasti hillitympää kuin Levinsonin tutkimuksessa vuoden 2001 osalta. Vuonna 2001 dataa kerättiin koko vuoden ajalta ja vuonna 2002 vain tammi–kesäkuussa. Tutkimuksessa ei esitetty syitä vuoden 2002 huomattavasti alhaisemmalle parametrin a arvolle Pennstation–Woodbridge -linjalla. [69]

Taulukko 10. *Levinsonin mallin parametreja erällä New Jersey'n linjoilla.*
[69]

reitti	R ²	a	b	n
vuosi 2001				
Pennstation–Ewrairport	0,611	5,99	4,17	1349
Ewrairport–Pennstation	0,597	5,71	3,88	1390
Penstation–Broad St.	0,599	6,84	3,43	8306
Broad St.–Pennstation	0,608	5,43	3,66	6564
Woodbridge–Pennstation	0,632	2,11	5,43	5467
Pennstation–Woodbridge	0,609	5,13	4,20	5735
vuosi 2002				
Woodbridge–Pennstation	0,567	1,68	5,66	5526
Pennstation–Woodbridge	0,642	1,32	5,62	6255

Huom: Kaikkien arvioitujen parametrien p-arvo < 0,05.

- 1 Samassa tutkimuksessa tutkittiin myös muita pysäkkiajan malleja samoilla linjoilla. Niitä on esitelty myöhemmin tässä luvussa.
- 2 Selitysaste kertoo, kuinka hyvin malli kuvaa tosielämän tilannetta. Se voi saada arvoja väliltä 0–1. Mitä lähempänä selitysaste on lukua yksi, sitä paremmin malli selittää ko. ilmiön.

Edellä esitetyistä parametrien arvoista voidaan todeta, että mallia käytettäessä olisi suotavaa määrittää käytettävät parametrit paikallisesti. Linjakohtainen vaihtelu on myös kohtalaista, joten yhden linjan perusteella määritetyt parametrien arvot voivat antaa väärän kuvan koko järjestelmän pysäkkiajoista.

4.3.2. Nousevat ja poistuvat matkustajat erotteleva malli

Ajoneuvon nousevien matkustajien kuluttama aika on suurempi kuin ajoneuvosta poistuvien [69], joten näiden summan käyttäminen ei välttämättä tuota parasta lopputulosta. Sen sijaan kyseisiä muuttujia voidaan käsitellä erillisinä. Tällöin yhtälö on muotoa $t=a \cdot n+b \cdot m+c$, jossa n on nousevien ja m poistuvien matkustajien määrä. Parametri a on yhden matkustajan nousemiseen kuluva aika ja b yhden matkustajan poistumiseen kuluva aika. [69] Vakio c kuvaa ovien käyttöön kuluva aika. Taulukossa 11 on esitetty parametrien arvot ja selitysasteet New Jerseyssä tehdyn tutkimuksen mukaan. Taulukko perustuu samaan havaintoaineistoon kuin taulukko 10. Huomataan, että nousevat ja poistuvat matkustajat erittelevän mallin selitysaste on parempi kuin Levinsonin mallin. Parametrien arvoissa on kuitenkin linjakohtaista vaihtelua. [69]

Yksi tämän mallin variaatio on käyttää nousevien ja poistuvien matkustajien määrää vain ruuhkaisimman oven osalta, kuten Highway Capacity Manual ohjeistaa [60]. Parametrit toki täytyy siinä tilanteessa määrittellä uudestaan. Malli on kuitenkin ongelmallinen, sillä vilkkaimman oven nousija- ja poistujamäärien arviointi on haastavaa. Kuljettajarahastusta käytettäessä vilkkain ovi vaihtelee pysäkeittäin. Pysäkeillä, joilla on paljon nousijoita, vilkkain on etuovi. Poistumis pysäkeillä taas keskiovi on vilkkain. Yksinkertainen lähestymistapa olisi sijoittaa havaintojen perusteella tietty kiinteä osuus matkustajista vilkkaimmalle ovelle, mutta se vain muuttaisi vakioiden a ja b arvoja vastaavasti, eikä mikään muuttuisi verrattuna lähtötilanteeseen.

Taulukko 11. *Nousevat ja poistuvat matkustajat erottelevan mallin parametreja eräillä New Jersey:n linjoilla. [69]*

reitti	R ²	a	b	c	n
vuosi 2001					
Pennstation–Ewrairport	0,683	7,66	5,12	2,23	1349
Ewrairport–Pennstation	0,715	7,87	5,01	2,14	1390
Pennstation–Broad St	0,638	6,11	4,75	2,69	8306
Broad St–Pennstation	0,659	4,87	4,65	2,72	6564
Woodbridge–Pennstation	0,682	3,05	6,85	3,55	5467
Pennstation–Woodbridge	0,718	6,03	5,75	1,93	5735
vuosi 2002					
Woodbridge–Pennstation	0,697	3,03	6,91	3,43	5526
Pennstation–Woodbridge	0,582	1,96	6,44	4,63	6255

HUOM: Kaikkien arvioitujen parametrien p-arvo < 0,05.

Toinen variaatio on ottaa huomioon vain nousemiseen tai poistumiseen kuluva aika sen mukaan kumpi on suurempi [5]. Se kuitenkin soveltuu vain tilanteisiin, joissa nousevien ja poistuvien matkustajien virrat kohdistuvat eri oville [69]. Käytännössä tämä tarkoittaa kuljettajarahastusta¹.

4.3.3. Epälineaarinen malli

Pysäkkiaikoja voidaan lähestyä myös epälineaarilla mallilla, kuten on tehty mm. jo aiemmin esitetyssä New Jerseyssä toteutetussa tutkimuksessa [69], jossa käytettiin muotoa $t=a \cdot n^b$ olevaa kaavaa, jossa n on nousevien ja poistuvien matkustajien määrän summa kahden muun parametrin ollessa vakioita [69]. Taulukossa 12 on esitetty tämän mallin parametrit ja selityssasteet samoilla New Jerseyyn linjoilla, kuin muissakin ko. tutkimuksessa tutkituista malleista.

Taulukko 12. *Epälineaarisen mallin parametreja eräillä New Jerseyyn linjoilla. [69]*

linja	R ²	a	b	n
vuosi 2001				
Pennstation–Ewrairport	0,753	7,47	0,711	1349
Ewrairport–Pennstation	0,702	7,26	0,738	1390
Pennstation–Broad St.	0,741	7,26	0,738	8306
Broad St.–Pennstation	0,732	7,35	0,774	6564
Woodbridge–Pennstation	0,724	7,51	0,751	5467
Pennstation–Woodbridge	0,716	7,34	0,787	5735
vuosi 2002				
Woodbridge–Pennstation	0,724	7,34	0,796	5526
Pennstation–Woodbridge	0,733	6,96	0,812	6255

HUOM: P-arvoa ei ilmoitettu.

Taulukosta 12 voidaan havaita selityssasteiden olevan selvästi paremmat kuin lineaarisia malleja käytettäessä. Samoin parametrien arvojen vaihtelu linjojen välillä on pienempää. Ko. malli siis kuvaa pysäkkiaikoja paremmin kuin aiemmin esitellyt lineaariset mallit. Yhden linjan havaintojen yleistettävyyys muille linjoille on myös parempi. Myöhemmin samaa mallia on käytetty ainakin Melbournessa, jossa käytettiin jopa samoja parametreja [70].

4.3.4. Muut mallit

On olemassa myös malleja, jotka ovat huomattavasti monimutkaisempia kuin edellä kuvatut. Niissä on otettu mukaan lisää pysäkkiaikaan vaikuttavia tekijöitä, joilla pyritään parantamaan mallin tarkkuutta. Levinsonin malliin sekä nousevat ja poistuvat matkustajat erottelevaan malliin voidaan lisätä esimerkiksi kapasiteetin vaikutus. [61][66][71]. Näihin

¹ Malli sopisi myös esimerkiksi tilanteeseen, jossa keskiovista nousee sisään ja etu- ja takaovet ovat poistumista varten.

liittyy kuitenkin tiettyä problematiikkaa. Usein ruuhkautumista arvioidaan seisovien matkustajien määrällä [61][69][72], jonka arviointi on kuitenkin ongelmallista. Yleinen lähestymistapa on käyttää linja-autossa matkustavien matkustajien lukumäärän ja istumapaikkojen lukumäärän erotusta seisovien määränä [61][69]. Menetelmä ei kuitenkaan sovellu suomalaiseen paikallisjoukkoliikenteeseen, sillä kaikki istumapaikat ovat harvoin käytössä pahimpaankaan ruuhka-aikaan. Lisäksi näin ei voida arvioida keskisillalla olevien lastenvaunujen vaikutusta, vaikka ne usein hidastavat linja-autosta poistumista.

Osa malleista on tarkoitettu pikemminkin reaaliaikaisten saapumisaikaennusteiden tarjoamiseen matkustajille kuin liikenteen suunnitteluun. Näissä malleissa on arvioitu harvinaisempien tilanteiden, kuten esimerkiksi pyörätuolimatkustajien palvelemisen, vaikutusta pysäkkiaikaan. [73]

5. KOKEMUKSIA AVORAHASTUKSESTA

Tässä luvussa esitellään neljä avorahastusta käyttävää tai kokeillutta kaupunkiseutua, joilta Tampereen seutu voisi oppia. Kaupungeista Bern ja Zürich ovat käyttäneet avorahastusta jo pitkään, joten ne toimivat esimerkkinä kuinka avorahastus toimii pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. HSL-alueella ja Montrealissa puolestaan avorahastus on huomattavasti uudempi käytäntö, joten niiltä voi oppia avorahastukseen siirtymisestä. HSL-alue on hyvä vertailukohta myös kotimaisuutensa vuoksi.

Avorahastuskaupungit on esitelty siinä järjestyksessä, kun ne ovat ensimmäisen kerran ottaneet avorahastuksen käyttöön linja-autoliikenteessä. Pisimmät avorahastusperinteet ovat Zürichissä, mutta myös Bernissä on ollut avorahastus käytössä vuosikymmeniä. HSL-alueella avorahastus on ollut tämän tukimuksen julkaisuhetkellä käytössä nelisen vuotta ja Montrealissa avorahastus aloitettiin pilotilla kolme vuotta sitten.

5.1. Zürich

Zürich on Sveitsin suurin kaupunki hieman alle 400 000 asukkaalla. Koko metropoli-alueella asuu 1,83 miljoonaa asukasta. Väestötiheys on korkea: 4540 asukasta neliökilometrillä¹. [74] Joukkoliikenteen kulkutapaosuus on erittäin korkea: 38 % kaikista matkoista [75].

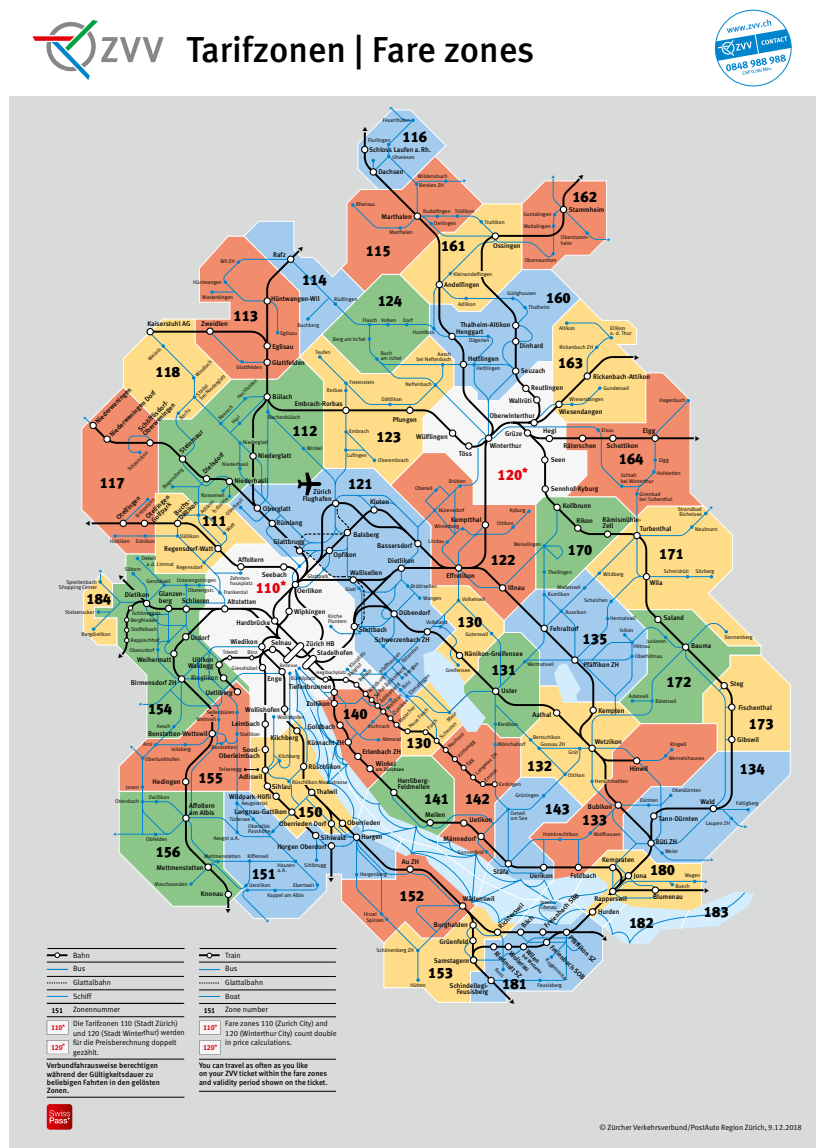
Zürichin kantonissa joukkoliikenteen järjestämisestä vastaa ZVV. Se toimii kantonin hallinnon ja kantonin kuntien alaisuudessa. Rahoituksensa ZVV saa lipputuloista, kunnilta ja kantonilta. [76] Subventioaste on 35 % eli hieman suurempi kuin Tampereen seudulla [75].

ZVV on jakanut kantonin kahdeksaan markkinavyöhykkeeseen², joista jokaisella liikenteen suunnittelusta on vastuussa yksi liikennöitsijä [77]. Kaikki vastuuliikennöitsijät ovat julkisessa omistuksessa joko kokonaan tai pääosin [76][78][79][80][81][82][83]. Vastuuliikennöitsijöiden lisäksi alueella toimii useita liikennöitsijöitä vailla suunnitteluvastuuta. Zürichin kaupungin alueella ja lähikunnissa vastuuliikennöitsijänä on kunnallinen Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) [77]. Avorahastuskokemuksia on selvitetty nimenomaisesti VBZ:n näkökulmasta.

1 Vrt. Tampereen kantakaupunkiin, jossa 1727 asukasta neliökilometrillä. (Ks. s. 38)

2 Yksi markkinavyöhyke käsittää rautatiet, joista vastaa valtiollinen rautatieyhtiö SBB. Muut vyöhykkeet on eroteltu maantieteellisesti.

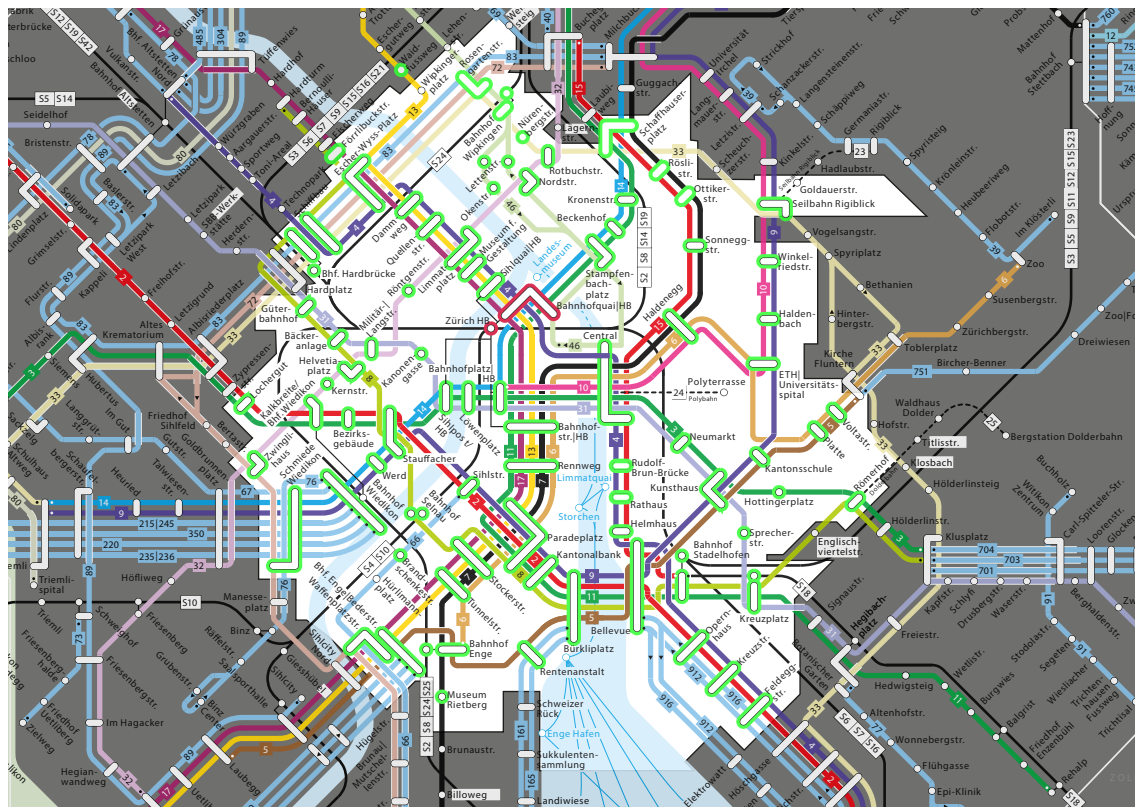
Zürichin alueen joukkoliikenne käyttää samankaltaista vyöhykejärjestelmää kuin Bernin alueellakin on käytössä. Kuvassa 9 on esitetty vyöhykejako. Vyöhykejärjestelmässä on kuitenkin yksi erikoisuus: Vyöhykkeet 110 ja 120 eli Zürichin keskusta ja Winterthurin keskusta lasketaan kummatkin hintoja määritettäessä kahdeksi vyöhykkeeksi tiheän joukkoliikennetarjontansa vuoksi. [84]



Kuva 9. Zürichin alueen joukkoliikenteen vyöhykejako. [84]

Vyöhykelippuja myydään minimissään kahdelle vyöhykkeelle aivan kuten Tampereen seudullakin. Poikkeuksena ovat kuitenkin Zürichin ja Winterthurin keskustoissa sijaitsevat vyöhykkeet 110 ja 120, jotka, kuten edellä todettiin, lasketaan kahdeksi vyöhykkeeksi. On siis mahdollista ostaa lippu, joka kattaa vain vyöhykkeen 110, koska se lasketaan kahden vyöhykkeen lipuksi, vaikka se kattaa vain yhden vyöhykkeen. [85]

Tuplavyöhykkeiden lisäksi toinen lippujärjestelmän outous ovat erilliset lyhyen matkan liput. Lähtö- tai päätepisteen tulee olla vyöhykkeillä 110 tai 120 (Zürichissä tai Winterthurissa¹), mutta muuten ne ovat vyöhykeriippumattomia. Lyhyen matkan lipulla voi matkustaa alle kahden kilometrin matkan. Matkustajat voivat katsoa lyhyen matkan lipun sallitun matkustusalueen lippuautomaatista tai internetistä. [86] Kuvassa 11 on esimerkki lyhyen matkan lipun voimassaoloalueesta, kun lähtöpisteenä on Zürichin päärautatieasema.



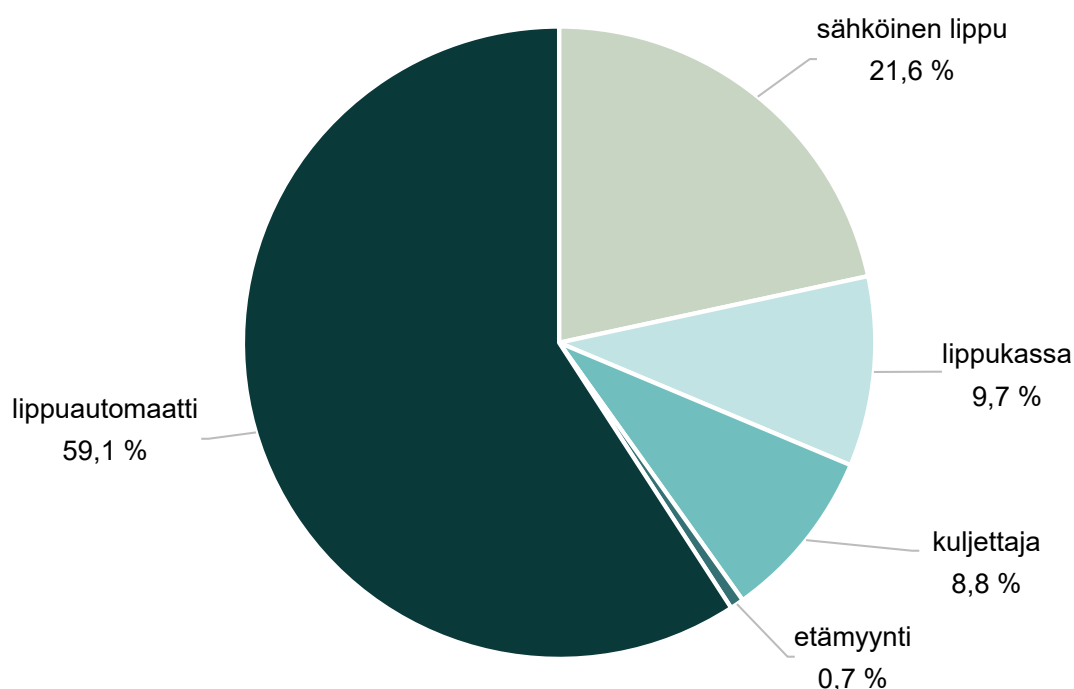
Kuva 10. *Esimerkki lyhyen matkan lipun voimassaoloalueesta. Matkan lähtöpaikkana on Zürichin päärautatieasema. (korostettu kuvassa punaisella) [87]*

Zürichin pääasialliset lipputuotteet ovat kertalippu, paperinen sarjalippu (leimataan mekaanisella leimasimella) [88] ja vuosi- ja kuukausiliput [89]. Lisäksi on saatavilla mm. päivälippuja, ZVV:n alueen ulkopuolelle ulottuvia kausilippuja sekä lisävyöhykelippuja, joilla voi laajentaa matkakorttinsa tai -lippunsa voimassaoloaluetta tilapäisesti. Arviolta noin 60–75 % matkustajista käyttää Zürichin alueella kausilippuja, mutta tarkkaa lukua ei ole saatavissa [46].

Lipunmyynti myyntikanavittain on esitetty kuvassa 11. Pääasiallinen myyntikanava on lippuautomaatit, joita on kaupunkialueella kaikilla pysäkeillä. Sähköisten lippujen myynti on kuitenkin noussut vuodesta 2009 alkaen useita kymmeniä prosentteja vuodessa. Muutamilla harvasti liikennöidyillä linjoilla lippuautomaatteja ei ole pysäkeillä, vaan

1 Muissa kunnissa puolestaan on myynnissä paikallislippuja, jotka ovat voimassa puolen tunnin ajan kyseisen kunnan alueella.

matkustajia suositellaan ostamaan sarjalippuja. Seutulinjoilla lippuja voi ostaa myös kuljettajalta, mutta joillekin valikoiduille pysäkeille on sijoitettu lippuautomaatteja pysäkki-aikojen lyhentämiseksi. [46][90].



Kuva 11. Lipunmyynti myyntikanavittain Zürichissä vuonna 2017. [90]

Zürichissä avorahastuksella on pitkät perinteet. Siellä erillisestä rahastajasta siirryttiin suoraan avorahastukseen 1960-luvulla. Aiemmin etuovea saivat käyttää vain liikkumisrajoitteiset jottei kuljettajille tulisi kylmä. Tästä käytännöstä on kuitenkin luovuttu jo kaksikymmentä vuotta sitten ja siirrytty sallimaan nousu kaikista ovista kaikille. [46]

Kuljettajarahastus oli kuitenkin käytössä pitkään seutulinjoilla ja yöliikenteessä. Järjestely oli käytössä lukuisia vuosia ja matkustajat tottuivat siihen ja hyväksyivät sen. Pysäkkiajat olivat luonnollisesti vilkkailla pysäkeillä pidempiä kuljettajarahastuksen takia, mitä kuitenkin kompensoivat ilta- ja yöajan lyhemmät ajoajat. Käytännöstä luovuttiin vuonna 2016 otettaessa käyttöön SwissPass-matkakortti, jonka lukemiseksi olisi tarvinnut hankkia erilliset lukijalaitteet. Aiemmin paperiliput kuljettaja kykeni tarkastamaan silmämääräisesti. Lisäksi VBZ:lla arvioidaan SwissPass-matkakorttien tarkastamisen olevan hitaampaa kuin paperilippujen¹. [46] Tampereen seudulla vastaavien tarkastusjärjestelmien ollessa valmiiksi olemassa arvolippujen leimaamista varten ei vastaavanlaista estettä yökuljettajarahastukselle ole.

Avorahastuksen etuina Zürichissä nähdään pysäkkiajan lyhentyminen ja tasaisempi matkustajajakauma ajoneuvossa. VBZ:n kokemuksen mukaan avorahastus lyhentää pysäkkiaikoja sitä enemmän, mitä lyhyempi linjan vuoroväli on. Kyselyä avorahastuksen

¹ Tätä olettamusta tukevat Bernin havainnot. Ks. kpl. 5.2.

matkustajakokemuksesta ei ole suoritettu, mutta VBZ:lla arvioidaan matkustajien pitävän avorahastusta kuljettajarahastusta parempana juuri matkan nopeutumisen ja matkustajajakauman tasaantumisen vuoksi. [46]

Zürichissä on havaittu, että joillakin pysäkeillä matkustajat keskittyvät etu- tai takaovelle, koska suurin osa heistä saapuu pysäkille ja poistuu pysäkiltä samasta suunnasta [46]. Pysäkki-infrastruktuuria suunniteltaessa olisi siis vilkkaimpien pysäkkien osalta syytä välttää suunnittelemasta pysäkkejä niin, että niille kulku tapahtuu pääasiassa yhdestä suunnasta, jotta avorahastuksesta hyödyttäisiin mahdollisimman paljon. Zürichissä kahdelle erittäin vilkkaalle pysäkille on palkattu työntekijä ohjeistamaan matkustajia hyödyntämään kaikkia ovia ja varmistamaan, ettei ovia tukita [46].

Lipuntarkastusten osalta tavoitteena on tarkastaa yksi prosentti matkustajista eli yli 3,3 miljoonaa matkustajaa vuodessa. Liputta matkustaa vain noin 1,5 % matkustajista. Puolet lipuntarkastajista liikkuu siviilivaatteissa, puolet virkapuvussa. Matkustajat, niin lipulliset kuin liputtomat, ovat tottuneet niin siviilivaatteisiin kuin virkapukuusiinkin tarkastajiin. Oliver Tabbertin mukaan kiinni jääneiden liputta matkustavien määrässä ei ole merkittävää eroa siviili- ja virkapukuisten tarkastajien välillä. Tarkastustilanteet ovat kuitenkin jännitteisempiä tarkastajien ollessa siviilivaatteissa. [46]

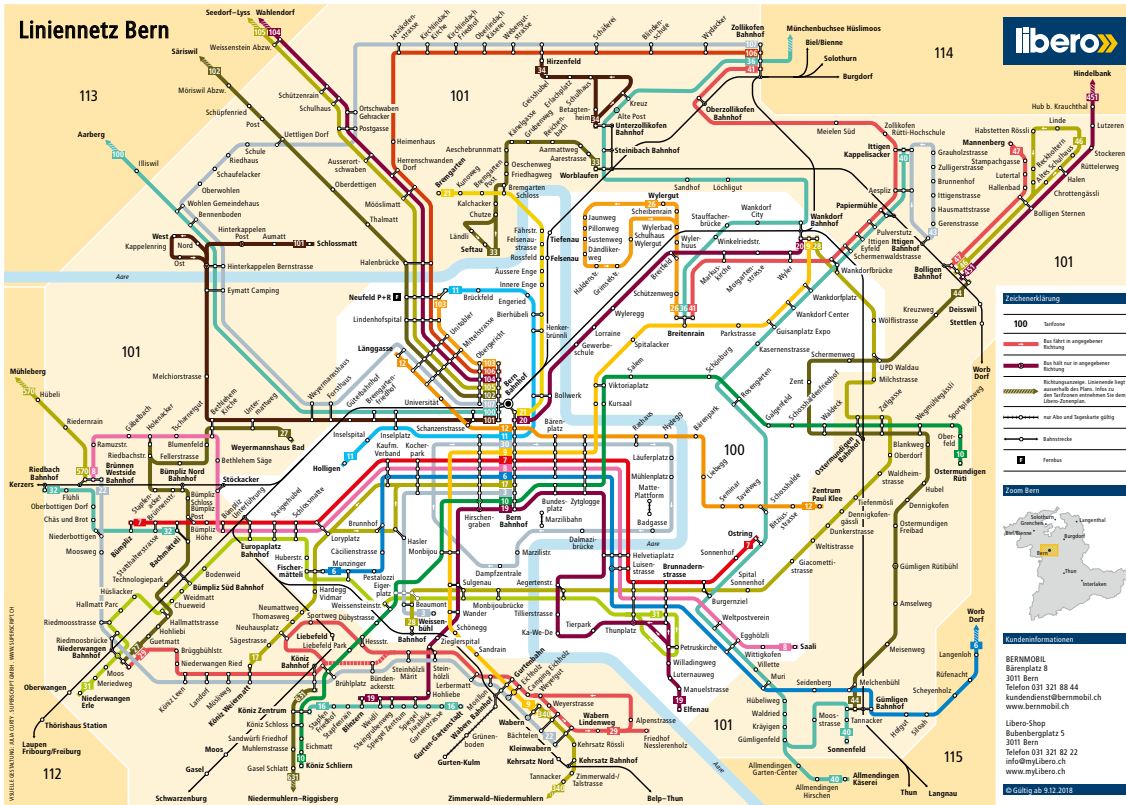
5.2. Bern

Sveitsin pääkaupungin Bernin väkiluku on 142 000 [91], kun Tampereen väkiluku on 232 000 [92]. Väestötiheys Bernissä on 2750 asukasta/neliökilometri [91][93], kun Tampereen kantakaupungissa¹ se on 1727 asukasta/neliökilometri [94][95]. Bern on kaupunkina siten väkimäärältään pienempi, mutta asukastiheydeltään suurempi kuin Tampere. Kaupungin koko on kuitenkin samaa suuruusluokkaa, joten Bern on hyvä vertailukohta.

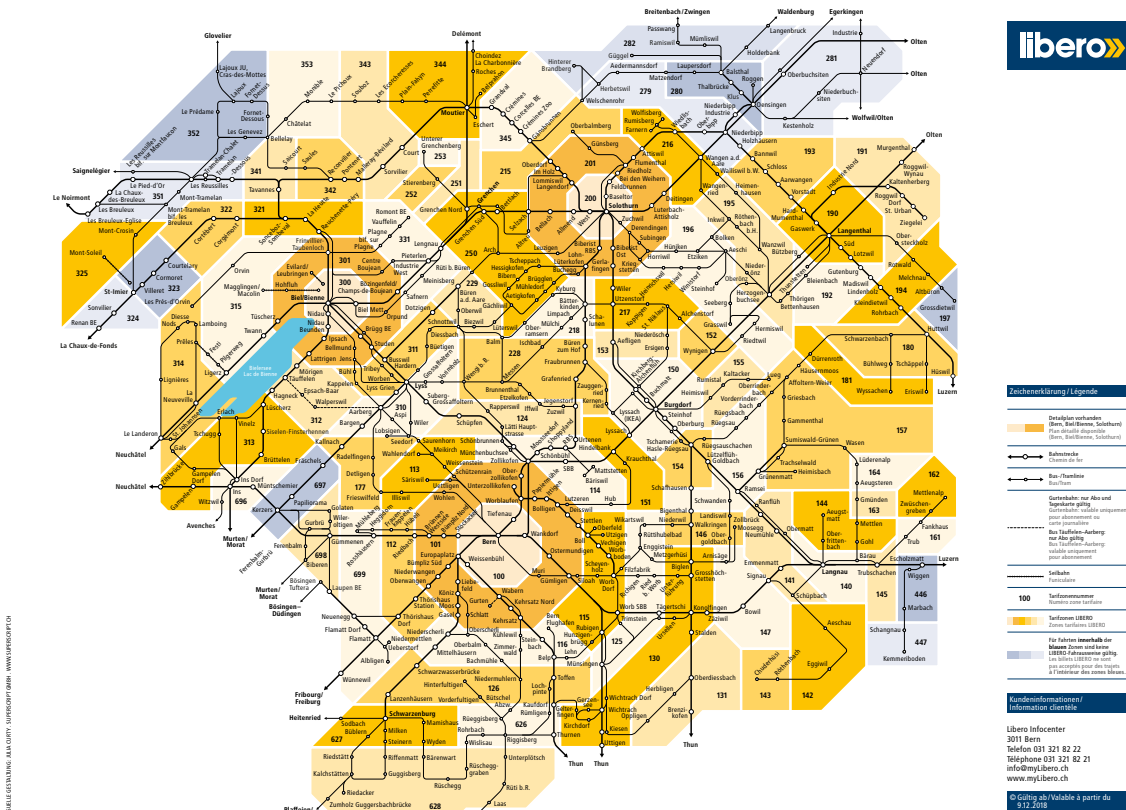
Bernissä ja lähialueilla joukkoliikenteen järjestämisestä vastaa Bernmobil, joka on Bernin kaupungin omistuksessa oleva yhtiö [96]. Seudulla toimii Bernmobilin lisäksi kolme muutakin operaattoria, jotka liikennöivät seudullista liikennettä. Operaattorit eivät kilpaile keskenään matkustajista, vaan osallistuvat kantonin ja liittovaltion kilpailutuksiin. Joukkoliikenteellä tehdään 28 % matkoista, eli suhteellisen paljon. Henkilöautolla tehdään vain 22 % matkoista. [97, s. 53]. Subventioaste on noin 27 % eli samaa suuruusluokkaa Tampereen seudun kanssa [28][98].

Bernissä on käytössä maksuvyöhykejärjestelmä. Toisin kuin Tampereella, järjestelmä on pikemminkin solumainen kuin kehämäinen. Kuvassa 12 on esitetty Bernin joukkoliikennekartta, josta vyöhykkeiden olemus käy ilmi. Bern on osa laajempaa Libero-tariffialuetta, jonka vyöhykejako on esitetty kuvassa 13. [99][100]

¹ Kantakaupungiksi on laskettu koko Tampere lukuun ottamatta pohjoista suuraluetta ja vesialueita.



Kuva 12. Bernin joukkoliikennelinjasto ja maksuvyöhykkeet. [99]



Kuva 13. Libero-tariffialueen kartta. [100]

Bernin alueella tapahtuvista matkoista 43 % tehdään Libero-järjestelmän kausilipuilla ja 32 % kerta-, sarja- tai päivälipuilla. Lopuissa 25 % matkoista on käytössä muita lipputyyppejä, kuten koko valtion laajuinen kausilippu. [45] Tämä valtion laajuinen kausilippu mahdollistaa liikkumisen lähes kaikilla joukkoliikennevälineillä sekä kaupunkiseuduilla että pitkämatkaisessa liikenteessä ja maksaa aikuiselta 340 Sveitsin frangia kuukaudessa [101]. Arvolippua ei ole käytössä, mutta sen sijaan asiakkaille myydään kuuden matkan paperisia sarjalippuja [45]. Kausilippua täydentämään on tarjolla lipputyyppejä, jonka voi vapaasti kääntää lisävyöhykelipuksi. Lisävyöhykelippu on tarkoitettu matkustajille, joilla on voimassaoleva kausilippu, mutta jotka matkustavat kausilipun voimassaoloalueen ulkopuolelle. Lisävyöhykelipulla voi kattaa matkalta ne vyöhykkeet, joita kausilippu ei kata. [102]

Lippuja myydään asiakkaille asiakaspalvelupisteissä, lippuautomaateissa, matkapuhelinsovelluksessa ja verkkokaupassa [103][104]. Kuljettajat eivät myy lippuja. Lippuautomaatit on sijoitettu matkustajamääriltään suuremmilla linjoilla kaikille pysäkeille. Vähemmän käytetyillä pysäkeillä automaattien määrässä on säästetty sijoittamalla ne vain toisella puolella katu-olevalle pysäkeille. Joillakin vähämatkustajaisilla linjoilla lippuautomaatit on sijoitettu linja-auton sisätiloihin. Lippuja ei tarvitse leimata lukuun ottamatta päivä- ja sarjalippuja, jotka leimataan perinteisillä mekaanisilla leimauslaitteilla. [45]

Avorahastus on Bernissä ollut käytössä 1.4.1973 alkaen. Matkustajat ovat tottuneet järjestelmään ja Bernmobilin Rolf Meyerin mukaan matkustajat hädän tuskin hyväksyisivät toisenlaista järjestelmää. Bernmobil pitää avorahastuksen suurimpina etuina lyhyempiä matka- ja pysäkkiaikoja sekä kuljettajien mahdollisuutta keskittyä liikenteeseen. Varsinaisia haittapuolia avorahastusjärjestelmällä he eivät näe olevan. Bernmobililla arvioidaan, että matkustajien määrästä johtuen suljettu rahastusjärjestelmä ei toimisi, vaan Rolf Meyerin sanojen mukaan ”aikataulu romahtaisi”. Vilkkaimmilla linjoilla vuoroväli on ruuhka-aikaan vain 3 minuuttia ja autojen kasaantuminen on suuri ongelma. [45] Kuljettajarahastusta käytettäessä liikenne tässä vaiheessa ei käytännössä toimisi enää lainkaan.

Liputta matkustaa noin 2 % matkustajista. Määrä on pysynyt vakiona vuosia. Liputtomuutta hallitaan satunnaisilla lipuntarkastuksilla. Vuonna 2018 matkustajista tarkastettiin 0,64 %. Vielä vuonna 2015 matkustajista tarkastettiin 1,01 %. Lipuntarkastusten määrän lasku on johtunut SwissPass-matkakortin käyttöönotosta, sillä elektronisen matkakortin tarkastamisessa kestää pidempään kuin paperilipun. Liputta matkustamisessa ei ole kuitenkaan ainakaan vielä havaittu kasvua tarkastustiheyden laskusta huolimatta. Kohtalaisen pienen liputta matkustamisen määrän arvellaan johtuvan osittain kausilippujen suuresta käyttäjämäärästä. [45] Tässä taustalla on se, että kausilipullinen väestö ei voi matkustaa vahingossa liputta, eikä heillä ole myöskään syytä matkustaa liputta laskelmoivasti riskeeraten¹. Kausilippu on noin 60 prosentilla matkustajista [45], kun Helsingin

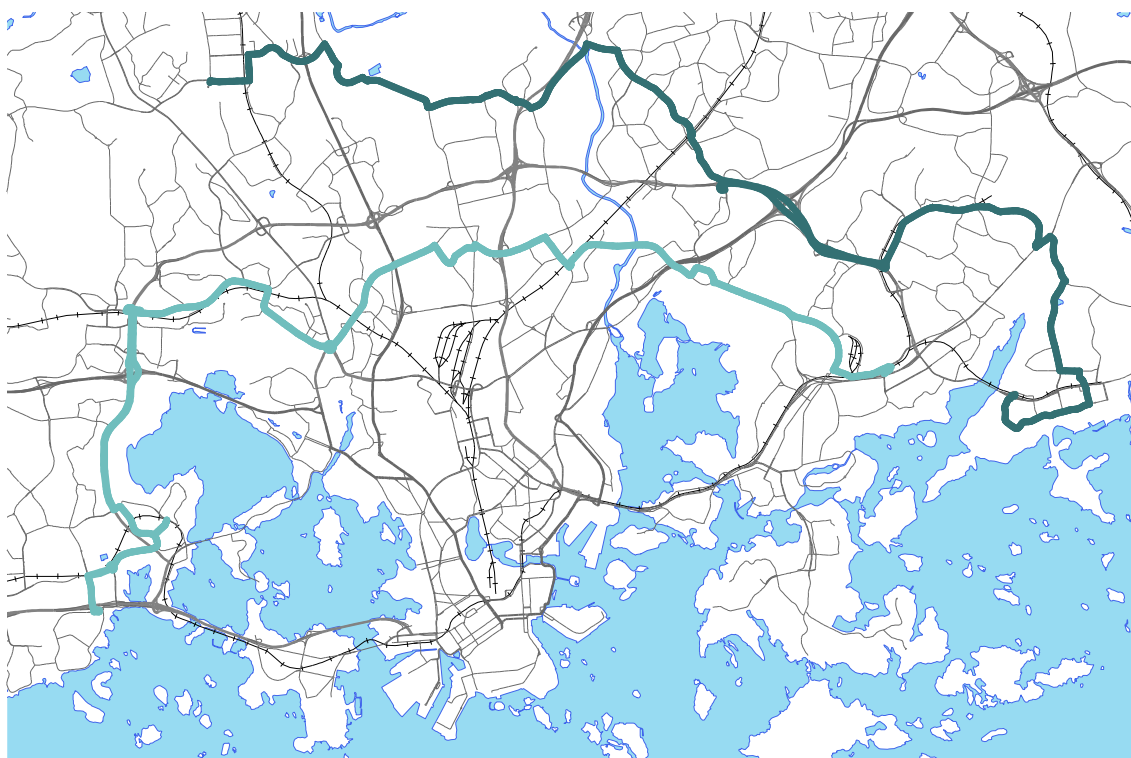
¹ Ks. kpl. 3.4.

raitioliikenteessä vuonna 2015 kausilippua käytti matkustajista 63 % [105] ja Tampereen seudulla vuonna 2017 kausilipulla tehtiin 55 % nousuista [28], joten pelkästään kausilipun käyttömäärät eivät liene liputtomuuserojen taustalla.

5.3. HSL-alue

Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymän (HSL) vastuulla on joukkoliikenteen järjestäminen Helsingissä ja lähikunnissa. Nykyään liikenne koostuu linja-auto-, raitio-, metro- ja lähijunaliikenteestä sekä Suomenlinnan lautan liikenteestä. Koska tämän tutkimuksen tutkimuskysymys käsittelee nimenomaisesti linja-autoliikennettä, ei metro-, lähijuna- ja lauttaliikennettä käsitellä. Raitiovaunuja käsitellään, sillä ne muodostavat luontevan vertailukohdan linja-autoissa liputta matkustamisen arviointiin ja toisaalta ovat relevantteja Tampereella lähivuosina alkavan raitioliikenteen myötä.

Avorahastus on ollut käytössä raitioliikenteessä vuodesta 1980 [106, s. 173]. Linja-autoliikenteessä avorahastus on käytössä runkolinjoilla. Se otettiin käyttöön elokuussa 2013 runkolinjalla 550 [31], joka oli siihen aikaan ainoa linja-autoliikenteen runkolinja. Kaksi vuotta myöhemmin elokuussa 2015 aloitti uusi runkolinja 560 [107], joka tuli suoraan avorahastuksen piiriin. Vuoden 2019 elokuussa aloittaneet kaksi uutta runkolinjaa [108]. Kuvassa 14 on esitetty linja-autoliikenteen nykyisten runkolinjojen reitit.



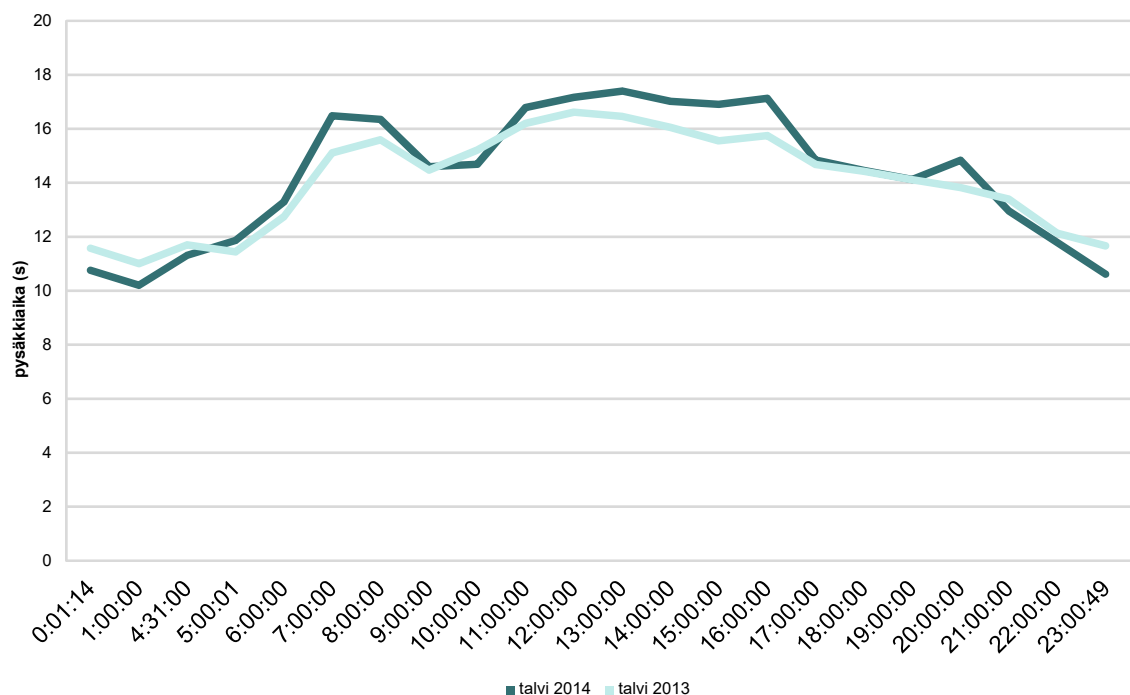
Kuva 14. HSL:n linja-autoliikenteen runkolinjat. Tummemmalla merkitty linja 560 ja vaaleammalla 550. [24][25][109]

Kuten Tampereen pilotissa, myös HSL-alueella sallitaan linja-autoon nousu etu- ja keskioivista, mutta takaovi on vain poistumista varten. Erona on kuitenkin leimausvelvoitteen puuttuminen: kausi-, päivä- ja vaihtolipulla saa nousta ajoneuvoon leimaamatta niin etu- kuin keskiovestakin.

5.3.1. Pysäkki- ja matka-aikojen muutos

Kun linjalla 550 siirryttiin avorahastukseen, tutkittiin muutoksen vaikutusta matka- ja pysäkkiaikoihin vuosi muutoksen jälkeen. Linjalla 560 ei vastaavaa ole tehty, sillä linja aloitti suoraan avorahastuksella. Kuvassa 15 on esitetty pysäkkiajat ennen ja jälkeen avorahastuksen käyttöönoton linjalla. Siitä voidaan todeta avorahastuksen tuottavan parhaan hyödyn ruuhka-aikoina. Muutokset pysäkkiajoissa eivät ole kovin suuria: korkeimmillaan ero on puolentoista sekunnin suuruusluokkaa. Linjalla 550 on 40 pysäkkiä [31], joten matka-aika nopeutuisi noin minuutin. Tunnin mittaisella linjasivulla minuutin muutos ei ole vielä kovin merkittävä.

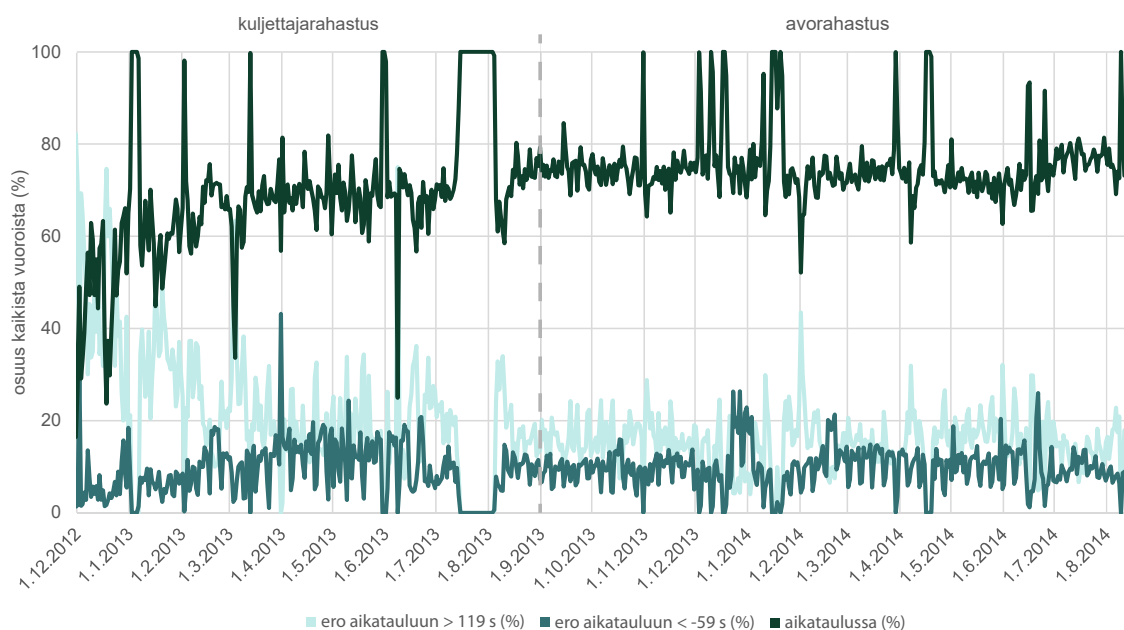
Tarkasteltaessa aamuruuhkan (7–9) pysäkkiaikoja, on pysäkkiaikojen keskiarvo laskenut 14,4 sekunnista 13,4 sekuntiin. Keskihajonta kuitenkin laski 10,5 sekunnista 8,5 sekuntiin. [31] Muutokset keskiarvossa olivat siis maltillisia, mutta keskihajonta laski kohtalaisen paljon eli liikenne muuttui täsmällisemmäksi.



Kuva 15. Pysäkkiajat eri vuorokaudenaikoina ennen ja jälkeen avorahastuksen käyttöönoton linjalla 550. [31]

Kuvassa 16 on esitetty linjan 550 aikataulussa pysyneiden vuorojen suhteelliset määrät. Siitä voidaan havaita aikataulunmukaisuuden parantuneen siirryttäessä avorahastukseen. Etenkin myöhästymiset ovat vähentyneet, mutta myös etuajassa ajaminen näyttäisi

vähentyneen. Tiedossa ei ole, onko aikatauluja muutettu tarkasteluajanjaksona. Koska matka-ajat lyhenivät ja etuajassa ajo on vähentynyt, vaikuttaa, että aikatauluja olisi kiristetty tarkkailuajanjaksolla.



Kuva 16. Linjan 550 aikataulussa pysyneiden vuorojen osuudet kaikista linjan vuoroista. Katkoviivalla merkitty siirtyminen avorahastukseen. [31]

Vertailukelpoista tietoa matkustajamääristä ei ole saatavilla, joten ei voida päätellä, onko mahdollisesti lisääntynyt matkustajamäärä osaltaan nostanut pysäkki- ja matka-aikoja, jolloin niiden muutos avorahastuksen myötä näyttäisi pienemmältä kuin se todellisuudessa on. Vuonna 2014 matkustajamäärät olivat kuitenkin korkeammat kuin vuonna 2013 [31], joten matkustajamäärien nousu vuosien 2012 ja 2013 välillä olisi hyvinkin mahdollista.

5.3.2. Lipuntarkastusnäkökulma

HSL-alueella lipuntarkastusta suoritetaan linja-autoliikenteessä, raitioliikenteessä, metrolinjoissa, lähijunissa ja Suomenlinnan lautalla. Linja-autoliikenteen lipuntarkastuksia suoritetaan niin kuljettajarahastuksen kuin avorahastuksen piirissä olevilla linjoilla, mutta avorahastuskohteisiin luonnollisesti kohdistetaan tarkastustoimintaa suhteellisesti enemmän. Taulukossa 13 on esitetty liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien määrä liikennemuodoittain vuonna 2018. Esitetyt liputtomuusprosentit on laskettu jakamalla liputta matkustamisesta kiinni jääneiden määrä kaikkien tarkastettujen matkustajien määrällä. Luvuista puuttuvat siis matkustajat, jotka poistuvat kulkuneuvosta havaitessaan tarkastajat, jolloin liputta matkustaminen on todellisuudessa yleisempää kuin luvut näyttävät. [108]

Taulukko 13. *Liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien osuudet liikennemuodoittain HSL-alueella vuonna 2018. [47][51]*

liikennemuoto	tarkastettuja (%)	liputtomia (%)
metro	1,01	3,60
metrolaiturit	-	4,97
raitiotie	0,61	4,02
Helsingin sisäinen linja-autoliikenne	0,13	0,58
vesiliikenne	1,87	3,33
lähijunaliikenne (HSL+VR)	1,87	3,03
seudullinen linja-autoliikenne (sis. runkolinjat)	0,22	2,61
seudullinen linja-autoliikenne (pl. runkolinjat)	0,16	0,87
kaikki liikennemuodot keskimäärin	0,74	2,94

Taulukosta 13 voidaan todeta kuljettajarahastuksellisilla linjoilla saavutettavan pieni liputtomuuden aste hyvin vähäisillä lipuntarkastuksilla. Helsingin sisäisessä linja-autoliikenteessä liputtomuus on seudullista liikennettä pienempää, sillä koko Helsinki on yhtä tariffiluokkaa ja näin väärän alueen kattavalla lipulla ei voi nousta ajoneuvoon¹. Myös seudullisessa linja-autoliikenteessä runkolinjat pois lukien liputtomuus on kohtalaisen pientä. Raitioliikenteessä liputtomuus on huomattavasti suurempaa ja tarkastustoiminta yleisempää.

Taulukossa 14 on esitetty runkolinjojen liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien osuudet vuonna 2018. Liputtomuus on liki yhden prosenttiyksikön korkeampi kuin raitioliikenteessä. Linja 550 on lähempänä raitioteiden liputtomuusastetta, mutta linjan 560 liputtomuus on huomattavasti korkeampi niin linjaan 550 kuin raitioliikenteeseenkin verrattuna. Raitioliikenteessä ja runkolinjoilla liputtomuus on keskimäärin 4,21 % [47].

Taulukko 14. *Liputtomuusasteet ja tarkastettujen matkustajien osuudet HSL-alueen linja-autoliikenteen runkolinjoilla vuonna 2018. [47]*

linja	tarkastettuja (%)	liputtomia (%)
550	0,58	4,39
560	0,42	6,39
550 ja 560 yhteensä	0,52	5,00

Linja-autoliikenteen runkolinjojen suurempaa liputtomuutta raitioliikenteeseen verrattuna selittää osittain eri liikennöintialue: Itä-Helsingissä liikkuu eri tyyppisiä ihmisiä kuin kantakaupungissa. Rauhattomuus on keskittynyt vahvasti runkolinjojen itäpäähän. Lisäksi lipuntarkastusyksikössä arvioidaan, että runkolinjat ovat luoneet hyvän käytävän niille, jotka haluavat väärinkäyttää joukkoliikennejärjestelmää taloudellisesti, sillä runkolinjoille rinnakkaisilla linjoilla on käytössä kuljettajarahastus ja runkolinjat mahdollistavat myös nopean siirtymisen toiselle puolelle pääkaupunkiseutua. [108] Käsitystä Itä-Helsingin

¹ HSL-alueella on toteutettu vyöhykeuudistus tämän tekstin kirjoittamisen jälkeen 27.4.2019, joten virke ei enää julkaisuhetkellä pidä paikkaansa. Kaikki esitetyt luvut ovat kuitenkin vanhan vyöhykejärjestelmän ajalta, joten päätelmät ovat yhä valideja.

matkustajien suuremmasta taipumuksesta matkustaa liputta vahvistaa myös pääasiassa Itä- ja Pohjois-Helsingissä kulkevan linjan 560 suurempi liputtomuusaste verrattuna Itä-Helsingistä aina Espooseen asti kulkevaan linjaan 550.

Liputtomuus on pienintä ruuhka-aikoina johtuen osittain kausilipun käytön yleisyydestä työ- ja koulumatkalaisten keskuudessa. Iltaisin ja myös keskipäivällä liputtomuus saattaa olla hieman korkeampaa. [108] Aiheesta ei kuitenkaan ole tehty tutkimusta.

Linja-autoliikenne eroaa raitioliikenteestä myös toimintaympäristöltään. Raitioliikenteessä liputtomat pääsevät poistumaan ohi tarkastajien helpommin kuin linja-autoissa johtuen suuresta ovimäärästä ja lyhyistä pysäkkiväleistä. Raitioliikenteessä on toisinaan toteutettu tehokampanjoita, joissa myös kaikki vaunusta poistuvat on pysäytetty lipuntarkastusta varten. Tällöin liputtomuusasteet ovat olleet huomattavasti tilastoituja suurempia. Näiden kampanjoiden käyttöä kuitenkin rajoittaa niistä matkustajille koitua vaiva ja liikenteelle koitua viivästys. Lisäksi kyseisten kampanjoiden aikana tulee helpommin kahnauksia, joiden selvittäminen kuluttaa tarkastajien työaikaa. Kahnausriskistä johtuen pysäytyksiä pyritään lähtökohtaisesti välttämään turvallisuussyistä. [108]

Toisaalta linja-autoliikenteen runkolinjat ovat myös vaativampia tarkastuskohteita kuin raitiotieliikenne, sillä niissä pysäkkivälit ovat pitkiä ja linja kulkee laitakaupungilla, kun taas raitioliikenne kulkee kantakaupungissa ja pysäkkivälit ovat lyhyitä. Tästä johtuen virka-apua on saatavilla tarvittaessa nopeammin raitioliikenteessä kuin linja-autoliikenteen runkolinjoilla. Tämän takia linja-autoliikenteen runkolinjoja tarkastettaessa mukana on usein JV-tarkastaja¹. JV-tarkastajien läsnäolosta johtuen matkustajakäyttäytyminen tarkastustilanteessa on eri tyyppistä. Tällöin matkustajat eivät ole samalla tavalla päässeet poistumaan linja-autosta tarkastajien saapuessa, jolloin liputtomuusprosentti kuvanee paremmin todellista liputtomuuden määrää. [108]

Järjestyksenvalvojan läsnäolosta on apua, sillä se vähentää liputta matkustavien pyrkimyksiä rynnäköidä pois kulkuneuvosta tarkastajia havaitessaan. Erityisesti järjestyksenvalvojista on apua, jos tarkastaja joutuu käyttämään kiinniotto-oikeutta. Silloin järjestyksenvalvojan läsnäolo rauhoittaa tilannetta. Varsinaista väkivaltaa ei juuri ilmene, mutta jonkinasteista tönimistä ovilla yms. tapahtuu viikoittain. JV-tarkastajia käytetään myös raitioliikenteessä etenkin viikonloppuöinä. [108]

Linja-autoliikenteen runkolinjoilla ja raitioliikenteessä tarkastetaan 0,59 % matkustajista [47][51]. Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty tarkastettujen matkustajien osuudet liikenne- muodoittain. Ulkomaisiin vertailukohteisiin verrattuna osuudet ovat varsin pieniä. HSL-alueella lipuntarkastustiheyttä määrittää lähinnä saatavilla olevat resurssit. Tarkastajien määrä vaihtelee väen siirtyessä muihin tehtäviin. VR:n kanssa on sovittu tietystä tarkastusten määrästä sen järjestämässä junaliikenteessä, mutta muuten lipuntarkastusyksikkö voi kohdentaa käytettävissä olevat resurssit haluamallaan tavalla. [108] Päiväkohtainen tavoite yhdelle tarkastajalle on keskimäärin 245 tarkastettua matkustajaa päivässä, mutta

1 JV-tarkastaja on järjestyksenvalvoja, joka on koulutettu avustamaan lipuntarkastuksessa [108]. He voivat tarkastaa matkustajien matkalippuja, mutteivät määrätä tarkastusmaksuja [42].

vaihtelut ovat suuria kulkuvälineestä, viikonpäivästä ja kellonajasta riippuen. Lisäksi esimerkiksi tarve poliisiin virka-avun odottelulle heikentää koko partion työsuoritusta. [110]

Helsingin seudulla aikanaan otettaessa matkakorttijärjestelmä käyttöön kokeiltiin leimausvelvoitetta avorahastuksen piirissä olevilla linjoilla. Leimausvelvoitetta perusteltiin matkustajille mm. tiedonkeruulla joukkoliikenteen suunnittelua varten. Alkuvaiheessa tarkastajat huomauttivat lipun leimaamatta jättämisestä, mutta se todettiin tehottomaksi, koska huomautukseen ei liittynyt minkäänlaista sanktiota. Osa matkustajista perusteli leimaamattomuuttaan mm. sillä, ettei halua kulkuaan seurattavan. Aikojen saatossa leimausvelvoitteesta luovuttiin kokonaan. [108] Huomauttaminen leimaamattomuudesta, vaikka lippu onkin voimassa, ei ole myöskään kovin asiakaslähtöistä.

Lähtökohta HSL-alueella oli kuitenkin erilainen kuin Tampereen seudulla Siellä matkakortti tuli käyttöön suoraan avorahastukseen ja matkustajat olivat jo tottuneet siihen, ettei lippua tarvitse näyttää muuten kuin lipuntarkastustilanteessa. Matkakortin myötä tullut leimausvelvoite oli tavallaan siis muutos huonompaan suuntaan. [108]

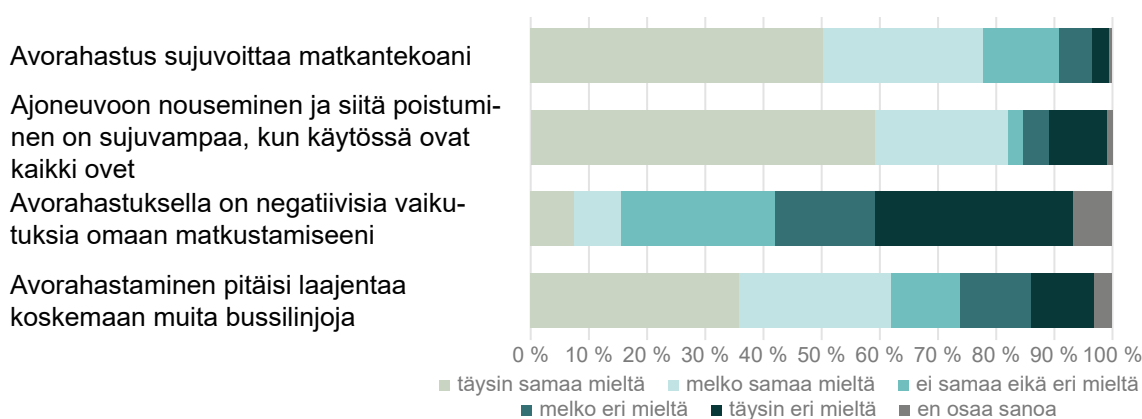
Lipuntarkastusten järjestäminen on joukkoliikenteen harjoittajalle merkittävä menoerä, sillä liputta matkustamisesta kiinni jääneiltä perittävät tarkastusmaksut eivät riitä kattamaan edes lipuntarkastustoiminnan kustannuksia liputtomuuden aiheuttamista taloudellisista vaikutuksista puhumattakaan. Vuonna 2018 HSL-alueella tarkastusmaksutulot olivat 4,9 miljoonaa euroa, kun tarkastustoiminnan kustannukset olivat 7,5 miljoonaa euroa. Tarkastustoiminnan kustannuksista siis noin kaksi kolmannesta katettiin tarkastusmaksuilla. Menettyjen lipputulojen hinnaksi HSL-alueella vuonna 2018 arvioitiin 10,5 miljoonaa euroa¹. [110] Osaltaan tähän vaikuttaa tarkastusmaksujen perinnän vaikeus: vuonna 2018 määrättyistä tarkastusmaksuista saatiin perittyä vain 60 %. Useina vuosina luku on ollut huomattavasti tätä pienempikin. Taustalla on se, että tarkastusmaksu on määrättävä myös vähävaraisille ja varattomille, joilla saattaa olla paljon muitakin maksuja ulosotossa, jolloin tarkastusmaksua ei välttämättä saada ulosmitattua. [108] Tärkeintä lipuntarkastuksessa on kuitenkin näkyvyys. Kaikkia liputtomia ei ole mahdollista saada kiinni, mutta näkyvyys sen sijaan luo matkustajille syyn ostaa matkalippu.

5.3.3. Matkustajakokemusnäkökulma

HSL-alueella matkustajilta kysyttiin kokemuksia avorahastuksesta verkkokyselyllä 14.3.–2.4.2017. Avorahastusta koskevat kysymykset esitettiin vastaajille vain, mikäli nämä kertoivat matkustaneensa avorahastuksen piirissä olevilla runkolinjoilla. Runkolinjoja käyttäneitä vastaajia oli 229. [111]

¹ Luku on laskettu tilastojen osoittaman liputtomuusasteen mukaan. Koska liputtomuus mitä ilmeisimmin on jonkin verran suurempaa, on menettyjen lipputulojen osuuskin suurempi.

Kyselytutkimusta tehdessä ei tehty otantaa, vaan linkkiä kyselylomakkeeseen jaettiin mm. HSL:n verkkosivuilla. Tutkimuksessa ei myöskään käytetty laajennuskertoimia. Verrattaessa kyselyn vastaajien sukupuolijakaumaa joukkoliikennematkojen keskimääräisiin matkalukuihin ikäryhmittäin, voidaan todeta ikäryhmien 18–29 ja 30–44 olevan yliedustettuna ja alle 18-vuotiaiden sekä yli 65-vuotiaiden olevan aliedustettuina. Varsinkin yli 65-vuotiaiden kohdalla aliedustus on huomattavaa, sillä kyselyyn vastanneista 2 % oli yli 65-vuotiaita, vaikka nämä tekevät 12 % joukkoliikennematkoista. [111][112, s. 41] On siis selvää, ettei otos edusta perusjoukkoa. Lisäksi kolme neljästä kyselyyn vastanneesta kertoi matkustavansa joukkoliikenteellä vähintään neljänä päivänä viikossa [111]. Ei ole tietoa, kuinka suuren osan joukkoliikennematkoista tekee vähintään neljänä päivänä viikossa joukkoliikennettä käyttävä matkustaja, mutta mahdollisesti joukkoliikennettä lähes päivittäin käyttävät ovat yliedustettuina.



Kuva 17. Otteita HSL-alueen avorahastusta käsittelevästä matkustajakyselystä keväällä 2017. [111]

Kuvassa 17 on esitetty vastauksia eräisiin kyselyssä esitettyihin avorahastusta koskeviin väittämiin. Niiden perusteella noin 80 % matkustajista kokee avorahastuksen sujuvoittavan matkantekoa. Vain 16 % matkustajista kertoo avorahastuksella olevan negatiivisia vaikutuksia matkustamiseensa. Voidaan siis todeta kyselyyn vastanneiden matkustajien olevan suurimmaksi osaksi tyytyväisiä avorahastukseen. Lisäksi noin puolet vastaajista haluaisi avorahastuksen käyttöön myös muille linja-autolinjoille.

5.4. Montreal

Montrealin kaupungin alueella asuu 1,7 miljoonaa asukasta ja metropolialueella 4,1 miljoonaa asukasta. Väestötiheys on kaupungin alueella 4 662 asukasta neliökilometrillä ja metropolialueella 890 asukasta neliökilometrillä¹. Työmatkoista Montrealin kaupungin alueella tehdään joukkoliikenteellä 37 % ja metropolialueella 22 %. [113]

¹ Vrt. Tampereen kantakaupunkiin, jossa 1727 asukasta neliökilometrillä. (Ks. s. 38)

Montrealin alueen joukkoliikennejärjestelmä koostuu neljästä metrolinjasta, lukuisista linja-autolinjoista sekä syrjäisempien alueiden taksibusseista [114]. Lippujärjestelmä sisältää yhden, kahden ja kymmenen kerran liput, päivä- ja iltaliput, viikonloppuliput, viikko- ja kuukausiliput sekä käteisellä kuljettajalta ostettavan kertalipun. Osa lipputuotteista on saatavilla kertakäyttöisillä lipuilla ja matkakortille ladattavina, osa vain matkakortille ladattavina. Koko alueella on käytössä tasataksa¹, joten vyöhykevalintoja ei tarvitse tehdä. [114]

5.4.1. Montrealin avorahastuskokeilu

Montrealissa kokeiltiin vuonna 2016 avorahastusta yhdellä linjalla. Linja oli valittu aiemman tutkimuksen perusteella, jossa arvioitiin kyseisen linjan hyötyvän avorahastuksesta merkittävästi². Pilottilinjan reitti oli noin 11 km pitkä ja matkalla oli noin 50 pysäkkiä. [9] Vertailuksi Tampereen seudun joukkoliikenteen linjalla 2 on 17 pysäkkiä noin viiden kilometrin matkalla. Montrealin pilottilinjaa liikennöidään nivellinja-autoilla [9].

Pilotin vaikutuksia tutkittiin kenttätutkimuksilla: tutkijat matkustivat linja-auton mukana laskien nousuja ja poistumisia, mitaten matkustajapalveluaikoja sekä tehden havaintoja mm. maksutavoista. Kenttätutkimuksia suoritettiin myös vertailulinjalla, jolla ei ollut käytössä avorahastusta. [9]

Pysäkkiajat jaoteltiin sen mukaan, kuinka moni matkustaja oli noussut linja-autoon kyseisellä pysäkillä. Kolmen matkustajan noustessa kyytiin pysäkkiaika laski 13,5 sekunnista 12,8 sekuntiin verrattaessa kuljettaja- ja avorahastusjärjestelmiä, eli pysäkkiajat lyhenivät viisi prosenttia. Pysäkeillä, joilla 17 matkustajaa nousi kyytiin, pysäkkiajat laskivat 53,6 sekuntista 43,4 sekuntiin eli 19 prosentilla. [9]

Tutkimuslinjalla matka-aika laski 1,2 %, joka oli vähemmän kuin oli arvioitu. Linjalla nousi kyytiin keskimäärin kolme matkustajaa pysäkkiä kohden ruuhka-aikoina. Tutkimuksessa arvioitiin, että keskimäärin viiden matkustajan noustessa kyytiin matka-ajan säästö olisi 2,7 prosenttia. Jos nousijoita olisi keskimäärin kahdeksan, nousisi hyöty viiteen prosenttiin. Suurimmat hyödyt avorahastuksesta saavutettaisiin siis linjoilla, joiden nousijamäärät ovat korkeita. [9][10].

Montrealin pilotissa olisi ollut kuitenkin suurempi potentiaali matka-aikojen nopeutumiselle kuin nyt saavutettiin. Matkustajista 88 % nousi etuovesta, 6,4 % keskiovesta ja 5,6 % takaovesta. Jos useampi matkustaja olisi noussut keski- tai takaovesta, olisivat hyödyt olleet suuremmat. El-Geneidy et al. arvioivat, että suuri etuovesta nousijoiden määrä johtui huonosta tiedottamisesta, sillä matkustajat vaikuttivat olevan hämillään uudesta käytännöstä. Koska Montrealissa lippujen leimauslaitteita oli asennettu vain etuoville, oli

1 Pl. lentokenttälinja, jolla on muista linjoista poikkeava lippujärjestelmä ja tariffi.

2 Ks. s. 17.

osan matkustajista pakko käyttää etuovia. [9] Asentamalla leimauslaitteet myös keski- ja takaoville saataisiin myös arvolipulla matkustavia nousemaan niistä, jolloin nousijajakauma olisi tasaisempi.

Myös viestintä kuljettajien suuntaan ontui, eivätkä kaikki kuljettajat siksi avanneet kaikkia ovia nouseville matkustajille, mikä laski avorahastuksen matka-aikasäästöjä ja ohjasi matkustajia etuovelle. Matkustaja ilmaisivat turhautumisensa epäjohtonmukaiseen keski- ja takaovien avaamiseen ja kertoivat, etteivät voi luottaa avorahastuksen toimivuuteen, mikä taas saattaa vaikuttaa heidän halukkuuteensa odottaa keski- tai takaovilla tulevaisuudessa. El-Geneidy et al. korostavatkin hyvän tiedottamisen merkitystä muutostilanteessa ja sen jälkeen niin matkustajien kuin kuljettajienkin suuntaan. [9]

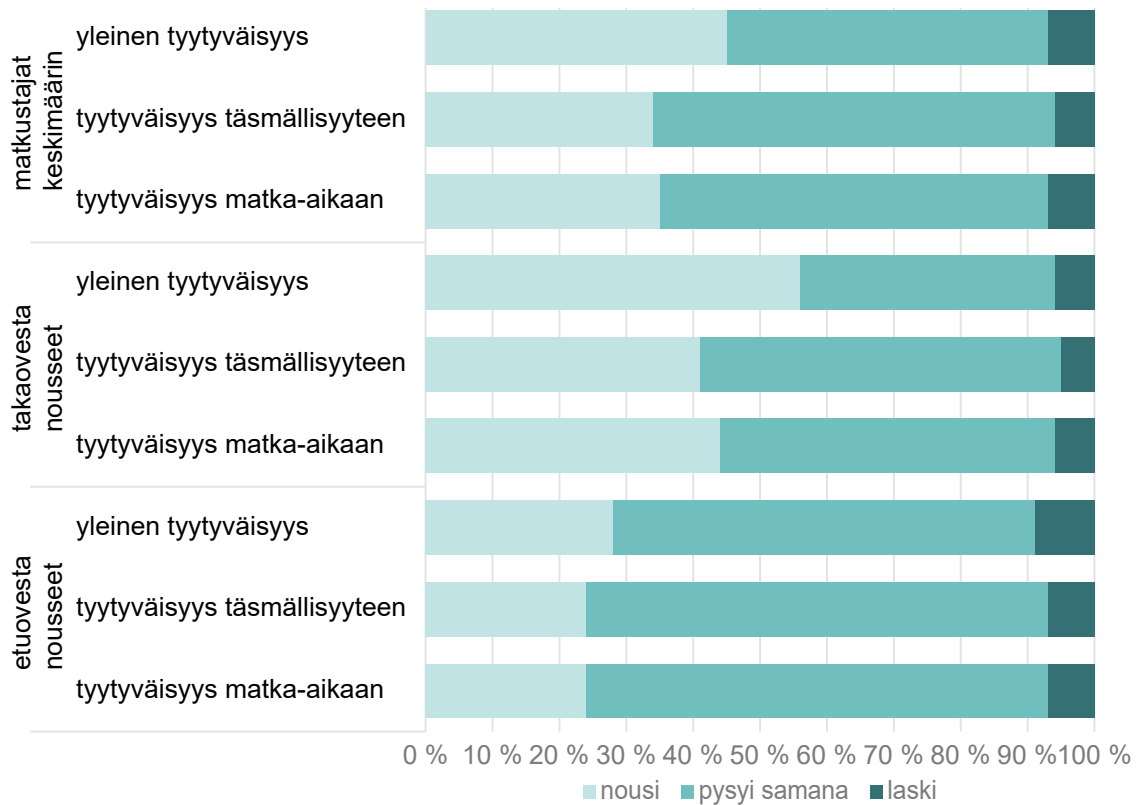
Lisäksi Montrealissa suurin osa avorahastuksen tuomista matka-aikasäästöistä haaskattiin ajantasauksiin, jotka kyseisessä tutkimuksessa laskettiin ylimääräiseksi pysäkkiajaksi. Varsinkin metroasemien yhteydessä linja-auto odotti useita minuutteja sen jälkeen, kun matkustajat olivat nousseet ja poistuneet ajoneuvosta. [9] Mikäli matkan varrella on ajantasauspisteitä, on aikataulut siis syytä laatia uudelleen avorahastukseen siirtymisen myötä, jotta avorahastuksen ajansäästöpotentiaali saadaan hyödynnettyä.

5.4.2. Käyttäjätyytyväisyys

Montrealin avorahastuskokeilun yhteydessä suoritettiin matkustajakysely. Kyselyssä haastateltiin pysäkeillä pilottilinjaa 121 käyttäviä matkustajia, jotka olivat matkustaneet kyseisellä linjalla myös ennen avorahastuksen käyttöönottoa ja olivat tietoisia avorahastuksen olemassaolosta kyseisellä linjalla. Kyselyyn vastasivat siis vain ne matkustajat, jotka olivat jo kokeneet kuinka avorahastus vaikuttaa [9].

Kyselyn perusteella matkustajat olivat tyytyväisempiä avorahastuksen ollessa käytössä kuin ennen avorahastuskokeilua. Matkustajista 45 % kertoi tyytyväisyytensä lisääntyneen ja vain 7 % kertoi tyytyväisyyden laskeneen. Matkustajat kertoivat olevansa tyytyväisempiä myös täsmällisyyteen ja matka-aikaan. Kuvassa 18 on esitetty matkustajatytytyväisyyskyselyn tulokset. [9]

Kyselyssä matkustajat jaoteltiin sen mukaan, olivatko nämä nousseet viimeksi linja-auton etuovesta vai taka- tai keskiovista. Matkustajat, jotka olivat nousseet linja-auton taka- tai keskiovista, olivat tyytyväisempiä kuin etuovesta nousseet niin kokonaistyytyväisyyttä, tyytyväisyyttä täsmällisyyteen kuin tyytyväisyyttä matka-aikaan kysyttäessä. Ero oli tilastollisesti merkitsevä. Keski- tai takaovesta nousseiden joukossa oli huomattavasti enemmän linjan säännöllisiä käyttäjiä kuin etuovesta nousseiden. [9] Saattaa siis olla, että linjaa säännöllisesti käyttävät ovat tyytyväisempiä kuin satunnaisesti matkustavat, mistä syntyy korrelaatio taka- ja keskiovesta nousun ja suuremman tyytyväisyyden välillä säännöllisesti matkustajien käyttäessä enemmän ko. ovia. Käytettävissä olevan datan perusteella ei voida kuitenkaan päätellä varmasti, mistä tämä korrelaatio johtuu.

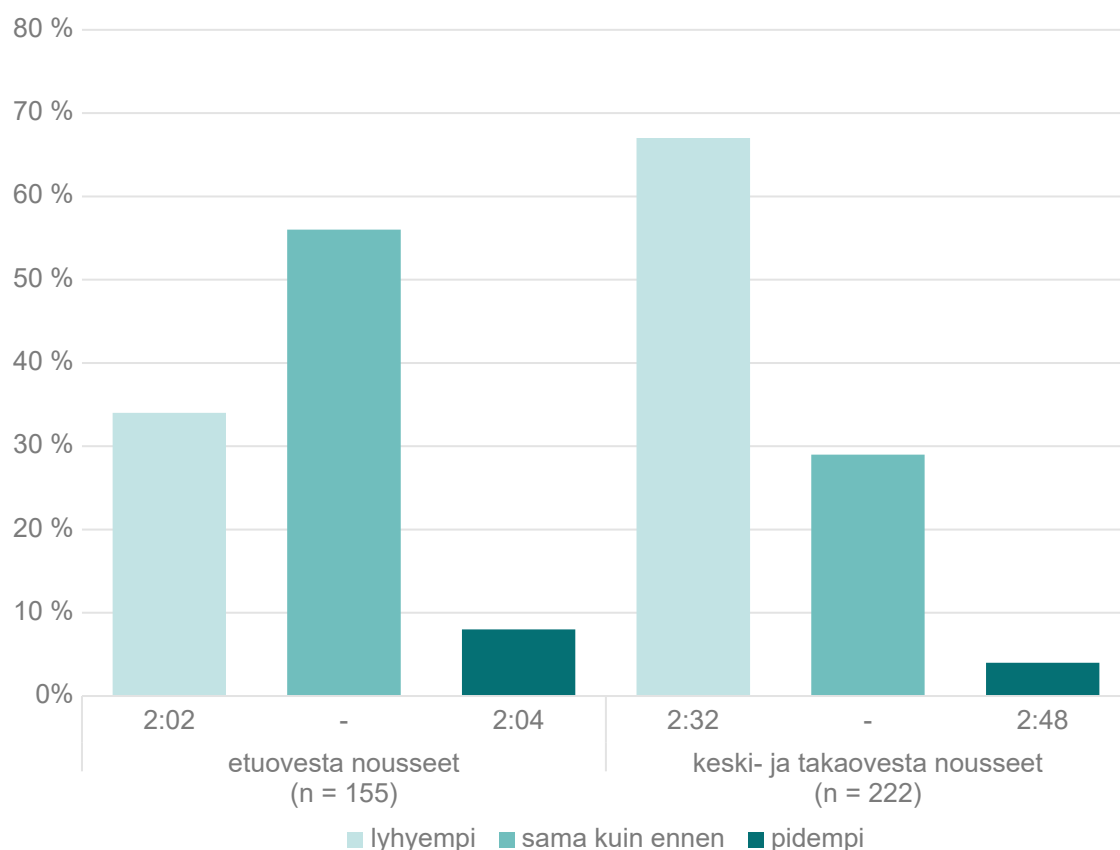


Kuva 18. *Matkustajatytyväisyyskyselyn tulokset Montrealissa. [9]*

Montrealin avorahastuspilotissa viikko- tai kuukausilipulla matkustavien ei tarvinnut leimata lippuaan keski- tai takaovista noustessa, mutta etuovesta noustessa kaikkien matkustajien oli leimattava lippunsa [9]. Taka- ja keskiovia käyttävien suurempi tyytyväisyys voi siis johtua osittain leimausvelvoitteen puuttumisesta, mikä on syytä ottaa huomioon hyödynnettäessä Montrealin tutkimustuloksia Tampereen seudulla. Etuovesta nousseista, joita leimausvelvoite koski, 24–28 % ilmoitti olevansa tyytyväisempiä avorahastuksen ollessa käytössä kuin ennen sitä [9]. Tästä voidaan päätellä, että tyytyväisyys avorahastukseen ei johdu ainakaan pelkästään leimaustarpeen poistumisesta.

Koska keski- ja takaovista nousseista 81 % matkusti linjalla säännöllisesti ja etuovesta nousseista vain 59 %, voidaan todeta hyvän tiedotuksen olevan tärkeää, jotta myös satunnaiset käyttäjät osaavat hyödyntää mahdollisuutta nousta muualtakin kuin etuovesta. Tiedotuskampanja oli toteutettu ensimmäisen kuukauden aikana, mutta matkustajakyselyn perusteella voidaan todeta tiedotukselle olevan tarvetta säännöllisesti. [9]

Matkustajilta kysyttiin myös, kuinka nämä kokivat matka-ajan muuttuneen. Taka- ja keskiovista nousseista matkustajista kaksi kolmesta arvioi matka-aikansa lyhentyneen. Vain n. 5 % arvioi matka-ajan pidentyneen. Etuovesta nousseista matka-ajan arvioi lyhentyneen kolmannes ja pidentyneen joka kymmenes. [9] Kuvassa 19 on esitetty tarkemmin matkustajien kokema matka-ajan muutos.



Kuva 19. *Matkustajien arvio matka-ajan muuttumisesta Montrealin avorahastuspilotin yhteydessä. Pylväiden alla on merkittynä vastausten keskiarvo kysyttäessä matkustajilta kuinka paljon nämä arvelivat matka-ajan muuttuneen. [9]*

Matkustajien kokemus matka-ajan nopeutumisesta oli huomattavasti voimakkaampi kuin todellinen muutos matka-ajassa, sillä Montrealin avorahastuspilotilla saavutettiin vain minimaaliset matka-aikasäästöt. Noin 35 % matkustajista kuitenkin ilmoitti tyytyväisyytensä matka-aikaan nousseen avorahastuksen käyttöönoton myötä. Tämä kertoo siitä, että pienenkin liikennöintimuutoksen vaikutus matkustajatytyväisyyteen voi olla suuri [9]

5.4.3. Avorahastus Montrealissa nykyään

Nykyään Montrealissa on päädytty melko erikoiseen ja monimutkaiseen avorahastusjärjestelmään. Matkustajat voivat nousta autoon kaikista ovista silloin, kun kaikki seuraavat ehdot täyttyvät:

- Linjaa liikennöidään nivellinja-autoilla (15 linjaa)
- Linja-autopysäkki on metroaseman vieressä
- Matkustajalla on viikko- tai kuukausilippu
- Kellonaika on aamuviiden ja iltaseitsemän välillä.

Leimauslaitteita ei ole asennettu taka- ja keskioville, joten muilla lipputyypeillä¹ matkustavien täytyy nousta etuovesta. [115] Tätä tutkimusta tehdessä ei löydetty tietoa siitä, kuinka Montrealin nykyinen avorahastusjärjestely on toiminut.

¹ Muut lipputyypit sisältää käteismaksun sekä ennakkolipun, sarjalipun ja päiväliput, jotka täytyy leimata.

6. AVORAHASTUSPILOTTI

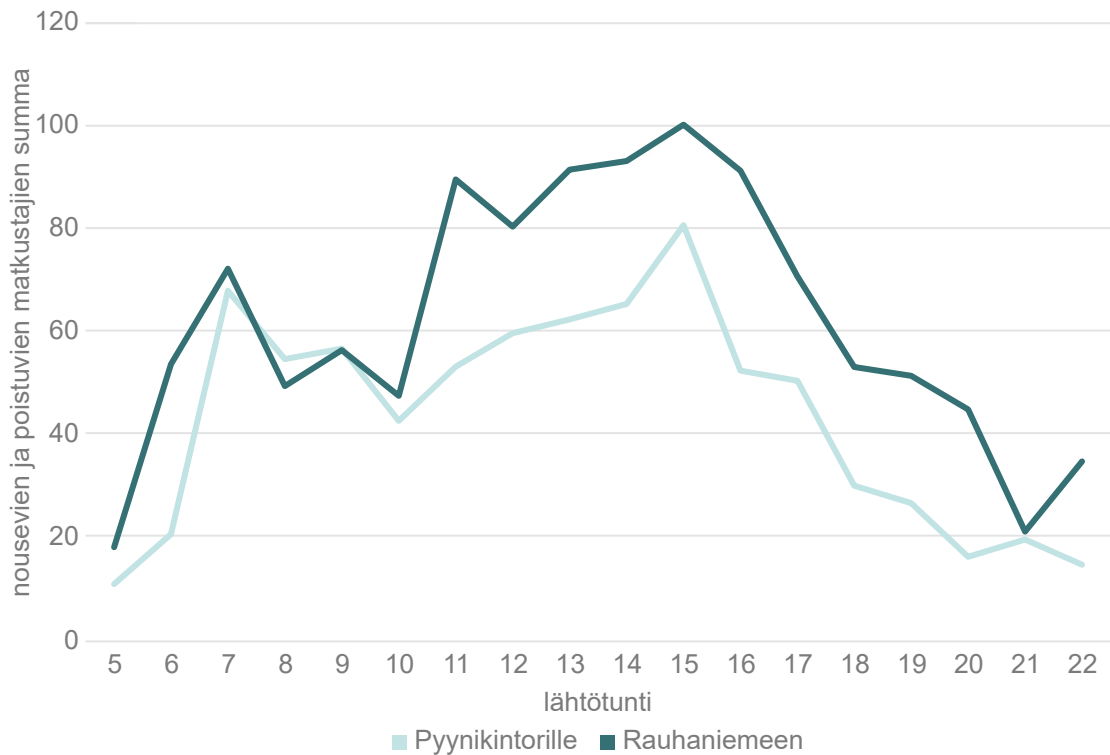
Tampereen seudun joukkoliikenteen linjalla 2 toteutettu avorahastuspilotti kärsi katkonaisuudesta, sillä vain osa linjalla käytetyistä autoista oli avorahastusvarusteltuja. Tästä huolimatta avorahastuspilotti tarjoaa tilaisuuden oppia avorahastuksesta. Kun haasteet kohdataan ja kirjataan ylös pilotin aikana, voidaan ne välttää siirryttäessä avorahastukseen myöhemmin. Pilotista voidaan oppia myös matkustajakäyttäytymisestä. Koska ajoaikadatasta ei voida erottaa avorahastusvarusteltuja autoja muista autoista, voidaan matka-aikoja ja täsmällisyyttä tarkastella vain suuntaa antavasti.

6.1. Oletettavissa olevat matka-aikamuutokset

Teorian perusteella¹ voidaan arvioida pysäkkiajan lyhentyvän noin yhden sekunnin jokaista nousevaa tai poistuvaa matkustajaa kohden. Kuvassa 20 on esitetty pilottilinjan nousevien ja poistuvien matkustajien keskimääräiset määrät² lähtöä kohden eri vuorokauden aikoina. Data on aikaväliltä 8.–11.4.2019. Jos oletetaan matka-ajan lyhenevän sekunnin jokaista nousua tai poistumista kohden, näyttää kuva suoraan matka-aikasäästön sekunteina. Kuvasta voidaan siis arvioida iltapäiväruuhka-aikaan saavutettavan noin 1–1,5 minuutin matka-aikasäästöt suuntaa kohden perustuen Transit Cooperative Research Programin ja Sergio Jara-Díazin & Alejandro Tirachinin tutkimuksiin. Keskimääräinen nopeutuminen koko vuorokauden ajalla olisi noin 56 s lähtöä kohden.

1 Ks. luku 3.1.

2 Nousevien ja poistuvien matkustajien määrä on saatu kertomalla nousevien matkustajien määrä kahdella, sillä voidaan varsin suurella varmuudella olettaa kaikkien nousseiden matkustajien poistuvan linja-autosta ja toisaalta kaikkien poistuneiden matkustajien nousseen linja-autoon aiemmin.



Kuva 20. Keskimääräiset nousujen ja poistumisten määrät tunneittain linjalla 2.

Liputta matkustamisen määrää pilotin aikana on vaikea arvioida, sillä saatavilla oleva teoreettinen tieto koskee pääosin koko järjestelmää, ei vain yksittäistä linjaa. Toisaalta voidaan kuitenkin perustellusti olettaa, että kokeiltaessa avorahastusta vain yhdellä linjalla, tai todellisuudessa pikemminkin osalla yhden linjan lähdöistä, liputtomuus on pienempää kuin laajemmasta avorahastuksen käyttöönotosta seuraisi, sillä useat matkustajat käyttävät kausilippua joka tapauksessa muilla linjoilla matkustaessaan. HSL-alueen kokemusten¹ perusteella voidaan kuitenkin epäillä, että avorahastuksen käyttöönotto yhdellä linjalla houkuttaa liputta matkustavia käyttämään juuri kyseistä linjaa.

6.2. Avorahastuspilotin haasteet

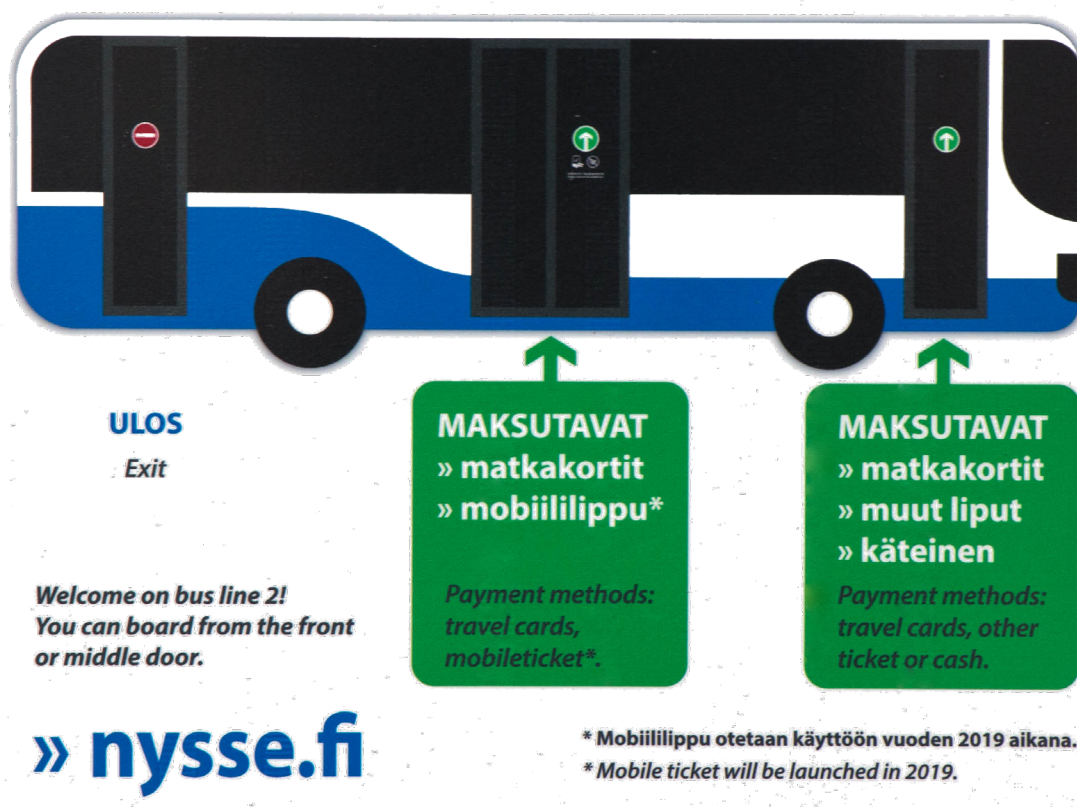
Avorahastuksen pilotoinnissa on ollut useita haasteita. Näiden haasteiden ymmärtäminen on tärkeää toisaalta pilotin tulosten arvioinnin tueksi ja toisaalta pilotin haasteiden tarkastelu tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää pilotin kokemuksia, mikäli avorahastukseen päätetään siirtyä pilotin jälkeen. Kun haasteet tiedostetaan, niitä voidaan aktiivisesti pyrkiä välttämään siirryttäessä avorahastukseen laajemmin.

Pilotin suurin haaste on eittämättä ollut avorahastuksen käytön katkonaisuus. Linjalla on liikennöinyt varsin paljon autoja, joissa ei ole ollut avorahastusvarustusta eli kortinlukijaa keskisillalla eikä ohjetarroja matkustajille. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että

¹ Ks. kpl. 5.3.2.

merkittävä osa lähdoista on ollut kuljettajarahastuksen piirissä. Matkustajia on Tampereen seudun joukkoliikenteen internet-sivuilla ohjeistettu: “Jos linjalla 2 on esimerkiksi kalustorikon vuoksi autoja, joissa ei ole kortinlukijaa keskiovellalla eikä vihreitä nuolitarroja tämän merkiksi, kyytiin nousee normaalisti etuovesta.” [116]. Avorahastusvarustelluissa linja-autoissa olevissa tiedotteissa (kuva 21) tätä ohjetta ei kuitenkaan selkeyssyistä ole.

Linjalle **2** sisään myös **KESKIOVESTA!**



Kuva 21. Avorahastuksesta kertova ohje matkustajille valokuvattuna linja-auton kyljestä. Kuvasta näkee myös, millaiset ohjetarrat oville on asennettu.

Avorahastuksen katkonaisuutta havainnollistaa hyvin se, että pilotin alussa aikavälillä 14.1.–24.2. vain kymmenenä päivänä kaikki linjalla käytetyt autot oli varustettu avorahastuslaittein [117]. Aikavälillä 25.2.–17.3. yhtenä päivänä kaikki autot eivät olleet avorahastusvarusteltuja [118]. Myös 17.3. jälkeen linjalla on ollut runsaasti avorahastusvarustelemattomia autoja, mutta tarkkoja lukuarvoja ei ole käytettävissä.

Avorahastusvarustelun puute aiheuttaa useitakin ongelmia. Ensinnäkin pilotin matka-aika ja täsmällisyysvaikutusten arvioinnin luotettavuus heikkenee, kun vertailussa on mukana myös avorahastuksen piiriin kuulumattomia autoja. Vertailtaessa matka-aikojen muutosta

ennen ja jälkeen avorahastukseen siirtymisen ei ole mahdollista valita vertailuun pelkästään avorahastusvarustelluin autoin ajettuja lähtöjä, vaan datassa on mukana myös ilman avorahastusvarustelua olevat lähdöt.

Toinen haittavaikutus on matkustajien kokema epäjohdonmukaisuus ja hämmennys. Kun osalla lähdöistä keskiovesta saa nousta ja osalla ei, ei matkustaja totu avorahastukseen samalla tavoin, kuin jos keskiovelta saisi nousta kaikilla lähdöillä.

Pilottilinjalla osa matkustajista nousee autoon kuljettajan poistuvia matkustajia varten avaamista keskiovista, vaikka auto ei ole avorahastuksen piirissä. Koska keskiovelle ei ole ollut kortinlukijaa, kävelevät nämä matkustajat ajoneuvon sisällä keskikäytävää pitkin etuovelle leimaamaan matkakorttinsa samaan aikaan, kun etuovesta on noussut muita matkustajia. Tämä ruuhkauttaa keskikäytävää merkittävästi hidastaen ajoneuvon nousua, eikä myöskään ole matkustajien kannalta miellyttävää. Voidaan olettaa, etteivät kaikki matkustajat vastaavasti huomaa myöskään mahdollisuutta nousta keskiovesta, vaan jonottavat etuovelle “vanhasta muistista” tai vaikka huomaisivat, käyttävät mieluummin vanhaa tuttua tapaa. Mikäli avorahastuksen käyttö olisi järjestelmällistä, helpottaisi se matkustajien tottumista siihen.

Myös kuljettajien toiminnassa avorahastuksen piirissä olevilla lähdöillä on ollut puutteita. Kaikki kuljettajat eivät ole avanneet keskiovea siitä nousemaan pyrkiville matkustajille, vaan matkustajat ovat jääneet hölmistyneenä tuijottamaan suljettua ovea hetkeksi, jonka jälkeen he ovat siirtyneet etuovella olevaan jonoon.

Pilotin alkuvaiheessa keskiovien avaaminen oli johdonmukaista, vaikka yksikään matkustaja ei olisi ollut aktiivisesti pyrkimässä sisään niistä. Käytäntö houkuttelee matkustajia nousemaan sisään myös keskiovista, kun suljettu ovi ei muodostanut eräänlaista psykologista tai konkreettista estettä nousemiselle. Myöhemmin keskiovien avaaminen ei ollut samalla tavoin johdonmukaista, mikä vähensi matkustajien mahdollisuuksia ja halukkuutta nousta niistä linja-autoon. Hyvä käytäntö onkin avata keskiovet pääsääntöisesti aina kun pysäkillä on nousevia matkustajia. Myös tutkimustieto Montrealista puoltaa tätä käytäntöä¹.

Siirtyminen avorahastuksen käyttöön laajamittaisemmin saattaisi myös auttaa vähentämään avorahastukseen varustamattomien autojen käyttöä avorahastuslinjoilla. Pilotin aikana linjan 2 autokierrossa on viisi autoa ja avorahastusvarustus on asennettu kuuteen autoon [54]. Liikennöinti on siis varsin häiriöherkkää, koska varakalustoa on hyvin rajallisesti. Jos avorahastus otettaisiin käyttöön laajemmin, voisi häiriöherkkyys vähentyä, sillä varakaluston määrää voitaisiin nostaa. Vaikka varakaluston suhteellinen määrä pysyisikin ennallaan, ei yksittäisen ajoneuvon ongelmat aiheuttaisi yhtä suuria haittavaikutuksia. Aina syynä avorahastusautojen puutteelle pilottilinjalla ei kuitenkaan ole ollut vain tekniset hankaluudet, sillä avorahastusvarusteltuja autoja on havaittu muilla linjoilla samaan aikaan kun linjalla 2 on liikennöity kuljettajarahastusautoilla. Mikäli

¹ Ks. kpl. 5.4.2.

avorahastukseen siirryttäisiin tulevaisuudessa, olisi siis ensiarvoisen tärkeää varmistaa avorahastusautojen käyttö avorahastuslinjoilla liikennöintisopimuksien ehdot määrittämällä.

6.3. Matkustajakäyttäytyminen pilotin aikana

Solaris Urbino 12,9 Hybrid -linja-autoissa matkakortinlukijoita ei ole asennettu välittömästi keskiovien eteen, vaan taaemmaksi keskisillalle, kuten kuvasta 22 voi havaita. Tällöin kuljettajat voivat lähteä liikkeelle jo ennen kuin kaikki matkustajat ovat leimanneet lippunsa, sillä keskisillalle mahtuu useampi matkustaja “jonottamaan” pääsyään kortinlukijalle. Mahdollisuus lähteä liikkeelle ennen kuin kaikki ovat leimanneet lippunsa voi lyhentää pysäkkiaikoja ja lisäksi vähentää leimausvelvoitteesta koituvaa viivettä. Etuovella vastaavaa ilmiötä ei voi esiintyä, sillä leimaavan matkustajan takana olevat eivät mahdu odottamaan vuoroaan linja-auton sisäpuolella. Vastaavaa ilmiötä ei esiinny Solaris Urbino 12 electric -linja-autoissa, joissa kortinlukija on sijoitettu lähemmäksi keskiovia kuvan 23 osoittamalla tavalla. Vaikka kortinlukijan sijoittaminen kauemmaksi etuovesta saattaisikin nopeuttaa pysäkkiaikoja, on kuitenkin syytä todeta sen lisäävän mahdollisesti liputtomuutta, jos erittäin ruuhkaisessa linja-autossa matkustajat eivät pääse matkakortinlukijalle vaivatta¹.



Kuva 22. Matkakortinlukijan sijoitus Solaris Urbino 12,9 Hybrid -linja-autoissa.

¹ Aihetta on käsitelty tarkemmin ja lähteistetysti luvussa 3.4.



Kuva 23. *Matkakortinlukijan sijoitus Solaris Urbino 12 Electric -linja-autossa.*

Myös matkustajien pääasiallisen odotuspaikan sijainti vaikuttaa keskioven käyttöön. Linja-auton ajaessa pitkälle matkustajiin nähden osa matkustajista “huomaa” mahdollisuuden käyttää keskiovea ja matkustajavirrat jakautuvat paremmin keski- ja etuoven välillä (kuva 24). Jos taas linja-auto pysähtyy jo taaemmaksi, kerääntyvät matkustajat lähinnä jonoon etuovelle (kuva 25). Ilmiö on jossain määrin sama, jota Zürichissä kerrottiin havaitun¹, mutta Tampereella ei ole havaittu tilanteita, joissa keskiovi ruuhkautuisi ja etuovea ei käytettäisi. Pysäkillä, jossa matkustajat odottavat linja-auton saapumista lähellä auton etuosaa ei avorahastuksella saavuteta täysimittaisia hyötyjä.

Liikkumisrajoitteiset hyötyvät avorahastuksesta, sillä se voi vähentää matkaa, joka linja-auton sisällä pitää kävellä. Erityistä hyötyä avorahastuksesta on rollaattoria käyttäville matkustajille, jotka kuljettajarahastusautoissa joutuvat jättämään rollaattorinsa keskisillalle ja kävelemään auton etuosaan leimaamaan. Avorahastusta käytettäessä nämä matkustajat voivat leimata lippunsa sisään astuessaan muiden matkustajien tapaan. Koska osa kuljettajista odottaa pysäkillä, kunnes keskiovesta noussut matkustaja on kävellyt eteen maksamaan ja takaisin taaemmaksi istumaan, voi rollaattoria käyttävän matkustajan nousuun kulua kuljettajarahastuksella useita kymmeniä sekunteja. Avorahastus voisi siis myös lyhentää pysäkkiaikoja silloin, kun linja-autoon nousee rollaattoria käyttävä matkustaja. Koska näiden matkustajien kokonaismäärä on kuitenkin varsin vähäinen, ovat liikkumisrajoitteisten matkustajien kokemukset avorahastuksesta koituvista hyödyistä tärkeämpiä kuin pysäkkiajan nopeutuminen näiden matkustajien osalta.

¹ Ks. kpl. 5.1.



Kuva 24. Linja-auto on pysähtynyt matkustajien odotuspaikan kohdalle. Matkustajat nousevat etu- ja keskiovista.



Kuva 25. Linja-auto on pysähtyneenä taakse suhteessa matkustajien odotuspaikkaan. Matkustajat jonottavat etuovella, vaikka keskiovesta olisi tilaa nousta.

Linjalla 2 käytettävään Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitoksen autoon numero 14 (Solaris Urbino 12 Electric) on asennettu matkustajalaskentalaitteet, joiden avulla voidaan tarkastella matkustajajakaumaa eri ovilla. Taulukossa 15 on esitetty matkustajien jakautuminen linja-auton eri oville 15.3.2019 ja 15.4.2019 välisenä aikana ko. autossa. Tuloksia ei ole erikseen validoitu. Havaintoaineisto käsittää yhteensä 10 453 nousua ja 10 828 poistumista. Laitteen virheeksi on arvioitu 1,7 %. [119]

Taulukko 15. *Matkustajajakauma ovittain. [119]*

ovi	nousut	poistumiset
etuovi	77 %	3 %
keskiovi	21 %	73 %
takaovi	1 %	22 %

Taulukosta 15 havaitaan, että avorahastuksesta huolimatta suurin osa matkustajista nousee etuovesta, mutta mahdollisuutta nousta keskiovesta hyödyntää noin viidennes matkustajista. Luvut näyttävät joidenkin matkustajien nousseen myös takaovesta, mikä ei ole sallittua, mutta osuus on niin pieni, että se voi johtua yksinomaan mittausvirheestä. Poistumiset ovat puolestaan keskittyneet keskioville ja takaovesta poistuu vain hieman yli viidennes. Etuovea ei juuri käytetä poistumiseen. Taustalla tässä lienee linja-autonkuljettajien yleensä penseähkö asenne etuovesta poistuvia kohtaan. Se on perusteltua varsinkin kuljettajarahastusjärjestelmässä, jossa etuovesta poistuminen usein hidastaa matkustajien nousemista merkittävästi¹. Osuuksia voi verrata taulukossa 16 esitettyyn matkustajajakaumaan HSL-alueen linjalla 550, jossa mahdollisuutta nousta keskiovesta hyödynnetään huomattavasti enemmän.

Taulukko 16. *Matkustajajakauma ovittain HSL-alueen linjalla 550 laskettuna HSL:ltä saadusta matkustajalaskentalaitetiedatasta.*

ovi	nousut	poistumiset
etuovi	27,8 %	5,9 %
keskiovi	71,5 %	74,1 %
takaovi	0,8 %	20,1 %

Montrealin avorahastuspilottiin verrattuna mahdollisuutta nousta myös keskiovesta on hyödynnetty Tampereella paremmin huolimatta avorahastuspilotin haasteista. Siellä 88 % matkustajista nousi etuovesta, 6,4 % keskiovista ja 5,6 % takaovista². Siellä arvioitiin, että avorahastuksesta oltaisiin hyödytty enemmän, mikäli suurempi osa matkustajista olisi noussut taka- ja keskiovista. Tampereella tilanne on parempi, muttei optimi. San Franciscon havaintojen perusteella pysäkkiaikojen minimin saavutettavan silloin kun 80–90 % matkustajista nousee taka- tai keskiovista kolmiolisissa linja-autoissa ja 60–70 % matkustajista nousee taka- tai keskiovesta kaksiovisissa linja-autoissa.

¹ Jos kyseessä on esimerkiksi liikkumisrajoitteinen matkustaja tai hyvin ruuhkainen linja-auto, on etuovesta poistumisen salliminen järkevää. Havaintojen perusteella kuljettajat ja matkustajat käyttävät näissä tilanteissa hyvin omaa harkintaansa.

² Ks. s. 48.

Vaikka matkustajien jakautuminen tasan kaikille oville vaikuttaisikin intuitiivisesti olevan tehokkainta, eivät San Franciscon havainnot tue tätä. Perusteluiksi esitetään, että etuovesta nouseminen on keskimäärin hitaampaa kuin keski- ja takaovista johtuen mm. käteisellä maksavista ja liikuntarajoitteisista matkustajista. [30] Lisäksi Tampereen seudulla keskiovet ovat joitakin seutulinoja lukuunottamatta kaksilehtisiä, jolloin niistä mahtuu kulkemaan suurempi ihmismäärä samassa aikayksikössä kuin etu- tai takaovista.

Linja-automatkustajat ovat noudattaneet leimausvelvoitetta ainakin toistaiseksi hyvin. Viidestäkymmenestä kahdesta havainnoidusta keskiovista noussesta matkustajasta jokainen leimasi matkakorttinsa.

6.4. Matka-aikamuutokset pilotin myötä

Matka-aikojen muutoksia tarkasteltiin hyödyntäen lippu- ja informaatiojärjestelmän keräämää matka-aikadataa. Havaintoaineistoa ladattiin aikaväliltä 1.11.2018–17.4.2019, mutta siitä karsittiin pois 6.12. sekä 23.12–1.1. välinen ajanjakso. Havaintoaineistossa on linjan 2 matka-aikojen lisäksi vertailukohdaksi matka-aikatiedot linjoista 6 ja 15¹.

Ajoajat laskettiin pääsääntöisesti linja-auton lähdöstä siihen, kun se saapui viimeiselle pysäkille. Koska kuitenkin linjalla 2 molempiin suuntiin sekä linjalla 15 Järvensivun suuntaan saapumisaika päätepysäkille puuttui erityisen usein, käytettiin näiden linjojen kohdalla ajoajan arvona saapumisaikaa päätepysäkkiä edeltävälle pysäkille. Toisin sanoen viimeistä pysäkkiväliä ei laskettu mukaan matka-aikaan näissä tapauksissa. Linjan 2 tapauksessa tällä saavutettiin lisäksi se etu, etteivät Pyynikintorin ympäristön liikennejärjestelyt vaikuta tuloksiin Pyynikintorin suuntaan ajettaessa.

Havaintoaineistoa ei ole kaikilta lähdöiltä tarkasteluaikavälillä, sillä lippu- ja informaatiojärjestelmä ei ole sitä kerännyt esimerkiksi teknisten häiriöiden vuoksi. Tästä syystä eri linjat ja suunnat eivät ole aineistossa edustettuina oikein. Jotta havaintoaineistoa eri linjoilla ja suunnilla voitiin tarkastella luotettavasti, painotettiin havaintoaineistoa siten, että eri linjat ja suunnat ovat edustettuina lähtöjen määrän suhteessa.

Taulukossa 17 on esitetty keskimääräiset matka-ajat linjalla 2 sekä vertailulinjoilla ennen ja jälkeen avorahastukseen siirtymisen. Taulukosta huomataan, että linjan 2 ajoajat ovat laskeneet keskimäärin 1,7 %, kun vertailulinjoilla samaan aikaan ajoajat nousivat 0,3 %. Tämän perusteella voisi siis päätellä avorahastuksen lyhentäneen matka-aikoja 2,0 % eli 22,4 sekuntia. On kuitenkin syytä huomata matka-aikojen muutosten olevan hyvin erisuuruisia saman linjan eri suuntien välillä, joten satunnaisvaihtelun vaikutusta ei voida täysin sulkea pois. Taulukossa 18 on esitetty linjalta 2 myös muutokset matka-aikojen keskihajonnassa sekä matka-aikavertailulle suoritetun riippumattomien otosten t-testin tulokset, joista voidaan havaita eron matka-ajassa olevan tilastollisesti merkitsevä.

1 Linja 6 valittiin, sillä se on linjan 2 tapaan runkolinja ja lisäksi kulkee osan matkasta samaa reittiä linjan 2 kanssa. Linja 15 valittiin, sillä se kulkee linjan 2 tapaan vain keskustassa ja lähialueilla.

Taulukko 17. *Keskimääräiset matka-ajat linjalla 2 ja vertailulinjoilla ennen avorahastuspilottia ja sen aikana. Avorahastus käytössä vain osassa linjan 2 autoista.*

linja	suunta	n ennen pilottia	n pilotin aikana	matka-aika ennen pilottia (s)	matka-aika pilotin aikana (s)	matka-ajan muutos (%)
2	Pyynikintorille	4226	6177	1105,1	1077,3	-2,5
	Rauhaniemeen	3483	5705	1138,8	1127,9	-1,0
	suunnat yhteensä	7709	11882	1121,8	1102,3	-1,7
6	Nalkalaan	2264	1668	1942,3	1986,6	2,3
	Hermialle	1788	2409	1808,1	1861,8	3,0
	suunnat yhteensä	4052	4077	1876,9	1925,8	2,6
15	Petsamoon	1219	1288	1263,4	1255,0	-0,7
	Järvensivulle	1421	1632	1224,2	1203,7	-1,7
	suunnat yhteensä	2640	2920	1244,2	1229,8	-1,2
vertailulinjat	suunnat yhteensä	6692	6997	1479,1	1484,3	0,3

Taulukko 18. *Linjan 2 matka-aikojen tilastollisia tunnuslukuja ennen pilottia ja sen jälkeen. Avorahastus vain osassa autoja.*

	ennen pilottia	pilotin aikana
n	7709	11 882
keskiarvo	1122	1102
keskihajonta	183,1	169,2
keskivirhe	2,131	1,957
t-testi	6,740	
vapausaste	14 664,531	
merkitsevyys	p < 0,001	

Taulukossa 19 on esitetty keskimääräiset ajoajat linjalla 2 ja vertailulinjoilla arkisin kello 6–9 ja 14–17 lähtevillä vuoroilla ja taulukossa 18 tilastollisia tunnuslukuja laajemmin linjan 2 osalta. Linjalla 2 ajoajat nopeutuivat keskimäärin 1,8 % eli noin 20,8 sekuntia. Samaan aikaan vertailulinjojen ajoajat nopeutuivat vain 0,2 % ja linjalla 6 ajoajat jopa kasvoivat. Voidaan siis päätellä linjan 2 matka-aikojen lyhentyneen pilotin myötä 1,6 % eli noin 18,2 sekuntia, joskaan ero ei ole täysin selvä. Ero ajoajoissa on tilastollisesti merkitsevä. Tosin myös vertailulinjoilla havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero matka-aikojen välillä, mikä kertoo siitä, ettei p-arvo ole tässä tilanteessa merkityksellinen mittari arvioitaessa tulosten luotettavuutta. Suurilla datamäärillä hyvinkin pienet erot voivat olla tilastollisesti merkitseviä, vaikka ne olisivat käytännössä vähäpätöisiä [120, s. 196]. Sama pätee taulukossa 20 esitettyihin ruuhka-ajan tilastollisiin tunnuslukuihin.

Taulukko 19. *Keskimääräiset ruuhka-ajan (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ajoajat ennen avorahastuspilottia ja sen aikana. Avorahastus käytössä vain osassa linjan 2 autoista.*

linja	suunta	n ennen pilottia	n pilotin aikana	matka-aika ennen pilottia (s)	matka-aika pilotin aikana (s)	muutos (%)
2	Pyynikintorille	3340	5012	1118,1	1090,1	-2,5
	Rauhaniemeen	2753	4590	1158,0	1144,4	-1,2
	suunnat yhteensä	6093	9602	1137,8	1116,8	-1,8
6	Nalkalaan	1816	1476	1975,1	2010,6	1,8
	Hermialle	1357	1986	1846,7	1897,4	2,7
	suunnat yhteensä	3173	3462	1914,3	1957,4	2,3
15	Petsamoon	992	1149	1278,2	1262,5	-1,2
	Järvensivulle	1103	1287	1241,7	1218,3	-1,9
	suunnat yhteensä	2095	2436	1260,7	1242,2	-1,5
vertailulinjat	suunnat yhteensä	5268	5898	1749,4	1781,6	1,8

Taulukko 20. *Linjan 2 matka-aikojen tilastollisia tunnuslukuja ruuhka-aikoina (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ennen pilottia ja sen aikana. Avorahastus vain osassa autoja.*

	ennen pilottia	pilotin aikana
n	6093	9602
keskiarvo	1137,8	1116,8
keskihajonta	182,97	163,34
keskivirhe	2,395	2,114
t-testi	6,576	
vapausaste	11 592,776	
merkitsevyys	p < 0,001	

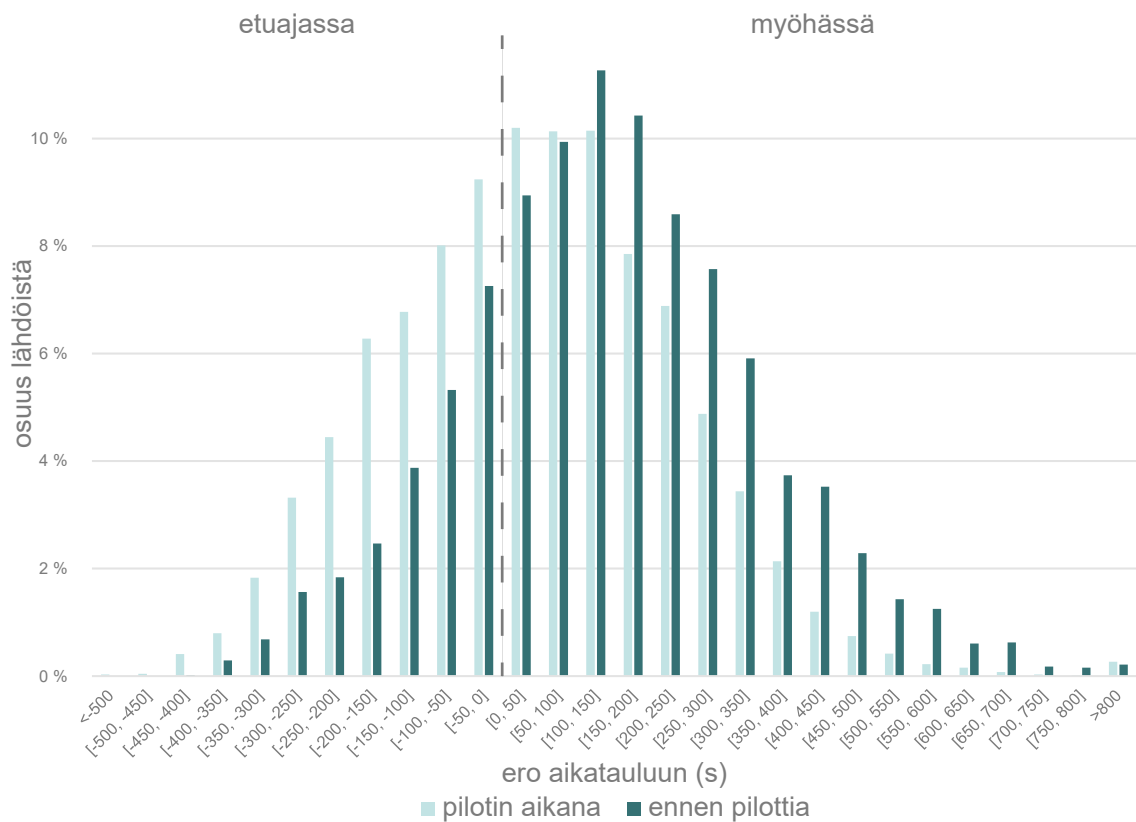
Taulukko 21. *Matka-aikojen keskihajonnat ennen pilottia ja sen aikana linjalla 2 ja vertailulinjoilla. Avorahastus vain osalla linjan 2 autoista.*

linja	suunta	keskihajonta ennen pilottia	keskihajonta pilotin aikana	muutos (%)
2	Pyynikintorille	172,7	162,7	-5,8
	Rauhaniemeen	191,7	169,9	-11,4
6	Nalkalaan	238,4	256,0	7,4
	Hermialle	246,9	239,7	-2,9
15	Petsamoon	140,4	125,1	-10,9
	Järvensivulle	147,5	139,8	-5,2

Taulukossa 21 on esitetty matka-aikojen keskihajonnat linjalla 2 ja vertailulinjoilla. Linjan 2 matka-aikojen keskihajonnat ovat laskeneet, mutta linjan 15 matka-aikojen keskihajonnat ovat laskeneet liki vastaavasti, joten keskihajonnan ei voida päätellä laskeneen avorahastuspilotin myötä. Tulos ei ole yllättävä kun ottaa huomioon vain osan autoista olleen avorahastuksen piirissä.

6.5. Täsmällisyysmuutokset pilotin myötä

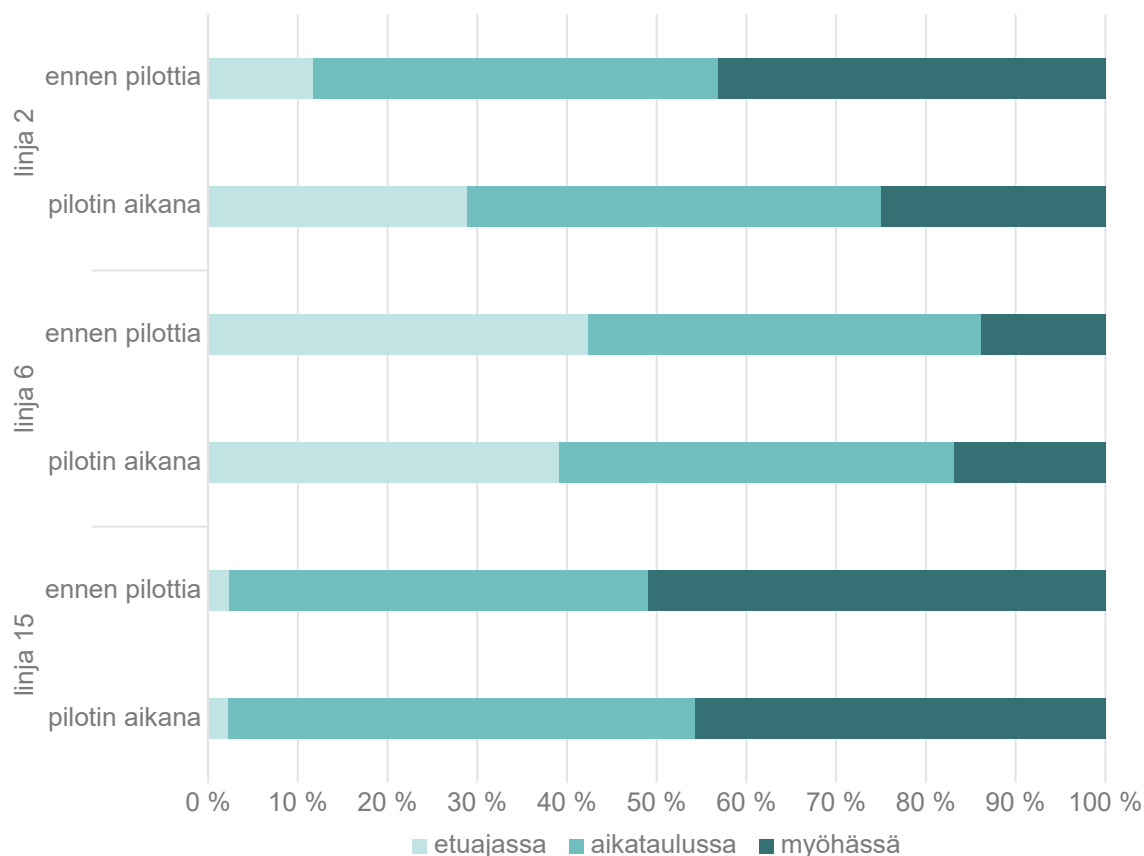
Täsmällisyyden muutosta tutkittiin lippu- ja informaatiojärjestelmän keräämän havaintoaineiston perusteella. Aineistosta poimittiin tiedot siitä, kuinka monta sekuntia etuajassa tai myöhässä aikatauluun nähden linja-auto oli saapunut pääte pysäkkiä edeltävällä pysäkillä. Kuvassa 26 on esitetty histogrammina linja-autojen täsmällisyys pilottilinjalla perustuen samaan havaintoaineistoon, jota käsiteltiin luvussa 6.4. Siitä voidaan havaita selkeästi matka-aikojen nopeutumisesta seurannut myöhässä olon vähentyminen ja etuajassa olon yleistyminen. Jakauma on siis siirtynyt kuvassa hieman vasemmalle. Jakauman muodossa ei sen sijaan ole tapahtunut merkittävää muutosta, joten histogrammin perusteella täsmällisyyden ei voida todeta parantuneen.



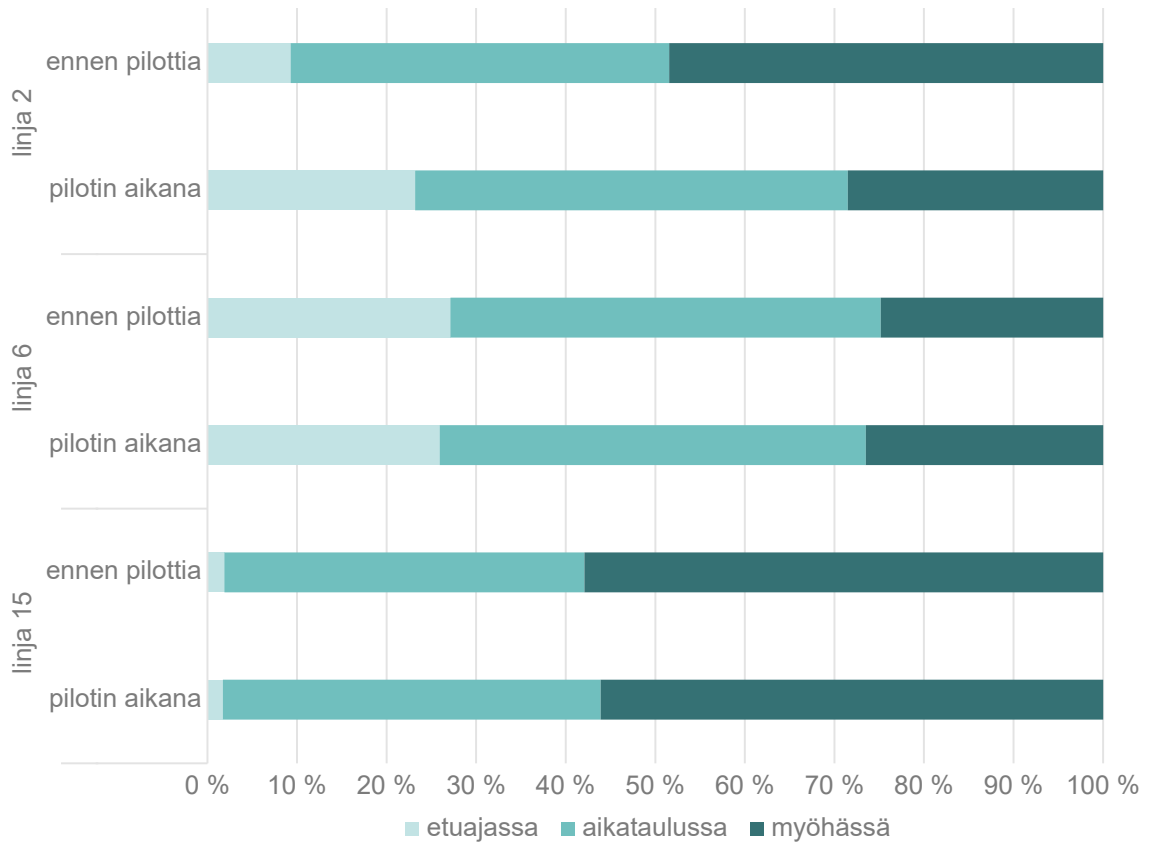
Kuva 26. Täsmällisyys linjalla 2. Täsmällisyys on esitetty toteutuneiden saapumisaikojen pääte pysäkkiä edeltävälle pysäkillä erona aikataulunmukaiseen saapumisaikaan. Avorahastus vain osassa autoja. (n=18 539)

Numeerisen tarkastelun helpottamiseksi ja muihin linjoihin vertailun helpottamiseksi laskettiin aikataulussa, etuajassa ja myöhässä olevien lähtöjen osuudet, jotka on esitetty graafisesti kuvassa 27. Lähtö laskettiin etuajassa olevaksi, jos se saapui pääte pysäkkiä edeltävälle pysäkillä yli 60 sekuntia aikataulunmukaista edellä ja myöhästyneeksi, mikäli se saapui yli 180 sekuntia aikataulunmukaista jäljessä perustuen samaan luokitteluun, jota Tampereen seudun joukkoliikenne käyttää. Ennen pilottia linjalla 2 aikataulussa oli 46,18 % lähdoista ja pilotin aikana 45,19 % lähdoista, eli aikataulussa olevien vuorojen

määrä laski. Kuitenkin myöhässä olevien määrä laski 39,96 prosentista 23,49 prosenttiin ja etuajassa olevien vuorojen osuus vastaavasti nousi 14,85 prosentista 30,34 prosenttiin. Aikataulussa olevien vuorojen määrä ei siis merkittävästi muuttunut, mutta myöhästymiset vähenivät ja etuajassa ajo yleistyi matka-aikojen lyhenemisen myötä. Aikatauluja on täten syytä muuttaa avorahastukseen sopivaksi, mikäli siitä tulee pysyvä käytäntö, kuten myös teoriaosuudessa todettiin. Kuvasta 27 nähdään myös, että linjoilla 6 ja 15 ei tapahtunut yhtä suuria muutoksia täsmällisyydessä kuin linjalla 2 ja linjalla 6 myöhässä olevien vuorojen osuus jopa kasvoi, mikä vahvistaa päätelmää avorahastuksen matka-aikoja lyhentävästä vaikutuksesta.



Kuva 27. Aikataulussa olleiden lähtöjen osuudet ennen pilottia ja sen aikana. Avorahastus vain osassa autoja.



Kuva 28. *Aikataulussa olleiden lähtöjen osuudet ruuhka-aikoina (arkisin klo 6–9 ja 14–17) ennen pilottia ja sen aikana. Avorahastus vain osassa autoja.*

Täsmällisyyden parantuminen kuitenkin huomataan tutkittaessa vain ruuhka-aikaa eli arkipäivinä kello 6–9 ja 14–17 lähteviä vuoroja. Tiedot on esitetty kuvassa 28. Linjalla 2 aikataulussa olleiden vuorojen määrä nousi 42,25 prosentista 48,31 prosenttiin. Samaan aikaan linjalla 6 aikataulussa saapuneiden vuorojen osuus laski ja linjalla 15 nousua oli vain kaksi prosenttiyksikköä. Lisäksi linjalla 2 havaittiin merkittävä myöhässä olevien vuorojen osuuden lasku ja etuajassa olevien osuuden nousu. Luvuista voidaan päätellä avorahastuksen parantaneen täsmällisyyttä ruuhka-aikoina. Edelleen on kuitenkin syytä korostaa linjalla 2 avorahastuksen olleen käytössä vain osalla lähdöistä, joka saattaa johtaa hyötyjen aliarviointiin.

7. AVORAHASTUS RUNKOLINJOILLA

Pilottilinjan 2 havaintoihin perustuen tehtiin mallinnus, jonka avulla arvioitiin avorahastuksen käyttöönottamisen mahdollista vaikutusta liikennöintitalouteen ja matka-aikoihin Tampereen seudun joukkoliikenteen runkolinjoilla¹. Tässä luvussa on esitelty mallinnuksen suoritus ja mallinnuksella saatavat tulokset.

7.1. Havaintoaineiston kerääminen

Pysäkkiajan mallintamiseksi kerättiin havaintoaineistoa pilottilinjalta pe 29.3.2019, ma 1.4. ja to 4.4. Kuljettajarahastuksen osalta havaintoaineistoa täydennettiin ma 8.4. ja ti 9.4. lisähavainnoinnilla. Havaintoaineistoon kerättiin erikseen kaikista pysähdyksistä nousijoiden määrä, poistujien määrä sekä pysäkkiaika. Poistujien määrä laskettiin käsin. Pysäkkiaika mitattiin sekuntikellolla ovien avautumisen alusta ovien sulkeutumisen loppuun. Ensimmäisen havainnointikierroksen havaintoaineistoon nousijamäärätieto saatiin lippujärjestelmän kautta ja yhdistettiin jälkikäteen muuhun havaintoaineistoon. Kuljettajarahastuksen osalta havaintoaineistoa jouduttiin kuitenkin hylkäämään puutteellisten nousijamäärätietojen vuoksi. Tästä syystä kuljettajarahastuksesta kerättiin lisähavainnointia toisella havainnointikierroksella, jolloin myös nousijamäärä kerättiin käsin. Tällöin voitiin varmistua datan saannista, mutta riski virhelaskentoihin vilkkailla pysäkeillä kasvoi.

Koska havaintoaineisto kerättiin käsin, voitiin aineistosta poistaa epätavalliset tapahtumat, joiksi luokiteltiin mm. kuljettajanvaihdot tai kokonaisen päiväkotiryhmän nousu tai poistuminen. Havainnointia ei suoritettu päätepysäkeillä, joissa pysäkkiaikaan vaikuttaa ajantasaus. Lopullisen havaintoaineiston laajuus oli avorahastuksen osalta 132 pysähdystä ja kuljettajarahastuksen osalta 131 pysähdystä.

Koska linjalla 2 vain osa autoista oli avorahastusvarusteltuja, voitiin havaintoaineisto niin kuljettaja- kuin avorahastuksestakin kerätä samalta linjalta. Pyrkimyksenä molempien havaintoaineistoiden keräämisessä samalla linjalla oli minimoida virheet, jotka aiheutuvat mm. infrastruktuurista tai linjan matkustajien demografiasta.

Kerätessä havaintoaineistoa kuljettajarahastuksesta linja-autot olivat Tampereen seudulle tyypillisiä puolimatalalattiaisia telilinja-autoja. Avorahastushavaintoaineisto kerättiin Solaris Urbino 12 Electric -linja-autoista. Solaris Urbino 12,9 Hybrid -autoista havaintoaineistoa ei kerätty avorahastuksesta huolimatta, sillä takaoven puuttumisen arvioitiin vääristävän tuloksia tarpeettomasti.

¹ Runkolinjoja ovat linjat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 ja 10.

Lisäksi tutkimusta varten hankittiin dataa HSL-alueen runkolinjalta 550. HSL:ltä saatu aineisto sisältää nousevien ja poistuvien matkustajien lukumäärät sekä pysäkkiajan pysäkkeittäin ja lähdöittäin. Data on arkipäiviltä ajalta 14.2.2019–3.3.2019, muttei sisällä kaikkia lähtöjä kyseisellä aikavälillä.

Aluksi HSL:ltä saadusta aineistosta poistettiin pääte pysäkeillä ja ajantasauspysäkeillä kertyneet havainnot, jottei ajantasaus vaikuttaisi tuloksiin. Seuraavaksi aineistosta karsittiin pois yksittäisiä havaintoja, jos pysäkkiaika oli nolla tai pysäkillä ei poistunut tai noussut yhtään matkustajaa tai jos pysäkkiaika oli yli 90 sekuntia. Näin pyrittiin poistamaan havainnot, jotka joko ovat virheellisiä tai johtuvat poikkeuksellisista tapahtumista. Karsittuna havaintoaineisto sisältää 11 493 havaintoa.

7.2. Pysäkkiajan mallinnus

Pysäkkiajan mallintamiseksi havaintoaineistoihin sovitettiin luvussa 4.3 esitellyjä malleja. Mallien välillä valinta tehtiin selityksasteen perusteella. Taulukossa 22 on esitetty selityksasteet eri malleille. Taulukosta huomataan, että linjalle 550 ja linjan 2 kuljettajarahastushavaintoaineistoon sopii hyvin luvussa 4.3.3 esitelty nousevat ja poistuvat matkustajat erotteleva, yhtälöä $T = a \cdot n + b \cdot m + c$ käyttävä, malli. Linjan 2 avorahastukseen malli ei ole paras mahdollinen, mutta ero selityksasteessa on melko pieni. Vertailun luotavuuden parantamiseksi on kaikkiin havaintoaineistoihin syytä käyttää samanmuotoista yhtälöä käyttävää mallia, joten jatkokäyttöön valikoitui yhtälöä $T = a \cdot n + b \cdot m + c$ käyttävä malli. Taulukoissa 23, 24 ja 25 on esitetty regression tulokset eri havaintoaineistoihin sovitettaessa.

Vertailtaessa taulukoita 23, 24 ja 25 huomataan yhden matkustajan nousun kuluttaman ajan olevan huomattavasti pienempi avorahastusta käytettäessä (1,14 s ja 1,19 s) verrattuna kuljettajarahastukseen (2,65 s), kuten kirjallisuuden perusteella oli odotettavissakin. Lisäksi linjalla 2 avorahastusautoissa yhden matkustajan poistumiseen kuluva aika näyttäisi olevan pienempi kuin linjalla 550 ja linjan 2 kuljettajarahastusautoissa. Ilmiöllä ei liene mitään tekemistä avorahastuksen kanssa, vaan se johtunee yksinkertaisesti ajoneuvoista, sillä avorahastuksen yhteydessä tarkastelluissa autoissa on kaksilehtinen takaovi yksilehtisen sijasta ja lisäksi auto on täysin matalalattiainen, jolloin takaovella ei ole poistumista vaikeuttavia portaita.

Vakiotermi on linjan 550 osalta huomattavasti suurempi verrattuna linjaan 2. Lisäksi linjalla 2 avorahastustilanteissa vakiotermi on suurempi kuin kuljettajarahastustilanteissa. Linjan 2 keskinäiset erot voivat selittyä taas kerran ajoneuvojen ominaisuuksilla kuten erityyppisillä ovilla. Ero linjaan 550 verrattuna johtuu mittaustavasta automaattisten laskentalaitteiden aloittaessa mittauksen auton saapuessa pysäkillä ja lopettaessa sen poistuessa pysäkiltä. Manuaalisesti havainnoidessa mittaaminen puolestaan aloitettiin oven avautumisen alusta ja päätettiin oven sulkeutumisen päättymiseen.

Taulukko 22. *Erinäisten mallien selitysasteita eri havaintoaineistoissa. Kirjaimilla n ja m on merkitty nousevien ja poistuvien matkustajien määrää muiden kirjainten ollessa vakioita.*

malli	HSL:n linja 550	linja 2, kuljet-tajarahastus	linja 2, avo-rahastus
$a \cdot (n + m) + b$	0,510	0,391	0,215
$\max(a \cdot n, b \cdot m) + c$	0,473	0,695	0,273
$a \cdot n + b \cdot m + c$	0,518	0,708	0,261
$a \cdot (n + m)^b$	0,518	0,517	0,298

Taulukko 23. *Regressioanalyysin tulokset linjan 2 kuljettajarahastuksen osalta.*

	regressiokerroin	t-arvo	merkitsevyys
nousijamäärän kerroin	2,651	17,596	$p < 0,001$
poistujamäärän kerroin	0,889	7,852	$p < 0,001$
vakiotermin	7,143	10,857	$p < 0,001$
R^2	0,708		
korjattu R^2	0,704		
F-testi	155,430		$p < 0,001$
estimaatin keskivirhe	4,529		

Taulukko 24. *Regressioanalyysin tulokset linjan 2 avorahastuksen osalta.*

	regressiokerroin	t-arvo	merkitsevyys
nousijamäärän kerroin	1,185	6,391	$p < 0,001$
poistujamäärän kerroin	0,610	3,957	$p < 0,001$
vakiotermin	8,780	11,705	$p < 0,001$
R^2	0,261		
korjattu R^2	0,250		
F-testi	22,797		$p < 0,001$
estimaatin keskivirhe	5,350		

Taulukko 25. *Regressioanalyysin tulokset linjan 550 osalta.*

	regressiokerroin	t-arvo	merkitsevyys
nousijamäärän kerroin	1,136	81,828	$p < 0,001$
poistujamäärän kerroin	0,851	61,594	$p < 0,001$
vakiotermin	12,990	166,229	$p < 0,001$
R^2	0,518		
korjattu R^2	0,517		
F-testi	6162,443		$p < 0,001$
estimaatin keskivirhe	5,457		

On kuitenkin syytä huomioida taulukosta 24 selityksasteen arvo 0,261, joka on hyvin alhainen. Voidaan siis todeta, ettei linjan 2 nykyisen avorahastuksen mallintaminen ei ole onnistunut kovin tarkasti. Ilmiötä selittää luvuissa 6.3 ja 6.2 kuvatut haasteet, joita avorahastuspilotti on Tampereella kohdannut. Tästä syystä HSL-alueen linja 550 on parempi vertailukohta tarkasteltaessa avorahastuksella saavutettavissa olevia hyötyjä.

Koska tässä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita ennen kaikkea pysäkkiajan eroista avo- ja kuljettajarahastusjärjestelmissä eikä niinkään sen absoluuttisesta pituudesta, tasoitettiin mallinnuksen vakiotermit vertailutarkkuuden parantamiseksi. Voidaan perustellusti olettaa, ettei avorahastusjärjestelmässä pysäkkiajan kiinteä osa ole kuljettajarahastusjärjestelmää suurempi, mikäli kalusto ja mittauskäytännöt ovat yhtenevät. Jos pysäkkiajan kiinteä osa olisi lyhentynyt, olisi se ainakin teoriassa mahdollista johtuen lyhentyneestä pysäkkikävelyajasta¹.

Taulukko 26. *Lopulliset pysäkkiaikojen mallinnusyhtälöt.*

mallinnettu tilanne	yhtälö
linja 2, kuljettajarahastus	$2,651 \cdot \text{nousijamäärä} + 0,889 \cdot \text{poistujamäärä} + 7,143$
linja 2, avorahastus	$1,185 \cdot \text{nousijamäärä} + 0,610 \cdot \text{poistujamäärä} + 7,143$
HSL-alueen linja 550, avorahastus	$1,136 \cdot \text{nousijamäärä} + 0,851 \cdot \text{poistujamäärä} + 7,143$

Systemaattisen virheen tasoittamiseksi linjan 2 avorahastuksen ja linjan 550 osalta vakiotermit muutettiin linjan 2 kuljettajarahastusta vastaaviksi. Vakiotermistä johtuvaa virhettä voidaan havainnollistaa tarkastelemalla aikaa, joka kuluu pysähtymiseen yhden matkustajan poistumiseen. Ennen tasoitusta linjalla 550 kyseinen tilanne kestäisi 5,8 sekuntia kauemmin kuin linjalla 2 kuljettajarahastustilanteissa, mitä ei voida pitää realistisena. Tasoituksen jälkeen vastaava pysähdys on avorahastustilanteessa 0,04 sekuntia nopeampi eli mallinnustarkkuuden rajoissa nolla. Voidaan perustellusti olettaa, että pysähtyminen yhden matkustajan poistumista varten on yhtä pitkä niin avo- kuin kuljettajarahastusjärjestelmissäkin, jolloin nyt tehty korjaus on perusteltu. Näin saadaan lopulliset käytettävät yhtälöt, jotka on esitetty taulukossa 26.

7.2.1. Vertailu teoriaan

Verrattuna New Jerseyssä tehtyyn tutkimukseen², saadut nousu- ja poistumisajat ovat huomattavasti alhaisempia niin kuljettaja- kuin avorahastuksenkin osalta. Kyseinen tutkimus oli kuitenkin tehty seudullisessa liikenteessä, jonka linja-autot eivät mahdollista samalla tavoin nopeaa nousemista ja poistumista kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut kaupunkiliikenteen linja-autot.

Kun verrataan eroa yhden matkustajan nousuun kuluvaan aikaan avo- ja kuljettajarahastuksessa, havaitaan eron olevan noin 1,47–1,52 sekuntia. Transit Cooperative Research Programin mukaan nousuun kuluva aika olisi matkakortilla maksettaessa 1,1 sekuntia

¹ Ks. s. 11.

² Ks. s. 31.

nopeampi avorahastusjärjestelmässä kuin kuljettajarahastusjärjestelmässä¹. Saadut tulokset ovat suurempia kuin TCRP:n mukaan oli odotettavissa, mutta suuruusluokka on sama.

Havaitut absoluuttiset nousemis- ja poistumisajat puolestaan ovat pienempiä sekä avo- että kuljettajarahastusjärjestelmissä verrattuna TRCP:hen, jonka mukaan nousuaika on yhdestä ovesta 3,0 s ja 1,9 s kahdesta ovesta matalalattiakalustolla ja etäluettavalla matkakortilla.

Linjan 2 havaintoaineiston perusteella saatiin nousijamäärän kertoimeksi 1,185 ja HSL-alueen linjan 550 havaintoaineiston perusteella 1,136. Viimeksi mainittu on siis 0,049 pienempi, mikä tarkoittaa yhden matkustajan nousuun kuluvan arviolta 0,049 sekuntia enemmän linjalla 2 kuin HSL:n linjalla 550. Leimausvelvoitteen arvioitiin lisäävän 0,1–0,2 sekuntia nousuaikaan matkustajaa kohden², joten ero on pienempi kuin pelkästään leimausvelvoitteen perusteella voisi olettaa.

7.2.2. Lopullinen pysäkkiaikamalli

Yhtälöiden tarkastelua helpommin erot rahastusjärjestelmien välillä hahmottaa taulukoista 27 ja 28, joissa on taulukoitu pysäkkiajan muutoksia eri matkustajamäärillä. Kahden eri mallin erot puolestaan näkee parhaiten kuvasta 29, jossa niitä on havainnollistettu graafisesti. Taulukoista havaitaan suurilla nousijamäärillä avorahastuksella saatavan huomattavia hyötyjä, mutta jo muutaman matkustajan noustessa hyöty on useita sekunteja. Taulukosta 28 voidaan myös todeta, että poistuvien matkustajien määrällä ei juuri ole väliä, vaan hyöty saavutetaan lähinnä nousun nopeutumisenä. Taulukko 27 näyttää myös poistuvien matkustajien määrän vaikuttavan, mutta kyse lienee pikemminkin kaluston aiheuttamasta virheestä kuin todellisesta muutoksesta, kuten edellä jo todettiin.

Verrattaessa linjan 2 avorahastushavaintoaineistoon ja linjan 550 avorahastushavaintoaineistoon perustuvia malleja keskenään kuvan 29 avulla, voidaan todeta niiden erojen olevan varsin vähäisiä. Suurimmat erot on havaittavissa suurilla poistujamäärillä, jolloin linjan 2 havaintoaineistoon sovitettu käyrä näyttää suurempia matka-aikasäästöjä kuin linjan 550 havaintoaineistoon perustuva. Kuten jo edellä todettiin, arvioidaan tämän johtuvan pikemminkin linjan 2 kalustosta kuin avorahastuksesta. Linjan 550 perusteella tehty malli näyttää puolestaan tarjoavan suurempia pysäkkiaikasäästöjä, kun nousijamäärä on vähintään 11. Tällöinkin ero on korkeimmillaan yksi sekunti ja vain, jos samaan aikaan ei nouse yli yhtä matkustajaa. Nousujen osalta nämä mallit antavat siis hyvin lähelle samoja arvoja. On kuitenkin syytä korostaa vielä toistamiseen, että mallin selitysaste linjan 2 avorahastuksen osalta on erittäin alhainen, eli malli selittää todellisia havaittuja pysäkkiaikoja vain rajallisesti.

1 Ks. s. 12.

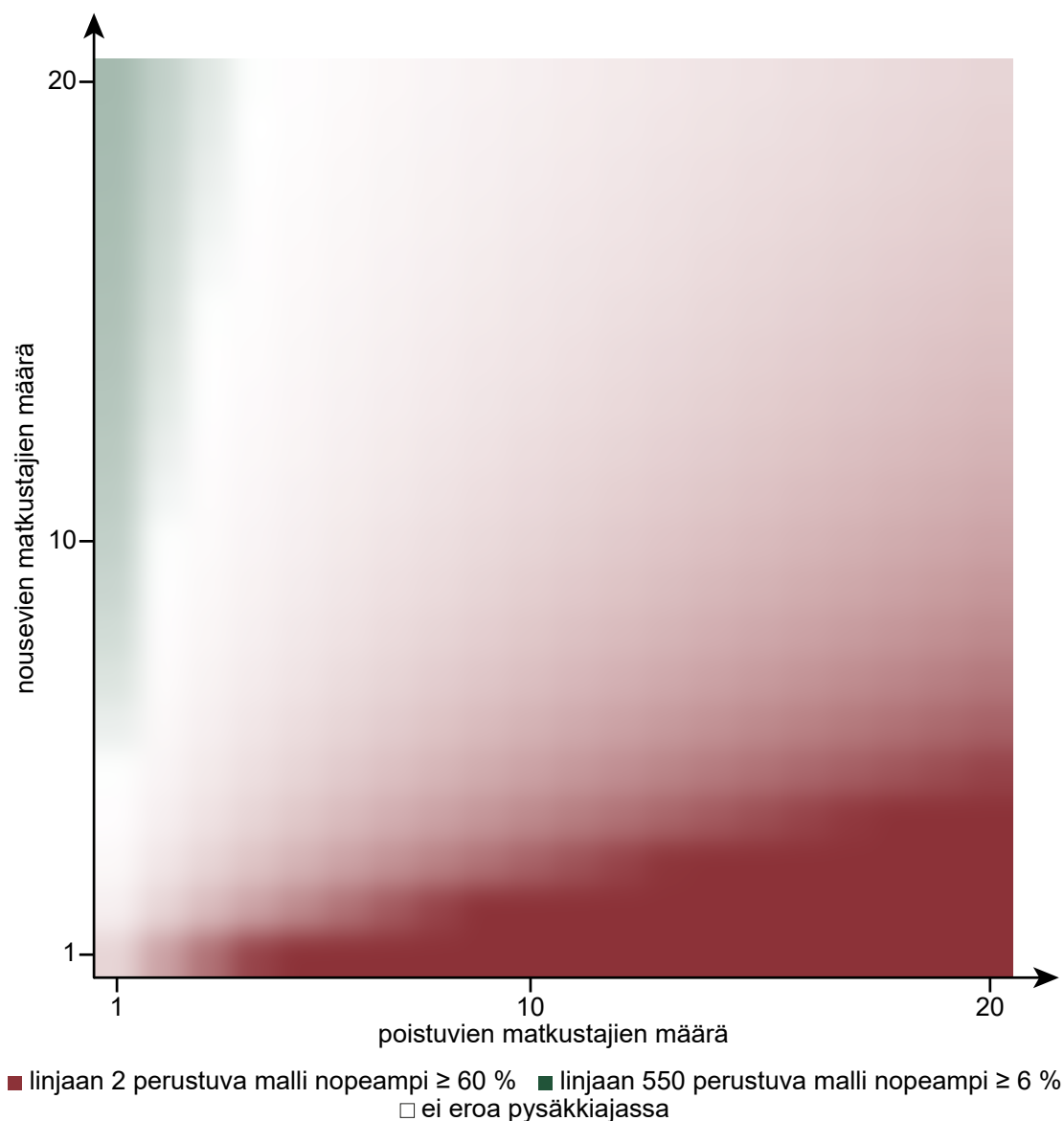
2 Ks. s. 14.

Taulukko 27. Pysäkkiaikojen nopeutuminen sekunteina verrattaessa linjan 2 avorahastusta linjan 2 kuljettajarahastukseen.

nousevien matkustajien määrä	20	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34	34	35	35		
	19	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	31	32	32	32	33	33	33	33	
	18	26	27	27	27	28	28	28	28	29	29	29	29	30	30	30	31	31	31	31	32	32
	17	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	29	30	30	30	31
	16	23	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	28	29	29
	15	22	22	23	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	28
	14	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26
	13	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25
	12	18	18	18	18	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	23	23	23
	11	16	16	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22
	10	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17	17	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20
	9	13	13	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17	17	18	18	18	18	19
	8	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17
	7	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	14	14	14	14	15	15	15	16	16
	6	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	14	14	14	14
	5	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	13	13
	4	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11
	3	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9	9	9	9	10	10
	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9
	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
poistuvien matkustajien määrä																						

Taulukko 28. Pysäkkiaikojen nopeutuminen sekunteina verrattaessa HSL:n linjan 550 avorahastusta linjan 2 kuljettajarahastukseen.

nousevien matkustajien määrä	20	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	
	18	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	17	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27
	16	24	24	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	15	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	14	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	13	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	12	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	11	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	9	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	7	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7
	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
poistuvien matkustajien määrä																						



Kuva 29. Linjojen 2 ja 550 havaintoaineistoon perustuvien mallien pysäkkiaikojen prosentuaaliset erot eri nousija- ja poistujamäärillä. Huomaa, että arvoja joissa linjaan 550 perustuva malli on nopeampi, on korostettu kertoimella 10.

Johtuen linjan 550 havaintoaineistoon perustuvan mallin huomattavasti paremmasta selitysteestä sekä paremmaksi arvioidusta vertailukelpoisuudesta poistuvien matkustajien osalta suoritetaan tarkemmat tarkastelut verraten linjan 2 kuljettajarahastusmallia linjan 550 avorahastusmalliin. Tarkastelussa hyödynnetään näiden kahden mallin antamia pysäkkiaikojen erotuksia, ei absoluuttisia pysäkkiajan arvoja. Linjan 550 valitsemista vertailukohdaksi puoltaa myös se, että ko. linjaan vertaamalla saavutetaan konservatiivisempi lopputulos ja vähennetään näin ollen riskiä avorahastuksen hyötyjen yliarviointiin.

Koska tässä työssä ollaan kiinnostuneita erityisesti pysäkkiajan muutoksesta avorahastuksen myötä eikä niinkään pysäkkiajan absoluuttisesta arvosta, voidaan taulukossa 26 esitetyt kaavoja muokata siten, että avorahastuksesta aiheutuva pysäkkiajan muutos

voidaan laskea suoraan. Tämä onnistuu vähentämällä pysäkkiajasta avorahastusta käytettäessä pysäkkiaika kuljettajarahastusta käytettäessä, jolloin yhtälöksi pysäkkiajan muutokselle sekunteina saadaan: $\Delta T = -1,515 \cdot n - 0,038 \cdot p$, jossa n on nousijoiden määrä ja p on poistujien määrä. On kuitenkin huomionarvoista, että tämä yhtälö antaa identtisen lopputuloksen kummallakin seuraavista tavoista:

1. Lasketaan pysäkkiajan muutos jokaiselle pysäkillä erikseen. Lopuksi lasketaan nämä pysäkkiaikamuutokset yhteen kaikilta yhden lähdön pysäkeiltä, jolloin saadaan muutos matka-ajassa.
2. Lasketaan lähdön kaikkien pysäkkien nousija- ja poistujamäärät yhteen. Lopuksi lasketaan lähdön matka-ajan muutos sijoittamalla luvut pysäkkiaikamuutoksen yhtälöön.

Lähdön matka-ajan muutos voidaan siis laskea, mikäli tiedetään kyseisen lähdön nousevien ja poistuvien matkustajien lukumäärät, eikä matkustajien tarkkaa jakautumista eri pysäkeille tarvitse tietää, mikäli oletetaan pysähdysten määrän olevan sama avorahastus- ja kuljettajarahastustilanteissa. Edelleen poistujien määrä voidaan olettaa riittävällä tarkkuudella samaksi kuin nousijoiden määrä, sillä vain harvat ihmiset jatkavat linja-autolla päätepysäkin ohi takaisin tulosuuntaansa. Tällöin yhtälö matka-ajan muutokselle (ΔT) sievenisi entisestään muotoon: $\Delta T = -1,553 \cdot n$, jossa n on nousevien matkustajien määrä.

Edellä kuvattuun tapaan laskea lähdön matka-aikamuutos liittyy kuitenkin joitakin rajoituksia. Ensinäkin yhtälö perustuu runkolinjoilta kerättyyn havaintoaineistoon. Malli on vielä yleistettävissä muille runkolinjoille, mutta muille linjoille sitä ei kannata varauksetta soveltaa. Kuten luvussa 4.3 todettiin, on eri linjojen havaintoaineistoista määritettyjen pysäkkiaikamallien parametreissa eroja. Esimerkiksi seutulinjalla parametrit olisivat mahdollisesti niin paljon erilaiset, ettei nyt esitetty malli toimisi.

Toisekseen joillakin linjoilla, kuten Keskustorilta lähtevät 4, 9 ja 10, varsin suuri määrä matkustajia nousee linja-autoon lähtöpysäkillä jo ennen sen lähtöä. Tällöin avorahastus ei luonnollisestikaan nopeuta pysäkkiaikaa, sillä pysäkkiaika määräytyy aikataulutetun lähtöajan perusteella, paitsi jos linja-auto saapuu lähtöpysäkillä vasta juuri ennen aikataulutettua lähtöaikaa tai sen jälkeen. Tämä tekijä voidaan ottaa huomioon muokkaamalla yhtälöä vielä lisää muotoon $\Delta T = -1,515 \cdot (n - n_p) - 0,038 \cdot n$, jossa n on nousujen kokonaismäärä ja n_p on lähtöpysäkillä nousseiden matkustajien määrä. Tällöin saadaan eliminoitua lähtöpysäkillä tapahtuneista nousuista aiheutuva virhe. Vastaavanlainen virhe aiheutuu myös päätepysäkillä poistuvista matkustajista, mutta sitä ei voida eliminoida ellei kerätä erikseen dataa poistuvien määrästä pysäkeittäin. Koska poistuvien matkustajien kerroin yhtälössä on varsin pieni, on päätepysäkillä poistuvista aiheutuva virhekin varsin pieni. Esimerkiksi 25 poistuvaa matkustajaa päätepysäkillä aiheuttaisi alle sekunnin virheen.

7.3. Matka-aikavaikutukset

Avorahastuksen vaikutuksia matka-aikoihin runkolinjoilla arvioitiin käyttämällä lippu- ja informaatiojärjestelmän keräämää nousijamäärädataa sekä luvussa 7.2 määritettyä kaavaa pysäkkiaikojen muutokselle. Nousijamäärädataa oli käytössä aikaväliltä 8.–11.4.2019 kaikkien runkolinjojen osalta.

Koska joillain runkolinjoilla on lukuisia pieniä reittivariaatioita, joilla jokaisella on vain muutama vuoro päivässä, ei kaikkien näiden tarkastelua nähty tarkoituksenmukaisena saavutettujen hyötyjen ja toisaalta suppean havaintoaineiston tuomista virhemahdollisuuksista johtuen. Tarkasteluun otettiin vain vuoromäärältään merkittävät reittivariaatiot.

Havaintoaineistosta poistettiin aluksi käsin karkeat virheet, sillä joillekin lähdöille havaintoaineistossa oli erityisen pieniä tai suuria nousijamääriä, joiden arvioitiin johtuvan vain järjestelmävirheistä. Tämän jälkeen jokaiselle lähdölle laskettiin kokonaisnousijamäärä sekä nousijamäärä pääte pysäkillä. Lähdöille arvioitiin matka-aikamuutos kaavalla $\Delta T = -1,515 \cdot (n - n_p) - 0,038 \cdot n$, jossa n on nousujen kokonaismäärä ja n_p on lähtöpysäkillä nousseiden matkustajien määrä.

Koska havaintoaineistosta puuttui useita vuoroja ko. aikavälillä, oli aineistossa systemaattisia vinoumia. Jotta havaintoaineisto voitiin yleistää perusjoukkoon, laskettiin aineistolle painokertoimet siten, että aineisto kuvaa todellista lähtöjen jakaumaa mahdollisimman tarkasti, eikä tietyt linjat, suunnat tai vuorokaudenajat tule yli- tai aliedustetuiksi. Painokertoimet laskettiin painottamalla linjaa ja sen reittivariaatiota, ajosuuntaa ja vuoron lähtötuntia lähtöjen todellisen lukumäärän suhteessa. [121]

7.3.1. Tulokset

Taulukossa 29 on esitetty runkolinjojen eri reittien ja ajosuuntien arvioidut matka-aikamuutokset lähtöä kohden, mikäli niillä otettaisiin käyttöön avorahastus. Luvut ovat vuorokauden lähtöjen keskiarvoja. Linjoista, joilla on useampia reittivariaatioita, on esitetty vain yleisimmät. Linjamerkinnällä 3AK tarkoitetaan linjan 3A reittiä välillä Hervanta-Keskustori kulkevia vuoroja, jotka lähtevät Keskustorilta tai päättyvät sinne. Linjamerkinnällä 5T tarkoitetaan niitä linjan 5 vuoroja, jotka lähtevät TAYSilta tai päättyvät sinne. Muut merkinnät ovat reittikartan mukaisia. Taulukossa 30 puolestaan on esitetty matka-aikamuutosten linjakohtaiset keskiarvot. Keskiarvoissa on mukana vain taulukossa 29 esitetyt linjavariaatiot.

Taulukko 29. *Avorahastuksella saavutettavat matka-ajan nopeutumiset runkolinjojen eri reittivariaatioilla lähtöä kohden.*

linja ja suunta	nopeutuminen (s)	nopeutuminen (%)
1 Suupantorille	119	3,5
1 Vatialaan	92	2,8
1A Lentoasemalle	110	2,8
1A Vatialaan	99	2,5
1B Vaittiin	113	2,8
1B Vatialaan	126	3,3
1C Vaittiin	127	3,1
1C Vatialaan	125	3,3
2 Pyynikintorille	35	2,8
2 Rauhaniemeen	43	3,9
3A Lentävänniemeen	108	3,3
3A Hervantaan	110	3,3
3AK Keskustorille	57	2,7
3AK Hervantaan	57	2,7
3B Lentävänniemeen	97	2,8
3B Hervantaan	146	4,3
4 Keskustorille	49	4,1
4 Hervantaan	36	2,6
5 Keskustorille	52	2,1
5 Hervantaan	39	1,9
5T Keskustorille	102	2,9
5T TAYSille	83	2,8
6 Nalkalaan	55	2,8
6 Hermialle	63	3,5
8 Haukiluomaan	112	3,6
8 Atalaan	113	3,7
9A Keskustorille	49	3,5
9A Annalaan	39	2,9
9B Keskustorille	56	4,1
9B Annalaan	42	3,3
10 Keskustorille	50	4,0
10 Kaukajärvelle	29	2,2
linjat keskimäärin	71	3,2

Taulukosta 29 voidaan todeta avorahastuksen nopeuttavan matka-aikoja runkolinjoilla keskimäärin 3,2 %. Eniten avorahastuksesta näyttäisi olevan hyötyä linjalla 3B Hervannan suuntaan sekä linjoilla 4, 9B ja 10 Keskustorin suuntaan ajettaessa. Linjoilla, joiden päätepysäkki on Keskustorilla, hyödyt ajettaessa keskustasta pois päin ovat selvästi pienemmät kuin ajettaessa keskustaan päin, sillä merkittävä osa matkustajista nousee kyytiin päätepysäkillä. Koska suunnitelmassa on luopua linja-autojen päätepysäkeistä Jugendtorilla Keskustorin eteläosassa 2020-luvun alussa [122], ei eri ajosuuntien välinen ero ole välttämättä enää muutaman vuoden päästä yhtä merkittävä päätepysäkkien ollessa syrjäisemmällä sijainnilla, jolloin nousijamäärät päätepysäkeillä laskevat ja avorahastuksen hyödyt nousevat.

Koska avorahastusta ei käytännössä voida ottaa käyttöön vain yksittäisellä linjan variaatiolla tai suunnalla, on syytä tarkastella avorahastuksen potentiaalia myös linjatasolla. Taulukosta 30 puolestaan voidaan todeta avorahastuksesta hyötyvän eniten linjojen 8, 9, 3, 4 ja 2 tässä järjestyksessä. Runkolinjoista vähiten avorahastuksesta hyötyisi linja 5, jolla hyödyt jäisivät 2,5 prosenttiin aikataulunmukaisesta matka-ajasta. Linjaa 5 lukuun ottamatta prosentuaaliset matka-aikahyödyt ovat kuitenkin samassa suuruusluokassa vaihteluvälin ollessa 3,1–3,7 %.

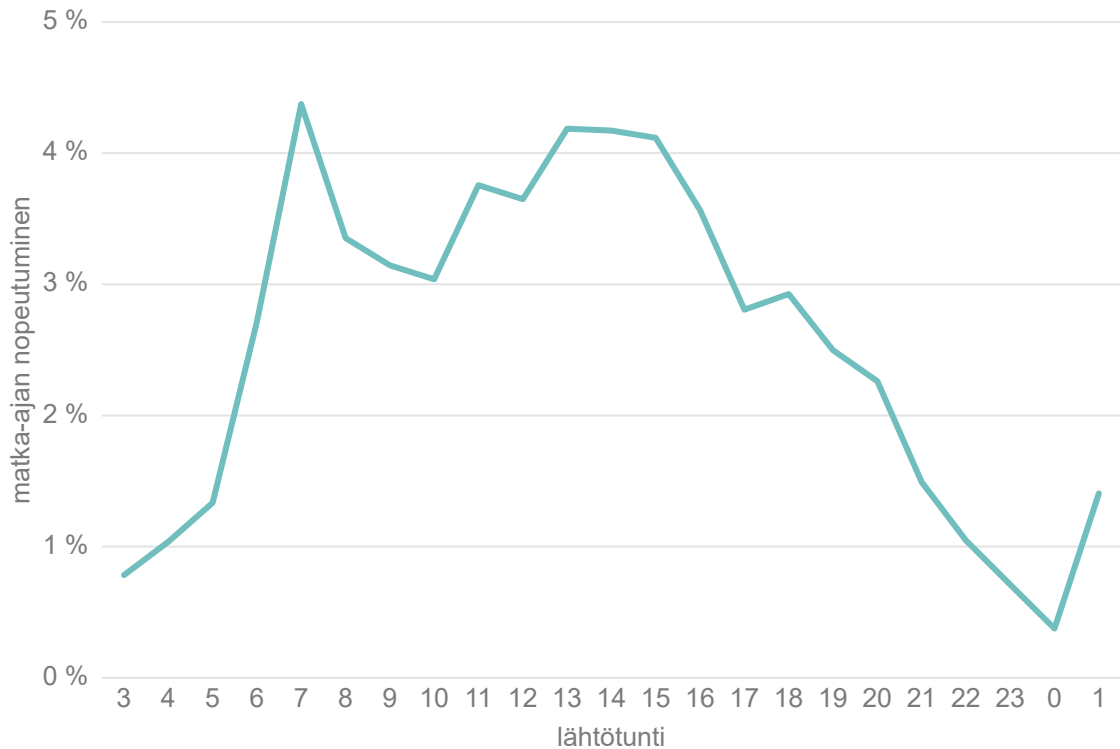
Taulukko 30. *Keskimääräiset avorahastuksen matka-aikahyödyt runkolinjoilla lähtöä kohden.*

linja	nopeutuminen (s)	nopeutuminen (%)
1	116	3,1
2	39	3,3
3	108	3,4
4	42	3,3
5	71	2,5
6	59	3,1
8	113	3,7
9	46	3,5
10	39	3,1
runkolinjat keskimäärin	71	3,2

Avorahastuksella saavutettavien matka-aikahyötyjen ajallista ulottuvuutta voidaan tarkastella kuvan 30 avulla, jossa on esitetty runkolinjojen matka-aikojen muutoksen keskiarvo tunneittain. Kuten muissakin tässä luvussa esitetyissä keskiarvoissa, on myös nämä keskiarvot painotettu lähtöjen määrällä. Kuvasta huomataan avorahastuksella saavutettavan suurimmat hyödyt aamuruuhkassa ja alkuiltapäivästä. Iltaa kohden hyödyt laskevat ja yöaikaan hyödyt ovat erittäin alhaiset.

Liitteessä A on esitetty vielä tarkempia tietoja avorahastuksen vaikutuksesta matka-aikaan. Siinä on esitetty sekunteina sekä prosentteina matka-aikamuutokset jokaiselle linjavariaatiolle ja suunnalle lähtötunneittain. Prosentit on laskettu aikataulunmukaisesta matka-ajasta.

Liitteessä A olevasta taulukosta voidaan havaita avorahastuksella saatavien matka-aik säästöjen olevan hyvinkin suuria tietyillä linjoilla tiettyyn aikaan. Esimerkiksi linjalle 9B Keskustorin suuntaan aamulla yhdeksän ja kymmenen välillä lähteville lähdoille arvioitu nopeutuminen on 1 minuutti 46 sekuntia (7,7 %). Yli seitsemän prosentin matka-aik säästö näytettäisiin saavutettavan myös linjalla 3B ja yli kuuden prosentin matka-aik säästöjä linjoilla 1C, 2, 4, 5, 6, 9A ja 10 joidenkin tuntien aikana. On kuitenkin syytä huomata arvion perustuvan vain neljän päivän laajuiseen havaintoaineistoon, joten satunnaisvaihtelut matkustajamäärissä voivat vaikuttaa tunti- ja linjatarkkuudella esitettyihin lukuihin varsinkin niillä linjavariaatioilla, joilla vuorojen määrä on pieni. Laajemmalla havaintoaineistolla myös arvion luotettavuus olisi parempi.



Kuva 30. Keskimääräinen avorahastuksella saavutettava matka-aikahyöty eri vuorokaudenaikoina runkolinjoilla.

Edellä esiteltyjä lukuja tulkitessa on tärkeää huomata, että niissä on otettu huomioon vain matkustajapalveluun kuluvan ajan muutos avorahastuksen myötä. Vaikutuksia, jotka seuraavat pysäkkien ruuhkautumisen vähenemisestä ei sen sijaan ole otettu huomioon, sillä arviointia tukevaa lähtötietoa ei ole saatavissa. Nämä hyödyt saattavat kuitenkin olla hyvinkin suuria.

Linjalle 2 arvio näyttää 3,3 % nopeutumista matka-aikoihin, kun pilotin aikana matka-aikojen arvioitiin nopeutuneen 1,6 %. Pilotin aikana kuitenkin kaikki ajoneuvot eivät olleet avorahastusvarusteltuja, mikä vähensi saavutettavia hyötyjä. Saadut tulokset näyttäisivät näin olevan linjassa nyt havaitun kanssa.

7.3.2. Vertailu teoriaan

Aiemmin esitettiin, että avorahastuksen käyttöönoton myötä matka-ajat laskisivat 4,6–13,3 %¹. Nyt Tampereen seudulle arvioidut hyödyt ovat hieman alhaisempia kuin tämä arvio. Toisaalta pysäkkien ruuhkautumisen väheneminen saattaa nostaa hyötyjä, jolloin tosiasiaa voitaisiin olla lähellä arvion alapäätä.

¹ Ks. s. 16.

Verrattuna Montrealin joukkoliikennejärjestelmään kohdistuvaan arvioon¹, Tampereen seudulle arvioidut hyödyt ovat alhaisemmat. Aamuruuhkan aikaan Tampereen seudulle tehdyn arvion mukaan runkolinjojen matka-ajat nopeutuisivat keskimäärin 4,4 %, kun Montrealin matka-aikojen arvioitiin nopeutuvat linjasta ja arviointitavasta riippuen 4,7–12,2 %. Arviot Montrealin avorahastushyödyistä olivat kuitenkin yläkanttiin, sillä todellisuudessa matka-aika laski vain 1,2 % eli huomattavasti vähemmän kuin mitä Tampereen seudulle on arvioitu. Pilottiin liittyi kuitenkin lukuisia ongelmia, jotka vähensivät hyötyjä². Tähän verraten nyt saatu arvio vaikuttaa realistiselta.

Torinon joukkoliikennejärjestelmään perustuvaan mallinnukseen verrattuna ovat nyt Tampereen seudulle arvioidut matka-aikamuutokset suuremmat, kuin mitä siellä arvioitiin. Siellä avorahastus lyhentäisi matka-aikoja arviolta 1,39–2,75 % arkipäivinä kellonajasta riippuen³, mikäli lippujen leimaamiseen oletetaan kuluvan yksi sekunti. Jos leimaamisessa kuluisi pidempi aika, nousisi vastaavasti avorahastuksella saavutettava hyöty. Kirjallisuus ei kuitenkaan tue oletusta näin pitkistä leimausajoista.

7.4. Talous- ja matkustajamäärävaikutusten arvioiminen

Talous- ja matkustajamäärävaikutusten arvioimiseksi Tampereen seudun joukkoliikennejärjestelmä mallinnettiin. Mallintamiseen käytettiin PTV Visum -ohjelmistoa (myöhemmin Visum). Visum on makrotason liikennesuunnitteluohjelmisto, jolla voidaan mallintaa niin julkista liikennettä kuin yksityisliikennettäkin. Ohjelmistoon luodaan malli kysynnästä ja liikenneverkosta ja Visum simuloi näiden perusteella matkustajien käyttäytymistä. Visum laskee simulaation perusteella lukuisia tunnuslukuja. [123, s. 15]

Matkustuskysyntä Visumiin otettiin Tampereen seudun⁴ liikennemallista (Talli-malli). Talli-malli perustuu vuonna 2012 toteutettuun Tampereen seudun liikennetutkimukseen, jossa alueen asukkaita pyydettiin pitämään matkapäiväkirjaa. Mallissa mallinnetaan alueen sisäinen ja ulkopuolinen henkilö- ja tavaraliikenne. Matkat on jaettu viiteen matkaryhmään, jotka mallinnetaan erikseen. Matkaryhmiä ovat työmatkat, koulumatkat, ostosmatkat, vapaa-ajanmatkat ja asiointimatkat. Lisäksi malliin on luotu maakuntakaavan perusteella liikenne-ennusteet. [124]

Talli-mallissa Tampereen seutu on jaettu 547 sisäiseen osa-alueeseen [124]. Mallinnettaessa Tampereen seudun joukkoliikennematkustusta Visumissa kaikki matkat sijoittuvat näiden osa-alueiden välille. Tietoa matkan lähtö- tai määräpaikasta ei osa-alueen sisällä ole. Osa-alueiden koko on Tampereen keskustassa ja mm. Hervannassa varsin pieni,

1 Ks. taulukko 3 sivulla 17.

2 Ks. luku 6.2.

3 Ks. s. 18.

4 Tampereen seuduksi liikennemallissa lasketaan seuraavat kunnat: Tampere, Ylöjärvi, Hämeenkyrö, Nokia, Pirkkala, Vesilahti, Lempäälä, Akaa, Valkeakoski, Pälkäne, Kangasala ja Orivesi. [124]

mutta väestötiheydeltään pienemmillä alueilla osa-alueiden maantieteellinen koko on vastaavasti suurempi. Mallinnustarkkuus on siis parempi tiheimmin asutuilla alueilla ja heikompi vähemmän tiheästi asutuilla alueilla.

Tässä työssä käytetään julkaisuajankohdan mukaan nimettyä Talli 2015 -mallia, joka on luotu vuonna 2014. Käytössä on mallia luotaessa tehty ennuste vuodelle 2020, jonka arvioitiin mallintavan nykytilaa parhaiten.

Tarkastelun kohteena on yhden talviarokinpäivän matkat. Kysyntämallinnuksen teknisistä syistä johtuen tarkasteluajankohtana on kello 00.00 alkava ja kello 24.00 päättyvä vuorokausi, jossa kuitenkin ennen puoltayötä alkaneet matkat tehdään loppuun. Matkustuskysynnän ajallinen vaihtelu mallinnettiin tuntitarkkuudella: jokaiselle tunnille määritettiin erillinen matkustuskysyntämatriisi. Käytetyt matriisit ovat epäsymmetrisiä, joten malli mallintaa myös kysynnän erot samalla linjalla samaan aikaan eri suuntiin.

Vaikka avorahastusta tarkasteltiin vain runkolinjoilla, on Visumiin tarpeen mallintaa myös muut talvikauden 2018–2019 joukkoliikennelinjat¹, sillä ne vaikuttavat runkolinjojen matkustuskysyntään. Lähtökohtaisesti malliin on otettu mukaan kaikki Tampereen seudun joukkoliikenteen linja-autolinjat. Mallinnuksesta on kuitenkin jätetty pois lukuisia linjoja, joiden ei arvioida vaikuttavan merkittävästi runkolinjojen matkustuskysyntään. Pääasiassa kyse on seudullisista linjoista, jotka eivät liikennöi lähellä runkolinjoja. Lisäksi muutamien linjojen reittejä on yksinkertaistettu. Pääasiassa kyse on yksittäisten vuorojen pienien reittipoikkeamien huomiotta jättämisestä. Liitteessä B on esitetty mallinnuksen poikkeamat todelliseen linjastoon.

Linjojen matka-ajat on määritelty tunnin tarkkuudella kuten matkustuskysyntäkin. Kuten linjasto, on matka-ajatin täytynyt määrittää tarkasti kaikille linjoille, ei vain tarkastelun kohteena oleville runkolinjoille. Tarve matka-aikojen määrittämiselle myös muilla linjoilla johtuu taas niiden vaikutuksesta runkolinjojen kysyntään: jos runkolinjan ajoajat pidentyvät ruuhka-aikoina, mutta muut linjat liikennöivät yhä päivän keskimääräisellä nopeudella, siirtyy osa kysynnästä runkolinjoilta muulle linjastolle. Lähtötilanteessa linjojen matka-aika perustuu pääsääntöisesti Tampereen seudun joukkoliikenteen lippu- ja informaatiojärjestelmän keräämien todellisten matka-aikojen² keskiarvoon arkipäivinä aikavälillä 15.10.–14.12.2018. Muutamissa poikkeustilanteissa linjan matka-aika on määritelty ajasta riippumattomaksi, jos esimerkiksi linjalla on hyvin vähän lähtöjä päivässä tai mikäli havaintoaineistoa matka-ajoista ei ole saatavilla. Nämä poikkeamat on kuvattu liitteessä B.

Koska lippu- ja informaatiojärjestelmän keräämää matka-aikadataa ei ole tarjolla aivan kaikille linjoille kaikkina vuorokaudenaikoina, jouduttiin joitakin matka-aikoja määrittämään muilla keinoin. Näissä tilanteissa noudatettiin seuraavaa järjestystä.

1 Tarkasti ottaen kyseessä on kevätkauden 2019 linjasto, sillä mukana on myös vuoden 2019 alussa aloittanut linja 115.

2 Matka-aikaan ei lasketa mukaan ajantasauspysäkeillä vietettyä aikaa.

1. Jos suurin osa reitin matka-aikatiedoista oli olemassa, mutta yhdellä tai kahdella pysäkkivälillä tietoa ei ollut saatavilla, arvioitiin puuttuvien pysäkkivälien matka-aikatiedot ensisijaisesti ajallisesti edeltävän ja/tai seuraavan tunnin toteutuneiden matka-aikojen mukaan ja tämän jälkeen laskettiin matka-aika. Jos edellisen tai seuraavan tunnin tietoakaan ei ollut saatavilla, määriteltiin kyseisen pysäkkivälin matka-aika lippu- ja informaatiojärjestelmästä saatavan suunnitellun ajoajan perusteella.
2. Matka-ajaksi oletettiin edeltävän tai seuraavan tunnin matka-aika tai näiden keskiarvo.
3. Matka-ajaksi oletettiin lippu- ja informaatiojärjestelmään merkitty suunniteltu matka-aika kyseiselle kellonajalle.

Saatuja matka-aikatietoja ei voitu suoraan siirtää Visumiin johtuen ohjelman tavasta käsitellä matka-aikoja. Visumiin määriteltiin erikseen ajo- ja pysäkkiajat, joita käytettiin vain matka-ajan sääntämiseksi halutunlaiseksi, eikä itse pysäkki- ja ajoaikojen suuruuksiin kiinnitetty erityistä huomiota. Ajoajaksi määriteltiin puolet¹ Visumin *linkkien* mukaan määräytyvästä ajoajasta, mikä on jotakuinkin verrannollinen katujen nopeusrajoitukseen. Tämän jälkeen määriteltiin pysäkkiajat. Pysäkkiaikoja ei pyritty määrittämään jokaiselle pysäkillä erikseen, vaan kaikille kyseisen linjan pysäkeille määritettiin sama pysäkkiaika kunkin tunnin sisällä siten, että matka-ajan pituus oli oikea.

Kun ajo- ja pysäkkiajat määritellään edellä kuvatulla tavalla, lopputuloksena matka-aika on halutun mittainen. Matka-ajan jakautuminen reitin eri osille ei kuitenkaan vastaa täysin totuutta, sillä siihen pyrkimistä ei nähty sen vaatimaan työmäärään nähden tarkoituksenmukaisena. Esimerkiksi linjan 3 matka-aika Hervannasta Keskustorille saattaa olla todellisuutta lyhyempi ja vastaavasti matka-aika Keskustorilta Lentävänniemeen todellisuutta pidempi.

Joukkoliikenneverkon mallintamisen jälkeen Visumilla laskettiin alueiden välille koetut matka-ajat sisältävä matriisi. Koetut matka-ajat saadaan painottamalla joukkoliikennematkan eri vaiheiden kestoa niiden matkavastusta kuvaavilla kertoimilla, jolloin esimerkiksi odottelu-aika koetaan pidemmäksi kuin ajoaika linja-autossa. Lisäksi matkan vaihdollisuus pidentää koettua matka-aikaa. Koettuja matka-aikoja laskettaessa käytettiin samoja parametreja, joita on käytetty Talli-mallia luotaessa. Koettujen matka-aikojen matriisi sijoitettiin Talli-malliin, jolloin saadaan joukkoliikenteen kysyntä mallinnetulla joukkoliikenneverkolla. On huomionarvoista, että matkojen sijoittuminen eri vuorokaudenaikoihin on kullakin Talli-mallin matkaryhmällä vakio, eikä ota huomioon eroja joukkoliikennematkan kestossa eri vuorokaudenaikoina. Muutokset matka-ajoissa yhden tunnin sisällä vaikuttavat siis kysyntään koko vuorokauden ajalla.

¹ Mallinnuksessa käytetään puolikasta linkkien perusteella muodostuvasta ajoajasta siitä syystä, että tällöin pysäkkiajoilla voidaan säätää oikea matka-aika kaikissa tapauksissa. Jos linkeille olisi annettu suurempi painoarvo, olisi pysäkkiajasta tullut muutamien reittien muutamilla lähdeillä negatiivinen, mikä ei ole mahdollista.

7.5. Matkustajamäärävaikutukset

Avorahastuksesta johtuvien matka-aikamuutosten vaikutusta matkustajamääriin arvioitiin Visumin ja Talli-mallin avulla. Lähtötilanteena toimivan kuljettajarahastuksen mallintaminen on esitetty luvussa 7.4.

Avorahastustilanteen matka-ajat asetettiin Visumiin luvun 7.3 tulosten pohjalta. Nykytilan matka-aikoja muutettiin määriteltyjen prosentuaalisten muutosten mukaisesti linjoittain ja tunneittain. Niillä linjavariaatioilla, joita ei ollut käsitelty luvussa 7.3, valittiin lähin vastaava linjavariaatio. Pääasiassa kyse oli variaatiosta, joissa reittiä oli lyhennetty päättymään esimerkiksi Keskustorille. Liitteessä A on lisäksi esitetty joitakin pieniä poikkeuksia mallinnukseen.

Matka-aikojen asettamisen jälkeen laskettiin Visumilla matriisi, jossa oli mallinnetut koetut matka-ajat Talli-mallin vyöhykkeiden välillä. Tämä matriisi sijoitettiin lähtöarvona Talli-malliin, jota käyttäen arvioitiin muuttuneet matkustajamäärät vyöhykkeiden välille. Matkustuskysyntä tuotiin takaisin Visumiin, jossa matkustuskysyntä jaoteltiin eri linjoille. Taulukossa 31 on esitetty mallinnuksella saadut yhden talviarkipäivän matkustajamäärät linjoittain.

Taulukosta 31 huomataan matkustajamäärien nousevan runkolinjoilla keskimäärin 2,6 % avorahastuksesta aiheutuvan matka-ajan nopeutumisen vuoksi. Vertailun vuoksi vuonna 2018 matkustajamäärät kasvoivat Tampereen seudun joukkoliikenteessä 1,2 % ja vuosina 2016–2017 vuosittaista kasvua oli 7–8 % [21]. Muutos matkustajamäärässä ottaen huomioon muut linjat oli kuitenkin vain 0,80 %, eli avorahastus vaikuttaa vaikuttavan enemmän matkustajien jakautumiseen eri linjojen kesken kuin lisäävän joukkoliikenteen käyttöä, mutta myös tehtyjen matkojen määrä näyttäisi kasvavan. Tarkasteltaessa absoluuttisia matkustajamääriä muiden kuin runkolinjojen osalta on syytä huomata, ettei luvuissa ole mukana aivan kaikkia linjoja, joten matkustajien kokonaismäärä ei ole täysin vertailukelpoinen todellisten matkustajamäärien kanssa.

Taulukko 31. *Mallinnetut yhden talviarkipäivän matkustajamäärät linjoittain kuljettaja- ja avorahastuksella.*

linja	kuljettajarahastus	avorahastus	muutos	muutos (%)
1	13 445	13 828	383	2,85
2	4 500	4 663	163	3,62
3	10 366	10 630	264	2,55
4	3 846	3 930	84	2,18
5	6 104	6 188	84	1,38
6	5 598	5 699	101	1,80
8	5 631	5 953	322	5,72
9	5 093	5 168	75	1,47
10	2 949	2 966	17	0,58
runkolinjat yhteensä	57 532	59 025	1 493	2,60
muut linjat	89 577	89 262	-315	-0,35

Matkustajamäärien muutoksissa on myös varsin suuria eroja eri linjojen välillä. Linjalle 8 arvioitiin suurin matka-aikamuutos, joten suurin matkustajamäärämuutos on hyvin linjassa tämän kanssa. Toistaalta linjalla 5, jonka arvioitiin hyötyvän avorahastuksesta vähiten runkolinjoista, on myös matkustajamäärämuutos varsin pieni. Kuitenkaan esimerkiksi linjalla 10 matkustajamäärän ei juurikaan arvioitu muuttuvan matka-ajan nopeutumisesta huolimatta. Syynä linjan 10 muita alempaan matkustajamäärämuutosarvioon saattaa olla linjan liikennöntialueen pientalovaltaisuudessa, jolloin väestöpohja on pienempi ja autonomistus suurempaa kuin kerrostaloalueilla. Matkustajamäärän muutos ei ole siis ainakaan tällä perusteella suoraan pääteltävissä matka-ajan nopeutumisesta. Avorahastuksen käyttöönotolla näyttäisi kuitenkin olevan mahdollista lisätä joukkoliikenteen matkustajamääriä.

On syytä huomata, että matkustajamäärien kasvu pidentää pysäkkiaikoja ja siten myös matka-aikoja, jolloin avorahastuksella saavutettavat matka-aikahyödyt vähentyvät. Todellisuudessa matka-aika voi siten muuttua vähemmän kuin nyt on arvioitu. Se ei kuitenkaan ole välttämättä huono asia, jos se johtuu matkustajamäärien kasvusta.

7.6. Talousvaikutukset

Kustannuksien arvioimiseksi laskettiin linjojen liikennöntikustannukset sekä kuljettaja-että avorahastusjärjestelmissä. Jokaisen linjan liikennöntikustannukset laskettiin erikseen, eli mahdollisia useamman kuin yhden linjan sisältäviä autokiertoja ei otettu huomioon. Myöskään ajantasauksia ei otettu huomioon, sillä käytettävissä oleva Visumin lisenssi ei sitä mahdollistanut.

Kustannukset laskettiin tunti- ja autopäiväkustannusten perusteella. Linjakilometrikustannuksia ei tarkasteltu, sillä linjakilometriä määrä säilyy vakiona avorahastukseen siirryttäessä. Laskennassa käytettiin Tampereen seudun joukkoliikenteen ja Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitoksen välisiä tuotantohintoja kaikkien linjojen osalta. Koska kilpailutetun liikenteen yksikkökustannukset ovat hieman halvempat kuin Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitokselta hankittavien, ovat lasketut arvot joillakin linjoilla hieman liian suuret¹. Perustuen linjojen pääasialliseen kalustoon, linjan 2 osalta käytettiin sähkölinja-autojen liikennöntikustannuksia ja linjan 10 osalta kaksiakselisen linja-auton liikennöntikustannuksia. Muilla linjoilla käytettiin telilinja-auton liikennöntikustannuksia.

Taulukossa 32 on esitetty arvioidut avorahastuksen käyttöönotosta seuraavat liikennöntikustannussäästöt vuorokaudessa laskettuna Visum-ohjelmalla. Linjoilla 5 ja 8 voidaan pitää yllä sama palvelutaso yhdellä linja-autolla vähemmän jolloin säästöä kertyy sekä autopäivä- että linjatuntikustannuksissa. Yhteensä arvioidut liikennöntikustannussäästöt ovat 1 843 € talviarvokaudessa.

¹ Nykyisellään linjoista 2, 3, 4, 5 ja 8 ovat Tampereen kaupunkiliikenne liikelaitoksen liikennöimiä. Linjoja 6, 9 ja 10 liikennöi Väinö Paunu Oy. Linjalla 1 on kummankin edellä mainitun liikennöimiä vuoroja.

Taulukko 32. *Arvioidut avorahastuksen käyttöönotosta seuraavat liikennöintikustannussäästöt talviarkivuorokaudessa.*

linja	autopäivät	tunnit	yhteensä
1	-	-	-
2	-	20 €	20 €
3	-	-	-
4	-	-	-
5	164 €	747 €	912 €
6	-	-	-
8	164 €	747 €	912 €
9	-	-	-
10	-	-	-
yhteensä	328 €	1 514 €	1 843 €

Vertailukelpoisuuden parantamiseksi yhden talviarkivuorokauden liikennöintikustannussäästöt muunnettiin vuositasolle. Muuntaminen tehtiin kertomalla linjatunnit kertoimella 318 ja autopäivät kertoimella 307. Kertoimet perustuvat Tampereen seudun joukkoliikenteen kilpailutuskohteen K51 suoritelaskelmaan [125]. Arvioidut liikennöintikustannussäästöt ovat täten 582 522 € vuodessa.

Kuten luvuissa 3.4 ja 3.5 todettiin, aiheuttaa avorahastukseen siirtyminen väistämättä lipputulomenetyksiä ilman asianmukaista matkalippua matkustamisen lisääntyessä. Toisaalta matkustajamäärien kasvu voi lisätä lipputuloja. Täsmällisten lipputulomenetyksien arvioiminen on vaikeaa, sillä liputtomuusastetta ei voida tietää ennakkoon ja siinä on suuria paikallisia vaihteluita. Lisäksi tilastoidut liputtomuusasteetkin ovat aina arvioita, sillä osa liputtomista matkustajista poistuu liikennevälineestä tarkastajan havaitessaan eikä näin jää tilastoihin.

Parhaan vertailukohdan liputtomuuden arviointiin muodostaa HSL-alue kotimaisuutensa vuoksi. Taulukossa 33 on arvioitu liputtomuuden talousvaikutuksia käyttäen HSL-alueen runkolinjojen ja raitiotien keskimääräistä liputtomuusastetta 4,21 %¹, sillä se on paras saatavilla oleva arvio liputtomuuden arviointiin. Kansainvälisesti liputtomuuden arvioitiin olevan keskimäärin 4,7 % [43, ks. 44], joten käytetty luku on linjassa myös sen kanssa. Taulukon 33 laskelmat ovat tehty linjojen helmikuun 2018 ja tammikuun 2019 välillä toteutuneiden lipputulojen perusteella [126]. Arvio ei ole kuitenkaan ongelmaton, sillä liputtomuusaste riippuu lukuisista tekijöistä. Esimerkiksi linjojen maantieteellinen liikennöintialue vaikuttaa liputtomuuteen, mitä ei tällaisessä tarkastelussa voida ottaa huomioon. Samoin Tampereen seudulla kokeiltu leimausvelvoite vähentänee liputtomuutta. Lisäksi kaikki liputta matkustavat eivät välttämättä matkustaisi ollenkaan, mikäli matkustaminen ei onnistuisi ilman lippua, jolloin saamatonta lipputuloakaan ei synny.

¹ Ks. s. 44.

Taulukko 33. *Arvioidut avorahastuksen käyttöönotosta koituvat vuosittaiset lipputulomenetykset. Luvut on laskettu kertomalla vuoden 2017 lipputulot 4,21 prosentilla.*

linja	menetetyt lipputulot
1	165 691 €
2	49 347 €
3	192 447 €
4	56 542 €
5	65 833 €
6	63 345 €
8	112 444 €
9	68 807 €
10	47 164 €
yhteensä	821 622 €

Ilman asianmukaista matkalippua matkustamisen lisäksi lipputulovaikutuksia aiheutuu myös matkustajamäärien lisääntymisestä. Matkustajamäärien arvioitiin nousevan 0,80 %, joka tarkoittaa 322 200 matkustajaa enemmän vuodessa. Vuoden 2018 toteutuneiden lipputulojen ja nousijamäärin perusteella voidaan laskea yhden matkan lipputuloiksi ilman arvonlisäveroa 1,01 €, jolloin lisääntyneistä matkustajamääristä kertyisi 311 722 € tulot, kun otetaan huomioon lipputta matkustaminen myös näiden matkustajien osalta.

Liputtomuuden lisäksi kustannuksia aiheutuu matkalipuntarkastustoiminnasta ja kortinlukijoiden asentamisesta keskioville. Kortinlukijoiden kustannukset ovat noin 1 500 € kappaleelta [54]. Kertaluontoisina kustannuksina niitä ei ole otettu huomioon tämän luvun laskelmissa, mutta ne on syytä ottaa huomioon harkittaessa avorahastuksen käyttöönottoa. Kortinlukijakustannuksissa tulee ottaa huomioon myös vara-autot.

Matkalipuntarkastustoiminnan menot riippuvat siitä, kuinka suuri osa matkustajista halutaan tarkastaa. Tästä syystä lipuntarkastustoiminnan kustannuksista ei ole esitetty laskelmaa, vaikka lipuntarkastustoiminnasta aiheutuu merkittäviä kustannuksia siirryttäessä avorahastukseen.

8. PÄÄTELMÄT

Tässä luvussa esitetään vastaukset tutkimuskysymyksiin. Lisäksi arvioidaan tämän tutkimuksen luotettavuutta sekä esitetään jatkotutkimustarpeita.

8.1. Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tässä luvussa vastataan lyhyesti tutkimuskysymyksiin. Jokainen tutkimuskysymys käsitellään omassa alaluvussa. Ensiksi vastataan alatutkimuskysymyksiin ja lopuksi päätutkimuskysymykseen.

8.1.1. Kokemukset avorahastuksesta muualla

Kokemukset avorahastuksesta muualla ovat vaihtelevat, mutta pääasiassa positiiviset. Tässä tutkimuksessa esiteltiin neljä esimerkkikohdetta. Zürich ja Bern toimivat esimerkkeinä avorahastuksen pitkän aikavälin vaikutuksista. Kummassakin kaupungissa avorahastus on ollut linjastotasolla käytössä vuosikymmeniä ja joukkoliikenteen kulkutapaosuus on korkea. Haastatellut ammattilaiset pitävät avorahastusta erittäin hyödyllisenä pysäkkiajan lyhentymisen ja tasaisemman matkustajajakauman myötä. Bernissä vilkkaimmilla linjoilla ajetaan kolmen minuutin vuorovälillä, minkä ei arvioida olevan mahdollista ilman avorahastusta. Siellä ei nähdä paluuta kuljettajarahastukseen mahdollisena, vaan Rolf Meyerin sanoin ”aikataulu romahtaisi” siirryttäessä kuljettajarahastukseen. Lisäksi matkustajat tuskin hyväksyisivät toisenlaista järjestelmää. Zürichin kokemusten mukaan avorahastuksesta hyötyvät eniten tiheävuoroväliset linjat. Siellä on aiemmin ollut käytössä järjestelmä, jossa yöaikaan on käytetty kuljettajarahastusta, vaikka muuten on ollut käytössä avorahastus. Matkustajat tottuivat kyseiseen järjestelmään ja se toimi hyvin. Siitä kuitenkin luovuttiin etälueuttavan matkakortin myötä, koska kuljettajat eivät voineet tarkastaa matkakortille ladattuja lippuja ilman erityislaitteistoa. Koska Tampereen seudulla kortinlukijat ovat arvolippujen vuoksi kaikissa autoissa valmiina, ei vastaavaa estettä ole, vaan yöliikenteessä voitaisiin käyttää yhä kuljettajarahastusta mm. häiriökäyttäytymisen vähentämiseksi. Sekä Bernissä että Zürichissä liputtomuus on kansainvälisesti vertailtuna erittäin alhaista: Bernissä liputta matkustaa 2 % matkustajista ja Zürichissä 1,5 % matkustajista. Lippujärjestelmät ovat sekä Zürichissä että Bernissä hyvin monimutkaisia, mikä kertoo avorahastuksen toimivan hyvin myös monimutkaisissa lippujärjestelmissä.

HSL-alueella avorahastus on otettu vajaan kymmenen vuotta sitten käyttöön linja-autoliikenteen runkolinjoilla, joita on tällä hetkellä kaksi, mutta avorahastuksen käyttöä aiotaan laajentaa. Avorahastuksen käyttöönoton myötä pysäkkiajat laskivat varsin maltillisesti, mutta liikenteen täsmällisyys parani huomattavasti. Tilastoitu liputtomuus HSL-alueen linja-autoliikenteen runkolinjoilla on 5,0 %, joka on huomattavasti korkeampi kuin

Bernin ja Zürichin liputtomuusasteet, mutta vain hieman suurempi kuin kansainvälinen 4,2 % keskiarvo. Helsingin raitioliikenteessä liputtomuus on prosenttiyksikön verran pienempää, joka johtunee liikennöintialueesta, sillä liputta matkustamisen arvioidaan olevan yleisempää tietyillä alueilla. HSL-alueella raitioliikenteessä ja linja-autoliikenteen runkolinjoilla liputta matkustaa keskimäärin 4,2 % matkustajista. Linja-autoliikenteessä lippujen tarkastus koetaan raitioliikennettä helpommaksi, sillä matkustajat eivät pääse samalla tavoin poistumaan tarkastajat havaitessaan kuin raitioliikenteessä, jolloin myös liputtomuusaste kuvanee paremmin todellisuutta. Toisaalta laitakaupungilla liikkuvilla linja-autolinjoilla virka-apua on saatavilla heikommin, minkä vuoksi linja-autoliikenteessä käytetään usein järjestyksenvalvoja tarkastajien apuna. HSL-alueella on tehty myös matkustajakysely avorahastuksesta, jonka perusteella suurin osa matkustajista pitää avorahastusta hyvänä käytäntönä.

Montrealissa on toteutettu yhdellä linjalla avorahastuspilotti. Pysäkkiajat lyhenivät, varsinkin vilkkailla pysäkeillä, mutta matka-aika laski vain 1,2 %. Täyttä hyötyä avorahastuksesta ei Montrealissa saavutettu, sillä mahdollisuutta nousta keski- ja takaovista hyödynnettiin heikosti. Syinä tähän oli sekä keskiovilta puuttuvat kortinlukijat, jolloin arvolipulla matkustavien oli noustava etuovesta, että huono tiedottaminen matkustajille ja kuljettajille. Kuljettajat eivät aina avanneet keskiovia matkustajille tai matkustajat hyödyntäneet mahdollisuutta nousta keskiovista. Lisäksi Montrealissa suuri osa avorahastuksella saavutettavista aikasäästöistä menetettiin ajantasauksena, sillä sitovia välipysäkkiaikatauluja ei muutettu avorahastustilanteeseen sopiviksi. Keskeisinä johtopäätöksinä pilotista voidaan todeta tarve tiedotukselle niin kuljettajille kuin matkustajille muutostilanteessa ja sen jälkeen sekä tarve kouluttaa kuljettajat avaamaan ovet säännönmukaisesti, jotta avoimet ovet houkuttelisivat matkustajia hyödyntämään kaikkia ovia linja-autoon nousemiseen.

Vaikka matka-aikasäästöt avorahastuksen myötä olivat Montrealissa hyvin alhaiset, oli avorahastuksella myönteisiä vaikutuksia matkustajatytyväisyyteen. Yli kolmannes matkustajista koki avorahastuksen lisäävän heidän tyytyväisyyttään niin matka-aikaan, täsmällisyyteen kuin joukkoliikenteeseen yleensäkin. Tyytyväisyyden kertoi huonontuneen vain harva. Matkustajat myös arvioivat matka-aikojen todellista suurempina. Nykyisin Montrealissa on käytössä sovellettu pysäkkitasoinen toteutus avorahastuksesta, jonka toimivuudesta ei löydetty tietoa.

8.1.2. Vaikutukset pysäkki- ja matka-aikoihin

Ottamalla käyttöön avorahastus linja-autoliikenteessä voidaan sekä matka- että pysäkkiaikoja lyhentää. Saavutetut edut riippuvat muun muassa käytetystä kalustosta ja maksutavoista. Suurin merkitys on kuitenkin linjan matkustajakuormituksella. Pysäkkiaikojen muuttuminen johtuu lähinnä nopeammasta linja-autoon nousemisesta. Arviot avorahastuksen vaikutuksesta pysäkkiaikaan vaihtelevat. Joidenkin lähteiden mukaan linja-autoon nouseminen matkustaja kohti on 1–1,1 sekuntia nopeampaa avorahastuksella kuljettajarahastukseen verrattuna. Toisen lähteen mukaan taas keskimääräinen

nousuun tai poistumiseen kuluva aika lyhenee noin sekunnin verran. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että avorahastuksen myötä lähinnä nousemiseen kuluva aika muuttuu poistumisajan pysyessä liki samana. Verrattaessa pysäkkiaikoja Tampereen seudun kuljettajarahastuksessa avorahastukseen Tampereen seudulla ja HSL-alueella, havaittiin pysäkkiaikojen lyhenevän noin 1,5 s nousevaa matkustajaa kohden. On kuitenkin syytä huomata, että lähtöpysäkillä nousevat matkustajat eivät pääsääntöisesti vaikuta pysäkki-aikaan, sillä se määräytyy aikataulunmukaisen lähtöajan perusteella.

Suurimmat hyödyt avorahastuksella saavutetaan linjoilla, joiden matkustajamäärä on korkea, sillä vähäliikenteisillä linjoilla jarrutus, kiihdytys ja ovien käyttö kuluttavat suhteessa paljon pysäkkiaikaa, kun vilkailla linjoilla aikaa kuluu huomattavan paljon matkustajien nousemiseen ja poistumiseen. Iltaisin ja öisin avorahastuksesta hyödytään vähemmän pienemmän matkustajamäärän vuoksi. Lisäksi pysäkkiaikojen lyhenemisestä johtuvan pysäkkien ruuhkautumisen vähenemisen myötä matka-ajat lyhentyvät enemmän kuin pelkän pysäkkiajan muutoksen perusteella voidaan arvioida, mutta aiheesta on tutkimusta vähäisesti.

8.1.3. Vaikutukset talouteen

Avorahastus vaikuttaa talouteen sekä positiivisesti että negatiivisesti. Positiivisia talousvaikutuksia syntyy liikennöintikustannusten laskusta niillä linjoilla, joilla sama palvelutaso voidaan matka-aikojen nopeutumisen myötä saavuttaa yhdellä autolla vähemmän kuin aiemmin. Teorian perusteella nämä säästöt kattaisivat liputtomuudesta koituvat menot. Autotarpeen vähenemistä ei voida päätellä suoraan matka-aikojen nopeutumisen suuruudesta, sillä siihen vaikuttaa keskeisesti linjan autotarve kuljettajarahastuksella. Jos teoreettinen autotarve, joka saadaan jakamalla kierrosaika vuorovälillä, on kuljettajarahastuksella esimerkiksi 10,1 autoa jolloin todellinen autotarve on 11 autoa, pienikin matka-aikamuutos voi riittää laskemaan todellisen autotarpeen 10 autoon. Jos taas teoreettinen autotarve on esimerkiksi 10,9 autoa, tarvittaisiin hyvin suuria matka-aikamuutoksia, jotta todellinen autotarve laskisi. Lisäksi joukkoliikenteen järjestäjälle tulee lisätuloja, jos matkustajamäärät avorahastuksen myötä nousevat.

Suurimmat taloudelliset vaikutukset aiheutuvat liputta matkustamisen yleistymisestä johtuvista menetetyistä lippituloista. Etukäteen ei voida sanoa varmaksi, kuinka yleistä liputtomuus tulee olemaan. Kansainvälisesti liputta matkustaa keskimäärin 4,2 % matkustajista. HSL-alueen raitioliikenteen ja linja-autoliikenteen runkolinjojen liputtomuus on keskimäärin 4,21 %. Lisäksi kustannuksia aiheutuu matkalipuntarkastustoiminnan järjestämisestä, joka on välttämätöntä, jotta matkustajilla olisi kannuste ostaa matkalippu. Osa näistä kustannuksista voidaan tosin kattaa perittävillä tarkastusmaksuilla. HSL-alueella n. 65 % tarkastustoiminnan kustannuksista katettiin tarkastusmaksutuloilla. Kertaluontoisia kustannuksia aiheutuu lisäksi keskiovien matkakortinlukijoiden asentamisesta n. 1 500 € lukijaa kohden.

8.1.4. Avorahastus Tampereen seudulla

Matka-aikojen arvioitiin lyhentyvän avorahastuksesta seuraavan pysäkki-aikojen lyhenemisen seurauksena Tampereen seudun joukkoliikenteen runkolinjoilla keskimäärin 3,2 %. Suurimmat hyödyt saavutetaan aamulla ja iltapäivällä, jolloin matka-ajat nopeutuvat keskimäärin yli 4 %. Iltaisin ja öisin avorahastuksesta hyödytään vähemmän. Luvut on laskettu matkustajapalveluajan muutoksen perusteella. Lisäksi pysäkkien ruuhkautumisen väheneminen saattaa lyhentää matka-aikoja vielä lisää, mutta vaikutuksen suuruutta ei kyetty arvioimaan.

Tampereen seudulla arvioitiin liikennöintikustannussäästöjä saavutettavan linjoilla 5 ja 8 yhteensä 580 000 € vuodessa. Avorahastuksen myötä kasvaneesta matkustajamäärästä johtuvien lipputulojen suurudeksi Tampereen seudulla arvioitiin 310 000 € vuodessa.

HSL-alueen linja-autoliikenteen runkolinjojen ja raitioliikenteen keskimääräisen liputtomuusasteen 4,21 % perusteella liputtomuudesta aiheutuviksi taloudellisiksi vaikutuksiksi arvioitiin Tampereen seudun joukkoliikenteen nykyisillä runkolinjoilla 821 000 € vuodessa. Koska vuodesta 2021 noin kolmasosa runkolinjojen liikenteestä tapahtuu raitiotiellä, ei avorahastuksen käyttöönotto linja-autoliikenteen runkolinjoilla aiheuta niin suuria lipputulomenetyksiä kuin suoraan nykytilaan vertaamalla voisi arvioida. Lipuntarkastustoiminnan kustannuksille ei laskettu euromääräistä arvoa, koska kustannukset ovat täysin riippuvaisia valitusta lipuntarkastustiheydestä.

8.1.5. Matkustajatytyväisyysvaikutukset

Avorahastus parantaa matkustajatytyväisyyttä, sillä matka-ajat lyhenevät, matkustajan valinnanvapaus kasvaa sekä ruuhkautuminen vähenee. Matka-aika on yksi tärkeimmistä, ellei tärkein, matkustajatytyväisyyteen vaikuttavista tekijöistä. Valinnanvapaudella puolestaan tarkoitetaan sitä, että matkustajat kokevat voivansa vaikuttaa matkansa kulkuun, sillä he voivat valita, mistä ovesta nousevat. Lisäksi avorahastus tasaa matkustajajakaumaa linja-auton sisällä, jolloin matkustajilla on paremmin tilaa linja-autossa.

Montrealissa tehdyn tutkimuksen mukaan matkustajat myös arvioivat avorahastuksen nopeuttavan matka-aikaa, vaikkei matka-aika todellisuudessa juuri muuttunut. Montrealissa hieman alle puolet matkustajista koki yleisen tyytyväisyytensä lisääntyneen avorahastuksen myötä. Kysyttäessä tyytyväisyyttä matka-aikaan ja täsmällisyyten noin kolmannes matkustajista kertoi tyytyväisyytensä lisääntyneen. Alle 10 % matkustajista kertoi tyytyväisyytensä laskeneen avorahastuksen myötä. Myös HSL-alueen matkustajakyselyn perusteella avorahastuksella on merkittävät matkustajatytyväisyysvaikutukset, sillä lähes 80 % matkustajista kertoi avorahastuksen sujuvoittavan matkantekoa vähintään jonkin verran.

Avorahastuksen käyttö saattaa kuitenkin lisätä häiriökäyttäytymistä, sillä osa ilman matkalippua matkustavista on samoja henkilöitä, jotka syyllistyvät häiriökäyttäytymiseen. Häiriökäyttäytymistä voidaan kuitenkin pyrkiä ehkäisemään esimerkiksi säilyttämällä kuljettajarahastus yöajan liikennöinnissä.

8.1.6. Avorahastuksen soveltuvuus Tampereen seudulle

Tampereen seuduun linja-autoliikenteen runkolinjoilla avorahastuksella saavutettaisiin kohtalainen matka-aikojen nopeutuminen. Kansainväliseen tutkimustietoon verrattuna arvioidut matka-aikahyödyt eivät ole kovin suuret, mutta kuitenkin merkitykselliset. Lisäksi linja-autopysäkkien ruuhkautumisen vähenemisestä saattaa seurata matka-aikahyötyjä, joita ei tässä työssä kyetty arvioimaan. Lisäksi avorahastuksella saavutetaan merkittävät matkustajatytyväisyshyödyt.

Avorahastuksen arvioitiin aiheuttavan taloudellisia menetyksiä liputtomuuden aiheuttamien lipputulomenetysten sekä tarkastustoiminnan kustannuksien takia. Toisaalta avorahastuksella saavutetaan myös liikennöintikustannussäästöjä. Avorahastuksen arvioitiin myös lisäävän joukkoliikenteen matkustajamääriä, mistä kertyy lipputuloja. Avorahastuksen kustannukset ja tulot kumoavat toisensa suurimmaksi osaksi, minkä takia avorahastuksen talousvaikutuksien arvioidaan olevan pieniä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että runkolinjat kattava linjatasoinen avorahastus olisi soveltuva Tampereen seudulle. Myös pysäkkitasoisella avorahastuksella saatettaisiin saavuttaa hyötyjä, mutta koska pysäkkitasoisesta avorahastuksesta on tutkimustietoa hyvin vähän, ei sitä voida varauksetta suositella Tampereen seudulle käyttöönotettavaksi. Pysäkkitasoista avorahastusta voisi kokeilla pilotilla, mikäli linjatasoista avorahastusta ei päädytä ottamaan käyttöön.

8.2. Tutkimuksen arviointi

Tarkasteltaessa kokemuksia avorahastuksesta olisi ollut hyvä saada tarkasteluun myös joku paikkakunta, jossa avorahastuksesta on luovuttu, jotta voitaisiin paremmin arvioida milloin avorahastus *ei* toimi. Tutkimusta tehdessä ei kuitenkaan kyetty löytämään yhtään kaupunkia, jossa olisi kokonaan luovuttu avorahastuksesta.

Avorahastuspilotin kvantitatiivista arviointia tulee pitää vain suuntaa-antavana johtuen datassa mukana olevista kuljettajarahastusautoista, joita ei ollut mahdollista karsia pois datasta. Tuloksista voidaan päätellä avorahastuksen lyhentävän matka-aikoja, muttei täsmällisesti kuinka paljon.

Arvioitaessa avorahastusta Tampereen seudun joukkoliikenteen runkolinjoilla havaintoaineiston niukkuus aiheuttaa epävarmuuksia ja -tarkkuuksia tuloksiin. Ideaalitulanteessa voitaisiin vertailla matkustajapalveluaikoja samoilla menetelmillä ja samassa kalustossa

sekä kuljettaja- että avorahastuksella. Verrattaessa kuljettajarahastusta linjalla 2 ja avorahastusta HSL:n linjalla 550 kalusto oli vertailukelpoista, mutta mittaustavan eroista saattoi aiheutua virheitä. Suurempi puute liittyy kuitenkin arvioinnissa käytettyihin nousijamäärätietoihin, joita oli saatavissa vain neljältä päivältä. Suuremmalla aineistomäärällä arvioiden luotettavuus olisi parantunut ja matkustajamäärien satunnaisvaihtelun merkitys olisi ollut pienempi.

8.3. Jatkotutkimustarpeet

Keskeisin tätä tutkimusta tehdessä ilmennyt jatkotutkimustarve on selvittää, kuinka avorahastus vaikuttaa linja-autopysäkkien ruuhkautumiseen ja sitä kautta linja-auton matka-aikoihin, sillä nykyinen tutkimustieto ei mahdollista pysäkkien ruuhkautumisen vähenemisestä seuraavien matka-aikahyötyjen arviointia. Tutkimustieto aiheesta mahdollistaisi avorahastuksen hyötyjen arvioinnin tarkemmin kuin on nykyisin mahdollista.

Myös pysäkkitasoista avorahastusta olisi syytä tutkia lisää. Nykyään on olemassa teoreettista tutkimustietoa matka- ja pysäkkiaikahyödyistä. Tarkastelemalla pysäkkitasoista avorahastusta tapausesimerkin avulla voitaisiin kuitenkin tutkia mm. ratkaisun selkeyttä matkustajien kannalta sekä tarkastella, vastaavatko arvioidut matka-aikamuutokset käytäntöä.

Jos Tampereen seudulla päätetään ottaa avorahastus käyttöön, olisi mm. matka-aikavaiikutuksia ja matkustajamäärämuutoksia syytä seurata käyttöönottovaiheen aikana ja sen jälkeen. Jos avorahastus otettaisiin käyttöön pysyvästi ja useammalla linjalla, voitaisiin myös liputtomuutta tarkastella muutenkin kuin karkealla arviolla. Todellisten matka-aikamuutosten ja täsmällisyysvaikutusten tarkastelu myös olisi luotettavampaa, mikäli kaikki linja-autot olisivat avorahastusvarusteltuja tarkastelun kohteena olevalla linjalla.

LÄHTEET

- [1] Valtuustokauden tavoitteet ja mittarit. Tampereen strategia 2030. Tampereen kaupunki. N.d. 16 s. Saatavilla: <https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/talous-ja-strategia/strategia/strategia-tiivistetysti.html> (viitattu 11.6.2019).
- [2] Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:23. Helsinki 2019. 2011 s.
- [3] Henkilöliikenteen palveluiden sanasto. Liikennevirasto, liikenteen palvelut -osasto. Helsinki. 2018. 62 s.
- [4] Juhani Bäckström, Leena Gruzdaitis & Markus Holm. Matkalippujen myynti liikennevälineissä. HSL:n julkaisuja 34/2010. HSL Helsingin seudun liikenne. 2010. 67 s.
- [5] Transit Capacity and Quality of Service Manual. TCRP Report 165. Third Edition. Transit Cooperative Research Program. Transportation Research Board. Washington, D.C. 2013. 685 p.
- [6] Herbert S. Levinson, Samuel Zimmerman, Jennifer Clinger, James Gast, Scott Rutherford & Eric Bruhn. Bus Rapid Transit. TCRP Report 90. Volume 2: Implementation guidelines. Transit Cooperative Research Program. Transportation Research Board. Washington, D.C. 2003. 232 p.
- [7] Sergio Jara-Díaz & Alejandro Tirachini. Urban Bus Transport. Open All Doors for Boarding. Journal of Transport Economics and Policy 47(1). 2013. pp. 91–106.
- [8] Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma. Tampereen kaupunki. 2014. 99 s.
- [9] Ahmed El-Geneidy, Dea van Lierop, Emily Grisé, Geneviève Boisjoly, Derrick Swallow, Lesley Fordham & Thomas Herrmann. Get on board: Assessing an all-door boarding pilot project in Montreal, Canada. Transportation Research Part A 99. 2017. pp. 114–124.
- [10] Colin Stewart & Ahmed El-Geneidy. All Aboard at All Doors. Route Selection and running-time Savings estimation for Multiscenario All-Door Bus Boarding. Transportation Research Record 2418. 2014. pp. 39–48.
- [11] Cristina Pronello, Valentina Rappazzo, Jean-Baptiste Gaborieau, Veronica Martino & Alberto Forchino. Effects of the mandatory validation on bus commercial speed: case study in Torino (Italy). Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria. 2018. 10 p.

- [12] Mark Saunders, Philip Lewis & Adrian Thornhill. Research Methods for Business Students. Fifth edition. Pearson Education Limited. Harlow 2009. 614 p.
- [13] G. E. Gorman & Peter Clayton. Qualitative Research for the Information Professional. A Practical Handbook. Lontoo 1997. 287 s.
- [14] Sirkka Hirsjärvi & Helena Hurme. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki 2008. 213 s.
- [15] Sirkka Hirsjärvi, Pirkko Remes & Paula Sajavaara. Tutki ja kirjoita. 22. painos. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Porvoo 1997/2018. 464 s.
- [16] Eila Latvala & Liisa Vanhanen-Nuutinen. Laadullisen hoitotieteellisen tutkimuksen perusprosessi: sisällönanalyysi. Teoksesta: Sirpa Janhonen & Merja Nikkonen (toim.). Laadulliset tutkimusmenetelmät hoitotieteessä. Helsinki 2001. 264 s.
- [17] Charles Taber & Richard Timpone. Quantitative Applications in the Social Sciences: Computational modeling. SAGE Publications. 1996.
- [18] Ammattilaisille. Tampereen seudun joukkoliikenne. N.d. Saatavilla: <http://joukkoliikenne.tampere.fi/ammattilaisille> (viitattu 14.5.2019).
- [19] Kaupunkiymäristön palvelualueen tilinpäätös 2018. Tampereen kaupunki. N.d.
- [20] Joukkoliikenteen palvelutaso 2018–2021. Tampereen kaupunki, Kaupunkiympäristön kehittäminen, Joukkoliikenne. 22.11.2017.
- [21] Vuosikertomus 2018. Tampereen seudun joukkoliikenne. N.d. Saatavilla: <http://joukkoliikenne.tampere.fi/ohjeita-ja-tietoa/julkaisut-ja-lomakkeet/vuosikertomukset.html> (viitattu 17.4.2019).
- [22] Nysse – Tampereen seudun joukkoliikenne. 8 s. N.d. Esite. Saatavilla: <http://joukkoliikenne.tampere.fi/ohjeita-ja-tietoa/julkaisut-ja-lomakkeet/nysse-esite.html> (viitattu 16.5.2019).
- [23] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Sähköpostiviesti 31.5.2019. Tekijän hallussa.
- [24] Digiroad. Väylävirasto. 2019. Paikkatietoaineisto.
- [25] Maastokartta. Maanmittauslaitos. 2015. Paikkatietoaineisto.
- [26] Jelena Vitkovic. Västtraffik. Sähköpostiviesti 26.2.2019. Tekijän hallussa.
- [27] Third Avenue Improvements. King County Metro. 27.3.2019. Saatavilla: <https://kingcounty.gov/depts/transportation/metro/programs-projects/transit-corridors-parking-and-facilities/third-ave-improvements.aspx> (viitattu 17.6.2019).

- [28] Vuosikertomus 2017. Tampereen seudun joukkoliikenne. N.d. Saatavilla: <http://joukkoliikenne.tampere.fi/ohjeita-ja-tietoa/julkaisut-ja-lomakkeet/vuosikertomukset.html> (viitattu 21.12.2018).
- [29] Sumeet Jaiswal, Jonathan Bunker & Luis Ferreira. Influence of Platform Walking on BRT Station Bus Dwell Time Estimation: Australian Analysis. *Journal of Transportation Engineering* 136 (12). 2010. pp. 1173–1179.
- [30] All-Door Boarding Evaluation: Final Report. SFMTA Municipal Transportation Agency. 2014. 25 p.
- [31] Petro Tamminen. One Year of Open Ticket Fare Collection – Preliminary Results. HSL. 2014. Diaesitys. 47 p. Rajoitettu saatavuus.
- [32] Arnoud Mouwen. Drivers of customer satisfaction with public transport services. *Transportation Research Part A* 78. 2015. pp. 1–20.
- [33] Marja Rosenberg, Rikka Rajamäki & Tuuli Järvi. Suurten kaupunkiseutujen joukkoliikenteen kilpailukykyinen palvelutaso. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 55/2007. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2007. 118 s.
- [34] Virpi Kuukka-Ruotsalainen, Simo Airaksinen, Mikko Lehmuskoski, Maija Musto & Pentti Murole. Joukkoliikenteen nopeuttaminen keskeisenä kilpailutekijänä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 53/2007. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2007. 176 s.
- [35] Jarret Walker. *Human Transit. How Clearer Thinking About Public Transit Enrich Our Communities and Our Lives*. Island Press. Washington, D.C. 2012. 243 p.
- [36] Luigi dell’Olio, Angel Ibeas & Patricia Cecin. The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy* 18. 2011. pp. 217–227
- [37] Benedetto Barabino, Sara Salis & Bruno Useli. Fare evasion in proof-of-payment transit systems: Deriving the optimum inspection level. *Transportation Research Part B* 70. 2014. pp. 1–17.
- [38] Ehab I. Diab & Ahmed M. El-Geneidy. Transitory Optimism. Changes in Passenger Perception Following Bus Service Improvement over Time. *Transportation Research Record* 2415. 2014. pp. 97–106.
- [39] Catrien Bijleveld. Fare dodging and the strong arm of the law. An experimental evaluation of two different penalty schemes for fare evasion. *Journal of Experimental Criminology* 3(2). 2007. pp. 183–199.
- [40] Jason Lee. Uncovering San Francisco Muni’s Proof-of-Payment Patterns to Help Reduce Fare Evasion. *Transportation Research Record* 2216. pp. 75–84.

- [41] Edward B. Pollan. Smart Cards and Proof-of-Payment. A Marriage of Necessity. Transportation Research Circular E-C177. 2012. pp. 110–122.
- [42] Laki joukkoliikenteen tarkastusmaksuista 469/1979. Annettu Helsingissä 11.5.1979.
- [43] Gabriele Bonfanti & Thierry Wagenknecht. Human Factors Reduce Aggression and Fare Evasion. Public Transport International 59. 2010. pp. 28–32.
- [44] Pablo Guarda, Patricia Galilea, Susan Handy, Juan Carlos Munõz & Juan de Dios Ortúzar. Decreasing fare evasion without fines? A microeconomic analysis. Research in Transportation Economics 59. 2016. pp. 151–158.
- [45] Rolf Meyer. Herald of Corporate Communications. Bernmobil. Sähköpostihaastattelu 5.2.2019. Tekijän hallussa.
- [46] Oliver Tabbert. Projektipäällikkö. VBZ. Sähköpostihaastattelu. Tekijän hallussa.
- [47] Runkolinjat 550 ja 560 / tilastoja. HSL. N.d. Rajoitettu saatavuus.
- [48] Alexa Delbosc & Graham Currie. Four types of fare evasion: A qualitative study from Melbourne, Australia. Transportation Research Part F 43. 2016. pp. 254–264.
- [49] Arbert R. Hauber. Fare evasion in a European perspective. Studies on Crime and Crime Prevention 2. 1993. pp. 122–141.
- [50] 32 § Sopimus joukkoliikenteen lipputarkastustoiminnasta Helsingin seudun liikenne-kuntayhtymän kanssa. Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikennelautakunta. Pöytäkirja 16.3.2016. s. 13–15.
- [51] Matkalippujen tarkastus – tilasto. HSL, matkalippujen tarkastusyksikkö. N.d. Rajoitettu saatavuus.
- [52] Liikenne- ja viestintäministeriön asetus joukkoliikenteen tarkastusmaksun suuruudesta 932/2018. Annettu Helsingissä 21.11.2018.
- [53] Benedetto Barabino, Sara Salis & Bruno Useli. What are the determinants in making people free riders in proof-of-payment transit systems? Evidence from Italy. Transportation Research Part A 80. 2015. pp. 184–196.
- [54] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Henkilökohtainen tiedonanto 28.1.2019.
- [55] Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma. Tampereen kaupunki. 2014. 96 s.
- [56] Alejandro Tirachini. Estimation of travel time and the benefits of upgrading the fare payment technology in urban bus services. Transportation Research Part C 30. 2013. pp. 239–256.

- [57] Bomin Bian, Ning Zhu, Shuai Ling & Shoufeng Ma. Bus service time estimation model for a curbside bus stop. *Transportation Research Part C* 57. 2015. pp. 103–121.
- [58] Jens West. Boarding and bunching. The impact of boarding procedure on bus regularity and performance. Kungliga Tekniska Högskolan. 2011. Diplomityö. 59 s.
- [59] Guojun Chen, Luoyi Huang, Haode Liu & Xiaoguang Yang. Effects of Bunching at Stops on Bus Dwell Time. *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*. Haag. October 6-9.10.2013. 2013. pp. 1499–1502.
- [60] Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C. 2000. ~1000 p.
- [61] Grant Fletcher & Ahmed El-Geneidy. Effects of Fare Payment Types and Crowding on Dwell Time. Fine Grained Analysis. *Transportation Research Record* 2351. 2013. pp. 124–132.
- [62] Stephen Arhin, Errol Noel, Melissa F. Anderson, Lakeasha Williams, Asteway Ribisso & Regis Stinson. Optimization of transit total bus stop time models. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 2016 3(2). 2016. pp. 146–153.
- [63] Alejandro Tirachini. Bus dwell time: the effect of different fare collection systems, bus floor level and age of passengers. *Transportmetrica A: Transport Science* 9(1). 2013. pp. 28–49.
- [64] Jonathan C. Levine & Gwo-Wei Torng. Dwell-Time Effects of Low-Floor Bus Design. *Journal of Transport Engineering* 120(6). 1994. pp. 914–929.
- [65] Ahmed M. El-Geneidy & Nithya Vijayakumar. The Effects of Articulated Buses on Dwell and Running Times. *Journal of Public Transportation* 14(3). 2011. pp. 63–86.
- [66] Mark Egge, Zhen (Sean) Qian & Amy Silbermann. Effect of Fare Policies on Dwell Time. Case Study for the Pittsburgh region. *Transportation Research Record* 2649. 2017. pp. 20–27.
- [67] Xiaodong Liu, Yao Yang, Meng Meng & Andreas Rau. Impact of Different Bus Stop Designs on Bus Operating Time Components. *Journal of Public Transportation* 20(1). 2017. pp. 104–118.
- [68] Herbert S. Levinson. Analyzing Transit Travel Time Performance. *Transportation Research Record* 915. N.d. pp. 1–6.
- [69] Rajat Rajbhandari, Steven I. Chien & Janice R. Daniel. Estimation of Bus Dwell Times with Automatic Passenger Counter Information. *Transportation Research Record* 1841. 2003. pp. 120–127.

- [70] Duy Q. Nguyen-Phuoc, Graham Curriea, Chris De Gruytera, Inhi Kimc & William Young. Modelling the net traffic congestion impact of bus operations in Melbourne. *Transportation Research Part A* 117. 2018. pp. 1–12.
- [71] Lijun Sun, Alejandro Tirachini, Kay W. Axhausen, Alexander Erath & Der-Horng Lee. Models of bus boarding and alighting dynamics. *Transportation Research Part A* 69. 2014. pp. 447–460.
- [72] Sumeet Jaiswal, Jonathan Bunker & Luis Ferreira. Relating bus dwell time and platform crowding at a busway station. *Proceedings 31st Australasian Transport Research Forum (ATRF)*. Gold Coast. 2008. pp. 239–249.
- [73] Kenneth J. Dueker, Thomas J. Kimpel, James G. Strathman & Steve Callas. Determinants of Bus Dwell Time. *Journal of Public Transportation* 7(1). 2014. pp. 21–40.
- [74] Essential Zurich 2013. (sic) Stadt Zürich, Präsidialdepartement, Statistik Stadt Zürich. 2013. 40 p.
- [75] Zürich - kalliiden autojen joukkoliikennekaupunki. WSP Finland. 2017. Saatavissa: <http://jeeproject.info/tarinat/zurich/> (viitattu 14.5.2019).
- [76] Who we are. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/about-us/zuercher-verkehrsverbund/short-portrait/about-us.html> (viitattu 14.5.2019).
- [77] Transport companies. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/en/index.html> (viitattu 14.5.2019).
- [78] Geschäftsbericht 2017. Sihltal Zürich Uetliberg Bahn SZU AG. 2017. 24 p.
- [79] Organization. ZSG, Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft. 2019. Saatavilla: <https://www.zsg.ch/en/about-us/company/organization> (viitattu 14.5.2019).
- [80] Einsteigen. Ankommen. Geschäftsbericht 2017 der VBG Verkehrsbetriebe Glattal AG. VBG. 2017. 36 p.
- [81] Politische Organisation. Verkehrsbetriebe Zürichsee und Oberland. 2019. Saatavilla: <https://www.vzo.ch/vzo/politische-organisation> (viitattu 14.5.2019).
- [82] Facts and figures. As at 31 December 2016. Postbus. 2016. 4 p.
- [83] VBZ. Stadt Zürich. Saatavilla: <https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/en/index.html> (viitattu 14.5.2019).
- [84] Zone map. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/timetable/zonenplan.html> (viitattu 14.5.2019).

- [85] I would like to buy a ZVV ticket for zone 121 only. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/customer-service/haeufige-fragen-uebersicht/zone121.html> (viitattu 14.5.2019).
- [86] How far can I travel with the short-distance ticket? ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/customer-service/haeufige-fragen-uebersicht/short-distance-ticket.html> (viitattu 14.5.2019).
- [87] Haltestellenfahrpläne. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/timetable/stop-specific-timetable.html> (viitattu 14.5.2019).
- [88] Single ticket. ZVV. 2019. Saatavilla: https://www.zvv.ch/zvv/en/travelcards-and-tickets/tickets/single-ticket.tab-tab_0.html (viitattu 14.5.2019).
- [89] NetworkPass. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/en/travelcards-and-tickets/travelcards/networkpass.html> (viitattu 14.5.2019).
- [90] Kennzahlen. ZVV. 2019. Saatavilla: <https://www.zvv.ch/zvv/de/ueber-uns/geschaeftsbericht/2017/kennzahlen.html> (viitattu 14.5.2019).
- [91] Die Wohnbevölkerung der Stadt Bern 2017. Statistik Stad Bern. 2018. 16 p.
- [92] Kuntien avainluvut. Tilastokeskus. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tup/alue/kuntien-avainluvut.html> (viitattu 14.5.2019).
- [93] Arealstatistik Standard - Gemeinden nach 4 Hauptbereichen. Bundesamt für Statistik. 2016. Saatavilla: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung/gesamtpektrum-regionalen-stufen/gemeinden.assetdetail.1420928.html> (viitattu 14.5.2019).
- [94] Väestönkehitys ikäluokittain. Tampere alueittain. Tampereen kaupunki. 2018. Saatavilla: <https://public.tableau.com/profile/tampereen.kaupunki#!/vizhome/Tamperealueittain/Etusivu> (viitattu 14.5.2019).
- [95] Tampereen suuralueet. Tampereen kaupunki. 2012. Saatavilla: <https://data.tampere.fi/data/dataset/tampereen-suuralueet> (viitattu 14.5.2019).
- [96] Geschäftsbericht 2015. Bernmobil. 2015. Saatavilla: <https://www.bernmobil.ch/file/Unternehmen/Medien/Geschaeftsberichte/Geschaeftsbericht-2015.pdf> (viitattu 14.5.2019).
- [97] Tuomas Palonen. Tälläistä tuli tällä rahalla – Joukkoliikenteen järjestämistavan vaikutus palvelutasoon. Tampereen teknillinen yliopisto. 2017. Diplomityö. 98 s.
- [98] Bern - joukkoliikennepääkaupunki. WSP Finland. 2017. Saatavissa: <http://jeeproject.info/tarinat/bern/> (viitattu 14.5.2019).

- [99] Liniennetz Bern. Bernmobil. 2018. Saatavilla: <https://www.bernmobil.ch/DE/Fahrplan-Netz/Fahrplaene-Netzplan/Netz-Perronplan/> (viitattu 14.5.2019).
- [100] Netzplan mit allen Zonen im Libero-Gebiet. Libero. 2018. Saatavilla: <https://www.bernmobil.ch/DE/Fahrplan-Netz/Fahrplaene-Netzplan/Netz-Perronplan/> (viitattu 14.5.2019).
- [101] The GA travelcard for adults. SBB. Saatavilla: <https://www.sbb.ch/en/travel-cards-and-tickets/railpasses/ga/adults.html> (viitattu 14.5.2019).
- [102] Anschlussbillette. Libero. Saatavilla: <https://www.mylibero.ch/de/billette/anschlussbillette/> (viitattu 14.5.2019).
- [103] Abos & Tickets. Bernmobil. Saatavilla: <https://www.bernmobil.ch/DE/Abos-und-Tickets/Libero-Tarifverbund/Libero-Abos-Tickets/?oid=10114&lang=de> (viitattu 14.5.2019).
- [104] ÖV Plus-App kurz erklärt. Bernmobil. Saatavilla: <https://www.bernmobil.ch/DE/Abos-und-Tickets/Oev-Plus-App/oevplus/> (viitattu 14.5.2019).
- [105] Matleena Lindeqvist, Sampo Kantele & Marko Vihervuori. Raitoliikenteen lippulajitutkimus 2015. HSL:n julkaisuja 12/2016. HSL. 2016. 38 s.
- [106] Tapio Tolmunen. Viisi minuuttia seuraavaan lähtöön, HSL-alueen joukkoliikenteen historia. HSL. Helsinki. 2016. 637 s.
- [107] Joutuisasti runkolinjalla 560. HSL. 2015. Mainosjuliste. Saatavilla: <https://www.hsl.fi/matkaketju/matkaketju-1-2015/runkolinja-560-vie-pian-poikittain> (viitattu 14.5.2019).
- [108] Jaana Juvonen & Sanna Hirvi. Tarkastusesimiehiä. HSL. Haastattelu 11.2.2019.
- [109] HSL:n linjat (kevät 2019). HSL. 2019. Paikkatietoaineisto.
- [110] Jaana Juvonen. Tarkastusesimies. HSL. Sähköpostikeskustelu. Tekijän hallussa.
- [111] Tomi Vasiljev. Avorahastaminen bussiliikenteessä. Hämeen ammattikorkeakoulu. 2017. Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö. 68 s.
- [112] HLJ 2015 – Liikkumistottumukset Helsingin seudulla 2012. HSL:n julkaisuja 27/2013. HSL. 2013. 126 s.
- [113] Census Profile, 2016 Census. Statistics Canada. 2016. Saatavilla: <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm> (viitattu 14.5.2019).
- [114] Usefull info. STM. N.d. Saatavilla: <http://stm.info/en/info> (viitattu 14.5.2019).

- [115] Boarding bus via all doors. STM. N.d. Saatavilla: <http://www.stm.info/en/info/advice/boarding-bus-all-doors> (viitattu 14.5.2019).
- [116] Linjalla 2 kokeillaan keskiovella tapahtuvaa rahastusta. Tampereen seudun joukkoliikenne. 9.1.2019. Saatavilla: <http://joukkoliikenne.tampere.fi/etusivu/linjalla-2-kokeillaan-keskiovella-tapahtuvaa-rahastusta.html> (viitattu 25.6.2019)
- [117] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Sähköpostiviesti 26.2.2019. Tekijän hallussa.
- [118] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Henkilökohtainen tiedonanto 19.3.2019.
- [119] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Sähköpostiviesti 25.4.2019. Tekijän hallussa.
- [120] Tarja Heikkilä. Tilastollinen tutkimus. 5. painos. Helsinki 2004. 327 s.
- [121] Kyselyaineiston havaintojen painottaminen. KvantiMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Tampereen yliopisto. 2008. Saatavilla: <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/painottaminen/painotus.html> (viitattu 14.5.2019).
- [122] Viiden tähden keskusta 2018–2030. Tampereen keskustan kehittämisohjelma 2018–2030. Tampereen kaupunginhallitus 14.5.2018. Tampereen kaupunki, kehitysohjelmat / Viiden tähden keskusta. 2018. 147 s.
- [123] PTV Visum 17. Manual. PTV AG. 2018. 2908 p.
- [124] Hanna Kalenoja. TALLI raportti osa A. 73 s. N.d. Julkaisematon raporttiluonnos.
- [125] EU-hankintailmoitus, erityisalat tarjouspyyntö 221880, Joukkoliikennepalvelut 2/2018. K51 Liite 6 Suoritelaskelma. Tuomi Logistiikka Oy. 21.3.2019.
- [126] Riikka Salkonen. Joukkoliikenneinsinööri. Tampereen seudun joukkoliikenne, Tampereen kaupunki. Sähköpostiviesti 30.1.2019. Tekijän hallussa.

LIITE A: ARVIOIDUT MATKA-AJAN NOPEUTUMISET

Taulukko A-1. Arvioidut matka-ajan nopeutumiset avorahastusta käytettäessä sekunteina lähtötunneittain ja linjoittain lähtöä kohden.

linja ja suunta	lähtötunti																							keskimäärin	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
1 Suupantorille						132	146	91	74					122	133	155	77							119	
1 Vatialaan						67	90	95	49						113	111	96							92	
1A Lentoasemalle								67		134	100	121	174			189	126	70	101	91	89	34		110	
1A Vatialaan	8					81			98	152	108	162	119	143	163			134	83	65	85	38	39	99	
1B Vaittiin				12	49	147	83	88	104	131	152	11	197	123	179	124	92	139	88	110	71	30		113	
1B Vatialaan			9	52	129	154	136	84	119	171	103	183	150		148	150	139	91	89					126	
1C Vaittiin				46	110	171	134	87	156	112	175	196	112	119	110	135	194	110					49	127	
1C Vatialaan				63	100	168	131	117	117	248	133	186	235	132	78	117	135	71	83	59	39			125	
2 Pyynikintorille				7	16	50	40	43	32	41	46	48	50	62	40	39	22	20	12	15	11			35	
2 Rauhaniemeen					11	33	44	27	34	31	60	57	62	63	67	59	48	36	35	31	14	26		43	
3A Lentävänniemeen				47	77	94	103	133	108	89	111	126	124	142	131	148	86	119	80	105	69	31		110	
3A Hervantaan				38	34	94	124	128	104	110	106	99	132	157	126	109	99	97	116	121	70	34		108	
3AK Keskustorille							63	62															25	57	
3AK Hervantaan	12	30		31												73	81						27	57	
3B Lentävänniemeen					47	78	89	98	86	80	111	126	146	122	168	121	92	103	81	80	67	45	37	146	
3B Hervantaan					33	153	181	184	90	120	140	208	243	159	220	117	184	140	144	83	69	67		97	
4 Keskustorille					19	42	75	64	63	59	69	65	53	46	40	60	41	59	30	23	10	11		36	
4 Hervantaan					7	34	53	36	14	23	30	29	46	56	46	49	30	38	31	43	26	16		49	
5 Keskustorille				25	45	76	150			64	86	57	61						33	33	29	19	10	39	
5 Hervantaan								78	26	34	60						34	39	29	43	28	16	18	52	
5T Keskustorille					67	111	128	88	68				124	125	146	110	78	59						102	
5T Taysille				13	54	97	124	95				68	60	77	97	89	58							83	
6 Nalkalaan				18	27	62	107	64	70	56	58	68	63	60	68	69	41	38	33	33	27	9	12	63	
6 Hermialle	2			29	10	36	123	56	66	57	68	74	74	74	85	79	63	69	56	26	32	18	21	55	
8 Haukiluomaan					33	77	134	112	115	90	143	134	155	157	155	111	87	81	64	80	68	25		113	
8 Atalaan				20	35	94	156	105	104	122	151	124	128	118	159	107	113	115	122	109	51	31	20	112	
9A Keskustorille				7	28	46	84	72	69	64	63	62	65	46	44	38	28	35	30	44	21	19	5	39	
9A Annalaan			9		17	8	39	16	19	32	44	31	67	79	60	54	36	34	45	34	15	19	10	49	
9B Keskustorille					6	34	68	82	106	69	81	67	69	53	63	53	26	25	54	19	12	25		42	
9B Annalaan				27		22	47	23	26	26	61	31	60	68	51	48	38	53	57	41	38	17		56	
10 Keskustorille					20	44	78	67	64	57	56	50	62	62	48	42	37	44	40	29	15	14		29	
10 Kaukajärvelle					7	9	22	19	16	20	30	29	49	46	35	35	30	46	30	35	20	14		50	
runkolinjat keskimäärin	8	30		16	27	34	64	96	74	70	69	82	82	97	93	92	77	61	66	54	48	32	24	18	71

Taulukko A-2. *Arvioidut matka-ajan nopeutumiset avorahastusta käytettäessä prosenteina lähtötunneittain ja linjoittain lähtökohtien.*

linja ja suunta	lähtötunti																							keskimäärin	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
1 Suupantorille						3,9	4,3	2,7	2,2					3,6	3,9	4,5	2,2							3,5	
1 Vatialaan						2,1	2,8	2,9	1,5						3,5	3,4	3,0							2,8	
1A Lentoasemalle								1,7		3,4	2,6	3,1	4,5		4,9	3,2	1,8	2,6	2,3	2,3	0,9			2,8	
1A Vatialaan	0,2					2,0		2,5	3,8	2,7	4,1	3,0	3,6	4,1			3,4	2,1	1,6	2,1	1,0	1,0		2,5	
1B Vaittiin				0,3	1,2	3,7	2,1	2,2	2,6	3,3	3,8	0,3	4,9	3,1	4,5	3,1	2,3	3,4	2,2	2,7	1,8	0,7		2,8	
1B Vatialaan			0,2	1,4	3,4	4,0	3,5	2,2	3,1	4,4	2,7	4,8	3,9		3,8	3,9	3,6	2,4	2,3					3,3	
1C Vaittiin					1,1	2,7	4,2	3,3	2,1	3,8	2,8	4,3	4,8	2,8	2,9	2,7	3,3	4,7	2,7				1,2	3,1	
1C Vatialaan					1,6	2,6	4,4	3,4	3,0	3,1	6,5	3,5	4,8	6,1	3,4	2,0	3,1	3,5	1,9	2,2	1,5	1,0		3,3	
2 Pyyntikintorille					0,6	1,2	4,0	3,2	3,4	2,6	3,2	3,6	3,8	3,9	4,9	3,2	3,1	1,8	1,6	0,9	1,2	0,9		2,8	
2 Rauhaniemeen					1,0	3,1	4,1	2,5	3,1	2,8	5,6	5,2	5,7	5,8	6,2	5,5	4,4	3,3	3,3	2,8	1,3	2,4		3,9	
3A Lentävänniemeen				1,4	2,3	2,8	3,1	4,0	3,3	2,7	3,3	3,8	3,8	4,3	4,0	4,5	2,6	3,6	2,4	3,2	2,1	0,9		3,3	
3A Hervantaan				1,2	1,0	2,8	3,7	3,9	3,2	3,3	3,2	3,0	4,0	4,7	3,8	3,3	3,0	2,9	3,5	3,7	2,1	1,0		3,3	
3AK Keskustorille							3,0	2,9																1,2	2,7
3AK Hervantaan	0,6	1,4		1,5												3,5	3,8							1,3	2,7
3B Lentävänniemeen					1,4	2,2	2,6	2,8	2,5	2,3	3,2	3,6	4,2	3,5	4,8	3,5	2,7	3,0	2,3	2,3	1,9	1,3	1,1	4,2	
3B Hervantaan					1,0	4,5	5,3	5,4	2,6	3,5	4,1	6,1	7,1	4,7	6,4	3,4	5,4	4,1	4,2	2,4	2,0	2,0		2,8	
4 Keskustorille					1,6	3,5	6,3	5,3	5,2	4,9	5,7	5,4	4,4	3,8	3,3	5,0	3,4	4,9	2,5	1,9	0,9	0,9		3,0	
4 Hervantaan					0,5	2,5	3,9	2,6	1,0	1,7	2,2	2,1	3,3	4,1	3,3	3,5	2,2	2,7	2,2	3,1	1,9	1,2		3,5	
5 Keskustorille				1,0	1,8	3,1	6,1			2,6	3,5	2,3	2,5							1,4	1,3	1,2	0,8	0,4	1,6
5 Hervantaan									3,7	1,2	1,6	2,8						1,6	1,8	1,4	2,1	1,3	0,8	0,9	2,5
5T Keskustorille					1,9	3,1	3,6	2,5	1,9					3,5	3,5	4,1	3,1	2,2	1,7					2,9	
5T Taysille				0,4	1,8	3,3	4,2	3,2				2,3	2,1	2,6	3,3	3,0	2,0							2,8	
6 Nalkalaan				0,9	1,4	3,1	5,4	3,2	3,5	2,8	2,9	3,4	3,2	3,0	3,5	3,5	2,1	1,9	1,7	1,7	1,4	0,4	0,6	3,2	
6 Hermialle	0,1			1,6	0,6	2,0	6,8	3,1	3,7	3,2	3,8	4,1	4,1	4,1	4,7	4,4	3,5	3,8	3,1	1,5	1,8	1,0	1,1	3,0	
8 Haukiloomaan					1,1	2,5	4,3	3,6	3,7	2,9	4,6	4,3	5,0	5,0	5,0	3,5	2,8	2,6	2,0	2,6	2,2	0,8		3,6	
8 Atalaan				0,6	1,1	3,1	5,1	3,4	3,4	4,0	4,9	4,1	4,2	3,8	5,2	3,5	3,7	3,8	4,0	3,6	1,7	1,0	0,7	3,7	
9A Keskustorille				0,5	2,1	3,4	6,1	5,2	5,0	4,7	4,5	4,5	4,7	3,3	3,2	2,7	2,0	2,5	2,1	3,2	1,5	1,4	0,4	2,8	
9A Annalaan					1,3	0,6	2,9	1,2	1,5	2,4	3,3	2,3	5,1	6,0	4,5	4,1	2,7	2,6	3,4	2,6	1,1	1,4	0,7	3,7	
9B Keskustorille					0,5	2,5	4,9	5,9	7,7	5,0	5,9	4,8	5,0	3,8	4,6	3,9	1,9	1,8	3,9	1,4	0,9	1,8		3,0	
9B Annalaan				2,1		1,8	3,7	1,8	2,1	2,1	4,8	2,4	4,8	5,4	4,0	3,8	3,0	4,2	4,5	3,3	3,0	1,4		4,5	
10 Keskustorille					1,6	3,5	6,2	5,3	5,1	4,6	4,5	4,0	5,0	4,9	3,8	3,3	2,9	3,5	3,1	2,3	1,2	1,1		2,3	
10 Kaukajärvelle					0,5	0,7	1,7	1,4	1,2	1,5	2,3	2,2	3,7	3,5	2,7	2,6	2,2	3,5	2,3	2,7	1,5	1,0		3,8	
runkolinjat keskimäärin	0,4	1,4		0,8	1,0	1,3	2,7	4,4	3,4	3,1	3,0	3,8	3,6	4,2	4,2	4,1	3,6	2,8	2,9	2,5	2,3	1,5	1,0	0,7	3,2

LIITE B: MALLINNUKSEN YKSINKERTAISTUKSET

Yleiset yksinkertaistukset:

- Kahdella linja-autolla ajettavista lähdöistä toista lähtöä ei ole otettu huomioon.
- Ajantasauspisteitä ei ole mallinnettu.
- Vuorot on mallinnettu kuten ne on aikatauluissa esitetty, eikä todellisten autokierrojen mukaan. Tästä syystä esim. linjavariaatioiden 1B ja 1C (jotka muodostavat yhdessä rengassäteittäislinjan) yhteiselle päätepysäkille muodostuu ylimääräisiä vaihtoja.

Linjakohtaiset poikkeukset reiteissä:

- Muita kuin Tampereen seudun joukkoliikenteen linjoja ei ole mallinnettu.
- Linjalla 1A ei ole otettu huomioon Tredun kautta kulkevia m-vuoroja.
- Linjalla 1A 4:40 lähtevä osan matkaa linjan 1B reittiä mukaileva vuoro on mallinnettu tekemällä Lentoasemalta linjan 1B päätepysäkille Vaittiin kulkeva vuoro ja normaali linjan 1B vuoro erikseen. Tästä aiheutuu ylimääräinen vaihto lentoasemalta tuleville matkustajille.
- Linjalla 11C ei ole otettu huomioon aamun j-variaatiota.
- Linjalla 12 ei ole otettu huomioon Nekalan varikon kautta kulkevaa variaatiota.
- Linjalla 50B ei ole otettu erikseen huomioon Postikeskuksen tai Virtakampuksen kautta kulkevia variaatioita.
- Linjalla 71 on mallinnettu vain Nokian asema–Tampere -väli. Linjalla ei ole otettu s-vuoroja erikseen huomioon.
- Seuraavia linjoja ei ole otettu lainkaan huomioon, sillä niiden vaikutuksen tämän työn tuloksiin arvioitiin olevan vähäinen: 41, 42, 44, 49, 73, 77, 78, 83, 84, 85, 87, 91, 92 ja 90

Aikataulutason poikkeukset:

- Seuraavilla linjoilla kaikilla vuoroilla on sama matka-aika: 14T, 45, 46, 55, 58, 63, 72, 73, 79, 86, 95, 115, 137. Näillä linjoilla matka-ajaksi on määritetty kaikkien tuntien lähtöjen painottamaton keskiarvo¹.
- Linjan 1A niillä vuoroilla, jotka ajavat lennoston, on lippu- ja informaatiojärjestelmän näyttämiin matka-aikoihin lisätty aikataulunmukaiset viisi minuuttia matka-aikaa lentoasemalta lennoston, sillä ko. väli ei ole matka-aikaseurannan piirissä.

¹ Jokaisella tunnilla voi olla yksi tai useampi lähtö. Jos tunnilla on useampi lähtö, näyttää lippu- ja informaatiojärjestelmä vain niiden keskiarvon.

- Linjalla 3R matka-ajat on määritelty lippu- ja informaatiojärjestelmään kirjattujen suunnitelmien mukaan, sillä saatavilla olevaa matka-aikatietoa ei pidetty luotettavana.
- Linjalla 8 illan viimeinen vuoro Haukiluoman suuntaan on mallinnettu yhtenä vuorona koko linjan matkalla. Aikataulun mukaan Atala–Keskustori ja Keskustori–Haukiluoma -välit ovat erikseen, mutta vuoro Haukiluomaan lähtee Keskustorilta noin minuutin Atalasta tulevan vuoron saapumisen jälkeen, jolloin ne on tarkoituksemukaista mallintaa yhtenä vuorona.
- Linjalla 26 postikeskuksen kautta kulkevilla vuoroilla matka-aika on sama kuin muillakin kyseisen tunnin vuoroilla.
- Linjalla 31 matka-aikatiedot ovat muista linjoista poiketen aikaväliltä 18.02–14.3., sillä linjan reitti muuttui vuodenvaihteessa.
- Linjan 37 aikatiedot Ryydynpohjan suuntaan ajettaessa perustuvat vain suunniteltuihin matka-aikoihin, sillä havaintoaineistoa ei ollut saatavilla.

Poikkeukset avorahastusta mallinnettaessa:

- Jos aamun ensimmäisille tai illan viimeisille lähdöille ei ollut arvioitu matka-aikamuutosta, oletettiin se samaksi kuin saman vuorokauden ensimmäiset tai viimeiset arvioidut matka-aikamuutokset.
- Jos keskellä päivää jonkin tunnin lähdöille ei ollut arvioitu matka-aikamuutosta, käytettiin keskiarvoa ennen ja jälkeen olevien tuntien matka-aikamuutoksista.
- Linjavariaation 3R suhteelliset matka-aikamuutokset oletettiin samoiksi kuin linjan 3A.
- Linjan 4Y suhteelliset matka-aikamuutokset oletettiin samoiksi kuin illan viimeisen tai aamun ensimmäisen tunnin matka-aikamuutokset linjalla 4.
- Linjan 1A yövuorojen matka-aikojen oletettiin säilyvän ennallaan.