



# **Katutöiden vaikutusten mittaaminen joukkoliikenneviranomaisen näkökulmasta**

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Liikenneala, insinööri (AMK)

Syksy 2023

Eric Korvensyrjä

Liikenneala, insinööri (AMK)

Tekijä Eric Korvensyrjä

Työn nimi Katutöiden vaikutusten mittaaminen joukkoliikenneviranomaisen näkökulmasta

Ohjaaja Ville Turunen (HAMK) ja Alekski Manninen (HSL)

Tiivistelmä

Vuosi 2023

---

Helsingissä, kuten yleisesti muissakin kaupungeissa, on vuosittain useita eri suuruisia katutyöhankkeita, johtuen esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin ylläpidosta ja kehittämisestä, kaupunkirakenteen laajenemisesta, sekä käyttöikänsä päässä olevasta kunnallistekniikasta. Katutyöt vaikuttavat merkittävästi kaupungin toimintoihin, liikkumiseen ja viihtyvyyteen, ja aiheuttavat merkittäviä kustannuksia eri tahoille. Näin ollen myös joukkoliikenneviranomaisen, kuten Helsingin Seudun Liikenne (HSL) on hyvä olla tietoinen katutöiden vaikutuksista, ja pystyä tuottamaan laadukasta joukkoliikennepalvelua myös katutöiden aiheuttaman poikkeustilan aikana.

Tässä työssä tutkittiin HSL:n käytössä olevia joukkoliikenteen seurantaan käytettäviä datalähteitä, ja niiden ominaisuuksia, validiutta ja luotettavuutta sekä hyödyntämisen vaatimia resursseja. Näistä datalähteistä valittiin resurssivaatimuksiltaan tähän työhön sopivampi, josta lähdettiin case-esimerkin omaisesti tutkimaan Mannerheimintiellä maaliskuussa 2023 käynnistynyttä perussparannustyömaata. Toteutuneiden ajoaikojen seuranta on yksinkertaisin tapa tutkia liikenteen sujuvuuden onnistumista, ja aineistosta tehdyt havainnot nojaavatkin vahvasti ajoaikoihin ja niiden ominaisuuksiin. Tämän lisäksi aineistoon tuotiin liikennemääriä Helsingin kantakaupungin läntisiltä sisääntuloväyliltä, jotta voitiin tutkia muun liikenteen vaikutusta työmaan aikana.

Aineistosta ei pystytty havaitsemaan merkittävää määrää katutöiden aiheuttamia poikkeamia, joten keskityttiin tutkimaan ajoaikojen kehitystä muiden tekijöiden vaikutuksesta poikkeuksellisen olosuhteen vallitessa. Aineistosta pystyttiin havaitsemaan eroja liikenteen eri suunnissa ja eri viikonpäivinä, sekä yhteys ajoajan kasvun ja yleisen liikennemäärän kasvun välillä.

Työn loppupäätelmänä suositellaan suorittamaan vaikutusten arviointia vastaavanlaisen työn tuottamiselle kattavammalla ja enemmän resursseja kuluttavalla datamuodolla, sekä tiiviimmän yhteistyön tekemiselle katutöistä vastaavien tahojen kanssa. Lisäksi kehoitetaan tuottamaan yleistä liikenteen seuranta merkittävien katutyöhankkeiden vaikutus alueelta, paremman tutkimustiedon saamiseksi.

Avainsanat Aikataulut, joukkoliikenne, rakennustyömaat

Sivut 58 sivua

Traffic and Transport Management

Author Eric Korvensyrjä

Subject Measuring the Effects of Street Works from the Standpoint of Public Transport Authority

Supervisors Ville Turunen (HAMK) & Aleksi Manninen (HSL)

Abstract

Year 2023

---

In Helsinki, as in many other cities, several street construction projects of various sizes take place annually, due to factors such as the maintenance and development of transportation infrastructure, urban expansion, and the aging municipal infrastructure. Street constructions have significant impact on the city's daily activities, traffic, and livability, and it incurs significant costs for various stakeholders. Therefore, public transportation authorities such as Helsinki Regional Transport (HSL) must be aware of the effects of street construction works and be capable of providing quality public transportation services even during periods of disruption caused by such projects.

In this thesis, the data sources used by HSL for monitoring public transportation are examined for their reliability and validity, in addition to the resources that are needed for their utilization. From these data sources, a more suitable option was selected based on available resources, and it was used as a case example to examine the street construction project that began on Mannerheimintie in March 2023. Monitoring the actual travel times is the simplest way to assess the punctuality and successfulness of public transport journeys, and the observations made from the chosen data rely heavily on travel times and their attributes. Additionally, traffic volumes from the western entry routes to downtown Helsinki were introduced into the dataset to study the impact of other traffic on the construction site during the project.

The data did not reveal a significant number of deviations caused by the construction work. Therefore, the focus shifted to studying changes in travel times due to other factors during the temporary circumstances. Differences in traffic directions on different days of the week were observed, as well as the relationship between travel time increases and general traffic volume growth.

As a concluding recommendation, it is suggested to conduct impact assessments by using more comprehensive and resource-intensive data formats and by establishing a closer collaboration with the parties responsible for street construction. Additionally, it is encouraged that general traffic data is produced by monitoring significant street construction projects to obtain further research insights.

Keywords Construction sites, public transport, timetables

Pages 58 pages

# Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Tutkimusaineistot, -menetelmät ja -kysymykset .....	1
3	Katutöiden nykytilan kuvaus .....	2
4	Katutöiden yhteiskunnalliset vaikutukset .....	9
4.1	Liikenteen hidastuminen ja ruuhkat .....	10
4.2	Ympäristö- ja terveysvaikutukset .....	12
4.2.1	Ilmansaasteet ja pöly .....	12
4.2.2	Melu ja värinä .....	13
4.3	Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset .....	14
4.4	Alueelliset vaikutukset .....	16
4.5	Katutöiden vaikutukset joukkoliikenteelle ja joukkoliikenneviranomaisen toimintaan .....	16
4.5.1	Reitti- ja aikataulumuutokset .....	16
4.5.2	Pysäkkimuutokset ja siirrot .....	19
4.5.3	Ajoaikojen hajonnan kasvu ja viiveet .....	20
4.5.4	Luotettavuuden heikkeneminen .....	23
4.5.5	Vaikutukset matkustajamääriin .....	24
5	Joukkoliikenteestä mitattava tieto .....	24
5.1	Yleisesittely kerättävästä datasta .....	25
5.1.1	High-frequency positioning (HFP) .....	25
5.1.2	"LIJ"-data .....	33
5.2	Validius ja reliabiliteetti .....	34
5.2.1	Validius .....	34
5.2.2	Luotettavuus .....	35
5.3	Ajoikatiedon validiuden ja luotettavuuden arviointi .....	36
5.4	Matkustajatietoihin liittyvät haasteet .....	36
6	Liikennemäärien ja ajoaikojen tarkastelu .....	38
6.1	Matka-ajassa pysyminen päivätasolla .....	39
6.2	Täsmällisyys .....	40
6.3	Matka-ajan trendi .....	42
6.4	Matka-ajan hajonta .....	43
6.5	Liikennemäärät .....	45
7	Havainnot ja tapahtumien aikajana .....	46
7.1	Ajoajan vaihtelu aikataulusuunnittelun näkökulmasta .....	47

7.2	Liikennevirtateorian soveltaminen käytännössä .....	49
7.3	Viikontäiväkohtaiset vaihtelut .....	51
7.4	Kustannusvaikutukset .....	53
8	Yhteenveto.....	54
9	Johtopäätökset ja jatkopohdinnat.....	54
	Lähteet .....	56

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Mannerheimintien perusparannuksen sijainti (Helsingin kaupunki, 2023).....	5
Kuva 2.	Yleiskuvaa Mannerheimintien perusparannuksen työmaalta 17.4.2023. ....	6
Kuva 3.	Keskeiset asiat tietyömaiden liikennejärjestelyjen suunnittelussa. (Väylävirasto, 2021). ....	9
Kuva 4.	Liikennevirran peruskuvaaaja (Luttinen;Pursula;& Innamaa, 2005, s. 54). ....	12
Kuva 5.	Valittujen linjojen matkustajille katutöistä aiheutuneet yhteiskuntataloudelliset lisäkustannukset vuonna syksyllä 2017 (HSL, 2018, s. 14). ....	15
Kuva 6.	Linjan 400 muuttunut reitti (HSL, 2023b). ....	18
Kuva 7.	Linjojen 4 ja 10 muuttunut reitti (HSL, 2023b). ....	19
Kuva 8.	Joukkoliikenteelle työmaista aiheutuneet viiveet pysäkkiväleittäin syksyllä 2017 (HSL, 2018). ....	21
Kuva 9.	Linja 523 ajoajat 14.8.–18.8. 2023 pysäkkivälillä Itäranta (E2026) - Kurkijoentie (E1201).....	22
Kuva 10.	Töölön ja Meilahden alueen linjojen ajamattomat lähdöt viikoittain 2016 & 2017 (HSL, 2018). ....	23
Kuva 11.	Esimerkki HFP-päivityksen sisältämisestä tiedoista, tapahtuman tyyppinä sekunnin välein päivittyvä paikannuspäivitys VP.....	26

Kuva 12. Linjan 300 nopeusprofiili tarkastelualueella 8.5.–12.5. ....	31
Kuva 13. Linjan 300 nopeusprofiili viikolta 19 suhteessa karttakuvaan liikennejärjestelyistä, suunta 1.....	32
Kuva 14. Linjan 300 nopeusprofiili viikolta 19 suhteessa karttakuvaan liikennejärjestelyistä, suunta 2.....	32
Kuva 15. Esimerkki datan sisällöstä linjalta 40 heinäkuulta 2023. ....	34
Kuva 16. Matka-ajassa pysyminen, osuus vuorokauden lähdöistä, suunta 1, arkipäivät aikaväliltä 6.3.2023 – 28.7.2023, yksi pylväs esittää yhtä vuorokautta. ....	39
Kuva 17. Matka-ajassa pysyminen, osuus vuorokauden lähdöistä, suunta 2. ....	40
Kuva 18. Täsmällisyys, osuudet vuorokauden lähdöistä, suunta 1.....	41
Kuva 19. Täsmällisyys, osuudet vuorokauden lähdöistä, suunta 2.....	41
Kuva 20. Matka-ajan kehitys, päivittäinen keskiarvo, suunta 1.....	42
Kuva 21. Matka-ajan kehitys, päivittäinen keskiarvo, suunta 2.....	43
Kuva 22. Matka-ajan päivittäinen keskihajonta, suunta 1. ....	44
Kuva 23. Matka-ajan päivittäinen keskihajonta, suunta 2. ....	44
Kuva 24. Ajoneuvoliikennemäärät läntisen kantakaupungin sisääntuloväylillä, arkipäivät. ....	45
Kuva 25. Ajoneuvoliikennemäärät läntisen kantakaupungin sisääntuloväylillä, arkipäivät, jolloin ei poikkeusaikatauluja linjoilla 40 ja 300.....	46
Kuva 26. Ajoaikojen ja liikennemäärien vaihtelun suhde, sekä tarkasteluajavälin merkittävimmät tapahtumat, liikennemäärän vaihtelu sinisellä, ajoaikojen vaihtelut punaisella (suunta 1) ja vihreällä (suunta 2).....	47
Kuva 27. Ajoaikojen vaihtelu suhteessa liikennemääriin läntisen kantakaupungin sisääntuloväyliin.....	50

Kuva 28. Ajoaikojen keskihajonnan vaihtelu suhteessa läntisen kantakaupungin liikennemääriin.....	51
Kuva 29. Päivätyyppikohtaiset ajoajan keskiarvot, arkipäivät, jolloin normaalin aikataulukauden mukainen liikenne. ....	52
Kuva 30. Matka-ajan keskiarvo ja keskihajonta viikonpäivittäin.....	52
Taulukko 1. Selite HFP-päivityksen sisältämistä tiedoista. ....	26

## 1 Johdanto

Tämän työn tilaajana toimii Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä (lyhyemmin HSL). HSL vastaa joukkoliikennejärjestelmästä yhdeksän Helsingin seudun kunnan (Helsinki, Espoo, Vantaa, Kirkkonummi, Kerava, Kauniainen, Sipoo, Tuusula ja Siuntio) alueella. HSL ei itse omista joukkoliikennekalustoa eikä itsessään tuota joukkoliikennepalvelua, vaan liikenne hankitaan yhteistyökumppaneilta, kuten Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy, VR tai Helsingin Bussiliikenne. HSL kuitenkin vastaa alueensa joukkoliikenteen linjasto-, aikataulu- ja järjestelmäsuunnittelusta ja kilpailutuksesta, järjestää lipunmyynnin ja pyrkii joukkoliikenteen toimintaedellytysten turvaamiseen ja edistämiseen. (HSL, 2023a)

Tämän opinnäytetyön aihe muovautui jo aiemmasta kiinnostuksesta tutkia liikennemäärien vaikutusten mallintamista työmailla, sekä työskentelystä HSL:n linjasto- ja aikataulusuunnittelusta vastaavassa Suunnittelu-yksikössä. HSL kerää kattavasti tietoa järjestämästään liikenteestä, mutta kerätyn tiedon hyödyntämisessä on suuria eroja organisaation eri toimintojen välillä, johtuen esimerkiksi erilaisista tietotarpeista tai eroista yksilöiden tietojenkäsittelytaidoissa. Tiedon saattaminen helpommin saataville tulkittavissa muodoissa nousee usein keskusteluissa esiin puhuttaessa kehityskohteista.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää millä tavoin joukkoliikenteestä kerättävää tietoa voidaan hyödyntää työmaiden vaikutusten arvioinnissa ja mitkä aspektit kerättävästä tiedosta ovat oleellisimpia hyödynnettäviä kyseisessä tilanteessa. Työssä on myös tarkoitus pohtia vuorovaikutusta tiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarvittavien resurssien ja erilaisten tietotarpeiden välillä, keskittyen joukkoliikenteen toimintaedellytyksistä, sekä linjasto- ja aikataulusuunnittelusta vastaavien yksiköiden näkökulmaan.

Työ rajautuu tutkimaan Helsingissä Mannerheimintiellä suunnitelman mukaan vuosina 2023–2025 olevaan katuremontin vaikutuksia. Työn tarkasteluajanjakso on Mannerheimintien perusparannuksen alusta maaliskuusta 2023 heinäkuuhun 2023, (6.3.–28.7.).

## 2 Tutkimusaineistot, -menetelmät ja -kysymykset

Työn lähtökohtana toimii hypoteesi siitä, että liikennemääriltään vilkkaalla katualueella tehtävän katualueen kokonaisvaltaiseen perusparannuksen tähtäävä katutyö aiheuttaa joukkoliikenteelle siinä määrin merkittäviä vaikutuksia, että niitä on mahdollista



joukkoliikenteestä kerättävästä datasta mahdollista tunnistaa. Työssä ei ole tarkoitus vertailla ajanjaksoa ennen katutöiden alkua tai ajanjaksoa katutöiden päättymisen jälkeen, vaan tutkia joukkoliikenteen työmaan aikaisten olosuhteiden muutoksia joukkoliikenteestä mitattavan tiedon avulla. Vaikutuksiltaan suuriksi oletettujen työmaahankkeiden kohdalla tehdään usein joukkoliikenteelle linjasto- ja aikataulumuutoksia jo ennaltaehkäisevästi. Tässä työssä tarkasteltavan Mannerheimintien perusparannuksen osalta tätä prosessia on kuvattu luvussa 3.3, ja tehtyjä toimenpiteitä luvussa 4.5.1.

Työn tutkimusaineistona käytetään HSL:n linjasto- ja aikataulusuunnittelusta vastaavaan yksikön käytössä olevia analytiikkatyökaluja. Näitä tietolähteitä käsitellään tarkemmin luvussa 5. Tämän lisäksi työssä on tarkoitus kartoittaa työmaalla tapahtuvia järjestelymuutoksia seuraamalla katutyöhön liittyviä työmaakokouksia ja pitämällä päiväkirjaa joukkoliikenteeseen vaikuttavista liikennejärjestelymuutoksista.

Työn tutkimusongelma voidaan tiivistää kahteen tutkimuskysymykseen, sekä muutamaaan apukysymykseen:

- Miten työmaiden vaikutuksia joukkoliikenteeseen voidaan mitata joukkoliikenteestä kerättävällä tiedolla?
  - Voidaanko joukkoliikenteestä kerättävällä tiedolla osoittaa työmaihin liittyviä ongelmakohtia?
  - Onko tiedoista nähtävissä tapahtumia, joita ei voida työmaahan liittyvillä seikoilla selittää?
- Mitkä mittarit ovat oleellisimpia mitattavia joukkoliikenteen toimintavaltaisen viranomaisen näkökulmasta?
  - Minkälaisia ovat joukkoliikenneviranomaisen eri toimintojen tietotarpeet, ja minkälaisissa tilanteissa ne ilmenevät?
  - Minkälaisia ongelmakohtia liittyy tiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarvittavien resurssien ja tiedon hyödyntäjän tietotarpeen suhteeseen?

### **3 Katutöiden nykytilan kuvaus**

Helsingissä on vuoden 2023 aikana todennäköisesti ennätysmäärä kaupunkielämään merkittävästi vaikuttavia katutyömaita, uutisoi Helsingin Sanomat kesäkuun alussa 2023 (Takala, 2023). Näihin sisältyy useita tulevaisuuden kannalta merkittäviä hankkeita, kaupungin sujuvuuden ja viihtyvyyden parantamiseen tähtäviä infrastruktuurin kehityshankkeita, kuten Mannerheimintien perusparannus ja kävelykeskustan kehittämis- ja laajentamishanke, sekä suuria uuden liikenneinfrastruktuurin rakennushankkeita, kuten

Kruunusillat-hanke ja Kalasatama–Pasila-raitiotien rakentaminen. Suurten katutyöhankkeiden lisäksi ympäri kaupunkia on lukuisia pienempiä hankkeita kuten siltojen peruskorjausta, puistojen ja aukoiden kunnostusta ja sähköverkkojen ja vesihuollon aikataulun mukaisia ylläpitotöitä (Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala, 2023).

Mahdollisuudet turvalliselle ja tehokkaalle liikenteelle kaupunkiympäristössä ovat merkittävässä roolissa kaupunkien kehityksessä. Erityisen tärkeää on huolehtia katualueilla tehtävien töiden turvallisesta toteuttamisesta, jotta sekä alueella liikkuvien että työntekijöiden turvallisuus taataan. Eri kaupunkiseudut ovat omaksuneet omat ohjeistuksensa katutyömaiden merkitsemiseen ja rakenteiden sijoitteluun, monesti nämä ohjeistukset kuitenkin noudattavat samoja pääpiirteitä. Näihin pääpiirteisiin kuuluvat muun muassa liikenteen ja kulkuväylien turvallisuus, esteettömyys ja liikenteen sujuvuus, sekä vastuutahojen ja yhteystietojen selkeä määrittäminen.

Liikenteen ohjauksen suunnittelu katutöissä on elintärkeää liikenneturvallisuuden kannalta. Töitä tehdessä on huomioitava kaikkien alueella liikkuvien liikennemuotojen reitit. Nämä reitit, sekä mahdolliset väliaikaiset muutokset, on merkittävä riittävän selkeästi, jotta vaaratilanteilta vältytään. Ohjeistuksilla varmistetaan, että työmaan järjestelyt ovat selkeästi nähtävillä ja helposti ymmärrettävissä. Liikennemerkkien tulee kertoa ajoneuvoille ja jalankulkijoille, mitä odottaa työmaata lähestyessä. Selkeät ja asianmukaiset merkinnät auttavat ihmisiä navigoimaan työmaiden läpi turvallisesti ja ilman turhia viivästyksiä.

Katutyöalueilla käytettävien rakenteiden, kuten aitojen, tukien ja jalustojen, tulee olla turvallisia ja esteettömiä. Tämä estää vaaratilanteet, kuten kompastumiset tai törmäykset, ja varmistaa työskentelyn sujuvuuden. Rakenteiden asianmukainen merkitseminen heijastimin ja huomiovärityksellä auttaa niiden havaitsemisessa myös hämärässä ja pimeässä.

Ohjeistuksilla määritellään tarkasti työmaan vastuuhenkilöt ja heidän velvollisuutensa. Tällä varmistetaan, että kaikki tietävät omat vastuualueensa, jotta turvallisuustekijöihin liittyvät vastuut eivät jää epäselviksi. Rakentajan ja rakennuttajan yhteisvastuun korostaminen kannustaa kaikkia työmaan osapuolia huolehtimaan turvallisuudesta.

Työmaiden yhteydessä esillä olevat yhteystiedot auttavat asukkaita ottamaan tarvittaessa yhteyttä työmaan vastuuhenkilöihin tai ilmoittamaan havaitsemistaan vaaratilanteista. Tämä avoimuus ja helposti saatavilla oleva tiedonkulku parantavat työmaan turvallisuutta.

### **3.1 Syyt katutyömaille**

Tarvetta katutyömaille aiheuttavat liikenneinfrastruktuurin ylläpito-, korjaus- ja parannustyöt, kunnallistekniikan uusiminen tai laajentaminen, ja kaupunkirakenteen laajeneminen. On tärkeää huomioida, että vaikka katutyöt voivat aiheuttaa merkittäviäkin haittoja, lähtien liikenteen ruuhkista ja reittimuutoksista, on niiden tarkoituksena parantaa pidemmällä aikavälillä infrastruktuuria, liikenteen sujuvuutta ja kaupunkitilan yleistä viihtyvyyttä.

### **3.1.1 Liikenneinfrastruktuurin ylläpito ja kehittäminen**

Liikenneinfrastruktuuria on ylläpidettävä säännöllisesti, jotta se pysyy kunnossa ja turvallisena käyttää. Tämä sisältää niin katupintojen kuin tukirakenteidenkin ylläpito- ja kunnostustyöt. Suomessa liikenneinfrastruktuurin ylläpito- ja korjaustarvetta kasvattavat erot sääolosuhteissa vuodenaikojen välillä. Ilmastonmuutoksen arvioidaan lisäävän entisestään sääolosuhteiden aiheuttamaa huoltotarvetta esimerkiksi teiden päällysteiden ja siltojen osalta (Tiehallinto, 2009, ss. 62—63).

Liikenteen sujuvuuden parantamiseen tähtäävissä infrastruktuurihankkeissa kaupunkiympäristössä on useimmiten varattava merkittävästi katutilaa työmaan käyttöön aiheuttaen merkittäviä häiriöitä alueen asukkaille ja toiminnoille. Liikenneinfrastruktuurin kehittäminen ei rajoitu pelkästään autoliikenteen tarpeisiin vaan myös esimerkiksi joukkoliikennepysäkkien rakentaminen, raitiotiereittien laajentaminen tai pyöräliikenteen olosuhteiden parantaminen lähes poikkeuksetta vaativat katutöitä. Näissä hankkeissa taustana on usein myös kaupunkirakenteen laajeneminen ja väestömäärän kasvu, vaikka hankkeita toteutetaan paljon myös pelkästään olemassa olevan kaupunkiympäristön liikenneinfrastruktuurin parantamiseksi.

### **3.1.2 Kunnallistekniikan uusiminen ja laajennukset**

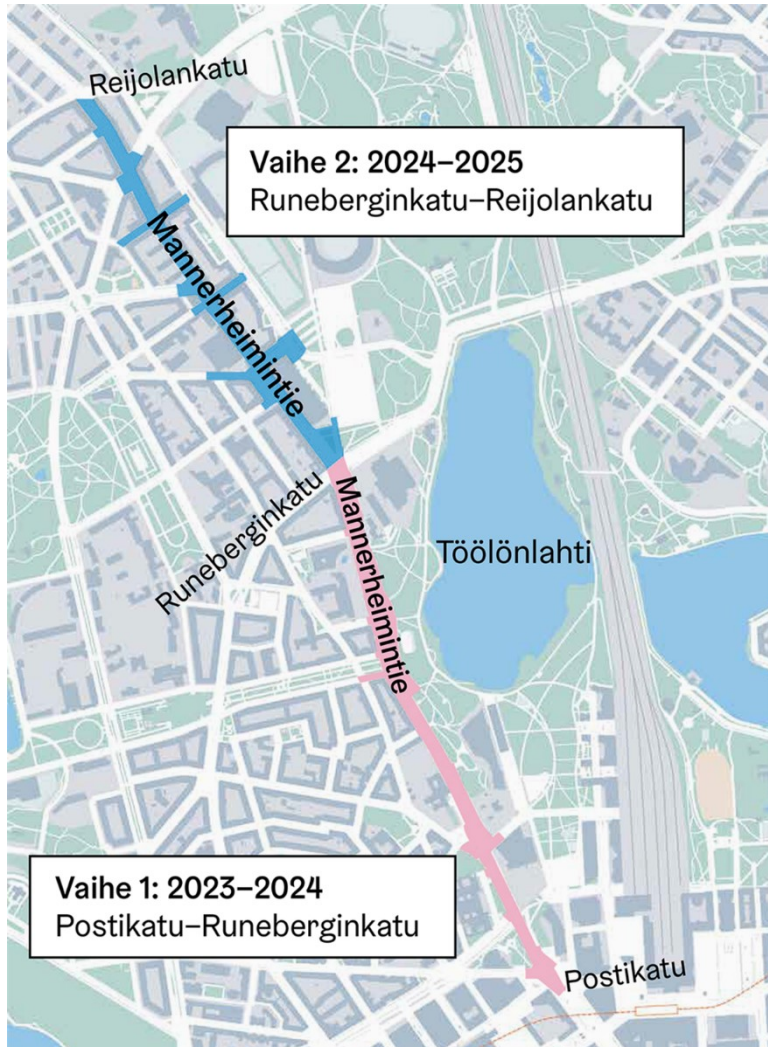
Usein katutöitä tehdään kaupunkien infrastruktuurin, kuten vesi- ja viemärijärjestelmien, sähköverkon, tietoliikennekaapeleiden ja kaasuputkien, asentamiseksi tai korjaamiseksi. Näitä töitä tehdään, kun uusia rakennuksia tai asuinalueita rakennetaan tai kun vanha kunnallistekniikka on tullut käyttöikänsä päähän tai muutoin menee epäkuntoon. Erityispiirteenä epäkuntoon menneestä kunnallistekniikasta johtuville katutöille on niiden nopea suunnittelu- ja toteutusaikataulu.

## **3.2 Mannerheimintien perusparannus**

Mannerheimintien perusparannus on yhdellä keskustan pääkaduista, Mannerheimintiellä, toteutettava rakennusurakka, jossa pääsääntöisesti korjataan ja päivitetään kaikki katualueen rakenteet kadun alla, että pinnalla. Työn sijaintia ja vaiheistusta on kuvattu

kuvassa 1. Periaatteena on suorittaa kaikki kunnallistekniikkaan ja liikenneinfrastruktuuriin liittyvät kaivutyöt yhdellä kertaa, jolloin tarve kaupungin normaalia elämää häiritseville katutöille pienenee. Kuvassa 2 on yleiskuvaa työmaasta Mannerheimintie 40 kohdalta pohjoisen suuntaan.

Kuva 1. Mannerheimintien perusparannuksen sijainti (Helsingin kaupunki, 2023).



Kuva 2. Yleiskuvaa Mannerheimintien perusparannuksen työmaalta 17.4.2023.



Mannerheimintien alla on käyttökänsä päässä olevaa kunnallistekniikkaa, vanhimmat vesihuollon putkistot alueella ovat 1870-luvulta, jotka uusitaan. Myös kaukolämpö- ja kaukojäähdytysputkistoja sekä tele- ja sähköverkostoja alueella uusitaan.

Kaikki katupinnat uusitaan, sisältäen jalkakäytäviä, pyöräteitä sekä ajoratoja. Tämän lisäksi muun muassa valaistuspylväitä, liikennevaloja, opasteportaaleja ja liikennemerkkejä uusitaan. Pyöräliikenteen olosuhteita Mannerheimintiellä parannetaan muuttamalla pyörätiet yksisuuntaisiksi osana kantakaupungin pyörätieverkoston rakentamista. Urakassa on myös tarkoitus uusia Baanan ylittävä Mannerheimintien silta Kiasman ja Pikkuparlamentin välillä. Vuonna 1894 valmistuneen sillan betoniholvirakenne uusitaan, sillä se on huonossa kunnossa, eikä sen kantavuus vastaa nykyvaatimuksia, mutta muuten historiallisesti merkittävä silta tullaan rakentamaan entisen näköiseksi.

Urakassa parannetaan joukkoliikennettä ja uudistetaan raitiotieverkkoa. Urakan aikana rakennetaan uudet kiskot 2,6 kilometrin matkalle ja raitiotien sähköistysjärjestelmiä uusitaan. Parantaa valmiuksia mahdollisia tulevia Vihdintien ja Hämeenlinnanväylän pikaraitioiteitä varten.

Lisätään kuormaus- ja pysäköintipaikkoja Mannerheimintien sivukaduille. Mannerheimintien sivukaduista Ruusankatu, Savilankatu ja Sallinkatu muutetaan yksisuuntaisiksi Mannerheimintielle päin.

Urakassa rakennetaan Hesperianpuistoon ramppi ja portaat, sekä niitä rajaava tukimuuri luonnonkivistä. Mannerheimintietä reunustavat puurivit uusitaan, uudet puurivit on tarkoitus istuttaa kantavammalle kasvualustalle.

### **3.3 Sidosryhmät ja vuorovaikutus näiden välillä**

Katutyömaihin liittyy yleensä useita sidosryhmiä, jotka valvovat omia etujaan katutyömaan osalta. Esimerkkinä, Mannerheimintien perusparannuksen työmaalla toimivat seuraavat sidosryhmät:

- Pääurakoitsija (VM Suomalainen Oy)
- Suunnittelija
- Helsingin kaupunkiympäristön toimiala, mm. seuraavat toiminnot:
  - Rakennuttaja
  - Puisto- ja vihersuunnittelu
  - Geosuunnittelu
  - Pilaantuneesta maaperästä vastaava yksikkö
  - Ulkovalaistus
  - Liikennevalot
  - Viestintä
- Joukkoliikenneviranomainen (HSL)
- Raitiotieinfrastruktuurin haltija (Kaupunkiliikenne Oy)
- Kaukolämpöoperaattori
- Sähköverkko-operaattori
- Teleoperaattorien edustajat (4kpl)

- Kaasunjakeluoperaattori

Isoissa katutyömaahankkeissa hankkeiden suunnittelu ja sidosryhmäkoonpanot ovat usein yksilöllisiä kullekin hankkeelle, sillä suuria hankkeita toteutetaan verrattain vähän verrattuna pienempiin hankkeisiin, joissa yksityiskohtia ja asiaan liittyviä sidosryhmiä on vähemmän. Pienemmissä hankkeissa päätettävien yksityiskohtien, yhteistyötahojen, ja joskus jopa osallistuvien henkilöiden, ollessa samoja ja toisilleen entuudestaan tuttuja, sujuu suunnitteluprosessi usein huomattavasti rutiininomaisemmin.

Työmaan aikana järjestetään usein erilaisia säännöllisiä kokouksia, joihin pyritään osallistamaan eri sidosryhmiä, riippuen kokouksen luonteesta ja tarkoituksesta. Joidenkin sidosryhmien osalta on kuitenkin tarve hoitaa tiedonkulkua myös epäsäännöllisen kokoustamisen ja esimerkiksi sähköpostin kautta. Tiimipäällikkö Juuso Luoto (Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan Projektirakennuttaminen-yksikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 4.8.2023) toteaa sähköpostissaan seuraavaa tiedonkulusta työmaan aikana: ”Tiedonkulkua pitäisi parantaa puolin ja toisin, mutta yhteistä kanavaa ei välttämättä ole.” Luoto jatkaa toteamalla, että urakoitsijat ovat yleensä aina valmiita pitämään katselmuksia eri sidosryhmille, jotta asioita saadaan eteenpäin, usein haastavin osuus tässä prosessissa on saada sidosryhmän edustaja työmaalle.

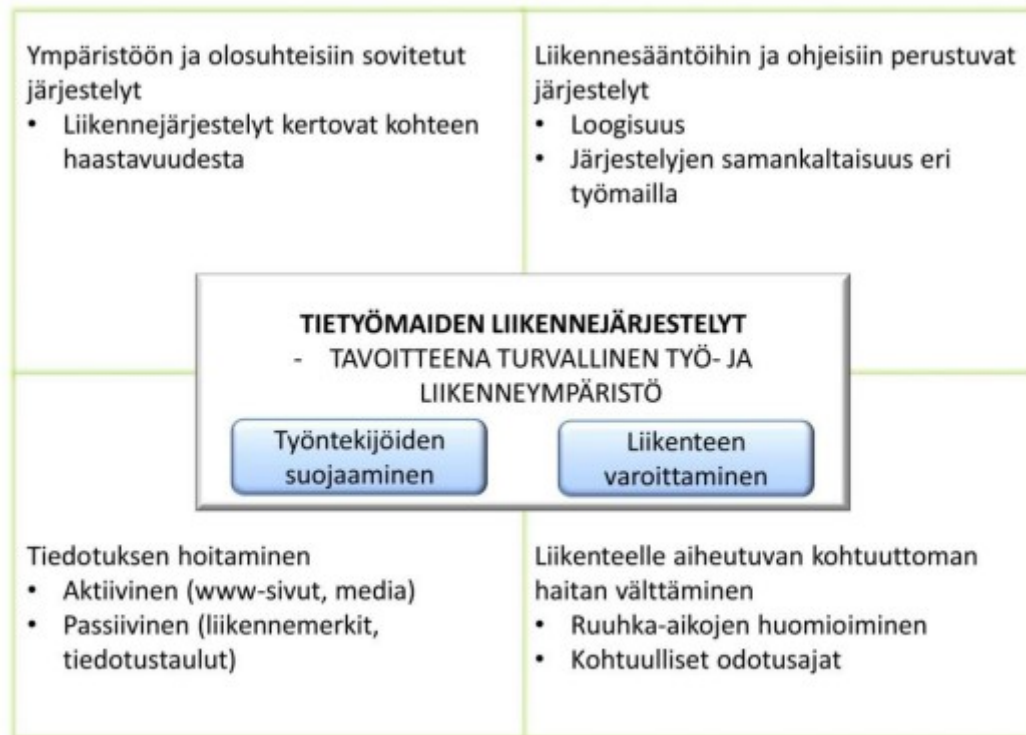
Joukkoliikenneviranomaisen roolissa toimiva HSL on yksi keskeinen sidosryhmä Mannerheimintien perusrakennuksen työmaalla. HSL:n rooli liittyy joukkoliikenteen sujuvuuteen ja toimintaedellytysten valvomiseen niin työmaan aikana kuin valmiissa lopputilanteessakin. Keskeisenä tavoitteena on tuoda esiin joukkoliikenteen matkustajien näkökulmaa varmistaen, että joukkoliikenne säilyy turvallisena ja houkuttelevana liikkumismuotona. HSL pyrkii huomioimaan joukkoliikenteen liikkumisen ja katutilan tarpeita työmaajärjestelyissä, jotta joukkoliikenteen käyttö olisi sujuvaa ja turvallista. Erityistä huomiota kiinnitetään muutosten tiedottamiseen, jotta matkustajat ja liikennöitsijät voivat varautua muutoksiin ajoissa. (Hirvonen, 2022)

### **3.4 Tilapäisten liikennejärjestelyiden periaatteet**

Tilapäisiä liikennejärjestelyitä määrittelevät muun muassa tieliikennelaki ja rakennustyömaiden turvallisuutta koskevat asetukset. Väylävirasto on ylläpitänyt yleistä tietöiden järjestelyihin liittyvää ohjeistusta, jonka kirjoitushetkellä viimeisin päivitetty versio on julkaistu marraskuussa 2021. Kuvassa 3 on tiivistetysti esitetty tietyömaiden liikennejärjestelyiden keskeisimmät periaatteet.



Kuva 3. Keskeiset asiat tietyömaiden liikennejärjestelyjen suunnittelussa. (Väylävirasto, 2021).



Työmaa-aikaista suunnittelua tulisi tehdä tiiviissä yhteistyössä joukkoliikenneasiantuntijoiden kanssa, jotta liikkumisympäristöstä voidaan havaita kaikki merkittävät näkökohdat. Työmaajärjestelyissä on tärkeää varmistaa, että joukkoliikenne toimii sujuvasti, ja erityisesti linja-autojen ja raskaan kaluston tarvitsema tilantarve on otettava huomioon liikennejärjestelyjen suunnittelussa, jotta joukkoliikenne säilyy toimintakykyisenä ja matkustajille mahdollisimman vaivattomana myös työmaan aikana. Tämän lisäksi on esimerkiksi varmistettava pysäkkien ja niille johtavien jalankulkureittien toimivuus ja esteettömyys.

#### 4 Katutöiden yhteiskunnalliset vaikutukset

Katutöiden voidaan lyhyellä aikavälillä katsoa vaikuttavan negatiivisesti kaupunkitilan toimintaan, liikenteeseen ja viihtyvyyteen katutöiden ollessa käynnissä ja puolestaan positiivisesti töiden valmistuttua. Työn aikaiset negatiiviset vaikutukset verrattuna tilanteeseen ennen töiden alkua ovat usein välittömiä ja merkittäviä, mutta ajalliselta kestoaltaan vain väliaikaisia, kun taas positiiviset vaikutukset usein ovat pitkäaikaisempia. Yleisesti voidaan todeta, että edellytyksenä katutyöhankkeen aloittamiselle, että hankkeesta



päättävä taho (esimerkiksi kunta tai kaupunki) kokee oman näkökulmastaan positiivisten vaikutusten kokonaisuuden ylittävän negatiivisten vaikutusten kokonaisuuden.

Tiimipäällikkö Juuso Luoto (Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan Projektirakennuttaminen-yksikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 4.8.2023) huomauttaa sähköpostissaan, kuinka tärkeää töiden oikea-aikainen toteuttaminen on suhteessa vaikutusten arviointiin, käyttöikänsä ylittänyt infrastruktuuri vaikkapa liikenteen tai vesihuollon osalta saattaa hajotessaan aiheuttaa huomattavasti merkittävämpiä haittoja kuin sen huoltamiseen tarvittavat katutyöt aiheuttaisivat. Oikea-aikaisuuden alle voidaan lukea myös suunnitelmallisuus yhteensovittamisessa muiden työmaiden kanssa, sekä esimerkiksi liikenteelle haitallisimpien työvaiheiden tekeminen aikoina, joina liikennettä on mahdollisimman vähän kuten öisin tai kesäloma-aikaan heinäkuussa.

#### **4.1 Liikenteen hidastuminen ja ruuhkat**

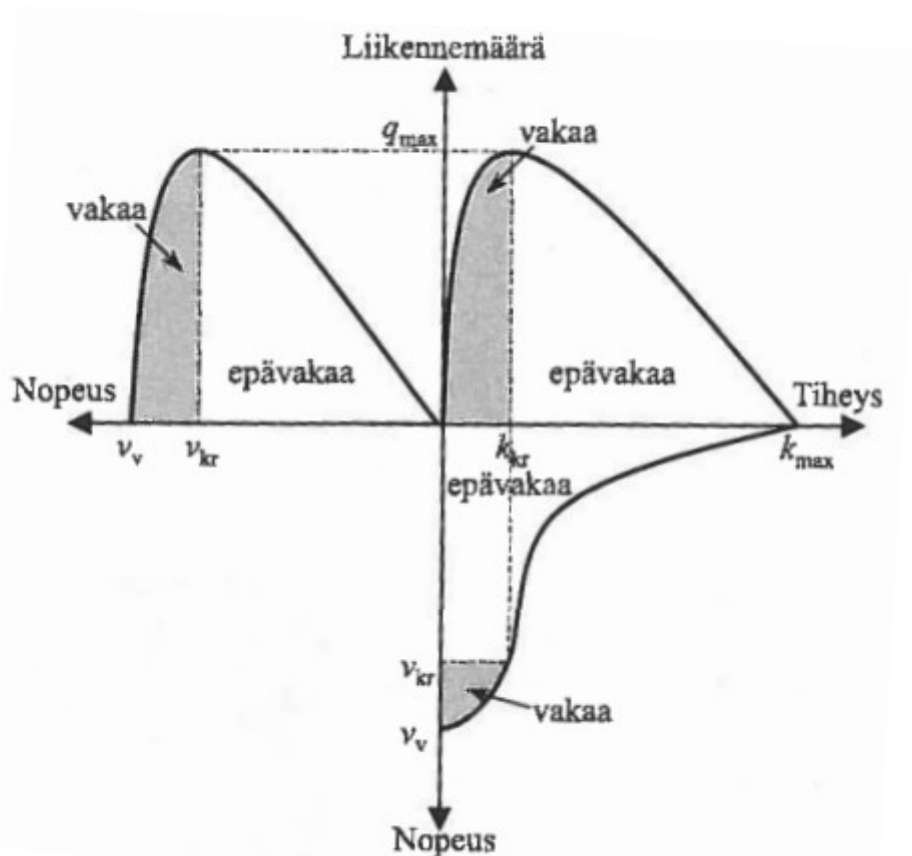
Katutyöt voivat aiheuttaa liikenteen hidastumista ja ruuhkia, mikä vaikuttaa ihmisten päivittäiseen elämään. Pitkät ruuhkat voivat aiheuttaa aikataulujen myöhästymistä ja lisätä stressiä liikenteessä liikkujille.

Tielaitoksen tieliikenteen sujuvuutta tarkastelevassa raportissa todetaan, että tärkein yksittäinen, joskaan ei ainoa, objektiivinen liikenteen sujuvuuden mittari on matka-aika, johon vaikuttavat useat eri tekijät. Nämä tekijät voidaan pääpiirteittäin jakaa kolmeen eri kategoriaan – väylätekijöihin, liikennetekijöihin ja muihin tekijöihin. (Luoma, 1998) Näistä katutyöt vaikuttavat useimmiten heikentävästi niin väylätekijöihin kuin liikennetekijöihinkin, heikentämällä monesti niin tien liikenteenvälityskykyä kuin tien geometrisia ominaisuuksiakin. Näitä sujuvuuteen heikentävästi vaikuttavia tekijöitä pyritään kompensoimaan parantamalla tilannetta muiden tekijöiden osalta, vähentämään mahdollisista liikennemäärää tiedottamisen avulla ja pienentämällä ajoneuvojen nopeushajontaa. Tässä tarkastelumallissa myös laadukkaan liikenteenohjauksen toteuttamisen vaikutus korostuu, sillä heikkolaatuinen tai toteuttamaton liikenteenohjaus johtaa liikenteen sujuvuuden merkittävään heikkenemiseen.

Mittaustulokset ja teoreettiset analyysit ovat osoittaneet liikennemäärän, liikenteen tiheyden ja liikenteen nopeuden väliset riippuvaisuudet kuvan 4 mukaisiksi. Liikennetiheydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä liikenneyksiköiden määrää tien pituusyksikköä kohti (esimerkiksi ajoneuvoa/kilometri). Liikenteen liikennetiheyden kasvaminen vaikuttaa keskimääräiseen liikennevirran nopeuteen. Mitä tiheämpi liikenne on, sitä hitaammin liikenne yleensä virtaa. Kuitenkin erittäin matalilla liikennetiheyksillä, pienen lisäyksen liikennetiheydessä ei välttämättä merkittävästi hidasta liikennevirran keskinopeutta. Kun

liikennemäärä kasvaa, nopeus vähenee tiettyyn pisteeseen saakka, mikä tunnetaan kriittisenä nopeutena ( $v_{kr}$ ). Tämän jälkeen sekä liikennemäärä että nopeus alkavat laskea. Liikennemäärä kasvaa liikennetiheyden kasvaessa aina tiettyyn kriittiseen liikennetiheyteen ( $k_{kr}$ ) asti. Kun liikennetiheys jatkaa kasvuaan, liikennemäärä alkaa laskea. Nopeus alenee vapaan nopeuden arvosta ( $v_v$ ) liikennetiheyden kasvaessa ja laskee lopulta nolnaan, kun liikennetiheys saavuttaa maksimiarvonsa ( $k_{max}$ ). Suurilla liikennetiheyksillä, kun liikennetiheyden ( $k$ ) arvo ylittää kriittisen liikennetiheyden ( $k_{kr}$ ), ollen kuitenkin pienempi kuin liikennetiheyden maksimiarvo ( $k_{max}$ ), keskimääräinen nopeuden aleneminen on suhteellisesti suurempi kuin tiheyden kasvu. Tässä tilanteessa liikennemäärä ( $q=kv$ ) laskee alle tien välityskyvyn, jolloin pienetkin häiriöt voivat tehdä liikennevirrasta epävakaan ja liikenne ei enää liiku tasaisesti. On kuitenkin huomioitava, että liikenne ei todellisuudessa noudata mallia täysin tarkasti, vaan ulkopuolisista tekijöistä johtuvia poikkeamia esiintyy. (Luttinen;Pursula;& Innamaa, 2005)

Kuva 4. Liikennevirran peruskuvaaja (Luttinen;Pursula;& Innamaa, 2005, s. 54).



## 4.2 Ympäristö- ja terveysvaikutukset

Katutyöt voivat aiheuttaa ympäristöhaittoja, kuten ilmansaasteita ja melua. Työmailla käytettävät raskaat koneet ja ajoneuvot voivat aiheuttaa päästöjä ja heikentää ilmanlaatua. Lisäksi katutyöt voivat aiheuttaa meluhaittoja asukkaille, erityisesti jos työt tehdään öisin tai viikonloppuisin. Pöly, melu ja liikenteen aiheuttama saastuminen voivat vaikuttaa ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Tämä voi lisätä terveydenhuollon kustannuksia ja heikentää yleistä elämänlaatua.

### 4.2.1 Ilmansaasteet ja pöly

Rakennusteollisuus RT-liittoyhteisön tilaamassa Gaia Consultingin selvityksessä todetaan, että infrarakentamisen maanrakennustöiden työkonoiden polttoaineiden päästöt ovat vuosittain noin 492 ktCO<sup>2</sup> hiilidioksidiekvivalentilla mitattuna. Lisäksi infrarakennustyömaihin liittyvien kuljetusten päästöt ovat noin 348 ktCO<sup>2</sup> (Gaia Consulting, 2020). Vertailun vuoksi mainitaan, että liikenteen kokonaispäästöt Suomessa olivat vuonna 2021 noin 10110 ktCO<sub>2</sub> (Traficom, 2022).

Infratyömailla käytettävän kuljetuskaluston, työkoneiden ja muiden koneiden polttoaineista aiheutuu myös muita päästöjä, kuten pienhiukkaset (PM), typpioksidit (NO<sub>x</sub>) ja hiilivedyt (HC) (Luoto, 2022). Pienhiukkaset, erityisesti alle 2,5 mikrometrin halkaisijaltaan olevat hiukkaset (PM<sub>2.5</sub>), voivat aiheuttaa vakavia terveyshaittoja, erityisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön sairauksista kärsiville. Typen oksidit, erityisesti typpidioksidi (NO<sub>2</sub>), voivat myös vaikuttaa haitallisesti terveyteen, erityisesti herkkien ryhmien, kuten hengitystiesairaiden kohdalla (Ilmatieteen laitos, n.d.). Lisäksi hiilivedyt voivat sisältää orgaanisia yhdisteitä, jotka kuuluvat karsinogeenien ryhmään, eli syöpää aiheuttaviin aineisiin (VTT, 2021).

Rakennustyömaat toimivat paikallisina pölynlähteinä, aiheuttaen huomattavia pölyhaittoja ympäröiville alueille. Tekijät, kuten työmaalla suoritettavat toimenpiteet, etäisyys pölyhaitan kohteeseen, maaperän laatu ja sääolosuhteet, vaikuttavat merkittävästi pölyhaitan voimakkuuteen. Työmaaliikenne edesauttaa pölyn leviämistä ympäröiviin alueisiin, lisäten pölyhaittoja. Näkyvät hiukkaset aiheuttavat likaantumista ja vaikuttavat alueen viihtyvyyteen. Pienemmät hiukkaset (PM<sub>10</sub>), aiheuttavat terveyshaittoja, tunkeutuen keuhkoihin ja aiheuttaen hengitys- ja verenkiertoon liittyviä ongelmia. Erityisesti hengitys- ja sydänsairauksista kärsivät sekä lapset ovat riskiryhmiä. Työmaapölyn torjumiseksi suositellaan kostutusta kuivalla säällä, pölyävien pintojen peittämistä, ja yleistä siisteyttä työmaalla (Helsingin kaupunki, 2010).

#### **4.2.2 Melu ja värinä**

Melu on epämiellyttävää tai häiritsevää ääntä, joka voi olla kuuloa haittaavaa. Yksilöiden kokemus melusta vaihtelee äänen voimakkuuden, taajuuden, altistumisajan, paikan ja henkilön meluherkkyyden mukaan (THL, 2023). Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista määrittelee, ettei melutason keskiarvo saa ylittää päiväaikana 55 dB ja yöaikaan 50 dB (Valtioneuvoston päätös 993/1992).

Melulla on monenlaisia haitallisia vaikutuksia. Se vaikeuttaa keskittymistä, suoriutumista tehtävistä ja voi vaikuttaa negatiivisesti kielikehitykseen, oppimiseen ja muistiin erityisesti lapsilla. Melu häiritsee unta, vaikeuttaen nukahtamista ja aiheuttaen heräämisiä, mikä vaikuttaa sydämen toimintaan, verenpaineeseen ja aivosähkökäyrään. Pitkäaikainen altistuminen melulle voi lisätä sydänsairauksien riskiä ja vaikuttaa psyykkiseen terveyteen, aiheuttaen stressireaktioita ja vaikeuttaen negatiivisesti henkiseen hyvinvointiin. Melulla on myös havaittu yhteys sydän- ja verisuonisairauksiin, masentuneisuuteen ja ahdistuneisuuteen, vaikka tarkka vaikutusmekanismi ei ole vielä täysin selvä. Katutyömaiden melun häiritsevyys riippuu monista tekijöistä, kuten työvaiheista, etäisyydestä työmaahan ja käytetystä välineistöstä (THL, 2023).

Tärinä on aaltoliikettä, joka leviää kiinteän väliaineen kautta, muistuttaen ääntä fysikaalisesti. Ihminen havaitsee sen yleensä tuntoaistin avulla, mutta se voi myös saada esimerkiksi asunnon irtaimiston värähtelemään ja tuottaa kuultavaa ääntä. Tärinä voi aiheuttaa haittoja, kuten rakenteiden vaurioita ja laitteiden toimintahäiriöitä. Ihmisille se voi tuottaa epämiellyttäviä tuntemuksia ja stressireaktioita, vaikka ääntä ei olisikaan. Katutyömaiden tärinä riippuu toimenpiteistä ja maaperästä, ja erityisesti pehmeämmällä maaperällä haitat voivat olla suurempia. Tärinän leviämistä voidaan vähentää tekemällä louhintatyöt poraamalla ja hydraulisesti kiilaamalla räjäyttämisen sijasta. (Väylävirasto, 2023)

### **4.3 Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset**

Katutöillä voi olla merkittäviä taloudellisia vaikutuksia. Liikenteen hidastuminen ja ruuhkat voivat johtaa tuottavuuden laskuun, kun yritysten toiminta hidastuu ja kuljetukset viivästyvät.

Katutyöt voivat aiheuttaa häiriöitä yrityksille, erityisesti jos niiden sijainti tai asiakasvirta riippuu vahvasti liikenteestä tai kävelykaduista. Asiakkaiden vaikeudet päästä yrityksiin voivat johtaa myynnin laskuun ja taloudellisten tappioiden syntymiseen. Lisäksi työmaiden melu ja pöly voivat aiheuttaa haittaa lähiympäristössä sijaitseville yrityksille.

Katutyöt voivat vaikuttaa alueen kiinteistöjen arvoon ja houkuttelevuuteen. Epävarmuus ja häiriöt voivat estää yrityksiä ja yksityishenkilöitä tekemästä investointeja kyseiselle alueelle. Tämä voi hidastaa taloudellista kehitystä ja estää alueen potentiaalin täysimääräisen hyödyntämisen.

Katutyöt voivat aiheuttaa lisäkustannuksia niin kaupungille kuin yksityisille toimijoille. Esimerkiksi työmaiden viivästymisestä johtuva aikataulun ylitys voi lisätä kustannuksia. Lisäksi väliaikaiset liikennejärjestelyt, kuten opasteet ja liikenteenohjaus, voivat aiheuttaa kustannuksia. Kuvassa 5 on arvioitu vuonna 2017 olleiden katutöiden yhteiskuntataloudellisia lisäkustannuksia Helsingin Mannerheimintietä, Runeberginkatua tai Nordenskiöldinkatua kulkevien linjojen (yhteensä 46 linjaa) matkustajille. Linja-automatkustajan keskimääräiseksi aikakustannukseksi on oletettu laskennassa 8,94 €/h.

Kuva 5. Valittujen linjojen matkustajille katutöistä aiheutuneet yhteiskuntataloudelliset lisäkustannukset vuonna syksyllä 2017 (HSL, 2018, s. 14).

	Syksy 2017 keskimäärin		Viikko 40/2017 keskimäärin	
	Yhteiskuntataloudelliset kustannukset ajoaikaviiveistä	Yhteiskuntataloudelliset kustannukset ajamattomista lähdöistä	Yhteiskuntataloudelliset kustannukset ajoaikaviiveistä	Yhteiskuntataloudelliset kustannukset ajamattomista lähdöistä
Talviarkivuorokausi	26 400 €	400 - 800 €	43 800 €	3 300 - 6 600 €
Talviliikenteen viikko	160 000 €	2400 - 4800 €	260 000 €	19 800 - 39 600 €
Talviliikenteen kuukausi	690 000 €	10 400 - 20 800 €	1 140 000 €	85 800 - 171 600 €
Kalenterivuosi	7 900 000 €	120 000 - 240 000 €	13 100 000 €	990 000 - 1 980 000 €

HSL:n vuonna 2018 julkaisemassa raportissa todetaan, että syksyn 2017 aikana työn tarkastelualueella Helsingin Töölössä katutöistä aiheutui HSL:n sopimusliikenteen linja-autoille ylimääräistä ajoaikaa yhteensä noin 13 000 h, joka tarkoittaa 33 000–39 000 litran ylimääräistä dieselin kulutusta, joka rahaksi muutettuna on noin 40 000–50 000 euroa. Laskelman perusteena on toiminut olettaus siitä että linja- ja kuorma-autojen keskimääräinen polttoaineen kulutus tyhjäkäynnillä on noin 2,5–3 litraa tunnissa moottorityypin mukaan. Keskimääräisellä kaupunkibussilla dieselin hiilidioksidiekvivalenttipäästöksi on oletettu noin 2,36 kg/litra, joten työmaista oletetaan aiheutuneen yhteensä noin 80–92 tonnin ylimääräiset hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. (HSL, 2018, s. 17) Vertailun vuoksi, pääkaupunkiseudun linja-autoliikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2017 noin 98 000 hiilidioksidiekvivalenttitonnia (noin 7,1 % liikenteen kokonaispäästöistä) ja vuonna 2022 noin 47 000 hiilidioksidiekvivalenttitonnia (noin 3,8 % liikenteen kokonaispäästöistä) (HSY, 2023).

Katutöiden voidaan katsoa vaikuttavan jossain määrin alueelliseen turvallisuuteen, Alankomaissa tehdyssä tutkimuksessa (Weijermars & Spittje, 2008), jossa analysoitiin tie- tai katutöiden yhteydessä tapahtuneiden kuolemaan tai vakavaan loukkaantumiseen johtaneiden liikenneonnettomuuksien poliisiraportteja, todettiin että vain noin joka kolmannessa tarkastellussa tapauksessa onnettomuus tapahtui ilman minkäänlaista työmaan myötävaikutusta. Alankomaalaistutkimus myös toteaa, että kaupunkialueilla katutöiden ei voi katsoa vaikuttavan eri onnettomuustyyppien jakaumaan, toisin kuin esimerkiksi maaseudun teillä, joissa peräänajon osuudet onnettomuuksista kasvoivat noin kaksinkertaisiksi. Työmaat vaikuttavat konkreettisen turvallisuuden lisäksi myös koettuun turvallisuuteen, jonka kokeminen on hyvin yksilöllistä henkilöstä ja olosuhteista riippuen. Lähtökohtana kuitenkin on, että työmaa ja sen liikennejärjestelyt toteutetaan lainsäädännön ja paikallisen ohjeistuksen mukaisesti, ja niin, ettei onnettomuuksia synny.

## 4.4 Alueelliset vaikutukset

Katutöiden aikana asukkaat ja paikalliset yritykset voivat kokea merkittäviä haittoja. Esimerkiksi työmaiden aiheuttama melu ja pöly voivat häiritä asukkaiden elämää. Lisäksi katutöiden aikana kadunvarsipysäköinti voi olla rajoitettua tai jopa estettyä, mikä voi vaikuttaa paikallisten yritysten asiakasmääriin. Konkreettisenä esimerkkinä Mannerheimintien katutöiden vaikutuksista paikallisiin yrityksiin on paikallisen kahvilayrittäjän esittämät vahingonkorvausvaateet Helsingin kaupungille liittyen katutöiden yritykselle aiheuttamiin haittoihin (Palkoaho, 2023).

Katutyöt voivat vaikuttaa myös turvallisuuteen. Työmailla voi olla potentiaalisia vaaratekijöitä, kuten kaivantoja tai epätasaisia pintoja, jotka voivat aiheuttaa loukkaantumisriskejä. Lisäksi liikenteen ohjauksjärjestelyt voivat aiheuttaa hämmennystä ja lisätä onnettomuusriskiä.

## 4.5 Katutöiden vaikutukset joukkoliikenteelle ja joukkoliikenneviranomaisen toimintaan

Kuten kaikkeen muuhunkin liikenteeseen, vaikuttavat katutyöt joukkoliikenteeseen useimmiten heikentävästi. Joukkoliikenteessä matkaketjujen toimivuus ja sujuvuus korostuvat erityisesti, sillä joukkoliikenne harvoin tarjoaa ”ovelta ovelle”-ratkaisua, vaan matkoihin usein sisältyy vähintään lyhyt kävelymatka lähimmälle joukkoliikennepysäkille. Tämä tarkoittaa myös joukkoliikenneviranomaisen näkökulmasta erilaisia toimenpiteitä, jotta matkustajien matkustusmahdollisuudet säilyvät myös poikkeustilanteiden, kuten katutöiden ollessa käynnissä.

Katutöiden aikana joukkoliikenteen reittejä ja aikatauluja voidaan joutua muuttamaan, johtuen tavanomaisen aikataulu- ja reittisuunnittelukauden ulkopuoliseen suunnittelutarpeeseen. Katutyöt voivat vaikuttaa joukkoliikenteen pysäkkeihin, ja niitä saatetaan joutua siirtämään tai poistamaan väliaikaisesti. Katutyöt saattavat aiheuttaa odottamattomia viiveitä, aiheuttaen hajontaa ajoajoissa, jolloin liikenteen suunnittelu muuttuu haastavaksi ja toimivia matkaketjuja muodostuu vähemmän.

### 4.5.1 Reitti- ja aikataulumuutokset

Katutöiden aikana joukkoliikenteen reittejä saatetaan joutua muuttamaan. Kadut voivat olla suljettuja tai rajoitettuja, mikä voi vaikuttaa bussien, raitiovaunujen tai muiden joukkoliikennevälineiden reitteihin. Tämä voi aiheuttaa reittimuutoksia ja pidempiä matka-

aikoja matkustajille. Lisäksi aikatauluja voidaan muuttaa, jotta voidaan sopeutua liikenteen rajoituksiin ja ruuhkiin.

Työmaiden takia tehtävien reitti- ja aikataulumuutosten vastuutahot HSL:n sisällä määräytyvät poikkeusjärjestelyiden laajuuden perusteella, riippuen vahvasti esimerkiksi siitä tarvitaanko muutokselle toimitusjohtajan reittimuutospäätös tai uudet aikataulukaaviot. Prosessille ei varsinaisesti ole olemassa yksiselitteisiä toimintaohjeita, vaan menettely nojaa vahvasti vastuussa olevien asiantuntijoiden harkintaan ja hyväksi havaittuihin käytäntöihin.

Aikataulukaaviomuutoksia tarvitaan, jos työmaan aiheuttamien viiveiden tai työmaan takia pidentyvän reitin oletetaan aiheuttavan linjan kierrosajan kasvamista yli suunnitellun ylärajan, joskin yleisenä käytäntönä on pidetty, että tästä voidaan poiketa, jos vaikutus on vain rajatulla määrällä lähtöjä (useimmiten aamu- ja iltapäiväruuhkan lähdöt) muutaman vuorokauden ajan. Jos työmaasta johtuva reittimuutos nostaa liikennöintikohteen kuukausitason kokonaiskilometrimäärää yli 3 %, vaatii se uudet aikataulukaaviot ja reittipituuden päivityksen liikennöintikorvausten laskentaa varten. Liikennöintikohteella tarkoitetaan tässä yhteydessä linjaa tai linjakokonaisuutta, joka on kilpailutettu yhden liikennöintisopimuksen alle.

Selkeimpiä tapauksia ovat linjastosuunnitelmatasolla tehdyt pysyvät reittimuutokset, sillä ne tulee olla vahvistettu joko HSL:n hallituksen toimesta osana liikennöinti- tai linjastosuunnitelmaa, tai erillisellä toimitusjohtajan reittimuutospäätöksellä. Muun muassa osallisuussyistä pysyvät reittimuutokset on vahvistettava osana isompaa suunnitelmaa tai erillisellä reittimuutospäätöksellä, riippumatta reittimuutoksen odotettujen vaikutusten laajuudesta. Myös jos työmaan takia tehtävällä aikataulukaaviomuutoksella on vaikutusta joukkoliikenteen palvelutasoon tai merkittäviä kustannusvaikutuksia on se hyväksyttävä reittimuutospäätöksellä. Jos työmaan päättymisajankohta on reittimuutospäätöksen hetkellä vasta karkea arvio, voidaan päätökseen kirjata huomautus tästä, jolloin reittimuutospäätöstä ei tarvitse päivittää työmaa-aikataulujen eläessä.

Mannerheimintien perusparannus työmaan takia 6.3.2023 alkaen bussilinjat 63, 212, 213 ja 400 siirtyivät kulkemaan Runeberginkadun kautta. Samalla linjan 400 päätepysäkki siirtyy Elielinaukiolta Kampin terminaaliin (Kuva 6). Mannerheimintiellä säilyneiden linjojen 40, 200, 300, 321, 345(N) ja 431(N) ajoaikaa lisättiin ja aikatauluihin tehtiin muutoksia, jotta työmaan viivevaikutuksia saatiin vähennettyä. Raitiovaunulinjat 4 ja 10 siirtyivät pois Mannerheimintieltä Töölöön, pidentäen linjojen ajoaikaa Lasipalatsin ja Oopperan välillä noin viidellä minuutilla (Kuva 7). Samalla linjojen vuoroväli harvennettiin kahdeksasta minuutista

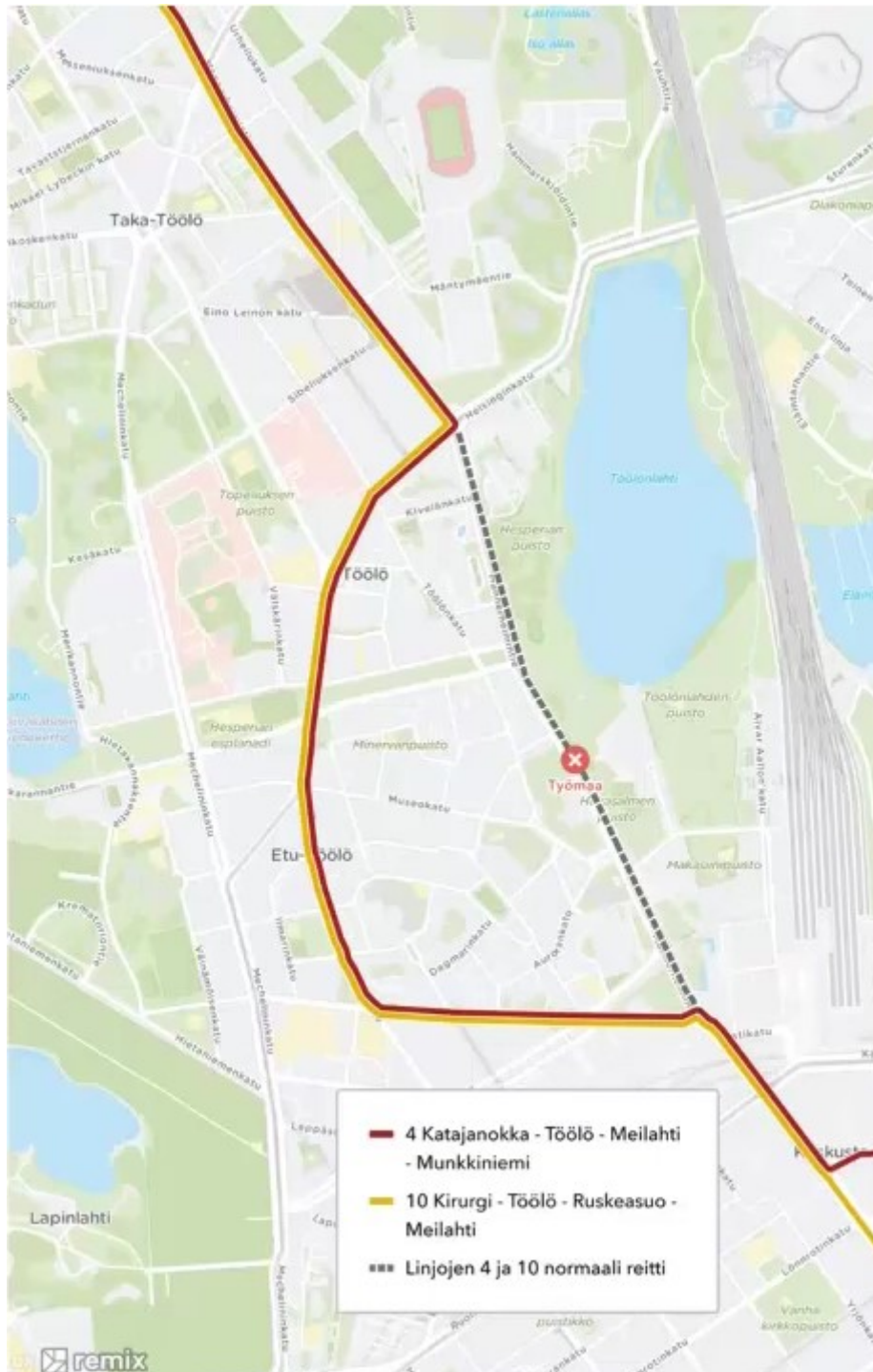


kymmeneen minuuttiin, jotta ne tahdistuvat paremmin muihin Töölössä ajaviin raitiotielinjoihin.

Kuva 6. Linjan 400 muuttunut reitti (HSL, 2023b).



Kuva 7. Linjojen 4 ja 10 muuttunut reitti (HSL, 2023b).



#### 4.5.2 Pysäkkimuutokset ja siirrot

Katutyöt voivat vaikuttaa joukkoliikenteen pysäkkeihin. Pysäkkejä saatetaan joutua siirtämään väliaikaisesti tai kokonaan poistamaan tietyltä alueelta työn ajaksi. Tämä voi

aiheuttaa hankaluuksia matkustajille, jotka joutuvat etsimään uusia pysäkkejä tai tekemään pidempiä kävelymatkoja. Yksittäisistä pysäkkimuutoksista ei tarvita toimitusjohtajan reittimuutospäätöstä.

#### **4.5.3 Ajoaikojen hajonnan kasvu ja viiveet**

Katutöiden seurauksena liikenne voi hidastua ja ruuhkat voivat lisääntyä. Tämä vaikuttaa myös joukkoliikenteeseen, kun bussit, raitiovaunut ja muut joukkoliikennevälineet viivästyvät ruuhkassa. Lisääntyneet ruuhkat voivat myös vaikuttaa joukkoliikenteen aikataulujen noudattamiseen ja luotettavuuteen.

HSL:n vuonna 2018 julkaisemassa raportissa tutkittiin syksyllä 2017 Helsingin Töölössä tapahtuneiden katutöiden vaikutuksia 46 Mannerheimintietä, Runeberginkatua tai Nordenskiöldinkatua kulkeneella linjalla. Koko syksyn tarkasteluajanjaksolla tarkastelluille linja-autoille aiheutui keskimäärin 13,9 sekunnin viive ja suurimmat viiveet syntyivät viikolla 40, jolloin tarkastelluille linja-autoille aiheutui keskimääräisenä arkipäivänä kaikilla tarkastelualueen pysäkkiväleillä keskimäärin 24,5 sekunnin viive. On huomioitava, että tässä ovat kyseessä keskiviiveet koko tarkastelualueelta ja -ajalta, jolloin voidaan olettaa, että vaikutus yksittäisen matkustajan yksittäiselle matkalle voi olla jopa monikymmenkertainen keskiarvoihin nähden. Jo eri katuosuuksilla/pysäkkiväleillä välillä on merkittäviä eroja, kuten voidaan kuvasta 8 huomata. (HSL, 2018, s. 5)

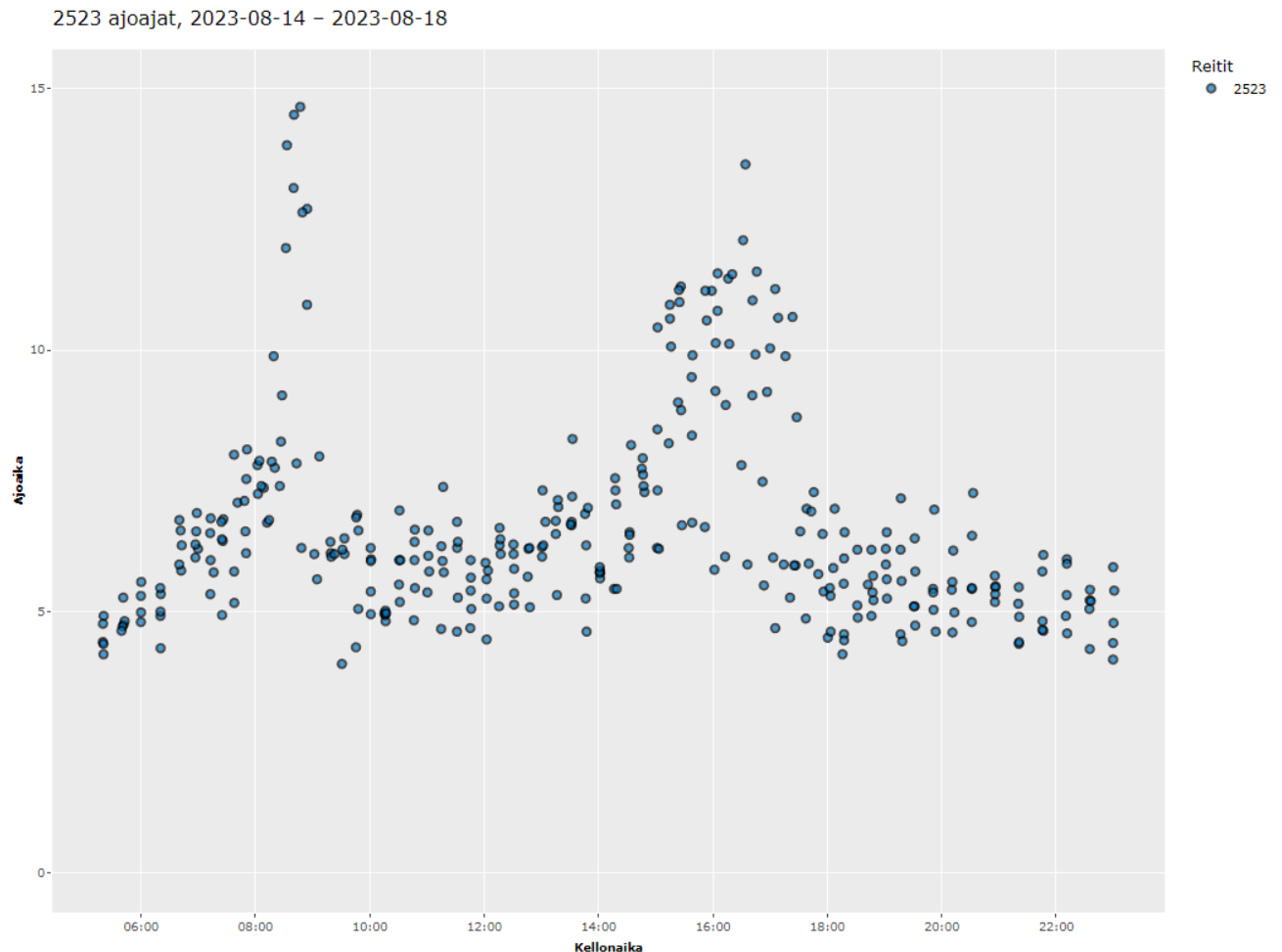
Kuva 8. Joukkoliikenteelle työmaista aiheutuneet viiveet pysäkkiväleittäin syksyllä 2017 (HSL, 2018).



Myös vuorokaudenajalla ja viikonpäivällä on huomattava vaikutus ajoaikaan. Esimerkiksi tarkasteltaessa linjan 66 aikatauluja voidaan huomata, että ajoaika Rautatien ja Mäkelänrinteen pysäkinvälillä vaihtelee arkaikatauluissa 10 ja 15 minuutin välillä, vuorokaudenajan mukaan (HSL, 2023d). Joukkoliikennesuunnittelija Miska Peura (HSL, henkilökohtainen tiedonanto, 22.8.2023) arvioi että ”Katuverkolla ajavilla linjoilla lienee aika yleinen suhdeluku, että ruuhka-ajan hitaimmat lähdöt ovat luokkaa 1,4–1,5 kertaa hitaampia kuin aikaiset aamu- ja myöhäiset iltalähdöt”. Myös toisenlaisissa liikenneympäristöissä voi hajonta olla suurta, kuvassa 9 on nähtävissä linjan 523 Kehä I kautta kulkevan osuuden,

Itärannan ja Kurkijoentien pysäkkien välistä ajoaikahajontaa viikolta 33/2023 (14.8.–19.8.), jossa ero pisimmän ja lyhimmän toteutuneen ajoajan välillä on yli 3,6-kertainen (vaihteluväli 4 min – 14 min 39 s).

Kuva 9. Linja 523 ajoajat 14.8.–18.8. 2023 pysäkkivälillä Itäranta (E2026) - Kurkijoentie (E1201).



Yksinkertaisia ajoaikaviiveitä ongelmallisempänä pidetään kuitenkin ajoaikojen hajonnan kasvua, sillä suurempi hajonta vaikeuttaa aikataulujen ja matkaketjujen syntymistä ja muodostamista. Tämän lisäksi se aiheuttaa epävarmuutta myös matkustajille, sillä he eivät voi suunnitella liikkumistaan aikataulukriittisiin menoihin luottaen joukkoliikenteeseen. Kaikkien kaikkiaan tämä saattaa johtaa palvelutason ja houkuttelevuuden merkittävään laskuun ja joukkoliikenteen kilpailuaseman ja kulkutapaosuuden heikkenemiseen. Vastaavasti hajonnan pieneneminen vaikuttaa merkittävästi lyhentäen keskimääräiseen odotusaikojen pituuteen, etenkin vaihtojen osalta, ja täten kasvattaen houkuttelevuutta, ja johtaen edelleen matkustajien määrän kasvuun. Joidenkin tutkimusten mukaan matka-aikaan liittyvien kävely- ja odotusaikojen merkitys on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi matkalippujen hinta (matka-aikaan liittyvien kävely- ja odotusaikojen joustokertoimeksi arvioidaan noin -0,7 eli, kun kävely- ja odotusaika kasvaa 1 %, vähenee kysyntä 0,7 %,

matkalippujen hinnanmuutosten joustokertoimeksi arvioidaan noin -0,3) (Ojala & Pursula, 1994, s. 58).

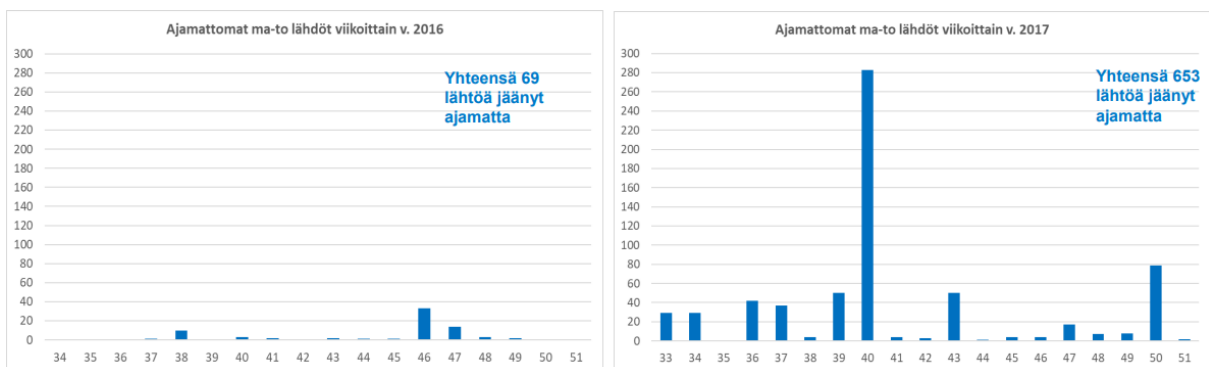
#### 4.5.4 Luotettavuuden heikkeneminen

Joissakin tapauksissa katutyöt voivat vaatia joukkoliikenteen palveluiden keskeyttämistä kokonaan tietyn alueen tai reitin osalta. Tämä voi aiheuttaa merkittäviä haittoja matkustajille, jotka luottavat joukkoliikenteeseen päivittäisessä liikkumisessaan.

Joukkoliikennekontekstissa luotettavuudella voidaan tarkoittaa useita erilaisia käsitteitä, joista tässä tapauksessa puhutaan tilanteesta, jossa lähtö jää kokonaan ajamatta.

Käytännössä työmaiden aiheuttamat lähtöjen perumiset johtuvat viiveiden kertautumisesta, jolloin lähtö myöhästyy seuraavan lähdön suunnittelusta lähtöajasta niin merkittävästi että liikennöitsijän arvion mukaan ei ole kannattavaa ajaa lähtöä myöhästymisestä johtuvan sanktioinnin takia. Kuvassa 10 näkyy syksyllä 2017 Töölössä ja Meilahdessa olleiden katutöiden vaikutusta ajamattomiin lähtöihin. Ajamattomia lähtöjä voidaan käyttää karkeana luotettavuuden mittarina.

Kuva 10. Töölön ja Meilahden alueen linjojen ajamattomat lähdöt viikoittain 2016 & 2017 (HSL, 2018).



Joukkoliikenteen luotettavuutta on pidetty erittäin tärkeänä sekä joukkoliikenteen käyttäjien, liikennepalveluiden tarjoajien, että yhteiskunnan eri osien näkökulmasta. Epäluotettavuus joukkoliikenteessä johtaa epävarmuuteen ja viivästyksiin, laskien joukkoliikennepalvelun laatua ja vähentäen houkuttelevuutta. Tämän lisäksi se lisää kustannuksia, sillä menetetään lähdöistä syntyvät lipputulot kuitenkin pääsemättä irti lähdöstä aiheutuneista kustannuksista. Kilpailukykyinen bussiliikenne on todettu tehokkaaksi tekijäksi kilpailtaessa kulkutapaosuuksista henkilöauton kanssa (Liu & Sinha, 2007).



#### 4.5.5 Vaikutukset matkustajamääriin

Katutyöt voivat vaikuttaa joukkoliikenteen matkustajamääriin. Tietyillä reiteillä matkustajamäärät voivat laskea, kun matkustajat hakevat vaihtoehtoisia kulkutapoja välttääkseen hankalat työmaavaikutukset. Toisaalta, jos joukkoliikenne on ainoa käytettävissä oleva vaihtoehto alueella, voi olla, että matkustajamäärät pysyvät korkeina, vaikka hankaluudet lisääntyvät.

HSL:n vuonna 2018 julkaisemassa raportissa arvioitiin Töölössä ja Meilahdessa olleiden katutöiden vaikutusta matkustajamääriin. Raportissa todettiin, että vaikka HSL:n kokonaismatkustajamäärä vuonna 2017 oli noin 2 % vuoden 2016 lukemaa suurempi, oli raportin tarkastelualueen poikkileikkauskohtien matkustajalaskennoissa havaittavissa huomattavaa matkustajamäärien laskua. Töölön kisahallin kohdalla laskua on ollut noin 21 %, Nordenskiöldinkadulla 14 % ja Töölöntorin kohdalla merkitsevää muutosta ei ole havaittu. Töölöntori tosin oli raportin tarkasteluajankohtana katutöiden merkittävimpien vaikutusten ulkopuolella, kuten on esimerkiksi kuvasta 8 huomattavissa. Raportissa todettiin tarkastelualueen matkustajamäärän laskeneen sen verran, että perustellusti voidaan olettaa osan matkustajista siirtyneen hyödyntämään vaihtoehtoisia reittejä tai vaihtoehtoisia kulkutapoja. Raportissa arvellaan Mannerheimintielle osan matkustajista siirtyneen käyttämään raitiovaunua ja henkilöauton kulkutapaosuuden kasvaneen paikallisesti. Raportissa esitetään myös oletus siitä, että Töölön ja Meilahden työmaiden kanssa samanaikaisesti käynnissä olleet Pasilan aseman työmaat ovat vaikuttaneet poikittaisen joukkoliikenteen matkustajamääriin. (HSL, 2018)

## 5 Joukkoliikenteestä mitattava tieto

Jotta joukkoliikennepalvelut voivat toimia tehokkaasti ja vastata käyttäjien tarpeisiin, tarvitaan luotettavaa ja ajantasaista tietoa eri osa-alueista. Joukkoliikenteestä mitattava tieto on avainasemassa suunniteltaessa, ylläpidettäessä ja kehitettäessä joukkoliikennepalveluja, sekä niiden ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Tieto joukkoliikenteestä voi kattaa monia eri näkökulmia, kuten matkustajamäärät, reittien ja aikataulujen tehokkuus, kaluston kunto ja ominaisuudet, ympäristövaikutukset, sekä taloudelliset resurssit ja budjetointi. Näitä tietoja voidaan tarjota matkustajille hyödynnettäväksi kestävämpien liikkumisvalintojen tekemiseen ja oman liikkumisen suunnittelun avuksi, sekä hyödynnetään joukkoliikenneviranomaisten ja liikennöitsijöiden toimenpiteissä, jotka kohdistuvat liikenteen toimivuuden seurantaan sekä joukkoliikennepalveluiden kehittämiseen entistä kestävämmäksi ja

käyttäjystävällisemmäksi. Tässä luvussa tarkastellaan joukkoliikenteestä mitattavan tiedon periaatteita ja eri tietolähteitä, joita voidaan hyödyntää joukkoliikennepalveluiden suunnittelussa ja parantamisessa.

## 5.1 Yleisesittely kerättävästä datasta

HSL hyödyntää suunnittelussaan useita erilaisia datalähteitä, merkittävimmät liikenteen sujuvuutta mittaavat tietolähteet ovat liikennevälineissä itsessään, nämä tiedonlähteet tarjoavat arvokasta tietoa ajoneuvojen liikkeistä ja liikenteen sujuvuudesta. Keskitymme erityisesti HFP- ja "LIJ"-datoihin, niiden sisältöön ja käyttömahdollisuuksiin.

Myös useita muita datalähteitä hyödynnetään suunnittelussa, näiden ei kuitenkaan katsottu sopivan tämän työn aihepiiriin, eikä tuottavan valideja tuloksia huomioiden työn tavoitteen. Osa näistä datalähteistä ovat HSL:n oman organisaation sisällä tuotettuja, kuten erilaiset kyselyt ja tutkimukset tai erilaiset nousijatietoihin ja lipunmyyntiin liittyvät datalähteet. Tämän lisäksi hyödynnetään joitain ulkopuolisia tietolähteitä, kuten demografisia tietoja tai HSL-sovelluksen luvan antaneiden käyttäjien matkatietoja.

### 5.1.1 High-frequency positioning (HFP)

High-frequency positioning (HFP) on järjestelmä, joka tarjoaa reaaliaikaista tietoa ajoneuvojen, kuten bussien, raitiovaunujen ja junien, liikkeistä ja sijainneista. Suurin osa HSL-alueen kulkuvälineistä on varustettu laitteistolla, joka ilmoittaa niiden statuksen, sisältäen ajoneuvon sijainnin, kerran sekunnissa. Näitä viestejä voidaan lukea rajapinnan kautta ja tätä kautta hyödyntää muun muassa liikenteen toimivuuden seurannassa tai reaaliaikaisen matkustajatiedon tuottamisessa.

Sekunnin välein päivittyvän paikannustiedon lisäksi ajoneuvot (pois lukien metrot, U-linjojen linja-autot tai lauttaliikenne) lataavat HFP-rajapintaan myös muita tapahtumia kuten useita erilaisia pysäkkeihin, liikennevaloetuksiin, ovien avaamiseen ja sulkemiseen, sekä lähtöjen ja lähtöketjujen aloitukseen ja lopetukseen liittyviä tapahtumia. Myös matkustajamääriin liittyvää tietoa on pyritty tuomaan HFP-rajapintaan luettavaksi, matkustajatietoihin liittyviä haasteita tarkastellaan luvussa 5.4. HFP-tapahtumat sisältävät useita erilaisia tietoja ajoneuvon sijainnista ja tilanteesta, tapahtumaviestien sisältöä on avattu esimerkin kautta kuvassa 11 ja tätä selittävässä taulukossa.



Kuva 11. Esimerkki HFP-päivityksen sisältämistä tiedoista, tapahtuman tyyppinä sekunnin välein päivittyvä paikannuspäivitys VP.

```
{
  "VP": {
    "desi": "551",
    "dir": "1",
    "oper": 12,
    "veh": 10,
    "tst": "2019-05-23T14:15:16.000Z",
    "tsi": 1416308975,
    "spd": 12.5,
    "hdg": 354,
    "lat": 24.9435,
    "long": 60.1967,
    "acc": -12.34,
    "dl": 600,
    "odo": 45.12,
    "drst": 0,
    "oday": "2019-05-23",
    "jrn": 1,
    "line": 264,
    "start": "13:40",
    "loc": "GPS",
    "stop": null,
    "route": "2551",
    "occu": 0
  }
}
```

Taulukossa 1 selitetty kuvassa 11 näkyvän HFP-tapahtuman sisältö. HFP-tapahtumaviestien sisältämät tiedot ovat suurimmilta osin samoja kaikilla tapahtumatyypeillä, poikkeukset mainittu taulukossa.

Taulukko 1. Selite HFP-päivityksen sisältämistä tiedoista.

desi	Matkustajalle näkyvä linjatunnus. Saatavissa vain, kun kuljettaja on kirjautunut lähdölle.
dir	Lähdön suunta, mahdollisina arvoina "1" tai "2". Saatavissa vain, kun kuljettaja on kirjautunut lähdölle.

oper	Lähdön operoivalle liikennöitsijälle annettu yksilöivä tunnus.
veh	Ajoneuvon ”kylkinumero”, yksilöi ajoneuvon. Vastaa ajoneuvoista fyysisesti löytyviä merkintöjä. Sama tunniste voi olla käytössä useammalla liikennöitsijällä.
tst	Tapahtuman UTC-aikaleima millisekunnin tarkkuudella ISO 8601-standardin mukaisessa muodossa (yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss.SSSZ).
tsi	Unix-aikaleima sekunneissa.
spd	Ajoneuvon nopeus, metriä sekunnissa (m/s).
hdg	Ajoneuvon suunta, asteina (°) mitattuna myötäpäivään maantieteellisestä pohjoisesta. Mahdolliset arvot välillä [0, 360].
lat	WGS 84-koordinaattijärjestelmän mukainen pituusaste. null jos paikannusta ei ole saatavilla.

long	WGS 84-koordinaattijärjestelmän mukainen leveysaste. null jos paikannusta ei ole saatavilla.
acc	Ajoneuvon kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> ), laskettu vertaamalla nopeutta edellisen tapahtuman nopeuteen. Negatiivisilla arvoilla ajoneuvon nopeus pienenee.
dl	Erotus aikataulun mukaiseen ajoaikaan sekunneissa (s). Negatiiviset arvot ilmaisevat lähdön olevan myöhässä aikataulusta, positiiviset etuajassa. Saatavissa vain, kun kuljettaja on kirjautunut lähdölle.
odo	Odometrin lukema lähdön alusta metreissä (m).
drst	Ovistatus, 0 jos kaikki ovat suljetut, 1 jos jokin ovista on auki.
oday	Liikennöintivuorokausi. Useimmilla linjoilla liikennöintivuorokausi vaihtuu seuraavan vuorokauden puolella klo 4:30.,

jrn, line	HSL:n sisäiseen käyttöön olevia tunnisteita, eivät merkityksellisiä tämän työn kannalta.
start	Lähdön aikataulun mukainen lähtöaika, muodossa HH:mm.
loc	<p>Paikannustiedon lähde, mahdollisia arvoja GPS, ODO, MAN, DR tai N/A.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS - Paikannuksen lähteenä toimii GPS.</li> <li>• ODO - Sijainti laskettu odometrin arvon perusteella.</li> <li>• MAN - Sijainti syötetty manuaalisesti.</li> <li>• DR - Sijainti laskettu edellisen saatavilla GPS-tiedon perusteella (esimerkiksi tunnelissa ilman GPS-signaalia).</li> <li>• N/A - Sijaintia ei saatavilla.</li> </ul>
stop	Tapahtumaan liittyvän pysäkin tunniste. null jos tapahtumaan ei liity pysäkkiä. Saatavissa vain, kun kuljettaja on kirjautunut lähdölle.

route	Linjan yksilöivä tunniste. Saatavissa vain, kun kuljettaja on kirjautunut lähdölle.
occu	Ajoneuvon matkustajamäärä/kuormitustieto, mahdolliset arvot välillä [0, 100].

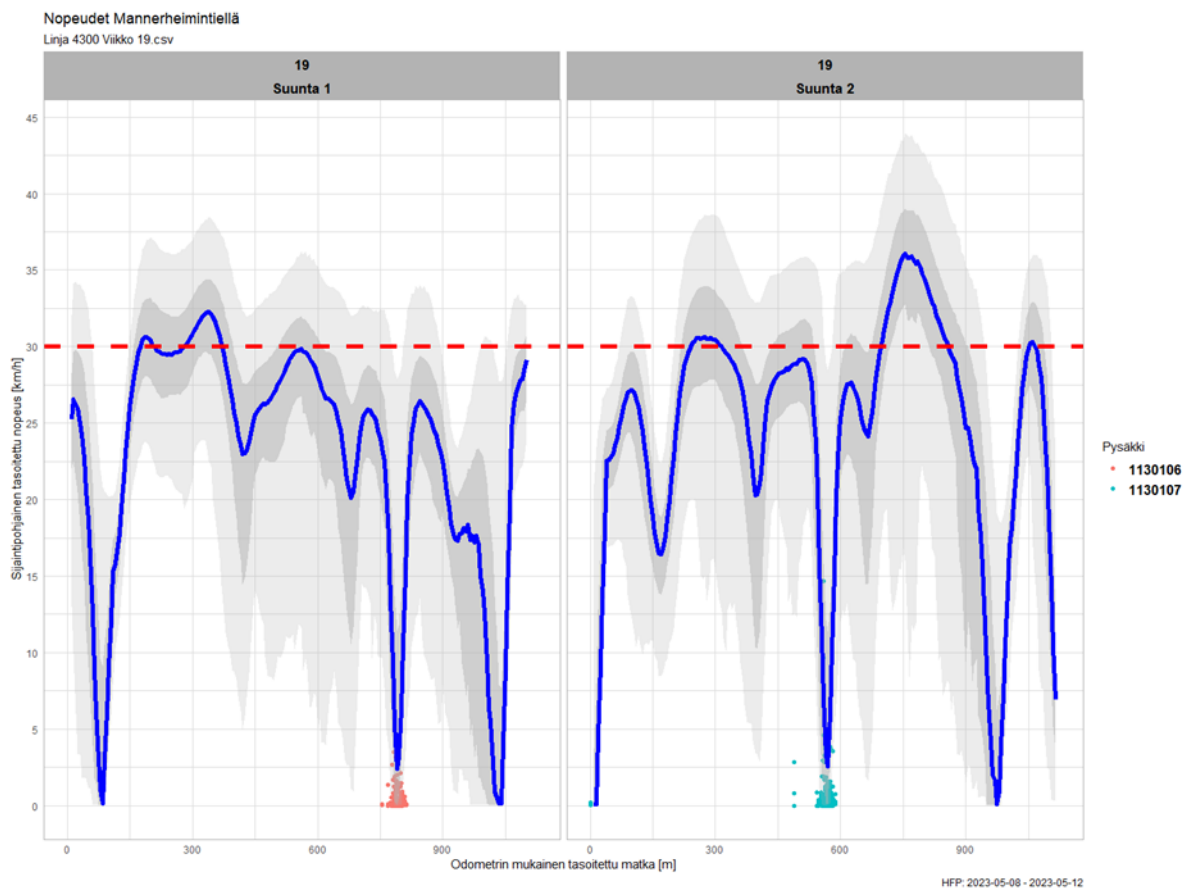
Taulukossa listattujen tietojen lisäksi tietyt tapahtumatyytit, sisältävät taulukossa listaamattomia, lähinnä liikennevaloetuksiin tietoja. Näitä tietoja ei ole tarpeen käsitellä tässä työssä, sillä ne eivät kuulu työn aihealueeseen sisäin.

Kuvat 12, 13 ja 14 esittelevät HFP-datan käytännön hyödyntämistä. Kuvaajien luomiseksi on läpikäyty seuraavanlaisia toimenpiteitä:

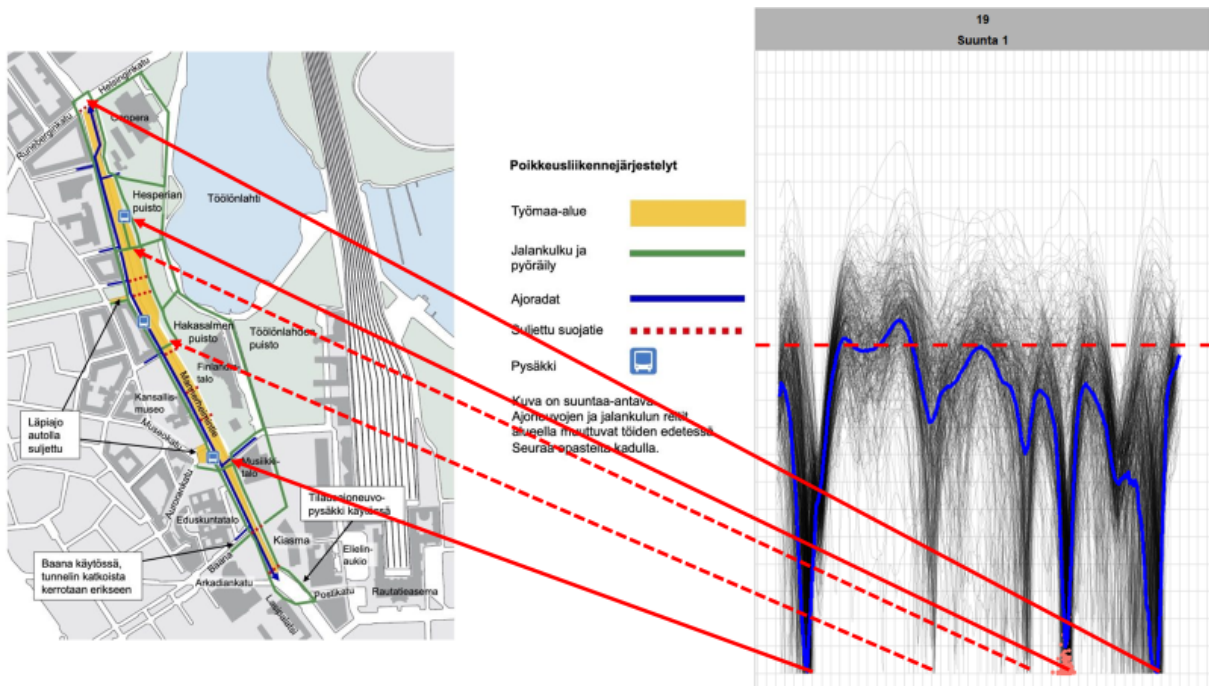
- Kuvaajien luomiseksi on ladattu HSL:n rajapinnasta noin 4 vuorokauden ote HFP-tapahtumista, jotka on koottu yhteen CSV-tekstitiedostoon.
- Tiedoston tietoja on käsitelty R-ohjelmointikielellä kuvaajien piirtämiseen ja tiedon analysointiin.
- Ensiksi on valittu tapahtumat, joissa tapahtuman tyyppinä on "VP".
- Tämän jälkeen on suodatettu pois kaikki halutun tapahtuma-alueen ulkopuolella olevat tapahtumat GPS-koordinaattien perusteella.
- Aikaleima-arvosta "tst" on poistettu sekuntien tarkkuus, ja se on muutettu juoksevaksi arvoksi.
- Samalle lähdölle kuuluvat tapahtumat on yhdistetty liikennöintivuorokauden, lähdön aikataulun mukaisen lähtöajan, lähdön suunnan ja linjatunnuksen perusteella.
- Tapahtumille on annettu viikkonumeron arvo laskemalla se liikennöintivuorokauden arvosta "oday".
- Lähdöt, joissa on yli 5 sekunnin tapahtumakatkot, on suodatettu pois virheellisen datan oletetusta syystä.
- Saman lähdön tapahtumien arvoista nopeus "spd" ja odometrin lukema "odo" on muodostettu 3 arvon juoksevat keskiarvot.
- Odometrin juoksevan keskiarvon arvoa on verrattu kyseisen lähdön pienimpään odometrin arvoon, ja näiden kahden arvon erotusta on käytetty kuvaajan x-akselin arvona.

- Kuvaajan y-akselin arvona on käytetty nopeuden juoksevaa keskiarvoa, muutettuna yksikköön kilometriä tunnissa.
- Kuvaajiin on lisätty pistemäisenä tietona tapahtumat, joissa oven statustieto "drst" ilmoittaa oven olevan auki.
- Pysäkkitieto on saatu hyödyntämällä tapahtuman arvoa "stop".
- Kuvaajiin on lisätty punainen katkoviiva arvon 30 km/h kohdalle helpottamaan lukemista.
- Kuvassa 12 olevat harmaat alueet kuvaavat 5. ja 95. persentiiliin sekä 25. ja 75. persentiiliin vaihteluvälejä.
- Kuvissa 13 ja 14 on nähtävissä "raakadata", josta on osoitettu referenssipisteet työmaan liikennejärjestelyiden karttakuvasta (Manskun katutyöt, 2023).

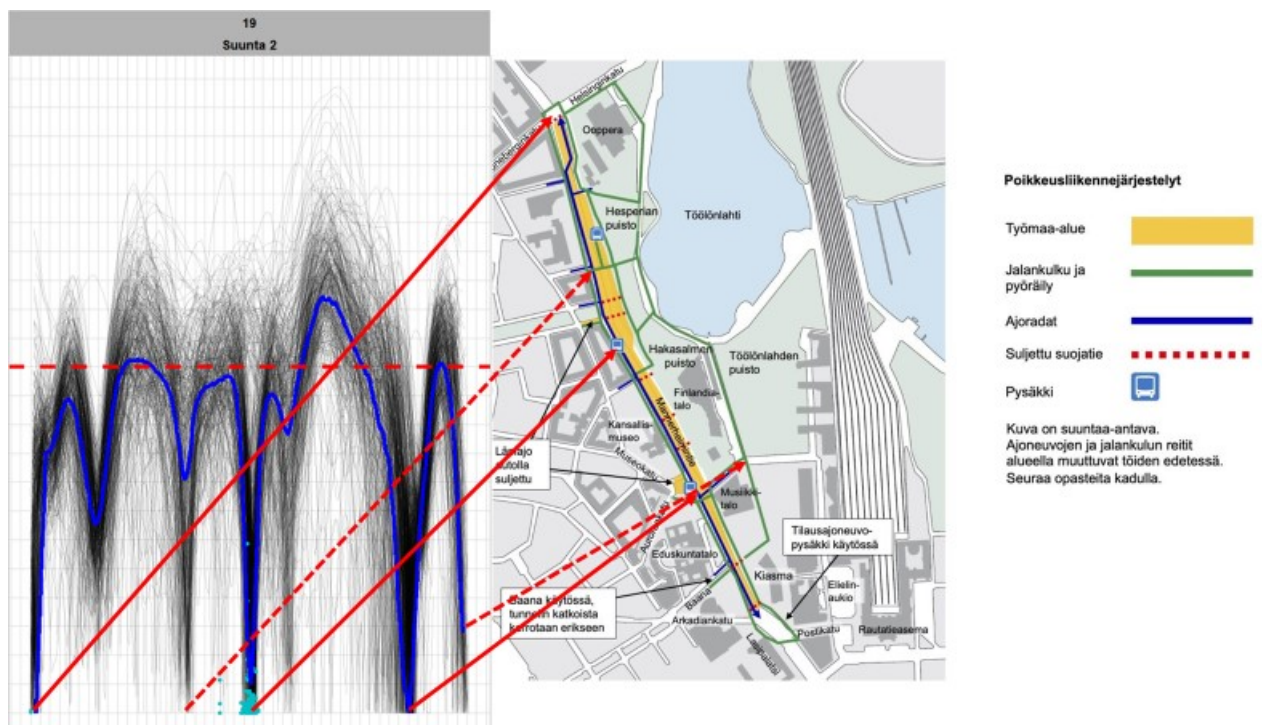
Kuva 12. Linjan 300 nopeusprofiili tarkastelualueella 8.5.–12.5.



Kuva 13. Linjan 300 nopeusprofiili viikolta 19 suhteessa karttakuvaan liikennejärjestelyistä, suunta 1.



Kuva 14. Linjan 300 nopeusprofiili viikolta 19 suhteessa karttakuvaan liikennejärjestelyistä, suunta 2.



HFP-tapahtumien erittäin tiheästä päivitysvälistä ja suuresta määrästä erilaisia arvoja kussakin tapahtumassa johtuen, HFP-data on erittäin raskasta käsitellä, ja kattavan otoksen

saamiseksi vaatii suuria määriä tallennustilaa ja laskentatehoa, sekä osaamista edistyneistä tietojenkäsittelyohjelmistoista. Tähän työhön ei ole käytettävissä HFP-datan käsittelyn vaatimia resursseja tai tietojenkäsittelytieteen osaamista, joten HFP-datan tutkiminen päätettiin sivuuttaa tämän työn ulkopuolelle.

### 5.1.2 "LIJ"-data

Niin kutsuttu LIJ-data on kooste HFP-datasta, josta on suodatettu ylimääräisiä tapahtumia ja mahdollisia datavirheitä, jotta tieto saadaan muotoon, jossa sen käsittely ei vaadi poikkeuksellisen suuria määriä laskentatehoa tai edistyneitä tietojenkäsittelyohjelmistoja. Puhemielessä yleisesti käytetyn nimensä se on perinyt osittain virheellisesti Lippu- ja Informaatiojärjestelmältä (LIJ). Tämä jossain määrin virheellinen nimitys aiheuttaa usein sekaannuksia, esimerkiksi tämän ajoaikakoosteen ja fyysisten matkakorttien leimauksista kerättävän "LIJ-nousijatiedon" välillä. Näitä nousijatietoja on käsitelty tarkemmin luvussa 5.4.

LIJ-koosteen saamiseksi HFP-datasta suodatetaan pois muut tapahtumat paitsi pysäkkisäteen ylitykset. Pysäkkisäteellä tarkoitetaan tässä yhteydessä taustajärjestelmään jokaiselle pysäkillä asetettu säde, jonka ylittäessään liikenneväline lasketaan saapuneeksi ja poistuneeksi pysäkiltä. Tässä käytetään ensisijaisena tietolähteenä GPS-paikannuksen tuloksia ja toissijaisena tietolähteenä odometrin arvoja. Näiden pysäkkitapahtumien perusteella voidaan laskea myös esimerkiksi pysäkkivälien ajoajat ja keskinopeudet. Metron ja lähijunien osalta pysäkkitapahtumahavainnot otetaan asetinlaitteen perusteella, aiheuttaen mittausten suhteellisen epätarkkuuden verrattuna muihin tarkasteltaviin liikennemuotoihin.

Taustajärjestelmästä noudetaan useita erilaisia tietoja, kuten aikataulut, jotka yhdistetään havaintoihin analysoitavan datan saamiseksi. Tiedot ladataan aina vuorokausi kerrallaan tietokantaan. Suurimmat rajoitteet datassa ovat peräisin jo HFP-datan virheistä, tehokkaallakaan suodattamisella ei saada korjattua virheellisiä tietoja. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki koosteen sisältämistä tiedoista.



Kuva 15. Esimerkki datan sisällöstä linjalta 40 heinäkuulta 2023.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	date	day_type	route	direction	trip_depa	stop_seq	regulated	stop_id	stop_nam	arrival_tin	arrival_tin	departure	departure	travel_tin	distance	average_s	arrival_tin	departure_time_diff
2	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	1	FALSE	1020130	Elieelinauk	5:28:00	5:27:02	5:28:00	5:28:02	NA	NA	NA	-57,51	2,507
3	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	2	FALSE	1130106	Hesperian	5:32:00	5:32:06	5:32:00	5:32:06	244,02	1622	23,929	6,527	6,527
4	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	3	FALSE	1140216	Toölön kis	5:34:00	5:33:13	5:34:00	5:33:13	66,986	676	36,33	-46,487	-46,487
5	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	4	FALSE	1140117	Kansanelä	5:36:00	5:34:57	5:36:00	5:35:33	103,994	632	21,878	-62,493	-26,49
6	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	5	FALSE	1180214	Töölöntul	5:37:00	5:36:18	5:37:00	5:36:33	45,037	376	30,055	-41,453	-26,467
7	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	6	FALSE	1180203	Kuusitie	5:38:00	5:37:40	5:38:00	5:37:55	66,974	653	35,1	-19,493	-4,037
8	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	7	FALSE	1160202	Tilka	5:39:00	5:38:45	5:39:00	5:38:45	49,544	335	24,342	-14,493	-14,493
9	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	8	FALSE	1160206	Ruskeasu	5:40:00	5:40:20	5:40:00	5:40:20	95,023	815	30,877	20,53	20,53
10	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	9	FALSE	1291167	Ruskeasu	5:41:00	5:41:11	5:41:00	5:41:11	50,987	416	29,372	11,517	11,517
11	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	10	TRUE	1291104	Haagan to	5:42:00	5:42:37	5:42:00	5:42:37	86,006	590	24,696	37,523	37,523
12	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	11	FALSE	1291106	Palokaivo	5:43:00	5:43:33	5:43:00	5:43:33	55,997	414	26,616	33,52	33,52
13	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	12	FALSE	1291123	Tunnelitie	5:44:00	5:44:03	5:44:00	5:44:03	29,997	231	27,723	3,517	3,517
14	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	13	FALSE	1293126	Haagan an	5:45:00	5:45:17	5:45:00	5:45:17	73,996	498	24,228	17,513	17,513
15	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	14	FALSE	1293123	Elie Saari	5:46:00	5:46:07	5:46:00	5:46:07	50,037	395	28,419	7,55	7,55
16	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	15	FALSE	1293130	Thalianau	5:47:00	5:46:45	5:47:00	5:46:45	37,953	241	22,86	-14,497	-14,497
17	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	16	FALSE	1293132	Ida Aalber	5:48:00	5:47:45	5:48:00	5:47:59	59,98	478	28,69	-14,517	-0,583
18	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	17	FALSE	1293173	Näyttelijä	5:49:00	5:49:00	5:49:00	5:49:15	61,063	452	26,648	0,48	15,5
19	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	18	FALSE	1331102	Pelimanni	5:51:00	5:50:40	5:51:00	5:50:54	84,997	657	27,827	-19,503	-5,443
20	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	19	FALSE	1331109	Kannelkal	5:52:00	5:51:53	5:52:00	5:51:53	59,093	346	21,079	-6,35	-6,35
21	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	20	FALSE	1331145	Kanneltie	5:53:00	5:53:11	5:53:00	5:53:11	77,867	487	22,515	11,517	11,517
22	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	21	FALSE	1331146	Soittajank	5:53:00	5:53:54	5:53:00	5:53:54	42,983	299	25,042	54,5	54,5
23	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	22	FALSE	1331140	Kanneltal	5:54:00	5:54:53	5:54:00	5:54:53	58,997	487	29,717	53,497	53,497
24	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	23	FALSE	1331106	Klaneettit	5:55:00	5:55:42	5:55:00	5:55:42	49,01	386	28,353	42,507	42,507
25	21.7.2023	5	1040	1	5:28:00	24	FALSE	1294201	Pelimanni	5:56:00	5:56:09	5:56:00	5:56:28	26,99	320	42,682	9,497	28,797
26	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	1	FALSE	1020130	Elieelinauk	5:43:00	5:41:14	5:43:00	5:43:11	NA	NA	NA	-105,68	11,343
27	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	2	FALSE	1130106	Hesperian	5:47:00	5:46:40	5:47:00	5:46:40	208,954	1622	27,945	-19,703	-19,703
28	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	3	FALSE	1140216	Toölön kis	5:49:00	5:48:07	5:49:00	5:48:07	87	676	27,972	-52,703	-52,703
29	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	4	FALSE	1140117	Kansanelä	5:51:00	5:49:48	5:51:00	5:50:28	101,006	632	22,525	-71,697	-31,703
30	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	5	FALSE	1180214	Töölöntul	5:52:00	5:51:32	5:52:00	5:51:32	63,986	376	21,155	-27,717	-27,717
31	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	6	FALSE	1180203	Kuusitie	5:53:00	5:52:35	5:53:00	5:52:46	63,064	653	37,276	-24,653	-13,243
32	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	7	FALSE	1160202	Tilka	5:54:00	5:53:29	5:54:00	5:53:29	42,536	335	28,352	-30,707	-30,707
33	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	8	FALSE	1160206	Ruskeasu	5:55:00	5:54:53	5:55:00	5:54:53	84,01	815	34,924	-6,697	-6,697
34	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	9	FALSE	1291167	Ruskeasu	5:56:00	5:55:51	5:56:00	5:55:51	57,994	416	25,823	-8,703	-8,703
35	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	10	TRUE	1291104	Haagan to	5:57:00	5:57:19	5:57:00	5:57:19	88,01	590	24,134	19,307	19,307
36	21.7.2023	5	1040	1	5:43:00	11	FALSE	1291106	Palokaivo	5:58:00	5:58:04	5:58:00	5:58:04	45,01	414	33,113	4,317	4,317

## 5.2 Validius ja reliabiliteetti

Tiedon validius ja reliabiliteetti eli luotettavuus ovat kaksi keskeistä käsitettä tieteellisessä tutkimuksessa, ja niitä käytetään arvioimaan tiedon luotettavuutta ja pätevyyttä. Validius ja luotettavuus ovat tärkeitä, koska ne varmistavat tutkimustulosten luotettavuuden ja pätevyyden. Luotettavat ja pätevät tulokset ovat perustana luotettavalle tieteelliselle tiedolle ja päätöksenteolle. Tutkimusmenetelmien ja mittausmenetelmien on oltava sekä valideja että reliabeleja, jotta niitä voidaan pitää hyväksyttävänä ja luotettavina.

### 5.2.1 Validius

Validius viittaa siihen, miten hyvin mittaus tai tutkimus todella mittaa tai arvioi sitä, mitä se väittää mittaavansa tai arvioivansa. Se liittyy siihen, kuinka hyvin tutkimuksen tai mittauksen tulokset kuvastavat todellisuutta tai ilmiötä, jota tutkitaan. Validius tarkastelee, onko tutkimusmenetelmä tai mittausmenetelmä oikea ja pätevä tarkoitettuun tarkoitukseensa.

Validiutta voidaan hyvin tarkastella esimerkin, vaikkapa seuraavanlaisen tutkimuskysymyksen kautta: Kuinka pyöräilyinfrastruktuurin parantaminen vaikuttaa pyöräilyn määrään kaupunkiympäristössä? Valitaan kaksi samankokoista kaupunkialuetta, joista

toisessa toteutetaan pyöräilyinfrastruktuurin parannuksia, kun taas toisessa alueessa ei tehdä muutoksia. Tässä tapauksessa tutkimusmenetelmä on validi, jos se todella mittaa pyöräilyinfrastruktuurin parannusten vaikutusta pyöräilyn määrään. Parannusten ja pyöräilyn määrän välillä oletetaan olevan syy-seuraussuhde, joka voidaan tutkia vertaamalla parannusten vaikutusta pyöräilyn määrään parannusten tekemättömällä alueella.

Tutkimuksen validiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi tutkimuksen huolellinen suunnittelu, riittävän pitkä seuranta-aika, vertailualueiden ja lähtötilanteen vastaavuuden varmistaminen ennen muutoksia ja mahdolliset muut ulkoiset tekijät, jotka voivat vaikuttaa pyöräilyn määrään (kuten sää, muut liikennehankkeet ja niin edelleen). Näiden tekijöiden huomioon ottaminen auttaa varmistamaan tutkimuksen validiteetin ja luotettavuuden.

Tiedon validiteetti riippuu tutkimuksen kohderyhmästä ja tutkimuskysymyksistä. Validiteetin kannalta on ensisijaisesti oleellisempaa pohtia, millainen tutkimuksen strategia on validi, kuin että millaisia tuloksia millä ja kuinka valideilla mittareilla saadaan. Valittu menetelmä ei itsessään takaa tutkimustuloksia, vaan tutkimusmenetelmä on valittava haluttujen tulosten muodon mukaan. Etenkin teoreettisten tai jossain määrin abstraktien käsitteiden tutkimuksessa validiteetin arviointi perustuu usein tutkijayhteisön yhteisiin hyväksi havaittuihin käytäntöihin. Validiteetin puuttuminen kokonaan johtaa tutkimuksen täyteen merkityksettömyyteen, eikä tutkimusta voida hyödyntää siihen tarkoitukseen, johon on alun perin suunniteltu. (Hiltunen, 2009)

### **5.2.2 Luotettavuus**

Luotettavuus liittyy tutkimuksen tai mittauksen tulosten luotettavuuteen ja toistettavuuteen. Luotettavuus tarkastelee sitä, kuinka johdonmukaisesti mittaus tai tutkimus tuottaa samankaltaisia tuloksia samasta ilmiöstä tai kohteesta. Luotettavuus mittaa sitä, kuinka tarkasti mittausmenetelmä tai tutkimusmenetelmä pystyy tuottamaan luotettavia ja vakaasti toistettavia tuloksia. Esimerkkinä, jos tutkija suorittaa saman mittauksen useita kertoja samalle henkilölle samassa kontekstissa ja saa johdonmukaisia tuloksia joka kerta, mittausmenetelmää voidaan pitää reliaabelina.

Luotettavuus voidaan hajottaa kahteen eri osatekijään, stabiliteettiin ja konsistenssiin. Stabiliteetissa tarkastellaan tutkimusmenetelmän pysyvyyttä ajanjaksolla, mitä stabiilimpi menetelmä on, sitä vähemmän olosuhteiden ja muun satunnaisvaihtelun olosuhteet vaikuttavat toistettujen mittausten tuloksiin. Monissa tapauksissa kuitenkin heikko luotettavuus voidaan selittää helpommin todellisin ajanjaksolla tapahtunein muutoksin kuin tutkimusmenetelmän epästabiiliudella (Wright, 1979). Konsistenssilla määritellään mittaavatko tutkimusmenetelmän eri osat samaa asiaa. Useimmiten konsistenssia pyritään

mittaamaan eri osien välisellä korrelaatiolla. On kuitenkin huomioitava, että tutkimusmenetelmän eri osat voivat korreloida voimakkaastikin, vaikka ne eivät mittaisi samaa asiaa. Stabiili tutkimusmenetelmä ei välttämättä aina ole konsistentti, eikä konsistentti tutkimusmenetelmä stabiili. (Hiltunen, 2009)

Vaikka tutkimusmenetelmä olisi stabiili ja konsistentti, täytyy sen olla myös validi, sillä väärääkin tietoa voidaan mitata luotettavasti. Heikko luotettavuus johtaa kuitenkin useimmiten myös validiteetin laskuun, sillä satunnaisia virheitä sisältävä tutkimus tuskin myöskään mittaa sitä mitä se on tarkoitus mitata (Taanila, 2019).

### **5.3 Ajoikatiedon validiuden ja luotettavuuden arviointi**

Liikenteen sujuvuutta mitattaessa ajoikatieto on suurin yksittäinen tekijä, sillä sen avulla voidaan määrittää aikataulut ja niiden täsmällisyys. Ajoajan seurannan voidaankin todeta olevan validi tapa tutkia liikenteen sujuvuutta. Liikenteen suunnittelun näkökulmasta ”LIJ”-datan tapahtumat pysäkkivälien tarkkuudella on riittävä, sillä korjaava toimenpide, ajantasausten käyttö on mielekästä toteuttaa vain pysäkeillä, jolloin liikenneväline voi ottaa matkustajia kyytiin tasatessaan linjan ajoaikaa. Linjan ajoikaan vaikuttavien ulkoisten tekijöiden määrittämisessä voi olla tarpeen HFP-datan suurempi tarkkuus, sillä tällöin voidaan tarkastella myös pysäkkialueiden väleissä tapahtuvia tapahtumia, kuten esimerkiksi selvittää minkälaista häiriötä katutyömaan työmaajärjestelyt aiheuttavat linjalla. On kuitenkin muistettava, että vaikka mittaukset olisivat valideja, on tulosten soveltamisessa huomioitava olosuhteiden muutokset soveltamisajankohdan ja tarkasteluajankohdan välillä.

Ajoikatiedoissa reliabiliteetin puolelta suurimpana haasteena ovat datavirheet, johtuen joko viallisista mittalaitteista tai olosuhteista, kuten linja-auton menemisestä maanalaiseen terminaalirakennukseen, jolloin paikannukseen käytetty GPS-signaali katoaa. Luotettavuutta yritetään parantaa suodattamalla käytetystä aineistosta selkeästi virheelliset havainnot, joskaan tämänkään jälkeen ei voida olla varmoja, että mittaukset ovat täysin päteviä, sillä myös virheelliset havainnot voivat olla arvoiltaan silti täysin normaalilla vaihteluvälillä, eikä myöskään voida olla varmoja, ettei suodattimeen jää todellisia havaintoja. Suodattaminen myös pienentää otoskokoa, jolloin mittausten tulokset vääristyvät helpommin.

### **5.4 Matkustajatietoihin liittyvät haasteet**

HSL tuottaa matkustajamäärätietoa pääasiassa kahdella eri metodilla, automaattisilla laskentalaitteilla sekä lippuleimausten laskemisella. Näihin kumpaankin liittyvät omat haasteensa tiedon luotettavuuden osalta.

Runkobusseissa, metroissa, raitiovaunuissa ja lähijunissa on ajoneuvoihin asennettuja automaattisia laskentalaitteita, jotka seuraavat matkustajamäärää sekä sisään- että ulosmenon yhteydessä. Metroasemilla on myös porttilaskurit, jotka sijaitsevat laitureille johtavilla sisääntuloväylillä. Automaattisia laskentalaitteita asennetaan myös sinisiin, ”tavallisiin” busseihin uusien liikennöintisopimusten ja kaluston myötä. Haasteena näissä automaattisissa laskentalaitteissa on tietyillä linjoilla heikko otanta, mittausasteen ollessa pieni yksittäisten lähtöjen välillä tapahtuva vaihtelu pääsee vääristämään havaintoa matkustajamäärästä tai liikennöitsijän kalustokierron osuessa viikoittain aina niin että tietyn päivätyypin tietyiltä lähdöiltä ei saada ollenkaan matkustajamäärämittauksia. Toisena haasteena on näiden automaattisten laskentalaitteiden havaintojen tarkkuus ja ajoittain hyvin merkittävätkin datavirheet, joka vääristää laskentojen kokonaismäärän tuloksia ja tekee tietyistä mittauksista käyttökelvottomia. Mitä pienempi on tarkasteltavan kohteen mittausaste, sitä alttiimpi se on datavirheiden aiheuttamille vääristymille. Etuna tässä mittaustavassa verrattuna pelkkiin matkakorttileimauksiin on se että, tämä mittaustapa pyrkii arvioimaan myös poistujien määrää pysäkeillä.

Bussilinjoilla, erityisesti muilla kuin runkolinjoilla, matkustajamäärätiedot perustuvat matkakorttileimauksiin, alaluvussa 5.1.2 mainittuun ”LIJ-matkustajatietoon”. Nämä kerättyjen matkakorttitietojen määrät korotetaan erilaisilla kertoimilla, jotka pyrkivät huomioimaan matkustajat, jotka ovat käyttäneet esimerkiksi mobiililippua tai matkustaneet lastenvaunujen kanssa. Tässä ehdottomana haasteena on fyysisten matkakorttien alati pienenevä osuus maksutapana, jolloin havaintojen määrä pienenee ja vastaavasti korjauskertoimien osuus suurenee, johtaen yhä virheille herkempään tietoon. Mobiilisovelluksesta ostettuja lippuja ei tarvitse leimata astuessaan liikennevälineeseen. Näitä kertoimia pyritään päivittämään aika ajoin esimerkiksi matkalipuntarkastajien tekemien lippulajitutkimusten perusteella, jotta tieto olisi mahdollisimman paikkaansa pitävää. Toisena haasteena tässä laskentatavassa on avorahastuksen parissa olevat liikennevälineet (lähijunat, metrot, raitiovaunut ja runkobussit), sillä kausilipulla matkustavien ei tarvitse leimata matkakorttiaan astuessaan liikennevälineeseen.

Näitä mittauksia validoidaan kenttätutkijoiden tekemillä käsin laskennoilla. Käsin laskentojen vaatimien suurten resurssien takia niitä ei voida tuottaa kovinkaan kattavasti, vaan lähinnä tilausperusteisesti erityisen huomion alla oleviin kohteisiin. Myös Suomenlinnan lautalla matkustajamäärät lasketaan manuaalisesti käsin lautan henkilökunnan toimesta.

Yhteenvetona matkustajamäärästä voidaan todeta, että edellä mainituista haasteista johtuen HSL:n keräämät matkustajamäärätiedot eivät ole kauttaaltaan reliabeleja, vaan on käytettävä tapauskohtaista harkintaa. Vakiintuneen käytännön mukaan suunnittelijat

käyttävät useampaa lähdettä muodostaessaan kokonaiskuvaa matkustajamäärästä, sisältäen edellä mainitut lähteet, mahdolliset asiakaspalautteet sekä mahdollisimman kattava omakohtainen havainnointi.

## 6 Liikennemäärien ja ajoaikojen tarkastelu

Tässä työssä käytettiin aineistona niin sanottua "LIJ"-dataa, ajoikadataa, josta on suodatettu suurin osa tapahtumista, jättäen jäljelle vain pysäkkialueen sisään saapumisen ja sieltä poistumisen, jonka avulla voidaan laskea pysäkkivälin matka-aika, josta voidaan edelleen johtaa erilaisia liikenteen sujuvuutta arvioivia tunnuslukuja. Näitä tunnuslukuja ja etenkin niiden muutosta seuraamalla pyritään osoittamaan Mannerheimintiellä katutöistä johtuneiden poikkeuksellisten liikenneolosuhteiden vaikutusta liikenteen sujuvuuteen. Aineisto koostuu Mannerheimintien työmaa-alueen läpi kulkeneiden runkolinjojen 40 ja 300 tapahtumista Elielinaukion ja Töölön kisahallin välillä, aikavälillä 6.3.2023 – 28.7.2023, sisältämättä viikonloppuja. Aineistosta poistettiin klo 00:00 – 04:30 lähteneiden lähtöjen tapahtumat, sillä aineistojen lataamiseen käytetty rajapinta ei tue taustajärjestelmän käytössä olevaa 30 tunnin kelloa (suurimmilta osin liikennöintivuorokausi vaihtuu taustajärjestelmässä vasta 04:30). Leikkautuneiden lähtöjen mukana olo tosin saattaisi osaltaan vääristää esimerkiksi viikonpäiväkohtaisia tarkastelua, sillä perjantaisin liikennöintiajat ovat muita arkipäiviä pidemmät, ja näin leikkaamalla lähtömäärät ja -ajat pysyvät eri viikonpäivinä samana.

Ajoikadatan lisäksi aineistoon kasattiin ajoikadataa vastaavilta päivämääriltä tieliikenteen ajoneuvomääriä Fintrafficin tarjoamasta LAM-tilastohausta (Fintraffic, 2023).

Liikennemäärien seuraamiseen validein tarkasteltava metodi tähän työhön olisi ollut toteuttaa liikennemäärien seuranta työmaa-alueella itsessään, mutta siihen tarvittavia resursseja ei tätä työtä varten ollut. Liikennemäärien seuranta toteutettiin yhdistämällä neljän työmaa-alueella lähimpänä olevan LAM-pisteen liikennemäärät, joiden voidaan olettaa korreloivan edes jollain tavalla Mannerheimintien liikennemäärien kanssa.

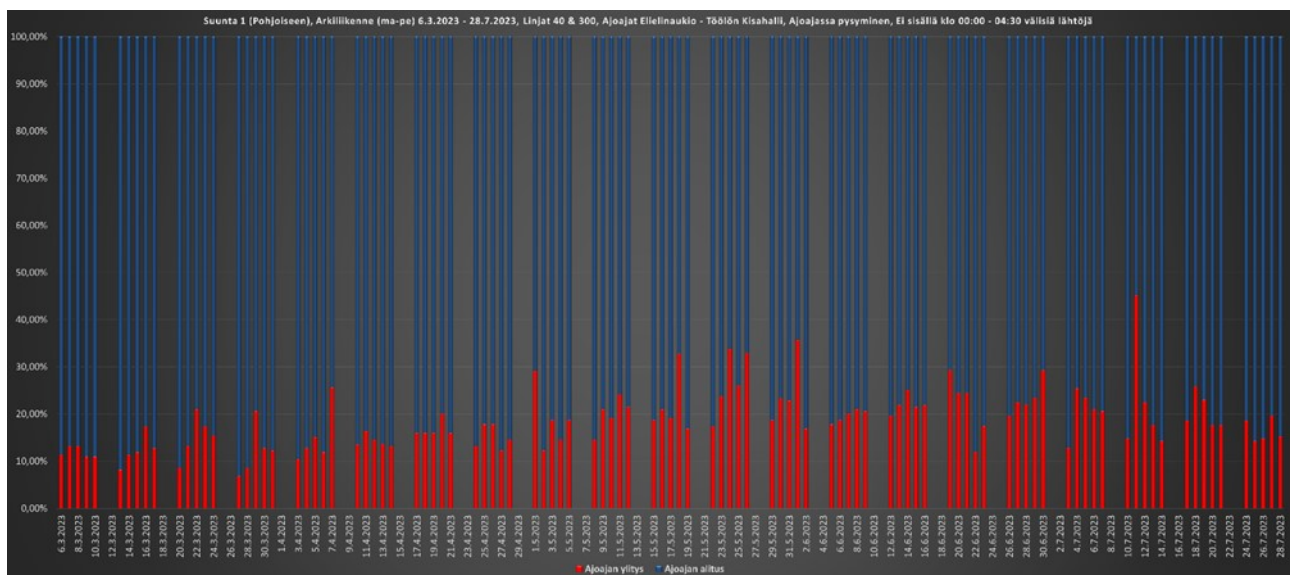
Luvun eri osioissa tarkastellaan matka-ajan pysymistä suunnitellun ajoajan puitteissa, täsmällisyyttä, matka-ajan trendiä sekä matka-ajan hajontaa. Näitä tunnuslukuja tarkastelemalla pyritään hahmottamaan, miten Mannerheimintien katutyöt ja niistä johtuvat poikkeukselliset liikenneolosuhteet vaikuttavat joukkoliikenteen sujuvuuteen ja liikennemääriin. Ajoikatrendien ja hajontojen tarkastelu antaa mahdollisuuden ymmärtää, miten katutyöt ja muut poikkeustilanteet vaikuttavat matka-aikoihin eri ajanjaksoina. Lisäksi luvussa esitellään liikennemäärien kehitys ja vertaillaan niitä erityispäivien vaikutusten kanssa.

## 6.1 Matka-ajassa pysyminen päivätasolla

Matka-ajassa pysymistä mitataan yksinkertaisesti jakamalla aineisto kahteen osaan, tarkastellun pysäkkivälin suunnitellun ajoajan ylittävät lähdöt ja tarkastellun pysäkkivälin suunnitellun ajoajan alittavat lähdöt. Tämän tarkastelumallin etuna on helppo muutosten havaitseminen toteutuneissa ajoajoissa, muutosten juurisyiden selvittäminen vaatii kuitenkin muiden liikenteen toimivuuden tunnuslukujen tarkastelua. Täsmällisyyteen tai ajoaikojen hajontaan tämä tarkastelumalli ei ota kantaa. Tämä tarkastelumalli myös vastaa linjojen ajoikasuunnittelussa käytettyä tarkastelumallia. Sekunnilleen täsmälliset lähdöt on laskettu aineistossa ajoajan alituksiksi, näiden osuus aineistosta on kuitenkin häviävän pieni (0,17 % suunnassa 1 ja 0,23 % suunnassa 2).

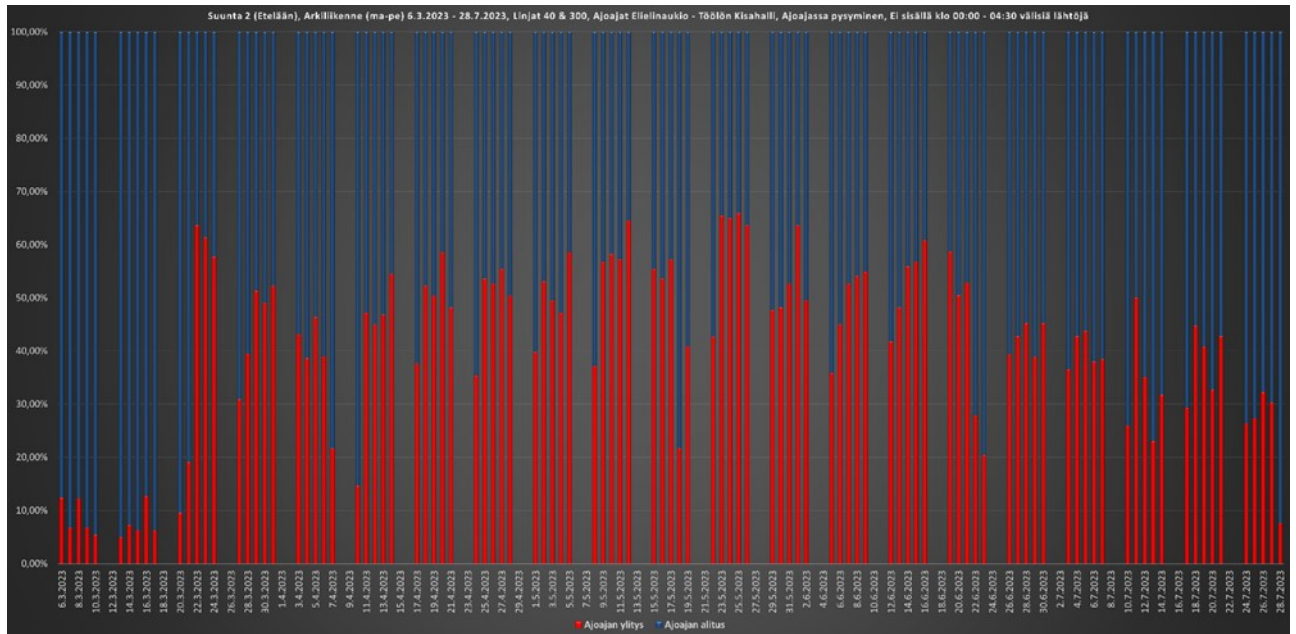
Suunnassa 1 (Elielinaukiolta Töölön Kisahallille) koko tarkasteluajanjakson lähdöistä 20,80 % ylitti aikataulussa annetun ajoajan ja puolestaan 79,20 % alitti annetun ajoajan. Kuvassa 16 on nähtävissä matka-ajassa pysymisen päivittäinen muutos suunnassa 1.

Kuva 16. Matka-ajassa pysyminen, osuus vuorokauden lähdöistä, suunta 1, arkipäivät aikaväliltä 6.3.2023 – 28.7.2023, yksi pylväs esittää yhtä vuorokautta.



Suunnassa 2 (Töölön Kisahallilta Elielinaukiolle) koko tarkasteluajanjakson lähdöistä 47,72 % ylitti aikataulussa annetun ajoajan ja 52,28 % alitti annetun ajoajan. Kuvassa 17 on nähtävissä matka-ajassa pysymisen päivittäinen kehitys suunnassa 2. Verrattuna suuntaan 1 on tässä kuvaajassa nähtävissä matka-aikojen suhteellinen kasvu huomattavasti merkittävämpänä.

Kuva 17. Matka-ajassa pysyminen, osuus vuorokauden lähdöistä, suunta 2.

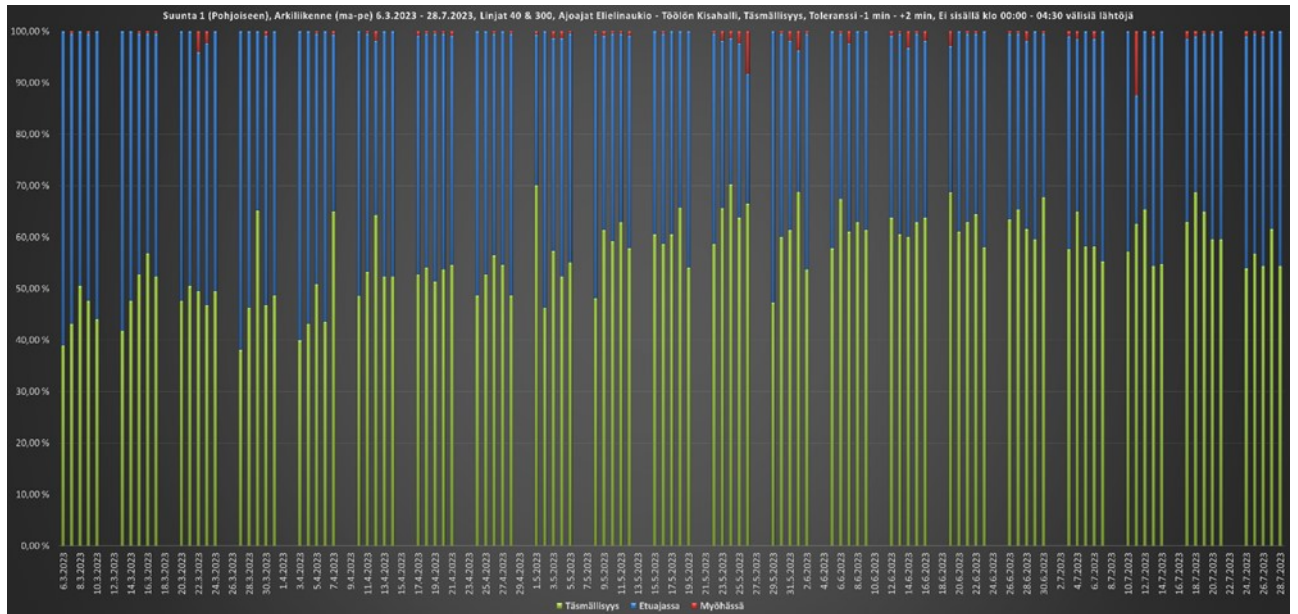


## 6.2 Täsmällisyys

Tässä tarkastelumallissa lähdön on arvioitu olevan täsmällinen HSL:n käyttämän luotettavuusindikaattorin mukaisesti, kun se on enintään minuutin etuajassa tai 2 minuuttia myöhässä. Etuajassa ajamisen voidaan katsoa olevan merkittävämpi haitta matkustajalle kuin pieni myöhästyminen.

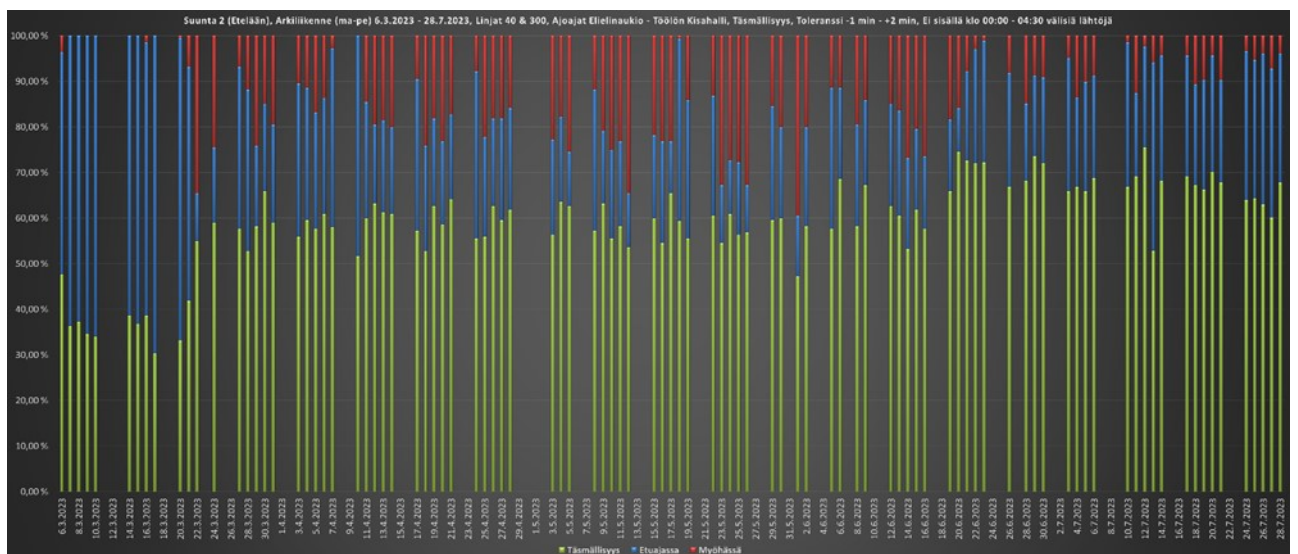
Suunnassa 1 (Elielinaukiolta Töölön Kisahallille) koko tarkasteluajanjakson lähdöistä 56,35 % voitiin katsoa olevan täsmällisiä, 0,82 % ylitti aikataulussa annetun ajoajan yli kahdella minuutilla ja 42,83 % alitti annetun ajoajan yli minuutilla. Kuvassa 18 on nähtävissä täsmällisyysasteen päivittäinen kehitys suunnassa 1. Vertaillaessa matka-ajassa pysymisen kuvaajiin, voidaan huomata, että suunnassa 1 täsmällisiksi lasketuista lähdöistä noin 2/3-osaa alittaa annetun ajoajan alle minuutilla.

Kuva 18. Täsmällisyys, osuudet vuorokauden lähdöistä, suunta 1.



Suunnassa 2 (Töölön Kisahallilta Elielinaukiolle) koko tarkasteluajanjakson lähdöistä 58,70 % voitiin katsoa olevan täsmällisiä, 13,88 % ylitti aikataulussa annetun ajoajan yli kahdella minuutilla ja 27,41 % alitti annetun ajoajan yli minuutilla. Kuvassa 19 on nähtävissä täsmällisyysasteen päivittäinen kehitys suunnassa 2. Tässä suunnassa voidaan todeta luotettavuusindikaattorin mukaisen täsmällisyyden olevan hieman parempi, toisaalta hajonta on huomattavasti suurempaa. Täsmällisiksi lasketuista lähdöistä noin 58 % ylittää annetun ajoajan.

Kuva 19. Täsmällisyys, osuudet vuorokauden lähdöistä, suunta 2.



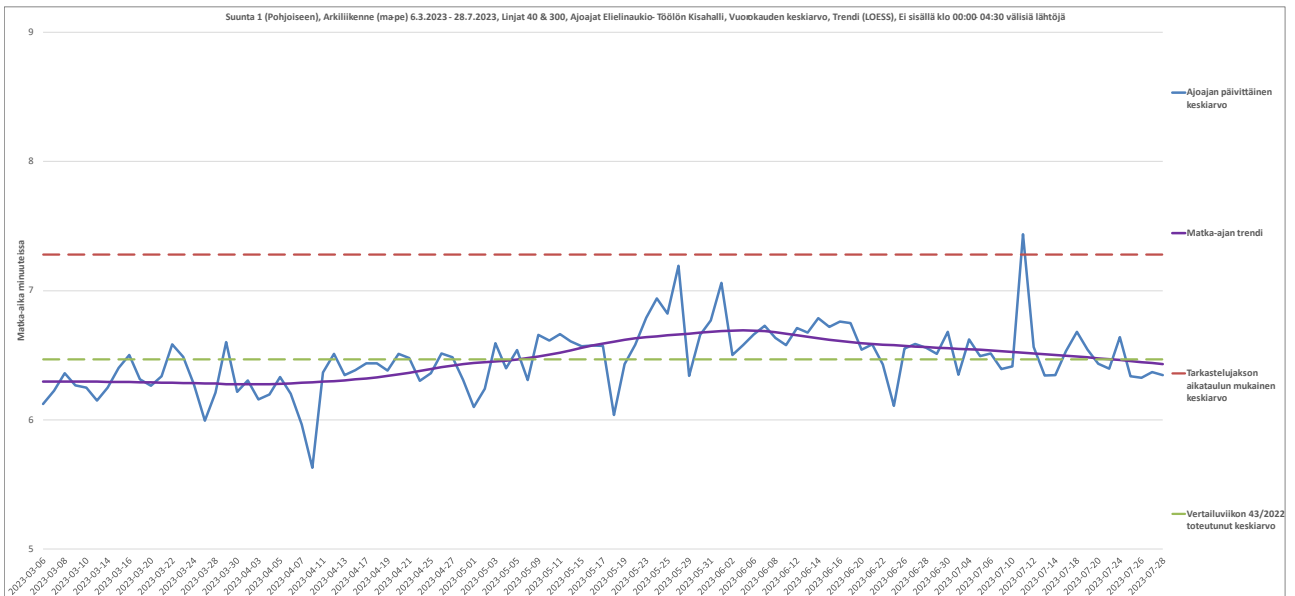


### 6.3 Matka-ajan trendi

Ajoajan tarkastelu on tärkeää siinäkin suhteessa, että toteutuneita ajoaikamittauksia käytetään tulevien aikataulujen suunnittelussa. Tässä työssä on enemmän keskitytty ajoaikojen päivittäisiin keskiarvoihin ja niiden trendiin kuin yksittäisiin ajoaikoihin. Ajoaikoja olisi voitu tarkastella myös esimerkiksi keskiarvoina ja hajontana vuorokauden eri ajankohtina, mutta oletusarvoisesti katutöiden aiheuttamat ilmiöt ovat kestoaltaan sellaisia, että ne eivät toistu samaan aikaan eri päivinä ja kestävät usein tunnista muutamiin päiviin.

Suunnan 1 ajoaikojen päivittäinen keskiarvo vaihtelee noin 5,5 minuutista 7,5 minuuttiin. Ajoaika pysyy suhteellisen vakaana tarkasteluajanjakson ensimmäisen kuukauden, vaihdellen normaalin vuorokausikohtaisen hajonnan sisällä. Huhtikuun alkupuolella ajoajat kääntyvät kasvuun, kasvaen kesäkuun alkupuolelle asti, jonka jälkeen ne kääntyvät uudelleen laskuun kesän edetessä. Ajoajat eivät poikkea kovinkaan merkittävästi vertailuviikon 43/2022 ajoajoista, aikataulukaaivioissa asetettu päivän ajoaikojen keskiarvo ylitetään ainoastaan yhtenä päivänä, 11.7., Yhdysvaltain presidentin valtiovierailun takia. Matka-aikojen päivittäisten keskiarvojen kehitystä suunnassa 1 kuvataan kuvassa 20.

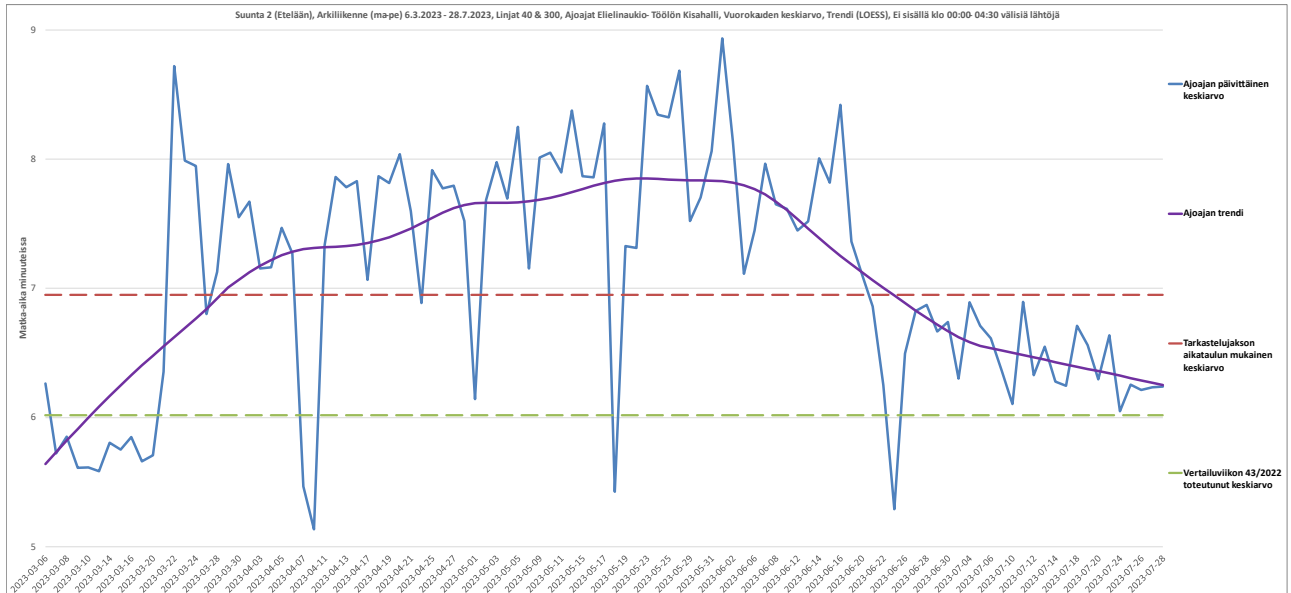
Kuva 20. Matka-ajan kehitys, päivittäinen keskiarvo, suunta 1.



Suunnassa 2 ajoaikojen päivittäiset keskiarvot vaihtelevat noin 5,25 minuutista lähes 9 minuuttiin. Ajoajat kasvavat dramaattisesti työmaahan liittyvien liikennejärjestelyiden alkamisesta alkaen 22.3. vajaasta 6 minuutista ja saavuttavat suurimmat arvonsa, 7–9 minuutin välillä, noin kesäkuun alussa. Juhannuksen jälkeisen ajoajan laskun jälkeen ajoaika ei enää palaudu kesäkuun tasolle vaan pysyy suhteellisen tasaisesti 6 ja 7 minuutin

välissä. Matka-aikojen päivittäisten keskiarvojen kehitystä suunnassa 2 kuvataan kuvassa 21.

Kuva 21. Matka-ajan kehitys, päivittäinen keskiarvo, suunta 2.

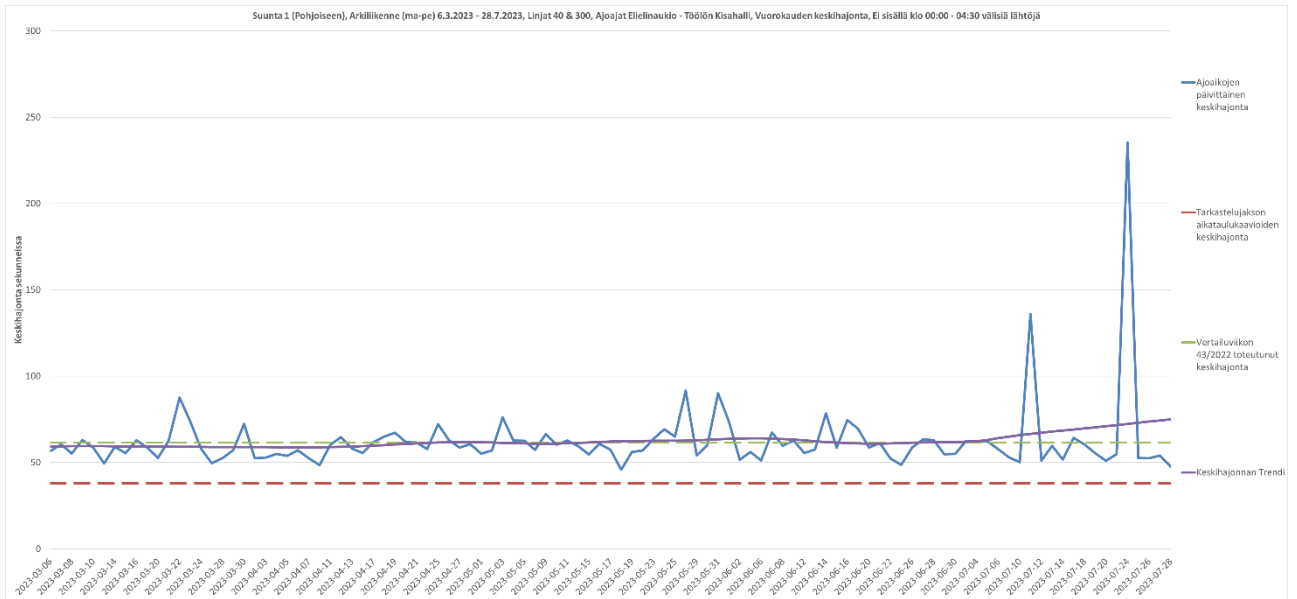


## 6.4 Matka-ajan hajonta

Ajoaikojen hajonnan seuranta on tärkeä tekijä liikenteen sujuvuuden seurannassa. Vaikka ajoajat olisivat keskiarvoltaan täysin suunniteltujen aikataulujen mukaisia, jos niissä on suurta hajontaa eivät ne tuota matkustajien kannalta toimivaa palvelua. Hajontaa harvoin pystytään hallitsemaan täysin aikataulusuunnittelun keinoin, vaan sitä pyritään pienentämään esimerkiksi infrastruktuuriparannuksin. Suunnittelutyössä hajontaa pyritään karsimaan esimerkiksi lisäämällä ajantasauspysäkkejä reitin varrelle. Ajoaikojen keskihajonnan tarkastelemisen etuna on sen tulkinnan helpous, asteikko vastaa ajoaikojen asteikkoa.

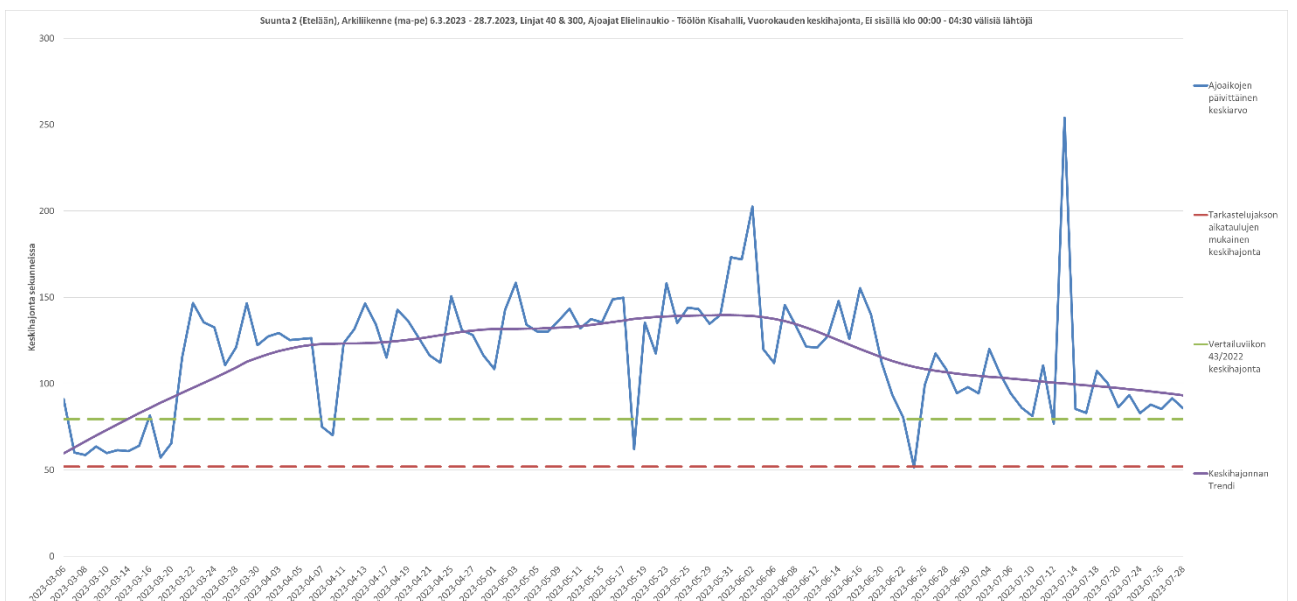
Kuvassa 22 on nähtävissä toteutuneiden matka-aikojen keskihajonnan päivittäistä kehitystä suunnassa 1, kuvaajaan on myös laskettu keskihajonnan trendi, sekä tuotu vertailun vuoksi tarkasteltavaksi tarkasteluajanjakson aikataulujen sisäinen keskihajonta sekä viikon 43 toteutunut keskihajonta. Suunnassa 1 keskihajonnan trendi noudattelee pitkälti vertailuviikon 43/2022 toteutuneiden ajoaikojen keskihajontaa, joskin heinäkuussa olleet suurimmat hajontapiikit, Yhdysvaltojen presidentin valtiovierailu Helsingissä ja heinäkuun lopulla tarkastelualueelle hajonneesta linja-autosta tallentunut poikkeuksellisen pitkä ajoaika.

Kuva 22. Matka-ajan päivittäinen keskihajonta, suunta 1.



Kuvassa 23 on nähtävissä toteutuneiden matka-aikojen keskihajonnan päivittäistä kehitystä suunnassa 2, kuvaajaan on laskettu keskihajonnan trendi, sekä tuotu vertailun vuoksi tarkasteltavaksi tarkasteluajanjakson aikataulujen sisäinen keskihajonta sekä viikon 43 toteutunut keskihajonta. Varsinaisten katutöistä aiheutuneiden liikennejärjestelyiden alettua nousee keskihajonta suunnassa 2 ensin jyrkästi, pysyen melko korkeana noin juhannusviikonloppuun asti, josta se alkaa laskea hiljalleen. Tässäkin suunnassa Yhdysvaltain presidentin valtiovierailu näkyy selkeästi hajontatilastossa.

Kuva 23. Matka-ajan päivittäinen keskihajonta, suunta 2.



## 6.5 Liikennemäärät

Jo työn varhaisessa vaiheessa, esimerkiksi tarkasteltaessa mahdollisia datalähteitä, viittasivat esimerkiksi kuvan 12 kaltaiset HFP-kuvaajat sekä omakohtainen havainnointi paikan päällä, muun liikenteen määrän vaikuttavan ajoaikoihin ja niiden hajontaan tarkastelualueella. Mannerheimintiellä ei liikennemäärien laskentaa suoritettu, joten Liikenteen automaattisten mittausasemien (LAM) verkostosta, valittiin asiantuntija-arviolla paikat, joilla mahdollisesti pystyttäisiin kuvaamaan alueen yleistä liikennemäärää pelkän Mannerheimintien sijasta. Kuvassa 24 on kuvattu tarkasteluajanjakson arkipäivien yhteenlaskettua liikennemäärää valituilla mittauspisteillä. Liikenteen kokonaismäärä kerätty seuraavilta LAM-pisteiltä:

- 101 - Tie 51/Länsiväylä Hanasaari
- 117 - Tie 1/Turunväylä Munkkiniemi
- 151 - Tie 120/Vihdintie Pitäjänmäki
- 164 - Tie 3/Hämeenlinnanväylä Kivihaka

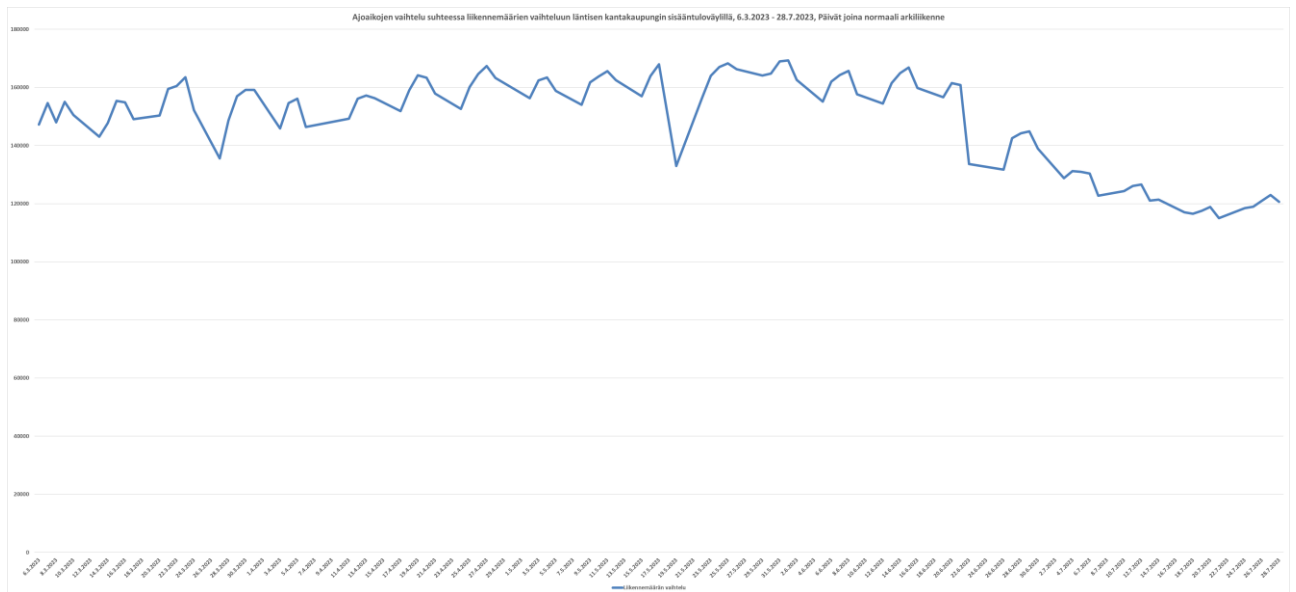
Kuva 24. Ajoneuvoliikennemäärät läntisen kantakaupungin sisääntuloväylillä, arkipäivät.



Aineistosta erotettiin myös kuvaaja, josta poistettiin erikoispäivät myöhempää hyödyntämistä varten, tätä on kuvattu kuvassa 25. Erikoispäivän määritelmänä käytettiin tässä yhteydessä päiviä, jolloin tarkasteltujen linjojen 40 ja 300 lähtömäärä poikkesi normaalista

aikataulukauden lähtömäärästä. Liikennemäärät nousevat loivasti kohti kesää, sisältäen normaalin päivittäisen liikennemäärien vaihtelun. Juhannuksen jälkeen liikennemäärät kääntyvät melko jyrkkään laskuun, laskien koko heinäkuun. Tässä voi syinä olla muun muassa kausivaihtelua, loma-aikojen ja sääolosuhteiden vaikutusta liikennemääriin.

Kuva 25. Ajoneuvoliikennemäärät läntisen kantakaupungin sisääntuloväylillä, arkipäivät, jolloin ei poikkeusaikatauluja linjoilla 40 ja 300.



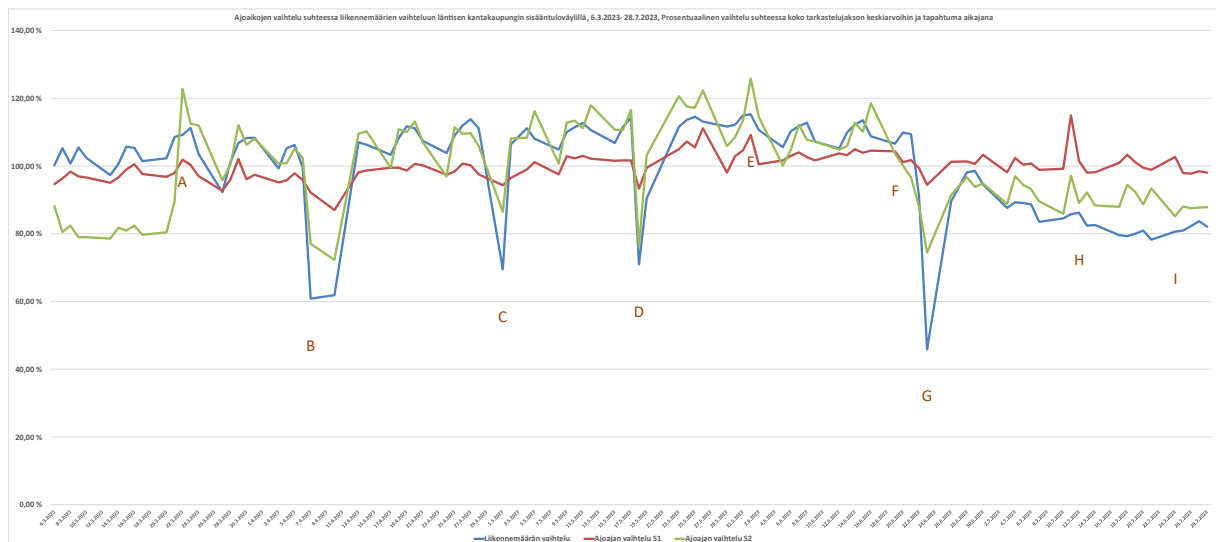
## 7 Havainnot ja tapahtumien aikajana

Tässä työssä tehdyt havainnot keskittyvät tarkastelemaan liikennejärjestelyiden vaikutusta runkobussilinjoihin 40 & 300 Mannerheimintien varrella tietyinä ajanjaksona. Taustalla luvussa 6 esitelty aineisto, joista voidaan tunnistaa joukko merkittäviä tapahtumia ja tilanteita, jotka vaikuttavat sekä liikennemääriin että ajoaikoihin eri päivinä. Kuvassa 26 on kuvattu liikennemäärien ja eri suuntien ajoaikojen vaihtelua suhteessa toisiinsa, sekä alla listatut merkittävimmät tunnistetut tapahtumat. Merkittävimmät aineistosta tunnistetut tapahtumat:

- Katutöistä johtuvien liikennejärjestelyiden käyttöönotto 22.3., järjestelyissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia tämän jälkeen tarkasteluajanjakson aikana (kuvassa 26 merkintä A).
- Pääsiäinen 7.–10.4., arkipyhistä johtuva liikennemäärien väheneminen (kuvassa 26 merkintä B).
- Vappuaatto 1.5 (kuvassa 26 merkintä C).

- Helatorstai 18.5., sekä jossain määrin myös tätä seuraava perjantai 19.5., jolloin liikennettä vähän (kuvassa 26 merkintä D).
- Kaivuutyö Mannerheimintien ja Töölönlahdenkadun risteyksessä 1.6., kaivuutyön takia kaistoja jouduttiin kaventamaan ja liikennevalo-ohjattu risteys korvaamaan liikenteenohjaajilla (kuvassa 26 merkintä E).
- Kesäaikataulut voimaan 19.6 (kuvassa 26 merkintä F).
- Juhannusaatto 23.6 (kuvassa 26 merkintä G).
- Yhdysvaltain presidentin ja Pohjoismaiden pääministerien valtiovierailu 12.7.–13.7., katuja suljettu väliaikaisesti autosaattueiden tieltä molempina päivinä (kuvassa 26 merkintä H).
- Suunnassa 1 kulkenut linja-auto 24.7. hajonnut ja kirjannut poikkeuksellisen pitkän ajoajan, nähtävissä etenkin hajontakuvaajissa (kuvassa 26 merkintä I).

Kuva 26. Ajoaikojen ja liikennemäärien vaihtelun suhde, sekä tarkasteluaikaavälin merkittävimmät tapahtumat, liikennemäärän vaihtelu sinisellä, ajoaikojen vaihtelut punaisella (suunta 1) ja vihreällä (suunta 2).



## 7.1 Ajoajan vaihtelu aikataulusuunnittelun näkökulmasta

Yleisesti HSL:n linja-autoliikenteen ajoikasuunnittelussa käytetään persenttiä 40, tarkoittaen että vertailussa käytettävien aiempien kausien toteutuneista ajoajoista 40

prosenttia alittaisi annetun ajoajan ja 60 prosenttia ylittäisi sen. Etuna tämän persentiilin käytössä verrattuna keskiarvoon tai mediaaniin on pienempi etuajassa ajavien lähtöjen määrä, jolloin matkustajien kokema täsmällisyys kasvaa ja odotusajat isossa kuvassa pienenevät. Tätä kuitenkin tulee soveltaa linjojen erilaisten ominaisuuksien ja roolien takia. (Lukkarinen, 2012)

Linjojen reitit jaetaan ajoikasuunnittelussa paikkaväleihin, jotta suunnittelutyö olisi tarkempaa. Paikkavälien määrä linjoilla vaihtelee linjakohtaisesti, riippuen linjan ominaisuuksista. Lyhyemmillä paikkaväleillä voidaan tunnistaa ja pyrkiä eliminoimaan tehokkaammin hajontatekijät, tässä tosin on rajoitteena tieliikenteen ajoaikojen yleinen hajonta, jolloin linja-autoliikennettäkin ei ole kannattavaa suunnitella pienemmillä kuin minuutin tarkkuuksilla. Kokonaisajoajan tavoitteen ollessa persentiilissä 40, pyrkivät suunnittelijat pitämään liikenteen mahdollisimman täsmällisenä suunnittelemalla tietyt paikkavälit eri persentiilien mukaan, jotta esimerkiksi liityntälinjojen vaihdot onnistuvat mahdollisimman hyvin.

Tarkastelluilla linjoilla 40 ja 300, on suunniteltu ajoaika reitin alun paikkaväleillä hieman pienemmällä persentiilillä kuin 40, josta persentiiliä kasvatetaan lähestyessä päätepysäkkiä. Linjojen halutaan kulkevan keskimäärin hieman myöhässä suurimman suunnitellun nousijakuorman alueella, jotta matkustajien kokema täsmällisyys on parempi, ja kirivän aikataulunsa kiinni kohti vaihtopaikkaa tai päätepysäkkiä, jotta vaihdot onnistuvat ja linjan kokonaisajoaika on mahdollisimman paikkansa pitävä.

Tätä verrattaessa siihen, että suunnassa 1 tarkastelualue on reitin alkupäässä, ja suunnassa 2 reitin loppupäässä, jolloin ajoaika on suunniteltu suuremman persentiilin mukaisesti, voidaan todeta liikenneympäristön vaikutuksen kääntäneen suuntien välisen tilanteen päinvastoin kuin suunniteltu. Tarkasteltaessa kuvissa 22 ja 23 esiintyvää ajoaikojen kehitystä suhteessa kuvaajissa esitettyihin vertailuviikon 43/2022 keskiarvoihin, voidaan huomata suunnan 2 kärsineen katutöiden aiheuttamasta liikenneympäristön muutoksesta huomattavasti enemmän. Samalla voidaan järkeillä olleen suunnan 1 ajoaikalisäysten ylimitoitettuja (toteutuneet ajoajat menevät noin 80. persentiilin mukaisesti, kuva 16) ja suunnassa 2 puolestaan melko paikkansa pitäviä.

Jatkotarkasteluna olisi hyvä tarkastella vaikuttavatko vaihtelut paikkavälin ajoajoissa linjojen kokonaisajoaikaan. Suunnassa 1 olisi hyvä tarkastella tasaantuuko kokonaisajoaika ajantasausten käytön myötä, jolloin saataisiin tarkempi kokonaiskuva viiveiden aiheuttamasta haitasta matkustajille. Suunnassa 2 taas olisi tarpeen tarkastella esimerkiksi aiheuttavatko katutöiden aiheuttamat viiveet vaihtojen epäonnistumista Rautatientorilla.

## 7.2 Liikennevirtateorian soveltaminen käytännössä

Pearsonin korrelaatiokerroin on yksi yleisimmin käytettyjä tilastollisia mittareita, kun pyritään arvioimaan kahden jatkuvan muuttujan välistä yhteisvaihtelua. Tämä kerroin pyrkii mittaamaan, kuinka vahva lineaarinen yhteys näiden kahden muuttujan välillä esiintyy. Lineaarinen yhteys tarkoittaa sitä, että kun toinen muuttuja kasvaa, toinen joko kasvaa tai pienenee samassa suhteessa. Pearsonin korrelaatiokerroin tarjoaa meille numeerisen arvon, joka kuvastaa tätä yhteyttä, ja sen arvo voi vaihdella välillä -1 (täydellinen negatiivinen korrelaatio) ja 1 (täydellinen positiivinen korrelaatio). (Kestilä-Kekkonen, 2023)

Suunnassa 1 Pearsonin korrelaatiokerroin ajoajan ja liikennemäärän välillä on noin 0,42 ja suunnassa 2 taas noin 0,73. Yleisenä nyrkkisääntönä tilastolliselle merkitsevyydelle pidetään, jos korrelaatiokertoimen itseisarvo on suurempi kuin luku 2 jaettuna otoksen neliöjuurella (Krehbiel, 2004). Tässä tapauksessa tarkasteltuja päiviä oli 105 kappaletta, johtuen laskutoimitukseen  $\frac{2}{\sqrt{105}} \approx 0,195$ . On huomioitava, että korrelaation vahvuus riippuu tarkasteltavasta aiheesta, esimerkiksi luonnontieteissä tarkoilla välineillä mitattuna voidaan ajatella vaadittavan huomattavasti korkeampaa korrelaatiota kuin esimerkiksi jonkin yhteiskuntatieteen alan kyselytutkimuksessa. Näitä korrelaatioita voidaan tässä kontekstissa pitää keskivahvoina, sillä on viitteitä siitä, että arvoilla on yhteys toisiinsa, mutta voidaan melko suurella todennäköisyydellä olettaa, että ajoaikoihin ovat vaikuttaneet myös muut tekijät. On myös huomioitava, että korrelaatio ei aina tarkoita kausaliiteettia, vaan arvoilla voi esiintyä tilastollinen vastaavuus ilman konkreettista yhteyttä, joko ulkopuolisen tekijän vaikutuksesta tai täysin sattumanvaraisesti.

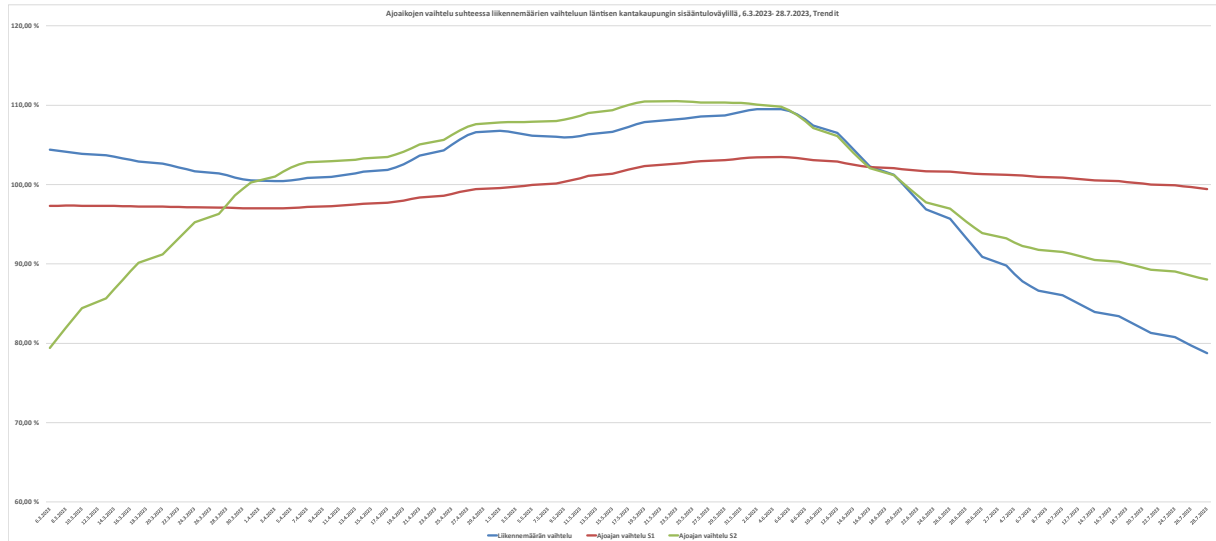
Keskivahvaan korrelaatioon viittaavat myös kuvat 26 ja 27, jossa voidaan huomata ajoaikojen vaihtelun noudattelevan suurimmilta osin liikennemäärien vaihtelua. Suunnan 1 osalta voidaan huomata vaikutusten olevan huomattavasti pienempiä tai jopa olemattomia, ajoajat eivät esimerkiksi laske merkittävästi liikennemäärien laskiessa heinäkuussa, kun taas suunnassa 2 muun liikenteen hidastava vaikutus on selkeä. Suunnassa 2 ajoajat putoavat lähtötasolleen noin 6 minuuttiin (kuvien 26 ja 27 asteikolla noin 80 %) erityispäivinä, jolloin muuta liikennettä on huomattavasti vähemmän. Heinäkuussa, jolloin liikennemäärät pienenevät, voi myös ajoajan trendin suunnassa 2 huomata olevan laskeva.

Maaliskuussa ennen varsinaisten työmaahan liittyvien liikennejärjestelyiden käyttöönottoa, ei ole havaittavissa vastaavaa muun liikenteen hidastavaa vaikutusta. Tämän perusteella voidaan päätellä liikennevirtateoriaan nojaten, että työmaan aikaiset järjestelyt ovat pienentäneet kriittistä tiheyttä ja tätä vastaavaa tien välityskykyä, tarkoittaen että tarkastelualueella voi kulkea vähemmän ajoneuvoja ennen nopeuden merkittävää laskua,



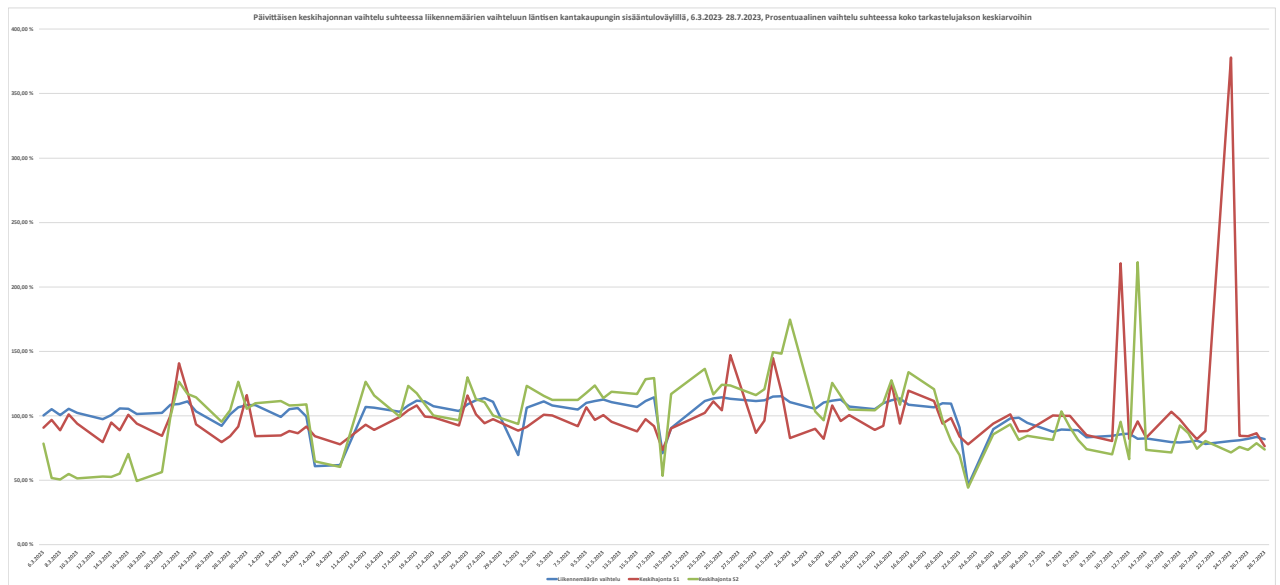
kuin ennen katutöiden aiheuttamaa poikkeustilaa. Ilman varsinaisia liikennemääriä Mannerheimintieltä itseltään on kuitenkin käytännössä mahdotonta muodostaa tarkkoja yhtälöitä ja määritellä liikennejärjestelyiden poikkeustilan vaikutusta liikennevirtaan.

Kuva 27. Ajoaikojen vaihtelu suhteessa liikennemääriin läntisen kantakaupungin sisääntuloväyliin.



Keskihajontaan liikennemäärillä ei tunnu olevan samanlaista vaikutusta kuin ajoaikoihin, vaan suunnassa 1 Pearsonin korrelaatiokerroin ajoajan keskihajonnan ja liikennemäärän vaihtelun välillä on noin 0,05 ja suunnassa 2 taas noin 0,52. Varsinkaan suunnan 1 tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkittävänä. Suunnassa 2 hajonta seurailee jossain määrin liikennemääriä, sillä päivinä, jolloin liikennemäärät ovat pieniä, ajetaan yleensä koko vuorokauden läpi lyhyitä ajoaikoja, toisin kuin ”tavallisina” arkipäivinä, jolloin ajoajat ovat pisimmillään ruuhka-aikoina. Kuvassa 28 kuvattu keskihajonnan vaihtelua molemmissa suunnissa suhteessa liikennemääriin.

Kuva 28. Ajoaikojen keskihajonnan vaihtelu suhteessa läntisen kantakaupungin liikennemääriin.



### 7.3 Viikonpäiväkohtaiset vaihtelut

Luvussa 6 käsitelyjen kuvaajien perusteella voimme havaita, että ajoajat vaihtelevat eri viikonpäivinä kummassakin suunnassa. Kuvassa 29 on kuvattu ajoaikojen keskiarvoja tarkasteluajanjaksoilla eri viikonpäivinä. Maanantai on molemmissa suunnissa lyhin ajoajaltaan päivä, joskin suunnassa 2 huomattavasti suuremmalla marginaalilla. Ajoaikojen jakautuminen eri viikonpäiville noudattaa pitkälti samaa kaavaa molemmissa suunnissa, maanantaina ajoajat ovat selvästi lyhyempiä, keskiviikko on selvästi ajoajoiltaan pisin päivä ja muut viikonpäivät jakautuvat melko lähelle tarkasteluajanjakson keskiarvoa.

Viikonpäivien ajoaikojen jakautuminen noudattelee pitkälti ennako-odotuksia, sillä etätyön osuuden kasvettua, ovat matkustajamäärät olleet maanantaina ja perjantaina melko reilusti pienemmät kuin muina päivinä. Liikennemäärät taas ovat perinteisesti kasvaneet kohti perjantaita, perjantain ollessa vilkkain päivä Helsingissä (Lilleberg & Hellman, 2015, s. 25). Liikennemäärien viikonpäivävaihtelussakin tosin on voinut tapahtua muutosta koronapandemian ja etätyön osuuden kasvettua. Viikonpäivien välistä ajoaikojen eroa voi myös selittää erot nousijoissa ja poistujissa tarkastelualueen sisällä olevalla Hesperian puiston pysäkkiparilla. Tähän tarkasteluun olisikin hyvä tuoda mukaan myös esimerkiksi ajoajan vaihtelut kellonajan ja tarkat nousija- ja poistujatiedot, jotta saataisiin selkeämpi kuva esimerkiksi erilaisten matkatyyppien jakautumisesta eri viikonpäivinä. Nykyisen suunnittelutarkkuuden puitteissa nämä eivät ole kriittisiä tietoja, mutta työmaan yksittäisten toimintojen aiheuttamien häiriöiden tunnistamisessa niistä olisi hyötyä.

Kuva 29. Päivätyyppikohtaiset ajoajan keskiarvot, arkipäivät, jolloin normaalin aikataulukauden mukainen liikenne.

Suunta 1			Suunta 2		
Viikontyyppi	Ajoaika (min)	Suhdeluku	Viikontyyppi	Ajoaika (min)	Suhdeluku
Ma	6,405294168	98,63 %	Ma	6,665481206	93,78 %
Ti	6,517171601	100,35 %	Ti	7,160471267	100,74 %
Ke	6,561068761	101,03 %	Ke	7,379763068	103,83 %
To	6,500844798	100,10 %	To	7,170106016	100,88 %
Pe	6,477387319	99,74 %	Pe	7,15702945	100,69 %

Kuvassa 30 on kuvattu linjojen 40 ja 300 matka-aikojen viikontyyppiäkohtaiset keskiarvot ja keskihajonnat suunnittain. Päiväkohtaiset erot ovat tässä tapauksessa melko pieniä, jolloin saman aikataulun voidaan olettaa toimivan vähintään tyydyttävällä tasolla. Jos erot olisivat jollain tavalla poikkeuksellisen suuria tulisi tarkastella päiväkohtaisten aikataulujen tarpeellisuutta, kuitenkin ensin pohtien onko hajontatekijöiden vaikutusta pienennettävissä jollain muulla keinoin. Viikontyyppiäkohtainen keskihajonta noudattaa melko samaa kaavaa kuin ajoaikojen keskiarvot, ollen huomattavasti suurempaa suunnassa 2 kuin suunnassa 1, ja maanantai poikkeaa myös hajonnaltaan muista viikontyyppistä suunnassa 2.

Kuva 30. Matka-ajan keskiarvo ja keskihajonta viikontyyppittäin.



## 7.4 Kustannusvaikutukset

Tämän alaluvun tarkoituksena ei ole kuvata kokonaisvaltaisesti katutöiden kustannusvaikutuksia, vaan antaa mittakaavaa linjan 40 matkustajille koituvista viiveistä. Katutöiden yhteiskuntataloudellisista vaikutuksista enemmän alaluvussa 4.3. Linjaa 300 ei tässä alaluvussa käsitellä, sillä se on aloittanut liikennöinnin vasta syksyllä 2022, joten siltä ei ole vertailukelpoisia mittauksia.

Linjalta 40 kerättyjä automaattisten matkustajalaskentalaitteiden otoksia laajentamalla saadaan arvioitua Elielinaukiolta nousseen linjalle (suunta 1) noin 100000 matkustajaa huhti- ja toukokuussa, ja noin 90000 nousijaa kesä- ja heinäkuussa yhteensä. Suunnassa 2 puolestaan Elielinaukiolla poistujia oli huhti- ja toukokuussa noin 66000 ja kesä- ja heinäkuussa noin 57000 yhteensä. Automaattisten laskentalaitteiden tiedoista puuttuu tiettyjä aikavälejä, joten laajennus vuositason joudutaan tekemään laajentamalla edellisen vuoden muutoksen pohjalta. Vuoden 2022 matkustajamäärän kuukausittaista vaihtelua vertaamalla voidaan huomata että huhti- ja toukokuun matkustajamäärä on noin 19,4 % tammi-toukokuun ja elo-joulukuun matkustajamäärien yhteenlasketusta summasta, tarkoittaen näiden kuukausien matkustajamäärän olleen noin 5,15-kertainen huhti- ja toukokuun matkustajamääriin.

Verrattuna vuoteen 2022 linjan 40 ajoajat kasvoivat suunnassa 1 keskimäärin 22 sekuntia huhti-toukokuussa ja 29 sekuntia kesä-heinäkuussa, suunnassa 2 ajoajat kasvoivat keskimäärin 96 sekuntia huhti-toukokuussa ja 67 sekuntia kesä-heinäkuussa. Väyläviraston ”Tie- ja rautatieliikenteen hankearvioinnin yksikköarvot”-ohje antaa arvoksi yksittäisen linja-automatkustajan matka-aikasäästölle keskimäärin 4,57 €/tunti/hlö (Väylävirasto, 2022). Näin ollen voidaan olettaa, että matkustajille koituisi yhteensä reilun 50 miljoonan sekunnin eli noin 14000 tunnin aikamenetys vuodessa, tarkoittaen noin 64000 € menetystä matkustajille vuodessa.

Kustannusvaikutusten laskemiseksi olisi oltava luotettavampaa nousija-, poistuja- ja matkaketjudataa, tulisi huomioida myös muut katutöiden vaikutusalueella kulkevat linjat sekä tulisi tarkastella myös muita kuin suoria viiveitä, kuten toteutumattomia matkaketjuja tai vaikutusta kokonaisajoaikaan. Todelliset kustannusvaikutukset ovat todennäköisesti moninkertaiset, riippuen tietysti mikä kaikki lasketaan mukaan katutöistä aiheutuneiksi kustannuksiksi.

## 8 Yhteenveto

Tarkastelun kohteena olivat linjat 40 ja 300, joilla ajoaikaa suunniteltiin reitin alussa hieman pienemmällä persentiilillä verrattuna reitin loppuun, tavoitteena parantaa matkustajien kokemaa täsmällisyyttä ja mahdollistaa linjojen saavuttavan vaihtopaikat tai päätepysäkit aikataulujen puitteissa. Suunnassa 1 tarkastelualue oli reitin alkupäässä ja suunnassa 2 reitin loppupäässä, joten toteutuneet ja suunnitellut ajoajat poikkesivat toisistaan, ollen suunnassa 1 ylimitoitettuja (linjojen kulkiessa merkittävästi etuajassa), ja suunnassa 2 tiukempia. Ajoaikojen päivittäisen keskiarvon ja keskihajonnan kehitys (kuvat 20–23) osoittaa, että suunnassa 2 liikenneympäristön muutokset, erityisesti katutyöt, vaikuttivat suuremmassa määrin kuin suunnassa 1.

Linjojen ajoajan ja LAM-pisteiltä mitatun liikennemäärän väliltä voidaan löytää keskivahva korrelaatio, ja suuremmilla liikennemäärillä voidaan perustellusti esittää myös ajoaikojen kasvavan. Liikennevirtateoriaa soveltamalla voidaan esittää, että työmaan aiheuttamat liikennejärjestelyt vähensivät tien välityskykyä, joka vaikutti liikenteen sujuvuuteen ja edelleen tarkastelualueen ajoaikoihin.

Viikonpäiväkohtaiset vaihtelut osoittivat eri ajoaikoja eri viikonpäivinä, ja etätyön yleistymisen voidaan katsoa vaikuttaneen matkustajamäärien jakautumiseen viikon eri päivinä. Työmaan aiheuttamat ajoaikojen kasvuun liittyvät kustannusvaikutukset matkustajille linjalla 40 arvioitiin ylittävän 64000 € vuodessa (yli 14000 tuntia), vaikkakin tarkempien kustannuslaskelmien tekemiseksi tarvittaisiin tarkempaa dataa. Työmaan aiheuttamat vaikutukset olivat suuremmat suunnassa 2, mikä on tärkeä huomio liikennöinnin suunnittelussa ja katutöiden vaikutusten arvioinnissa.

## 9 Johtopäätökset ja jatkopohdinnat

Tämän kokoluokan infrahankkeissa olisi suositeltavaa tuottaa seuranta myös muun liikenteen liikennemäärästä ja läpiajoajoista tarkastelualueella. Näin pystyttäisiin tarkemmin määrittellä katutöiden vaikutuksia liikenteelle, josta pystyttäisiin edelleen johtamaan muun liikenteen vaikutuksia joukkoliikenteelle.

Olisi kannattavaa tutkia työmaan vaikutusta tutkittaville linjoille myös tarkastelualueen ulkopuolella. Näin saataisiin kattavampi kokonaiskuva työmaan vaikutuksista matkustajille, ja linjojen kokonaisvaltaiseen aikataulusuunnitteluun, kuten pysäkkiaikojen ja autokiertojen suunnitteluun.

Aineistosta tehtyjen havaintojen perusteella voidaan esittää perusteltu päätelmä, että erot suuntien välillä ajoajan vaihtelussa tarkasteluajanjaksolla, johtuvat osittain ainakin osittain siitä että suunnassa 2 muun liikenteen vaikutus oli suurempaa kuin suunnassa 1. Syitä siihen miksi muun liikenteen vaikutus on suurempi, ei voida tästä aineistosta kuitenkaan luotettavasti päätellä, ja tämä olisikin tärkeä jatkotutkimuksen aihe ja kehitettävä tekijä tulevien vastaavan kokoluokan rakennushankkeiden suunnittelussa. Tämä voitaisiin esimerkiksi toteuttaa hyödyntämällä alaluvussa 5.1.1 esiteltyä HFP-dataa.

Viikontäydäkohtaiset tarkastelut olisivat kannattavia viedä tarkemmalle tasolle, lisäämällä tarkasteltavaksi matkojen tyypit ja mahdollisimman tarkkaa pysäkki- ja matkustajatietoa, jos niitä halutaan hyödyntää jonkinlaisen viikontäydäkohtaisen kohdistetun tarjonnan suunnittelussa. Metrolla on ollut syysaikataulukaudella 2023–2024 käytössä aikataulut (HSL, 2023c), joissa on tiheämpi vuoroväli ruuhka-aikaan tiistaisin, keskiviikkoisin ja torstaisin. Metron kohdennetun tarjonnan aikatauluista saatujen positiivisten kokemusten myötä, on vastaavanlaisia aikataulumalleja suunniteltu otettavaksi kokeiluun myös muilla liikennemuodoilla. Haasteena tässä on toteutus matkustajille ymmärrettävässä muodossa.

Isoissa infrahankkeissa olisi suositeltavaa pyrkiä suunnittelemaan muun liikenteen ohjaaminen mielellään jo liikenneverkkotasolla, pääväyliä pitkin. Näin muun liikenteen aiheuttama hajonta ja viiveet voitaisiin pitää maltillisempina katuverkolla kulkevilla linjoilla.

Olisi paikallaan suorittaa jatkotutkimusta pystyttäisiinkö joukkoliikenteen ajoaikoja ja aikatauluja muuttamaan pienemmilläkin kynnyksillä, muuttuvien liikennejärjestelyiden tai työvaiheiden mukaan. Tämä vaatisi tiivistä yhteistyötä eri tahojen välillä, mutta voisi tarjota huomattavan parannuksen palvelutasossa, jolloin välttyttäisiin esimerkiksi nyt suunnassa 1 linjoille lisätystä jokseenkin turhasta ajoaikalisäyksestä, jonka ansiosta suuri osa linjoista ajoi etuajassa. Nykyisessä verkostomallisessa joukkoliikennejärjestelmässä, jossa suositaan runkolinjoja ja liityntäliikennettä suorien linjojen sijaan, täsmällisyys on avainasemassa, ja useimpien matkustajien kohdalla tämä nouseekin korkeammalle prioriteettitilastassa kuin esimerkiksi vuodesta ja tunnista toiseen tasaisena pysyvät lähtöminuutit tietyiltä pysäkillä. Tässä toki olisi tärkeä muistaa huomioida tarkasteltavan linjan rooli ja matkustajakunta. Myös kyseisen järjestelyn todellisia hyötyjä olisi tarpeen pohtia, suuria määriä resursseja vaativan järjestelyn toteuttaminen ei ole kannattavaa, jos vaikutukset matkustajille ovat minimaalisia.

## Lähteet

- Fintraffic. (2023). *LAM-tilastohaku*. <https://tie.digitraffic.fi/ui/tms/history/>
- Gaia Consulting. (2020). *Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035, Osa 1, Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila*. [https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili\\_seminaaries/raportit\\_lopulliset/rt-raportti-1\\_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila\\_final.pdf](https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-1_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila_final.pdf)
- Helsingin kaupunki. (2010). *Rakennustyömaiden pölyhaittojen vähentäminen*. <https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/rakennustyomaapoly.pdf>
- Helsingin kaupunki. (2023). *Mannerheimintien peruskorjaus*. <https://www.hel.fi/fi/kaupunkiymparisto-ja-liikenne/kaupunkisuunnittelu-ja-rakentaminen/hae-suunnitelmia-ja-hankkeita/mannerheimintien-peruskorjaus>
- Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala. (2023). *Helsingin katurakentamisen kausi käynnistyy*. STT Info. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/helsingin-katurakentamisen-kausikaynnistyy?publisherId=60577852&releaselid=69973342>
- Takala, S. (2.6.2023). Rikki revitty Helsinki. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009623290.html>
- Hiltunen, L. (2009). *Validiteetti ja reliabiliteetti*. Jyväskylän Yliopisto. [http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius\\_ja\\_reliabiliteetti.pdf](http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ja_reliabiliteetti.pdf)
- Hirvonen, I. (2022). Työmaajärjestelyt joukkoliikenteen kannalta. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/782771/Hirvonen\\_Ira.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/782771/Hirvonen_Ira.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- HSL. (2018). *Työmaiden yhteiskuntataloudelliset vaikutukset linja-automatkustajille ja liikennöitsijöille*. [https://hslfi.azureedge.net/globalassets/julkaisuarkisto/2018/hsl\\_tyomaaviiveet\\_raportti\\_julkinen\\_20180910.pdf](https://hslfi.azureedge.net/globalassets/julkaisuarkisto/2018/hsl_tyomaaviiveet_raportti_julkinen_20180910.pdf)
- HSL. (2023a). *HSL Organisaationa*. <https://www.hsl.fi/hsl/hsl-organisaationa>
- HSL. (2023b). Mannerheimintien ratikka- ja bussireitteihin muutoksia 6.3. – katutyöt vaikuttavat alueella vuoden 2025 loppuun asti. <https://www.hsl.fi/hsl/uutiset/uutinen/2023/02/mannerheimintie>
- HSL. (2023c). *Metron aikataulut vaihtuvat 14.8. – ti-to ajetaan jatkossa tiheämpää ruuhkaliikennettä*. <https://www.hsl.fi/hsl/uutiset/liikennetiedote/2023/07/metron-aikataulut-vaihtuvat-14.8.--ti-to-ajetaan-jatkossa-tiheampaa-ruuhkaliikennetta>
- HSL. (2023d). *Reittiopas*. Linja 66. <https://reittiopas.hsl.fi/linjat/HSL:1066/aikataulu/HSL:1066:0:01>
- HSY. (2023). *Liikenteen päästöt pääkaupunkiseudulla*. [https://avoidatastr.blob.core.windows.net/avoidata/AvoinData/3\\_Ilmanlaatu\\_ja\\_ilmas](https://avoidatastr.blob.core.windows.net/avoidata/AvoinData/3_Ilmanlaatu_ja_ilmas)

[to/Ilmasto/Liikenteen\\_paastot/Liikenteen\\_paastot\\_PKS\\_kaupungeittain\\_1990\\_2000-2022.xlsx](#)

Ilmatieteen laitos. (n.d.). *Ilmansaasteiden terveysvaikutukset*.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/saasteet-ja-terveys>

Kestilä-Kekkonen, E. (2023). *KOVARIANSSI JA KORRELAATIO*. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, Tampereen yliopisto.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/korrelaatio/korrelaatio/>

Krehbiel, T. (2004). *Correlation Coefficient Rule of Thumb*. <https://doi.org/10.1111/j.0011-7315.2004.00025.x>.

Lilleberg, I. & Hellman, T. (2015). *Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2014*.

[https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los\\_2015-3.pdf](https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los_2015-3.pdf)

Liu, R. & Sinha, S. (2007). *Modelling Urban Bus Service and Passenger Reliability*.

Lukkarinen, S. (2012). *OPTIMAALISEN AJOAJAN MÄÄRITTELY*

*AIKATAULUSUUNNITTELUSSA*. Aalto-yliopisto, Teknillisen korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos.

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/5187/master\\_lukkarinen\\_sara\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/5187/master_lukkarinen_sara_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Luoma, S. (1998). *Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen. Tielaitoksen selvityksiä 21/1998*. <https://core.ac.uk/download/pdf/83994057.pdf>.

Luoto, J. (2022). *Vähäpäästöisen infratyömaan vaatimuksien pilotointi ja niiden vaikutukset infrarakentamisen päästöihin, kustannuksiin ja rakentamiseen [YAMK-opinnäytetyö, Hämeen Ammattikorkeakoulu]*.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751754/Luoto\\_Juuso.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751754/Luoto_Juuso.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Luttinen, R. Pursula, M. & Innamaa, S. (2005). *Liikennevirran ominaisuudet. (Opetusmoniste/Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka; No. 15)*.

[https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/7108917/LVO\\_Net.pdf](https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/7108917/LVO_Net.pdf)

Manskun katutyöt. (20.3.2023). Mannerheimintie kapenee kaksikaistaiseksi tiistaista 21.3. alkaen. <https://manskunkatutyot.fi/mannerheimintie-kapenee-kaksikaistaiseksi-tiistaista-21-3-alkaen/>

Ojala, J. & Pursula, M. (1994). *Taajamien joukkoliikenteen suunnittelu ja hoito*.

Palkoaho, M. (2.10.2023). Kahvilayrittäjä vaatii Helsingiltä rahaa Mannerheimintien remontista. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009888267.html>

Taanila, A. (31.3.2019). *Mittaamisen luotettavuus*.

<https://tilastoapu.wordpress.com/tag/reliabiliteetti/>

THL. (2020). *Ilmansaasteet*. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet>

THL. (2023). *Melu*. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu>



Tiehallinto. (2009). *Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009.*

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139433/4638tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tilastokeskus. (n.d.). *Etusivu > Tietoa tilastoista > Käsitteet > H > Hiilidioksidiekvivalentti.*

<https://www.stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>

Traficom. (2022). *Liikenteen CO2-päästöt liikennemuodoittain sekä maakunnittain.*

<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenteen-co2-paastot-liikennemuodoittain-seka-maakunnittain>

Valtioneuvoston päätös 993/1992. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>

VTT. (2021). *Tieliikenne - Hiilivedyt HC.* <http://lipasto.vtt.fi/liisa/hcs.htm>

Väylävirasto. (2021). *LIIKENNE TIETYÖMAALLA: Tienrakennustyömaat. Väyläviraston*

*ohjeita 11/2021.* [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-11\\_tienrakennustyomaat\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-11_tienrakennustyomaat_web.pdf)

Väylävirasto. (2022). *Tie- ja rautatieliikenteen hankearvioinnin yksikköarvot 2018.*

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-40\\_tie-rautatieliikenteen\\_yksikkoarvot\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-40_tie-rautatieliikenteen_yksikkoarvot_web.pdf)

Väylävirasto. (2023). *Melu ja tärinä.* <https://vayla.fi/ymparisto/melu-tarina>

Weijermars, W. & Spittje, H. (2008). *ANALYSIS OF TRAFFIC SAFETY AT ROADWORKS.*

<https://aetransport.org/public/downloads/MeDRE/3443-514ec5b71d709.pdf>

Wright, S. (1979). *Quantitative Methods and Statistics. A Guide to Social Research.*