

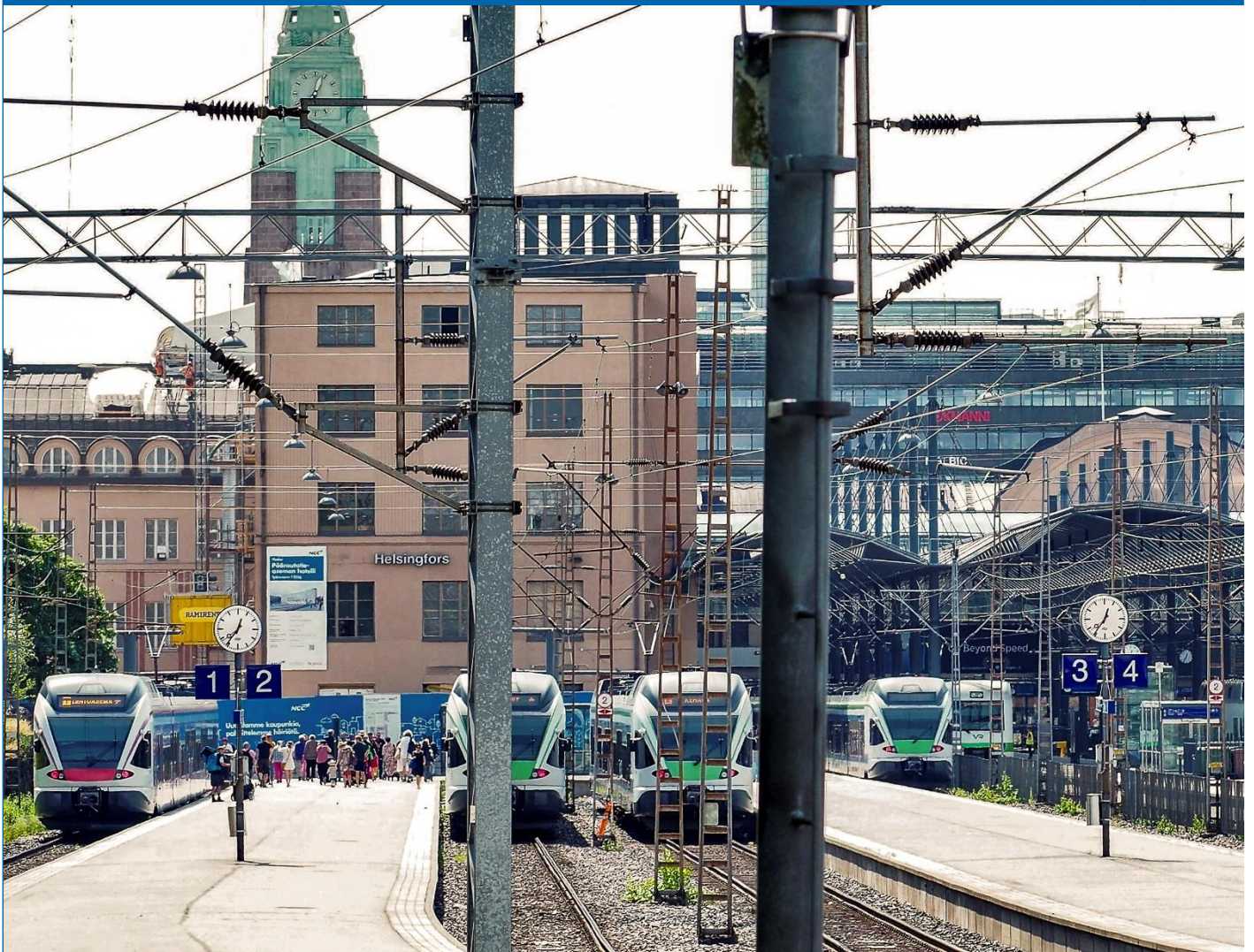


Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
74/2025

HELSINKI-PASILA KAPASITEETIN JATKOTARKASTELUT

Helsingin aseman länsipuolen uuden puolenvaihtopaikan määrittäminen ja simulointi



Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Ville Valtonen, Eemeli Lamsijärvi, Janne Miettinen

Helsinki–Pasila kapasiteetin jatkotarkastelut

Helsingin aseman länsipuolen uuden puolenvaihtopaikan määrittäminen ja simulointi

Väyläviraston julkaisuja 74/2025

Kannen kuva: Jussi Pajunen

Verkkajulkaisu pdf (vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-318-1

Väylävirasto
PL 33, 00521 Helsinki
Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki
Puhelin 0295 34 3000

kirjaamo@vayla.fi
vayla.fi

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Ville Valtonen, Eemeli Lamsijärvi, Janne Miettinen: Helsinki–Pasila kapasiteetin jatkotarkastelut - Helsingin aseman länsipuolen uuden puolenvaihtopaikan määrittäminen ja simulointi. Väylävirasto Helsinki 2025. Väyläviraston julkaisu 74/2025. 52 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-318-1.

Avainsanat: Helsinki, Pasila, häiriösimulointi, kapasiteetti, puolenvaihtopaikat

Tiivistelmä

Helsinki–Pasila kapasiteettiselvityksessä (Väylävirasto 2022) sekä Helsinki–Pasila häiriösimulointityössä (Väylävirasto 2024) on tutkittu Helsingin liikennepaikan toimivuutta suurten ratahankkeiden (Länsirata ja Lentorata) sekä kulunvalvontajärjestelmän päivityksen mahdollistaman lisäkapasiteetin myötä odotettavissa olevilla kasvaneilla liikennemäärillä. Kapasiteettiselvityksen yksi keskeisistä tutkimuskohteista olivat pienet infrastruktuuripäivitykset Helsingin ratapihalle. Niiden tavoitteena on, että kasvaneet liikennemäärät pystyisivät liikennöimään ratapihalle säännöllisen vakioaikataulunsa mukaan ja palautumaan pienten odotettavissa olevien päivittäisten aikatauluvariaatioiden vaikutuksesta huolimatta. Selvityksessä todettiin, että mahdollistaakseen kaupunkiliikenteelle nykyistä paljon tiheämmän 3 tai 2,5 minuutin vuorovälin, ratapihalle täytyy sijoittaa sekä itä- että länsipuolelle uudet puolenvaihtopaikat kaupunkiliikenteen saapuvan ja lähtevän liikenteen raiteiden välille.

Tämän jatkotarkastelun tavoitteena oli varmistaa kapasiteettiselvityksessä määritetyn 3 minuutin vuorovälin puolenvaihtopaikan alustavan sijainnin toteutettavuus ja toimivuus liikennöinnin mahdollistamiseksi sekä löytää 2,5 minuutin vuorovälin liikennöinnille vastaava sijainti ja varmistaa sen toteutettavuus rata-geometriatarkasteluin. Puolenvaihtopaikkojen liikenteellistä toimivuutta ja vaikutusta koko liikennejärjestelmän häiriönsietokykyyn tutkittiin häiriösimuloinnein, joissa syötettiin liikenteelle satunnaisia odotettavissa olevia viiveitä. Häiriöherkkyyden analysoimiseksi toteutettiin myös häiriötilannesimulointeja, joissa tutkittiin ennalta määritettyjen yksittäisten paikallisten infrastruktuurin käyttöä rajoittavien häiriöiden vaikutuksia liikennöintiin ja liikenteen hoitoon. Nämä häiriöt vastasivat häiriösimulointityössä käsiteltyjä häiriöitä.

Työn tuloksena saatiin kaksi aikataulunmukaiselle liikenteelle optimoituja infrastruktuuriratkaisua, jotka mahdollistavat 3 minuutin ja 2,5 minuutin vuorovälien liikennöinnin Helsingin ratapihan itä- ja länsipuolella. 3 minuutin vuorovälin liikennöinti todettiin myös onnistuvan 2,5 minuutin vuorovälille suunnitellussa infraratkaisussa, vaikka puolenvaihtopaikka ei liikennejärjestelmään nähden ollut optimaalisimmassa kohdassa. Aikatauluhäiriöiden vaihdella teoreettinen epäoptimalisuus ei näkynyt häiriösimulointituloksissa. Tiheet vuorovälit pystyivät suoritumaan tavanomaisista häiriöistä, vaikka kapasiteetti onkin kaupunkirataverkolla ja etenkin asemilla näillä vuoroväleillä erittäin tehokkaasti käytössä. Pienetkin viiveet aiheuttivat kerrannaisvaikutuksia seuraaviin junavuoroihin, mutta pääteasemien kääntöajat normalisoivat liikennettä riittävän tehokkaasti. Yksittäisten häiriötilannesimulointien keskeisenä havaintona oli, että riittävä varareittien määrä mahdollistaa liikennöinnin häiriöstä huolimatta ilman erillisiä

sopeuttamistoimia. Kuitenkin suuremmissa myöhästymisissä kannattaa juna poistaa kierrosta seuraavaan lähtöön, jotta häiriöiden kertyminen ja ketjuuntuminen saadaan pysäytettyä näin tiheillä vuoroväleillä.

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Ville Valtonen, Eemeli Lamsijärvi, Janne Miettinen: Helsinki–Pasila kapasiteetin jatkotarkastelut - Helsingin aseman länsipuolen uuden puolenvaihtopai-kan määrittely ja simulointi. Trafikledsverket Helsingfors 2025. Trafikledsverkets publikationer 74/2025. 52 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-318-1.

Sammanfattning

I Kapacitetsutredningen Helsingfors-Böle (Trafikledsverket 2022) och Störningssimuleringsarbetet Helsingfors-Böle (Trafikledsverket 2024) har man undersökt hur trafikplatsen i Helsingfors fungerar med de ökade trafikmängderna som förväntas i och med det stora banprojektet (Västbanan och Flygbanan) samt uppdateringen av övervakningssystemet. Ett av de centrala undersökningsobjekten i kapacitetsutredningen var små uppdateringar av infrastrukturen på Helsingfors bangård. Målet med dem är att de ökade trafikmängderna ska kunna trafikera på bangården enligt sin regelbundna standardtidtabell och återhämta sig trots de små förväntade dagliga variationerna i tidtabellen. I utredningen konstaterade man att för att möjliggöra en mycket tätare turintervall på 2,5 minuter för stadstrafiken än i nuläget, måste nya platser för järnvägsväxlar placeras både öster och väster om bangården mellan spåren för inkommande och utgående trafik.

Syftet med denna fortsatta granskning var att säkerställa genomförbarheten och funktionaliteten för att möjliggöra trafikering vid den preliminära platsen för järnvägsväxlar med 3 minuters turintervall enligt Kapacitetsutredningen, samt att hitta en motsvarande plats för trafikering med 2,5 minuters turintervall och säkerställa dess genomförbarhet genom granskning av bangeometrin. Järnvägsväxlarnas trafikmässiga funktion och inverkan på hela trafikstrukturens störningstålighet undersöktes med störningssimuleringar, där vi matade in sporadiska förväntade fördröjningar i trafiken. Vid analysen av störningskänsligheten genomfördes också simuleringar av störningssituationer, där vi undersökte hur på förhand fastställda enskilda störningar som begränsar användningen av lokal infrastruktur påverkar trafiken och trafikskötseln. Dessa störningar motsvarade de störningar som behandlats i Störningssimuleringsarbetet.

Resultatet av arbetet är två tidtabellsenliga infrastrukturlösningar optimerade för trafiken som gör det möjligt att trafikera med 3 minuters och 2,5 minuters turintervall öster och väster om Helsingfors bangård. Trafiken med 3 minuters turintervall konstaterades också lyckas i den planerade infrastrukturlösningen med 2,5 minuters turintervall, även om järnvägsväxeln inte var på den mest optimala platsen i förhållande till trafikstrukturen. När störningarna i tidtabellen varierade syntes den teoretiska icke-optimala faktorn inte i resultaten av störningssimuleringen. De täta turintervallerna klarade av normala störningar, även om kapaciteten används mycket effektivt på stadsbanenätet och särskilt på stationerna under dessa turintervaller. Även små fördröjningar orsakade multiplikatoreffekter på följande tågturer, men ändstationernas vändtider normaliserade trafiken tillräckligt effektivt. En central observation i enskilda simuleringar av störningssituationer var att ett tillräckligt antal reservrutten möjliggör trafik trots störningen utan separata anpassningsåtgärder. Vid större förseningar lönar det sig dock att ta bort tåget från rutten

fram till nästa avgång, så att man kan stoppa uppkomsten och kedjan av störningar med så här täta turintervaller.

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Ville Valtonen, Eemeli Lamsijärvi, Janne Miettinen: Helsinki-Pasila kapasiteetin jatkotarkastelut - Helsingin aseman länsipuolen uuden puolenvaihtopai-kan määrittäminen ja simulointi. Finnish Transport Infrastructure Agency, Helsinki 2025. Publications of the Finnish Transport Infrastructure Agency 74/2025. 52 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-318-1.

Abstract

The Helsinki-Pasila capacity report (Finnish Transport Infrastructure Agency 2022) and the Helsinki-Pasila disruption simulation report (Finnish Transport Infrastructure Agency 2024) examine the functioning of the Helsinki railway yard with the expected increase in traffic volume resulting from major railway projects (West Railway and Airport Line) and the train control system upgrade. Small infrastructure updates to the Helsinki railway yard were a key point of interest in the capacity report. Their aim is to enable the operation of increased traffic volumes in the railway yard according to their regular schedules and recovery despite minor daily variations in scheduling. The report stated that in order to enable a much more frequent 2.5-minute interval for urban traffic, new crossovers must be placed on both the east and west side of the railway yard between inbound and outbound urban traffic tracks.

The objective of this follow-up investigation was to ensure the feasibility and functionality of the initial crossover location for the 3-minute interval to enable traffic flow, as specified in the capacity report, and to identify a similar location for 2.5-minute intervals and to ensure its feasibility by means of a track geometry analysis. The functioning of the crossovers and their impact on the resilience of the whole transport system were simulated in disruption simulations, with expected random traffic delays as input. To analyse the susceptibility to disruptions, disruption simulations were also carried out examining how predetermined individual disruptions restricting the use of local infrastructure affect traffic operations and control. These disruptions corresponded to those handled in the disruption simulations.

The work resulted in two infrastructure solutions optimised for scheduled traffic, which enable 3-minute and 2.5-minute intervals on Helsinki railway yard east and west. It was found that 3-minute intervals were feasible in the infrastructure solution for the 2.5-minute service interval, even though the location of the crossover was not optimal in relation to the traffic system. The theoretically sub-optimal nature was not reflected in simulation results as schedule disturbances varied. The frequent services were maintained through ordinary disruptions, even though the capacity utilization is high for the urban rail network at such service intervals, especially at stations. Even minor delays caused multiplier effects on the following train services, but the terminal station turnaround times sufficiently normalised schedules. Crucially, individual disruption simulations demonstrated that the number of backup routes was sufficient to enable traffic operations without separate measures, despite disruptions. However, for larger delays, it is advisable to remove a delayed train until the next departure, to stop the accumulation of disturbances at such frequent intervals.

Esipuhe

Helsinki–Pasila kapasiteetin jatkotarkastelut ovat jatkoa vuonna 2022 toteutetulle Helsinki–Pasila kapasiteettiselvitykselle sekä vuonna 2024 toteutetulle Helsinki–Pasila-rataosuuden häiriösimulointityölle. Liikenne rakenteen periaatteet ja häiriötilanteiden määritykset sekä muut oletukset seuraavat edeltäviä näitä edeltäviä selvityksiä ja niitä on päivitetty tarpeellisilta osin työn etenemisen aikana. Tarkastelussa selvitetään tulevaisuuden kasvaneisiin liikennemääriin pohjautuvaa, nykyistä tiheämpää kaupunkiliikenteen liikennöintimallia kahdella eri vuorovälivaihtoehdolla sekä näiden vaatimia infrastruktuurimuutoksia sekä yleistä toimivuutta häiriötilanteissa.

Helsinki–Pasila kapasiteetin jatkotarkastelutyö aloitettiin syksyllä 2024 ja se valmistui huhtikuussa 2025. Väylävirastosta työtä ohjasi Anton Aronen sekä Antti Lautela ja HSL:ltä Mikko Mukula.

Työn toteutti WSP Finland Oy, josta työhön osallistuivat projektipäällikkö Kaisa-Liisa Tikka sekä asiantuntijat Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Ville Valtonen ja Eemeli Lamsijärvi. Janne Miettinen toimi projektipäällikkönä työn loppupuolella.

Helsingissä heinäkuussa 2025

Väylävirasto
Liikenneverkkojen suunnitteluosasto

Sisällys

1	TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	10
1.1	SIMULOINTITARKASTELUN LÄHTÖKOHDAT	11
1.2	GEOMETRIATARKASTELUN LÄHTÖKOHDAT	12
1.3	TYÖMENETELMÄT	12
2	PUOLENVAIHTOPAIKKOJEN MÄÄRITTELEMINEN JA INFRASTRUKTUURIMUUTOSTEN TARKASTELUT	15
2.1	KOLMEN MINUUTIN VUOROVÄLIN PUOLENVAIHTOPAIKKA LÄNSIPUOLELLA	15
2.2	2,5 MINUUTIN VUOROVÄLIN PUOLENVAIHTOPAIKKA LÄNSIPUOLELLA	16
3	AIKATAULURAKENTEIDEN TOIMIVUUSTARKASTELUT	19
3.1	PERUSSIMULOINTI	19
4	HÄIRIÖSIMULOINNIT	22
4.1	3 MINUUTIN VUOROVÄLIN INFRARATKAISUN TULOKSET JA ANALYYSI	23
4.2	2,5 MINUUTIN VUOROVÄLIN INFRARATKAISUN TULOKSET JA ANALYYSI	28
5	HÄIRIÖTILANNESIMULOINNIT	36
5.1	HÄIRIÖTILANNE: JUNAN SEISAHDUS PASILAN ASEMALLE	36
5.1.1	3 MINUUTIN VUOROVÄLI	38
5.1.2	2,5 MINUUTIN VUOROVÄLI	39
5.2	HÄIRIÖTILANNE: HELSINGIN VAIHDEVIKA	39
5.2.1	3 MINUUTIN VUOROVÄLIN INFRASTRUKTUURI	40
5.2.2	2,5 MINUUTIN VUOROVÄLIN INFRASTRUKTUURI	42
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSUOSITUKSET	47
6.1	TARKASTELUJEN TULOSTEN YHTEENVETO	47
6.2	JOHTOPÄÄTELMÄT	49
6.3	JATKOSUOSITUKSIA	51
	LÄHDELUETTELO	52

1 Työn tausta ja tavoitteet

Väyläviraston julkaisemassa laajassa Helsinki–Pasila kapasiteettiselvityksessä (Väylävirasto 2022) tutkittiin aikataulusuunnittelun ja simuloinnin keinoin Helsingin ratapihan toiminnallisuutta ja kapasiteetin riittävyyttä erilaisissa tulevaisuuden liikenneskenaarioissa. Työssä huomioitiin silloiset aktiivisesti suunnitella olleet suuret ratahankkeet ja pääkaupunkiseudun raidejärjestelmään liittyvät muut kehitystavoitteet. Työn ytimessä oli selvittää Helsingin ratapihan infrastruktuurin riittävyyttä ja mahdollisia kehitysratkaisuja liikenteen kasvun potentiaalia ajatellen.

Kaupunkiradat ja tiheärytminen kaupunkiliikenne oli selvityksessä mukana erityisenä osa-alueena. Selvityksessä tutkittiin simuloimalla kaupunkiratojen liikenteen tihentämisen mahdollisuuksia erilaisissa liikenne- ja infraskenaarioissa. Yksi keskeinen tutkimuskohde oli, kuinka tiheärytmistä kaupunkiliikennettä kyettäisiin ajamaan Helsingin nykyisellä ratapihalla sujuvasti, mahdollisesti tukeutuen maltillisiin infrastruktuurin parannuksiin. Konseptina sujuvaan liikenteen takaamiseen oli ratkaisu, jossa lisätään uusi liikennerakenteen mukaan optimoitu puolenvaihtopaikka Helsinki–Pasila-välille ja hyödynnetään älykästä dynaamista reitinvalintaa. Älykkään reitinvalinnan tarkoitus on ohjata asemalaituriin ajavat ja sieltä poistuvat junat kulloisenkin liikennetilanteen mukaan sopiville kulkuteille niin, että junien keskinäinen ohitus olisi ideaalisti joko täysin sujuva tai siitä seuraa mahdollisimman vähän viiveitä. Selvityksessä oli mukana kolme skenaariota kaupunkiliikenteen junavälille Helsinki–Pasila-välillä sekä pohjoisesta että lännestä: 3,75 minuutin, 3 minuutin ja 2,5 minuutin junavälin mukaan.

Kaupunkiliikenteen osalta keskeinen johtopäätös oli, että tiheämmin kuin 3,75 minuutin välein kulkeva kaupunkiliikenne vähintäänkin hyötyy selvästi ja jopa edellyttää kaupunkiliikenteen käyttämän raiteiston kehittämistä Helsingin ratapihalla. Älykkään reitinvalinnan ja uuden puolenvaihtopaikan konsepti todettiin simulointitarkastelussa soveltamiskelpoiseksi ratkaisuksi mahdollistamaan 3 ja 2,5 minuutin vuorovälin mukaan liikennöinti. Infrastruktuurimuutosten toteutettavuuden puolesta optimoidut raiteenvaihtopaikat saatiin arvioitua toteutuskelpoisuudeltaan todennäköisiksi vain ratapihan itäpuolella. Länsipuolella 3 minuutin vuorovälille kyettiin myös määrittelemään nykyisen infran päälle rakennettavissa oleva, joskin hyvin ahtaasti sijoitettu, mutta periaatteessa kaupunkiliikenteen hoidolle optimaalinen puolenvaihtopaikka. 2,5 minuutin vuorovälillä tällaista ei kuitenkaan voitu edes määritellä, sillä optimaalinen sijainti olisi ollut päällekkäin nykyisten vaihdekujien kanssa.

Koska Helsingin seudun nykyisessä linjastossa kaupunkiliikenteen juna kiertää itäpuolelta länsipuolelle ja takaisin, on 2,5 minuutin vuorovälin liikenteen toteutettavuus oltava yhtä aikaa mahdollista molemmilla puolilla ratapihaa. Tämän selvityksen tavoite on täydentää Helsinki–Pasila-kapasiteettiselvityksen tarkasteluja siten, että 3 ja 2,5 minuutin vuoroväleille löydetään sekä ratageometrian että liikenteellisen toimivuuden näkökulmasta alustavasti toteutuskelpoinen ratkaisu myös ratapihan länsipuolella.

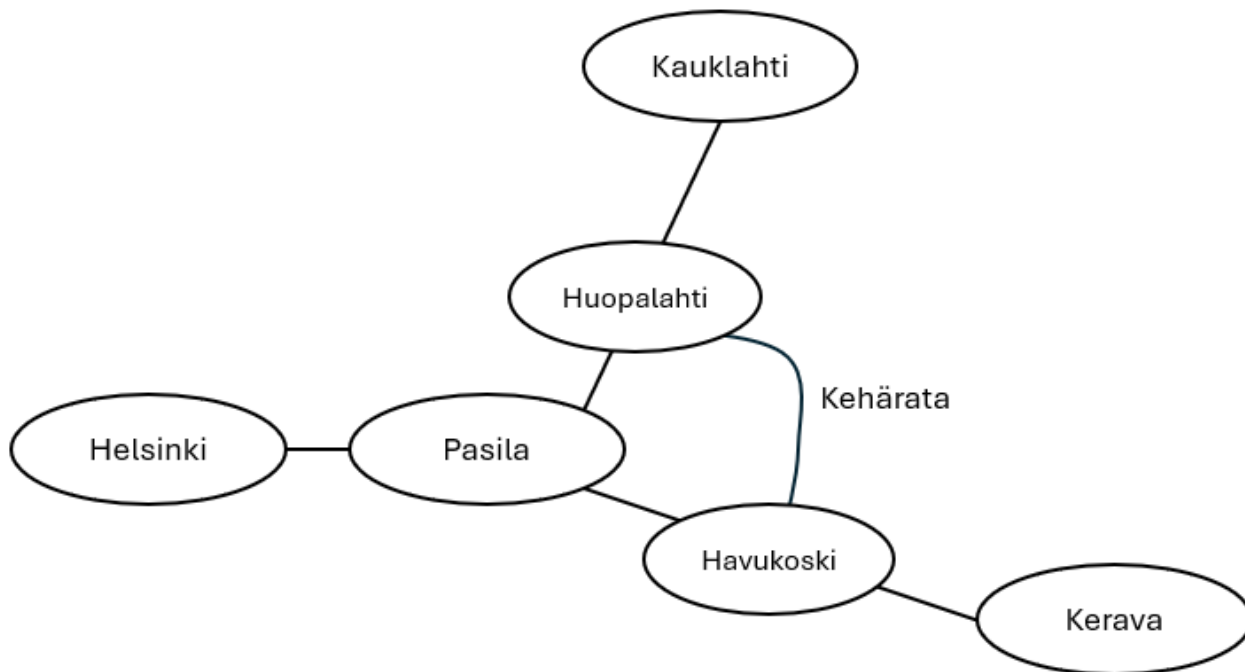
Toissijaisena tavoitteena ratkaisua yritetään etsiä niin, että Helsingin ratapihan infralle kohdistuisi mahdollisimman vähän muutostarpeita.

1.1 Simulointitarkastelun lähtökohdat

Työ keskittyy ainoastaan kaupunkiratojen liikenteeseen. Kaupunkiratojen liikenne on käytännössä rakenteellisesti erotettu muusta alueen liikenteestä: tavoitteen mukaisessa tilanteessa, jossa kaupunkiliikenne käyttää Helsingin ratapihan kummallakin puolella normaalisti vain kolmea reunimmaista laituria, eivät kaupunkiliikenteen ja muun junaliikenteen kulkutiet risteä Helsinki–Pasila-välillä. Valtaosa simulointitarkasteluista voidaan siten toteuttaa välittämättä muusta liikenteestä. Työssä ei tarkastella varikkosiirtoja, vaan keskitytään säännöllisen päiväajan liikenteen toimivuuden analysointiin.

Tämän selvityksen liikennerakenteet ja simuloinneissa käytetyt oletukset rakentuvat Helsinki–Pasila kapasiteettiselvityksen (Väylävirasto 2022) sekä sen jatkotyönä tehdyn Helsinki–Pasila-rataosuuden häiriösimulointityön (Väylävirasto 2024) määrittelyihin (jatkossa Kapasiteettiselvitys ja Häiriösimulointityö). Kapasiteettiselvityksessä ei mallinnettu koko kaupunkirataverkkoa, vaan simulointialueena toimi vain Helsinki–Pasila, jolloin vaikutuksia koko verkolle ei pystytty seuraamaan, vaan analyysi keskittyi Helsingin ratapihan ratkaisuihin ja älykkään reitinvalinnan konseptin testaamiseen. Häiriösimulointityössä mallia laajennettiin koko kaupunkirataverkon kattavaksi, jotta häiriötilanteiden vaikutuksia koko liikennejärjestelmässä saatiin tutkittua tarkemmin. Selvityksessä kuitenkin analysoitiin vaikutuksia vain 3,75 minuutin vuorovälin liikenteelle, eikä uuden puolenvaihtopaikan ja älykkään reitinvalinnan käyttö ollut osana tarkastelua.

Tässä työssä simulointialueena on koko pääkaupunkiseudun kaupunkirataverkko (Kuva 1), jossa nykyisten ratojen lisäksi on huomioitu rakenteilla oleva Espoon kaupunkiradan jatko Kauklahteen rakentamissuunnitelman mukaisesti ja jossa Keravan aseman raiteistoa on muutettu Kerava–Nikkilä aluevaraus selvityksen (Destia 2024) mukaan. Liikenne rakenne pohjautuu Häiriösimulointityössä laadittuihin junalinjojen aikatauluihin ja ajoaikoihin sovitettuna tiheämmille vuoroväleille. Älykkään reitinvalinnan menetit ja optimaaliset sijainnit ratapihan itäpuolella ovat samat kuin Kapasiteettiselvityksessä. Koska tarkastelualue kattaa koko kaupunkiliikenteen liikennöintialueen, pystytään myös tutkimaan häiriöiden etenemistä verkolla ja huomioimaan mahdolliset kerrannaisvaikutukset eri junavuorojen välillä. Liikenne rakenteiden näkökulmasta aikataulun mukaisen liikenteen toimivuutta tiheämmillä vuoroväleillä arvioidaan myös linjojen pääteasemien (Kauklahti, Kerava) ympäristössä, mitä ei ole aikaisemmissa selvityksissä tutkittu. Häiriösimulointien tulosten analysointi keskittyy kuitenkin alueille Helsinki–Huopalahti ja Helsinki–Tikkurila, missä eri kaupunkilinjat ajavat samoja raiteita ja vuorovälit ovat tiheimmät.



Kuva 1. Työssä simuloitu tarkastelualue.

1.2 Geometritarkastelun lähtökohdat

Tämän selvityksen tavoite on täydentää Kapasiteettiselvityksen tarkasteluja siten, että 3 ja 2,5 minuutin vuoroväleille löydetään sekä ratageometrian että liikenteellisen toimivuuden näkökulmasta alustavasti toteutuskelpoinen ratkaisu myös ratapihan länsipuolella. Toissijaisena tavoitteena ratkaisua yritetään etsiä niin, että Helsingin ratapihan infralle kohdistuisi mahdollisimman vähän muutostarpeita. Geometritarkastelun lähtökohtana toimivat Väyläviraston Ratatekniset ohjeet (RATO), jotka sisältävät tiedot valtion rataverkkoon kuuluvan radan ja ratalaitteiden suunnittelusta, rakentamisesta, tarkastuksesta ja kunnossapidosta.

1.3 Työmenetelmät

Kapasiteettiselvityksessä pyrittiin määrittelemään reitinvalinnan kannalta teoreettisesti optimaalisia uusien puolenvaihtopaikkojen sijainteja sekä 3 minuutin että 2,5 minuutin vuorovälein kulkevalle kaupunkiliikenteelle. Selvityksen tuloksena todettiin, että ratapihan länsipuolen nykyinen raideinfra aiheuttaa paljon rajoitteita puolenvaihtopaikan lisäämiselle mahdollisimman pienin nykyinfran muutoksin. Näin ollen lähtökohtaisesti toteutetaan kummallekin vuorovälivaihtoehdolle oma infratarkastelunsa

puolenvaihtopaikkojen sijainnin ja muiden infratoimenpiteiden määrittämiseksi, ja varsinainen simulointi-analyysi suoritetaan pääosin vasta infran toteutettavuustarkastelujen jälkeen.

Aluksi pyritään simuloinnin avulla määrittelemään mahdollisimman tarkasti liikenteellisten tavoitteiden mukaiset vaihdeyhteyksien optimaaliset sijainnit, joiden pohjalta geometriatarkasteluja aletaan tehdä. Geometriatarkastelun tavoite on löytää raiteistoratkaisu, jossa päästään mahdollisimman lähelle optimaalista ratkaisua. Tarkastelun aikana tehdään tarpeen mukaan iteratiivisesti välisimulointeja, joilla voidaan tarkistaa liikenteellisten tavoitteiden täyttyminen infrastruktuurinmuutosten mukaisena. Tavoitteena on löytää liikenteellisesti teoreettisesti toimivin ratkaisu, joka myös täyttää raitainfran aiheuttamat rajoitteet.

Geometriatarkasteluiden rinnalla konstruoidaan koko kaupunkirataverkon kattava liikennöintimalli 3 minuutin ja 2,5 minuutin vuoroväleille, jolloin käydään läpi muut liikennöintiin vaikuttavat mahdolliset rajoitteet, ja tarpeen mukaan sovitetaan liikennöintimallia niiden mukaisesti. Puolenvaihtopaikka ja sen toimivuus vaikuttaa liikennöintirakenteeseen vain Helsinki–Pasila-välillä, joten geometriatarkastelut ja muun verkon toimivuuden analyysi voidaan tehdä riippumattomasti huomioiden vain Helsingin aseman liikennöintimalli (lähtö- ja tuloajat), jonka puolenvaihtopaikan käyttö osin määrittää.

Kun molemmille vuoroväleille on löytynyt toteutuskelpoinen ja liikenteellisesti toimiva puolenvaihtopaikan infraratkaisu, yhdistetään verkollinen tarkastelu ja puolenvaihtopaikkojen analyysi yhdeksi perussimuloinniksi, jossa tarkastetaan aikataulunmukaisen liikenteen häiriötön ja tarkoituksenmukainen toiminta.

Perussimuloinnin jälkeen suoritetaan infra- ja liikenne-rakennevaihtoehtoille häiriösimuloinnit, joissa verkkoa stressataan antamalla junille pysähdysasemilla satunnaisia viiveitä simuloinnin aikana. Satunnaisviiveet mukailevat päivittäisessä liikennöinnissä tapahtuvia aikataulun pieniä vaihteluita. Häiriösimuloinneilla selvitetään tilastollisella tarkastelulla, kuinka häiriöherkkää liikenne eri skenaarioissa on ja kuinka häiriöistä keskimäärin pystytään palautumaan kääntöaikojen ja aikataulullisten joustojen puitteissa. Häiriösimuloinneissa tutkitaan 3 minuutin ja 2,5 minuutin vuorovälit niille suunnitelluilla infraratkaisuilla, sekä lisäksi simuloidaan 3 minuutin vuorovälin liikenne 2,5 minuutin vuorovälin infraratkaisulla. Näin saadaan käsitys siitä, kuinka aiheellista on suunnitella 3 minuutin vuoroväliä varten erillinen infraratkaisu, vai pystytäänkö samoilla raiteiston muutoksilla liikennöimään sekä 3 minuutin, että 2,5 minuutin vuorovälin liikennettä.

Häiriösimulointien lisäksi toteutetaan niin kutsutut häiriötilannesimuloinnit. Häiriötilannesimuloinneissa tarkastellaan tapauskohtaisesti yksittäisen pitkäkestoisemman paikallisen häiriön aiheuttamia viivästyksiä liikenteeseen, sekä mahdollisia ratkaisumalleja, mikäli liikenne kokee häiriön takia kohtuuttomia viivästyksiä. Häiriötilanteiksi on määritetty Häiriösimulointityössä tutkittuja niin sanottuja paikallisia häiriötilanteita vastaavat kaksi tilannetta: Pasilan asemalle saapuvan junan pysähtyminen ylimääräiseksi 20

minuutiksi ja Helsingin ratapihan vaihekujassa tapahtuva vaihteen rikkoutuminen. Molemmat häiriötilanteet tarkastellaan omina kokonaisuuksinaan molemmille vuoroväli- ja infravaihtoehdoille.

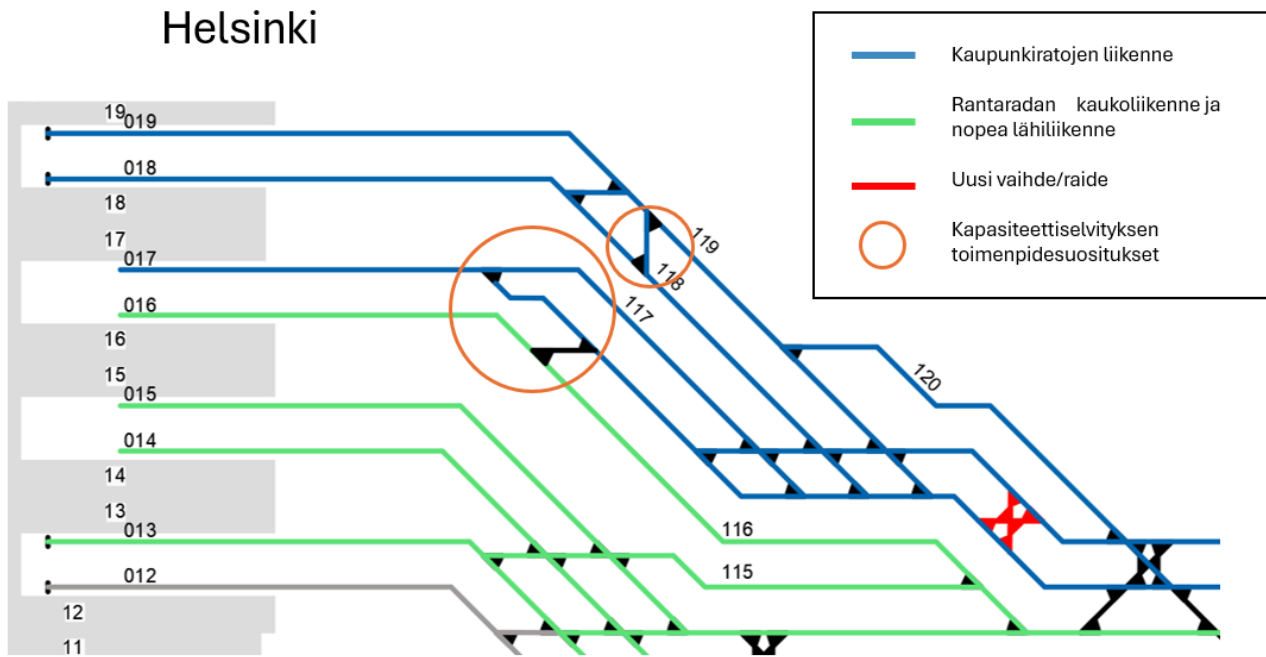
2 Puolenvaihtopaikkojen määrittely ja infrastruktuurimuutosten tarkastelut

Tiheämpien vuorovälien liikennöinnin edellyttämien puolenvaihtopaikkojen tarkempaa sijaintia tutkittiin jo Kapasiteettiselvityksessä (Väylävirasto 2022). Itäpuolella ratapihaa nykyinen ratageometria mahdollistaa puolenvaihtopaikan sijoittelun ilman merkittäviä muutostarpeita raiteiden linjaukseen, koska puolenvaihtopaikkojen optimaalinen sijainti oli valmiiksi suoralla rataosuudella. Itäpuolella on toteutusta varten tarpeen poistaa joitakin vaihteita ja muuttaa raide 221 linjaraiteeksi. Selvityksessä tehdyt havainnot ratapihan länsipuolen vaihteista sovittaa raiteistoon uutta puolenvaihtopaikkaa olivat lähtökohta tämän työn infratarkasteluille.

Työn alkuvaiheessa tehtiin raidegeometriatarkasteluja Helsingin aseman länsipuolen raiteistolle, jotta tiheämpien vuorovälien liikennöinnin tarpeisiin voitaisiin varmasti suunnitella ja sovittaa sijainniltaan toiminnallisesti mahdollisimman hyvä uusi puolenvaihtopaikka. Puolenvaihtopaikan sijainnin reunaehtoja liikenteellisten tarpeiden kannalta tutkittiin ensin simulaattorin avulla, jolla määriteltiin aikataulurakenteen näkökulmasta optimaalinen etäisyys laitureilta uudelle puolenvaihtopaikalle. Kapasiteettiselvityksessä on todettu, että puolenvaihtopaikan toteuttaminen sovitettuna raideristeyksenä tai vastaavana kokonpanona pienemmistä komponenteista on ratakapasiteetin kannalta paras ratkaisu. Lisäksi selvityksessä on esitetty periaatteet, miten puolenvaihtopaikan on tarkoitus toimia, ja mitkä tekijät rajaavat sen etäisyyttä asemalaitureista. Puolenvaihtopaikan optimaalisuus määräytyi siten, että aikataulunmukainen junaliikenne puolenvaihtopaikan ohi on sujuvaa ilman ylimääräisiä jarrutustarpeita. Toisin sanoen puolenvaihtopaikan käyttäminen ei aiheuta konflikteja kulkutievarausten välillä, eli rataosuuksien välttämättömät varausajat ilman ylimääräisiä jarrutuksia eivät mene päällekkäin, vaan eri suuntiin kulkevalle junaliikenteelle pystytään tarvittavalla hetkellä varaamaan kulkutiet.

2.1 Kolmen minuutin vuorovälin puolenvaihtopaikka länsipuolella

Ratapihan länsipuolen osalta Kapasiteettiselvityksessä havaittiin, että puolenvaihtopaikka pystytään sijoittamaan rataan optimaalisesti vähäisin raidegeometriamuutoksin kolmen minuutin vuorovälin tapauksessa. Liikenteelliset tavoitteet täyttävä sijainti löydettiin ja sitä hyödynnettiin tässä selvityksessä sellaisenaan. Uusi raideristeys on esitetty kuvassa 2. Vaihdeparit ovat ratakilometrisijainneissa 1+064 rkm ja 1+139 rkm. Puolenvaihtopaikan haasteeksi on todettu kuitenkin ahtaus suojavälien sijoittelussa.



Kuva 2. Uuden raideristeyksen sijainti Helsingin ratapihan länsipuolella kaaviomuodossa.

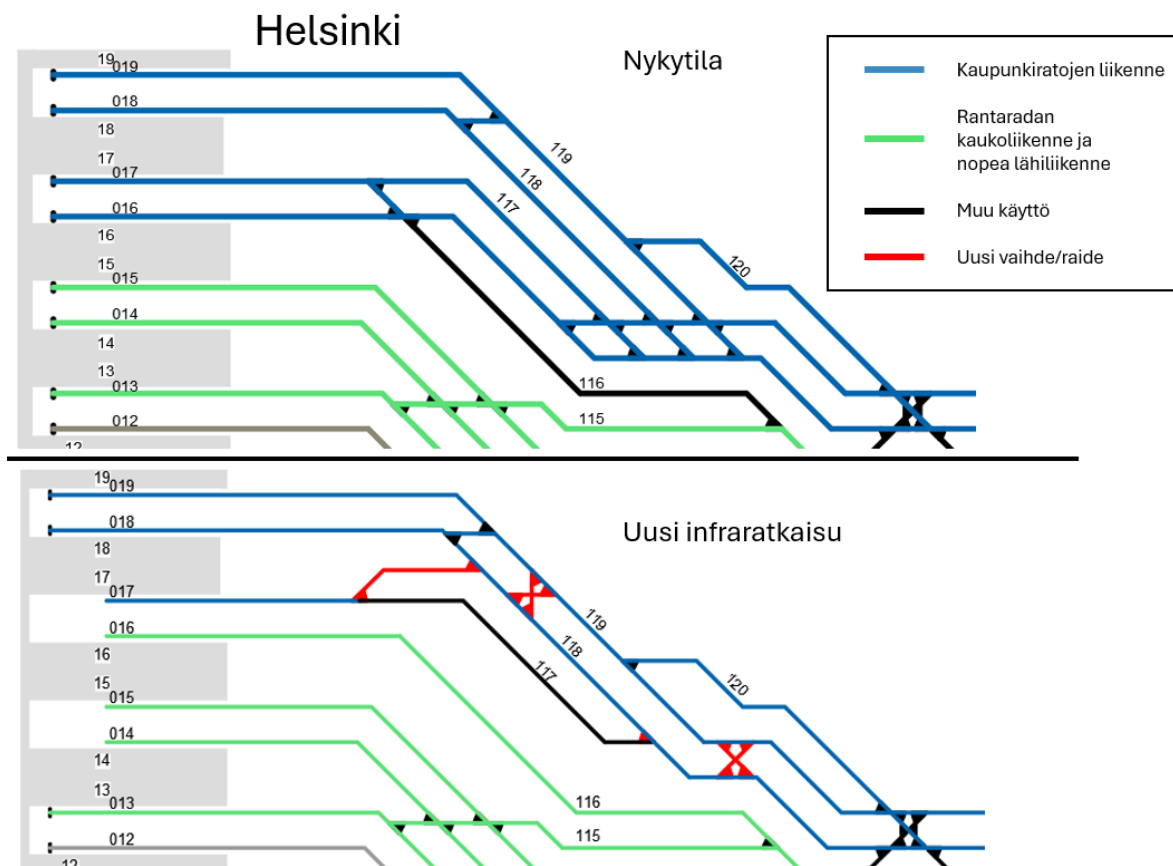
2.2 2,5 minuutin vuorovälin puolenvaihtopaikka länsipuolella

Inframuutosten toteutettavuustarkastelussa lähdettiin tutkimaan simulointitarkastelujen perusteella optimaaliseksi havaittua, 2,5 minuutin vuorovälin mukaan sovitettua puolenvaihtopaikan sijaintia. Kapasiteettiselvityksen simulointien pohjalta tiedettiin, että optimaalinen sijainti asettuu nykyisen vaihdekujan päälle. Ensimmäiseksi tutkittiin mahdollisuuksia tiivistää nykyisiä vaihdealueita lähemmäksi toisiaan (Helsingin aseman suuntaan) ja tarkistaa alueen nopeustasoja niin, että puolenvaihtopaikka saataisiin mahdollisimman lähelle etukäteen määriteltyä liikenteellisesti hyvää sijaintia. Vaihdealueiden tiivistysmahdollisuudet olivat kuitenkin käytännössä hyvin rajalliset. Inframuutosten toteutettavuustarkastelujen perusteella huomattiin, että nykyistä vaihdekujaa ei voi mitenkään siirtää simulointitarkastelujen esittämään sijaintiin raitainfran ahtauden takia. Esitettyjä optimaalista paikkaa lähimpiä vaihteiden sijainteja testattiin simulaattorilla, mutta näillä ei saatu täytettyä liikenteellisiä tavoitteita.

Puolenvaihtopaikan sijoittamista raiteistoon lähdettiin toisen kerran tarkastelemaan siten, että raiteistoon ja vaihdeyhteyksiin tehdään enemmän muutoksia kuitenkin liikenteellinen toimivuus säilyttäen. Peruslähtökohta tälle suunnittelulle oli malli, jossa Helsingin asemaa lähestyy kaksi "linjaraidetta" siten, että mahdollisimman lähellä Helsingin asemalaitureita on mahdollisuus päästä linjaraidteilta kaikille kolmelle laituriraidelle niin, että kahdessa kolmasosassa tapauksista kahden eri suuntiin kulkevan junan ohituksista voivat olla aina konfliktittomia. Uuden puolenvaihtopaikan sijoittelun suunnittelussa tavoitteena on, että "linjaraidteiden" pitää olla sen kohdalla normaalilla noin 4 800 mm etäisyydellä toisistaan, jotta vaihdealue on mahdollisimman lyhyt. Sen pitää myös sijaita riittävän pitkällä suoralla osuudella

radan suunnitteluohjeiden mukaisesti. Uuden puolenvaihtopaikan vaihdealueen molemmin puolin on raidegeometriassa kaarre olemassa olevaan infraan liittymisestä johtuen. Kaarresäteen on oltava riittävän suuri etenkin Pasilan suuntaan, jotta se ei tarpeettomasti rajoita junien nopeutta kaukana laitureista. Kaarresäteen ja kallistuksen suunnittelussa voitiin huomioida, että raiteita käyttää yksinomaan sähkömoottorijunakalusto ja raiteenkallistus voitiin huomioida sen mukaisena nopeustasoa määriteltäessä.

Alustavien infratarkastelujen perusteella uusi puolenvaihtopaikka olisi mahdollista sijoittaa noin ratakilometrille 0+900. Tällöin on kuitenkin tehtävä muutoksia Helsingin nykyiseen raiteistoon purkamalla, uusimalla sekä muokkaamalla raiteita ja vaihteita. Alustavien infratarkastelujen perusteella tarkastelualueelta on joko purettava, uusittava tai muokattava yhteensä 18 vaihdetta. Raiteistomuutosten seurauksena nykyistä raidetta on purettava noin 900 raidemetriä ja uutta rakennettava suurin piirtein vastaava määrä. Inframuutokset ovat nähtävissä kuvassa 3. Alustavien tarkastelujen perusteella puolenvaihtopaikan ja Pasilan suunnassa seuraavana sijaitsevien vaihteiden V244 ja V246 välillä olisi mahdollista ajaa nopeudella 80 km/h riittävän suurta, ratojen suunnitteluohjeissa kuitenkin vielä sallittua raiteenkallistusta käyttämällä. 80 km/h nopeus ei kuitenkaan liikenteelliseltä kannalta ole tarpeen. Simulointitarkastelussa oletettiin nopeustason tässä kaarteessa olevan 60 km/h, joka on käytännöllinen suurin nopeus riippumatta siitä, ajetaanko puolenvaihtopaikalla suoraan vai vaihdetaanko raidetta. Inframuutokset geometriaan on toteutettu kaikkien Väyläviraston Ratateknisten ohjeiden (RATO) mukaisesti.



Kuva 3. Kaaviokuva Helsingin ratapihan läntisten raiteiden nykytilasta sekä uuden infraratkaisun muutokset.

Kunnossapidon näkökulmasta hankalasti huollettava tiiviisti rakennettu vaihdekuja saadaan pois uudessa infraratkaisussa. Toisaalta kunnossapidettäväksi tulee kaksi uutta raideristeystä, jotka ovat säännöllisesti käytössä tiheällä liikenteellä.

3 Aikataulurakenteiden toimivuustarkastelut

Kapasiteettiselvityksessä (Väylävirasto 2022) liikenteen simulointialue oli rajattu Helsinki–Pasila-välille. Tässä työssä simuloitiin liikenne koko kaupunkirataverkolla, jolloin puolenvaihtopaikan sijoittamiseen liittyvän yksityiskohtaisen analyysin lisäksi pystyttiin tarkastelemaan verkollisesti, miten hyvin tiheämpien vuorovälien liikenne mahtuu yleisesti kulkemaan linjalla ja toisilla pääteasemilla. Samalla voitiin tarkastaa liikennöintikokonaisuuden toimivuuden reunaehtoja ja rajoitteita muuallakin kuin Helsinki–Pasila-välillä.

Liikennöinnin suunnittelun etukäteen määritellyt lähtökohdat olivat raiteiden käyttö, linjojen ajoajat, liikennöinnin tahdistus Helsingissä ja pysähdyksiin varattavat ajat. Näiden pohjalta käytännössä määräytyvät Helsingin, Kaukalahden ja Keravan kääntöajat sekä Lentoaseman mahdollinen ajantasausaika kullekin vuorovälille. Toimivuustarkastelut perustuvat aikataulujen niin sanottuun perussimulointiin, jossa junien aikataulurakenne simuloidaan ja tuotetaan aikataulunmukaisen ajon teoreettinen malli. Tätä mallia käytetään pohjana muissa työn simulointitarkasteluissa.

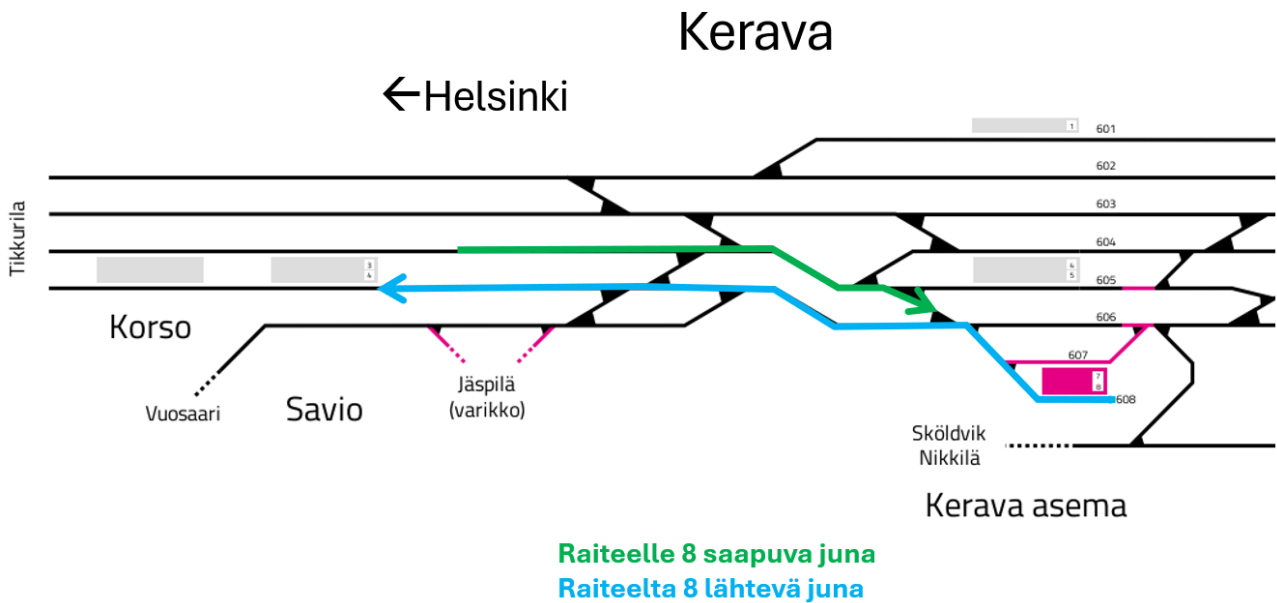
3.1 Perussimulointi

Perussimuloimalla varmistettiin, että vuorovälien tihentämisen jälkeen aiemmin määritetyt junavuorojen ajoajat säilyvät toimivina. Muuttunut vuoroväli muuttaa Helsingin aseman kääntöaika, sillä kääntöaika on optimaalisin sen ollessa 1,5 kertaa vuorovälin pituuden verran, eli esimerkiksi 3 minuutin vuorovälin tapauksessa 4,5 minuuttia. Näin saadaan saapumiset ja lähtemiset sovitettua "symmetrisesti" yhtä kauas edeltävistä ja seuraavista junavuoroista.

Muuttuneen kääntöajan takia 3 minuutin vuorovälin tapauksessa junavuorojen ajoaikoihin täytyi tehdä muutoksia. Mikäli ajoajat olisivat 3,75 minuutin vuoroväliä vastaavat, Helsingin aseman kääntöaikojen muutoksesta vapautunut "lisäaika" allokoituisi A- ja K-junien tapauksessa pääteasemille. Tämä aiheutti kuitenkin konfliktin Keravan aseman vaihteissa, koska raiteelle 8 saapuva juna ja sitä ennen raiteelta 8 lähtevä juna olisivat tarvinneet kulkutien saman vaihteen yli yhtä aikaa¹. Tilanne ratkaistiin muuttamalla ajoaikoja siten, että saapuvaa junaa viivytetään n. 20 sekuntia Pasila-Kerava välillä ja kääntöaika Keravalla lyhennetään vastaava määrä. Näin saatiin pidettyä molempien suuntien kiertoaika vakiona, jolloin muutos ei näy Helsingin päässä ollenkaan, vaan ainoastaan Keravan kääntöajan lyhennyksenä. Kuvassa 4

¹ Keravan raiteisto simuloinnissa poikkeaa nykytilasta ja on Kerava–Nikkiä-aluevaraus selvityksen mukainen (Destia 2024).

on esitetty konfliktin aiheuttama tilanne Keravalla. A-junilla ei vastaavaa ongelmaa ollut vaan vaaditut muutokset kiertoaikaan saatiin tehtyä yksinkertaisesti Kauklauden kääntöaikaa korjaamalla.



Kuva 4. Keravalla 3 minuutin vuorovälillä aiheutuneen konfliktin ratkaisumalli.

Edellä mainittujen A- ja K-junien muutosten lisäksi Kehäradan junien kiertoaikaa jouduttiin pidentämään. Helsingin asemalla muuttunut kääntöaika määrittää myös Kehäradan junille tietyt aikaikkunat, jolloin Helsinkiin täytyy saapua. Tämä aikaikkuna täytyy sovittaa kiertoaikaan siten, että juna käyttää aikataulukenteessä lähintä mahdollista aikaikkunaa ajoajan tuomien rajojen puitteissa. Tämän takia Kehäradan kiertoajat pitenivät 45 sekuntia. Tämä aika lisättiin Lentoaseman pysähdysaikaan ajantasausajaksi. Taulukossa 1 on esitetty 3 minuutin vuorovälin liikenne rakenteen ajo- ja kääntöajat.

Taulukko 1. 3 minuutin vuorovälin liikenne rakenteen ajo- ja kääntöajat.

Juna	Kääntöaika	Ajoaika
A	Helsinki: 00:04:30 Kauklahti: 00:08:30	Helsinki–Kauklahti: n. 00:32:30 Kauklahti–Helsinki: n. 00:32:30
K	Helsinki: 00:04:30 Kerava: n. 00:08:20	Helsinki–Kerava: n. 00:35:50 Kerava–Helsinki: 00:35:30
I/P	Helsinki: 00:04:30	Helsinki–Helsinki: 1:04:30

2,5 minuutin vuorovälin liikenn rakenne ei vaatinut vastaavia muutoksia ajo- tai kääntöaikoihin. Vuorovälin tihennyksen vaatima Helsingin aseman kääntöajan muutos saatiin sovitettua suoraan aiempien tarkastelujen aikataulurakenteeseen.

Pasilan asemalla oli Kapasiteettiselvityksessä ja Häiriösimulointityössä (Väylävirasto 2024) varauduttu aikataulussa minuutin pysähdysaikaan, joka poikkeaa muiden väliasemien 30 sekunnin pysähdysvarauksesta. Tihentynyt vuoroväli aiheutti kuitenkin ahtautta Pasilan asemalla, johon ratkaisuna lyhennettiin Pasilan aseman pysähdysvarausta minuutista 45 sekuntiin. Pasila ei kuitenkaan erityisesti ole 2,5 minuutin vuorovälillä verkon erityinen pullonkaulapaikka, vaan seisakkeet yleisesti ovat kriittisiä paikkoja. Pasilassa kapasiteetin käyttöä on kuitenkin tehostettu, koska siellä lähtökohtaisesti oletetaan tarve suuremmalle pysähdysaikavaraukselle. Tämän lisäksi ajoaikaa lyhennettiin toiset 15 sekuntia ja muutosten tuoma erotus lisättiin A- ja K-junien osalta pääteasemien kääntöaikaan sekä Kehäradan junien osalta lentoaseman pysähdysaikaan. Lopulliset liikenn rakenteen ajo- ja kääntöajat 2,5 minuutin vuorovälillä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. 2,5 minuutin vuorovälin liikenn rakenteen ajo- ja kääntöajat.

Juna	Kääntöaika	Ajoaika
A	Helsinki: 00:03:45 Kauklahti: n. 00:06:25	Helsinki–Kauklahti: n. 00:32:30 Kauklahti–Helsinki: n. 00:32:30
K	Helsinki: 00:03:45 Kerava: n. 00:05:55	Helsinki–Kerava: 00:35:00 Kerava–Helsinki: 00:35:15
I/P	Helsinki: 00:03:45	Helsinki–Helsinki: 1:03:45

4 Häiriösimuloinnit

Yleisesti häiriösimuloinnilla tutkitaan liikenne- ja aikataulurakenteiden laatua ja kestävyyttä mallintamalla satunnaisviiveitä osaksi simulointia sopivasta ennalta määritellystä todennäköisyysjakaumasta ja ajamalla simulointikierroksia lukuisia kertoja eri viivetoteutumien kanssa. Tässä työssä häiriösimuloinnin lähtökohtana on stressata kaupunkirataverkkoa pienehköin, jatkuvasti odotettavissa olevin viivein. Aiemmissa Helsinki–Pasila töissä on käytetty Väyläviraston täsmällisyystilastoista johdettua alkuviivejakaumaa malliin saapuvalla junaliikenteelle. Tämän työn tapauksissa vastaava menetelmä ei toimi, koska mallinnus sisältää koko kaupunkirataverkon, jolloin junat ovat jatkuvasti mallin sisällä.

Tässä työssä käytetyllä viiveiden mallinnustavalla ei ole suoraa tilastotietoon perustuvaa pohjaa vaan se on asiantuntija-arvio, jonka tehtävä on kuvastaa realistista liikenteen stressausta ilman, että kyseessä on selvä poikkeustilanne, joka vaatisi erityistoimia. Viiveiden mallinnustapana käytettiin satunnaisia asemalta lähtöihin kohdistuvia myöhästymisiä. Kaupunkirataverkolla tyypillinen aikataulupoikkeaman lähde on odottamaton myöhästyminen asemalla, joka voi johtua esimerkiksi satunnaisesti suuremmasta matkustajamäärästä, junan täyttöasteesta, tai kuljettajan ylimääräisistä toimista.

Häiriösimuloinnin viivemallinnuksessa jokaisessa asemapysähdyksessä on 5 % mahdollisuus ilmaantua myöhästymisen lähtöaikaan. Myöhästymisen suuruus on eksponentiaalisesti jakaantunut odotusarvonaan 30 sekuntia kuitenkin rajattuna siten, että maksimiviivästys on kaksi minuuttia. Rajauksen peruste on välttää simuloinnissa niin suuret mallinnetut viivästykset, että operatiiviset poikkeustoimet (esimerkiksi vuorojen peruminen) olisivat välttämättömiä. Nämä mallinnetut viiveet eivät ole ainoita verkon viivästyksiä, vaan verkolla esiintyy myös junienvuorovaikutuksen tuomia kerrannaisviiveitä, mikä on yksi merkittävä viivästymissyö junalle tiheärytmisessä liikenteessä ja siksi myös erityinen mielenkiinnon kohde tulosten analyysissä. Häiriösimuloinnissa oletetaan myös, että väliasemilla junat tarvitsevat aina koko niiden aikatauluun tehdyn pysähdyksaikavaraumansa, eli väliasemilla ei oleteta olevan palautumiseen käytettävää pelivaraa. Niinpä viiveistä palautumiseen voidaan käyttää vain ajoajan ja pääte- ja ajantasausasemien pysähdyksien sisältämää pelivara-aikaa.

Näiden häiriöiden perusteella analysoitiin kaupunkiliikenteen toimivuutta ja palautumiskykyä laskemalla syötettyjen häiriöiden lisäksi aiheutuvia viivästyksiä. Käsitellyistä tuloksista on siis vähennetty simulointiin ennen aloittamista syötetyt viivästykset, ellei toisin ole mainittu. Simulointitulosten myöhästymisdatan analysoinnissa otettiin tarkasteltavaksi seuraavat tunnusluvut:

- **Lisäviive:** Ajon aikana tai asemalla koettu viive, johon ei lasketa mukaan etukäteen määritettyjä ja syötettyjä myöhästymisiä. Kuvastaa millaisia lisävaikutuksia häiriönalaiset junat kokevat liikenteen sopeutuessa tai palautuessa häiriön ensisijaisista vaikutuksista. Mittarilla voidaan tutkia alueellisesti liikenteen toimivuuden muutosta koettuaan häiriöitä. Lisäviivettä keränneiden juniien osuus esitetään

prosentteina koko junamäärästä sekä näiden keskimääräinen koettu lisäviive. Mikäli prosenttiosuus on lähellä nollaa, voi yksittäinen paljon lisäviivettä kerännyt juna aiheuttaa piikin keskimääräiseen lisäviiveeseen, jolloin lukema näyttää huomommalta kuin se todellisuudessa on.

- **Myöhästymisen odotusarvo:** Keskimääräinen junan kokema lisäviive häiriötilanteessa. Vertailuarvo, josta näkee tarkasteltavan sijainnin toimivuuden suhteessa muihin tarkastelupisteisiin.
- **Viivesumma:** Viivesummassa on yhteenlaskettu kaikkien tarkasteltavien junien myöhästyminen. Viivesumat on indeksoitu siten, että ensimmäisen tarkastelupisteen viivesumma on esitetty indeksinä 100 ja tämän jälkeen esitetyt luvut suhteessa siihen. Esimerkiksi Länsipuolta tarkastellessa Helsingin kohdalla saapuvan liikenteen indeksin ollessa 300 tämä tarkoittaa, että viivesumma on kolminkertainen saapuvan liikenteen ensimmäiseen mittauspisteeseen, eli Huopalahteen verrattuna. Viivesummaa tarkastelemalla nähdään, mitä myöhästymisen kokonaismäärälle tapahtuu, kun junat käyvät Helsingissä kääntymässä häiriötilanteessa. Viivesumma on esitetty lisäviivesummana, josta on poistettu syötettyjen viiveiden vaikutus ensimmäisen mittauspisteen jälkeen sekä kokonaisviivesummana, jossa nämä syötetyt viiveet ovat laskettuna mukaan.

Lisäviiveen analysoinnissa oli taustalla oletus, että vähäiset viivästyksset – alle 15 sekuntia myöhässä olevat junat – tulkitaan aikataulussa kulkeviksi. Viivesumman laskennassa on otettu huomioon kaikki viivästyksset.

Häiriösimuloinnit toteutettiin seuraavasti:

- 3 minuutin vuorovälin optimaaliselle infraratkaisulle 3 minuutin vuorovälin liikenteellä
- 2,5 minuutin vuorovälin optimaaliselle infraratkaisulle 2,5 minuutin vuorovälin liikenteellä
- 2,5 minuutin vuorovälin optimaaliselle infraratkaisulle 3 minuutin vuorovälin liikenteellä.

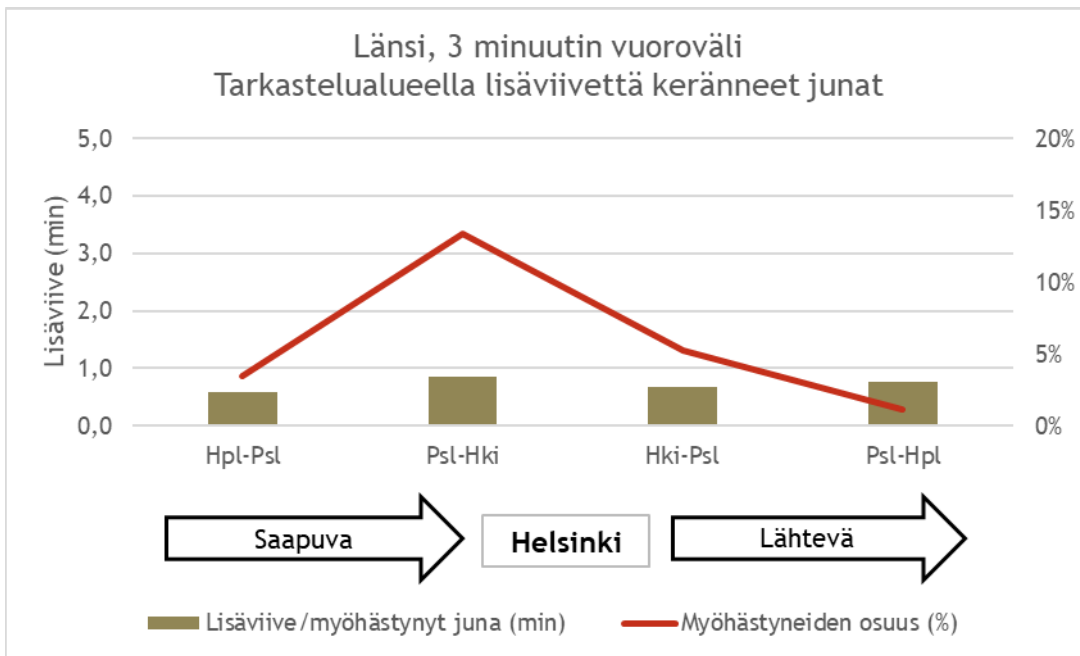
3 minuutin vuorovälin liikenne simuloitiin myös 2,5 minuutin infraratkaisulla, jotta saataisiin havaintoja myös tämän vaihtoehdon toimivuudesta, mikäli liikenteen tihentämisen tarpeisiin tehtävillä inframuutoksilla halutaan suoraan mahdollistaa molempien vuorovälien liikennöintimahdollisuus. Tällöin inframuutokset eivät välttämättä voi olla molemmille liikennerakenteille teoreettisesti optimoituja, mutta ne voivat hyvin olla riittävän toimivia.

4.1 3 minuutin vuorovälin infraratkaisun tulokset ja analyysi

Länsipuolen liikenne

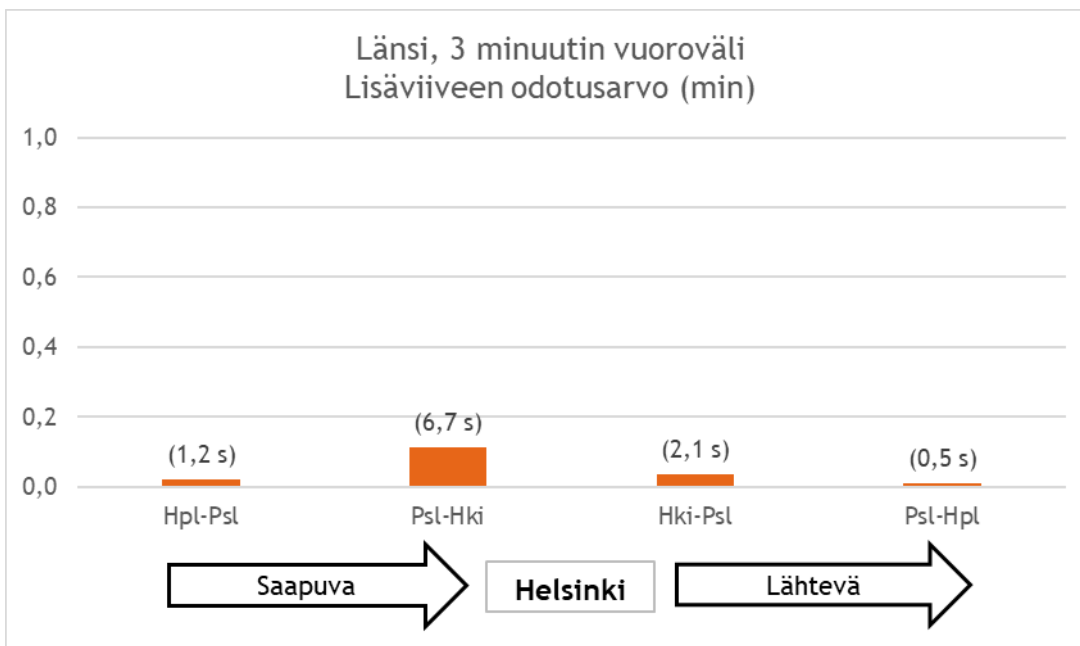
Länsipuolen ongelmallisinta kohta on saapuvan liikenteen suunnalla Pasila–Helsinki välillä. Satunnaiset myöhästelyt aiheuttavat sen, että Helsingistä junat lähtevät viiveellä, jolloin saapuva puoli joutuu odottamaan, että kulkutiet vapautuvat omaan käyttöön. Kuvaajasta on nähtävissä, että Helsingistä lähtevä

suunta ei koe niin paljoa lisäviiveitä, joten syötetyt satunnaisviiveetkin riittävät itsessään jo selvästi hidastamaan saapuvan liikenteen suuntaa. Keskimääräinen lisäviive on pieni jokaisella tarkasteluvälillä, joten liikenne sujuu kuitenkin keskimäärin hyvin. (Kuva 5)



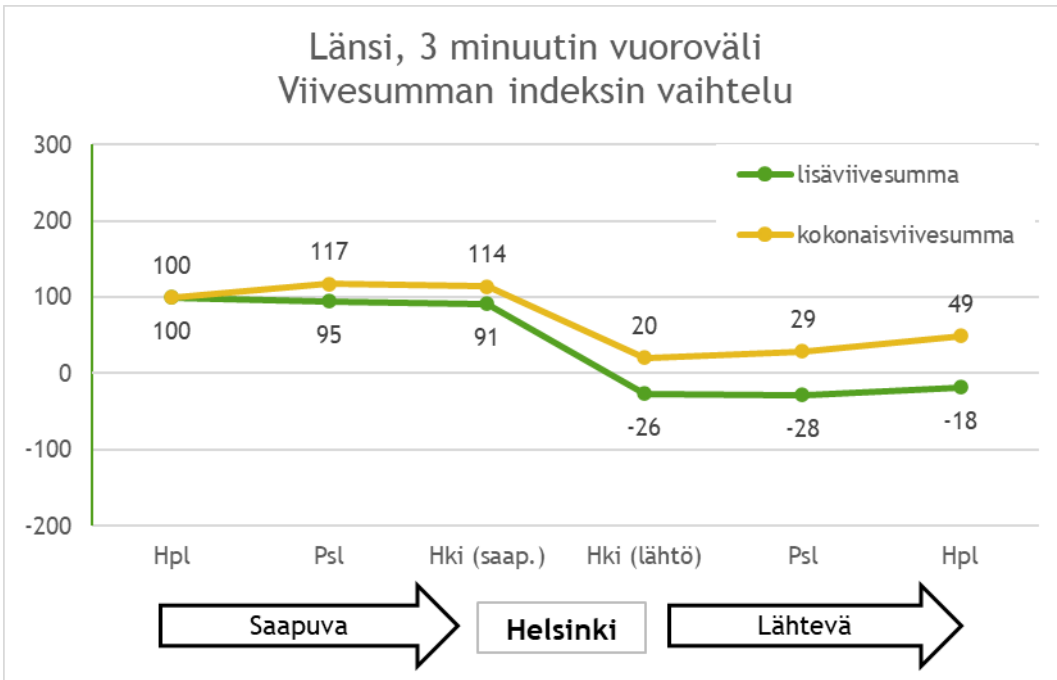
Kuva 5. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Lisäviiveen odotusarvo on jokaisella tarkasteluvälillä erittäin pieni, yleensä vain muutamia sekunteja. Liikenne ei siis keskimäärin koe merkittäviä lisäviivästyksiä. (Kuva 6)

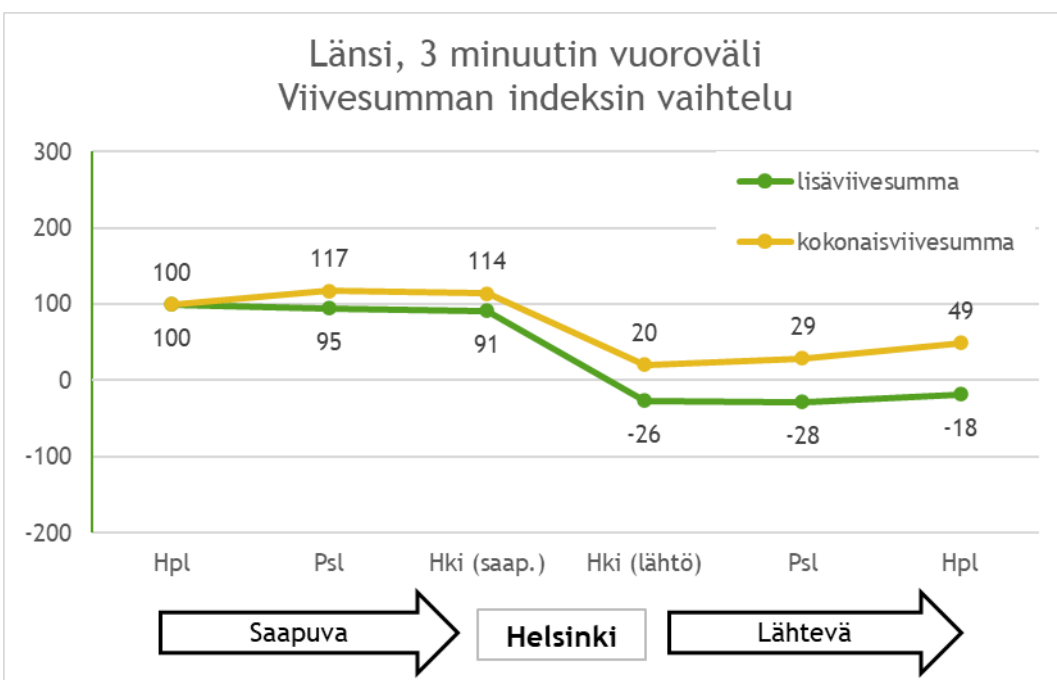


Kuva 6. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvot tarkastelualueella.

Viivesummien perusteella nähdään, että Helsingin kääntöaika pienentää viivesummaa merkittävästi. Syötettyjen myöhästymisienkin kanssa kokonaisviivesumma on Huopalahteen takaisin palatessa lähtevällä suunnalla enää vain puolet siitä, mitä se oli saapuvalla suunnalla. Helsinki–Pasila väli näin ollen ei aiheuta merkittäviä viivästyksiä liikennerakenteella. Kääntöaika Helsingissä saa vähennettyä kokonaisviivesumman vain viidesosaan siitä, mitä se oli Huopalahdesta saavuttaessa. Lisäviivesumman negatiiviset luvut ilmaisevat, että aikataulua on saatu otettua näihin pisteisiin saapuessa enemmän kiinni, kuin matkan aika on tullut uusien syötettyjä myöhästymisiä. (



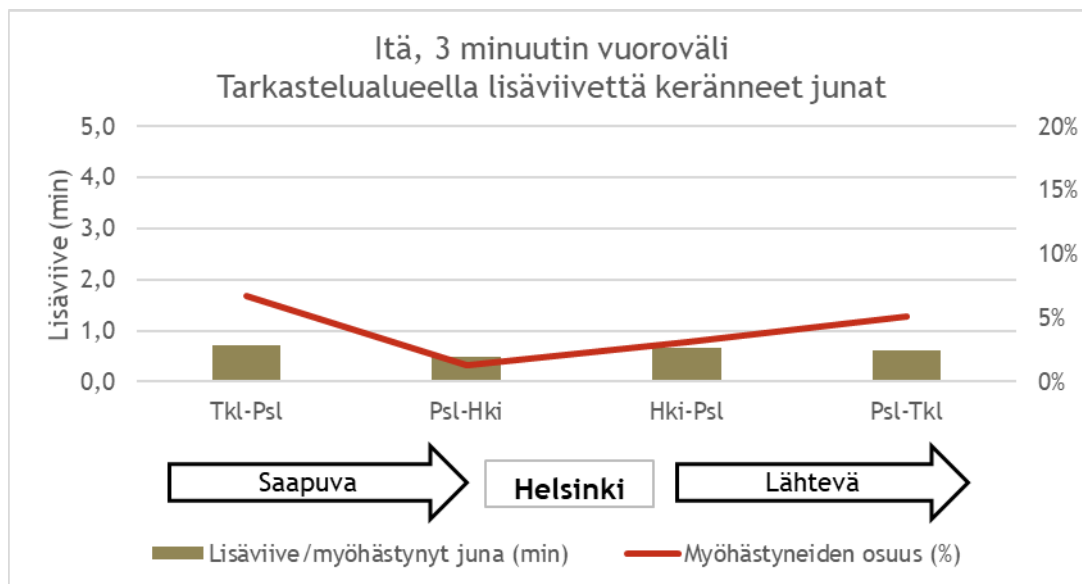
Kuva 7)



Kuva 7. Länsipuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

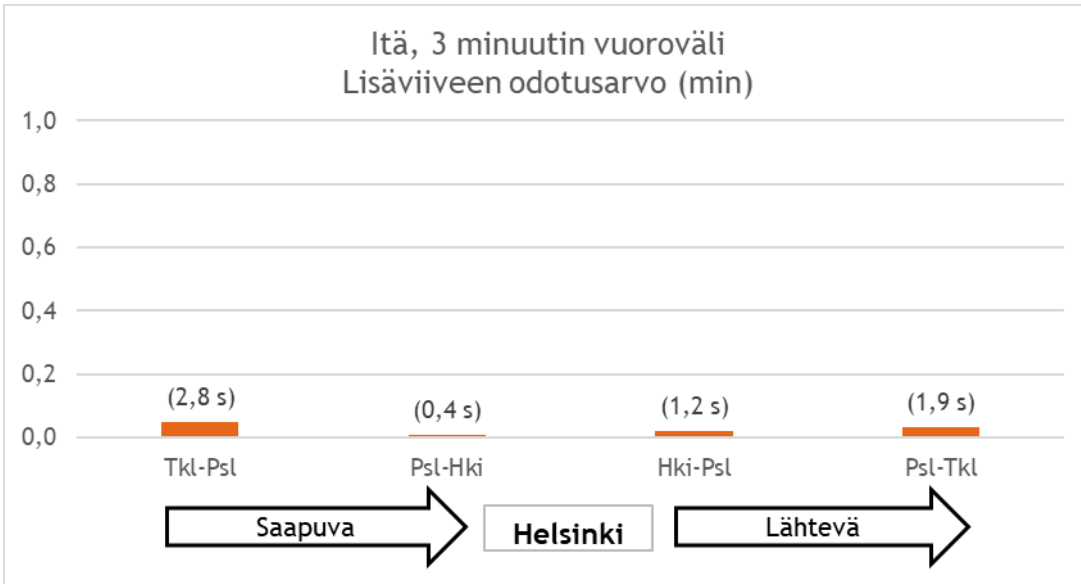
Itäpuolen liikenne

Itäpuolen liikenteellä suurin osa lisäviiveistä tapahtuu saapuvalla liikenteellä Tikkurila–Pasila-välillä sekä lähes yhtä suuri osa lähtevällä liikenteellä Pasilan ja Tikkurilan välillä. Syynä tälle vaikuttaisi olevan asemien alueella olevien kulkureittien varausaikojen lähekkäisyys tiheällä liikenteellä. Junat joutuvat hidastamaan ennen pysähdystä ja pysähdyksen jälkeen kiihdyttämään, jolloin pienempi nopeus pakottaa junaa ajallisesti varaamaan tiettyjä kulkureittejä pidempään. Varautumisväli on jo aikataulun mukaan kuljettaessa usealla asemalla 30–60 sekuntia. Kun tähän ahtaaseen väliin osuu syötetty satunnaisviive edessä ajavalle junalle, jälkimmäinen juna saa tällöin lisäviivettä, koska joutuu odottelemaan kulkutien vapautumista. Keskimääräinen lisäviive on kuitenkin alle minuutin ja myöhästyneiden osuus reilusti alle 10 prosenttia molemmissa tapauksissa, joten merkittävästä häiriöistä ei ole kyse. Helsinki–Pasila väli ei näin ollen ole pullonkaulana tällä liikennerakenteella. (Kuva 8)



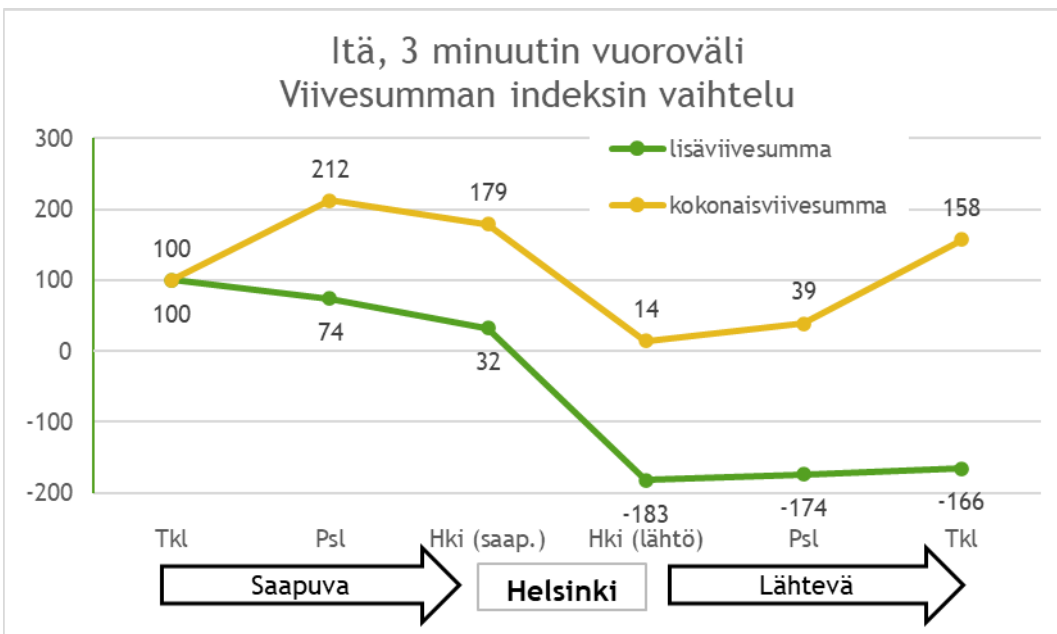
Kuva 8. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Lisäviiveen odotusarvo on jokaisella tarkasteluvälillä erittäin pieni. Liikenne ei koe merkittäviä viivästyksiä kokonaisuutena (Kuva 9).



Kuva 9. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

Lisäviivesumma pienenee Tikkurila–Helsinki välillä huomattavasti, joten voidaan todeta, että syötetyistä satunnaisviiveistä huolimatta liikenne saa keskimäärin aikataulua kiinni sekä Tikkurila–Pasila välillä, että Pasila–Helsinki välillä. Odotetusti Helsingin kääntöaika pudottaa lisäviivesumman negatiiviseksi, jolloin aikataulua on saatu enemmän kiinni, kuin malliin on syötetty satunnaisviiveitä. Kokonaisviivesummasta nähdään, että Helsingin kääntöajan jälkeen viivesumma on enää vain 14 % siitä, mitä se oli Tikkurilassa. Helsingin lähdön jälkeen lisäviivesumma pysyy alhaisena, joten syötetyt satunnaisviiveet eivät aiheuta merkittäviä viivästyksiä lähtevälläkään suunnalla. (Kuva 10)



Kuva 10. Itäpuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

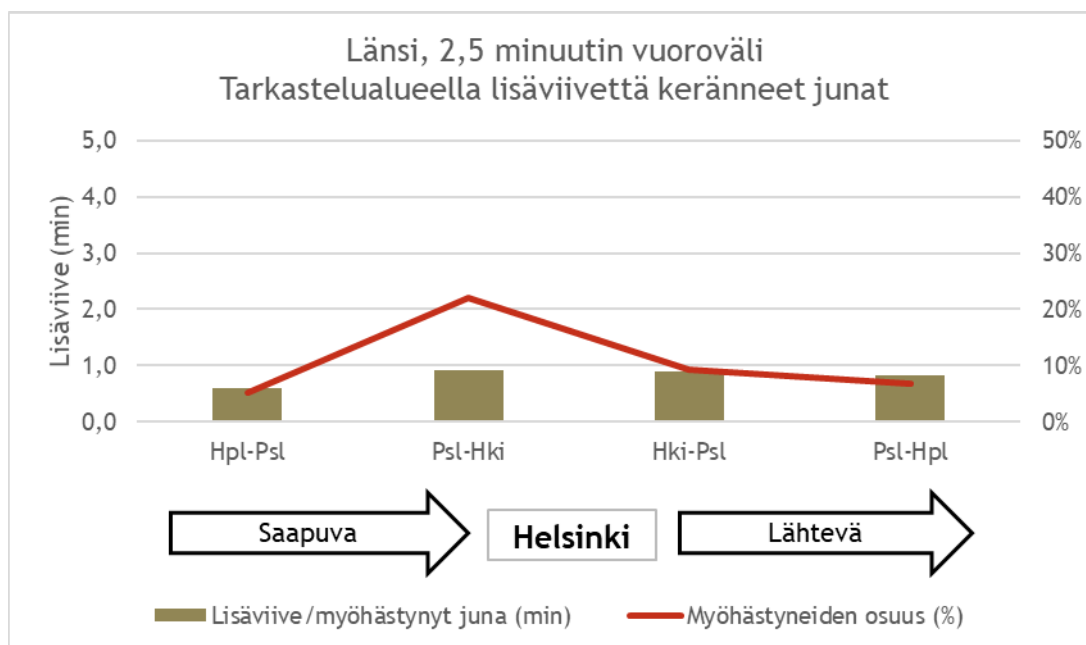
Yhteenveto

Sekä itä- että länsipuolen kaupunkiliikenne Helsingin ratapihalla toimii hyvin 3 minuutin vuorovälillä. Pientä vaihtelua lisäviiveiden jakautumisessa havaittiin, mutta lisäviiveitä kokoneiden junien osuus oli mo- lemmin puolin ratapihaa vähäistä sekä keskimääräiset lisäviiveet suuruudeltaan alhaisia. Liikenne toimii satunnaisten häiriöiden kanssa hyvin ja kääntöajat vähentävät viivesummaa merkittävästi Helsingissä.

4.2 2,5 minuutin vuorovälin infraratkaisun tulokset ja analyysi

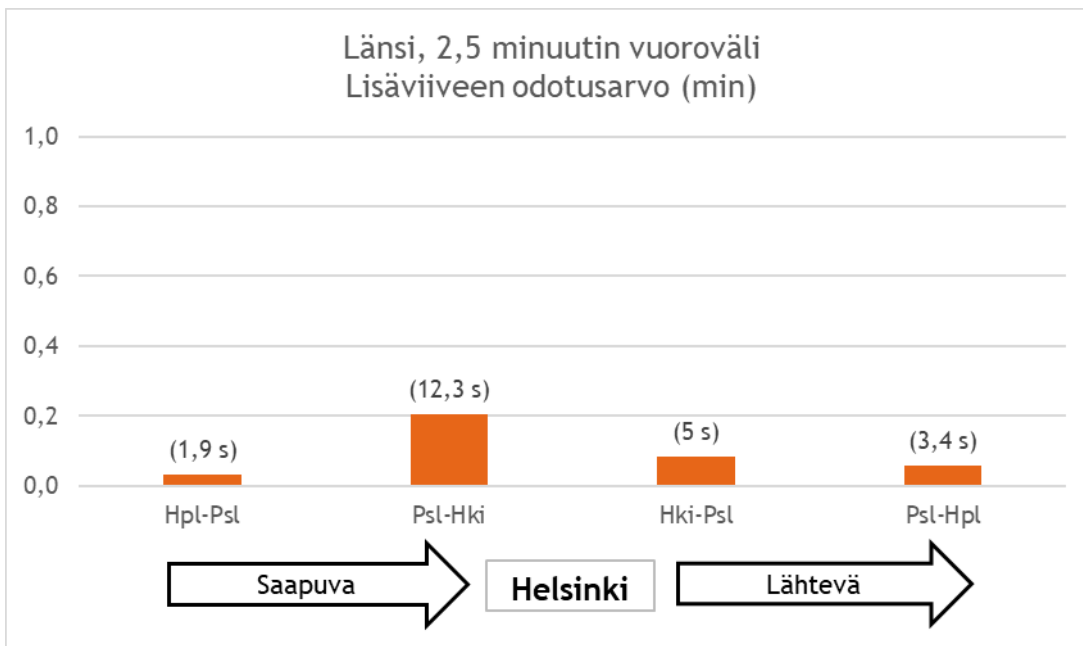
Länsipuolen liikenne, 2,5 minuutin vuoroväli

Tihentynyt raiteistonkäyttö aiheuttaa viivästyksiä saapuvan liikenteen suunnalla Pasila–Helsinki välillä. Mikäli Helsingistä lähtevä juna saa syötetyn satunnaisviiveen, tämän viivästynyt lähtö estää saapuvan suunnan pääsyn hetkellisesti asemalle. Kerätyt lisäviiveet ovat kuitenkin keskimäärin alle minuutin jokai- sessa tarkastelupisteessä ja vaikka suurimmillaan joka viides juna kokee lisäviivettä, liikenne pystyy näistä palautumaan Helsingin kääntöajan tuoman joustovaran ansiosta. (Kuva 11)



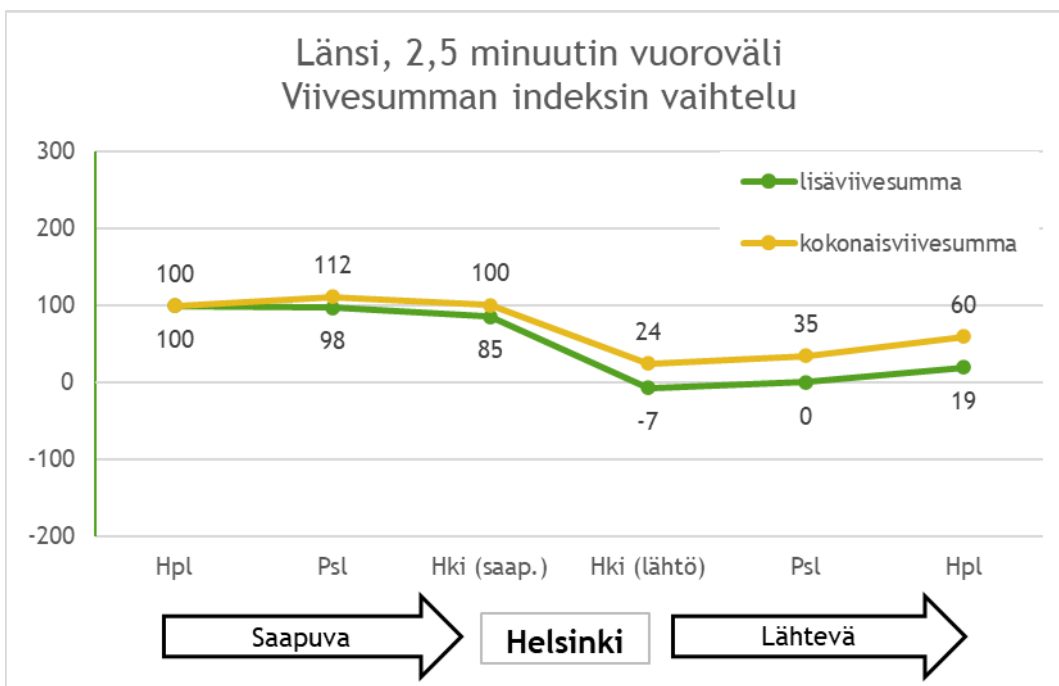
Kuva 11. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Junien lisäviiveen odotusarvo on valtaosassa tarkasteluväleistä vain joitain sekunteja ja suurimmillaankin Pasila–Helsinki välillä vain noin 12 sekuntia. Odotettavissa oleva keskimääräinen lisäviive on siis erittäin vähäinen ja tiheäliikenteisessäkin liikennerakenteessa valtaosa junista ei koe lainkaan lisäviivettä. (Kuva 12)



Kuva 12. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

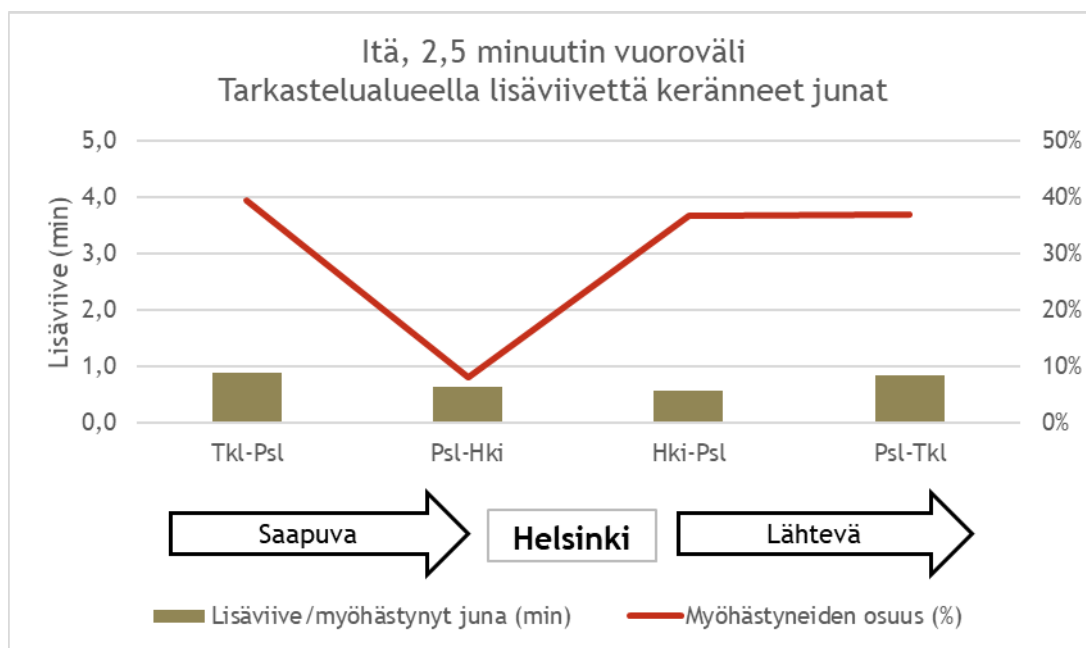
Viivesumma sekä lisäviivesumma säilyvät samassa suuruusluokassa saapuvan liikenteen osalta. Koska lisäviivesummakaan ei laske matkan aikana merkittävästi, voidaan todeta, että liikenne ei juurikaan ehdi palautua matkan aikana annetuista satunnaisviiveistä. Toisaalta, koska lisäviivesumma ei myöskään ole jyrkästi nousevaan suuntaan, satunnaisviiveet ei myöskään häiritse liikenne merkittävästi. Helsingin kääntöaika auttaa vähentämään molempia viivesummia merkittävästi. Helsingistä lähtevällä liikenteellä lisäviivesumma lähtee pieneen nousuun, eli tällöin syötettyjen satunnaisviiveiden lisäksi liikenne joutuu hidastamaan kulkuaan. (Kuva 13)



Kuva 13. Länsipuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

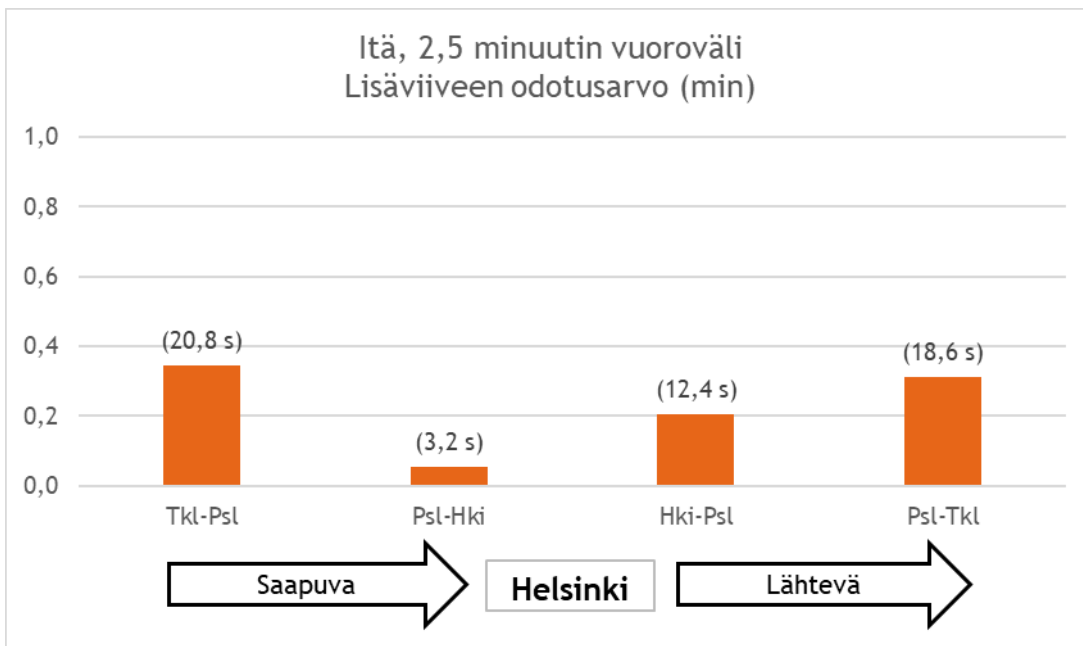
Itäpuolen liikenne, 2,5 minuutin vuoroväli

Itäpuolinen liikenne saa huomattavasti enemmän lisäviiveitä länsipuoleen verrattuna. Tikkurila–Pasila välin linjaosuuden varautumisvälien ahtaus näyttäytyy 2,5 minuutin vuorovälillä odotetusti huonompana kuin 3 minuutin vuorovälillä. Pasila–Helsinki välin aikataulussa oleva joustovara kuitenkin pienentää huomattavasti lisäviiveiden määrää. Lähtevällä suunnalla lisäviiveitä kokevien junien osuus taas kääntyy nousuun ja tässä tapauksessa Helsinki–Pasila välin viivästymiset ovat seurausta Pasila–Tikkurila välin ahtaudesta. Mikäli Pasilassa pysähtyvä juna joutuu odottamaan linjalle pääsyä, joutuu myös Helsingistä Pasilaan tuleva juna odottamaan, että Pasilan asema vapautuu. Pasila–Tikkurila välillä tapahtuvat viivästykset voivat tosin tapahtua myös Pasilasta kauempana. Tämän takia on oletettavaa, että kaikki Pasila–Tikkurila välin viivästykset eivät heijastu Helsinki–Pasila välille vaan myös uusien puolenvaihtopaikkojen kohdalla tapahtuvat reitin vapautumisen odottelut ovat osallisena Helsinki–Pasila välin viiveisiin. (Kuva 14)



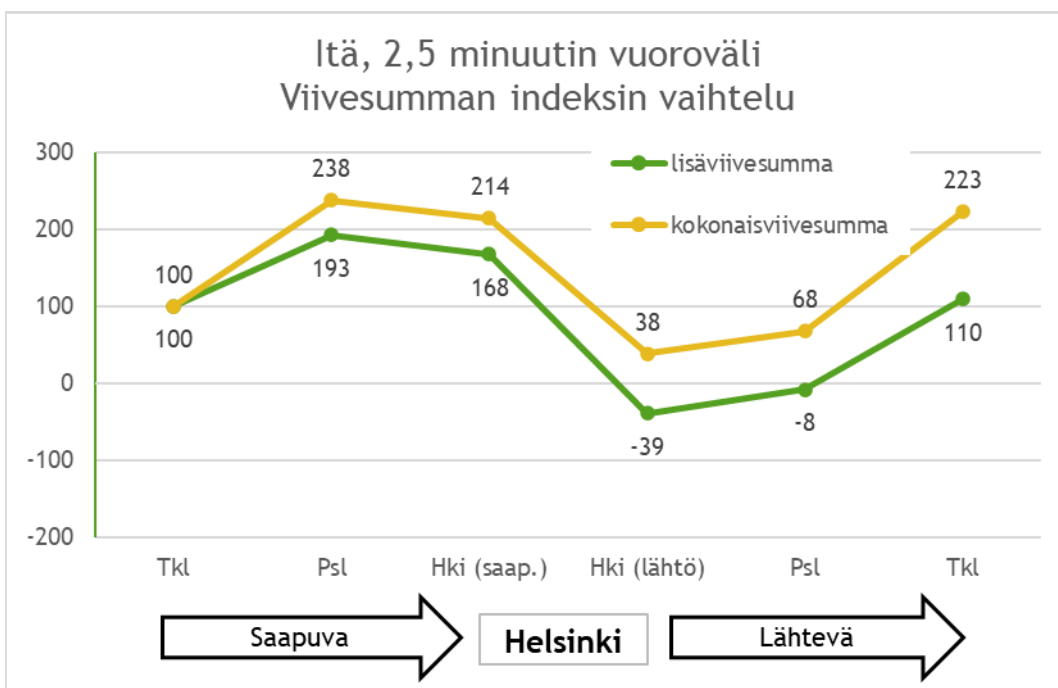
Kuva 14. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Suuresta prosentuaalisesta lisäviiveiden lukemista huolimatta, kaikkien junien odotettavissa oleva keskimääräinen lisäviive jää pieneksi, pahimmissakin tapauksissa vain noin 20 sekunnin suuruiseksi. Viiveet ovat siis maltillisia, eikä näistä ole merkittävää haittaa liikenteen toimivuudelle. (Kuva 15)



Kuva 15. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

Lisäviivesumma mukailee kokonaisviivesummaa koko tarkastelualueella. Tästä voidaan päätellä, että satunnaiset syötetyt viiveiden määrän noustessa aikataululle aiheutuu muitakin viiveitä, jotka ovat merkittävässä roolissa kokonaisviivesumman kannalta. Helsingin kääntoaika pienentää lisäviivesumman negatiiviseksi, mikä tarkoittaa, että tässä kohtaa saadaan aikataulua enemmän kiinni, kuin malliin on syötetty satunnaisviiveitä. Huolimatta suuresta lisäviiveiden määrästä liikenne kuitenkin palautuu hyvin Helsingin kääntoaajan puitteissa. (Kuva 16)



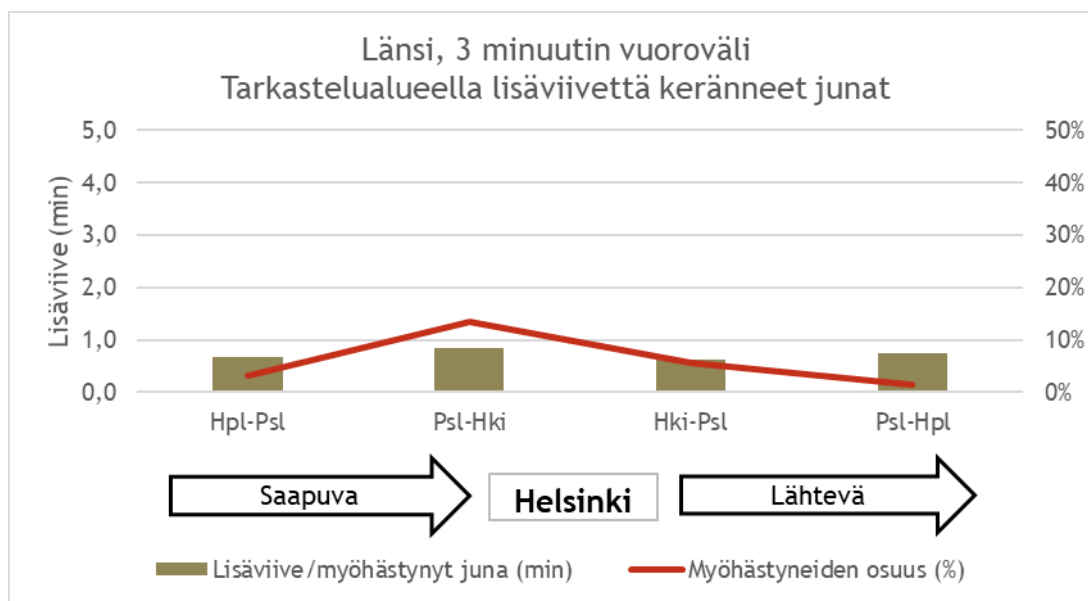
Kuva 16. Itäpuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

Yhteenveto, 2,5 minuutin vuoroväli

Itäpuolen liikenteellä havaittiin selkeästi suuremmat lisäviiveiden kertymisen osuudet kuin länsipuolella. Liikenteen tihentyminen pienentää pysähdysten lähellä olevia varautumisvälejä, mikä aiheuttaa lisäviiveitä erityisesti linjaosuuksilla ja osa lisäviiveistä heijastuu myös Pasilan asemalle. Kaikkien junien kokema keskimääräinen lisäviive (lisäviiveen odotusarvo) kuitenkin on pahimmissakin tarkastelukohdissa vain 20 sekunnin suuruusluokkaa, joten merkittävistä liikennehaitoista ei ole kyse ja ei ole odotettavissa, että liikenne tukkeutuisi tällä liikennerakenteella. Helsingin ratapihan länsipuolen uusi infraratkaisu toimii keskimäärin itäpuolta paremmin.

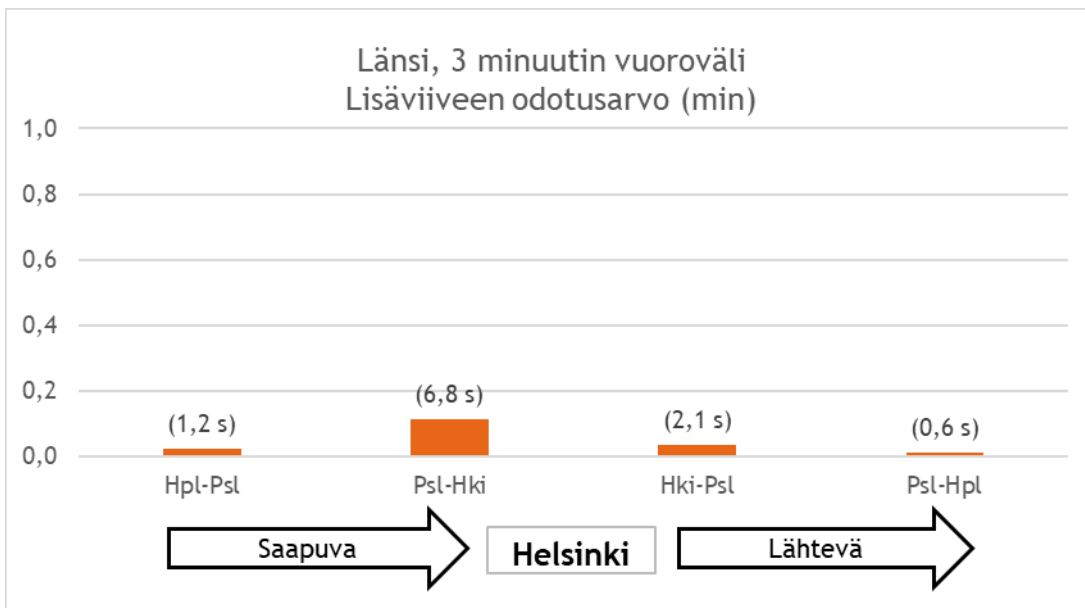
Länsipuolen liikenne, 3 minuutin vuoroväli

3 minuutin vuoroväli toimii uudessa, 2,5 minuutin vuorovälin mahdollistamassa infraratkaisussa samantapaisesti kuin nykyinfraan pohjautuvassa 3 minuutin vuorovälille optimoidussa infraratkaisussa: Länsipuolen ongelmallisin kohta on saapuvan liikenteen suunnalla Pasila–Helsinki välillä. Satunnaiset myöhästelyt aiheuttavat sen, että Helsingistä junat lähtevät viiveellä, jolloin saapuva puoli joutuu odottamaan, että kulkutiet vapautuvat omaan käyttöön. Kuvaajasta on nähtävissä, että Helsingistä lähtevä suunta ei koe niin paljoa lisäviiveitä, joten syötetyt satunnaisviiveetkin riittävät itsessään jo selvästi hidastamaan saapuvan liikenteen suuntaa. Keskimääräinen lisäviive on pieni jokaisella tarkasteluvälillä, joten liikenne sujuu kuitenkin keskimäärin hyvin, eikä infraratkaisujen välillä ole merkittäviä eroja. (Kuva 17)



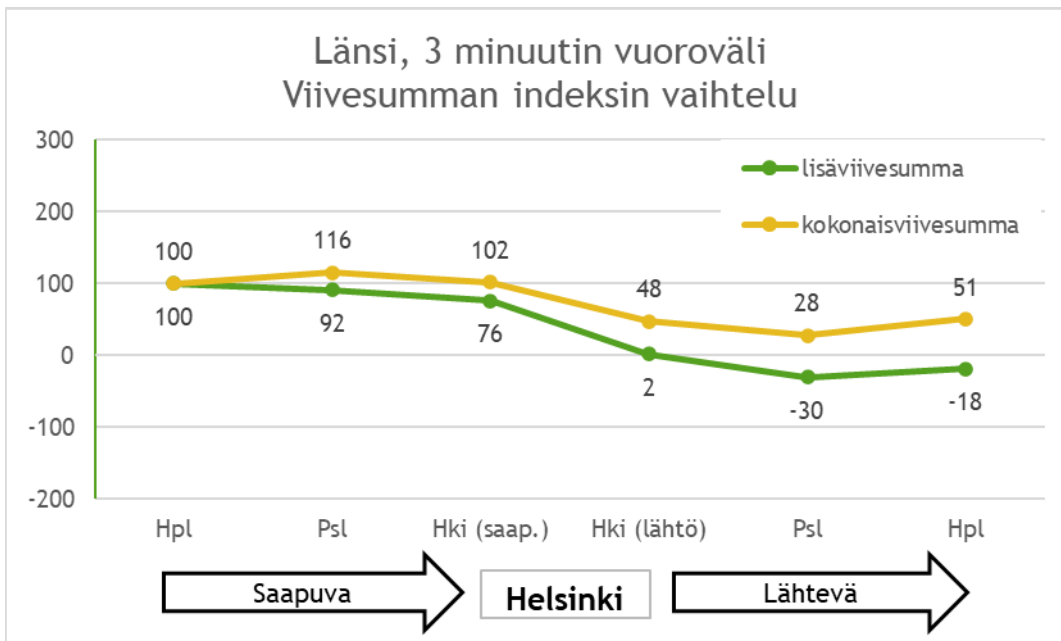
Kuva 17. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Keskimäärin odotettavissa oleva lisäviiveen määrä on jokaisessa tarkastelupisteessä erittäin pieni, huonimmillaankin vain muutamia sekunteja (Kuva 18).



Kuva 18. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

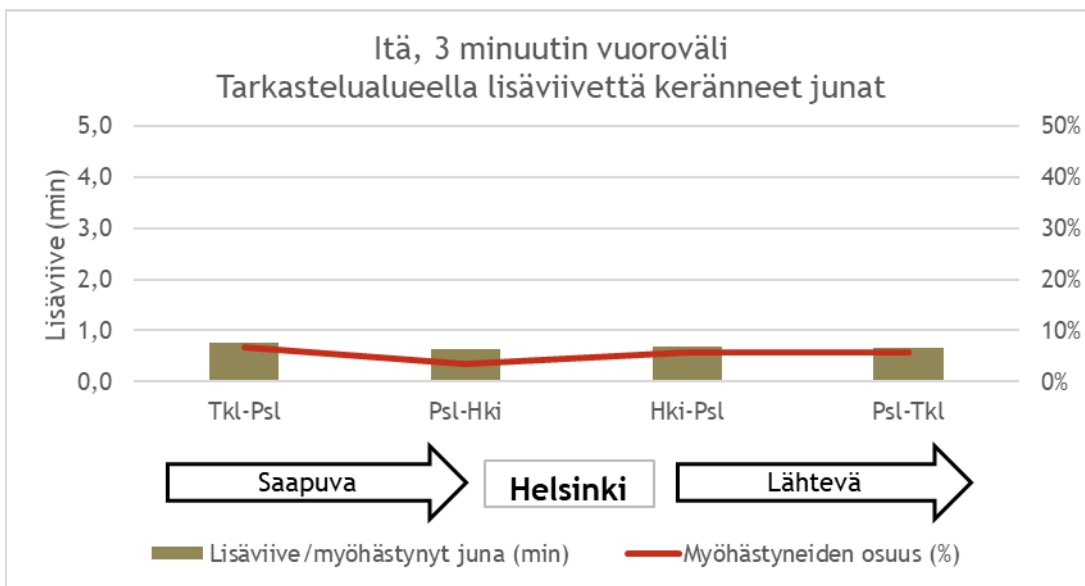
Edellisen infraratkaisun tapaan, viivesummien arvot ovat hyvin samankaltaiset tälläkin infraratkaisulla. Viivesummat laskevat koko tarkastelualueella ja etenkin Helsingin kääntöajan aikana. Edelliseen infraratkaisuun verrattuna, Helsingin kääntö ei kuitenkaan riitä saattamaan lisäviivesummaa negatiiviselle puolelle, joten siinä määrin uusi 2,5 minuutin infraratkaisu on hieman heikommin toimiva, vaikkakin Pasilassa ja Huopalahdessa viivesummien indeksit palautuvat taas toisiaan vastaaviksi infraratkaisujen välillä. (Kuva 19)



Kuva 19. Länsipuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

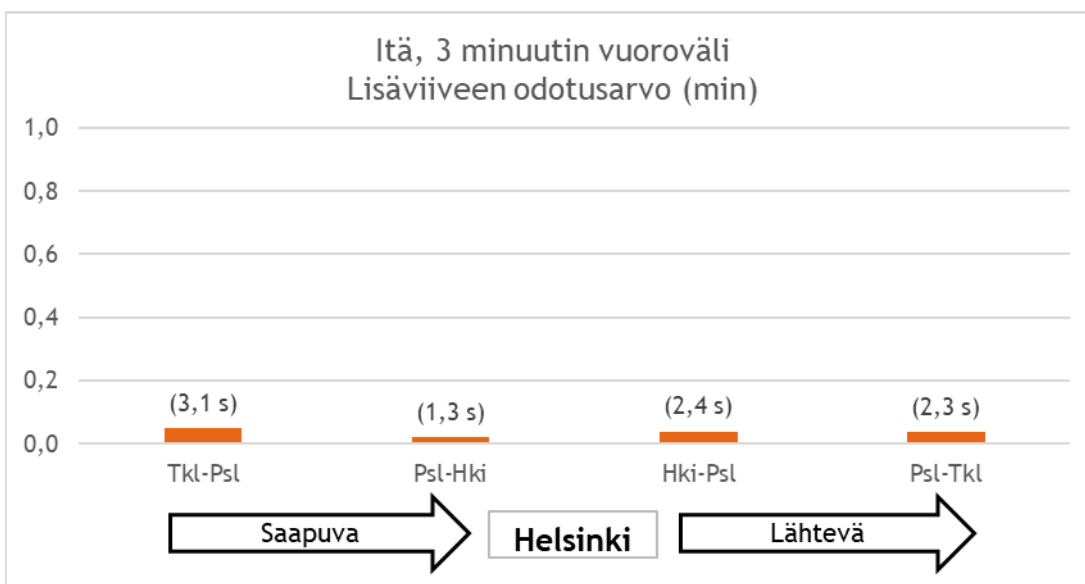
Itäpuolen liikenne, 3 minuutin vuoroväli

Itäpuolen liikenne toimii myös hyvin samankaltaisesti edellisen, 3 minuutin vuorovälille optimoidun infraratkaisun tavoin: suurin osa lisäviiveistä jakautuu linjaosuuksille Tikkurila–Pasila-välillä molempiin suuntiin. Edelliseen infraratkaisuun verrattuna tässä tapauksessa on myös hieman Helsinki–Pasila välin osuus kasvanut. Lisäviiveet ovat keskimäärin kuitenkin alle minuutin mittaisia, joten merkittävää liikenteellistä haittaa viivästyksistä ei aiheudu ja viiveitä keränneiden osuudetkin koko junamäärästä ovat pienet. (Kuva 20)



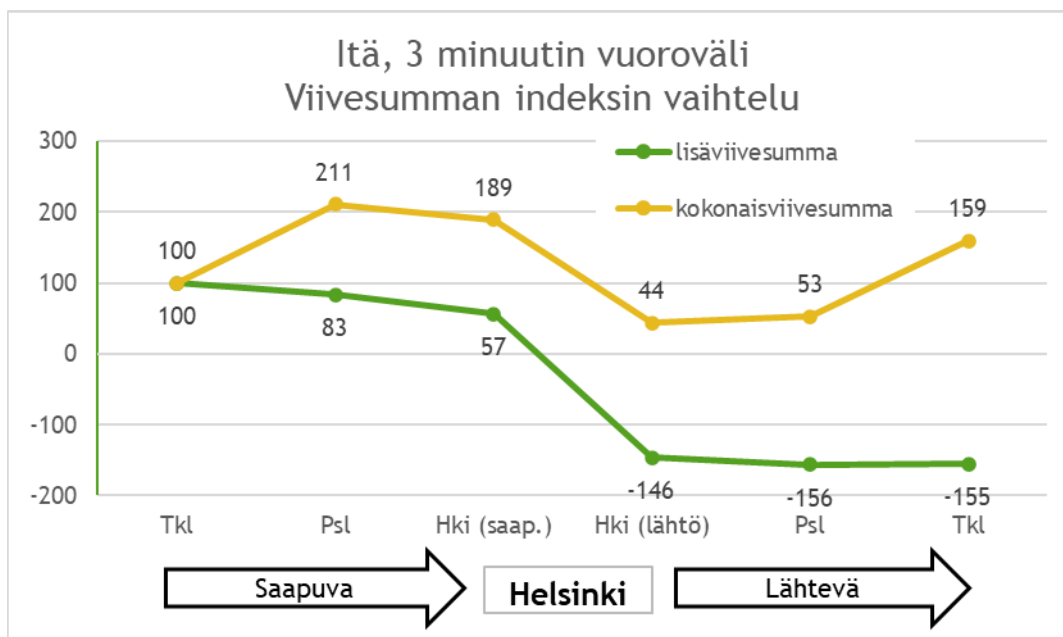
Kuva 20. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.

Kaikkien junien keskimääräinen odotettavissa oleva lisäviive on jokaisella tarkasteluvälillä vain muutamia sekunteja, eli liikenne ei koe merkittäviä häiriöitä syötettyjen satunnaisviiveiden seurauksena (Kuva 21).



Kuva 21. Itäpuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

Viivesummista nähdään, kuinka Helsingistä lähdön jälkeen kokonaisviivesumman osuus kasvaa Tikkurilaan mennessä huomattavasti (syötetyt satunnaisviiveet), mutta lisäviivesumma, josta on vähennetty syötettyjen viiveiden vaikutus, pysyy samana. Liikenne siis palautuu samassa suhteessa syötetyistä satunnaisviiveistä, eikä näin ollen koe ylimääräisiä häiriöitä niiden vuoksi. Helsingin kääntoaika riittää painamaan lisäviivesumman negatiiviseksi, eli aikataulua otetaan kiinni enemmän kuin satunnaisviiveitä on syötetty tarkastelualueella. (Kuva 22)



Kuva 22. Itäpuolen kaupunkiliikenteen viivesumman indeksi tarkastelualueella.

Yhteenveto, 3 minuutin vuoroväli

Liikenne ei koe merkittäviä lisäviiveitä aikataulun satunnaistamisen seurauksena. Länsipuolella kriittisimmäksi kohdaksi osoittautui saapuvan suunnan liikenne Pasilasta Helsinkiin, mutta tälläkin välillä lisäviiveitä kokoneiden junien osuus sekä lisäviiveiden suuruus olivat kuitenkin liikenneinfrastruktuurin tiheyden nähteen pieniä. Itäpuolella lisäviiveet jakautuivat tasaisemmin koko tarkastelualueelle, mutta saapuvat junat Pasilasta Helsinkiin kokivat hieman muita tarkasteluvälejä vähemmän viiveitä. Vaikka länsipuolen raiteistoinfrastruktuurissa puolenvaihtopaikan sijoitus oli suunniteltu 2,5 minuutin vuorovälin liikenneinfrastruktuurin kannalta optimaalisesti, ei tämä näkynyt merkityksellisen haitallisena 3 minuutin vuorovälin tuloksissa.

5 Häiriötilannesimuloinnit

Tässä luvussa tarkastellaan vielä tapaustarkasteluina 3 ja 2,5 minuutin vuorovälien liikennejärjestelmän mahdollisuuksia selviytyä kahdesta eri paikallisesta yllättävästä häiriötilanteesta, jotka vaikuttavat kaupunkijunien käytössä oleviin kulkureitteihin Helsingin ratapihalla. Tarkasteltavat häiriöskenaariot ovat samankaltaiset kuin Häiriösimulointityössä (Väylävirasto 2024) esitetyt ja tutkitut niin sanotut paikalliset häiriöt, jotka vaikuttavat rajoittavasti yksittäiseen osaan raiteistoa. Olennaiset tarkastelukysymykset ovat, mitkä ovat liikenteenhoidolliset seuraukset, kyetäänkö liikennettä jatkamaan samalla tiheydellä, millaisia myöhästymisiä häiriötilanteiden seurauksena esiintyy, ja millaisia sopeuttamistoimia mahdollisesti tarvitaan. Simulointi keskittyy vain seurausten havainnointiin, eikä mahdollisia sopeuttamismalleja tai erilliseen poikkeusliikenteeseen siirtymisen vaiheita simuloita erikseen.

Ensimmäisessä skenaariossa tutkitaan liikennöinnin toimintakykyä tilanteessa, jossa Pasilan laituriraitteelle 10, eli Helsingin suuntaan normaalisti liikennöitävälle raiteelle pysähtyy juna ylimääräisen 20 minuutin ajaksi. Häiriösimulointityön tuloksena tuli ilmi, että jo 3,75 minuutin junatiheydellä asemalle pääsyn jonottaminen ei ole hyvä vaihtoehto kaupunkiliikenteen palautumiskyvyn kannalta, vaan tilanteen purkamiseksi ja häiriön lieventämiseksi on paikka kierrettävä tai junavuoroja peruttava. Tässä luvussa analysoidaan ratkaisua, jossa junia ohjataan kiertämään toisen laiturin kautta häiriön aikana. Analyysi tehdään aikataulunmukaiselle liikenteelle tapaustarkasteluna.

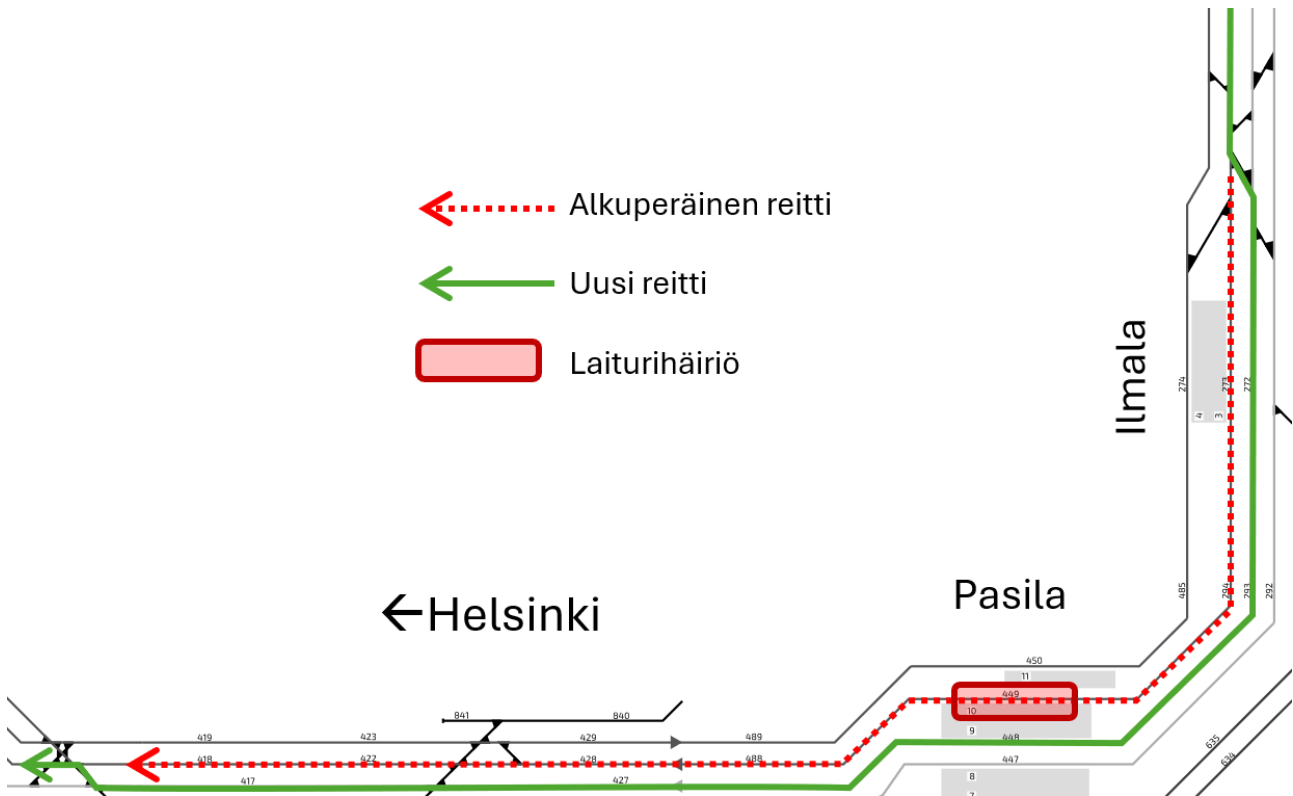
Toisessa skenaariossa tutkitaan, millaisia ongelmia voi aiheuttaa yksittäisen vaihteen rikkoutuminen Helsingin päässä vaihdekujassa. Tässä skenaariossa valitun vaihteen yli ajaminen estetään simulaatiossa kokonaan kahden tunnin ajaksi kesken normaaliliikenteen, ja junien on käytettävä vaihtoehtoisia reittejä. Tämä aiheuttaa konflikteja saapuvien ja lähtevien junien välille, kun jokin normaalireiteistä on rikon vuoksi poissa käytöstä.

5.1 Häiriötilanne: Junan seisahdus Pasilan asemalle

Pasilan laiturihäiriöskenaariossa saapuva juna seisautetaan laiturille 10 niin, että se tukkii Helsinkiin päin suuntavien kaupunkijunien normaalireitin 20 minuutin ajaksi. Kummallakaan vuorovälillä junien jättäminen odottamaan laiturin vapautumista ei ole hyvä ratkaisu verkon toimintakyvyn kannalta, sillä se tuo pitkän tauon usean linjan lähdöille ja ruuhkauttaa niin asemat kuin raiteet. Simuloinnilla tutkittiinkin vaikutuksia, joita kiertoreitin käyttäminen aiheuttaa verkolle ja liikenteelle. Kiertäminen raiteen 11 kautta ei ole hyvä vaihtoehto, koska siinä kuljettaisiin vastakkaiseen kulkusuuntaan, mikä hidastaa kummankin suunnan junia. Raidetta 9 pitkin kulkee kauko- ja lähiliikennettä Helsingin suuntaan, joka on parempi kiertoreitti. Ratapihan kapasiteetin käytön huomioimiseksi simulointiin sisällytettiin myös raidetta 9 käyttävä liikenne Kapasiteettiselvityksen (Väylävirasto 2022) ns. maksimiliikennejärjestelmän mukaisena. Tällöin

voidaan mallintaa realistisemmin raiteen 9 vapaata kapasiteettia kierrolle sekä analysoida raiteen jakamisen yhteisvaikutuksia.

Raiteen 9 kautta kiertämisellä on myös haasteensa siinä, että kiertoreitti on varsin pitkä. Kuvassa 23 nähdään, että vaihto Huopalahden suunnan läntiseltä keskiraiteelta itäiselle keskiraiteelle pitää tehdä jo ennen Ilmalan asemaa Kivihaan raiteenvaihtopaikalla ja paluukoukkaus kaupunkiraiteelle on mahdollista vasta Pasila–Helsinki-välillä. Koska raidetta liikennöidään samaan suuntaan ei pitkä kierto ole sinänsä haitta. Kuitenkin kiertävät junat eivät voi pysähtyä Ilmalan seisakkeella, koska läntisellä keskiraiteella ei ole laituria Ilmalassa. Ilmalasta ei siis häiriön aikana käytännössä ole junayhteyttä Helsingin suuntaan, ja Ilmalaan Huopalahden suunnasta pyrkivät matkustajat joutuvat vaihtamaan Pasilassa takaisin päin kulkevaan junaan.



Kuva 23. Laiturivian takia häiriön aikana kaupunkiliikenteen käyttämä kiertoreitti.

Häiriötilannetta analysoitiin kummallakin vuorovälillä optimoidun puolenvaihtopaikan infraratkaisunsa kanssa. Uuden puolenvaihtopaikan sijainti on optimoitu normaaliliikenteen mukaan, ja niiden toimintakyky arvioidaan perus- ja häiriösimuloinnin perusteella. Pasilan laiturihäiriön vaikutukset eivät ole suoraan yhteydessä uuden puolenvaihtopaikan sijaintiin, koska puolenvaihtopaikan ja reitinvalinnan kannalta on kyse päätöksenteosta aikataulusta poikkeavassa tilanteessa samalla tavalla kuin häiriösimuloinnin aikana muutenkin. Pasilan laiturihäiriöskenaariossa analyysi kohdistuu puolenvaihtopaikan toiminnan sijasta pikemmin liikenteen verkollisempaan toimintakykyyn ja vaikutuksiin kummallakin vuorovälillä.

5.1.1 3 minuutin vuoroväli

Kolmen minuutin vuorovälin liikenteessä häiriö vaikuttaa välittömästi kuuteen seuraavaan junavuoroon, jotka pyrkivät kaupunkiraidetta pitkin Helsingin asemalle. Samaan aikaan 20 minuutin häiriön keston kanssa raidetta 9 pitkin voi maksimaalisessa tulevaisuuden tilanteessa kulkea arviolta 4–5 junaa Helsinkiä kohti. Kiertoreitin käyttäminen on tapaustarkastelun perusteella varsin jouhevaa, ja junat pystyvät jakamaan laiturin 9 käytön Pasilassa maltillisin viivein. Kaupunkijunaliikenteen pitämiseksi verraten sujuvana häiriön aikana ei välttämättä kannata priorisoida raiteen 9 normaaliliikennettä, vaan kiertoreittiä käyttävää kaupunkiliikennettä on syytä pitää vähintään tasaveroisena, jotta saadaan pidettyä myöhästymiset tarpeeksi pieninä ja kaupunkiliikenne ei jonoudu liiaksi Helsingin ja Pasilan asemilla. Simulointitarkastelussa arvioitiin Pasilaan pyrkiviä junia tasaveroisesti viiveiden pienimmän lisäviiveen kertymän periaatteella. Tällöin ylimääräiset viiveet jäävät tyypillisesti melko pieniksi, ja ne saadaan kuitattua suurella todennäköisyydellä Helsingin kääntöajan pelivaran avulla.

Häiriön takia seisahduksiin Pasilaan jäänyt juna on suositeltavaa kuitenkin ottaa pois liikenteestä väliaikaisesti. Häiriöstä kärsinyt junavuoro jää jälkeen seuraavasta lähdöstään reilusti, eikä sen kannata sotkeutua muuten lähes poikkeuksettomasti toimivan liikenteen sekaan. Simulointitarkastelussa vuoro kävi Pasilasta päästyään vapaalla laiturilla Helsingin asemalla, jotta mahdollisesti vielä kyytiin jääneet matkustajat saatiin pääteasemalle. Laiturissa käynnin jälkeen junan voi ajaa varikolle tai huoltoraiteelle odottamaan ja palauttaa liikenteeseen seuraavalla Helsingin lähdöllä. Liikenteestä pois jätettävää vuoroa ei kuitenkaan kannata ajaa kaupunkiliikenteen raiteille, jotta kaupunkiliikenne normalisoituu tehokkaasti.

Häiriön luonteen vuoksi on myös todennäköistä, että tällaisessa tilanteessa kaikki perässä ajavat junat eivät pysty kiertoreittiä hyödyntämään, koska ne ovat ajaneet liian pitkälle ennen kuin häiriö voidaan todeta. Olettaen liikenteen kulkevan aikataulussaan häiriöjunan perässä tuleva vuoro on jo Ilmalassa, kun häiriöjunan Pasilan lähtöaika koittaa. Tätä seuraava junavuoro on puolentoista minuutin päässä hetkestä, jolloin kulkutie kiertoreitille ohjaavan vaihteen ohitse on viimeistään normaaliliikenteessä lukittava. Tämän perusteella voidaan olettaa, että skenaarion tilanteessa häiriöjunan perässä tulevista vuoroista yksi tai kaksi seuraavaa junaa joutuu jonottamaan raiteen 10 vapautumista päästäkseen Helsinkiin. Koska nämä junat myöhästyvät yhtä paljon, niidenkin jatkovurojen väliaikainen peruminen auttaa liikenteen vakautta häiriön jälkeen. Junan kääntäminen aikaisemmalle vuorolle on lyhyen vuorovälin ja kääntöajan takia haasteellista, mutta aiempien Helsinki–Pasila-alueen simulointiselvityksissä käytetyn minuutin minimikäännön nojalla periaatteessa mahdollista. Toisaalta peräkkäiset junat ajavat eri linjaa, joten tällaisilla muutoksilla voi olla muita operatiivisen toiminnan rajoitteita.

Kaikkiaan tulos indikoi, että 3 minuutin vuorovälin liikennerakenne voi tässä skenaariossa toimia hyvin ja palautua nopeasti käyttämällä kiertoreittiä Pasilassa. Junilta, jotka eivät pääse kiertämään, on kannattavaa perua seuraava lähtö ja ajaa ne Helsingissä toiselle raiteelle. Kierto ja perumistoimet aiheuttavat konflikteja muun junaliikenteen kanssa, mutta ne ovat helposti hallittavissa ja mahdollistavat

kaupunkirataliikenteen jatkumisen vain pienin poikkeamin. Matkustajapalvelun kannalta seurauksena on kuitenkin Ilmalan aseman käyttämisen estyminen Helsingin suuntaan kulkevilta junilta kokonaan häiriötilanteen ajaksi.

5.1.2 2,5 minuutin vuoroväli

Tällä vuorovälillä Pasilan laiturille seisahtumisella on välitön vaikutus yhdeksään seuraavaan Helsinkiin päin suuntaavaan junaan. Skenaariossa näistä kaksi joutuu jäämään jonoon, koska ne ovat ehtineet Kivihaan vaihteen ohi ennen kuin kiertoreitti ehditään ottamaan käyttöön. Häiriön aikana raidetta 9 kulkee neljä muuta junaa. Kapasiteetin jakaminen on kohtalaisen sujuvaa, ja junat kokevat 0–2 minuutin viiveitä Pasilassa, jotka useimmiten saadaan kiinni Helsingin kääntöajassa eivätkä ne vaikuta jatkoyhteyksiin. Kaupunkijunien osalta on huomioitava, että tuloksen oletuksena on niiden tarvittaessa pystyvän kääntymään yhdessä minuutissa. Pienimmillään kääntöaikaa käytettäväksi jää puolitoista minuuttia.

Kun Pasilan laiturilla 10 odottaneet kolme junaa pääsevät liikkeelle aiheutuu Helsingin päässä pieni ruuhkapiikki, joka aiheuttaa myös lähtöviiveitä. Suurimmat lähtöviiveet ovat simuloinnissa kuitenkin 1–2 minuuttia, joten ne ovat hallittavissa. Tässäkin tapauksessa Pasilassa 20 minuuttia odottaneet junat ohjataan sivuun kaupunkiraiteiden laiturilta ja niiden jälkeinen seuraava vuoro perutaan. Ylimääräinen juna muuten lähes aikataulussa kulkevan liikenteen seassa olisi vain tarpeeton haitta, joka hidastaisi liikenteen normaalirytmien palautumista.

Myös 2,5 minuutin vuoroväli voi siis kohtuullisin viivästymisin palautua normaaliksi ilman suurempia sopeuttamistarpeita häiriön vuoksi, kunhan kiertoreittiä käytetään mahdollisimman varhain ja pidempään odottamaan joutuneet junat poistetaan kulusta häiritsemästä liikenteen palautumista heti kun mahdollista. Viiveet voivat kuitenkin olla suhteellisesti merkittävä kuormitustekijä, ja junien käännön on toimitettava Helsingin asemalla tehokkaasti, jotta ongelman kerrannaisvaikutusten leviämisen riski pysyy pienenä. Matkustajapalvelun kannalta Ilmalan asema joudutaan kiertoreitin käytön aikana ohittamaan vastaavasti kuin 3 minuutin vuorovälin tarkastelussa.

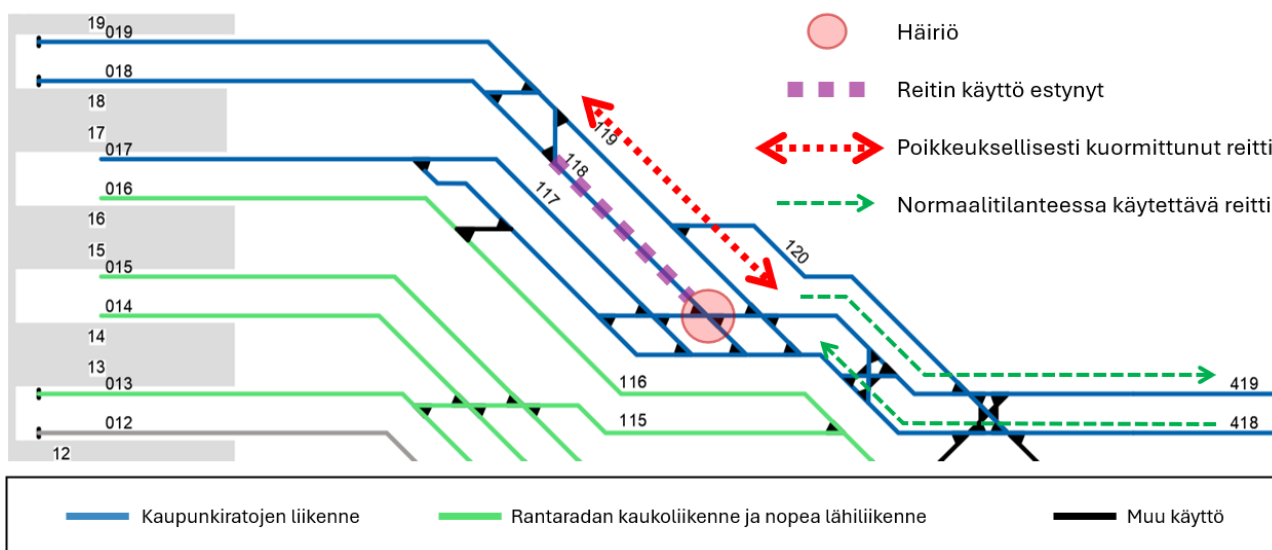
5.2 Häiriötilanne: Helsingin vaihdevika

Vaihdevian vaikutuksia analysoitiin toteamalla ensin liikenteenhoidolle aiheutuvat seuraukset kummankin vuorovälin mukaan rakennetulla inframallilla. Mallit ovat seurausten suhteen varsin erilaiset, koska käytettävien reittien määrä on erilainen. Simuloinnin avulla selvitettiin seuraavaksi teoreettiset viivevaikutukset aikataulunmukaiselle liikenteelle simuloinnin määrittämän edullisimman liikenteenhoitotavan mukaan. Jos liikenne pystyttiin toteamaan verkollisesti toimivaksi, tehtiin häiriötilanteen ollessa voimassa

vielä häiriösimulointi, jossa liikenteen täsmällisyyttä varioitiin samalla menettelyllä kuin luvun 4 häiriösimuloinnissa. Tulokset esitetään seuraavissa alaluvuissa liikenneskenaarioittain. 3 minuutin vuorovälille on tehty analyysi myös 2,5 minuutin vuorovälille suunnitellulla infrastruktuurilla.

5.2.1 3 minuutin vuorovälin infrastruktuuri

3 minuutin vuorovälin infrastruktuurissa vaihderikko mallinnettiin nykyiselle risteysvaihteelle V056 (kuvasessa 24 merkitty punaisella). Tämän seurauksena raiteen 118 käyttö on estynyt. Tällä on eritoten vaikutusta raiteelle 18 saapuviin juniin, jotka normaalitilanteessa saapuisivat raidetta 118 pitkin kohti asemaa. Vaihderikon aikana näiden junien on käytettävä tullessaan raidetta 119, jonka kautta kulku on vaurion kestön ajan jaettava raiteelta 19 lähtevien junien kanssa. 3 minuutin vuorovälin liikenerakenteesta tästä seuraa normaaliaikataulussa konflikti, jossa toisen junista on odotettava. Vaihderikko estää myös laituriilta 17 lähtevien junien suurimman reitin linjaraitelle. Normaaliliikenteessä raiteelta 17 lähtevä juna käyttää kuitenkin uutta puolenvaihtopaikkaa raiteelle 19 saapuvan junan sujuvaan ohittamiseen, eikä siten yleensä aja vaihteen V056 ylitse. Liikenteenhoidollisesti olennainen vaikutus kohdistuu siis raiteen 119 jakamiseen sekä lähtevien että saapuvien junien kesken.

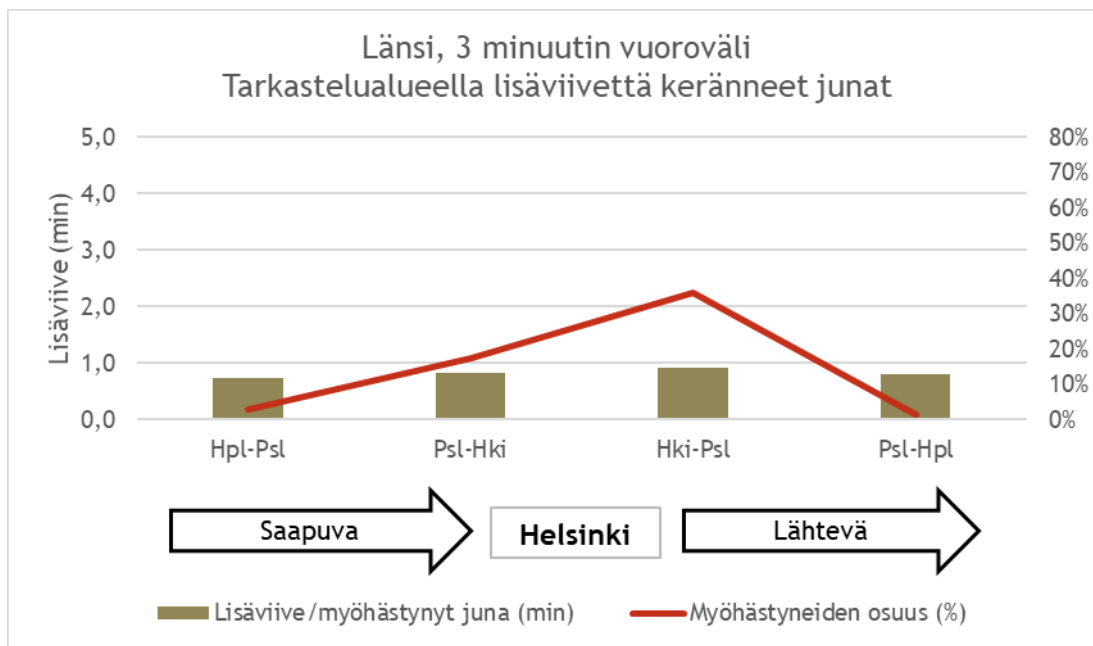


Kuva 24. Vaihdevian aiheuttamat muutokset kaupunkiliikenteen reititykseen 3 minuutin vuorovälin infrastruktuurissa.

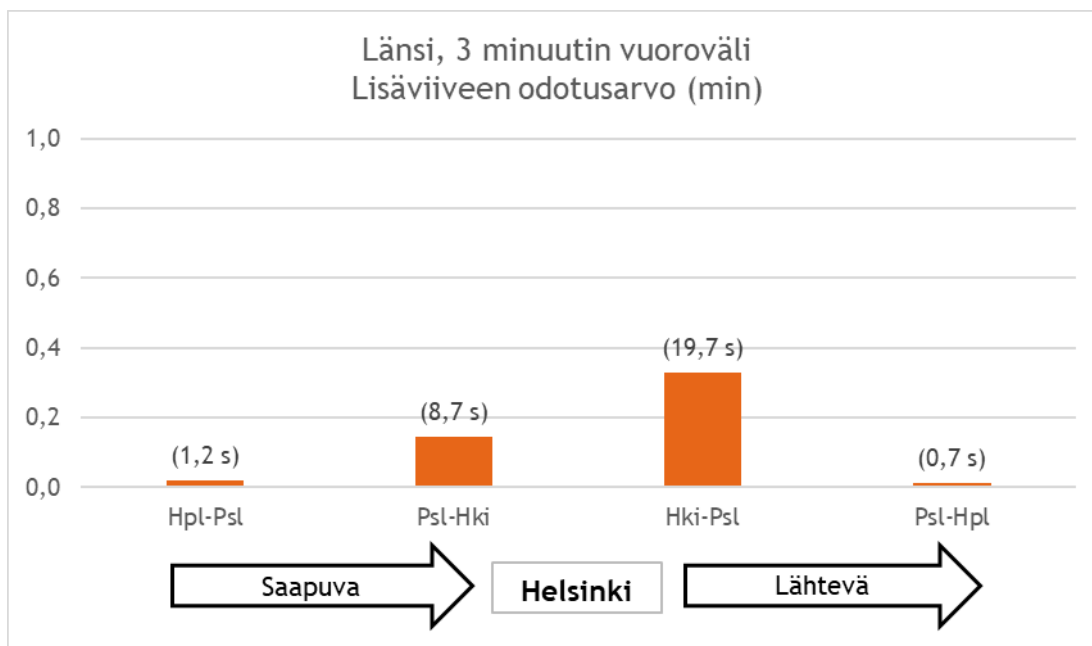
Teoreettisen simuloinnin mukaan viiveiden minimoimiseksi on häiriötilanteen aikana edullisempaa päästää saapuva juna laituriin ennen lähtevää junaa tilanteessa, jossa molemmat tarvitsevat raidetta 119. Tällöin raiteelta 19 lähtevät A- ja P-junat myöhästyvät lähtöajastaan noin 70 sekuntia. Ne pääsevät odotuksen jälkeen liikkeelle kuitenkin ilman enempiä ongelmia, ja voivat kiriä aikatauluun kiinni. Pelivaraa ei Pasilan jälkeen kuitenkaan ole rakenteessa merkittävän paljon, joten nämä junavuorot kulkevat hieman

myöhässä kääntö- tai ajantasausasemalla asti (Kauklahti A-junille, Lentoasema P-junille). Siellä tilanne normalisoituu ja häiriö vaimenee pois verkolta. Helsingistä myöhässä lähtevä juna viivyttää hieman myös seuraavaa laiturille 19 pyrkivää junaa, mutta teoreettinen vaikutus on vain noin 20 sekuntia, jolla ei ole jatko-seuraamuksia. Tämä ei viivästyttä kukaan raiteelta 17 lähtevää junaa. Tilanne on kuitenkin säännöllisesti toistuva koko häiriön keston ajan, jolloin joka kolmas Helsingistä lähtevä juna kulkee aikataulustaan jäljessä.

Häiriötilanteen aikaisessa häiriösimuloinnissa kaupunkirataverkkoa stressattiin liikennehäiriöllä tuottamalla satunnaisviiveitä asemalta lähtöihin samalla, kun vaihderikko ilmaantui kahdeksi tunniksi haittaamaan Helsingin ratapihan liikennettä. Kuvat 25 ja 26 näyttävät lisäviiveiden kertymisen tulokset huomioiden syötettyjä asemaviiveitä. Tulokset heijastelevat varsin hyvin teoreettisen tarkastelun tulosta, jonka mukaan Helsingistä lähtö viivästyy vaihdevian vuoksi noin joka kolmannella junalla, ja viivästyksen suuruusluokka Pasilaan mennessä on yhden minuutin luokkaa. Muilta osin lisäviiveen kertymisen keskiarvot vastaavat häiriösimuloinnin tulosta ilman vaihdevikaa.



Kuva 25. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.



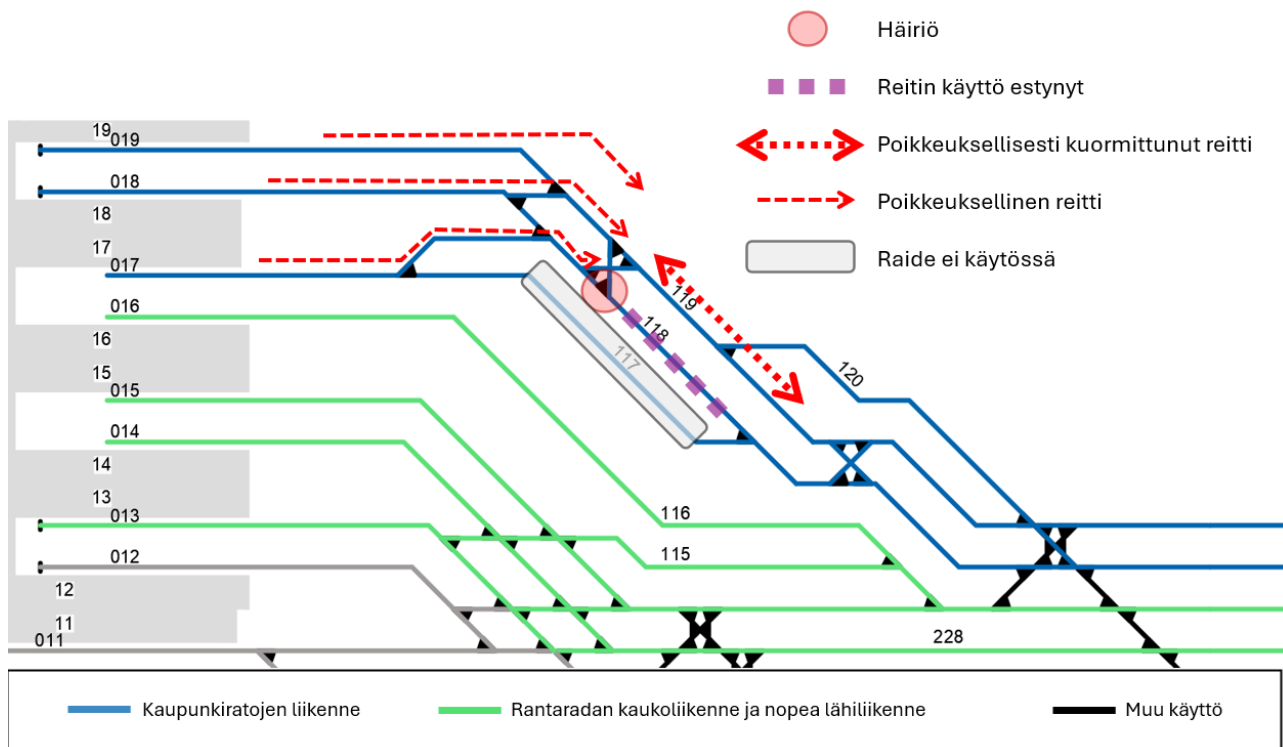
Kuva 26. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveen odotusarvo tarkastelualueella.

Tulosten perusteella vaihdevika aiheuttaa tässä skenaariossa säännöllisesti toistuvan poikkeaman osaan junavuoroista, mutta verkollisesti liikenne kuitenkin pystyy toimimaan ja palautumaan kääntö- ja pääteasemilla. 3 minuutin vuorovälille suunnitellussa infrastruktuurissa on useampia vaihteita, joiden yliajon estyminen aiheuttaa tässä tutkitun kaltaisen liikenteenhoidollisen ongelman. Näissä tilanteissa verkon toimintakyky säilyy ilman erillisiä sopeutustoimia.

5.2.2 2,5 minuutin vuorovälin infrastruktuuri

2,5 minuutin vuorovälille optimoidussa puolenvaihtopaikan sijoittelussa Helsingin ratapihan länsipuolen raiteiston on täysin uudistettu. Tässä raiteistossa on vähemmän varareittejä vaihderikkojen varalta, jolloin odotettavissa olevat vaikutukset ovat suuremmat. Vaihdevika tässä skenaariossa mallinnettiin vastaavan kaltaiseen paikkaan, joka ei rajoita laitureiden käyttöä, mutta estää kokonaan säännöllisen liikenteen keskeisen reitin käytön.

Kuva 27 esittää uuden raiteistomallin tilannetta ja vaihderikon operatiivisia vaikutuksia. Kuvan vaihteelle V905 (merkitty punaisella) on määritetty vastaavalla tavalla vaihteeksi, jonka yli liikenne ei voi kahteen tuntiin kulkea. Tämä estää 3 minuutin vuorovälin skenaariota vastaavasti raiteen 118 käytön, mutta nyt kaikki raiteille 17–19 pyrkivät junat joutuvat ajamaan raiteen 119 kautta, jolloin kaikkien lähtevien ja saapuvien junien välillä on aikataulunmukaisen liikenteen kannalta konfliktitilanne.



Kuva 27. Vaihdevian aiheuttamat muutokset kaupunkiliikenteen reititykseen 3 minuutin vuorovälin infrastruktuurissa.

Tässä skenaariossa on simuloinneissa oletettu, että kuvassa 27 piirrettyä raidetta 117 ei voida hyödyntää, koska sen roolia ei ole raiteiston suunnitelmassa tarkemmin määritelty. Mikäli raide 117 voidaan ottaa tarvittaessa käyttöön, helpottuu operatiivinen toiminta poikkeustilanteessa. Voisi olla täysin mahdollista, että raidetta 117 voisi tällaisessa tilanteessa käyttää vararaidena. Tällöin häiriötilanteen operatiiviset ratkaisut olisivat lähes samankaltaiset kuin 3 minuutin vuorovälin inframallilla.

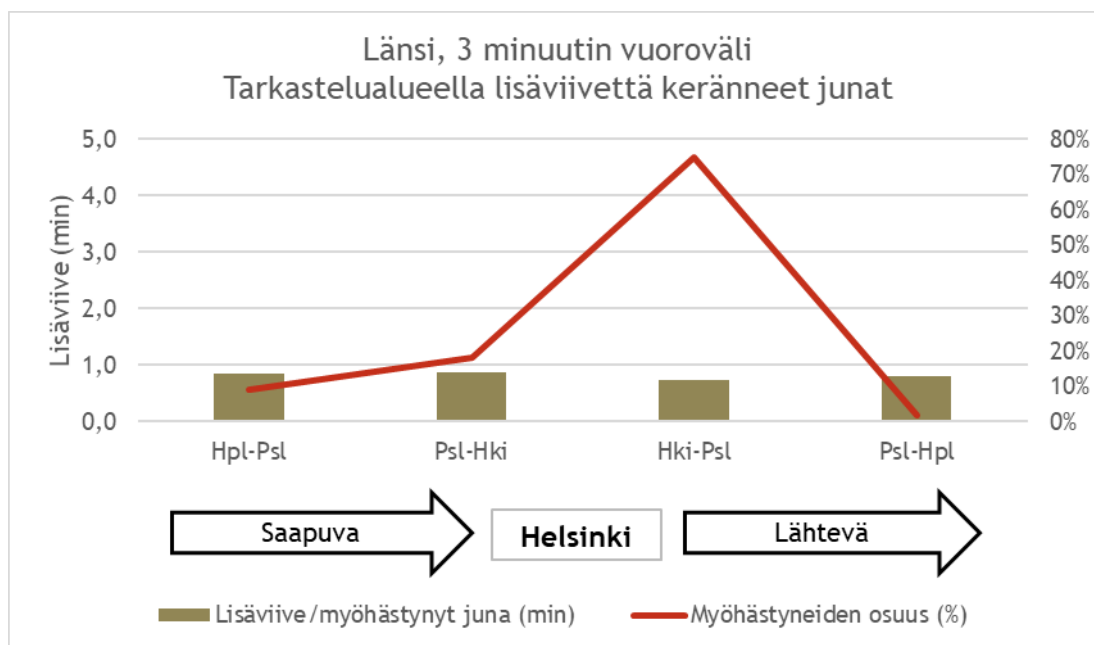
Simuloinneissa tutkittiin 2,5 minuutin vuorovälin liikenteen lisäksi 3 minuutin vuoroväliä, vaikka puolenvaihtopaikan sijoittelu ei ole sille teoreettisesti optimaalisin mahdollinen. Vaihdevian vaikutusten kannalta keskeinen eroavaisuus on kuitenkin merkittävämpi häiriövaikutus, kun sama raide pitää jakaa kaikkien junavuorojen kesken. Simulointitulokset vuoroväleittäin esitetään seuraavissa alaluvuissa.

5.2.2.1 3 minuutin vuorovälin liikennerakenne

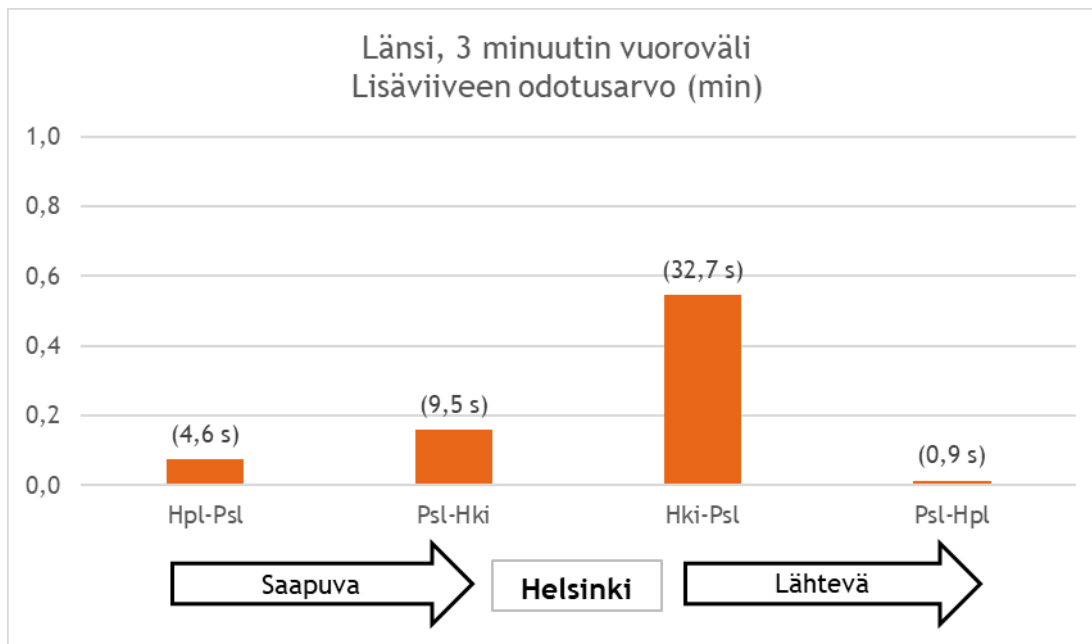
Teoreettisessa simuloinnissa operatiivinen toiminta on vastaavanlainen toisen infraskenaarion kanssa. On edullisempaa ottaa saapuvat junat ensin laituriiin ja viivästyttää lähteviä junia. Aikataulunmukaisessa liikenteessä lähtöviive on keskimäärin noin 55 sekuntia, eli vähemmän kuin 3 minuutin vuorovälin optimoidulla infralla. Viive kuitenkin kohdistuu tässä infraskenaariossa kaikkiin lähteviin juniin. Viiveen suuruus vaihtelee lähtöraiteesta riippuen, koska raiteen varauksen konfliktin pituus eri junaparien välillä

vaihtelee laituriraitteen käytön mukaan. Viivästyneen lähdön takia seuraavan junan saapuminen ei kuitenkaan hidastu kuin marginaalisesti, eli raitteen 119 varauksen tarpeet ovat likipitään peräkkäin jatkuvasti.

Häiriösimuloinnissa verkkoa stressataan asemien lähtöviiveillä häiriösimuloinnin tapaan samalla, kun vaihevika aiheuttaa häiriötilanteen ratapihalla kahden tunnin ajan. Tuloksista (kuva 28, kuva 29) nähdään, että lisäviiveiden kertymä on muutoin luvun 4.2 häiriösimuloinnin tulosten kaltainen, mutta Helsinki–Pasila-välin viivetodennäköisyydessä huomataan jatkuvien toistuvien konfliktien vaikutus. Viivekeritymää ei silti ole aivan teoreettisen tarkastelun mukaisesti jokaisella junalla, koska simuloinnissa liikenteen satunnaisviiveet tekevät lähtevän ja saapuvan junan välisen konfliktin ratkaisusta dynaamisen. Noin neljäsosalla junalähdöistä edullisempi päätös simuloinnissa on päästää lähtevä juna matkaan ja viivyttää saapuvaa.



Kuva 28. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden osuus ja keskimääräinen lisäviive tarkastelualueella.



Kuva 29. Länsipuolen kaupunkiliikenteen lisäviiveiden odotusarvo tarkastelualueella.

Kokonaisuutena 2,5 minuutin infraratkaisulla 3 minuutin vuorovälin liikenteessä esiintyy jatkuvasti ylimääräisiä viiveitä, koska vaihdevian aiheuttamat liikennepoikkeamat ovat 3 minuutin infran skenaariota laajemmat. Viiveiden suuruusluokka pysyy kuitenkin maltillisena, ja junavuorot pääsääntöisesti pääsevät aikatauluun jälleen pääte- tai ajantasausaseman kohdalla. Verkon toimintakyky säilyy tämän häiriöskenaarion tilanteessa, vaikka aikataulupoikkeamat Helsingin ajoissa ovat jatkuvia. Sopeutustoimet liikenteelle eivät ole simuloinnin perusteella välttämättömiä, kunhan asetinlaitteen toimintakyky ja kulkuteiden asettelu tehokkuus Helsingissä ei vaarannu, sillä kulkuteitä joudutaan vaihtamaan jatkuvasti aina heti edellisen junan mentyä aseman vaihdekujan yli.

5.2.2.2 2,5 minuutin vuorovälin liikenne

Simuloitaessa vaihdevikaa 2,5 minuutin vuorovälin aikataulunmukaisella liikenteellä havaittiin ratakapasiteetin riittämättömyyden olevan riski. Viiveiden muodostuksen periaate on häiriötilanteen alussa samankaltaista kuin 3 minuutin vuorovälin liikenteellä. Viiveet ovat kuitenkin jo häiriön alkuvaiheessakin toistuvasti 90 sekunnin luokkaa, mikä vaikuttaa jatkuvasti myös saapuvaan liikenteeseen. Riski viiveiden kasvulle ja liikenne puuroutumiselle häiriön keston edetessä on nähtävissä teoreettisessa simuloinnissa. Jos häiriö olisi lyhytkestoinen, liikenne pääsisi todennäköisesti palautumaan, mutta liikenne on simuloinnissa alusta asti Helsingin päässä epätasaista ja pienetkin lisäongelmat ovat tällöin riski. Viiveet leviävät myös verkolla taaksepäin saapuvien junien joutuessa odottamaan. Liikenteen sopeutustoimet ovat skenaarion kaltaiseen tilanteeseen päädyttyessä suositeltavia.

Infraratkaisu mahdollistaa tilan puolesta rakennettavan myös muita raiteita, joita voisi käyttää varareitinä, tutkittiin 2,5 minuutin vuoroväliä myös tilanteessa, jossa kuvaan 27 merkitty raide 117 voidaan ottaa

varareitiksi vaihdevian sattuessa. Tällöin raiteella 17 kääntyvä liikenne pääsee varareittiä vikaantuneen vaihteen ohitse, ja konfliktien suhteen päällekkäisiä varauksia aikataulumukaisessa liikenteessä tulee vain raiteelta 19 lähtevillä junilla samaan tapaan kuin 3 minuutin vuorovälin infrastruktuurimallilla. Tällöin liikenne pystyy teoreettisen simuloinnin perusteella toimimaan pienin mutta jatkuvien myöhästymisin, jotka pystytään kuitenkin kompensoimaan pääte- ja ajantasausasemien pysähdysten aikana. Häiriösimulointikokeissa tässäkin mallissa ajaututtiin herkästi ongelmiin ja Helsingin asema saattoi myös tukkeutua isomman viivästyksen seurauksena. Keskeinen operatiivinen havainto oli, että tulo- ja lähtöraiteiden muuttaminen sotkee ja monimutkaistaa liikenteenhoitoa näin tiheällä liikenteellä niin, että hallinta muuttuu vaikeaksi ja saattaa johtaa ongelmiin.

6 Johtopäätökset ja jatkosuositukset

6.1 Tarkastelujen tulosten yhteenveto

Kaupunkiliikenteen 3 sekä 2,5 minuutin vuoroväleille Helsingin ratapihan länsipuolelle uuden puolenvaihtopaikan infraratkaisut saatiin optimoitua ja suunniteltua siten, että kulkutievarausten väleillä ei ole konflikteja, eli rataosuuksien varausajat eivät aiheuta turhia jarrutuksia aikataulun mukaisella liikenteellä. Kapasiteettiselvityksessä (Väylävirasto 2022) Helsingin ratapihan itäpuolelle oli jo määritelty alustavasti toteutuskelpoiset sijainnit, joten tämän työn tarkastelun tulokset keskittyvät erityisesti ratapihan länsipuoleen.

3 minuutin vuorovälin infraratkaisussa saatiin uusi puolenvaihtopaikka sovitettua Kapasiteettiselvityksessä kaavailtuun sijaintiin 1+064 rkm ja 1+139 rkm, eikä tätä varten ei ole välttämätöntä tehdä muutoksia muihin vaihteisiin. Simuloinnin avulla haarukoitu 2,5 minuutin vuorovälin optimaaliset vaihesijainnit eivät olleet nykyiseen infrastruktuuriin mahdollista toteuttaa sellaisenaan. Tämän vuorovälin optimoidun infraratkaisun mahdollistamiseksi suunniteltiin uudenlainen raiteistomalli, jonka alustava toteutettavuus varmistettiin ratageometriatarkastelulla ja -suunnittelulla.

Toteutuskelpoisten infraratkaisujen löydyttyä, suoritettiin perussimulointi molemmille vuoroväleille, jolla varmistettiin aikataulun mukainen liikenteellinen toimivuus koko kaupunkirataverkolla. Vuorovälien tihentäminen aiheutti pieniä aikataulun muutostarpeita erityisesti 3 minuutin vuorovälin tapauksessa verrattuna edeltävien Helsinki–Pasila-selvitysten liikennöintimalleihin, mutta aikataulurakenteesta saatiin toimiva pienillä muutoksilla Kehäradan ja Keravan suunnan ajoaikaan sekä Keravan kääntöaikaan.

Tihentynyt liikennöinti 2,5 minuutin vuorovälillä aiheutti kapasiteettiongelmia Pasilan asemalla pysähdysaikaolettamaan nähden, mutta lyhentämällä pysähdysaikaa 60 sekunnista 45 sekuntiin asia saatiin korjattua. Tämä lyhennys yhdessä ajoajan 15 sekunnin lyhennyksen kanssa vietiin pääteasemien pysähdysaikan kaluston kokonaiskiertoajan säilyttämiseksi ennallaan.

Kaupunkiliikenne 2,5 minuutin vuorovälillä käyttää kuitenkin aikataulunmukaista ratakapasiteettia asemien kohdalla hyvin paljon, vaikka mallissa on mukana nykytilaan verrattuna merkittävä kapasiteetin lisäys Digiradan muutosten myötä. Asemat ovat koko verkolla potentiaalisia pullonkaulapaikkoja, ja kapasiteetin varmistaminen on liikenteen ja ratainfran suunnittelussa ensiarvoisen tärkeää näin tiheällä vuorovälillä.

Teoreettisesti toimiville liikennerakenteille tehtiin häiriösimulointitarkastelut syöttämällä liikennerakenteeseen asiantuntija-arvioon perustuen satunnaisia viiveitä, jotka kuvastavat realistista aikataulun päivitystä odotettavissa olevaa vaihtelua. Häiriösimuloinnit suoritettiin seuraaville tapauksille:

- 3 minuutin vuorovälille optimoitu infrastruktuuri: 3 minuutin vuorovälin liikenne
- 2,5 minuutin vuorovälille optimoitu infrastruktuuri: 2,5 sekä 3 minuutin vuorovälin liikenne.

3 minuutin vuoroväli toimi molemmissa infraratkaisussa hyvin. Syötettyjen satunnaisten häiriöiden lisäksi lisäviiveet olivat suuruudeltaan yleensä vain muutamia sekunteja ja lisäviiveitä keränneiden osuudet vaihtelivat noin 1–14 % välillä. 14 % osuuttakaan ei tässä tapauksessa pidetty kriittisenä, sillä lisäviiveiden määrät olivat keksimäärin niin pieniä, että edes tiheään tapahtuvat myöhästymiset eivät ole merkityksellisiä liikenteen toimivuuden kannalta. Infraratkaisujen välillä ei ollut selkeää eroa tuloksissa, joten voidaan todeta, että myös teoreettisesti epäoptimalisempi 2,5 minuutin vuorovälille optimoitu infraratkaisu on toimintakelpoinen myös 3 minuutin vuorovälin liikenteelle.

2,5 minuutin vuorovälin havaittiin keräävän enemmän lisäviiveitä. Erityisesti Helsingin ratapihan itäpuolella oli nähtävissä linjaosuuksilla odottelua, kun ennestäänkin jo pienet varautumisvälit asemapysähdysten kohdilla aiheuttaa satunnaisviiveiden kanssa odottelua, että seuraava juna pääsee asema-alueelle. Länsipuoli puolestaan toimi hyvin samantapaisesti kuin 3 minuutin vuorovälin tapauksessakin ja lisäviiveiden osuudet ja suuruusluokat kasvoivat samassa suhteessa läpi tarkastelualueen. Länsipuolella lisäviiveitä keränneiden osuudet olivat noin 5–22 % välillä, kun taas itäpuolella lähes jokaisella tarkasteluvälillä noin 37–40 % poikkeuksena Pasila–Helsinki väli, jossa noin 8 %. Suurista lisäviiveiden keränneiden osuuksista huolimatta liikenne ei seisahtu, eikä vaadi uudelleenreititysten lisäksi merkittäviä häiriöhallinnan toimenpiteitä. Viivästymiset pysyivät keskimäärin niin alhaisina, että Helsingin tai pääteasemien kääntöajat saivat korjattua viivästysten aiheuttamat haitat.

Satunnaisten viiveiden lisäksi tarkasteltiin erillisiä häiriötilanteita, joissa paikallinen yllättävä häiriö vaikuttaa raiteistoon Helsingin ratapihalla. Häiriötilanteiksi valittiin Häiriösimulointityössä (Väylävirasto 2024) määriteltyjä häiriötilanteita vastaavat häiriöt, siten, että ne sijoittuvat Kaupunkiliikenteen käyttämiin reitteihin Helsingin ratapihan länsipuolella. Häiriötilanteina tarkasteltiin seuraavat tapaukset:

- Junan seisahtus Pasilassa 20 minuutin ajaksi
- Helsingin ratapihalla kaupunkijunien käyttämän kriittisen vaihteen vaihdevika, joka estää yliajon

Häiriötilannetarkastelut tehtiin molemmille infraratkaisulle kumpaakin infraratkaisua vastaavalle vuorovälille ja lisäksi vaihdevian osalta 3 minuutin vuorovälin liikennettä tarkasteltiin myös 2,5 minuutin infraratkaisussa.

Junan seisahtuessa tukkimaan asemalaituri Pasilassa havaittiin, että toimiva häiriönhoitomalli on ajattaa mahdollisimman pian seuraavat Pasilaan samalle laiturille pyrkivät junat Kivihaan raiteenvaihtopaikan kohdalta lähi- ja kaukoliikenteen raiteen kautta Pasilaan raiteelle 9 ja lisäksi poistaa seisahtunut juna sekä laiturin vapautumista Pasilassa ja Ilmalassa odottamaan joutuneet junat kierrosta joko varikolle tai Helsingin ratapihalla vapaille vähäisen käytön raiteille odottamaan kiertoa palaamista. Tämä johtaa siihen, että Ilmalan pysähdys jää Helsingin suuntaan matkaavilla kaupunkijunilla laiturin puutteen takia välistä, jolloin merkittävä haitta häiriötilanteesta aiheutuu matkustajille, joiden matkan toinen päätepiste on Ilmalan seisake. Kiertoreitistä aiheutuvat kulkutietarpeiden päällekkäisyydet ja tästä seuraavat viiveet ovat pieniä ja hallittavissa, eivätkä ne aiheuta suurempia ongelmia junaliikenteeseen.

Helsingin vaihdevian vakavuus kaupunkiraiteiden liikenteelle riippuu sen rajoittavuudesta. Jos vain pieni osa eri suuntaan kulkevista junista joutuu rikon vuoksi käyttämään yhteistä reittiä, viivästykset vian vuoksi ovat säännöllisiä, mutta vaikutusiltaan rajoitettuja. Mikäli rajoitteet koskevat kaikkia junia, liikenne viivästyy kauttaaltaan kaupunkiraiteistolla. Uusi puolenvaihtopaikka toimii tällaisessa häiriötilanteessa myös itsessään varareittinä, jolloin harvemmissä tapauksissa laiturin olisi pois kaupunkiliikenteen käytöstä. Simulointitulosten perusteella on suositeltavaa, että reittejä on tarjolla niin, että kaikki junat eivät vaihdevikaskenaariossa joudu jakamaan aina samaa reittiä. 2,5 minuutin liikenne ei pystynyt palautumaan ennalleen, vaan viiveet alkoivat kertaantua Helsingin asemalla. 3 minuutin vuoroväli kykeni toimimaan ilman sopeutusta, mutta Helsingin asemalta lähtevistä junista suuri osa viivästyy, joten liikenne on näillä vuoroilla jatkuvasti vähän myöhässä. 2,5 minuutin infraratkaisussa on tilaa toteuttaa myös varareittejä, jotka voivat muulloin toimia myös väliaikaisina seisontrasteina. Tiheillä vuoroväleillä ainakin yhtä varareittiä voi pitää erittäin suositeltavana, vaikka säännöllinen liikenne ei niitä tarvitse, sillä se helpottaa merkittävästi myös liikenteen muutostarpeita myös suunnitelluissa poikkeustilanteissa.

6.2 Johtopäätelmät

Tulosten perusteella 3 minuutin ja 2,5 minuutin kaupunkiliikenteen operoinnille Helsingin seudun kaupunkirataverkolla on mahdollisuudet toimia, mikäli tämän työn tarkastelun olettamien edellytykset täyttyvät. Toimiva liikenne rakenne voidaan muodostaa niin, että Helsingin asemalla kaupunkijunat käyttävät sekä itä- että länsipuolella ratapihaa kolmea laituriraidetta, kunhan niillä on käytössä tässä työssä selvitetty uusi puolenvaihtopaikka ja sitä hyödyntävä automaattinen dynaamisen reitinvalinnan toiminto liikenteen ohjauksessa. Laiturikapasiteetin riittävyyden vuoksi junat on tahdistettava niin, että lähtevä ja seuraavaksi saapuva juna käyttävät eri laituria. Tämä asettaa junien säännölliselle kääntäjälle Helsingissä vaatimuksiksi 3 minuutin vuorovälillä 4,5 minuuttia ja 2,5 minuutin vuorovälillä 3,75 minuuttia. Tulevaisuuden junaliikenteessä ja ohjausjärjestelmien suunnittelussa valmistellaan aktiivisesti myös mahdollisuuksia automaattisesti ajaville junille (ATO), joille tämä ei olisi niinkään ongelma, kuten se voi henkilöstön kierron järjestämisen kannalta olla kuljettajavetoisessa liikenteessä. Aikana, jolloin näin tiheää liikennettä

ajettaisiin, ATO-junat saattaisivat olla hyvinkin jo käytössä. Kuljettajan ajamissa junissa nämä kääntöajat todennäköisesti ovat järjestettävissä ainakin, mikäli Helsingissä voidaan aina vaihtaa kuljettajaa.

Häiriösimulointianalyysin perusteella liikennetietorakenne pystyy palautumaan myös tavanomaisista liikenteen pienehköistä aikataulupoikkeamista. Kapasiteetti on kuitenkin kovassa käytössä etenkin asemilla, jossa pienetkin viiveet aiheuttavat helposti kerrannaisvaikutuksia seuraaville junille. Häiriöistä palautumisessa erityinen huomio kiinnittyy asemien pelivara-aikoihin ja etenkin pääteasemien, koska väliasemien pysähdysajat ovat tiheässä liikenteessä hyvin rajalliset. Asemien ratakapasiteetin riittävyyden varmistaminen koskee erityisesti myös vilkkaampia väliasemia.

Työssä käytetty älykkään reitinvalinnan toimintamalli toimi odotetulla tavalla. Häiriösimuloinneissa koettiin lukuisia erilaisia satunnaistettuja lähtevän ja saapuvan junan ohitustilanteita. Reittien valintapäätökset perustuivat junien kulkuennusteeseen päätöshetkellä, ja valittu reitti pyrki minimoimaan kokonaisviiveen. Häiriösimuloinneissa tapahtui reittipäätöksissä selvää vaihtelua verrattuna teoreettisten tilanteiden tuloksiin ja aikataulunmukaisen liikenteen parhaisiin valintoihin. Tämä on osoitus siitä, että dynaamisilla reittipäätöksillä voidaan saavuttaa Helsingin ratapihan kaltaisessa sovelluksessa viiveiden vähentämistä ja parantaa tiheän junaliikenteen täsmällisyyttä. Yksi näiden tavoitteiden onnistumisen merkittävä kulmakivi on liikenteen tarkahko ennustettavuus päätöksentekohetkestä eteenpäin. Tässäkin ATO-liikenteen kulun ennustamisen tarkkuus ja luotettavuus on etu, jolla älykkään reitinvalinnan konseptista oletettavasti voidaan saada paremmat hyödyt kuin kuljettajavetoisessa liikenteessä suuremman optimaalisen reittipäätöksen onnistumistarkkuuden myötä.

Poikkeukselliset häiriötilanteet ovat aina vaativia, mutta jos liikenteen toimintamahdollisuudet eivät rajoitu liikaa, on tiheämmän liikenteen mahdollista palautua ilman laajempia sopeuttamistoimia. Tiheässä liikenteessä myös sopeuttaminen itsessään on häiriötekijä, joten häiriöistä palautumista tukevat toimintamallit ovat tärkeitä. Tässä työssä todettiin Helsingin alueella tarkasteltuna, että junien kulkureittien liiallinen rajoittaminen lamauttaa nopeasti tiheärytmisen liikenteen. Varareittien tarve on ilmeinen palautumiskyvyn turvaamiseksi ja viiveiden leviämisen rajoittamiseksi. Poikkeus- tai sopeutustoimia tarvittaessa kaupunkirataverkolla pitää pystyä tekemään nopeasti päätöksiä operatiivisista muutoksista ja mahdollisista sopeutustoimista. Helsingin asemalla liikenteen rytmistä selvästi häiriön vuoksi putoavat junat on syytä ainakin väliaikaisesti ohjata pois verkolta, jotta liikenne pääsee palautumaan.

Puolenvaihtopaikan sijainnin teoreettinen optimaalisuus ei osoittautunut erityisen tärkeäksi. 3 minuutin vuoroväliä simuloitiin sekä 2,5 minuutin että 3 minuutin vuorovälin mukaan optimoidulla sijaintiratkaisulla. Perussimuloinnissa ero oli teoreettisesti selvästi näkyvissä: optimoidulla infralla rakenne on konflikteista vapaa, kun taas tiheämmän vuorovälin infralla niitä esiintyy säännöllisesti. Häiriösimuloinnissa kuitenkin pieniä konflikteja seuraa muutenkin usein, ja tämä vaihtelu peittää alleen sen, että teoreettisesti tarkasteltuna sijainti ei ole aivan optimaalinen. Aikaikkuna optimaaliselle ohitukselle, jossa kumpikaan vaihtoehtoista reiteistä ei sisällä yhtään konfliktia on hyvin kapea. Mitä täsmällisempää liikenne on, sitä

merkityksellisempää on puolenvaihtopaikan sijainnin optimaalisuus. Toisaalta optimaalisuuteen vaikuttaa myös liikenteen muut yksityiskohdat, kuten nopeustaso tai asema-aikojen suhteelliset erot. Näitä säätämällä voi myös korjata tarvittaessa sijaintiin liittyvää epäoptimaalisuutta. Esimerkiksi ATO-liikenteessä optimaalisen paikan hyötyarvo on suurempi, kun ajoaikojen variaatiot ovat pienemmät ja ennustettavuus suurempi.

6.3 Jatkosuosituksia

Tässä työssä tutkittujen tiheiden kaupunkiraiteiden vuorovälien toteutettavuutta on selvitetty paljon Helsingin ja Pasilan asemien kapasiteetin kannalta. Jatkossa toimintaedellytyksiä on syytä tutkia entistä tarkemmin verkollisesti ja muut tärkeät asemat huomioiden, koska tässä työssä esitetyillä suunnitteluratkaisulla Helsinki ei välttämättä ole kaikkein kriittisin paikka. Operointia tukevia toimia on tutkittava laajemmin. Koska asemat on tunnistettu kaupunkiliikenteessä kriittisiksi paikoiksi niin ratakapasiteetin kuin viiveiden ja palautumisen näkökulmasta, olisi jatkossa syytä toiminnan tarkasteluissa muodostaa tarkempi näkemys asemaviiveiden muodostumisesta ja myös asema-aikojen pelivaroista aikataulusuunnitelmassa.

Digiradan myötä otetaan käyttöön ETCS-kulunvalvonta, jonka hyvällä suunnittelulla on suuret mahdollisuudet vaikuttaa radan kapasiteettiin. Kaupunkiradoille ja vilkkaille ratapihoille soveltuvia suunnitteluratkaisuja tulisi jatkossa tutkia enemmän, myös suunnitteluohjeiden laatimisen yhteydessä. ETCS-järjestelmällä on mahdollista nostaa asema- ja linjakapasiteettia tuntuvasti nykyisestä, mutta tällöin vaaditaan tarpeeseen räätälöidympiä erilaisia ratkaisuja, kuin mihin perinteinen turvalaitesuunnittelu ja myös tämänhetkiset ETCS-suunnitteluohjeet perustuvat.

Puolenvaihtopaikkojen toteutettavuudessa on selvitetty tähän mennessä sopivuutta liikennöintiin ja rata-geometriaan peilaten. Sijantien optimointi on tehty liikenteen ehdoilla ja rata on yritetty sovittaa sen mukaan. Kuitenkin toteutuksessa huomioon otettavia seikkoja ovat myös kunnossapidettävyyden ja muut rata-tekniikan lajit. Koska liikenteellisesti optimaalinen sijainti ei ole tarkastelun perusteella ehdoton välttämättömyys, tarvittaisiin seuraavan tason suunnitelmassa laajempaa kokonaisuuden arviointia.

Puolenvaihtopaikan sijainnin merkitystä erilaisilla junien täsmällisyystasoilla ja älykkään reitinvalinnan toimintaperiaatteita kannattaa myös jatkossa tutkia enemmän. Tässä työssä reitinvalinta on perustunut viiveiden minimointiin, missä käytetään ennustetta junien keskinäisestä ohituksesta puolenvaihtopaikan ympäristössä. Menetelmä on sitä luotettavampi, mitä lähempänä ennuste voidaan tehdä. Turvalaitetekniikka kuitenkin määrittää rajan sille, milloin päätös on viimeistään tehtävä, joten jonkinlaista ennustekykä menetelmässä tarvitaan. Myös muita mahdollisia toimintaperiaatteita reitinvalinnan mekanismille kannattaa tutkia.

Lähdeluettelo

Destia 2024. Kerava–Sköldvik-radon aluevaraus selvitys välillä Kerava–Nikkilä. Saatavilla:

<https://sipoo.fi/oncloudos.com/kokous/2024789-10-44515.PDF>

Väylävirasto 2022. Helsinki–Pasila kapasiteettiselvitys. Väyläviraston julkaisuja 73/2022. Saatavilla:

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-405-017-3>

Väylävirasto 2024. Helsinki–Pasila-rataosuuden häiriösimulointi. Väyläviraston julkaisuja 61/2024.

Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-405-206-1>



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-318-1
www.vayla.fi