Väyläviraston julkaisuja
73/2022

Väylävirasto
Trafikledsverket

Helsinki–Pasila kapasiteettiselvitys

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen,
Eemeli Lamsijärvi

Helsinki–Pasila kapasiteettiselvitys

Väyläviraston julkaisuja 73/2022

Väylävirasto
Helsinki 2022

Kannen kuva: Aapo Halminen, Helsinki 14.3.2022

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-017-3

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Eemeli Lamsijärvi: Helsinki–Pasila kapasiteettiselvitys. Väylävirasto Helsinki 2022. Väyläviraston julkaisuja 73/2022. 104 sivua ja 8 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-017-3.

Avainsanat: Helsinki, Pasila, Pisara-rata, lähijunaliikenne, ratahankkeet, simulointi, aikataulusuunnittelu

Tiivistelmä

Helsingin ja Pasilan väli on Suomen rataverkon vilkkain osuus, sillä suurella osalla matkustajaliikenteen junista Helsinki on joko lähtö- tai määräpaikkana. Alueella on näköpiirissä junamäärien mahdollinen kasvaminen, johon vaikuttaa mahdollisesti tulevaisuudessa toteutettavat ratahankkeet kuten Lentorata, Suomirata ja Turun Tunnin juna. Tässä työssä tarkastellaan Helsingin ja Pasilan välistä junaliikennettä tilanteessa, jossa useita suuria ratahankkeita sekä muun muassa Digirata ja kaupunkiliikenteen varikkokokonaisuus on toteutettu, jotta voidaan varmistua liikenteen toimivuudesta myös tulevaisuudessa.

Työssä tarkastellaan kahta pääskenaariota: perusskenaariota ja Pisara-skenaariota. Näistä perusskenaariossa liikenne Helsingin ja Pasilan välillä kulkee nykyisessä ratakäytävässä eikä suurempia infrastruktuuri-investointeja tehdä Pasilan eteläpuolella. Suurimpana ja merkittävimpänä muutoksena on nykyisten Helsingin ja Pasilan välisten huoltoraiteiden ottaminen linjaliikenteen käyttöön. Pisara-skenaariossa tarkastellaan tilannetta, jossa Helsingin keskustan alle on rakennettu Pisararata, jota pitkin kaupunkiratojen liikenne kulkee Helsinki–Pasila-välin sijasta. Lisäksi molemmissa skenaarioissa on esitetty pienehköjä infrastruktuurin parantamistoimenpiteitä Helsingin ja Pasilan alueelle.

Tarkasteluja on tehty kahdessa vaiheessa: aikataulusuunnitteluilla ja simuloinneilla. Aikataulusuunnittelussa on laadittu junaliikenteen aikataulut Helsingistä Turkuun, Tampereelle ja Kouvolaan saakka sekä kaupunkiradoille huomioiden rataverkon rajoitteet. Aikataulusuunnittelu on laadittu kahdelle eri liikennemäärälle: oletusliikenteelle ja maksimiliikenteelle. Erikseen on tarkasteltu kaupunkiratojen liikenteen tihentämistä sekä sen reunaehtoja ja erityisesti Helsingin ratapihan risteävistä kulkuteistä koituvia rajoitteita. Nykytilaan ei suunnitella tässä työssä aikatauluja eikä nykytilaa simuloida.

Laadittuja aikatauluja apuna käyttäen on simuloitu Helsingin ja Pasilan alue. Simuloinneissa on tarkasteltu, miten liikenne toimii kokonaisuutena ratapihalla. Työssä on tehty sekä perus- että häiriösimulointeja. Tehtyjen tarkastelujen perusteella sekä oletus- että maksimiliikenne pystytään sovittamaan Helsingin ja Pasilan alueelle. Välttämättömiä toimenpiteitä ovat kuitenkin kaupunkiliikenteen varikkokokonaisuus, Digirata sekä pienehköt infratoimenpiteet Helsingin ja Pasilan välillä. Pisararata ei sen sijaan ole välttämätön tässä työssä suunnitelluille junamäärille.

Häiriöherkkyyden ei katsottu olevan ongelma näillä liikennemäärillä. Kun työssä esitetyt pienet infrastruktuurin kehittämistoimenpiteet on toteutettu, ei Helsinki–Pasila-väli ole rataverkon toiminnallinen pullonkaula silloinkaan, kun Lentorata, Suomirata ja Turun Tunnin juna on toteutettu. Kaupunkiratojen liikenne voidaan ajaa nykyisiä kaupunkiratoja pitkin vuorovälin tiivistämisestä huolimatta, mutta tämä edellyttää mm. älykkään reitinvalintajärjestelmän ja vaihdeyhteyksien kehittämistä Helsingin ratapihalle.

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Eemeli Lamsijärvi: Kapacitet-sutredning Helsingfors–Böle. Trafikledsverket. Helsingfors 2022. Trafikledsverkets publikationer 73/2022. 104 sidor och 8 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-017-3.

Sammanfattning

Sträckan mellan Helsingfors och Böle är den livligast trafikerade delen av Finlands bannät, eftersom en stor del av passagerartrafikens tåg har Helsingfors som avgångs- eller destinationsort. I området kommer man eventuellt att se en ökning av antalet tåg, som påverkas av banprojekt som eventuellt genomförs i framtiden, såsom Flygbanan, Finlandsbanan och Entimmeståget till Åbo. I detta arbete granskas tågtrafiken mellan Helsingfors och Böle i en situation där flera stora banprojekt samt bland annat Digispåret och depåhelheten för stadstrafiken har genomförts, för att säkerställa att trafiken fungerar även i framtiden.

I arbetet granskas två huvudscenarier: basscenariot och Centrumslingan-scenariot. I basscenariot går trafiken mellan Helsingfors och Böle i den nuvarande bankorridoren och inga större infrastrukturinvesteringar görs söder om Böle. Den största och mest betydande förändringen är att de nuvarande servicespåren mellan Helsingfors och Böle tas i bruk för linjetrafik. I Centrumslingan-scenariot granskas en situation där man har byggt Centrumslingan under Helsingfors centrum, längs vilken trafiken på stadsbanorna löper i stället för sträckan Helsingfors–Böle. I båda scenarierna presenteras dessutom mindre åtgärder för att förbättra infrastrukturen i Helsingfors och Böle.

Granskningarna har gjorts i två faser: med tidtabellsplanering och simulering. I tidtabellsplaneringen har man utarbetat tidtabeller för tågtrafiken från Helsingfors till Åbo, Tammerfors och Kouvola samt för stadsbanorna med beaktande av bannätets begränsningar. Tidtabellsplaneringen har utarbetats för två olika trafikmängder: antagen trafik och maximal trafik. Man har separat granskat tätare trafik på stadsbanorna och ramvillkoren för det, och i synnerhet de begränsningar som orsakas av förbindelseleder som korsar varandra på Helsingfors bangård. I detta arbete planeras inga tidtabeller för nuläget och det simuleras inte heller.

Helsingfors och Böle har simulerats med hjälp av de utarbetade tidtabellerna. I simuleringarna har man granskat hur trafiken fungerar som en helhet på bangården. Man har gjort både bas- och störningssimuleringar. Utifrån granskningarna kan både den antagna trafiken och den maximala trafiken anpassas till Helsingfors och Böle. För det krävs dock depåhelheten för stadstrafiken, Digispåret samt mindre infrastrukturåtgärder mellan Helsingfors och Böle. Centrumslingan är däremot inte nödvändig för de tågmängder som planerats i detta arbete.

Störningskänsligheten ansågs inte vara ett problem med dessa trafikmängder. När de små utvecklingsåtgärderna för infrastrukturen som föreslås i arbetet har genomförts är sträckan Helsingfors–Böle inte en flaskhals i bannätet ens när Flygbanan, Finlandsbanan och Entimmeståget till Åbo har förverkligats. Trafiken på stadsbanorna kan köras längs de nuvarande stadsbanorna trots tätare turer, men detta förutsätter bland annat att man utvecklar ett intelligent system för val av rutt och växelförbindelser på Helsingfors bangård.

Kaisa-Liisa Tikka, Tuomas Toivio, Aapo Halminen, Eemeli Lamsijärvi: Helsinki-Pasila capacity survey. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2022. Publications of the FTIA 73/2022. 104 pages and 8 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-017-3.

Abstract

The track section between Helsinki and Pasila is the busiest part of the Finnish railway network, because a large share of passenger trains has Helsinki as their point of departure or destination. The number of trains in the area may increase if one of more or the future rail projects, including Lentorata, Suomirata and the Helsinki–Turku high-speed railway (Tunnin juna), are realised. This survey examines the rail traffic between Helsinki and Pasila in a situation where several major railway projects and such plans as the Digirail and the depot entity for city train services have been implemented to ensure continued functioning of traffic in the future.

The survey examines two main scenarios: the baseline scenario and the City Rail Loop (Pisararata) scenario. In the baseline scenario, traffic between Helsinki and Pasila runs in the current rail corridor and no larger infrastructure investments are made south of Pasila. The biggest and most significant change is putting the existing maintenance tracks between Helsinki and Pasila to line traffic service. The City Rail Loop scenario examines a situation in which the City Rail Loop has been built under the centre of Helsinki for running the city line services instead of them running between Helsinki and Pasila. In addition, smaller infrastructure improvement measures have been proposed in both scenarios for the Helsinki and Pasila regions.

Surveys were carried out in two stages: through timetable planning and simulation. In timetable planning, timetables were drawn up for train traffic from Helsinki to Turku, Tampere and all the way to Kouvola, as well as for city lines, taking account of the limitations posed by the railway network. Timetable plans were prepared for two different traffic volumes: default traffic and maximum traffic. Increased frequency of traffic on city rail lines and preconditions for that, and, in particular, the limitations posed by the crossing routes of the Helsinki railway yard were examined separately. This survey does not include planning of timetables for or simulations of the current situation scenario.

The Helsinki and Pasila areas were simulated using the timetables prepared. The simulations examined how traffic would function as a whole in the railway yard. Both basic and disruption simulations were carried out in the survey. Based on the surveys made, both the default and maximum traffic volumes could be matched to the Helsinki and Pasila areas. However, necessary measures would include implementing the depot entity for city traffic, Digirail and minor infrastructure measures between Helsinki and Pasila. The City Rail Loop, on the other hand, would not seem to be necessary for the number of trains planned in this survey.

The sensitivity to disruptions was not considered a problem with these traffic volumes. If the small infrastructure development measures presented in the survey were implemented, the Helsinki-Pasila section would not be a functional bottleneck of the railway network, not even if the Lentorata, Suomirata and the Helsinki–Turku high-speed railway were implemented. Therefore, the city rail traffic can be

driven along the existing city lines despite the increased service frequency, but this requires, for example, that a smart route selection system and turnout connections are developed for the Helsinki railway yard.

Esipuhe

Helsinki–Pasila-rataosuuden liikennemäärät tulevat oletettavasti kasvamaan tulevaisuudessa, erityisesti jos isot ratahankkeet kuten Lentorata, Suomirata ja Turun Tunnin juna toteutuvat. Myös Digirata tuo uusia mahdollisuuksia junien kulkuväleihin ja vaikuttaa myös Helsingin ja Pasilan liikenteeseen. Työssä on selvitetty, mitä infratoimenpiteitä isommat junamäärät ja tulevaisuuden teknologia vaativat.

Selvityksen on toteuttanut Proxion Plan Oy, projektipäällikkönä Kaisa-Liisa Tikka, asiantuntijoina Aapo Halminen, Tuomas Toivio sekä Eemeli Lamsijärvi. Työtä ovat Väylävirastolta ohjanneet Kaisa Kauhanen ja Antti Lautela sekä HSL:ltä Mikko Mukula ja Tuomas Piiroinen. Lisäksi selvitystyön ohjausryhmään ovat em. lisäksi kuuluneet HSL:ltä Sini Puntanen ja Johanna Wallin, Suomi-Rata Oy:stä Siru Koski, Helsingin kaupungilta Reetta Putkonen, Vantaan kaupungilta Markus Holm, Espoon kaupungilta Susanna Kaitanen ja Turun Tunnin Juna Oy:stä Annika Salokangas.

Helsingissä joulukuussa 2022

Väylävirasto
Väylien suunnittelu -osasto

HSL
Liikenne-tulosalue

Sisältö

1 SELVITYKSEN TAVOITTEET JA TYÖMENETELMÄT 10
1.1 Työn tausta ja tavoitteet 10
1.2 Käytetyt työmenetelmät 12
1.2.1 Aikataulusuunnittelu 13
1.2.2 Simulointi 14
1.3 Junaliikenteen suunnittelun lähtökohdat 19
1.4 Simulointivaiheen yleiset oletukset 26

2 NYKYTILAN KUVAUS 30

3 TARKASTELTAVAT SKENAARIOT JA JUNAMÄÄRÄT 34
3.1 Tarkastellut skenaariot 34
3.1.1 Perusskenaario 34
3.1.2 Pisara-skenaario 36
3.1.3 Kaupunkiradat perusskenaariossa ja Pisara-skenaariossa 38
3.1.4 Ilmala-skenaario 38
3.1.5 Yhteenveto skenaarioista 39
3.2 Junamäärät ja niiden määrittäminen 40
3.2.1 Oletusliikenne ja maksimiliikenne 41
3.2.2 Helsinki–Espoo–Turku-välin junamäärät 43
3.2.3 Helsinki–Riihimäki–Tampere-välin junamäärät 45
3.2.4 Helsinki–Lahti–Kouvola-välin junamäärät 47
3.2.5 Kaupunkiradan liikenteen junamäärät 48

4 SKENAARIOTARKASTELUT – PERUSSKENAARIO 50
4.1 Oletusliikenne 50
4.1.1 Aikataulusuunnittelu 50
4.1.2 Simulointi 54
4.2 Maksimiliikenne 57
4.2.1 Aikataulusuunnittelu 58
4.2.2 Simulointi 60
4.3 Kaupunkiliikenne 62
4.4 Ilmala-skenaario 64
4.5 Yhteenveto 66

5 KAUPUNKIRATOJEN LIIKENNÖINNIN TIHENTÄMINEN JA KEHITYS PERUSSKENAARIOSSA 68
5.1 Ristiinajo-ongelma kaupunkiliikenteessä 69
5.2 Ristiinajo-ongelman ratkaisumalli: raiteenvaihtopaikka ja älykäs reitinvalinta 70
5.3 Liikenteen operointimallit 72
5.3.1 Lähtöjen ja saapumisten tahdistus 72
5.3.2 Laiturien kiertojärjestys 73
5.3.3 Pasilan pysähdysaika 74
5.4 Raiteenvaihtopaikan määrittäminen 74
5.4.1 Ratapihan itäpuoli 76
5.4.2 Ratapihan länsipuoli 80
5.5 Älykkään reitinvalinnan toimintaperiaate 81
5.6 Simulointianalyysi 83
5.7 Yhteenveto 87

6 SKENAARIOTARKASTELUT – PISARA-SKENAARIO 89
6.1 Maksimiliikenne 89
6.1.1 Aikataulusuunnittelu 89
6.1.2 Simulointi 89
6.2 Kaupunkiliikenne 91
6.3 Yhteenveto 93

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET 95
7.1 Aikataulusuunnittelu 97
7.2 Kauko- ja lähiliikenteen kapasiteetti 98
7.3 Kaupunkiliikenteen kapasiteetti 99
7.4 Infrastruktuurin kehittämistarpeet 101
7.5 Jatkotoimenpiteet 102

LÄHDELUETTELO 104

LIITTEET

Liite 1 Aikataulugrafiikat
Liite 2 Helsinki–Pasila-välin infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö nykytilassa
Liite 3 Helsinki–Pasila-välin infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö perusskenaariossa
Liite 4 Helsinki–Pasila-välin infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö Pisara-skenaariossa
Liite 5 Suunnitelmakartta Pasilan pohjoispuolisista raidemuutoksista ja tarkastellusta Lentoradan liittymisratkaisusta
Liite 6 Raiteistonkäyttö oletusliikenteellä perusskenaariossa
Liite 7 Raiteistonkäyttö maksimiliikenteellä perusskenaariossa
Liite 8 Raiteistonkäyttö maksimiliikenteellä Pisara-skenaariossa

1 Selvityksen tavoitteet ja työmenetelmät

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Helsingin ja Pasilan alueen rautatiejärjestelmän toimivuus on keskeinen osa koko valtakunnan junaliikennettä, sillä lähes kaikki matkustajaliikenteen junavuorot lähtevät Helsingistä tai saapuvat Helsinkiin. Alueella on näköpiirissä junamäärien mahdollinen kasvaminen, ja tulevaisuuden ratahankkeet – Lentorata, Suomirata, Turun Tunnin juna – lisäävät toteutuessaan todennäköisesti junamääriä Helsinki–Pasila-välillä. Digiradan rakentamisesta odotetaan mahdollisuuksia myös Helsingin seudun kaupunkijunien vuorovälin tihentämiseen. Uusien kaupunkijunien varikoiden mahdollinen rakentaminen muuttaisi myös paljon Helsingin ja Pasilan välistä liikennöintiä, kun kaupunkijunien varikkosiirrot vähenisivät merkittävästi Helsingin ratapihalla.

Helsingin seudun kuntien ja valtion välisen maankäytön, asumisen ja liikenteen sopimuksessa 2020–31 todetaan kohdassa 4.5. seuraavaa:

”Helsinki–Pasila-välin ratakapasiteetin lisäämiseen valmistaudutaan: Päivitetään Helsinkiin suuntautuvan junatarjonnan merkittävän kasvattamisen mahdollistava liikennöintimalli muun muassa Pisara+ -selvityksen (2019), Lähijunaliikennealueen varikkoselvityksen (2020) ja Digirata-selvityksen (2020) sekä muiden Pasila–Helsinki-välin rautatieinfrastruktuurin kehittämistä ja kapasiteetin kasvattamista koskevien selvitysten (esimerkiksi hankeyhtiöiden suunnittelu, Lentorata, itäisen suunnan raideyhteys) tulosten pohjalta ja kuvataan liikenteen kehittämisen sekä kansantalouden kannalta tehokkain ja parhaan kokonaishyödyn tuova malli. Selvitys laaditaan valtion johdolla yhteistyössä HSL:n ja kuntien kanssa.” (Helsingin seudun kuntien ja valtion... 2020)

Edellä mainittujen selvitysten sekä muiden myöhemmin luvussa 1.3 esiteltävien selvitysten avulla tässä työssä on tarkasteltu liikennetarpeita, mahdollisia junamääriä sekä infrastruktuuriratkaisuja vastaamaan näiden liikennehahmotelmien tarpeisiin. Työn tavoitteena on pystyä vastaamaan kahteen keskeiseen kysymykseen:

1. Minkälaista ja kuinka paljon rautatieliikennettä Helsinki–Pasila-välille enimmillään ennustetaan eri tulevaisuuden skenaarioissa?
2. Millaisia infraratkaisuja näiden skenaarioiden liikenteen mahdollistaminen rataosalta vähintään vaatii?

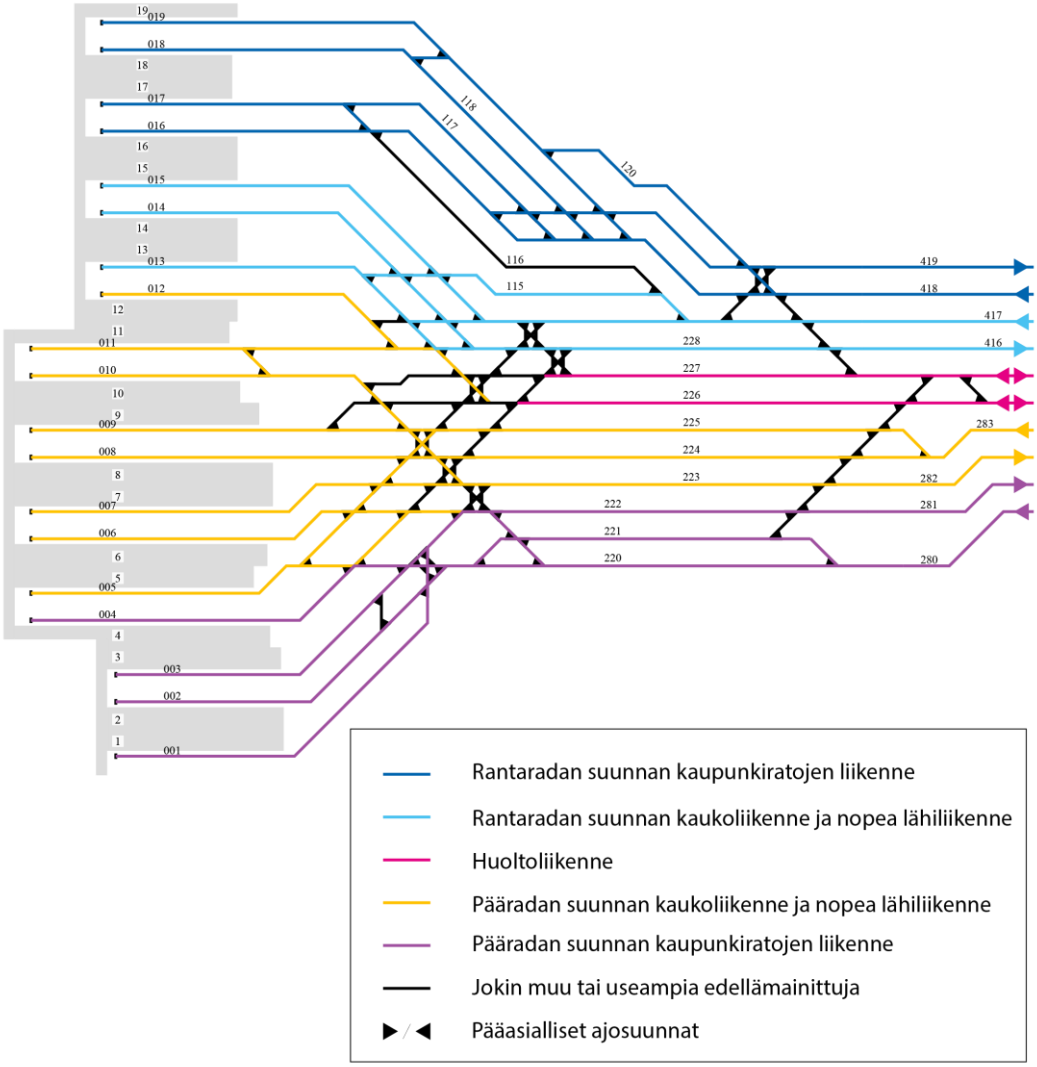
Selvityksessä huomioidaan niin kaukoliikenne, kaupunkiratojen liikenne kuin kaukoliikenteen raiteita käyttävä ns. nopea lähiliikenne. Viimeksi mainittuun kuuluvat mm. R- ja Z-junat Riihimäelle ja Lahteen.

Tarkastelussa oletetaan valmistuneeksi joukko tarkasteluvälin liikenteeseen vaikuttavia ratahankkeita: Turun Tunnin juna, Lentorata, Digirata ja uudet kaupunkiratojen liikenteen varikot sekä Pasila–Riihimäki-välin 3. vaihe. Varikkojen osalta tarkastellaan erillisenä tarkasteluna myös tilanne, jossa niitä ei ole toteutettu. Lähtöoletuksena on myös, että Tampereelle asti on koko välillä yhteensä neljä raidetta.

Työssä laaditaan kattavasti Helsingin asemaa käyttävän junaliikenteen mahdolliset aikataulumallit tulevaisuuden skenaarioiden pohjalta koottuihin junamääriin perustuen. Aikataulusuunnittelussa huomioidaan myös olennaisia valtakunnallisia kytköksiä ja tavaraliikenteen kapasiteettitarpeita.

Aikataulujen mukainen junaliikenne eri suunnista Helsinkiin nivoutuu Pasilan asemalla samaan ratakäytävään. Pasilan ja Helsingin asemien välinen liikenne on monimutkainen kokonaisuus, johon tässä työssä yhdistyy viiden eri linjasuunnan liikenne sekä huoltoajot Helsingin aseman ja Ilmalan varikon välillä. Vaikka Helsinki–Pasila-välillä on kymmenen raidetta ja eri linjasuuntien liikenne käyttää normaalitilanteessa omaa raideparia, menevät liikennesuuntien käyttämät reitit osin päällekkäin viimeistään Helsingin aseman läheisyydessä.

Raiteiston käyttö Helsingin asemalla (kuva 1) on nykyään varsin vaihtelevaa, koska eri linjasuunnilla ja myös yksittäisillä linjoilla on aikataulujen ohjaamana hyvinkin erilaisia kääntöaikoja Helsingin asemalla. Tämän lisäksi tarvittava huoltoliikenne ohjataan koko ratapihan mitalta ennen Pasilaa keskimmäisille raiteille, joiden kautta kulku Ilmalaan tapahtuu.



Kuva 1. Helsingin aseman raiteiston käyttö nykytilanteessa.

Työn keskiössä on Helsinki–Pasila-välin kapasiteetin riittävyys tulevaisuudessa, eivätkä aikataulusuunnittelun keinot yksin riitä luotettavaan ratakapasiteettianalyysiin tiheärytmisessä junaliikenteessä, jossa käytettävät reitit risteävät keskenään paljon. Lisäksi Digiradan myötä kulunvalvonnan uudistamisella on suuri merkitys mahdolliseen junaliikenteen tiheyteen raidetta kohti, jolloin nykyisin käytettyjä Helsingin aseman aikataulusuunnittelua ohjaavia periaatteita ei voida pitää tämän työn tarkastelujen asetelmassa ajantasaisina. Näistä syistä tulevaisuuden visioiden mukaan suunniteltuja liikenne- ja aikataulurakenteita tutkitaan Helsinki–Pasila-välillä myös simulointimenetelmin, jolloin voidaan varmistua suunniteltavien liikennerakenteiden teoreettisesta toimivuudesta Helsingin ratapihalla ja mitata myös aikataulujen häiriönsietokykyä.

1.2 Käytetyt työmenetelmät

Seuraavaksi kuvataan työn liikenteellisten tarkasteluiden pääsuunnitteluvaiheet ja yleisellä tasolla niissä käytettävät menetelmät ja työkalut. Liikennemäärien osalta työssä tukeudutaan aiempien selvitysten mukaisiin arvioihin ja näistä saatuja näkemyksiä täydennetään sidosryhmien kanssa käytävällä vuoropuhelulla. Keskeistä

on tuottaa liikennetarjonnan osalta synteesi aiemmista erillisten ratahankkeiden selvityksistä. Vuoropuhelua käytiin myös useiden työn yksityiskohtiin liittyvien oletusten määrittelyjen yhteydessä. Oletuksia on kiinnitettävä, koska työssä luodataan tulevaisuuteen ja tavoitellaan myös näkymiä järjestelmien, toimintatapojen ja tekniikan kehitykseen.

1.2.1 Aikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelussa on suunniteltu mahdollisimman säännöllinen, tunnista toiseen samanlaisena toistuva liikennerakenne. Muutamia poikkeuksia on kuitenkin jouduttu tekemään harvemmin ajettavilla junavuoroilla ratakapasiteetin rajallisuuden vuoksi. Ruuhka-aikojen ulkopuolella liikennetarjontaa on harvennettu ruuhka-aikojen tarjontaan nähden. Myöhäisillan liikennettä ei ole suunniteltu tarkasti, koska työn fokus on ruuhkatuntien liikenteen tarkasteluissa; simulaatiotarkasteluissa arvioidaan ruuhka-aikojen mukaista päivän tiheintä liikennettä.

Kaukojunien aikatauluissa on pyritty palvelutason näkökulmasta järkevään vuorovälitarjontaan. Esim. maksimiliikenteen saman yhteysvälin saman pysähtymiskäyttäytymisen junat on pyritty suunnittelemaan niin, että Helsingin, Turun, Tampereen tai Kouvolan lähtöajat ovat noin puolen tunnin välein. Tampereella on pyritty sijoittamaan suuri osa liikenteestä tasatunnin vaihtosolmuun.

Junavuorojen kääntöajat Helsingissä on pyritty määrittelemään niin, että normaalitilanteessa kaukojunilla on vähintään 15 minuuttia kääntöaikaa, nopeilla lähijunilla 10 min ja kaupunkiratojen liikenteellä vuorovälistä riippuen 3,75–7,5 min. Kalustokierrot on suunniteltu pääosin siten, että kalusto on aina samalla reitillä, mutta maksimiliikenteessä Tampereen harvaan pysähtyvän ja tiheään pysähtyvän kaukojunan kalustokierto on yhdistetty, jotta ratapihan raiteistonkäyttö on sujuvaa. Kaupunkiratojen liikenteessä kaikkien suuntien kalustokierto on yhdistetty.

Varikkosiirrot Helsingistä Ilmalaan ja Ilmalasta Helsinkiin on aikataulutettu ja suunniteltu. Kaluston on oletettu voivan seistä ja yöpyä Ilmalan ja uusien varikkojen lisäksi Turussa, Tampereella, Riihimäellä, Lahdessa ja Kouvolassa.

Raiteistonkäyttö Helsingissä

Helsingin laituriraidekapasiteetin riittävyyden varmistamiseksi ja simuloinnin mahdollistamiseksi junille on määritetty Helsingin ratapihalla käytetyt laituriraiteet. Tarkastelussa on pyritty tehokkaaseen laiturikapasiteetin käyttöön ja toiminnallisuudeltaan hyvään raiteistonkäyttöön. Kaupunkiratojen liikenteellä raiteistonkäytössä on toistuva rakenne, mutta muuten raiteistonkäyttö on suunniteltu tapauskohtaisesti. Raiteistonkäytön suunnittelussa on huomioitu myös kalustosiirrot Helsinki aseman ja Ilmalan välillä.

Raiteistonkäytön suunnittelua on tehty iteratiivisesti muun työn ohessa. Raiteistonkäytöstä on laadittu ensimmäinen suunnitelma alustavan aikataulurakenteen perusteella, jonka jälkeen aikatauluja on vielä tarkennettu toimivan raiteistonkäytön aikaansaamiseksi. Myöhemmin raiteistonkäyttöä on vielä tarkennettu simulointivaiheessa liikenteen sujuvoittamiseksi. Lopullinen raiteistonkäyttösuunnitelma on esitetty kaaviomuotoisena.

1.2.2 Simulointi

Simulointimenetelmin pureudutaan yksityiskohtaisemmin rata- ja laiturikapasiteetin riittävyyteen Helsinki–Pasila-välillä. Työssä käytetään ViaCon Consulting and Development Gmbh:n kehittämää rautatieliikenteen LUKS-mikrosimulointiohjelmistoa, jolla pystytään mallintamaan junien kulku rataverkolla erittäin tarkasti. Ohjelmistoa käytetään sekä itse simulointiin että tulosten ja kapasiteetin analysointiin. Sen avulla tutkitaan myös erikseen muodostettujen operatiivisten häiriötilanteiden vaikutuksia. Lisäksi ohjelmassa voidaan määritellä liikenteenohjauksen käytössä olevia operatiivisia toimintamahdollisuuksia, ja mallintaa niiden käyttämistä häiriötilanteissa; esimerkiksi on mahdollista simuloinnin aikana siirtää juna toiselle laiturille, jos pääsy alkuperäiselle on estynyt ja siirrolla lasketaan saavutettavan etua.

Kaikki työssä simuloitavat skenaariot sisältävät ratainfrastruktuurin muutoksia nykytilanteeseen verrattuna. Jokaista tutkittavaa skenaariota varten on laadittu oma ratainfrastruktuurimallinsa simulointiohjelmistossa. Helsingin ratapihan perusaineisto on saatu koneellisesti Fintrafficin ylläpitämästä Digitraffic-palvelun rajapinnasta, ja mallia on tarkennettu raiteistoon liittyvän turvalaitedokumentaation avulla, sekä muunneltu tässä työssä määriteltyjen tarkasteluiden tarpeiden mukaisesti. Lisäksi turvalaitteiden Digirataa noudattava ETCS-järjestelmän mallinnus on tehty tämän työn aikana laadittujen suunnitteluperusteiden mukaan.

Niille radan kohdille, joissa ratageometria ja/tai vaihteisto poikkeaa nykyisestä tilanteesta Helsingin ja Pasilan välillä, on tehty alustava ratatekninen tarkastelu toteutuskelpoisuuden varmistamiseksi ja kartoitettu mahdolliset huomionarvoiset tekijät muutosten suhteen. Keskeinen oletus infrastruktuurin suhteen on uuden ETCS-kulunvalvonnan toteutus ja käyttöönotto. Junakulunvalvonnan mallinnusta on jokaisessa skenaariossa ohjanneet samat suunnitteluperusteet, joten ETCS:n implementointi rataverkolle ei ole työssä tarkasteltavien skenaarioiden tuloksien keskinäisessä vertailussa varsinainen muuttuja.

Jokaiselle infrastruktuurimallille on toimintatarpeiden mukaisesti määritelty junaliikenteen käyttämät reitit. Kaikkia mahdollisia reittejä ei ole sallittu, vain operatiivisesti mielekkäiksi arvioidut vaihtoehdot. Tällä on merkitystä häiriötilanteiden simuloinnissa, jossa simulaattorilla on mahdollisuus reitittää junia poikkeavissa tilanteissa uudelleen. Reittien välinen mielekkyys ja käytettävyys todellisuudessa on arvioitu ennalta, ja arvioinnin perusteella eri reittivaihtoehtoja on painotettu simulointia varten.

Junien liikkeen mallintamisessa huomioidaan pituus, massa, veto- ja vastusvoimat sekä ETCS-kulunvalvonnan mukaiset jarrutuskäyrät. Eri linjoille ja reiteille on määritelty edustavat, tulevaisuuden tilannetta peilaavat kokoonpanot, joiden pohjalta kuhunkin junaan liittyvät edellä mainitut yksityiskohdat on laskettu. Tarkemmin käytettäviä junakokoonpanoja on avattu luvussa 1.3.

Simulointiosuuden keskeinen pohjatieto on aikataulusuunnittelun tuottamat aikataulut Helsingin ja Pasilan välisellä osuudella, sekä Helsingin ratapihan laituriraiteiden käyttösuunnitelma. Työssä käydään myös iteratiivista prosessia aikataulusuunnittelun ja simuloinnin välillä. Simuloimalla voidaan varmistaa aikataulusuunnittelun toimivuus ja tehdä muutosehdotuksia suunnitelmaan. Simuloinnissa tuotetaan samalla yksityiskohtainen operatiivisen tason kuvaus aikataulunmukaisesta liikenteestä.

Perussimulointi

Perussimuloinnissa tuotetaan realistinen aikataulunmukaisen liikenteen toiminnan yksityiskohtainen kuvaus. Ensimmäistä iteraatiota varten linjaliikenteen käyttämät aikataulut ja laituriraiteet Helsingin ja Pasilan asemien osalta sekä normaalitilanteessa ajettava raide Helsingin ja Pasilan välillä määritellään jokaiselle simuloitavalle junalle.

Infrastruktuurimallin ja junatietojen perusteella simulaattori laskee ratainfrastruktuuriin suhteutettuna jokaisen junan yksityiskohtaisen aikataulun ja reitin mallissa. Tämän laskennan pohjalta nähdään mahdolliset ongelmat, erityisesti päällekkäiset raideosuuksien varaukset eli niin sanotut konfliktipaikat, sekä analysoidaan junien väliin jääviä pelivara-aikoja. Konfliktittomuutta voidaan yleisesti pitää aikataulusuunnittelun keskeisenä tavoitteena, sillä konflikti aikataulussa johtaa lähtökohtaisesti toisen junan viivästymiseen aiotusta aikataulusta. Yleensä suunnittelua ohjaa myös riittävien pelivarojen määrittely, mikä ylläpitää aikataulun vakautta. Ensimmäisten havaintojen perusteella muokataan tarkkaa aikataulua siten, että konfliktit vältetään ja saadaan tarkoituksenmukaisia pelivaroja junien välille. Mahdollisia isompia tarvittavia muutoksia täytyy yhteensovittaa laajemman skaalan aikataulusuunnittelun kanssa. Tavoitteena on saavuttaa teoriassa toimiva, mutta myös joustava liikennöintimalli Helsinki–Pasila-välille säilyttäen samalla aikataulurakenteen tarkoituksenmukaisuus.

Varikkosiirrot Helsingin ratapihalla ovat erityinen perussimuloinnin kohde työssä, koska näitä siirtoja ei ole ennalta aikataulusuunniteltu. Perussimuloinnin keinoin varikkosiirroille on suoraan etsitty sopivia kulkurakoja ja reittejä huomioiden kaluston varaama tila ja aika sekä asemalla että siirron aikana. Varikkoliikenteen osalta Ilmalan varikon sisäisen kapasiteetin ei ole oletettu olevan rajoittava tekijä. Simuloinnin näkökulmasta varikkosiirtoja käsitellään samanarvoisesti kuin junaliikennettä, ja niille pätevät samat rajoittavat ehdot kuin linjaliikenteellekin.

Häiriösimulointi

Häiriösimuloinnilla tutkitaan tarkemmin aikataulusuunnitteluvaiheessa laadittujen ja perussimuloinnein varmistettujen aikataulujen vakautta Helsinki–Pasila-välillä huomioiden koko tarkastelualueen operatiivinen toiminta. Tämä simulointi ottaa huomioon kaikkien junien vuorovaikutuksen ratainfrastruktuurin ja liikenteenohjauksen välillä samanaikaisesti. Häiriösimuloinneissa aikataulujen pitävyyttä varioidaan satunnaisvaihtelulla, jonka seurauksena junien suunnitelman mukaisten raideosuuksien varausten välille voi syntyä konflikteja. Mahdolliset konfliktit simulaattori ratkaisee suoraan kulunvalvonnan asettamien opasteiden avulla tai erillisin liikenteenohjauksellisin keinoin (esimerkiksi asemalaiturivaihdokset). Simulaattorin konfliktinratkaisun keinovalikoima ja ratkaisun päätöksenteon mekanismin yksityiskohdat ovat säädettävissä. Eri alueilla syntyviä konflikteja voidaan ratkaista hiukan erilaisin keinoin, jolloin voidaan huomioida simulaatiomallin varsin rajatun maantieteellisen alueen aiheuttamia reunaehtoja.

Yksittäisen häiriösimulointikierroksen tuloksena saadaan simuloinnin toteutunut aikataulu, jonka avulla voidaan analysoida liikenteen toteuman tunnuslukuja ja muutoksia, esimerkiksi junien myöhästymismääriä ja -osuuksia. Yhden skenaarion ja liikennerakenteen häiriösimuloinnissa kokonaisuutena tehdään 50–100 simulointikierrosta. Tilastomenetelmin lopullisesta analyysistä karsitaan pois selkeästi poikkeukselliset yksittäiset tulokset, jolloin vältetään vääristämästä analyysiä tilanteilla,

joissa simulaattori ei ole välttämättä pystynyt hallitsemaan ajoa tarkoituksenmukaisesti tai satunnaisesti tuotetut häiriöt ovat olleet erittäin poikkeuksellisia. Kierrosten tuloksien synteesinä saadaan keskiarvoja, jolloin voidaan puhua myöhästymisten todennäköisyydestä ja odotusarvoista (odotettavissa olevista myöhästymismääristä). Nämä tulokset mittaavat liikennerakenteen häiriönsietokykyä suhteessa mallinnettuihin häiriöihin. Tarvittaessa häiriösimulointien tulosten pohjalta on ollut valmius tehdä myös muutoksia suunniteltuihin aikatauluihin, mikäli erityisiä korkean riskin aikataulurakenteita on voitu niiden kautta tunnistaa.

Simulointivaiheen analysoitavat suureet ja indikaattorit

Tässä osiossa kuvataan keskeiset simulointitarkasteluiden käsitteet ja indikaattorit, joiden pohjalta aikatauluja ja raiteistonkäytön suunnitelmia on työssä tarkennettu ja muokattu. Samoin esitellään ja perustellaan mittarit, joiden kautta häiriösimulointituloksia esitetään ja arvioidaan.

Kaikissa skenaarioissa aikataulurakenteen arvioinnin perusta on perussimulointi, jossa aikataulukokonaisuuden toimivuutta on mitattu hyvin yksityiskohtaisesti. Perussimuloinnissa suuri osa työskentelystä perustuu *raideosuuksien* käytön yksityiskohtaiseen analyysiin, jossa keskeisinä käsitteinä ovat raideosuuksien *varausaika* ja *varautumisväli*. Seuraavaksi määritellään nämä työssä käytetyt termit.

1. Raideosuus. Raideosuudella tarkoitetaan tässä työssä samaa kuin turvalaitejärjestelmissä. Raideosuus on sellainen yksittäinen osa raidetta tai vaihdetta, jonka vapaana tai varattuna oloa valvotaan turvalaittein ja joka voi olla kerrallaan enintään yhden junan varaama. Junan reitti radalla jakaantuu peräkkäisiin raideosuuksiin, jotka varataan junalle liikenteenohjauksen toimesta etukäteen sen kulkiessa reitillään ja jotka vapautuvat muulle liikenteelle sitä mukaa kun juna siirtyy raideosuudelta toiselle.

   Simulointitarkasteluissa on mallinnettu raideosuuksia tarkkuudella, jolla voidaan tarkasti mitata, millä aikavälillä kukin osa radasta on tietyn junan varaama.

2. Varausaika. Raideosuuden varausaika on se aika, jonka juna varaa kyseisen raideosuuden. Tämän pituus riippuu raideosuuden pituudesta, käytetystä nopeudesta ja kulunvalvontajärjestelmästä. Varausaika onkin ollut keskeinen käsite turvalaitejärjestelmän mallinnuksen suunnittelussa, joka tässä työssä pohjautuu Digirataan (tarkemmin luvussa 1.3).

   Yksittäisen raideosuuden varausaika vaikuttaa kahden peräkkäisen junan väliseen suhteelliseen sijaintiin. Samalla lailla liikennöivien junien tapauksessa se määrittää paikallisesti pienimmän ajallisen etäisyyden, jolla junat voivat kulkea jouhevasti. Siten isossa kuvassa tietyn linjan reitillä oleva suurin varausaika määrittää linjan pienimmän teoreettisen junavälin. Tässä työssä samankaltaisena toistuvaa liikennettä on paljon, joten varausaikoja analysoimalla on voitu hakea toimivimpia raideosuuksien sijainteja ja pituuksia.

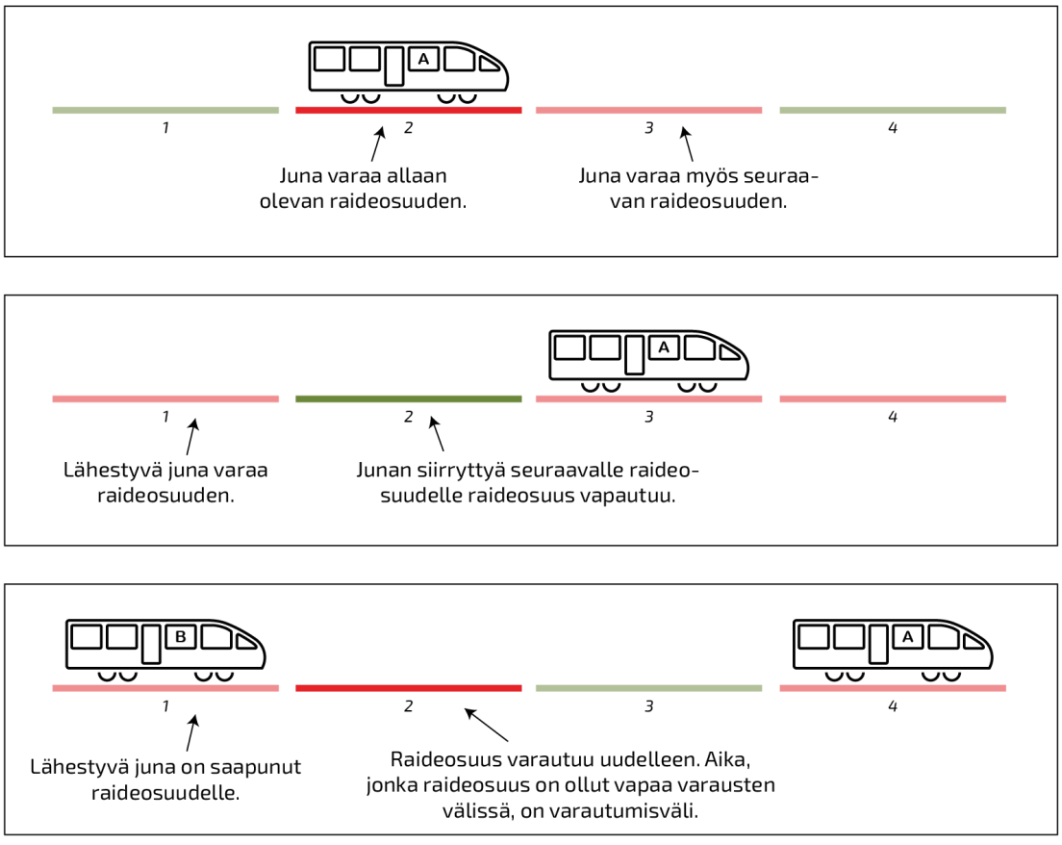
3. Varautumisväli. Raideosuuden varautumisväli on sen kahden peräkkäisen varauksen välinen aika. Yksinkertaisesti ajateltuna raideosuuden päivän voi jakaa vuorotteluun varausaikojen ja varautumisvälien kesken. Jokainen varausaika linkittyy tiettyyn junaan, ja jokainen varautumisväli junapariin.

Isommassa kuvassa voidaan puhua kahden junan varautumisvälistä, joka tarkoittaa pienintä näihin juniin liittyvää raideosuuden varautumisväliä. Tällöin siis katsotaan kaikkia kahteen junaan liittyviä varautumisvälejä tietyllä alueella. Varautumisvälejä analysoitaessa ollaan kiinnostuneita junan varautumisvälistä muiden junien kanssa.

Kuvan 2 kuvasarja havainnollistaa varausajan ja varautumisvälin käsitettä. Kuvasarjassa on kuvattu junien A ja B kulkua neljän perättäisen raideosuuden matkalta. Ylimmässä kuvassa juna A sijaistee raideosuudella 2, jonka varausaika on käynnissä. Osuutta 2 kulkiessaan juna A varaa jossain kohtaa raideosuuden 3, jolloin alkaa osuuden 3 varausaika. Käytännössä varausaika halutaan yleensä aloittaa vähintään niin aikaisin, että juna saa luvan ajaa raideosuudelle ilman tarvetta aloittaa jarrutustoimenpiteitä.

Keskimmäisessä kuvassa juna A on siirtynyt kokonaan raideosuudelle 3. Tällöin raideosuuden 2 varausaika päättyy ja osuus 2 on vapaana, jolloin alkaa varausvälin laskenta. Samalla nähdään, että aluetta lähestyy toinen juna, joka on varannut raideosuuden 1.

Alimmassa kuvassa juna B on saapunut osuudelle 1, ja saavuttanut kohdan, jossa liikenteenohjausjärjestelmä on varannut raideosuuden 2 junalle B jolloin varautumisväli päättyy. Aika, jonka raideosuus 2 ehti olla vapaana, on juniin A ja B liittyvä raideosuuden 2 varautumisväli. Yleisemmin junien A ja B varautumisväli on kuvasarjan alueella pienin raideosuuksien 1–4 varautumisväleistä, jotka liittyvät junapariin A ja B.



Kuva 2. Varautumisvälin ja varausajan määrityksestä raideosuudelle. Kuvasarjassa on havainnollistettu junaan A liittyvä raideosuuden 3 varausaika, sekä junapariin A ja B liittyvä raideosuuden 2 varautumisväli.

Varautumisväli on keskeisin työn aikataulurakenteen simuloinnein tehtävässä analyysissä ja hiomisessa käytetty käsite. Sujuvan aikataulun rakentamisessa junien esteetön kulku on peruslähtökohta, jolloin liikenne on tehokasta ja taloudellista ilman tarpeettomia jarrutuksia. Varautumisvälin näkökulmasta esteettömyys tarkoittaa positiivista varautumisväliä. Kun aikataulusuunnittelun tuottamia junavuoroja simuloidaan, voidaan heti ensimmäisenä tunnistaa negatiiviset varautumisvälit, mikä tarkoittaa, että joidenkin junien kulkureitillä on konflikti eli junien yhtä aikaa varaama raideosuus, eikä aikataulu voi suoraan sellaisenaan annetuilla reitillä sujuvasti toteutua. Simulaattorin avulla negatiiviset varautumisvälit tunnistetaan ja niiden poistamiseksi etsitään ratkaisua, tyypillisesti aikataulun tai reitin muutosta. Tämä on erittäin hyvä menetelmä tunnistaa varsinkin Helsingin vaihdekujien reittien yhtäaikaisuuksien mahdollisuudet ja esteet.

Varautumisvälien ollessa kaikkialla vähintään nolla liikenne on esteetöntä, mutta aikataulu on erittäin häiriöaltis. Kun varautumisväli kahden junan välillä on jollekin raideosuudelle nolla, jälkimmäinen juna saa ajoluvan raideosuudelle vasta sillä hetkellä, kun junakulunvalvonta kehottaa viimeistään aloittamaan jarrutuksen. Kuljettajavetoisessa liikenteessä toisaalta ennakoidaan jarrutuksen aloittamista vaihtelevasti kuljettajasta riippuen, ja toisaalta junilla on aina pieniä eroja sekunnintarkasta aikataulusta suuntaan tai toiseen. Tällöin lähellä nollaa oleva varautumisväli aikataulussa aiheuttaa epätasaisuutta ja ylimääräisiä ohjausliikkeitä junille. On siis järkevää aikataulun stabiiliuden ja taloudellisen ajon kannalta pyrkiä yleisesti selkeästi positiiviseen varautumisväliin jokaisen raideosuuden kohdalla.

Tavoiteltava varautumisväli riippuu liikenteen tiheydestä ja pysähtymisajoista. Toisaalta varautumisvälille asetettu tavoite voi määritellä vaikkapa pysähdysaikatavoitteen. Koska työn liikennemäärät ovat ennalta annetut ja liikennerakenne on suunniteltava pitkälti kytkeytyen linjakapasiteettiin ja järkeviin yhteyksiin Helsingin ulkopuolella, on varautumisvälille simuloinnissa tavoiteltava arvo valikoitunut skenaarioittain iterointivaiheessa. Simulointimallin alueella lyhimmät samansuuntaisen liikenteen varautumisvälit ovat Pasilan aseman kohdalla, joten aikataulusuunnittelussa lyhimmän tarpeellisen junavälin myötä tuleva Pasilan aseman kohdan varautumisväli on valikoitunut likimain tavoiteltavaksi arvoksi. Arvoa on pidetty tavoitteena jokaisessa varautumisvälissä mukaan lukien vaihdekujat, jolloin myös Helsingin aseman raiteistonkäyttöä on muutettu tarvittaessa varautumisvälien kasvattamiseksi.

Häiriösimulointien tuloksien raportoitavat indikaattorit perustuvat tässä työssä Pasilan aseman lähtöviiveisiin. Tämä tarkoittaa, että jokaiselta Helsingistä lähtevältä junalta mitataan häiriösimuloinneissa, kuinka paljon ne ovat myöhässä aikataulun mukaisesta lähtöajastaan. Myöhästymistoleranssin ylittävät viivästymiset tilastoidaan myöhästyneeksi. Skenaarion häiriösimuloinnin tuloksena tulkitaan myöhästymistodennäköisyys, joka annetaan myöhästyvien junien osuutena kaikkien simulointikierrosten kaikista junista. Lisäksi annetaan keskimääräinen myöhästymisen odotusarvo tai myöhästymismäärä, joka on simuloinnin kaikkien myöhästyneeksi tilastoitujen junien viivästyksen keskiarvo.

Koska liikennemäärät ja laatu ovat erilaisia riippuen lähtösuunnasta, edellä mainitut suureet ilmoitetaan suunnittain. Rantaradan, Pääradan, Lentoradan ja kaupunkiratojen itä- ja länsipuolen liikenteen tulokset lasketaan erikseen. Näin saadaan tarkasteltua mahdollisia eroja eri linjojen suuntaan.

Myöhästymistoleranssina käytetään tässä työssä 15 sekuntia, eli 15 sekuntia tai enemmän myöhässä olevat tilastoidaan laskennassa myöhästyneiksi. Raja on huomattavasti alhaisempi kuin todellisen liikenteen tilastoinnissa käytettävä toleranssi. Tässä työssä häiriötä aiheuttavia tekijöitä on nykytilannetta vähemmän, esimerkiksi kalustovikoja, infrastruktuurivikoja, tai matkustajista johtuvia lähtöviiveitä ei tutkita. Tällöin myöhästymisiä ei voi kovin hyvin verrata tilastoihin ja niitä aiheuttavia tekijöitä on joka tapauksessa vähemmän. Simulaattorin eksaktiuden vuoksi alhaisempikin myöhästymistoleranssi antaa hyvän kuvan vaikutuksesta junaliikenteen täsmällisyyteen, koska simulaattori pyrkii käyttämään hyödykseen aikatauluun upotettuja pelivaroja viivästystilanteissa. Tuloksissa jaotellaan myös yli minuutin ja yli kolmen minuutin viiveiden myöhästymisosuudet.

Pasilan lähtöviive on ymmärrettävä mittari ja kertoo, kuinka hyvin Helsingin ratapihalla pystytään palautumaan liikenteen tavanomaisten pienten viivästymisten aiheuttamista aikataulupoikkeamista. Koska junille lähtökohtaisesti mallinnetaan alkuviiveitä niiden saapuessa simulointimallin alueelle, ei Helsinkiin saapuvien junien viiveitä pystytä analysoimaan kovin mielekkäästi, koska suuri osa näistä viiveistä on seurausta annetusta alkuviiveestä. Simulointikokeissa tehtyjen havaintojen perusteella saapuvien junien mahdollisesti kokema lisäviive Helsingin ratapihalla on keskimäärin paljon pienempi verrattuna niille alussa arvottuun viiveeseen. Ratapihan toimivuuden kannalta keskeistä on, kuinka hyvin linjalle lähtevät junat pääsevät poistumaan ratapihalta aikataulussaan, ja Pasilan lähtöviive on tälle oivallinen ja selkein mahdollinen mittari.

1.3 Junaliikenteen suunnittelun lähtökohdat

Koska tarkastelualueen rautatiejärjestelmän toimiminen tulee varmistaa niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä ja tulevaisuudessa mahdollisesti toteutettavat ratahankkeet tulevat todennäköisesti lisäämään junamääriä Helsingin ja Pasilan välillä, on tässä työssä oletettu joukko ratahankkeita toteutetuksi. Tässä luvussa on kuvattu nämä ratahankkeet tälle selvitykselle tarpeellisella tasolla. Lisäksi Helsingin ja Pasilan alueelle on ehdotettu erillisiä infrastruktuuritoimenpiteitä, jotka on kuvattu tarkemmin myöhemmin kunkin skenaarion yhteydessä.

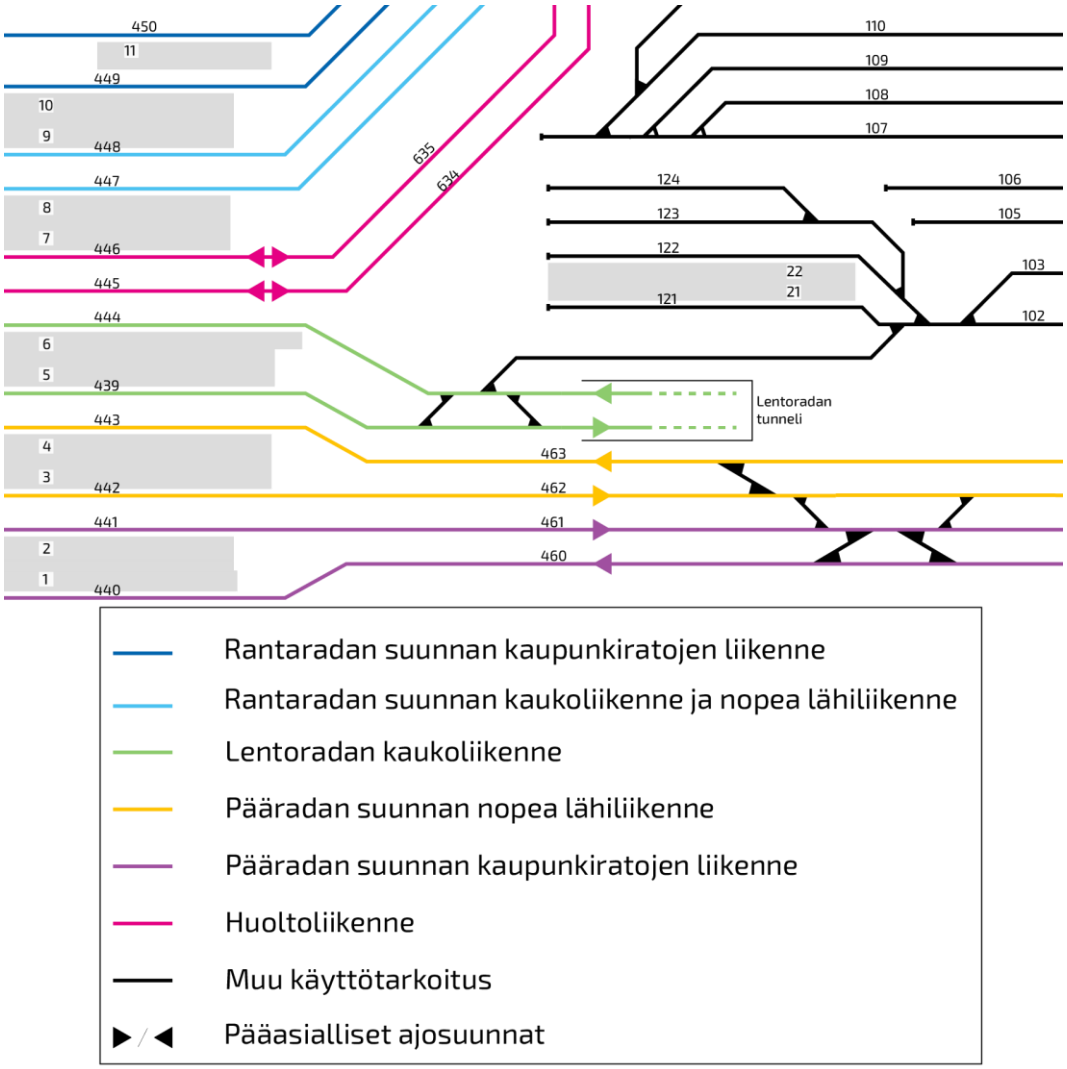
Oletettu infrastruktuurin kehitys Helsingin ratapihan ulkopuolella

Turun tunnin junan on oletettu toteutuneen suunnitellun mukaisesti, jolloin uusi ESA-rata erkanee yleissuunnitelman mukaisesti rantaradasta Espoon ja Kauklahden välillä ja liittyy nykyiseen Rantarataan Salon itäpuolella. Lisäksi on oletettu Turun tunnin junaan kuuluva Salo–Kupittaa-kaksoisraide toteutetuksi, kuten myös Kupittaan ja Turun välinen kaksoisraide, jonka rakennustyöt ovat jo käynnissä.

Rantaradalla on oletettu niin ikään valmistuneeksi Espoon kaupunkirata, jonka myötä Rantarata on neliraiteinen koko Pasilan ja Kauklahden välillä. Nykyisin neliraiteinen osuus päättyy Leppävaaraan. Hankkeesta on toteuttamispäätös.

Pääradan puolella edellytyksenä nyt esitetyille liikennemäärille on lisäraiteet Pasilan ja Keravan välille. Tässä työssä on oletettu toteutetuksi Lentorata. Lentorata olisi kaukoliikenteen raideyhteys, joka erkanee nykyisestä pääradasta aivan Pasilan pohjoispuolella ja kulkee tunnelissa Helsinki–Vantaan lentoaseman kautta Kytömaalle Keravan pohjoispuolelle, jossa se liittyy nykyiseen rataverkkoon. Tässä

työssä on tarkasteltu vaihtoehtoa, jossa Lentoradan tunneli nousee pintaan Pisara+ -selvityksen (Väylävirasto 2019) mukaisesti nykyisen radan länsipuolella kuvan 3 mukaisesti[1]. Ratkaisu poikkeaa esisuunnitelman ratkaisusta, jossa tunneli nousee pintaan nykyistä Päärataa kulkevalle nopealle lähiliikenteelle varattujen raiteiden keskelle. Esisuunnitelman ratkaisun on todettu sekä Pisara+ -selvityksessä että tämän työn alkuvaiheessa olevan liikenteellisesti hyvin ongelmallinen, minkä vuoksi se on jätetty tarkasteluiden ulkopuolelle. Tässä työssä esitetyn ja tarkastellun ratkaisun ratatekninen toteutettavuus on varmistettu. Oletuksena on, että kaikki kaukoliikenne Tampereen ja Lahden suuntiin kulkee Lentoradan kautta ja kaikki lähiliikenne nykyistä Päärataa pitkin. Ainoa poikkeus ovat yöjunat, joiden on jatkossakin kuljettava Päärataa pitkin, sillä Lentoradalta ei tulisi olemaan yhteyttä Pasilan autojuna-asemalle.



Kuva 3. Tässä työssä Pasilan pohjoispuolelle tarkasteltu infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö.

Lentoradalle vaihtoehtoisena ratkaisuna on aiemmin esitetty ratkaisua, jossa nykyiselle Pääradalle rakennettaisiin kaksi lisäraidetta. Tätä vaihtoehtoa tässä työssä

[1] Ratkaisu, jossa Lentoradan tunneli nousisi pintaan lähiliikenteen raiteiden ja kaupunkiraiteiden välissä, on tutkittu ja raportoitu erillistarkasteluna.

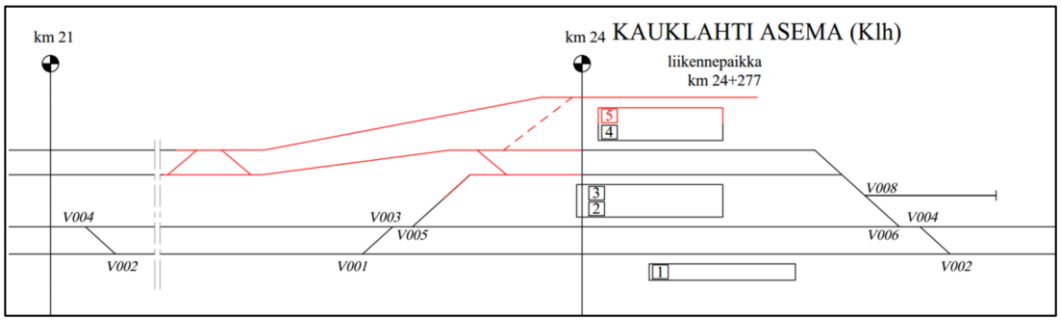
ei ole tutkittu tarkemmin. Ratkaisun toimivuus Helsingin ratapihalla riippuu siitä, millaiseen raiteistonkäyttöön Pasilan ja Kytömaan välillä päädytään. Tilanne, jossa kaksi vierekkäistä raidetta on varattu kaukoliikenteelle ja toiset kaksi vierekkäistä on varattu lähiliikenteelle, toimisi Helsinki–Pasila-välin osalta aivan kuten Lentora-tavaihtoehtokin (simulointialue on tarkasteluissa päättynyt Pasilan pohjoispuolelle), mikäli Kytömaan kohta saataisiin suunniteltua liikenteellisesti toimivaksi. Sen sijaan vaihtoehdon, jossa kaukoliikenne kulkisi keskellä ja lähiliikenne molemmilla sivuilla, ei arvioida olevan Helsingin ratapihan kannalta toimiva (vrt. Lentoradan ratasuunnitelman mukainen ratkaisu, jonka ei arvioitu olevan toimiva).

Keravan ja Riihimäen välillä on oletettu toteutetuksi Pasila–Riihimäki-hankkeen 3. vaihe, jonka myötä välillä olisi yhtäjaksoinen neliraiteinen rataosuus. Hankkeen ratasuunnitelman on tarkoitus valmistua ja tulla hyväksytyksi vuodenvaihteessa 2022–2023.

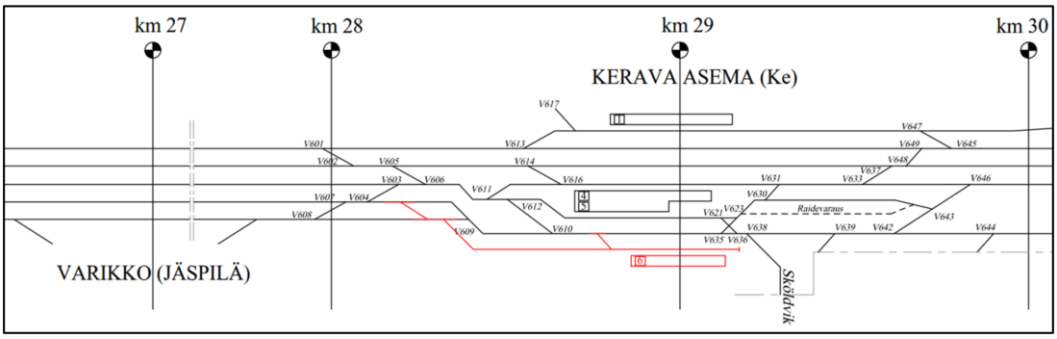
Aikataulutarkasteluissa on todettu, että tarkastelluilla liikennemäärillä neljä raidetta Tampereelle asti on välttämättömyys: liikenne ei mahdu radalle, jos Helsinki–Tampere-välillä on vain kaksi raidetta. Tässä työssä on tarkasteltu tilannetta, jossa lisäraiteet ovat nykyisessä ratakäytävässä ja siten Riihimäki–Tampere-väli on kokonaisuudessaan neliraiteinen. Lisäksi on tehty tarkastelu, jossa uudet raiteet olisi toteutettu Suomiradan suurnopeusratavaihtoehdon mukaisesti, jolloin olisi toteutettu uudessa ratakäytävässä yhteys Lentoradan ja Tampereen välille. Suurnopeusratavaihtoehdon on oletettu olevan käytettävissä vain nopeille IC-junille, jotka pysähtyvät Tampereen ja Helsingin välillä ainoastaan Lentoasemalla ja Pasilassa. Näitä junia on tämän työn liikennerakenteissa vain yksi tai kaksi junaa tunnissa. Tällöin suurnopeusrata vapauttaa kapasiteettia Pääradalta pienimmillään vain yhden tunnittaisen junan kumpaankin suuntaan Lentoasema–Tampere-välillä. Tämä ei mahdollistanut kaikkien muiden tässä selvityksessä oletettujen junien ajamista Pääradalla. Suurnopeusratavaihtoehdon osalta on suositeltavaa selvittää tarkemmin Pääradan kapasiteetin riittävyys.

Kaupunkiratojen liikenteen osalta on oletettu, että Lähiliikennealueen varikkoselvityksen (Väylävirasto 2020a) mukaiset uudet kaupunkiratojen liikenteen varikot on toteutettu. Uudet varikot olisivat Kehäradan varrella, Keravalla ja Espoon kaupunkiradan päässä. Kaupunkiratojen liikenteen kaluston päivittäishuolto ja seisotus siirtyisi näille varikoille. Varikkoselvityksessä on esitetty tarkempia sijainteja varikoille. Tämän selvityksen puitteissa varikoiden tarkalla sijainnilla ei ole kuitenkaan merkitystä.

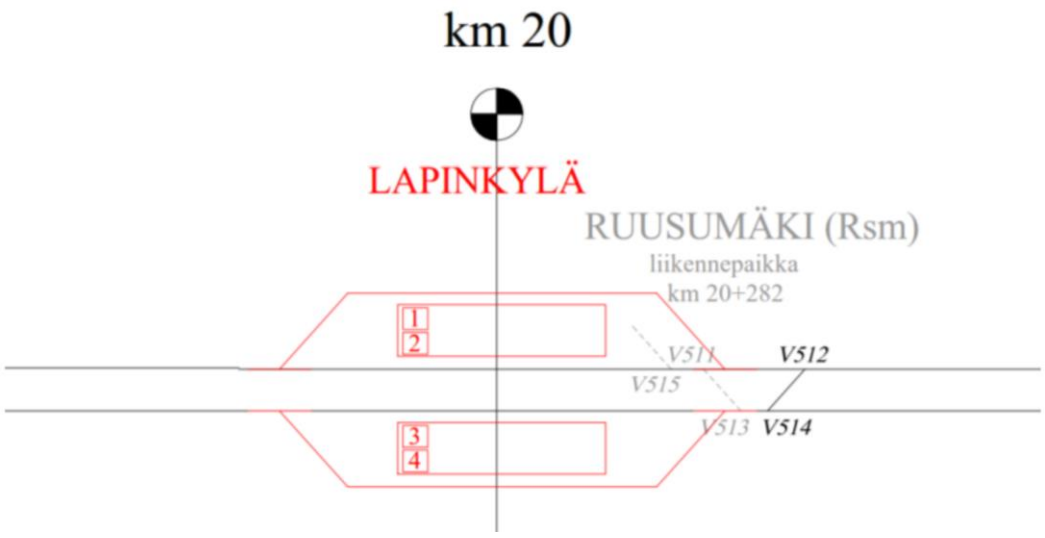
Kaupunkiratojen liikenteen pääteasemille (Kerava ja Kauklahti) on oletettu toteutetun Pisara+ -selvityksen (Väylävirasto 2019) mukaiset kehittämistoimenpiteet. Toimenpiteet on esitetty kuvissa 4 ja 5. Lisäksi Pisara-skenaariossa on oletettu toteutuneen Lapinkylän uusi ajantasauksen mahdollistava liikennepaikka Kehäradan varteen kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 4. Kauklahden liikennepaikalle oletetut infrastruktuurin kehittämistoimenpiteet. (Väylävirasto 2019)



Kuva 5. Kerava asemalle oletetut infrastruktuurin kehittämistoimenpiteet. (Väylävirasto 2020)



Kuva 6. Kehäradan varrelle Lapinkylään suunniteltu uusi liikennepaikka. (Väylävirasto 2020)

HKI-PSL välille on suunniteltu tiettyjä muutoksia, joista on kerrottu luvuissa 3.1.1 ja 3.1.2.

Digirata

Digiradalla viitataan tässä työssä yleisesti eurooppalaiseen junakulunvalvonnan järjestelmään ERTMS, joka on tarkoitus Suomessakin ottaa vähitellen käyttöön

vuosien 2025–2040 välillä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021). Tämän järjestelmän kulunvalvontaa vastaava osa ETCS korvaa nykyisen kansallisen junakulun valvonnan (JKV) vaiheittain. Tämän työn aikajänteen puitteissa muutostyön oletetaan toteutuneen työssä tarkasteltavilla rataosuuksilla. Suurin merkitys Digiradalla työn tulosten kannalta on simulointiosuudessa, jossa Helsingin ratapihan raideosuudet on voitu määritellä uudelleen siten, että ne palvelevat mahdollisimman hyvin tiheää junaliikennettä.

Digirata-työryhmän loppuraportin (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021) mukaisesti Suomessa on lähdetty edistämään modernia radiopohjaista kulunvalvontaratkaisua, joka mahdollistaa vähintään ETCS-tason 2 toiminnallisuudet. Tässä työssä tehdyissä tarkasteluissa on sovellettu ETCS-tason 2 toteutusta. Tämän suurin merkitys ratakapasiteetin parantamiseen on, että ajoluvat toimitetaan käyttäen 4G- tai 5G-tietoliikenneverkkoja suoraan juniin. Tällöin voidaan luopua näkyvistä opastimista näkemävaatimuksineen, jolloin raideosuuksia voidaan määritellä selvästi tiheämmin ja vähemmin rajoittein nykytilanteeseen verrattuna. Lisäksi tieto uudesta ajoluvasta (vrt. ”vihreästä valosta” eli perinteisestä aja-opasteesta) saadaan kulunvalvonnan tietoon lähes välittömästi, eikä junan tarvitse ajoluvan päivityttyä hidastaa kohti informaatiota antavia pisteitä kuin nykyisin. Yksi merkittävä etu tästä on myös hyödyntää tehokkaasti niin sanottua 0-valvontanopeutta. Tällöin on mahdollista tehdä vaihteisiin ja vaihdekujiin liittyvistä raideosuuksista nykytilannetta lyhyempiä, minkä seurauksena niiden varausaikaa junaa kohti saadaan pienemmäksi. Tällä on merkitystä Helsingin kaltaisella suurella ratapihalla, jossa usein joudutaan menemään poikittain toisten junien mahdollisten reittien yli. Junia voidaan siis ajaa ajallisesti nykyistä lähempänä toisiaan sellaisten reittien yli, jotka risteävät jossain kohtaa.

Simulointimallia varten on suunniteltu ETCS-ajolupamerkkien asettelu, joka tukee mahdollisimman hyvin tiheän junaliikenteen liikennöimisedellytyksiä ottaen huomioon järjestelmän teknisiä reunaehtoja ja kansallisia määrittelyitä. On huomioitava, että vaikka sijoitussuunnitelma mallissa on tarkka, se on kuitenkin teoreettinen, sillä Suomessa ei ole vielä todellista kokemusta järjestelmän käytöstä. Sijoitteluun voivat myös vaikuttaa muut ratatekniset seikat, kuin mitä tämän työn puitteissa on voitu huomioida. Tässä työssä myös Helsingin ratapihan ratageometrioihin ja vaihteiden sijainteihin on tehty pieniä muutoksia. Muutosten keskinäistä yhteentoimivuutta ja kokonaisvaikutusta ei ole voitu tarkalla tasolla arvioida tässä työssä.

Kuitenkin suunnittelun periaatteet ovat sellaiset, joiden toteutuskelpoisuus on korkea, vaikka todellinen lopullinen toteutus ei olisikaan simulointimallissa käytetyn suunnitelman mukainen. Kaikki ratkaisut eivät välttämättä ole tämänhetkisen suunnitteluohjeen mukaisia, mutta ETCS-järjestelmän myötä suunnitteluohjeita on syytä joka tapauksessa päivittää. Työn aikana, on myös tarkistettu, että näille eroille ei ole kriittistä estettä, joka epäisi mahdollisuuden poikkeukseen, vaikka suunnitteluohje ei muuttuisikaan. Keskeiset sijoitussuunnitelman periaatteet ovat:

1. Helsingin asemalla voidaan antaa junalle pääsääntöisesti lähtölupa ilman, että junan tarvitsee vielä silloin varata reittiä Helsingin pään vaihdekujasta.

    ⇒ Juna varaa ensimmäistä vaihdekujaa lyhyemmän aikaa, ja voi lähteä liikkeelle, vaikka vaihdekuja olisi vielä toisen junan varaama.

2. Pasilassa junat voivat jonottaa laiturin päässä pääsyä laiturille. Pasilan asemalla ja Pisara-skenaarion tunneliasemilla ajoluvan päätekohtia on sijoitettu strategisesti lyhimmillään 50 metrin etäisyydelle toisistaan.

    ⇒ Junat voivat häiriötilanteessa lähestyä asemia hitaammin, eikä niiden tarvitse odottaa verraten kaukana kuten nykyisin.

    ⇒ Junat voivat vapauttaa laiturille pääsyä seuraavalle junalle jo kiihdyttäessään asemalta pois. Tiheässä kaupunkiliikenteessä tällä voidaan lyhentää junien asema-aikaa, joka on usein linjan minimijunavälin määräävä tekijä.

3. Ajoluvan päätekohta vaihteen edellä on sijoitettu turvalaiteteknisesti mahdollisimman lähelle vaihteiden ja vaihdekujien alkua.

    ⇒ Kulkutiet vaihteiden ja vaihdekujien yli voidaan tarvittaessa varmistaa mahdollisimman myöhään. Näin saadaan tarvittaessa hyödynnettyä pienin riittävä varausaika, jonka juna tarvitsee turvalliseen vaihteen ylitykseen.

    ⇒ Häiriötilanteessa junia voidaan ajaa mahdollisimman tiiviiseen tahtiin yli vaihdekujien.

4. Helsingin ja Pasilan asemien välillä on pyritty ajolupasijoitteluun, jossa juna aikataulunmukaisesti kulkiessaan varaa yksittäisiä raideosuuksia tasaisesti.

    ⇒ Suurin raideosuuden varausaika junan reitillä määrää teoreettisen minimijunavälin samalla reitillä, kun kalusto on samanlaista.

    ⇒ Raiteesta riippuen on tavoiteltu linjaosuuksilla 1,5–2 minuutin suurinta varausaikaa.

Kalusto ja matka-ajat

Aikataulusuunnittelua varten on ollut välttämätöntä määrittää junille matka-ajat, jotka puolestaan riippuvat kalustosta. Tarkasteluissa käytetyt matka-ajat perustuvat osin kehittämissuunnitelmiin, osin nykytilaan. Turun suunnan liikenteessä käytettiin niin kauko- kuin lähiliikenteenkin osalta sellaisenaan *Helsinki–Turku-käytävän junaliikenteen matkustajaennusteet ja liikennöintimallien vertailu* -julkaisun (Väylävirasto 2020b) matka-aikoja. Tampereen ja Lahden suuntien kaukoliikenteen matka-aikoina on käytetty nykyisiä ajoaikoja, joista on vähennetty Lentoradan tuoma 1–2 minuutin matka-aikasäästö.

Lähiliikenteessä on Pääradan osalta hyödynnetty Sm5-kalustolla tehtyjä koeajoja, joiden tulokset ovat olleet työtä tehtäessä käytössä. Nopeudet ovat siis vastanneet tilannetta, jossa lähiliikennettä ajettaisiin Sm5-kalustolla. On epätodennäköistä, että kalusto tulisi olemaan juuri Sm5, mutta se on tässä vaiheessa paras referenssi. Lähtökohtaisesti Lahden suunnan Z-junien osalta matka-aika on ollut tarkasteluissa Keravan eteläpuolella koeajojen mukainen ja Keravalta pohjoiseen nykytilan mukainen, koska Lahden oikoradalla tai Lahti–Kouvola-välillä ei ole tehty koeajoja. Matka-aikoja on jouduttu kuitenkin muuttamaan maksimiliikenteen tarkasteluissa, mikä on kuvattu tarkemmin luvussa 4.

Kaupunkiratojen liikenteen ajoajat ovat nykytilanteen mukaiset, paitsi vielä rakentamattoman Espoon kaupunkiradan osalta, jossa ne perustuvat HSL:n arvioon. Pisara-radalle ajoajat ovat määräytyneet tässä työssä tehtyjen simulointitarkasteluiden perusteella ja niitä on kuvattu tarkemmin luvussa 6.2

Tavaraliikenteessä ajoajat perustuvat nykyisiin Vuosaaren tavarajuniin. Referenssinä on käytetty melko nopeita ja melko korkealle priorisoituja tavarajunia, eli käytetty ajoaika on melko tiukka.

Simuloinnin avulla tutkitaan Helsinki–Pasila-välin kapasiteetin lisäksi laituriraiteille ja sieltä pois pääsyä ratapihan varsin monimutkaisten vaihdekujien kautta. Erittäin tiheässä liikenteessä pienempienkin seikkojen merkitys kasvaa, kun raiteiden ja vaihdekujien varautumisvälit ovat säännöllisestikin jopa alle minuutin. Kaluston mitat ja suorituskyky yhdessä turvalaitemallinnuksen kanssa ovat olennaisessa roolissa junien ajoaikojen, raiteiden varausaikojen ja varautumisvälien mallintamisessa. Tämän työn tarkastelualueella junien kiihdytys- ja jarrutusominaisuudet ovat melko samanlaisia, mutta junien pituudet voivat vaihdella paljonkin. Tästä syystä myös kaukojunia on mallinnettu erilaisilla kokoonpanoilla junatyypin mukaan. Taulukossa 1 on esitetty työssä käytetyt kaukoliikenteen junakokoonpanot suunnittain ja tyypeittäin ja taulukossa 2 lähi- ja kaupunkiliikenteen kokoonpanot.

Taulukko 1. Kaukoliikenteen junien kokoonpano ja junapituus simuloinneissa.

Junatyyppi	Suunta	Kokoonpano	Pituus
Turku IC	Rantarata	Sr3 + 5 vaunua	152 m
Turku express	Rantarata	Sr3 + 7 vaunua	205 m
Lahti IC	Lentoasema	Sr3 + 6 vaunua	179 m
Tampere express	Lentoasema	Sr3 + 9 vaunua	258 m
Tampere harvaan pysähtyvä juna	Lentoasema	Sr3 + 4 vaunua	126 m
Tampere tiheään pysähtyvä juna	Lentoasema	Sr3 + 3 vaunua	99 m
Pietari Allegro	Lentoasema	Allegro	187 m
Yöjuna	Lentoasema	Sr3 + 12 vaunua	337 m

Taulukko 2. Lähi- ja kaupunkiliikenteen junakokoonpanot ja -pituudet.

Junatyyppi	Suunta	Kokoonpano	Pituus
Nopea lähiliikenne	Lempola, Hista, Lahti, Kirkkonummi	2x SmX	220 m
Nopea lähiliikenne	Riihimäki, Tampere	2x SmX / 1x SmX	220 m / 110 m
Kaupunkiliikenne	Kauklahti, Lentoasema, Kerava	2x Sm5	150 m

1.4 Simulointivaiheen yleiset oletukset

Työn simulointivaihe edustaa tulevaisuuden tilannetta, jossa ratapihalle on tehty erilaisia muutostoimenpiteitä nykytilanteeseen verrattuna. Näitä erilaisia infrastruktuurin muutoksia kuvataan skenaarioiden esittelyissä luvussa 3.1. Työssä on myös otettu lähtökohdaksi, että monia junaliikenteen järjestämiseen liittyviä teknisiä seikkoja tai toimintamalleja on kehitetty suuntaan, joka tukee junaliikenteen täsmällisyystavoitteita ja häiriönsietokykyä. Simulointivaiheen oletuksiin vaikuttavat myös tarkasteltavien häiriötilanteiden laajuus.

Reititykset

Raideparien käyttö Helsingin ratapihalla ja linjaraiteilla Helsingin ulkopuolella on allokoitu eri suuntien liikenteen tarpeisiin, kuten pääsääntöisesti nykyäänkin on voimassa. Simulointivaiheessa oletetaan, että Pasilassa ja sen pohjoispuolella junat käyttävät aina aikataulunmukaisesti suunniteltua laituriaan ja raidettaan, myös häiriötilanteissa. Tämä on perusteltua, koska työssä ei voida ottaa kantaa mahdollisuuteen ajaa junia allokaatiosta poikkeavasti mallin ulkopuolisella alueella. Toisaalta työssä ei mallinneta infrastruktuurivikoja, joten kaikki raiteet ovat aina junien käytettävissä.

Helsingin ja Pasilan välillä sallitaan junille mahdollisuus käyttää häiriötilanteissa eri raiteita ja laitureita kuin aikataulussa on määritelty. Tämä on oleellista, kun mitataan todellista häiriönsietokykyä. Eri reittivaihtoehtoja on kuitenkin painotettu riippuen vaihtoehtoisen reitin sujuvuudesta. Esimerkiksi linjasuuntaa vastaan ajoa Helsingin ja Pasilan välillä pyritään vaihtoehtoratkaisuna välttämään. Työn kaupunkiliikenne on hyvin tiheää, eikä sen väliin voi järkevästi sijoittaa muita junia. Lisäksi kaupunkiliikenne on eritoten haluttu käsitellä omana kokonaisuutenaan. Tästä syystä kaupunkiliikenteelle on varattu omat raiteet ja laiturit, joita muut junat eivät häiriötilanteessakaan käytä ja päinvastoin. Poikkeuksena tähän on Ilmalaskenaario, jossa kaupunkijunat käyttävät Ilmalan varikkoa, ja joutuvat siten poistumaan kaupunkiraiteilta huoltoraiteille.

Kääntöajat

Simuloinneissa erotetaan junien aikataulunmukainen kääntöaika Helsingin asemalla ja junien tekninen minimikääntöaika. Aikataulunmukainen kääntöaika, eli junan saapumisen ja lähdön välinen aika, on määritelty aikataulusuunnitteluvaiheessa ja se vaihtelee junatyypeittäin ja skenaarioittain suunnitelman mukaan. Suunnittelua on kuitenkin ohjanneet taulukossa 3 esitetyt vähimmäisarvot, joita aikataulunmukaisten kääntöaikojen tulee noudattaa, mutta suunnitellut kääntöajat voivat olla selvästi vähimmäisaikoja suurempiakin. Samaten Pasilan aseman pysähdykselle on määritelty tulevaisuuden tilanteen tavoitearvot junatyypin mukaan taulukossa 4. Kaupunkiliikenteen erillistarkasteluissa on myös arvioitu tarvetta taulukossa määritellyn pysähdysajan lyhentämisestä, jotta liikenne sujuisi tiheämmilläkin vuoroväleillä. Junien kulku perussimuloinnissa perustuu aikataulunmukaisiin pysähdys- ja kääntöaikoihin.

Häiriösimuloinneissa oletuksena on, että junilla on mahdollisuus käyttää asema-aikaansa hyväksi ottaakseen kiinni aikataulujaan. Tällöin on määritelty erikseen junatyypeittäin kaluston tekninen minimikääntöaika, jota ei voida poikkeavassa tilanteessa alittaa. Aikataulunmukaisen kääntöajan ja minimikääntöajan erotus on se aikamäärä, joka junalla on mahdollista ottaa kiinni aikatauluaan pysähdyksen aikana. Myös Pasilan asemalle on määritelty erikseen hieman lyhyempi minimipysähdysaika, johon myöhässä oleva juna voi pysähdyksensä lyhentää. Pasilan aseman suhteen ei ole kuitenkaan huomioitu sitä, että myöhästymisen suuruus voi todellisuudessa vaikuttaa tarvittavaan minimipysähdysaikaan: pysähdysaika voi myös pidentyä aikatauluun varatusta ajasta, jos laituri ehtii ruuhkautua. Tätä seikkaa ei ole kuitenkaan nähty merkittävänä haittana tässä työssä, koska tutkitut kaupunki- ja lähiliikenteen vuorovälit ovat varsin tiheitä, ja suurempia myöhästymisiä mallinnetaan suhteellisen vähän. Käytännössä on myös niin, että Pasilasta Helsingin suuntaan kulkevilla matkustajilla ei ole tyypillisesti tarvetta odotella tiettyä junaa, vaan heillä on tavallisesti mahdollisuus valita ajallaan jostain toisesta suunnasta saapuva juna. Lisäksi työssä oletetaan, että tulevassa kalustossa voidaan kehittää oviratkaisuja, joilla asema-aikoja voidaan nykyisestä hieman nopeuttaa. Kaupunkiliikenteen osalta pysähdysaikoja on siten aseteltu verraten muutamien mitattujen Pasilan pysähtymisaikatilastojen lyhyimpiin aikoihin.

Taulukko 3. Työssä käytetyt vähimmäiskääntöajat pääteasemilla junalajeittain.

Junalaji	Pääteasemien kääntöajan vähimmäisarvo aikataulusuunnittelussa	Tekninen minimikääntöaika simuloinneissa
Allegro (kansainvälinen)	15 min	15 min
Yöjuna	ei kääntöaikaa, siirtyy varikolle	10 min (varikko)
Muu kaukoliikenne	10 min	5 min
Nopea lähiliikenne, muut kuin R-junat	10 min	2 min
R-junat	10 min	1 min / 2 min[2]
Kaupunkiliikenne (vuorovälistä riippuen)	3,75–7,5 min	1 min / 2 min[3]

Taulukko 4. Simulointitarkastelussa käytetyt Pasilan pysähdysajat junalajeittain. Häiriötilanteessa pysähdysaikaa on mahdollista lyhentää tekniseen minimikääntöaikaan. Taulukon kääntöaikojen erotus muodostaa asemapelivaran.

Junalaji	Aikataulunmukainen pysähdysaika	Tekninen minimipysähdysaika simuloinneissa
Kaukoliikenne	1 min 20 s	1 min
Lähiliikenne	50 s	40 s
Kaupunkiliikenne	50 s	40 s

Taulukossa 3 on esitetty työssä oletetut vähimmäiskääntöajat ja taulukossa 4 simuloinnissa käytetyt pysähdysajat. Kaukoliikenteen osalta tekniset minimikääntöajat perustuvat haastatteluissa kuvattuun käytännön kokemukseen kyvystä kääntää yksittäinen juna poikkeustilanteessa nopeasti. Lähi- ja kaupunkiliikenteen osalta keskeinen oletus on toimintamalli, jossa poikkeustilanteessa lähtevälle junalle on tarjota vaihtokuljettaja, joka voi junan tultua laituriin siirtyä saman tien lähtöpään ohjaamoon. Myös teknisten järjestelmiin kirjautumisen ja lähtöön liittyvien määritysten oletetaan tulevaisuudessa toimivan joustavammin ja automaatiota hyödyntäen. Tämä on ollut työlle määritelty lähtökohta, ja tekniset kääntöajat sen myötä oletettu verraten pieniksi.

[2] Junien kytkennän ja irrotuksen yhteydessä 2 minuuttia
[3] Junien kytkennän ja irrotuksen yhteydessä 2 minuuttia, vain Ilmala-skenaariossa

Häiriömallinnukset

Tässä työssä häiriötilanteiden mallinnus on rajoitettua, eikä työn ole tarkoitus ottaa kantaa liikenteenhoitoon poikkeuksellisessa tilanteessa. Työ keskittyy Helsinki–Pasila-välin potentiaaliseen kapasiteettiin, ja häiriöanalyyseillä on tarkoitus arvioida suunniteltujen aikataulurakenteiden ja raiteistonkäytön laatua tavanomaisissa, päivittäin odotettavissa olevissa junaliikenteen variaatioissa. Näiden mallinnusten tavoitteena on ymmärtää, kuinka paljon poikkeuksia variaatiot aiheuttavat junaliikenteeseen Helsingin ratapihalla ja kuinka hyvin liikenteenohjauksellisin keinoin, sekä junille suunniteltujen pelivarojen turvin voidaan vähentää häiriöiden vaikutusta. Häiriösimuloinneissa yleisenä tavoitteena on siis saada junat palaamaan linjalle mahdollisimman hyvin aikataulussaan.

Ainoat työssä mallinnetut häiriöt ovat junien alkuviiveitä niiden saapuessa Pasilaan linjalta tai Ilmalan varikolta. Nämä viiveet ovat luonteeltaan satunnaisia, eivätkä voi vaikuttaa toisiinsa mallin ulkopuolella, jolloin mallin ulkopuolisia erityisiä liikennehäiriöitä ei voi huomioida täysin todellisina, koska junat vaikuttavat toisiinsa vasta mallin alueella. Tästä syystä suurempien myöhästymisten kohdalla joudutaan olettamaan, että saapuvilla junilla on ollut mahdollisuus ohittaa toisiaan mallin ulkopuolella. Erityisesti kaupunkiliikenteessä tämä oletus ei päde kovin hyvin, joten kovin suuria myöhästymisiä ei ole mielekästä mallintaa simulointimallin rajallisuuden vuoksi.

Nykytilanteeseen verrattuna merkittävä oletus työn tarkasteluajalla toimintatapojen kehittymisessä on, että Helsingin asemalla lähtöviivästymisiä ei säännöllisesti esiinny muun kuin junaliikenteen vuoksi. Esimerkiksi matkustajien junaan ehtimisen aiheuttamia viiveitä voitaisiin ehkäistä sulkemalla junan ovet hieman ennen lähtöaikaa tai käyttämällä laituriportteja. Erittäin tiheässä liikenteessä on tärkeää, että lähtötoimien viivästymisen todennäköisyys pidetään pienenä. Tämä on lähtökohta työn häiriömallinukselle, joten Helsingin asemalla ei tuoteta simuloinneissa ylimääräisiä viivästyksiä.

Häiriösimulointikierrosten alkuviiveiden määrittämisessä käytetään eksponenttijakaumaa, jonka parametrit on määritetty perustuen Väyläviraston täsmällisyystilastoihin. Jos jokaiselle junalle tehtäisiin viiveen määritys näin, niin kaikki junat olisivat käytännössä myöhässä, koska eksponenttijakauman on jatkuva. Tämä ei myöskään ole aivan realistista, sillä junilla on kuitenkin aikataulun pelivarojen vuoksi hyvä kyky pysyä aikataulussaan. Tätä on tasattu sillä, että kullakin häiriösimulointikierroksella määritetään vain puolelle saapuvista junista alkuviive eksponenttijakaumasta. Tämä on huomioitu jakauman parametreissä siten, että todennäköisyys myöhästyä yli täsmällisyystilastossa mainitun raja-arvon vastaa tilaston osoittamaa myöhästymisprosenttia. Parametrit on määritetty erikseen kaukoliikenteelle ja lähija kaupunkiliikenteelle.

2 Nykytilan kuvaus

Helsingin liikennepaikka on Suomen junaliikenteen vilkkain liikennepaikka. Liikennepaikka on jaettu useisiin osiin, joista tämän työn kannalta merkittävimmät ovat Helsinki asema, Pasila asema ja Ilmala ratapiha. Helsinki asema toimii junien pääteasemana ja Pasila asema junien välipysähdyspaikkana. Ilmala ratapihalla on mahdollisuus kaluston huoltoon ja seisottamiseen. Junarunkoja siirretään Ilmala ratapihan ja Helsinki aseman välillä varikkosiirtoina kymmeniä kertoja vuorokaudessa. Yöjunien osalta merkityksellisiä ovat myös Pasila autojuna-asema ja Pasila tavara, joiden alueella autovaunuja lastataan ja kytketään yöjuniin.

Tässä selvityksessä nykytilaan ei suunnitella aikatauluja eikä nykytilaa simuloida. Nykytilan ymmärtäminen on kuitenkin tärkeää ratapihalla tapahtuvien muutoksien ja niiden vaikutuksien ymmärtämiseksi.

Infrastruktuuri ja raiteistonkäytön periaatteet

Tarkastelualueen nykyinen infrastruktuuri on esitetty kuvana liitteessä 2. Helsingin ja Pasilan välillä on yhteensä kymmenen raidetta, jotka jakautuvat viiteen raideparii, joista kukin palvelee eri liikennettä. Läntisin raidepari (liitteen kuvassa ylimmäisenä) on varattu kaupunkiratojen liikenteelle eli pääasiassa A-, I- ja P-junille. Kaupunkiradalla on vasemmanpuoleinen liikenne. Seuraava raidepari on Rantaradan lähi- ja kaukoliikenteen käytössä. Keskimmäinen raidepari on ns. huoltoraide: sitä käyttävät Ilmalan ja Helsingin väliset varikkosiirrot. Seuraava raidepari on Pääradan kauko- ja lähiliikenteen käytössä ja idässä reunimmainen raidepari on kaupunkiratojen liikenteelle, eli pääasiassa K-, I- ja P-junille.

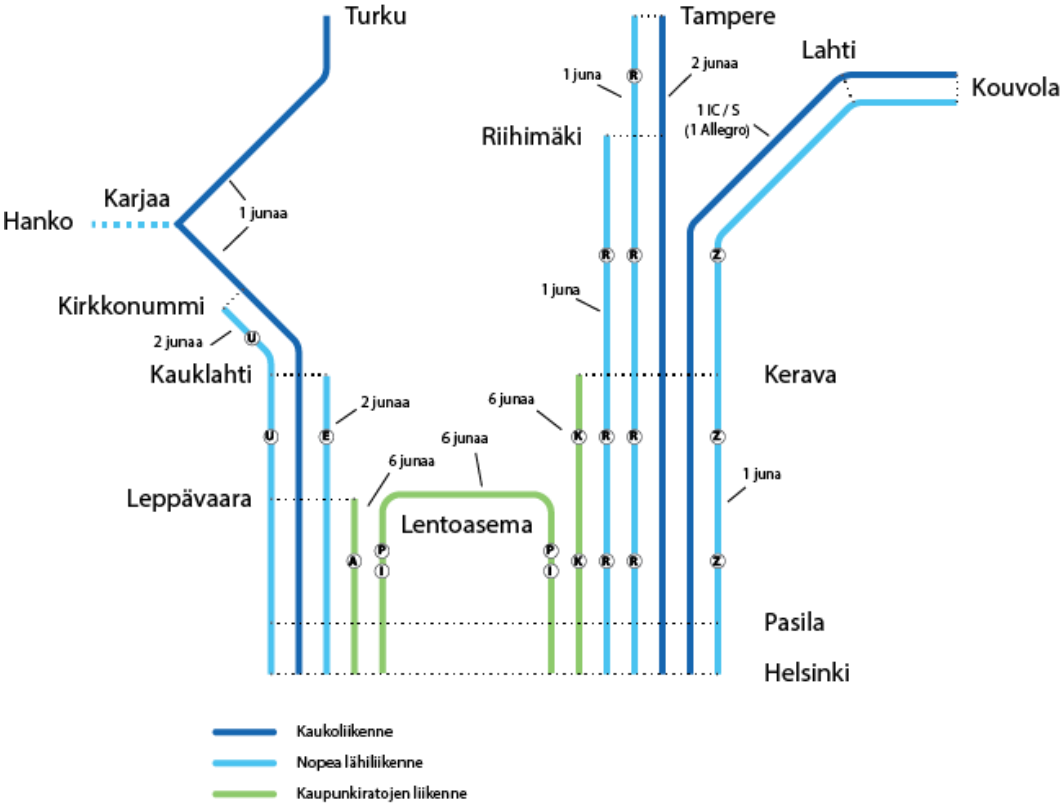
Helsinki asemalla on 19 laituriraidetta. Nykyisin kummallakin puolella reunimmaiset neljä (raiteet 001–004 ja 016–019) ovat pääosin kaupunkiratojen liikenteen käytössä. Itäpuolella raidetta 004 käytetään erityisesti varikkosiirtoihin, sillä raiteelle mahtuu neljä Sm5-junayksikköä, kun muille mahtuu vain kolme. Keskimmäiset raiteet (005–015) ovat kauko- ja lähiliikenteen käytössä siten, että Rantaradan liikenne käyttää läntisiä raiteita ja Pääradan liikenne itäisiä. Lisäksi Helsingin ratapihalla on muutamia raiteita, joilla voidaan tilapäisesti seisottaa kaupunkiliikenteen junakalustoa.

Pasilassa on 11 laituriraidetta: kaksi Pääradan suunnan kaupunkiratojen liikenteelle (1 & 2), neljä Pääradan kauko- ja lähiliikenteelle (3 & 4 pohjoiseen, 5 & 6 etelään), kaksi Rantaradan kauko- ja lähiliikenteelle (8 & 9) ja kaksi Rantaradan suunnan kaupunkiratojen liikenteelle (10 & 11). Laituri 7 on vähällä käytöllä, sillä se sijaitsee Ilmalaan johtavan huoltoraiteen varrella. Vaikka huoltoraiteelta onkin yhteys pohjoisessa Rantaradalle, on yhteyden käyttö nykyisin hankalaa turvalaiteteknisistä ja liikenteenohjauksellisista syistä. Pasilan laiturikapasiteetin käyttö on nykyään kaiken kaikkiaan varsin korkealla tasolla. Tämän työn tarkasteluissa Digiradan avulla saatavat laiturikapasiteettia parantavat ratkaisut ovat keskeisiä junamäärien kasvattamiselle nykyisestä.

Junamäärät

Nykytilanteen ”tyypillistä” suunnittaista junamäärää on havainnollistettu kuvassa 7. Nykyisin tyypillisenä tuntina on yksi kaukojuna Turun suuntaan, kaksi kaukojunaa Tampereen suuntaan ja yksi kotimaan kaukojuna Lahden suuntaan. Näi-

den lisäksi Lahden suuntaan on aiemmin (ja vielä tämän työn alkuvaiheessa) kulkenut yksi Venäjän liikenteen Allegro-juna suuntaansa noin joka toinen tunti. Sittemmin Allegro-liikenne on ainakin toistaiseksi lakkautettu.



Kuva 7. Tyypilliset ruuhka-ajan junamäärät Helsingistä nykytilanteessa yhteen suuntaan.

Lähiliikennettä on Rantaradalla tunnissa suuntaansa kaksi Kirkkonummelle päättyvää vuoroa ja kaksi Kauklahteen päättyvää vuoroa: Kauklahden eteläpuolella tarjonta on siis yhteensä neljä junaa tunnissa suuntaansa. Pääradalla on yksi Riihimäelle päättyvä lähijunavuoro ja yksi Tampereelle päättyvä lähijunavuoro tunnissa suuntaansa. Lahden suuntaan on yksi lähijunavuoro tunnissa.

Kaupunkiradoilla liikennöidään nykyisin kaikilla linjoilla kuusi junaa tunnissa suuntaansa eli kymmenen minuutin vuorovälillä. Rantaradalla Huopalahden eteläpuolella ja Pääradalla Hiekkaharjun eteläpuolella kehäradan ja Kauklahden/Keravan junat kulkevat samoja raiteita, joten vuoroväli on viisi minuuttia.

Sekä kauko- että lähiliikenteessä on esitettyjen lisäksi erillisiä ruuhkavuoroja. Pääradalla on myös yöjunaliikennettä ja Keravan pohjoispuolella myös tavaraliikennettä.

Aikataulusuunnittelun nykyiset reunaehdot

Helsingin ratapiha on hyvin vilkkaasti liikennöity pääteasema, mikä aiheuttaa rajoitteita aikataulusuunnittelulle. Helsinkiin meneviä ja Helsingistä lähtevien junien aikataulusuunnittelussa on huomioitava lähtevien ja saapuvien junien keskinäinen vuorovaikutus.

Käytännössä Helsingin aikatauluja suunniteltaessa noudatetaan ns. *neljän minuutin sääntöä.* Kyseessä on hieman yksinkertaistettu käytännön ohje, jolla on kuitenkin vankat perusteet ratapihan toiminnallisuudessa. Tiivistettynä sääntö tarkoittaa seuraavaa: junat on suunniteltava siten, että *joko* Helsinkiin saapuu ja Helsingistä lähtee juna samalla minuutilla *tai* Helsingistä lähtevän junan jälkeen on oltava vähintään neljä minuuttia aikaa ennen kuin Helsinkiin saapuu juna. Asiaa on havainnollistettu yksinkertaistetuissa aikataulugrafiikoissa kuvassa 8. Lisäksi on huomioitava, että tiheästi suojastetulla radalla (jollaista koko Helsingin seutu on) on peräkkäin ajavien junien välisen ajan oltava vähintään neljä minuuttia, jotta liikennöinti on sujuvaa.

Kuva 8. Neljän minuutin säännön soveltamisesimerkkejä.

Hyvin usein lähtevä ja saapuva juna kulkevat samojen vaihdekujien kautta tai niiden kulkutiet risteävät. Neljän minuutin säännön käyttäminen varmistaa, ettei Helsingin pään vaihdekujissa synny junien kulkureittien välille konflikteja. Tietyissä tilanteissa neljän minuutin säännöstä voidaan poiketa, jos tämä poikkeama huomioidaan raiteistonkäytön suunnittelussa ja varmistetaan, etteivät junien kulkutiet risteä. Näissä tilanteissa on raiteistonkäytön suunnitteluun kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota aikataulun aiheuttaessa merkittäviä rajoitteita raiteistonkäytölle.

Poikkeustapauksia ei ole mahdollista suunnitella kovin montaa, sillä hyvin nopeasti poikkeustapaukset aiheuttavat kohtuuttomia rajoitteita raiteistonkäytön suunnittelulle ja operatiivisille muutoksille tai ovat keskenään ristiriidassa.

Helsingin pään aikataulut suunnitellaan *raideryhmä* kerrallaan. Eri raideryhmien liikenteet voidaan suunnitella toisistaan riippumatta, sillä näiden normaalitilanteessa kullekin raideryhmälle on omat raiteensa eivätkä junat käytä toisen raideryhmän raiteita. Raideryhmät on esitetty liitteessä 2 olevassa nykytilan raiteistonkäyttökuvassa. Raideryhmät ovat:

- Espoon kaupunkirata
- Rantarata
- Päärata
- Keravan kaupunkirata.

Huoltoliikenne

Junaliikenteen lisäksi Helsingissä on myös runsaasti Helsinki aseman ja Ilmala ratapihan välistä ns. *huoltoliikennettä.* Termejä *huoltoliikenne, varikkosiirto* ja *kalustosiirto* käytetään synonyyminomaisesti. Kalustosiirtoja on niin kaukoliikenteessä, lähiliikenteessä kuin kaupunkiratojen liikenteessäkin. Kalustosiirrot ovat välttämättömiä silloin, kun liikenteen tarjonta muuttuu, liikenne ei ole symmetristä tai kun kalustoa joudutaan vaihtamaan vikaantumisen vuoksi.

Kaukoliikenteessä tyypillisesti tarve on aamupäivällä siirtää kalustoa Helsinki asemalta Ilmalaan, sillä aamulla junia saapuu Helsinkiin enemmän kuin Helsingistä lähtee. Samoin iltapäivällä on tarve siirtää kalustoa Ilmalasta Helsinki asemalle, koska illalla junia lähtee enemmän Helsingistä kuin Helsinkiin saapuu. Kaukoliikenteen junia siirretään myös Ilmalaan ja takaisin mm. junien vesitystä varten.

Lähiliikenteessä ja kaupunkiratojen liikenteessä varikkosiirtoja on erityisesti liikenteen tarjonnan muuttuessa: aamupäivällä vuoroväli kaksinkertaistuu, iltapäivällä puolittuu ja illalla kaksinkertaistuu jälleen. Tässä on kuitenkin eroja eri linjojen välillä. Lisäksi varikkosiirtoja on aamulla liikenteen alkaessa ja illalla liikenteen päättyessä.

Myös huoltoliikenteelle on suunniteltu aikataulut. Huoltoliikenne käyttää nykytilassa ratapihan keskellä olevia ns. huoltoraiteita. Huoltoliikenteen suunnittelussa on kuitenkin huomioitava myös risteämiset muun liikenteen kanssa Helsingin päässä ratapihaa.

3 Tarkasteltavat skenaariot ja junamäärät

Tässä työssä tarkastellaan Helsinki–Pasila-välin kapasiteettia ja liikenteen toimivuutta eri infrastruktuuriskenaarioiden sekä erilaisten liikennerakenteiden kautta. Pääskenaarioita on kaksi: perusskenaario ja Pisara-skenaario, joissa infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö ovat merkittävästi erilaiset koko Helsingin ratapihan alueella. Kauko- ja lähiliikenteen osalta muodostetaan kaksi eri liikennerakennetta, joille on annettu nimitykset *oletusliikenne* ja *maksimiliikenne*. Kaupunkiratojen liikennettä tarkastellaan pääosin omana kokonaisuutenaan kolmella eri vuorovälivaihtoehdolla kummassakin pääskenaariossa.

Seuraavaksi luvussa 3.1 esitellään tarkemmin skenaarioiden oletetut infrastruktuurin muutostoimenpiteet, ja liikenteen järjestämisen yleiset periaatteet. Luvussa 3.2 esitetään jokaisesta liikennerakenteesta niiden muodostamisen prosessi sekä kuvataan junamäärät, junatyypit, reitit ja pysähtymispaikat.

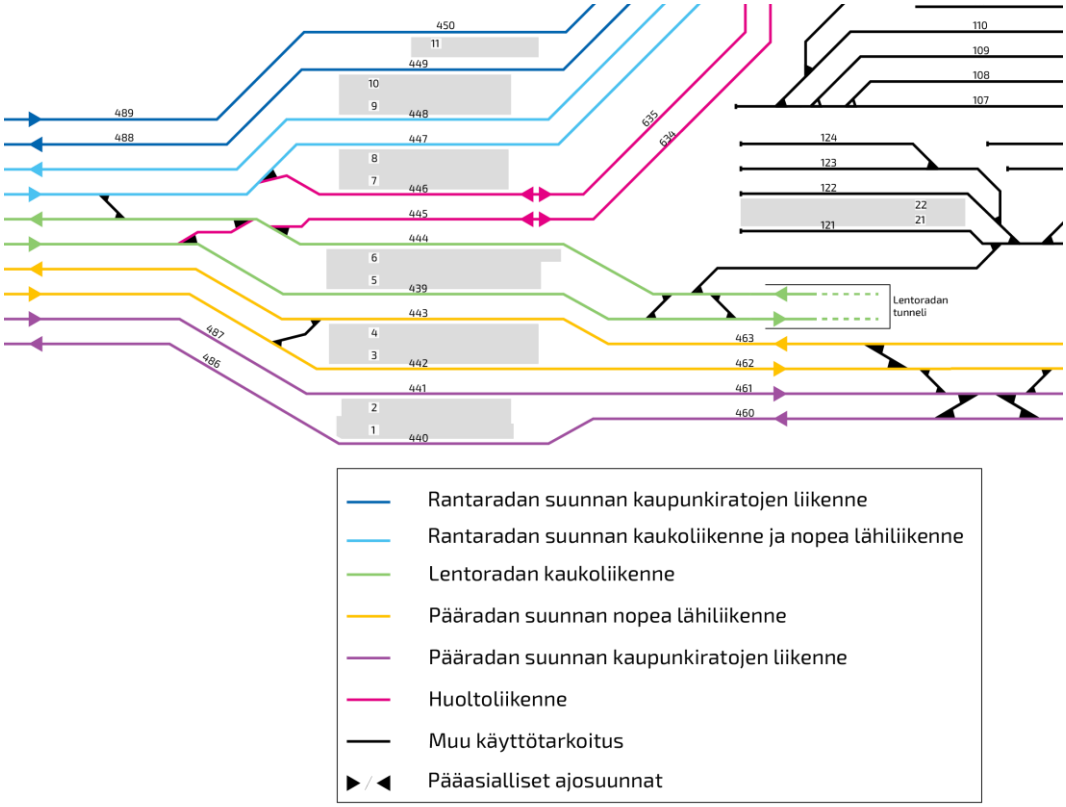
3.1 Tarkastellut skenaariot

3.1.1 Perusskenaario

Perusskenaariossa Helsinki–Pasila-välin liikennettä tarkastellaan tilanteessa, jossa Digirata, Suomirata, Turun Tunnin junan infra sekä Lentoradan liittyminen Pasilan pohjoispuolelle on toteutettu. Suomiradasta tarkastellaan kaksi eri linjausvaihtoehtoa, jotka on kuvattu luvussa 1.3 tarkemmin. Lisäksi kaupunkiliikennettä varten suunnitellut varikot on oletettu toteutetuiksi.

Perusskenaariossa Helsingin ja Pasilan väliset huoltoraiteet otetaan linjaliikenteen käyttöön. Nykyisin nämä raiteet ovat olleet vain Helsingin ja Ilmalan välisten kalustosiirtojen käytössä. Tällöin ratapihan raiteistonkäyttö selkiytyy ja jokaiselle liikennesuunnalle on oma raideparinsa Helsingin ja Pasilan välillä: itäisimmät kaksi raidetta Pääradan suunnan kaupunkiradan liikenteelle, seuraavat kaksi Pääradan lähiliikenteelle (ja yöjunille), keskimmäiset Lentoradan kautta kulkevalle Tampereen ja Lahden suuntien kaukoliikenteelle. Tämän länsipuolinen raidepari on Rantaradan kauko- ja lähiliikenteelle kuten nykyisinkin ja läntisin raidepari on Rantaradan suunnan kaupunkiradan liikenteelle kuten nykyisin.

Jokaiselle raiteelle on Pasilassa oma laiturinsa, jonka lisäksi Pasilassa on laituri 7 joka ei olisi säännöllisessä käytössä. Helsingin ja Ilmalan väliset kalustosiirrot tulisivat jatkossa kulkemaan muun liikenteen seassa: etelään aina raidetta 425 (Lentoradan kaukojunaliikenteen raide) ja pohjoiseen joko raidetta 424 (Lentoradan kaukojunaliikenteen raide) tai 426 (Rantaradan kaukoliikenteen raide). Uuden tilanteen mukainen infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö Pasilan osalta on esitetty kuvassa 9 ja koko ratapihan osalta liitteessä 3.



Kuva 9. Pasilan aseman vaihdeyhteydet ja laituriraiteiden yhteydet linjaraiteisiin työn perusskenaariossa.

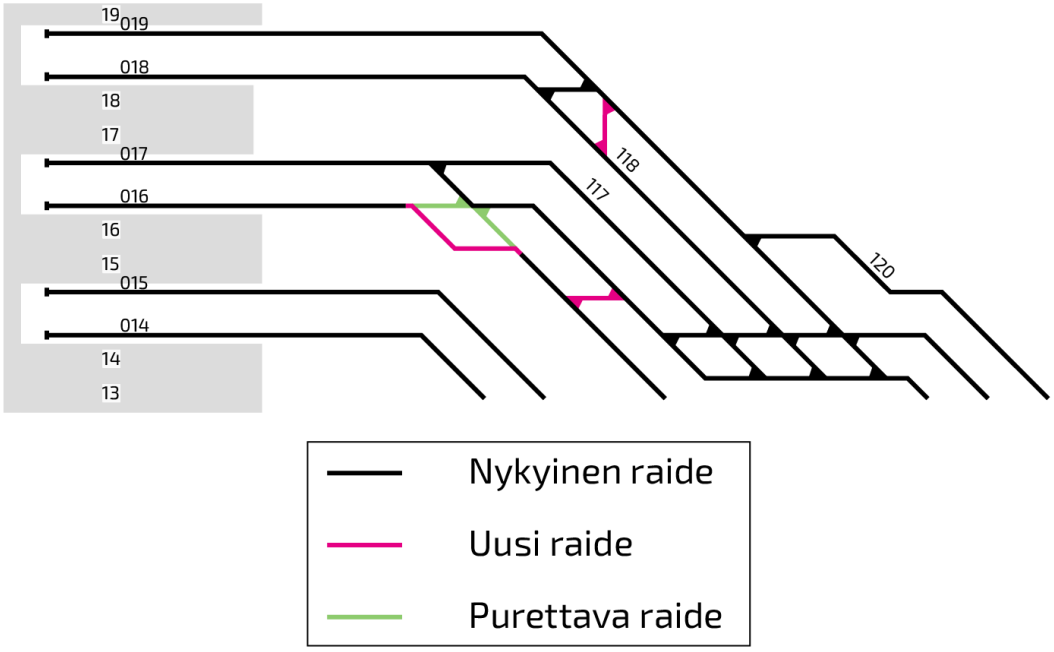
Huoltoraiteiden ottaminen linjaliikenteen käyttöön ja raiteistonkäytön kehittäminen edellä kuvatun mukaisesti edellyttää muutoksia raideinfrastruktuuriin. Kuvassa 11 on esitetty uuden tilanteen mukainen raiteisto. Raiteistonmuutoksien toteutettavuus on varmistettu ja Pasilan pohjoispuolisista muutoksista on laadittu esisuunnitelmatasoinen suunnitelmakartta, joka on liitteessä 5.

Pasilan eteläpuoliset muutokset edellyttävät muutoksia ratainfrastruktuuriin, mutta muutokset on mahdollista tehdä nykyisellä rautatiealueella ilman muutostarpeita ympäröiviin rakenteisiin. Vaihteet on tarkasteltu 60 km/h nopeustason poikkeavalle suunnalle mahdollistavina YV60-500-1:14-tyypin vaihteina. Osa vaihteista saattaa olla mahdollista toteuttaa nopeustason 80 km/h sallivina vaihdetyyppeinä, mutta aihetta ei ole tarkasteltu tässä yhteydessä ja myös simuloinnit on tehty 60 km/h huippunopeudella. Nyt tehdyissä vaihdetarkasteluissa ei ole otettu huomioon pystygeometriaa, mutta Pasilan ympäristössä pystygeometria ei muodostu ongelmaksi. Esisuunnitelmassa on esitetty muutamia ratkaisuja, jotka eivät ole ohjeiden mukaisia: vaihteiden V003 ja V004 välinen alue on liian lyhyt ohjeisiin nähden ja V005 takajatkoksen suoran suunnan jälkeinen suora on liian lyhyt ohjeisiin nähden. Näiden arvioidaan ratkeavan erikoispölkytysratkaisuilla tai suunnitelmien tarkennuksella. Tarkasteltaessa ratkaisujen toteutettavuutta sähköradan näkökulmasta todettiin, että vaihdetta V005 olisi hyödyllistä siirtää noin 5 metriä etelään, sillä nyt esitetty sijainti (samoin kuin nykyinen vaihteen V470 sijainti) on sähköradan suunnittelun näkökulmasta hyvin ongelmallinen. Osa muista nyt esitetyistä muutoksista edellyttää myös merkittävämpiä muutoksia sähköratan, mutta nämä muutokset olisivat ratkaistavissa joko suunnitelmien tarkennuksella myöhemmissä

suunnitteluvaiheissa tai vaihtoehtoisesti kohtuullisilla kustannuksilla. Jatkosuunnittelussa raidegeometriat tulee yhteensovittaa nykyinfrastruktuuriin ja muihin tekniikka-aloihin.

Pasilan pohjoispuolella esitetyn Lentoradan liittymisratkaisun toteuttaminen edellyttää muutoksia raiteistoon ja myös ympäröiviin rakenteisiin. Pasila autojuna-aseman ja Pasila tavaran, jossa autojunien vaihtotöitä tehdään, raiteistoon täytyisi tehdä muutoksia. Lisäksi raiteita tulisi siirtää itään päin, jolloin myös Pohjoisbaana olisi siirrettävä. Myös Metsäläntien pohjoinen silta jouduttaisiin uusimaan.

Lisäksi Helsinki asemalle on tässä työssä suunniteltu muutos vaihdeyhteyksiin raiteiden 016 ja 017 lähiympäristössä kuvan 10 esittämällä tavalla. Laituriraiteiden 16 ja 17 jatkeisiin liittyvät muutokset ovat tarpeellisia, jotta kaupunkiliikenne voidaan tosiasiassa erottaa niin, että se voi käyttää riippumattomasti vain raiteita 17–19 samalla, kun muu liikenne voi vapaasti hyödyntää myös raidetta 16. Kaupunkiliikenteen suunnittelun riippumattomuus on työn simulointivaiheen tärkeä oletus. Raiteiden 118 ja 119 välinen uusi vaihde parantaa laiturin 19 kapasiteettia tiheillä vuoroväleillä, koska laiturille saapuva ja lähtevä liikenne voivat ajaa lyhyemmän aikaa samaa raidetta. Tällä todettiin simuloinnissa olevan selvä merkitys laiturin 19 varautumisvälien pidentymiseen. Ratkaisulla saavutettava vastaavanlainen toimintatapa on jo nykyisin mahdollista laitureilla 17 ja 18. Molempien toimien toteuttamiskelpoisuus on varmistettu, mutta muutoksesta ei ole laadittu suunnitelmakarttaa.

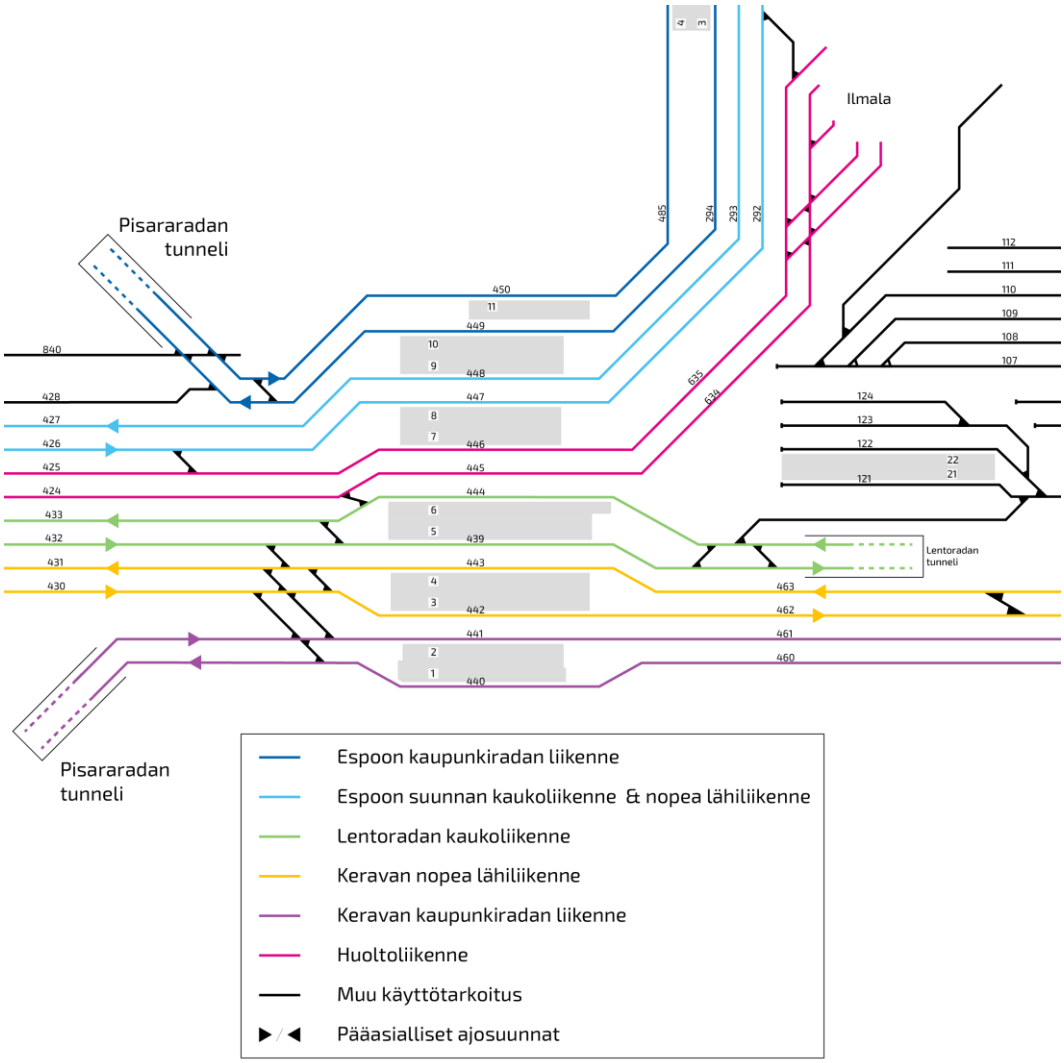


Kuva 10. Helsingin ratapihan länsilaidalle tässä työssä suunniteltu vaihdeyhteysmuutos.

3.1.2 Pisara-skenaario

Pisara-skenaariossa tarkastellaan liikennettä muutoin samoista lähtökohdista kuin perusskenaariossakin, mutta kaupunkiradan liikenne tarkastellaan tilanteessa, jossa Pisararata on rakennettu Pisara+ -selvityksen mukaisesti. Kaupunkiratojen liikenne käyttää uutta tunnelia ja muu liikenne Helsingin nykyistä ratapihaa.

Raiteiston on oletettu olevan Pasilan eteläpuolella Pisara+ -selvityksen mukainen ja Pasilan pohjoispuolen ml. Lentoradan liittymiskohta tässä selvityksessä perusskenaarion yhteydessä tarkastellun mukainen. Huomionarvoista on, että Pisara+ -selvityksen raiteistomalli, jota tässä työssäkin Pasilan eteläpuolisilta osin käytettiin, poikkeaa Pisararadan ratasuunnitelman raiteistomallista. Ratasuunnitelman mukainen raiteisto ei ole tarkoituksenmukainen enää tilanteessa, jossa Lentorata on rakennettu. Muutokset nykyiseen raiteistoon sijoittuvat Pasilan alueelle, eikä aivan Helsingin päähän ole ehdotettu muutoksia. Raiteisto Pasilan alueella on esitetty kuvassa 11 ja koko alueen infrastruktuuri liitteessä 4. Pasilan pohjoispuolisten muutosten toteutettavuus on varmistettu ja toteuttamisen reunaehtoja on kuvattu tarkemmin perusskenaarion yhteydessä. Pasilan eteläpuolinen ratkaisu perustuu Pisara+ -selvityksen raiteistomalliin, eikä tässä työssä ole siksi erikseen varmistettu sen toteutettavuutta.



Kuva 11. Pasilan alueen infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö Pisara-skenaariossa.

Pasila aseman kohdalla ja sen pohjoispuolella raiteistonkäyttö on vastaava kuin perusskenaariossa. Jokaiselle linjasuunnalle on oma raideparinsa ja laiturinsa. Lisäksi Pasilan kohdalla on kaksi raidetta huoltoliikenteelle, joista toinen on laituriraide. Pasilan eteläpuolella raiteisto on kuitenkin huomattavan erilainen Pisaran

raiteiden erkaantuessa muista raiteista ratapihan itä- ja länsipuolella. Kaupunkiradoilta liikennöitäisiin siis pääsääntöisesti Pisaran tunneliin ja yhteys Helsinki asemalle olisi olemassa lähinnä häiriötilanteita varten.

Koska kaupunkiratojen liikenteelle ei tarvitse varata Helsinki–Pasila-väliltä raiteita, voidaan kyseisiä raiteita käyttää tehokkaammin muulle liikenteelle. Erityisesti tästä on hyötyä Pääradan puolella ratapihaa: Pisara-skenaariossa lähiliikenne voisi käyttää nykyisiä kaupunkiradan raiteita (itäisimmät kaksi raidetta) ja kaukoliikenne nykyisiä lähi- ja kaukoliikenteen raiteita. Tällöin nykyiset huoltoraiteet jäisivät yhä huoltoliikenteen käyttöön, mikä helpottaisi huoltoliikenteen suunnittelua ja liikennöintiä jonkin verran. Länsipuolella Rantaradan kauko- ja lähiliikenteen käytettävissä oleva raidemäärä lisääntyisi, mutta raiteet eivät olisi yhtä tehokkaasti hyödynnettävissä kuin itäpuolella. Kaupunkiratojen liikenne tulisi kulkemaan kaksiraiteisessa tunnelissa, jolla olisi yhteensä kolme asemaa.

Helsingissä itäisimmät laiturit vapautuisivat Pääradan lähiliikenteen käyttöön ja läntisimmät Rantaradan lähiliikenteen ja mahdollisesti myös kaukoliikenteen käyttöön. Tällöin junien kääntöjen suunnitteluun Helsingissä saataisiin hieman enemmän vapauksia ja myös häiriösietoisuus olisi tältä osin hieman parempi.

3.1.3 Kaupunkiradat perusskenaariossa ja Pisara-skenaariossa

Kaupunkiratoja pitkin liikennöiviä paikallisjunalinjoja nimitetään tässä työssä kaupunkiliikenteeksi. Kaupunkiliikenteen linjojen oletetaan olevan muutoin nykyisen kaltaiset, mutta lisänä tarkasteluajankohtaan mennessä Rantaradan suunnan kaupunkiradan jatko Kauklahteen asti on valmistunut.

Kaupunkiratojen liikenteen infrastruktuuri, liikennöintikäytännöt ja haasteellisimmat kohdat eroavat merkittävästi perus- ja Pisara-skenaarioiden välillä. Liikenteen vuorotiheys ja tarkastelun perusoletukset ovat kuitenkin samat molemmissa tilanteissa. Infrastruktuuri ja raiteistonkäyttö ovat perus- ja Pisara-skenaarioissa pääosin aiemmin kuvatun mukaiset, joskin perusskenaariossa esitetään pieniä muutoksia Helsingin aseman vaihdeyhteyksiin.

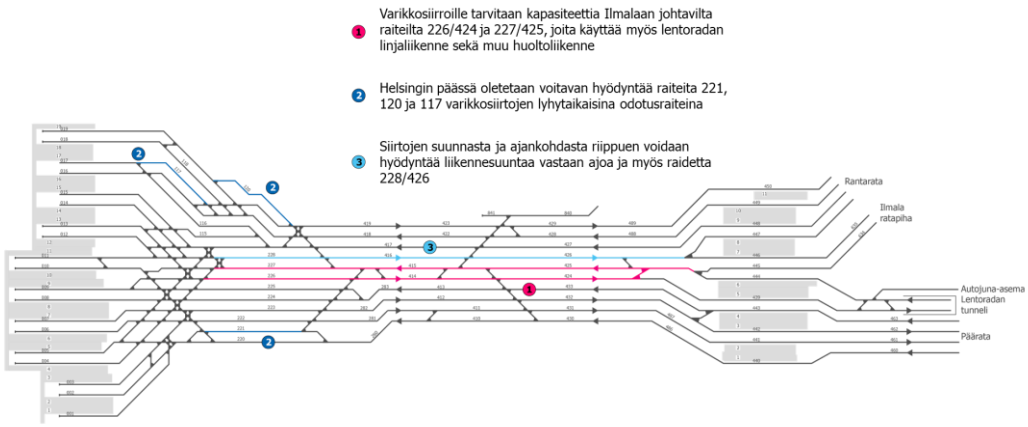
Perusskenaariossa saapuvien ja lähtevien junien kulkuteiden risteäminen Helsingissä on nykytilanteeseen peilattuna merkittävä pullonkaula, mikäli liikenteen vuoroväliä halutaan merkittävästi pienentää sellaisiksi kuin tässä työssä tarkastellaan. Tämän vuoksi kartoitetaan myös uusia vaihdeyhteyksiä Helsinki ratapihan kaupunkiraidepareilla ja älykästä liikenteenohjauksen menettelytapaa, jossa junan kulkureitti voitaisiin valita liikennetilanteen mukaisesti. Pisara-skenaariossa merkittävin pullonkaula ovat asema-ajat Pisara-radan tunneliasemilla. Tästä syystä niihin on kiinnitetty erityistä huomiota. Kaupunkiratojen tiheiden vuorovälien analysointiin on keskitytty luvuissa 5 ja 6.2

3.1.4 Ilmala-skenaario

Työn perusskenaarion vertailuskenaarioksi on tehty tarkastelu, jossa kaupunkiliikenteelle suunniteltuja varikoita ei olisikaan käytettävissä. Tarkastelun ydin on ymmärtää, mikä merkitys Pää-, Ranta- ja Kehäratojen varteen kaavailluilla kaupunkiliikenteen huolto- ja seisotusvarikoilla on Helsinki–Pasila-välin kapasiteetille ja sen tulevaisuudessa mahdollistamalle liikenteelle. Vertailu tehdään nimenomaan pe-

russkenaariota vasten, koska Pisara-skenaariossa uudet varikot ovat välttämättömiä. Ilmalan varikolta ei ole maantieteellisesti mahdollista rakentaa käytännöllistä yhteyttä Pisara-tunnelin liikenteen tarpeisiin.

Ilmala-skenaariossa ratainfrastruktuuri on sama kuin perusskenaariossa. Myös raiteistonkäyttö on pääosin samanlainen. Linjaliikenne toimii kuten perusskenaariossa. Huoltoliikenteessä perusperiaate on sama, mutta huoltoliikenteen määrä on huomattavasti suurempi kaupunkiliikenteen kokoonpanomuutosten tapahtuessa Helsingissä. Huoltoliikenteelle on hyvin rajalliset mahdollisuudet. Kuvassa 12 on esitetty huoltoliikenteen kannalta keskeisimmät seikat raiteistonkäytössä. Eniten huoltoliikenne kuormittaa Lentoradan liikenteen käytössä olevaa raideparia: tämän raideparin etelään menevä raide on ainoa jatkuvasti käytännöllinen yhteys Ilmalasta Helsinkiin kaikkina vuorokauden aikoina. Ilmalan varikon suuntaan on Lentoradan liikenteen käyttämän raiteen lisäksi mahdollista liikennöidä sujuvasti myös Rantaradan kaukoliikenneraidetta perusskenaarioon esitettyjen infrastruktuurimuutosten mukaisesti. Lisäksi on tunnistettu muutamia lyhytaikaisen seisonnan raiteita, joita voidaan käyttää puskurina siirrettäessä kaupunkiratojen liikenteen kalustoa Ilmalaan tai Ilmalasta.



Kuva 12. Ilmala-skenaarion tarkastelussa käytetyt oletukset huolto- ja varikkoliikenteen kulkumahdollisuuksista Helsingin ja Pasilan välillä.

3.1.5 Yhteenveto skenaarioista

Taulukossa 5 on kuvattu rinnakkain tarkasteltavat infrastruktuuriskenaariot. Lisäksi kauko- ja lähiliikennettä tarkastellaan kahdella eri liikennemäärällä ja kaupunkiliikennettä skenaariosta riippuen 1–3 eri vuorotiheydellä. Liikennemäärät on esitelty tarkemmin luvussa 3.2.

Taulukko 5. Työssä tarkastellut skenaariot ja liikennemäärät.

<table>
<tr><th></th><th>Perusskenaario</th><th>Pisara-skenaario</th><th>Ilmala-skenaario</th></tr>
<tr><td>Kuvaus</td><td>Tarkastellaan Helsinki–Pasila-välin liikennettä tilanteessa, jossa Digirata, Suomirata, Turun tunnin junan infra, kaupunkiratojen liikenteen uudet varikot ja Lentoradan liittyminen Pasilan pohjoispuolella toteutettu.</td><td>Kuten perusskenaario, mutta tarkastellaan kaupunkiliikenne tilanteessa, jossa Pisararata on rakennettu (Pisara+).</td><td>Kuten perusskenaario, mutta ilman oletusta, että kaupunkiliikenteen omat varikot on rakennettu. Tarkastellaan, mikä merkitys pää-, ranta- ja kehäratojen varteen kaavailluilla kaupunkiliikenteen huolto- ja seisotusvarikoilla on Helsinki–Pasila-välin kapasiteetille ja sen tulevaisuudessa mahdollistamalle liikenteelle.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kauko- ja lähi-liikenne</td><td colspan="2">Oletusliikenne: Arvioitu tulevaisuuden liikennemäärä, joka Helsinki–Pasila-välillä tulisi olemaan. Tarkastellaan myös kaksi Suomiradan reittivaihtoehtoa.</td><td rowspan="2">Tarkastelu tehdään maksimiliikenteen junamäärille.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Maksimiliikenne: Maksimiliikennemäärä, joka Helsinki–Pasila-välillä tulisi oletettavasti olemaan. Tarkastellaan myös kaksi Suomiradan reittivaihtoehtoa.</td></tr>
<tr><td>Kaupunki-liikenne</td><td>Kaupunkiliikenteen tarkasteltavat vuorovälit ovat 7,5 min, 6 min ja 5 min linjoittain (l. Helsinki–Pasila-välillä 3,75 min, 3 min ja 2,5 min junavälit).

Lisätarkasteltavana myös mahdollisuus rakentaa kaupunkiraiteille uusi puolenvaihtopaikka, jota junien reitittämisessä Helsingin ratapihalla voisi hyödyntää.

Kaupunkiliikennettä varten suunnitellut varikot on oletettu toteutetuiksi.</td><td>Kaupunkiliikenteen tarkasteltavat vuorovälit ovat 7,5 min, 6 min ja 5 min linjoittain. Pisararata liittyy nykyiseen rataverkkoon Pasilan eteläpuolella.

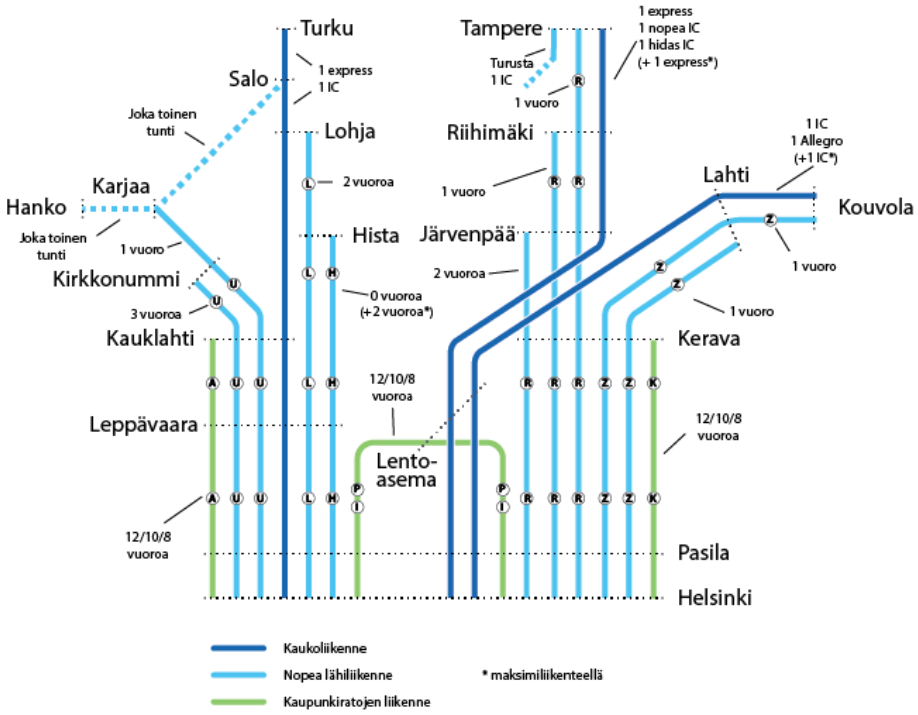
Kaupunkiliikenteen varikot on oletettu toteutetuiksi.</td><td>Tarkastelu tehdään kaupunkiliikenteen 7,5 min vuorovälille (l. Helsinki–Pasila-välin 3,75 min junavälille).</td></tr>
</table>

Perusskenaariossa tehdään luvussa 1.2.2 kuvaillut perus- ja häiriösimulointi sekä oletus- että maksimiliikenteelle. Pisara-skenaarion kauko- ja lähiliikenteelle suoritettaan perus- ja häiriösimulointi, mutta kaupunkiliikenteen osalta vain perussimulointi. Pisara-skenaariossa kauko- ja lähiliikenteen junamäärät simuloidaan vain maksimiliikennemäärälle. Ilmala-skenaarion tilannetta tutkitaan perussimuloinnilla ja tarvittaessa analyysiä täydennetään häiriösimuloinnein.

3.2 Junamäärät ja niiden määrittäminen

Eri rataosuuksien junamäärät on määritelty yhdessä työn tilaajien, ohjausryhmän sekä VR:n matkustajaliikenteen kanssa hyödyntäen aiempien selvitysten arvioita. Työn junamäärät on siten määritelty huomioiden muun rataverkon kapasiteetin

parantamistoimenpiteiden mahdollistama liikenteen kasvu. Olennaista tässä työssä on selvittää, onko Helsinki–Pasila-väli rataverkon pullonkaula, mikäli kaikkien Helsingin alueen liikenteeseen vaikuttavien uusien hankkeiden ratakapasiteetin käyttö olisi tulevaisuudessa korkealla tasolla.



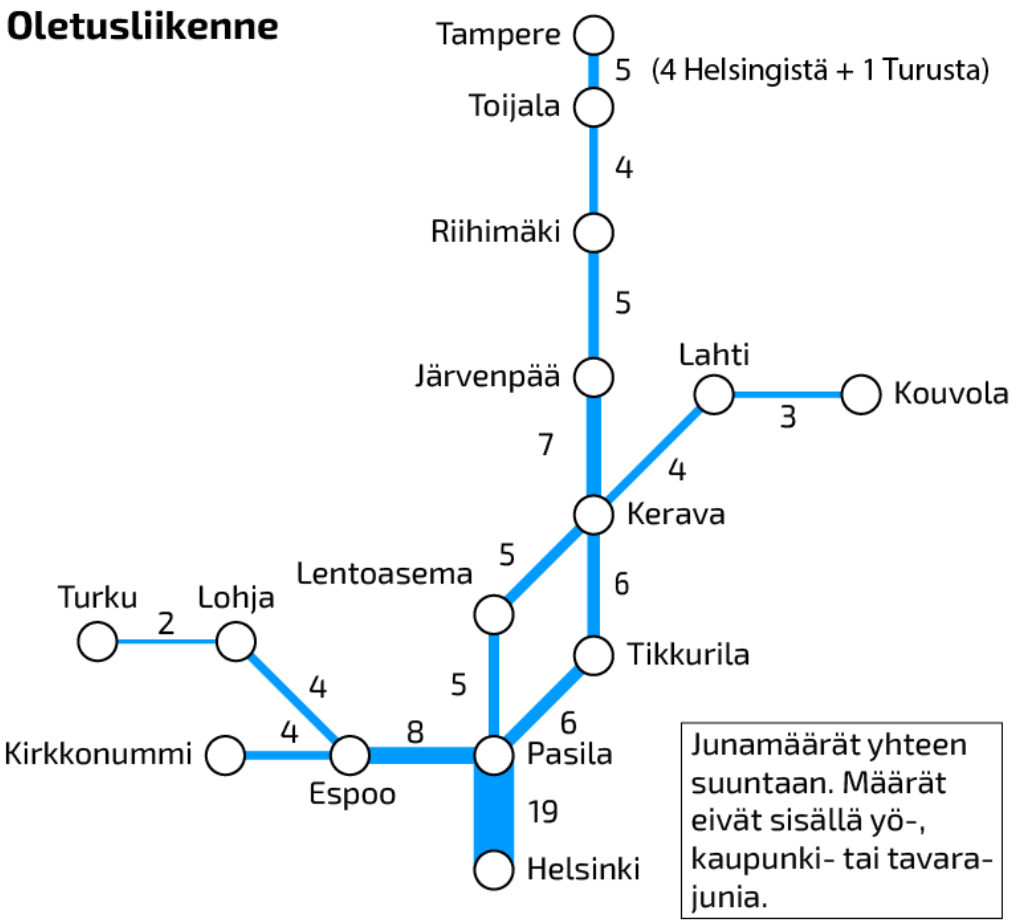
Kuva 13. Suunnittaiset ruuhkatunnin junamäärät ja -tyypit oletus- ja maksimiliikenteellä.

Junamäärät eivät siis perustu suoraan kysyntäennusteisiin, vaan pikemminkin eri ratahankkeiden kapasiteettitavoitteisiin tai niihin liittyvissä selvityksissä tunnistettuun saavutettavissa olevaan kapasiteettiin. Kuva 13 esittää aikataulusuunnittelun lähtökohtana käytetyt junavuorojen määrät ja tyypit suunnittain. Selvityksessä ei ole otettu huomioon Tampereen ja Toijalan välistä lähiliikennettä, vaan ne on korvattu tunnittaisella R-junalla Helsingistä.

3.2.1 Oletusliikenne ja maksimiliikenne

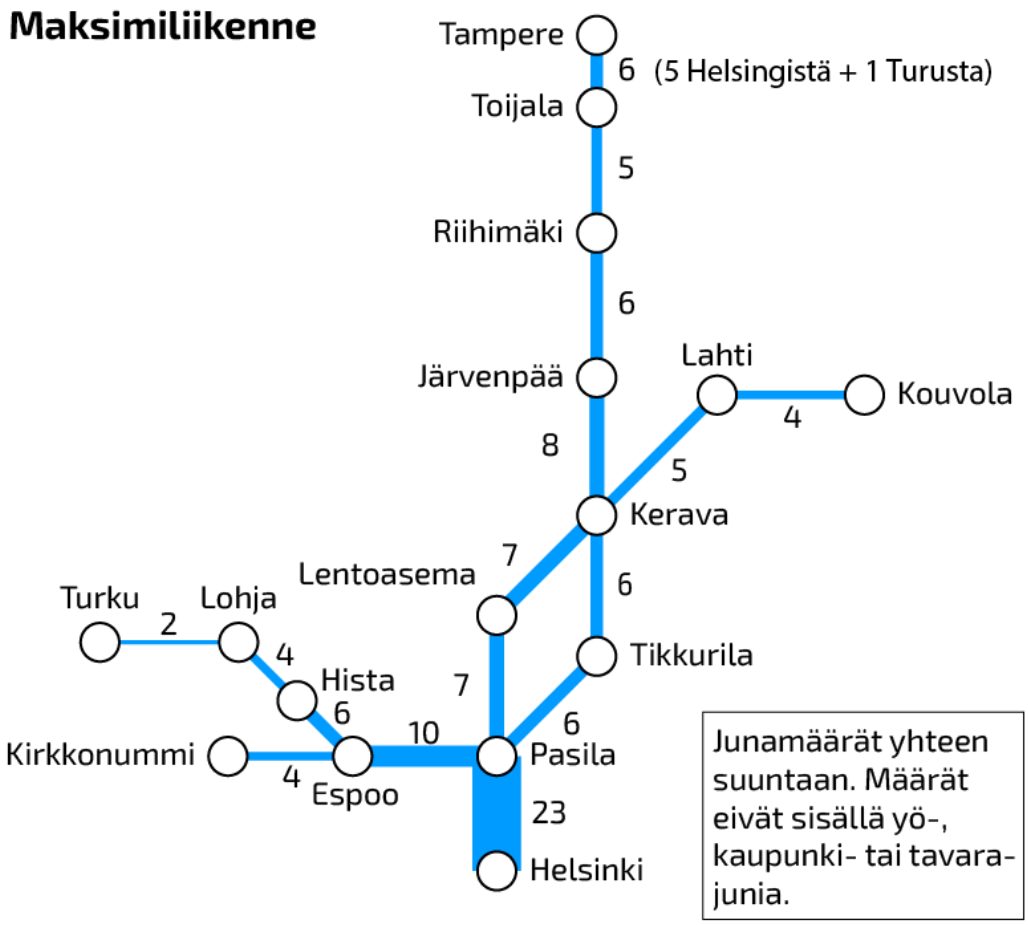
Jokaiselle tarkasteltavalle yhteysvälille on määritelty niin sanotun *oletusliikenteen* mukaiset junamääräarviot, eli oletettu tulevaisuudessa kehittyvä mahdollinen junamäärä kullakin yhteysvälillä. Lisäksi on määritelty *maksimiliikenne*, jossa on pyritty tunnistamaan realistinen maksimaalinen junatarjonta huomioimalla muun muassa aiempien selvitysten maksimijunamäärävaihtoehdot.

Käytännössä maksimiliikenteessä lisäys nykytilaan nähden on erittäin suuri. Junia on noin kaksinkertainen määrä nykyiseen verrattuna ja on hyvin epätodennäköistä, että sitä isompia junamääriä olisi odotettavissa Helsinki–Pasila-välille tässä työssä kuvatulla infrastruktuurin kehityksellä.



Kuva 14. Junamäärät oletusliikenteessä yhteen suuntaan ruuhkatunnissa eri yhteysväleillä.

Junamäärissä on keskitytty henkilöjuniin, mutta työssä on aikataulusuunniteltu myös yksi tavarajuna Tampere–Kerava-välille per tunti per suunta (pois lukien muutama aamun tunti, jolloin kulkee yöjunia). Tämän selvityksen junamäärillä Lahden oikoradan ohitusmahdollisuudet eivät ole riittävät tavarajunien tunnittaiselle kulkemiselle. Lahden oikoradan tavarajunat on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle, sillä selvityksen pääpaino on Helsinki–Pasila-välin kapasiteettitarkasteluissa. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty ruuhkatunnin junamäärät yhteen suuntaan eri yhteysväleillä oletusliikenteen ja maksimiliikenteen tilanteissa.



Kuva 15. Junamäärät maksimiliikenteessä yhteen suuntaan ruuhkatunnissa eri yhteysväleillä.

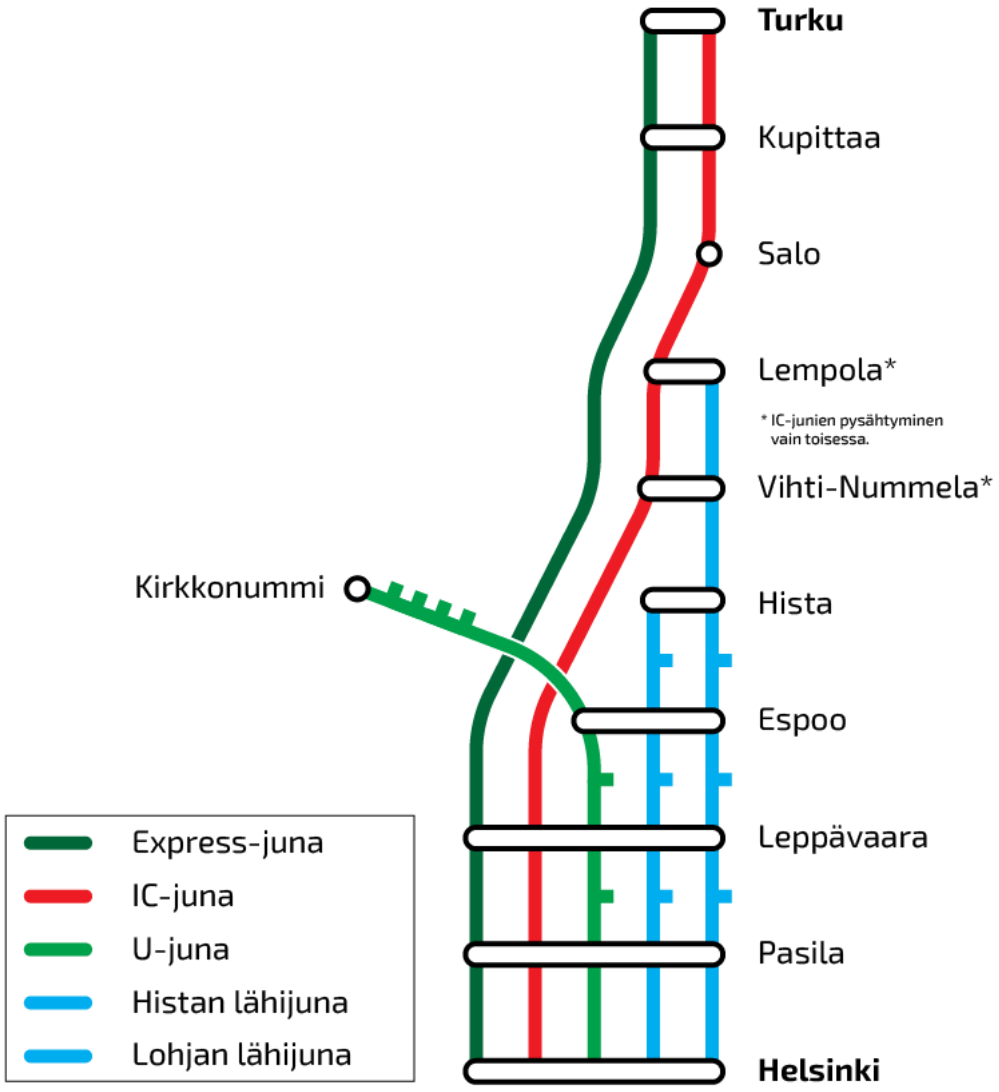
3.2.2 Helsinki–Espoo–Turku-välin junamäärät

Helsinki–Espoo–Turku-välille on aiempien selvitysten ja sidosryhmätyöpajojen avulla määritelty ruuhkatunneille junamääriksi taulukon 6 mukaiset junamäärät. Helsinki–Turku-välille on pysähtymiskäyttäytymiseltään kaksi erilaista kaukojunaa: ns. express-juna, joka pysähtyy Helsingin, Pasilan ja Turun lisäksi vain Kupittaalla (ja maksimiliikenteessä myös Leppävaarassa) ja IC-juna, joka pysähtyy em. lisäksi myös Leppävaarassa, Lohjalla tai Vihdissä ja Salossa. Lohjan suunnan lähijunat pysähtyvät kaikilla välin liikennepaikoilla eli Pasilassa, Huopalahdessa, Leppävaarassa, Kauniaisissa, Espoossa, Myntinmäessä, Vihti-Nummelassa ja Lempolassa. Kirkkonummen lähijunat pysähtyvät Espoon eteläpuolella kuten Lohjan lähijunat. Espoon pohjoispuolella pysähdyskäyttäytyminen on sama kuin nykyisin, eli junat pysähtyvät Kauklahdessa, Masalassa, Jorvaksessa, Tolsassa ja Kirkkonummella.

Taulukko 6. Helsinki–Espoo–Turku-välin junamäärät oletus- ja maksimiliikenteessä.

Junan yhteysväli	Oletusliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta	Maksimiliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta
Helsinki–Turku	1 express-juna 1 IC-juna	1 express-juna 1 IC-juna
Helsinki–Kirkkonummi	4 lähijunaa	4 lähijunaa
Helsinki–Vihti-Nummela/Lempola	2 lähijunaa	2 lähijunaa
Helsinki–Hista	-	2 lähijunaa
Yhteensä	**8 junaa**	**10 junaa**

Ruuhka-aikojen ulkopuolella on oletettu, että oletusliikenteessä kulussa ovat IC-junat ja lähiliikenne, mutta ei express-juna. Maksimiliikenteessä kulussa ovat IC-junat sekä Lempolan/Vihti-Nummelan ja Kirkkonummen lähiliikenne, mutta ei express-juna eikä Histan lähijunat. Kuvassa 16 on esitetty Helsinki–Espoo–Turku/Kirkkonummi-osuuksien eri junayhteydet.



Kuva 16. Helsinki–Espoo–Turku-osuuden eri junayhteydet.

Tässä työssä ei oteta kantaa, pysähtyvätkö kaukojunat Lohjan Lempolan vai Vihdin Vihti-Nummelan asemalla. Lähijunat on suunniteltu Lempolaan asti ja kaukojunat pysähtymään Lempolassa. Lisäksi mahdollista Turun seudun lähiliikennettä ei ole erikseen huomioitu tässä selvityksessä.

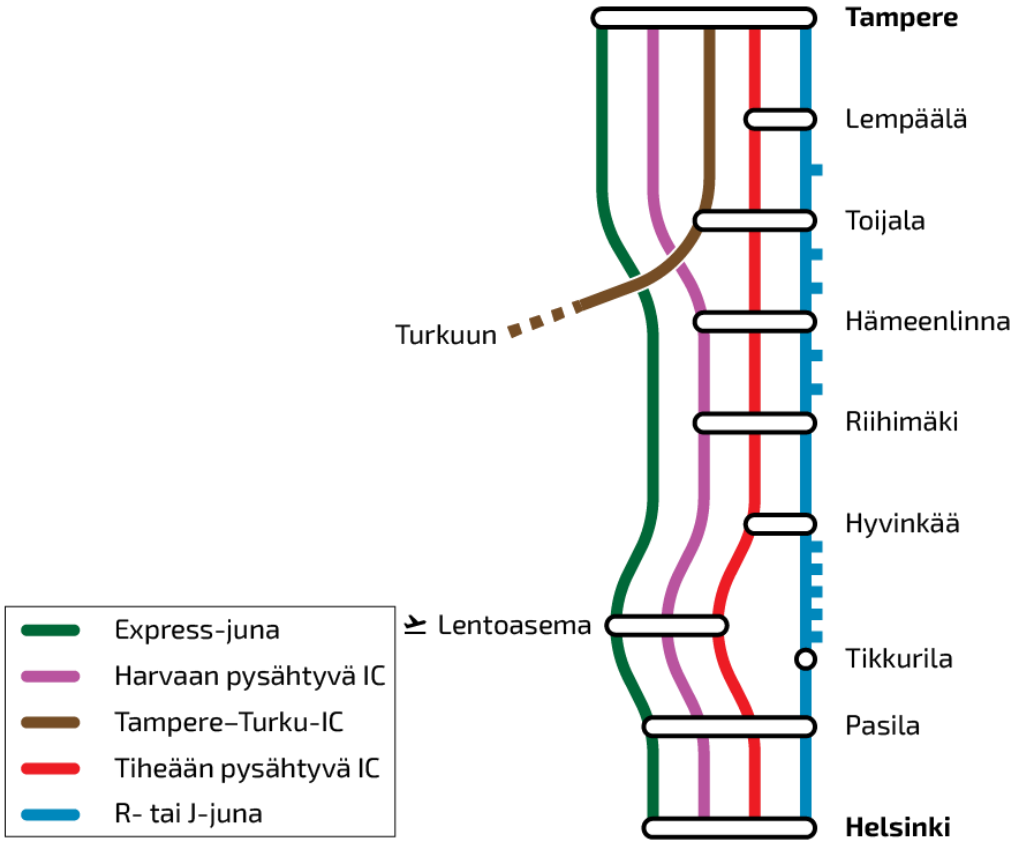
3.2.3 Helsinki–Riihimäki–Tampere-välin junamäärät

Helsinki–Riihimäki–Tampere-välillä on suunniteltu taulukon 7 mukaisesti liikennöitävän kolmea erinopeuksista kaukojunaa, joista express-juna pysähtyy vain Helsingissä, Pasilassa ja Tampereella, harvaan pysähtyvä kaukojuna pysähtyy edellä mainittujen lisäksi Riihimäellä, Hämeenlinnassa ja Toijalassa, ja tiheään pysähtyvä kaukojuna edellä mainittujen lisäksi myös Hyvinkäällä ja Lempäälässä. Tampereelle kulkee yksi lähijuna tunnissa, Riihimäelle asti 2 ja Järvenpäähän 4 lähijunaa. Lähijunien pysähtymispaikat ovat nykytilanteen mukaiset. Yöjunia on suunniteltu yhteensä 4: kaksi aamulla Tampereelta Helsinkiin ja kaksi illalla Helsingistä pohjoiseen.

Taulukko 7. Helsinki–Riihimäki–Tampere-välin junamäärät oletus- ja maksimiliikenteessä.

Junan yhteysväli	**Oletusliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta**	**Maksimiliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta**
Helsinki–Tampere	1 express-juna 1 harvaan pysähtyvä juna 1 tiheään pysähtyvä juna (1 yöjuna)	2 express-junaa 1 harvaan pysähtyvä juna 1 tiheään pysähtyvä juna (1 yöjuna)
Helsinki–Järvenpää–Riihimäki	4 lähijunaa, joista 2 Riihimäelle ja 1 Tampereelle asti	4 lähijunaa, joista 2 Riihimäelle ja 1 Tampereelle asti
Tampere–Kerava-tavaraliikenne	1 tavarajuna (tai yöjuna)	1 tavarajuna (tai yöjuna)
Yhteensä	**8 henkilöjunaa ja 1 tavarajuna**	**9 henkilöjunaa ja 1 tavarajuna**

Kaukojunat käyttävät Lentorataa Pasilan pohjoispuolen ja Kytömaan välillä, lähijunat ja yöjunat nykyistä Päärataa (kuva 17). Tampere–Kerava-välille on lisäksi yhteensovitettu yksi tavarajuna per tunti pois lukien muutama aamun tunti, jolloin kulussa on yöjuna. Ruuhkatuntien ulkopuolella on oletettu, että harvaan pysähtyvät ja express-junat sekä kaikki lähijunat ja tavarajunat ovat kulussa.



Kuva 17. Helsinki–Riihimäki–Tampere-osuuden eri junayhteydet.

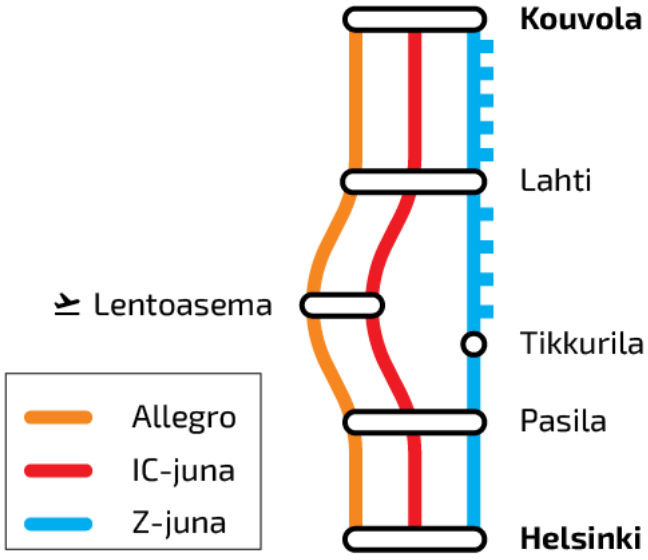
3.2.4 Helsinki–Lahti–Kouvola-välin junamäärät

Helsinki–Lahti–Kouvola-välille on taulukon 8 mukaisesti suunniteltu yksi kaukojuna tunnissa suuntaansa oletusliikenteen tilanteessa ja kaksi kaukojunaa tunnissa maksimiliikenteen tilanteessa. Näiden lisäksi on suunniteltu yksi kansainvälinen Allegro-juna ja 2 lähijunaa, joista joka toinen jatkaa Kouvolaan. Allegro-junien liikenteen tulevaisuus pitkällä tähtäimellä on raportin julkaisuhetkellä hyvin epäselvä. Niille suunniteltuja aikataulupaikkoja on mahdollista hyödyntää myös esimerkiksi muuhun Itä-Suomen nopeaan liikenteeseen.

Taulukko 8. Helsinki–Lahti–Kouvola-välin junamäärät oletus- ja maksimiliikenteessä.

Junan yhteysväli	**Oletusliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta**	**Maksimiliikenteen junamäärä per ruuhkatunti per suunta**
Helsinki–Lahti–Kouvola	1 kaukojuna 1 Allegro 2 lähijunaa (joka toinen Kouvolaan asti)	2 kaukojunaa 1 Allegro 2 lähijunaa (joka toinen Kouvolaan asti)
Yhteensä	**4 junaa**	**5 junaa**

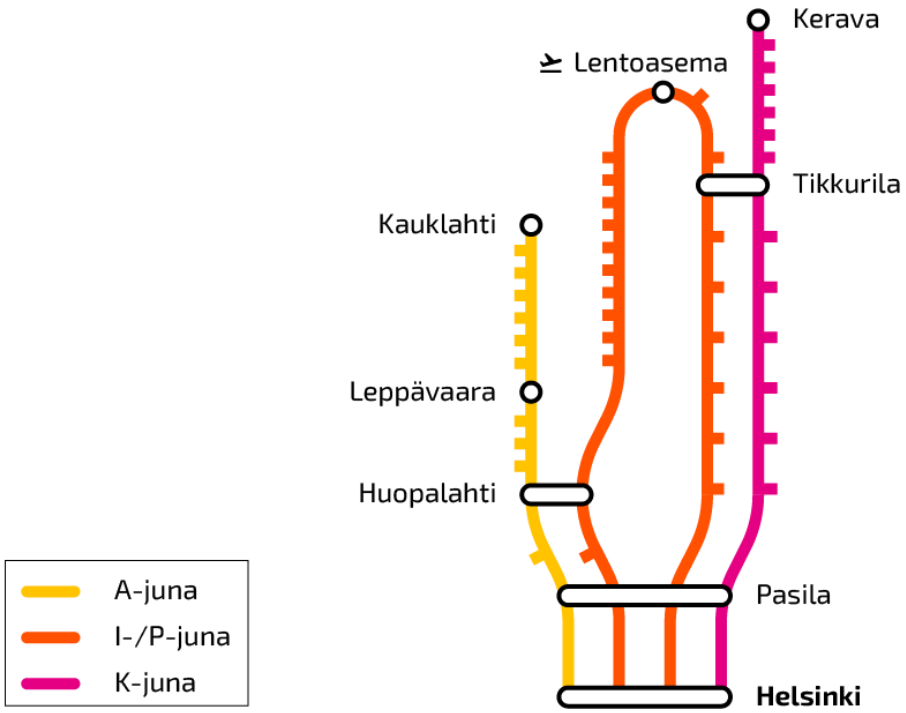
Lähijunista toinen kulkee myös ruuhkatuntien ulkopuolella (Kouvolaan) ja maksimiliikenteen kahden kaukojunan tilanteessa vain toinen on kulussa ruuhka-aikana. Allegrot on suunniteltu myös ruuhkatuntien ulkopuolelle. Kuvassa 18 on esitetty Helsinki–Lahti–Kouvola-osuuden eri junayhteydet.



Kuva 18. Helsinki–Lahti–Kouvola-osuuden eri junayhteydet.

3.2.5 Kaupunkiradan liikenteen junamäärät

Helsingin ratapihan länsipuolen kaupunkiraiteita liikennöivät tässä työssä A-junat Kauklahteen ja I/P-junat lentoasemalle. Itäpuolelta ajetaan niin ikään I/P-junia lentoasemalle sekä K-junia Keravalle. I- ja P-junat ovat käytännössä samaa linjaa Helsingistä Kehärataa pitkin Lentoasemalle ja edelleen takaisin Helsinkiin toista kautta, mutta linjatunnuksella erotetaan junien ajosuunta Kehäradalla. Kaupunkijunat pysähtyvät kaikilla väliasemilla. Kuvassa 19 on havainnollistettu kaupunkiratoja liikennöivät linjat.



Kuva 19. Kaupunkiradoilla liikennöitävät linjat.

Kaupunkiratojen kapasiteettia tutkitaan tässä työssä kolmella eri liikennetiheydellä. Linjakohtaisesti tutkitaan edellytyksiä ajaa 8, 10 ja 12 vuoroa tunnissa, mikä tarkoittaa vastaavasti linjoittain 7,5 minuutin, 6 minuutin ja 5 minuutin vuorovälejä. Koska ratapihan kummallakin puolella on kaksi liikennöitävää linjaa, vuorotiheys Helsinki–Pasila-välillä on kumpaakin kaupunkirataparia (läntistä ja itäistä) kohden kaksinkertainen verrattuna linjakohtaiseen tiheyteen. Kaupunkilinjojen aikataulut sovitetaan myös siten, että rataosuuksilla, joissa linjat kulkevat yhtä aikaa, saadaan tasainen vuoroväli. Siten kaupunkiliikenteen linjojen junien vuorovälit Helsinki–Pasila-välillä eri tarkasteluvaihtoehdoissa ovat 3,75 min, 3 min ja 2,5 min kummallakin puolella ratapihaa. Simulointitarkastelujen yhteydessä viitataan viimeksi mainittuihin vuoroväleihin, koska linjojen yhteensovitettu liikenne ei eroa toisistaan simuloinnin tarkastelualueella.

4 Skenaariotarkastelut – Perusskenaario

Tässä luvussa tarkastellaan luvussa 3 esitellyn perusskenaarion aikataulusuunnittelua ja simulointia. Perusskenaariolle on suunniteltu oletus- ja maksimiliikenteen junamäärille erilliset aikataulurakenteet ja molemmat liikennemäärät on perus- ja häiriösimuloitu. Aikataulusuunnittelusta käsitellään keskeisimmät huomiot ja suunnitteluun vaikuttaneet reunaehdot. Simuloinnista käsitellään perussimuloinnin keskeiset havainnot ja raiteistonkäytön lopputulos sekä häiriösimuloinnista saadut viivejakaumat.

4.1 Oletusliikenne

Perusskenaariossa oletusliikenteelle suunniteltiin ensin aikataulurakenne ja Helsingin ratapihalle raiteistonkäyttösuunnitelma. Pyrkimyksenä on allokoida junille, jotka kulkevat samaa reittiä samalla pysähtymiskäyttäytymisellä aina sama tietty raide, mutta ratapihan rakenne ei kuitenkaan mahdollista tätä täysin ja poikkeuksia on tehty tarvittaessa. Aikataulurakenne ja raiteistonkäyttö analysoitiin perus- ja häiriösimuloinnein, ja pieniä muutoksia tehtiin sekä aikatauluihin että raiteistonkäyttöön simuloinnin tulosten perusteella.

Lisäksi perusskenaariossa suunniteltiin Ilmalan ja Helsingin ratapihan väliset varikkosiirrot luvussa 1.2 kuvatulla menetelmällä. Varikkosiirtojen määrällinen tarve suunniteltiin aikataulurakennetta tehtäessä ja simulointityökalun avulla määritettiin tarkemmat varikkosiirtojen ajankohdat.

4.1.1 Aikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelu on tehty luvussa 1.2.1 kerrotun mukaisesti. Tässä luvussa on esitetty ratasuunnittain keskeisimpiä havaintoja. Tarkemmat aikataulugrafiikat löytyvät liitteestä 1.

Aikataulusuunnittelussa on hyödynnetty Helsingin ratapihan osalta *neljän minuutin sääntöä,* josta on kerrottu tarkemmin luvussa 2. Simuloinneilla on havaittu, että sääntö pätee myös tilanteessa, jossa tässä työssä esitetyt infrastruktuurin kehittämistoimenpiteet on toteutettu ja ETCS on käytössä. Junaliikenteen suunnitteluun saadaan kuitenkin nykytilaa enemmän vapauksia raideryhmien määrän kasvaessa yhdellä otettaessa huoltoraiteet junaliikenteen käyttöön. Kaupunkiratojen liikenteessä suunnitteluperuste on erilainen, ja se on kuvattu tarkemmin kaupunkiratojen liikennettä käsittelevien lukujen yhteydessä.

Rantaradan ja Turun suunnan junat

Turun kaukojunat sekä Lohjan/Vihdin lähijunat on suunniteltu kulkemaan uutta kaksiraiteista ESA-rataa pitkin. Turkuun ja Turusta on suunniteltu kaksi kaukojunaa tunnissa, joista toinen on nopea, ruuhka-aikoina kulkeva express-juna, joka pysähtyy Helsingin ja Pasilan lisäksi vain Kupittaalla ja Turussa. Express-junalle on mahdollista lisätä pysähdys myös Leppävaaraan, mutta tämä lisää matka-aikaan 3 minuuttia. Hitaampi intercity-juna pysähtyy edellä mainittujen asemien lisäksi Leppävaarassa, Vihdissä tai Lohjalla sekä Salossa. Kaukojunien lähtöajat on suunniteltu niin, että ne ovat palvelutason näkökulmasta mahdollisimman optimaalisin lähtövälein. Täten vuorojen lähtöjen välissä on vuorotellen 25 ja 35 minuuttia.

Kirkkonummen lähijunat kulkevat tasaisella 15 minuutin vuorovälillä ruuhka-aikoina ja ruuhka-aikojen ulkopuolella 30 minuutin vuorovälillä. Myös Lohjan/Vihdin lähijunat kulkevat tasaisella 30 minuutin vuorovälillä.

Kaksi kauko- ja lähiliikenteen käytössä olevaa raidetta Espoon ja Helsingin välillä mahdollistaa eri nopeuksisten kauko- ja lähijunien kulkemisen vakiominuuttiaikataululla. Aikataulusuunnittelua rajoittavia tekijöitä ovat kuitenkin Lohjalla/Vihdissä pysähtyvien junien yhteensovitus sekä Lohja/Vihti–Espoo-välin liikenteeseen että Espoo–Helsinki-liikenteeseen; ko. rataosuuksilla kulkee tunneittain kaksi kaukojunaa sekä alueen lähijunat (Lohjan/Vihdin ja Kirkkonummen lähijunat), joilla on kaikilla erilaiset pysähtymiskäyttäytymiset. Kirkkonummen lähijunien tasainen 15 minuutin vuoroväli on todettu tarpeelliseksi ja tarkoituksenmukaiseksi, joten aikataulusuunnittelussa on yhteensovitettu kaikki muu liikenne näiden vuorojen väleihin.

Turun express-junan matka-aika on 10 minuuttia lyhyempi kuin IC-junan (1 h 15 min vs. 1 h 25 min). Täten express-junan on lähdettävä joko ennen IC-junaa lähtöasemaltaan tai junien välissä on oltava riittävästi väliä, jotta hitaampi IC-juna ei hidasta express-junan kulkua. Aikataulusuunnittelussa on tunnistettu, että näiden kaukojunien ajattaminen hyvin lähellä toisiaan ei ole mahdollista, sillä Kirkkonummen lähijunien tasainen 15 minuutin vuoroväli Espoo–Helsinki-välillä asettaa rajoitteita siihen, kuinka tiheään muut junat voivat kyseisellä osuudella kulkea. Kaukojunien peräkkäin ajattaminen ei myöskään ole palvelutason näkökulmasta järkevää.

Lohjan/Vihdin lähijunien matka-aika on huomattavasti pidempi kuin express- ja IC-junien. Täten lähijunan on lähdettävä Lohjalta/Vihdistä mahdollisimman pian samaan suuntaan kulkevan kaukojunan jälkeen, jotta se ei ole seuraavan kaukojunan edessä myöhemmin Espoon ja Helsingin välillä. Samaten Helsingistä on lähijunan lähdettävä riittävän paljon kaukojunaa aiemmin, jotta se ehtii määräasemalleen ennen ohi ajavaa kaukojunaa. Vilkas liikenne Espoon ja Helsingin välisellä rataosuudella asettaa myös reunaehtoja sille, missä ajankohdissa lähijunien on mahdollista kulkea. Vaikka Lohjan/Vihdin ja Helsingin välinen lähijunaliikenne on suunniteltu 30 minuutin tasaisin vuorovälein, on syytä huomioida, että Lohjalla/Vihdissä pysähtyy myös yksi kaukojuna tunnissa, joka saapuu Helsingin suunnasta 5 minuuttia lähijunan jälkeen ja Turun suunnasta tullessaan lähtee 5 minuuttia ennen lähijunaa. Lohjalla/Vihdissä lähijunille riittää yksi sivuraide.

Edellä esitettyjen aikataulusuunnittelun reunaehtojen lisäksi on huomioitu lähijunakaluston kääntöaikojen riittävyys sekä Helsingissä että Kirkkonummella ja Lohjalla/Vihdissä. Kirkkonummen junilla on Helsingissä 9 minuutin kääntöaika, Kirkkonummella 5 minuutin. Viiden minuutin kääntöaika on ehdoton minimi, mutta mahdollinen. Lohjalla/Vihdissä kaluston kääntöaika on 14 minuuttia ja Helsingissä näiden lähijunien kääntöaika on 20 minuuttia. Turun kaukojunien aikataulurakennetta ei ollut mahdollista suunnitella niin, että sekä Helsingin että Turun päässä olisi sama kalusto kääntynyt seuraavaan vuoroon. Turussa express-juna sekä lähtee että saapuu samalla minuutilla, täten Turussa on oltava toinen express-kalusto jo odottamassa. IC-juna lähtee Turusta 10 minuuttia ennen seuraavan IC-junan saapumista Turkuun, joten myös tässä tapauksessa on Turussa oltava IC-kalusto valmiina. Helsingissä express-junan kääntöaika on 30 minuuttia ja IC-junan 20 minuuttia.

Tampereen suunnan junat

Tampereen suunnan junien aikataulusuunnittelussa on oletettu, että koko Helsinki–Tampere-väli on neliraiteinen ja uudet raiteet on rakennettu nykyiseen ratakäytävään. Tällä ratkaisulla kaikki suunniteltu liikenne saadaan mahtumaan myös ruuhkatunneille, mukaan lukien yksi tunnittainen tavarajuna suuntaansa sekä yöjunia aamuun (Tampereelta Helsinkiin) ja iltaan (Helsingistä Tampereen suuntaan). Ilman neliraiteisuutta ei radan kapasiteetti riitä kaikille junille työssä muodostetuilla liikennerakenteilla.

Tampereen tasatunnin vaihtoyhteydet on suunniteltu muille kaukojunille paitsi väliasemilla harvaan pysähtyvälle junalle. Näin varmistetaan jatkoyhteyksien sujuvuus. Täten Tampereelta Helsinkiin päin kulkevat kaukojunat lähtevät tasatunnin jälkeen ja Helsingistä Tampereelle kaukojunat saapuvat ennen tasaa. Sama sääntö pätee myös Turku–Tampere-junille, jotka liittyvät Päärataan Toijalassa. Tasatuntisääntö tuo rajoitteita aikataulusuunnitteluun, sillä junia on tasatunnin molemmin puolin useita hyvin lähellä toisiaan ja yhden junan aikataulumuutos vaikuttaa herkästi myös lähellä kulkevan toisen junan aikatauluun.

Koska Tampereen suunnan kaukojunat kulkevat Kytömaa–Pasila-välin samaa rataa Lahden suunnan kaukoliikenteen kanssa ja Tampereen suunnan lähijunat kulkevat samaa rataa Lahden suunnan lähijunien kanssa, on Tampereen ja Lahden suuntien liikenne suunniteltava kokonaisuutena ja huomioitava toisesta suunnasta aiheutuvat rajoitteet. Nyt suunnitellussa aikataulurakenteessa on useita kohtia, joissa Lahden suunnan ja Tampereen suunnan junien välillä on Lentoradalla vain 4 minuuttia, joka toimii hyvin, mutta tätä lyhempi väli ei olisi enää toimiva. Pääradalla Z-junien on kuljettava 15 minuutin välein kulkevien R-junien välissä. Kun sekä edellä ajavaan että takana tulevaan on oltava vähintään 4 minuuttia väliä, jää käytännössä R-junien väliin vain 7 minuutin ikkuna, johon Z-junan voi sijoittaa.

Aikataulusuunnittelussa merkittävä rajoite aiheutuu R-junista, joille on tarkoituksenmukaista saada 15 min tasainen vuoroväli. Koska yksi R-juna tunnissa jatkaa Tampereelle asti, on R-junien osalta huomioitava yhteensovitus koko rataosuudella. Järvenpää on päätepysäkkinä puolella lähijunista, mikä aiheuttaa haasteita aikataulusuunnitteluun johtuen Järvenpään raiteistosta. Järvenpään kohdalla on yhteensä neljä raidetta, joista keskimmäiset kaksi ovat kaukoliikenteen käytössä ja reunimmaiset kaksi lähiliikenteen käytössä. Vain reunimmaisilla raiteilla on laiturit. Tavaraliikenne voi kulkea sekä kauko- että lähiliikenteen raiteilla. Kun lähijunayksikkö saapuu Järvenpäähän, joutuu se jäämään joko meno- tai paluusuunnan linjaraiteelle käännön ajaksi, mikä estää muun liikenteen kyseisellä raiteella. Tämän vuoksi Järvenpään käännöt on suunniteltava tapahtumaan ripeästi ja mielellään siten, että kyseisenä ajanjaksona ei Järvenpään ohitse kulje tavaraliikennettä. Aikatauluissa on myös huomioitava, että joko junan saapuessa tai lähtiessä on mahdollisuus ylittää kaukoliikenteen raiteet.

Aika-ajoin on ollut esillä Järvenpään lisäksi myös muita pääteasemia R-junien kaltaiselle, mutta etelämpänä päättyvälle, liikenteelle. Myös muilla pääteasemilla on vastaavan kaltaisia rajoitteita aikataulusuunnittelulle kuin Järvenpäässä on, sillä liikennepaikoilla ei ole erillisiä sivuraiteita junien kääntöä varten Hyvinkäätä lukuun ottamatta. Osalla liikennepaikkoja myös raiteenvaihtopaikat sijaitsevat vain liikennepaikan pohjoispuolella, mikä hankaloittaisi niiden käyttämistä pääteasemina.

Tavarajunien kannalta Riihimäki–Kytömaa-osuus on pullonkaula, sillä tavarajunien on käytettävä sekä kauko- että lähiliikenteen raiteita ja vaihdettava näiden välillä kesken matkan. Tavarajunat eivät voi liikennöidä koko matkaa vain kauko- tai lähiliikenteen raiteita, sillä suurista nopeuseroista ja tiheästä liikenteestä johtuen tälle ei ole tilaa.

Koska lähtökohdaksi on otettu tilanne, jossa koko rataosuus on neliraiteinen, ei hyvin lähellä toisiaan peräkkäin kulkevista junista aiheudu merkittävää haittaa aikataulusuunnittelulle nopeampien ja hitaampien junien voidessa käyttää eri raiteita. Eniten rajoitteita aiheutuu tavaraliikenteen suunnitteluun, jotta voidaan varmistaa, etteivät tavarajunat hidasta takanaan tulevien nopeampien matkustajajunien kulkua. Myös Lentoradalla riittävien välien saaminen samaan suuntaan kulkevien junien välille aiheuttivat rajoitteita aikataulusuunnitteluun, vaikka junilla ei nopeuseroja Lentoradalla olekaan.

Aikataulusuunnittelussa on varmistettu riittävät kääntöajat junille. Kaikissa tilanteissa kääntöajat eivät ole kuitenkaan kalustokierron tehokkuuden kannalta parhaat mahdolliset, mikä on kuitenkin välttämätöntä mm. Tampereen tasatunnin vaihtoyhteyksien toteutumisen vuoksi. Helsingissä R-junilla on 10 minuutin kääntöaika, jolloin raide ehtii olla 5 minuuttia tyhjänä ennen seuraavan R-junan saapumista. Tämä on tarkoituksellista, sillä näin R-junilla voidaan suurimman osan vuorokaudesta käyttää Helsingissä vain yhtä laituriraidetta, jolloin laituriraidekapasiteettia ei käytetä turhaan.

Helsingin pään aikataulujen suunnittelua on helpottanut se, että lähi- ja kaukojunat kulkevat omissa raideryhmissään, minkä vuoksi lähi- ja kaukoliikenteen aikataulut voidaan suunnitella Helsingin päässä erillisinä ja toisistaan riippumatta. Ainoastaan yöjunien kohdalla on täytynyt huomioida molempien raideryhmien aikataulut.

Aikataulusuunnittelussa on voitu pääosin noudattaa neljän minuutin sääntöä (jota on kuvattu tarkemmin luvussa 2), jonka on todettu olevan pätevä suunnitteluperuste myös tulevaisuudessa, kun tässä työssä huomioidut infrastruktuurin kehittämistoimenpiteet on huomioitu. Kuitenkin Tampereen suunnan tiheään pysähtyvien IC-junien ja Lahden suunnan IC-junien välillä tämä ei laadituissa aikatauluissa täyty, minkä vuoksi tästä koituva rajoite on otettu erikseen huomioon raiteistonkäytön suunnittelussa.

Helsingissä Tampereen suunnan harvaan pysähtyvien IC-junien kääntöaika on 14 minuuttia. Tampereen suunnan tiheään pysähtyvien IC-junien kääntöaika Helsingissä on yli tunnin, sillä muuten kääntöaika jäisi vain noin seitsemään minuuttiin, jonka on todettu olevan liian vähän. Tampereen tasatunnin vaihtoyhteyksien toteutumisen takaamisen vuoksi aikatauluja ei voida laatia siten, että sama juna pystyisi kääntymään n. 15–30 minuutin sisällä takaisin. Tampereen suunnan expressjunien kääntöaika Helsingissä on noin 50 minuuttia ja Lahden suunnan IC-junien kääntöaika noin 45 minuuttia.

Järvenpäässä J-junien kääntöaika on 12 min, Riihimäellä R-junien tunti ja Tampereella hieman alle tunti. Lähijunien kalustokierto ei ole siis erityisen tehokas liikenteen pohjoispään päätepisteissä, mikä johtuu osittain Helsingin pään tehostamisesta ja osin linjaliikenteen aiheuttamista rajoitteista junan aikatauluun. Kaukojunien kääntöaikoja Tampereella ei ole erikseen arvioitu, sillä suurin osa junista tullee jatkamaan näiltä liikennepaikoilta muihin suuntiin: Seinäjoelle, Jyväskylään ja mahdollisesti Poriin.

Yöjunat on sovitettu aikataulurakenteeseen viimeisenä, sillä niitä kulkee päivässä vain kaksi etelään ja kaksi pohjoiseen. Yöjunat etelään on saatu suunniteltua ilman ylimääräisiä pysähdyksiä, mutta Järvenpään ja Pasila tavaran väli on melko tiukka yöjunien kulkiessa kahden R-junan välissä. Normaalit suunnittelun reunaehdot kuitenkin täyttyvät, joten aikataulu on toimiva. Pasila tavara toimii "puskurina", jossa yöjuna voi odottaa sopivaa rakoa päästä Helsinkiin. Pasila tavarassa myös irrotetaan yöjunien autovaunut. Pasila tavara – Helsinki asema -väli on varsin hankala yöjunille, jotka toisaalta ovat huomattavasti hitaampia pysähtymään Pasilassa kuin lähijunat ja toisaalta joutuvat kulkemaan Helsingissä ratapihan poikki. Junille on kuitenkin löydetty toimivat aikataulut. Yöjunien mahduttamiseksi aamusta on poistettu yksi tavaraliikenteen juna (muuten tavarajunat kulkevat tunneittain).

Pohjoisen suuntaan yöjunille on lisätty pysähdys Keravalla, jossa ne päästävät nopeammat lähijunat ohi. Ilman tätä lisäpysähdystä Pasila tavaran ja Järvenpään väli olisi ollut liian tiukka nykyisillä ajoajoilla.

Lahden/Kouvolan suunnan junat

Lahden ja Kouvolan suunnan liikenteen suunnittelua on rajoittanut erityisesti lähi- ja kaukojunien suuret nopeuserot. Koska Helsingin ja Kouvolan välinen matka on varsin pitkä, on nopeuserolla suuri merkitys. Tämän vuoksi aikataulurakenne on suunniteltu siten, että IC-juna ja Allegro kulkevat peräkkäin, jolloin Z-junat voivat liikennöidä tasaisella 30 minuutin vuorovälillä. Allegron tapauksessa kahden kaukojunan kulkemisesta perättäin ei koidu haittaa, sillä Allegrossa on ollut mahdollista matkustaa vain rajan ylittäviä matkoja. Aikataulusuunnittelu on laadittu aikana, kun Allegro vielä kulki.

Yhteensovituksessa on huomioitava tarkasti myös Lento- ja Pääradan liikenne. Tätä yhteensovitusta on kuvattu edellä tarkemmin.

Z-junilla kääntöaika Helsingissä yli 20 minuuttia. Lahden päässä Z-junille tulee täsmälleen tunnin kääntöaika. Kouvolassa kääntöaika on n. 25 min. Lähijunaliikenteen kalustokierron tehokkuuteen pätee sama, mitä on todettu R-junien osalta aiemmin. Kaukojunien kääntöaikoja ei ole arvioitu Kouvolassa, sillä suurin osa junista jatkanee Pieksämäelle, Lappeenrantaan tai mahdollisesti Vainikkalaan.

Tavaraliikennettä ei ole nykyisellä infrastruktuurilla ja nyt tarkastelluilla liikennemäärillä saatu sovitettua aikataulurakenteeseen. Ongelmaksi koituvat Oikoradan huonot ohituspaikat. Tavarajunien mahduttaminen aikataulurakenteeseen näillä liikennemäärillä edellyttäisi todennäköisesti uusia liikennepaikkoja Oikoradalle. Koska tämän työn painopiste ei ole Oikoradan kehittämisessä, päätettiin tavarajunat jättää tarkastelusta pois.

4.1.2 Simulointi

Perussimulointi

Aikataulujen toimivuus varmistettiin simuloimalla liikenne yksityiskohtaisesti aikataulurakenteen mukaisesti. Simuloinnin aikana havaitut konfliktit korjattiin ja aikatauluja päivitettiin perussimuloinnin huomioiden perusteella. Myöhemmissä luvuissa esitetyt simulointitarkastelut on tehty vastaavalla tavalla. Simuloinnin aluksi todettiin, että aikataulurakenne tukee suurimmalta osin Pasilan aseman kohdalla yli minuutin mittaisten varautumisvälien toteutumista. Varautumisvälin tavoitteeksi

asetettiinkin simuloinnin perusteella tehdyissä muutoksissa 1 minuutti. Tästä sallittiin kuitenkin poikkeuksia niin, että 30 sekuntia oli ehdoton raja, mikäli kohtuudella tehtävissä olevin muutoksin ei minuuttia voitu saavuttaa.

Oletusliikenteellä ei päästy joka tilanteessa tavoiteltuun minuutin mittaiseen varautumisväliin. Kirkkonummelle Helsingistä lähtevän ja samalle raiteelle saapuvan lähijunan väliin jäävä aika on simulaation perusteella noin 30 sekuntia. Rantaradan muu liikenne sekä lähijunien tiukka aikataulu rajoittavat Kirkkonummen lähijunien lähtöaikojen muuttamista ilman negatiivisia vaikutuksia muuhun liikenteeseen.

Toinen toistuva varautumisväliltään niukka kohta on Pasilan asemalla raiteella 5. Lentoradalle lähtevät allegrot ja Lahden IC:t ovat niin lähekkäin aikataulussa, että varautumisväliksi jää joissain tilanteissa noin 30 sekuntia. Sama tilanne toistuu myös IC:n jälkeen lähtevän express-junan kanssa.

Suunnitellut aikataulut todettiin perussimuloinnissa kuitenkin toimiviksi ja edellä mainitut varautumisvälien hankaluudet vaikuttavat korkeintaan tapauskohtaisesti häiriöherkkyyteen. Lopullinen aikataulun mukainen raiteistonkäyttökaavio on esitetty liitteessä 6.

Oletusliikenteessä raide 13 on jätetty tyhjäksi häiriötilanteiden varalta. Myös raiteet 8, 9 ja 11 voivat mahdollistaa tapauskohtaisesti häiriötilanteisiin reagoimisen. Raide 8 on pituudeltaan yöjunille parhaiten soveltuva, joten kaikki yöjunat on suunniteltu tälle raiteelle. Raiteet ovat käytössä lähinnä ruuhka-aikoina, joten niitä voidaan hyödyntää lyhytkestoisempiin, ruuhka-aikojen ulkopuolella tapahtuviin häiriötilanteisiin.

Raiteilla 6 ja 7 on säännöllisesti liikennettä pitkin päivää, mutta myös hyödynnettävissä olevia pidempiä vapaita ajankohtia löytyy. Aamulla ja illalla jompikumpi raiteista on yleensä vapaana ja vapaanaolot ovat kestoltaan noin 40 minuutin mittaisia. Aamupäivällä kymmenen jälkeen raiteen 6 vapaanaolot kasvaa hetkellisesti noin 50 minuuttiin, kun taas raiteella 7 on melkein 3 tuntia käytettävissä olevaa tilaa.

Z- ja R-junien käytössä olevat raiteet 4 ja 5 ovat jatkuvassa käytössä aamusta iltaan. Lähtevien ja saapuvien junien välillä raiteet käyvät vapaana yleensä vain muutamia minuutteja. Sama toistuu Rantaradan puolella raiteilla 14 ja 16, joissa liikennöi Lohjan sekä Kirkkonummen lähijunat säännöllisen tiheästi. Myös raiteella 15 vuorottelevat Turun suunnan express- ja IC-junat jättävät suurimman osan päivästä vain muutaman minuutin vapaita rakoja.

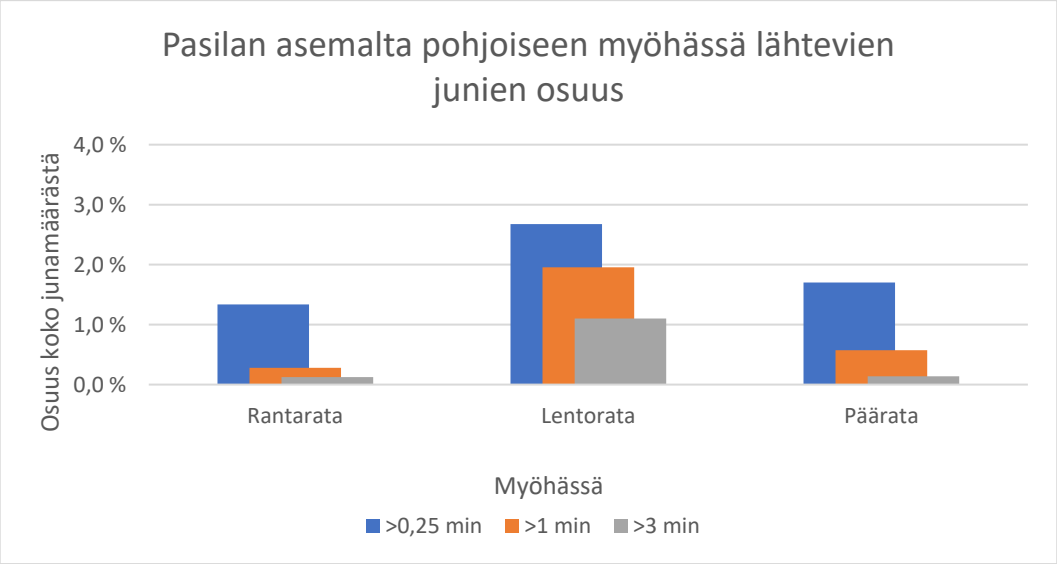
Raiteistonkäyttö on suunniteltu siten, että kaupunkiliikenne on raiteilla 1–3 sekä 17–19. Pääsääntöisesti Päärataa käyttävä liikenne on raiteilla 4–6, Lentorataa käyttävä liikenne raiteilla 7–12 ja Rantaradan liikenne raiteilla 14–16. Näihin on kuitenkin tehty tapauskohtaisia muutoksia perussimuloinnissa havaittujen konfliktitilanteiden takia.

Häiriösimulointi

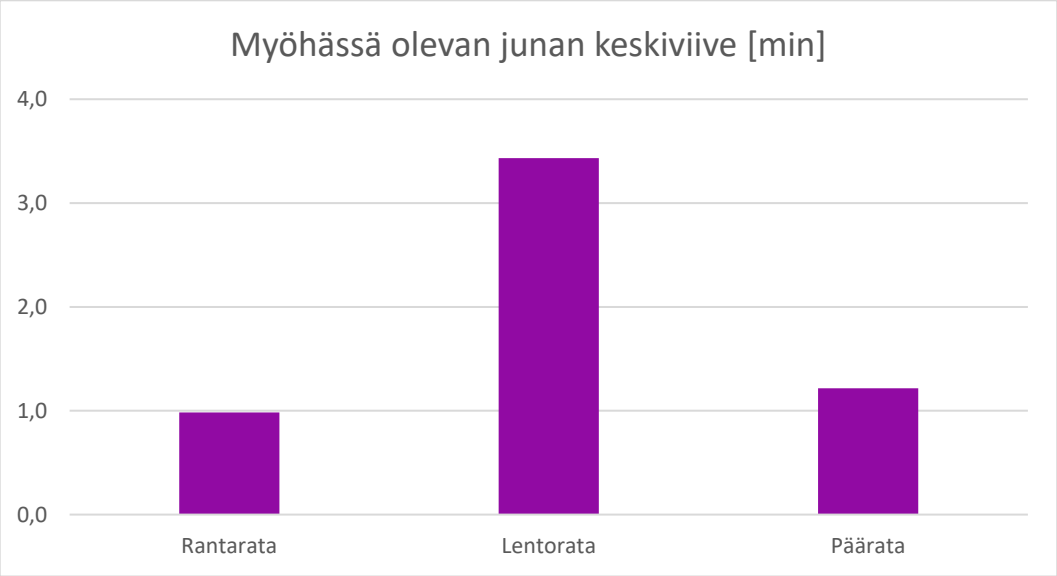
Häiriösimulointien perusteella tarkasteltiin Pasilan asemalta pohjoisen suuntaan lähtevien junien myöhästymisjakaumia. Pasilan aseman lähtöviiveen todettiin kuvastavan hyvin Helsinki–Pasila-välin sekä ratapihojen yleistä toimivuutta, kun myöhästymisjakauman mukaisesti myöhässä kulkevat junat käyvät Helsingissä kääntymässä ja jatkavat matkaa takaisin Pasilaan ja siitä eteenpäin. Pasilasta myöhässä

lähtevistä junista taulukoitiin myöhästyneiden junien osuus, sekä myöhässä olevan junan keskiviive. Luvut jaettiin rataosuuksien mukaisesti, jolloin saatiin kunkin rataosuuden toimivuus esitettyä toisiinsa vertailukelpoisina. Myös ruuhka-aikojen myöhästymisosuuksia tarkasteltiin erikseen, mutta jakaumat eivät merkittävästi eronneet koko päivän liikenteestä. Tuloksissa myöhästyneeksi junaksi on luokiteltu juna, joka on aikataulustaan vähintään 15 sekuntia myöhässä Pasilasta lähtiessään. Myöhemmissä luvuissa esitetyt simulointitarkastelut on tehty vastaavalla tavalla.

Myöhästyneiden junien osuuksissa on eritelty junat rataosuuksien lisäksi myös myöhästymisen pituuden mukaan. On syytä huomata, että pienemmät myöhästymisrajat sisältävät kaikki rajaa pidemmät myöhästymiset. Esimerkiksi Lentoradan 1,1 % myöhästymisosuus yli 3 minuuttia myöhässä olevista junista sisältyy myös yli 0,25 minuuttia sekä yli 1 minuuttia myöhässä oleviin. Kaikkien myöhässä olevien junien määrän voi siis suoraan lukea 0,25 minuutin myöhästymisen kohdalta. (Kuva 20, Kuva 21)



Kuva 20. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien osuus koko junamäärästä (oletusliikenne).



Kuva 21. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien keskiviive (oletusliikenne).

Lentorata on osuuksista häiriöherkin niin myöhästyneiden osuuden kuin keskiviiveen osalta. Lentoradalla kaikkien myöhässä olevien junien määrä ei ollut merkittävän suuri muihin ratoihin verrattuna – vain noin yhden prosenttiyksikön suurempi. Merkittävämpi ero oli yli yhden ja yli kolmen minuutin myöhästymisien määrässä. Lentoradalla yli minuutin myöhässä on noin 2 % junista, joka on suurempi kuin Ranta- tai Pääradan kaikkien myöhästyneiden osuus. Tämän voi havaita myös keskiviiveiden lukemista, joissa Lentoradan keskiviive on kumpaakin rataosuutta yli kaksi minuuttia suurempi. Lentoradan suunnan liikenteen suurempaa häiriöherkkyyttä selittää se, että sen kautta kulkee Lentoradan liikenteen lisäksi myös suurin osa Ilmalan varikkoliikenteestä.

Myöhästymiset eivät kuitenkaan kokonaisuutena ole suuria, sillä esimerkiksi VR tulkitsee kaukoliikenteen myöhästyneeksi vasta, kun juna on yli 5 minuuttia jäljessä aikataulusta. Lentoradalla, jossa oli eniten myöhästymisiä, yli 3 minuuttia myöhässä oli vain noin 1 % junista, joten yli 5 minuutin myöhästymiset ovat erittäin harvinaisia.

4.2 Maksimiliikenne

Maksimiliikenteelle suunniteltiin perusskenaariossa aikataulurakenne ja Helsingin ratapihalle raiteistonkäyttösuunnitelma. Oletusliikenteen raiteistonkäyttöä tai aikataulurakennetta ei ollut mahdollista hyödyntää suoraan, vaan rakenne eroaa oletusliikenteen rakenteesta. Maksimiliikenteen aikataulurakenne ja raiteistonkäyttö analysoitiin perus- ja häiriösimuloinnein. Pieniä muutoksia tehtiin sekä aikatauluihin että raiteistonkäyttöön simuloinnin tulosten perusteella.

Lisäksi maksimiliikenteelle suunniteltiin Ilmalan ja Helsingin ratapihan väliset varikkosiirrot luvussa 1.2 kuvatulla menetelmällä. Varikkosiirtojen määrällinen tarve suunniteltiin aikataulurakennetta tehtäessä ja simulointityökalun avulla määritettiin tarkemmat varikkosiirtojen ajankohdat.

4.2.1 Aikataulusuunnittelu

Maksimiliikenteessä aikataulusuunnitteluun pätee samat reunaehdot kuin oletusliikenteellekin. Aikataulusuunnittelun havainnot on esitetty ratasuunnittain. Tarkemmat aikataulugrafiikat löytyvät liitteestä 1.

Rantaradan ja Turun suunnan junat

Turkuun ja Turusta on suunniteltu kaksi kaukojunaa tunnissa ESA-radan kautta, joista toinen on nopea, ruuhka-aikoina kulkeva express-juna, joka pysähtyy Helsingin ja Pasilan lisäksi myös Leppävaarassa, Kupittaalla ja Turussa. Oletusliikenteeseen verrattuna express-juna on laitettu pysähtymään myös Leppävaarassa, sillä radalla kulkevat junamäärät ovat suuremmat kuin oletusliikenteessä ja eri nopeudella ajavia junia on Helsinki–Espoo-välillä paljon. Näiden yhteensovittaminen on helpompaa, kun junien nopeudet ja pysähtymiskäyttäytymiset ovat lähempänä toisiaan. Ilman express-junan Leppävaaran pysähdystä junien yhteensovittaminen todettiin erittäin vaikeaksi ja express-junan ajoaikaa olisi jouduttu joka tapauksessa kasvattamaan. Kaukojunien palvelutaso on huomioitu niin hyvin kuin maksimijunamäärillä se on ollut mahdollista; express ja IC lähtevät Helsingistä tasaisin 30 minuutin välein, Turusta 22 min ja 38 min välein.

Lähijunavuoroihin on oletusliikenteen junamäärien lisäksi suunniteltu myös kaksi Helsingin ja Histan välillä kulkevaa lähijunaa ruuhkatunnissa suuntaansa. Koska sekä lähijunia että kaukojunia on maksimiliikenteen tilanteessa paljon, ja Lohjan/Vihdin, Kirkkonummen sekä Histan lähijunat kulkevat melko tiiviillä vuoroväleillä, kulkee osa junista Espoo–Helsinki-välillä vain 4 min välillä toisiinsa nähden. Kirkkonummen lähijunat kulkevat tasaisella 15 minuutin vuorovälillä ruuhka-aikoina ja ruuhka-aikojen ulkopuolella 30 minuutin vuorovälillä. Myös Lohjan/Vihdin ja Histan lähijunat kulkevat tasaisella 30 minuutin vuorovälillä. Histan lähijunat eivät kulje ruuhkatuntien ulkopuolella.

Aikataulusuunnittelua määrittävimmät tekijät ovat Espoo–Helsinki-välin kapasiteetin riittävyys ja 20 junan sovittaminen yhden tunnin sisälle niin, että lähijunien vuoroväli pysyy tasaisena läpi tunnin ja kaukoliikenne mahtuu myös kulkemaan järkevin vuorovälein. Edellä mainittu junien erilainen pysähtymiskäyttäytyminen ja nopeustaso aiheuttaa selvästi enemmän reunaehtoja aikataulusuunnitteluun kuin mitä se aiheutti oletusliikenteen junamäärissä.

Helsinki–Espoo-välillä kulkevien lähijunien määrä kasvaa oletusliikenteeseen verrattuna neljällä junalla ruuhkatunnissa (Histan junien molemmat suunnat yhteenlaskettuna). Histan ja Lohjan/Vihdin lähijunien yhteensovittaminen Turun kaukojunien kanssa on kokonaisuus, jossa yhdenkin junan aikataulun muuttaminen vaikuttaa hyvin helposti myös muiden junien aikatauluihin.

Koska myös Lohjan/Vihdin lähijunat pysähtyvät Histassa, on aikataulurakenne suunniteltu niin, että junatarjonta olisi niin Lohjalla/Vihdissä kuin Histassakin mahdollisimman tasainen. Vuoroväleihin vaikuttaa kuitenkin myös kaukojunat, joiden on päästävä ohittamaan Histan liikennepaikka neljä kertaa tunnissa (express-junat ja IC-junat molempiin suuntiin). Histasta lähtee Helsinkiin ruuhkatunteina lähijuna vuorotellen 19 ja 11 minuutin välein, Helsingistä Histaan junat lähtevät 10 ja 20 minuutin vuorottelevin välein. Histaan on oletettu rakennetuksi yleissuunnitelmassa varauksena esitetty kolmas sivuraide, jotta sekä ohimenevien kaukojunien

että asemalla pysähtyvien lähijunien liikennöinti on mahdollista. Lohjalla/Vihdissä lähijunille riittää yksi sivuraide.

Kuten oletusliikenteessä, myös maksimiliikenteessä Turun kaukojunien kääntöajat Turussa eivät mahdollista saman kaluston kääntymistä seuraavaan vuoroon; express-junilla kääntöaikaa olisi vain 4 minuuttia ja IC-juna lähtee Turusta aina 11 minuuttia ennen seuraavan vuoron saapumista Turkuun. Helsingin päässä molemmilla kaukojunilla on 20 minuutin kääntöaika. Histan lähijunilla on Histassa 24 minuutin kääntöaika, Helsingissä 10 minuuttia. Kirkkonummen lähijunilla on Kirkkonummella 8 minuutin kääntöaika ja Helsingissä 10 minuutin. Lohjan/Vihdin lähijunilla kääntöaika on Lempolassa 30 minuuttia ja Helsingissä 10 minuuttia.

Tampereen suunnan junat

Maksimiliikenteen Tampereen suunnan junien aikataulusuunnittelussa on tehty sama oletus, kuin oletusliikenteen tilanteessakin, että koko Helsinki–Tampere-väli on neliraiteinen ja uudet raiteet on rakennettu nykyiseen ratakäytävään. Kaksiraiteisessa tilanteessa kaikki maksimiliikenteen junat eivät mahtuisi radalle muun muassa hyvin erilaisten pysähtymiskäyttäytymisten ja nopeustasojen takia. Myös Tampereen tasatunnin ympärille sijoittuva liikennerakenne on huomioitu, mutta osa junista on sijoitettu myös muihin ajankohtiin ratakapasiteetin ja palvelutason takia.

Aikataulusuunnittelussa pätee pitkälti se, mitä oletusliikenteen suunnittelun kohdallakin on todettu: rajoitteet ja reunaehdot ovat pitkälti samat. Erona maksimiliikenteeseen on toinen tunnittainen express-juna. Se on saatu sijoitettua lähtemään Tampereelta aina puolelta ja saapumaan minuuttia yli puolen. Tampereen ja Helsingin välisillä express-vuoroilla olisi siis lähes tasainen 30 minuutin vuoroväli.

Lähijunissa Järvenpään vuoroihin pätee sama, kuin mitä on todettu oletusliikenteen kohdalla. Maksimiliikenteellä on erityisesti huomioitava, että lähijunien käännöt eivät varaa Helsingin laituriraiteita tarpeettoman pitkään, jotta raiteiston riittävyys ei muodostu pullonkaulaksi. Tästä syystä R-junien kääntöaika on asetettu 10 minuuttiin Helsingissä. Näin R-junat varaavat suurimman osan päivästä vain yhden raiteen Helsingistä, joskin kaluston kokoonpanomuutoksia tehtäessä toinen raide on tarpeen. R-junaliikenteen pohjoisten päätepisteiden kääntöajat ovat vastaavat kuin oletusliikenteellä. Työn aikana tarkasteltiin myös mahdollisuutta yhdistää R- ja Z-junien kalustokierto, mutta sillä ei todettu olevan vaikutusta Helsingin laituriraidekapasiteetin tarpeeseen työssä käytetyllä liikennerakenteella, joten kalustokierrot pidettiin erillisinä.

Maksimiliikenteellä korostuu erityisesti Helsingin laituriraiteiden tehokas käyttö. Aikataulut on suunniteltava siten, että laituriraiteita ei varata tarpeettomasti. Laituriraidekapasiteetin säästämiseksi on Tampereen harvaan pysähtyvien ja tiheään pysähtyvien IC-junien kalustokierrot yhdistetty. Tämä luonnollisesti edellyttää, että kyseisiä junia liikennöi sama operaattori ja niiden kalusto on vastaavanlaista. Kääntöajat ovat lyhimmillään 12 minuuttia. Tampereen express-junilla kääntöajat ovat lyhimmillään 15 minuuttia.

Maksimiliikenteen junamäärillä Helsingin pään liikenne on suunniteltava erityisen huolella, jotta kauko- ja lähiliikenteen kulku Helsingin ratapihalla on sujuvaa. Suunnittelua rajoittaa myös yhteensovitus Lahden suunnan liikenteen kanssa; lähijunat Lahteen ja Kouvolaan käyttävät samaa raiteistoa (Pääratata) kuin Riihimäen ja Järvenpään lähijunat ja kaukojunat samaa Lentorataa kuin Tampereenkin suunnan

kaukojunat. Kapasiteetti riittää, mutta aikataulusuunnittelussa pienet muutokset yhteenkin junaan vaikuttavat hyvin herkästi kaikkiin muihin samalla radalla kulkeviin juniin ja niiden aikatauluihin. Aikataulurakenne on siis Helsinki–Tampere- ja Helsinki–Lahti–Kouvola-väleillä ns. yhteinen kokonaisuus.

Yöjunat on saatu sovitettua liikennerakenteeseen. Etelään päin kulkeville yöjunille on lisätty pysähdys Keravalle, jotta Järvenpää–Pasila-väli on saatu toimimaan. Pohjoisen suuntaan ylimääräistä pysähdystä ei tarvita.

Lahden/Kouvolan suunnan junat

Lahden suunnan kauko- ja lähijunien nopeuseroista johtuen maksimiliikenteen junamäärät osoittautuivat niin suuriksi, että Z-lähijunien nopeutta tulisi nostaa oletusliikenteessä suunnitellusta nopeudesta. Oletusliikenteessä lähijunien nopeustasoksi on oletettu nykyisen kaluston mukainen, mutta kaluston huippunopeus tulee tulevaisuudessa kasvamaan uuden kaluston myötä. Huippunopeuden nostamista ei siis ole todettu ongelmaksi.

Kaukojunien ja lähijunien nopeuserojen takia saman suunnan junien välisiä aikoja ei voida juuri muuttaa, vaan muutos yhteen junaan edellyttää usein muutosta myös muihin saman suunnan juniin. Lisäksi Tampereen suunnan liikennettä on yhteensovitettava Lahden junien kanssa, kuten aiemmassa luvussa on mainittu.

IC-junien ja Allegrojen perättäinajosta pätee sama, mitä on todettu oletusliikenteen yhteydessä. Tämän lisäksi on kuitenkin suunniteltu aikatauluihin myös toinen IC-juna per ruuhkatunti.

Lahden suunnan junien vuoroväleistä saadaan lähes tasaiset; lähiliikenteen vuoroväli on ruuhka-aikaan etelän suuntaan tasainen 30 min, pohjoiseen vuoroväli vaihtelee 27 ja 33 min välillä. Vastaavasti myös IC-junien vuoroväli on etelään 30 min ja pohjoiseen 27 ja 33 min. Kääntöajat muuttuvat merkittävästi oletusliikenteestä: Lahdessa Z-junien kääntöaika on 8 minuuttia ja Kouvolassa noin 50 minuuttia.

4.2.2 Simulointi

Perussimulointi

Perussimuloinnissa käytetyt periaatteet on esitetty luvussa 4.1.2 ja pätevät myös maksimiliikenteen tarkasteluihin. Maksimiliikenteellä simulointityöskentelyn varautumisvälin tavoitearvo oli 30 sekuntia, koska aikataulurakenteessa tiettyjä kaukojunia ajatettiin selvästi lähempänä toisiaan kuin oletusliikenteessä.

Maksimiliikenteellä oli oletusliikenteen tapaan ongelmia Pasilan asemalla peräkkäin pysähtyvien Lentoradan junien kanssa. Lahden IC:t ja Tampereen express-junat ovat peräkkäin pysähtymässä samalle raiteelle ja näiden varautumisväli on ainoastaan noin 10 sekuntia. Lahden IC-junien jälkeen raiteelle on tulossa Tampereen IC-junia. Näiden välinen varautumisväli on hieman suurempi, noin 20 sekuntia. Myös allegrot ja Lahden IC:t ovat Pasilassa lähellä toisiaan noin 30 sekunnin varautumisvälillä.

Perussimuloinnin perusteella aikataulu on kuitenkin konfliktivapaa ja tavoiteltua pienemmät varautumisvälit ainoastaan heikentävät häiriöherkkyyttä tapauskohtaisesti. Lopullinen aikataulun mukainen raiteistonkäyttökaavio on esitetty liitteessä 7.

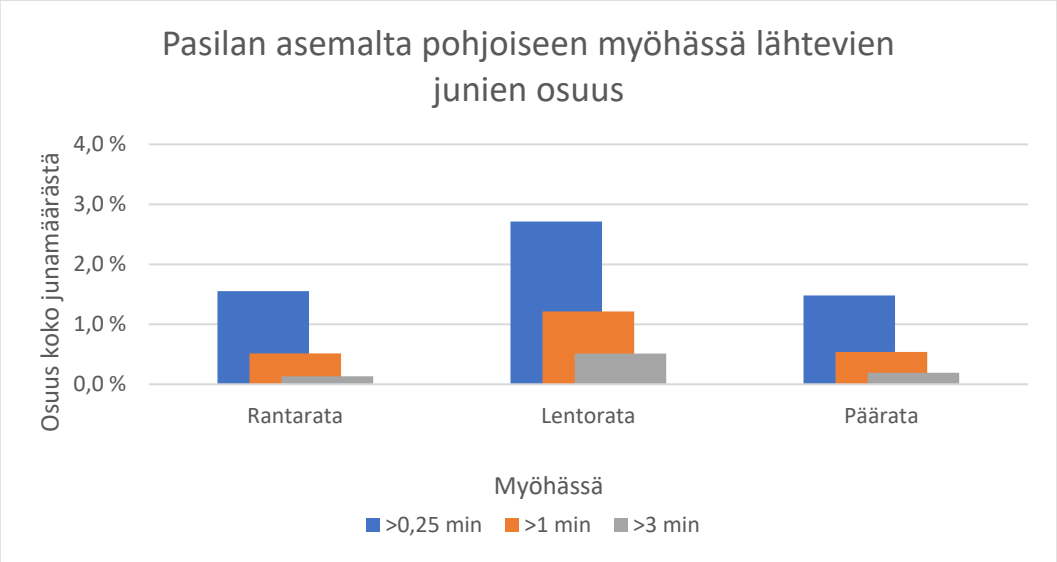
Maksimiliikenteen suuremman liikennemäärän vuoksi täytyi ottaa käyttöön myös aiemmin häiriötilanteita varten tyhjäksi jätetty 13 raide. Lisäksi muillekin vähäliikenteisemmille raiteille jouduttiin lisäämään liikennettä, jolloin lyhyempikestoisiinkaan häiriötilanteisiin ei välttämättä ole raiteita vapaana.

Kaupunkiliikenne käyttää raiteita 1–3 sekä 17–19. Pääsääntöisesti Päärataa käyttävä liikenne on raiteilla 4–6, Lentorataa käyttävä liikenne raiteilla 7–11 ja Rantaradan liikenne raiteilla 12–16. Näihin on kuitenkin tehty tapauskohtaisia muutoksia perussimuloinnissa havaittujen konfliktitilanteiden takia.

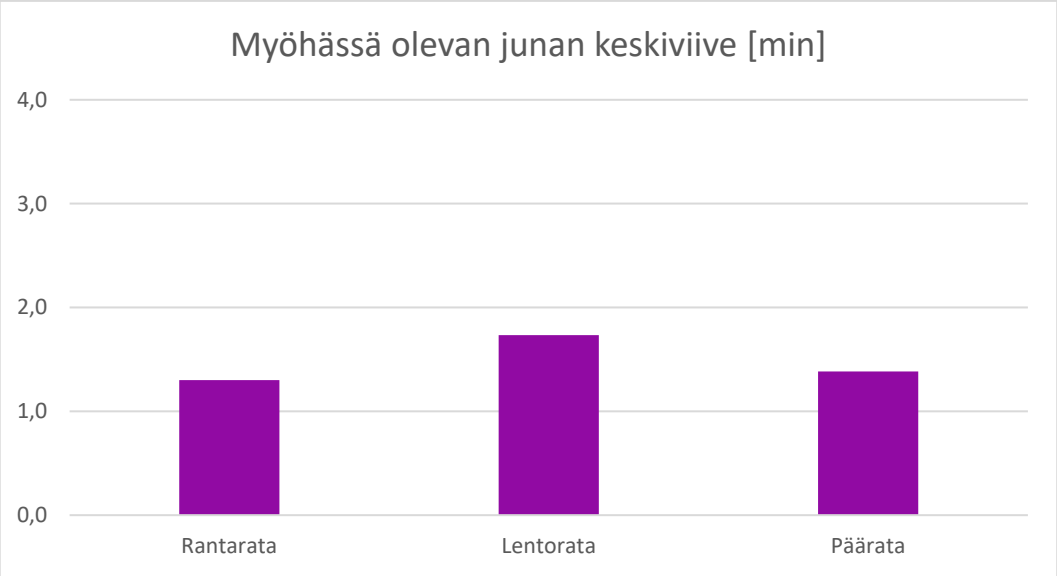
Häiriösimulointi

Häiriösimuloinnin periaatteet on esitetty luvussa 4.1.2 ja pätevät myös maksimiliikenteen tarkasteluihin.

Myöhästyneiden junien osuuksissa on eritelty junat rataosuuksien lisäksi myös myöhästymisen pituuden mukaan. On syytä huomata, että pienemmät myöhästymisrajat sisältävät kaikki rajaa pidemmät myöhästymiset. Esimerkiksi Lentoradan 0,5 % myöhästymisosuus yli 3 minuuttia myöhässä olevista junista sisältyy myös yli 0,25 minuuttia sekä yli 1 minuuttia myöhässä oleviin. Kaikkien myöhässä olevien junien määrän voi siis suoraan lukea 0,25 minuutin myöhästymisen kohdalta (Kuva 22, Kuva 23).



Kuva 22. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien osuus koko junamäärästä (maksimiliikenne).

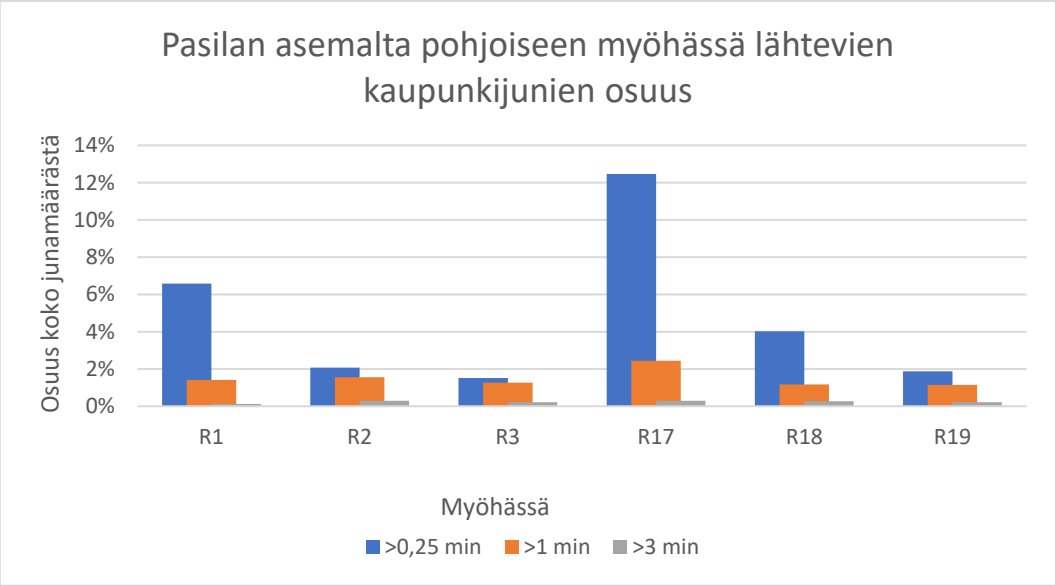


Kuva 23. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien keskiviive (maksimiliikenne).

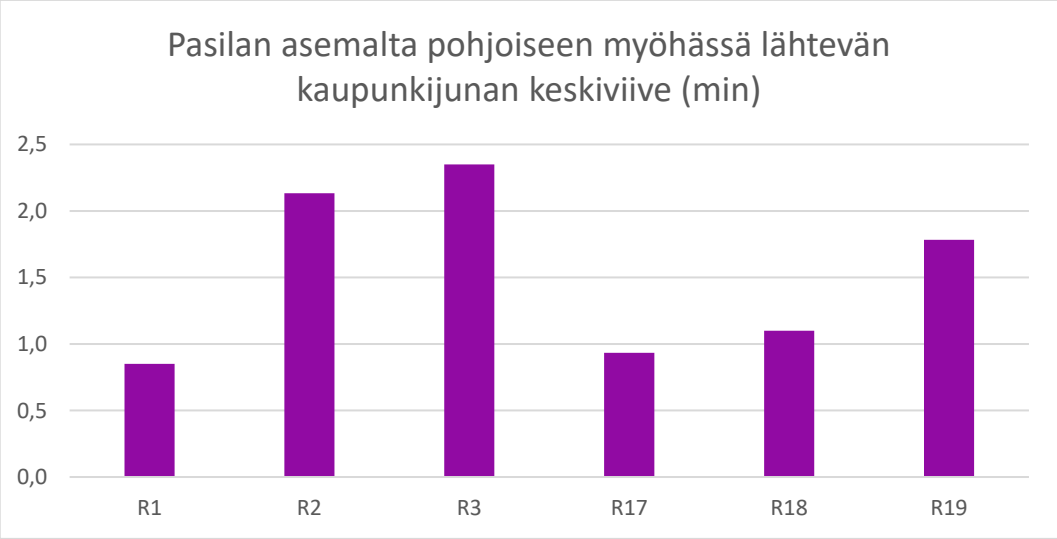
Lentoradalla myöhästyneiden määrä on hieman suurempi kuin Ranta- ja Päärada-dalla. Yli minuutin sekä yli kolmen minuutin myöhästymiset ovat kuitenkin Lento-radalla lähes samaa suuruusluokkaa muiden ratojen kanssa, joten Lentorata ei ole muihin verrattuna erityisen häiriöherkkä. Myös keskiviive on jokaisella rataosuu-della lähes samansuuruinen. VR:n kaukoliikenteen 5 minuutin myöhästymisrajaan nähden tilanne on hyvä jokaisen radan osalta, sillä yli 3 minuutin myöhästymisiä on erittäin vähän.

4.3 Kaupunkiliikenne

Kaupunkiliikenne simuloitiin perusskenaariossa 3,75 minuutin vuoroväliä käyttäen. Häiriösimuloinnin tulokset on esitetty kuvissa 24 ja 25. Tulokset on jaoteltu Helsin-gin aseman lähtöraiteen mukaan.

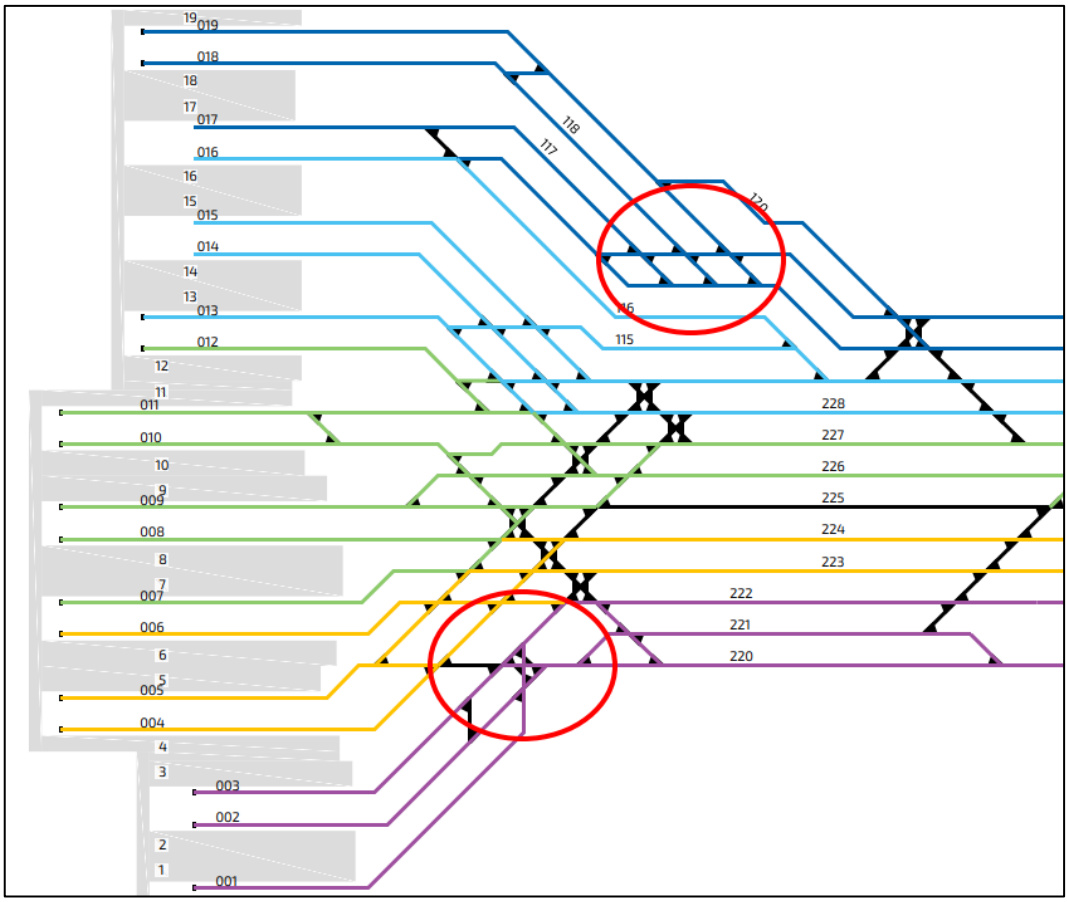


Kuva 24. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien kaupunkijunien osuus Helsingin lähtöraiteen mukaan suhteutettuna kaupunkijunien junamäärään.



Kuva 25. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien kaupunkijunien keskiviive Helsingin lähtöraiteen mukaan.

Tuloksista on selkeästi nähtävissä Helsingin päässä tapahtuvien kaupunkiliikenteen junien niin sanottujen ristiinajojen (ristiinajoja kuvataan tarkemmin luvun 5 yhteydessä) aiheuttamat viivästykset raiteille 1 ja 17. Ristiinajojen aiheuttamat myöhästymiset eivät kuitenkaan ole kovin pitkiä, sillä raiteilla 1 ja 17 on joukon matalimmat keskiviiveet. Vaihdekujan kauemman sijainnin vuoksi länsiraiteella ristiinajokonfliktiin vaaditaan pidempi myöhästyminen (kuva 26).



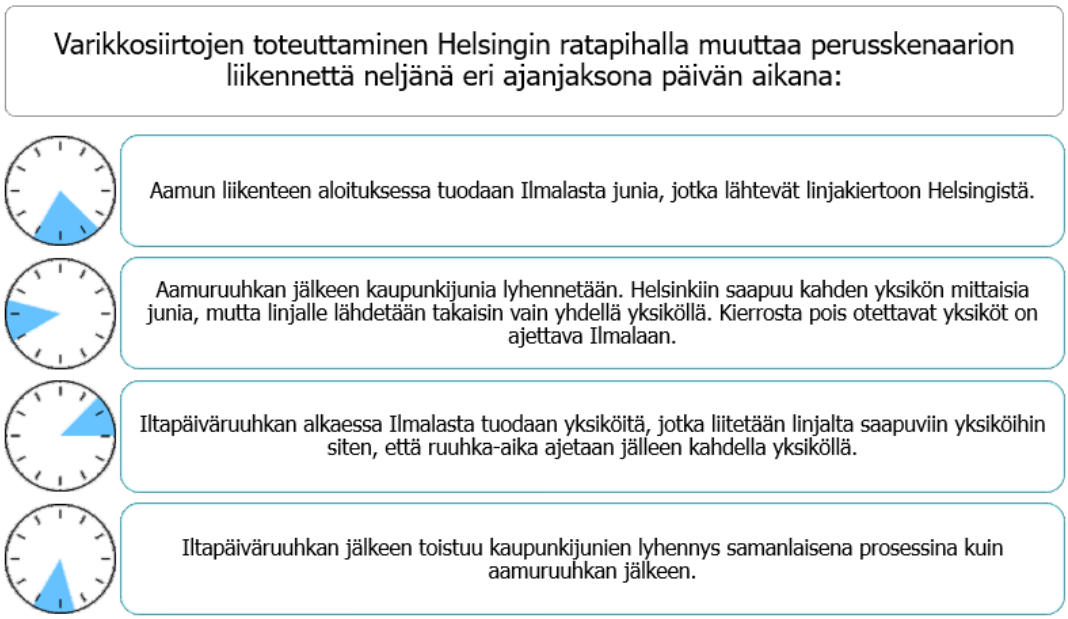
Kuva 26. Ristiinajokonflikteja myöhästyneille junille aiheuttavien vaihdekujien sijainnit.

Muiden kuin ristiinajoista kärsivien raiteiden viiveet eivät ole erityisen suuria. Pääsääntöisesti pysytään alle 2 % viivästymisissä, ainoana poikkeuksena on raide 18, jonka junista myöhässä on noin 4 %. Myöhästymisistä kuitenkin valtaosa on alle minuutin mittaisia, joten häiriönsietokyky on tälläkin raiteella hyvä.

4.4 Ilmala-skenaario

Ilmala-skenaariossa tarkasteltiin tilannetta, jossa myös kaupunkiratojen liikenteen varikkosiirrot tehtäisiin Ilmalan ja Helsingin välillä (skenaario kuvattu tarkemmin luvussa 3.1.4). Kaupunkiratojen liikenteen vuoroväli pidettiin myös ruuhka-aikojen ulkopuolella 3,75 minuutissa, mutta junien pituutta muutettiin 2-yksikköisistä 1-yksikköisiin. Varikkosiirtoihin hyödynnettiin vain kaupunkiliikenteen operoinnille varattuja laituriraiteita, koska muut laituriraiteet ovat muun liikenteen jatkuvassa käytössä. Tarkastelussa on huomioitava, että edelleen kaikki kauko- ja lähiliikenne käyttää Ilmalaa varikkonaan ja myös näiden varikkosiirrot on otettu tässä skenaariossa huomioon.

Varikkosiirtojen suunnittelussa tarkasteltiin kuvan 27 mukaiset eri vaiheet; aamuliikenteen aloitus, jolloin junia tuodaan Ilmalasta Helsinkiin, aamuruuhkan jälkeinen aika, kun yksiköitä lyhennetään ja siirretään Ilmalaan, iltapäiväruuhkan alku, jolloin yksiköitä tuodaan taas Ilmalasta Helsinkiin sekä iltapäiväruuhkan jälkeinen ajankohta, kun kaupunkijunien yksiköitä ajetaan takaisin Ilmalaan.



Kuva 27. Ilmalan ja Helsingin välisen kaupunkiratojen varikkoliikenteen suunnittelussa käytetyt periaatteet Ilmala-skenaariossa.

Aamuliikenteen aloituksen vaihtoehdot ja niissä tunnistetut haasteet

Työssä kokeiltiin erilaisia varikkoliikenteen vaihtoehtoja, jotta liikenteen sujuvuus tai sujumattomuus pystyttiin todentamaan. Ensimmäisenä vaihtoehtona on tarkasteltu suunnitelmaa, jossa kaikki aamun Helsingistä lähtevä kaupunkiratojen liikenne ja niihin tarvittavat junayksiköt siirretään aamulla Ilmalasta Helsinkiin kaksiyksikköisinä kokonaisuuksina. Tämän ratkaisun toteutettavuus todettiin mahdottomaksi, sillä pelkästään nämä kaupunkiliikenteen yksiköiden siirrot ylittävät koko linjakapasiteetin Ilmalan ja Helsingin aseman välillä. Täten kauko- tai lähijunaliikenteen varikkosiirtoja ei ole mahdollista suunnitella, joten huoltoraiteiden ja Lentoradan kapasiteetti ei riitä kaikelle liikenteelle.

Toisena vaihtoehtona on tehty suunnitelma, jossa n. 50 kaupunkiratojen liikenteen yksikköä yöpyy Helsingin ratapihalla ja loput tuodaan aamulla varikkosiirtoina Ilmalasta. Tämän todettiin vähentävän varikkosiirtojen tarvetta niin, että teoriassa aamuliikenteen aloitus olisi mahdollista. Helsingin ratapihalla seisoo kuitenkin paljon kalustoa aamuruuhkan alkuun asti, myös laiturittomilla seisontaraiteilla. Poikkeuksellisten liikennetilanteiden hoito vaikeutuu, koska kapasiteettia kuluu valtavasti junien seisotukseen. Kaluston ei ole tässä suunniteltu seisovan muilla asemilla yön aikana (esim. Kerava tai Kirkkonummi).

Ruuhka-aikojen ulkopuolella tapahtuvien yksiköiden muutosten vaihtoehdot ja niissä tunnistetut haasteet

Aamun liikenteen aloituksen lisäksi oli tarkasteltava kaluston lyhennysten ja pidennysten varikkosiirtotarpeiden vaatimuksia. Linjaraidekapasiteetin näkökulmasta iltapäiväruuhkan aloitus on kriittisin, koska varikkosiirtoja voi käytännössä tuoda Ilmalasta vain yhtä raidetta pitkin kohti Helsingin asemaa.

Ensimmäisessä mallissa muodostettavat varikkosiirtojunat ovat kahden mittaisia. Tässä liikennöintimallissa linjajunien asema-ajat säilyvät, jolloin häiriöistä ja myöhästymisistä palautumisen mahdollistava pelivara-aika on sama kuin säännöllisen

kierron aikana. Varikkosiirroille on kuitenkin hyvin tiukat raot aikataulussa laituriraiteilta poistumiselle ja huoltoraiteille pääsylle. Lisäksi käytettävissä oleva huoltoraiteiden kapasiteetti täyttyy eikä liikennettä kummallekin puolelle Helsingin ratapihaa voida tällä tavalla toteuttaa. Tästä on päätelty, että varikkosiirrot on tehtävä pidempinä, vähintään kolmen yksikön siirtoina.

Helsingin ratapihan itäpuolelle siirrot voivat kuitenkin olla maksimissaan kolmen yksikön mittaisia raidepituuksien vuoksi. Itäpuolelle saatiin näillä oletuksilla rakennettua toinen teoreettisesti toimiva malli, jossa on paremmat pelivarat junien välillä kuin mitä ensimmäisenä tutkitussa vaihtoehdossa. Junien palautumisen pelivaraaika laitureilla kuitenkin lyhenee junien lyhennys- ja pidennysoperaatioiden yhteydessä jopa puolella. Tämä lisää merkittävästi kaupunkiliikenteen häiriöherkkyyttä, koska varikkosiirtojunat muutenkin myöhästyvät linjajunia huomattavasti herkemmin muun liikenteen viivästysten takia. Iltapäivän yksiköiden pidennysoperaation aikana huoltoraiteiden kapasiteetti riittää itäpuolen varikkosiirtojen toteuttamiseen teoriassa, mutta kuitenkaan länsipuolen siirroille ei ole enää tilaa.

Käytännössä eri mallien tarkastelujen avulla on todettavissa, että kaupunkiliikenteen operaatioiden tarvitsemien varikkosiirtojen toteuttaminen täydessä mitassa Ilmalan varikolta ei ole mahdollista työn perusskenaarion liikennetarjonnan kanssa. Huoltoraiteiden/Lentoradan raideparin käyttöä on vähennettävä muun junaliikenteen osalta, mikäli lyhennys- ja pidennysoperaatioita tarvitsee laajasti toteuttaa käyttäen Ilmalan varikkoa.

4.5 Yhteenveto

Kauko- ja lähiliikenteen aikataulusuunnittelussa tunnistettiin tiettyjä erityisiä reunaehtoja, jotka vaikuttivat aikataulurakenteen muodostamiseen merkittävästi; eri nopeuksilla ja erilaisilla pysähtymiskäyttäytymisillä kulkevat junavuorot aiheuttivat yhteensovituksen tarvetta erityisesti Lohjan, Espoon ja Helsingin välille sekä Helsingin ja Tampereen välille. Lisäksi erityisesti maksimiliikenteen junamäärillä Lahden suunnan lähijunien matka-aikaa oli kiristettävä, jotta kaikki liikenne saatiin sovitettua niin Keravan ja Lahden ja Kouvolan välille kuin Helsingin ja Keravankin välille. Helsingin raiteistonkäyttö saadaan oletusliikenteessä suunniteltua niin, että samalla pysähtymiskäyttäytymisellä kulkevan junan kalusto pysyy samalla reitillä koko ajan, mutta maksimiliikenteessä Tampereen harvaan ja tiheään pysähtyvien junien kalustokierto on raiteistonkäytön takia yhdistettävä. Radan kunnossapitoraot on käytännössä sijoitettava yöaikaan, jolloin liikenne on paljon vähäisempää kuin ruuhka-aikoina päivällä.

Kauko- ja lähiliikenne toimii tarkastelualueella hyvin sekä oletus- että maksimiliikenteen osalta. Häiriösimulointien perusteella maksimiliikenne saatiin jopa hieman häiriöttömämmäksi kuin oletusliikenne, mutta tähän vaikuttivat toimenpiteet, joilla varmistettiin maksimiliikenteen mahtuminen Helsingin ratapihalle, kuten vakioliikenteen käyttöön otettu raide 13. Häiriöt, joita työssä simuloitiin, olivat ainoastaan myöhästymistilastojen mukaan määritellyt myöhästymisjakaumat, eli mukana ei ollut esimerkiksi pidempiaikaisia huoltotoimenpiteitä, jotka olisivat tarvinneet edellä mainittua raidetta huoltokäyttöön. Tällaisten pitkäkestoisempien ongelmatilanteiden sattuessa on oletettavaa, että oletusliikenne toimii ratapihalla maksimiliikennettä paremmin. Häiriösimuloinnissa ei esiintynyt erityisen suuria viiveitä yksittäisen junatyypin kohdalla.

Tilanne, jossa nyt tarkastellut junamäärät ja kaupunkiliikenteen operoinnin tarvitsema varikkoliikenne tulisi kokonaisuudessaan sovittaa Ilmalan varikon ja Helsingin ratapihan välille on todettu mahdottomaksi perusskenaarion oletuksin. Jos tutkitulla kaupunkiliikenteen tiheydellä ja operatiivisella mallilla pitäisi tukeutua vain Ilmalan varikkoon, Helsingin ratapiha tarvitsisi suurempia raiteiston muutoksia esimerkiksi yhteyksissä Ilmalaan. Todennäköisesti myös muun liikenteen määrät eivät voisi olla tämän työn liikennerakenteiden tasolla. Vaikka kaupunkijunille ei tehtäisi kokoonpanomuutoksia päivällä, Helsingin asema olisi aamuisin hyvin täynnä kaupunkijunakalustoa, ja yksittäinen vikaantuminen voisi tukkia ratapihan herkästi aamuruuhkassa. On huomattava, että varikkoliikenteen toteuttaminen on pois häiriönhallinnan mahdollisuuksista, sillä varikkosiirtoihin liittyviä junia sijoitetaan säännöllisesti nykyään häiriönhallinnassa käytetyille raiteille. Täten uudet kaupunkiliikenteen tarpeisiin suunnitellut varikot ovat edellytys tässä työssä suunnitelluille junamäärille.

5 Kaupunkiratojen liikennöinnin tihentäminen ja kehitys perusskenaariossa

Kaupunkiliikennettä on tutkittu perusskenaarion infrastruktuurilla jo luvussa 4.3 kuten muutakin liikennettä, eli ilman erityisiä kaupunkiratoihin kohdistuvia lisäkehitystoimenpiteitä. Lisäksi luvussa 4.4 on analysoitu erikseen uusien varikoiden merkitystä tutkimalla tilannetta, jossa kaikki kaupunkijunatkin käyttävät edelleen vain Ilmalan varikkoa. Näissä tilanteissa on tarkasteltu vain 3,75 minuutin vuorovälin liikennettä.

Tämän luvun tarkoitus on syventyä kaupunkiratojen liikenteeseen toisaalta tutkimalla edellytyksiä ja toisaalta kartoittamalla apukeinoja nykyistä selvästi tiheämmän kaupunkiliikenteen liikennöintimahdollisuuksille. Kaupunkiliikenteellä tarkoitetaan Helsingin asemalta Päärataa Keravalle, Kehärataa Lentoasemalle ja Rantarataa Kauklahteen suuntautuvaa paikallista liikennettä, jonka tilaamisesta vastaa nykyisin Helsingin seudun liikenne HSL. Nykytilanteessa Rantaradan suunnan kaupunkijunavuorojen pääteasemana on Leppävaara, mutta kaupunkiliikenteen alue jatkuu Kauklahteen uuden raideparin myötä jo ennen tämän työn tarkasteluajanjaksoa. Kaupunkiliikenteen erillistarkasteluissa on mukana kolme alaskenaariota vuorovälin tiheyden mukaan. Helsinki–Pasila-välillä tämä tarkoittaa kaupunkiraiteiden osalta 3,75 minuutin, 3 minuutin ja 2,5 minuutin välein kulkevia junia.

Koska kaupunkiliikennettä varten on olemassa omat raideparit kaikilla linjareiteillä, niin tämän työn tarkastelujen kannalta kaupunkiliikennettä voidaan suunnitella ja simuloida muusta liikenteestä riippumattomana kokonaisuutena tämän työn kahdessa pääskenaariossa (perusskenaario ja Pisara-skenaario). Niissä molemmissa oletetaan, että kaupunkiliikenteen huolto- ja seisotustoimintoja varten on rakennettu uusia varikoita, jolloin kaupunkiliikenteen ei tarvitse päivittäisen suunnitellun operoinnin mukaan kohdata koskaan kauko- tai muuta lähiliikennettä. Edellä mainittujen tiheiden vuorovälien toteutusedellytysten tutkimus on keskitetty tähän lukuun. Tässä luvussa tutkitaan liikenteenhoidon parantamisen mahdollisuutta älykkään reitinvalinnan ja uuden raiteenvaihtopaikan avulla.

Tarkastelutilanteen lähtöoletukset

Perusskenaariossa kaupunkiliikenne käyttää nykyiseen tapaan Helsinki–Pasila-välillä itäisintä ja läntisintä raideparia. Raiteistonkäytön osalta käytössä on ratapihan itäpuolella laituriraiteet 1–3 Pääradan suuntaan ja länsipuolella raiteet 17–19 Rantaradan suuntaan. Tavoitetilana tässä työssä on, että kaupunkiratojen liikenne voidaan kokonaisuudessaan hoitaa käyttäen vain näitä kuutta matkustajalaituriraidetta. Simuloinneissa on siten oletettu, että muut laiturit ja raiteet eivät ole kaupunkiliikenteen käytössä.

Aikataulusuunnittelun näkökulmasta kummallakin liikennesuunnalla on kaksi erillistä linjaa, joiden kalustokierrot ovat yhteiset. Simulaatiomallin alueella tällä ei ole varsinaista merkitystä, vaan kummankin puolen liikennettä on tarkasteltu erikseen. Eri puolien liikennöinti kuitenkin todellisuudessa kytkeytyy yhteen, koska Kehärataa pitkin kulkevista linjoista toinen matkaa Helsingin itäpuolelta Lentoaseman kautta länsipuolelle ja toinen toiseen suuntaan. Tällä yhteydellä ei kuitenkaan ole työssä vaikutusta simuloinnin tuloksiin, koska junia ei mallinneta koko reitiltään.

Sillä on kuitenkin merkitystä esimerkiksi sovellettavien operointimallien mielekkäässä käytössä.

Tiheä junaliikenne tuo aina esiin aikataulullisia ja operatiivisia haasteita Helsingin kaltaisella pääteasemalla. Kaksi keskeistä asiaa, joita tämän luvun tarkasteluissa huomioidaan:

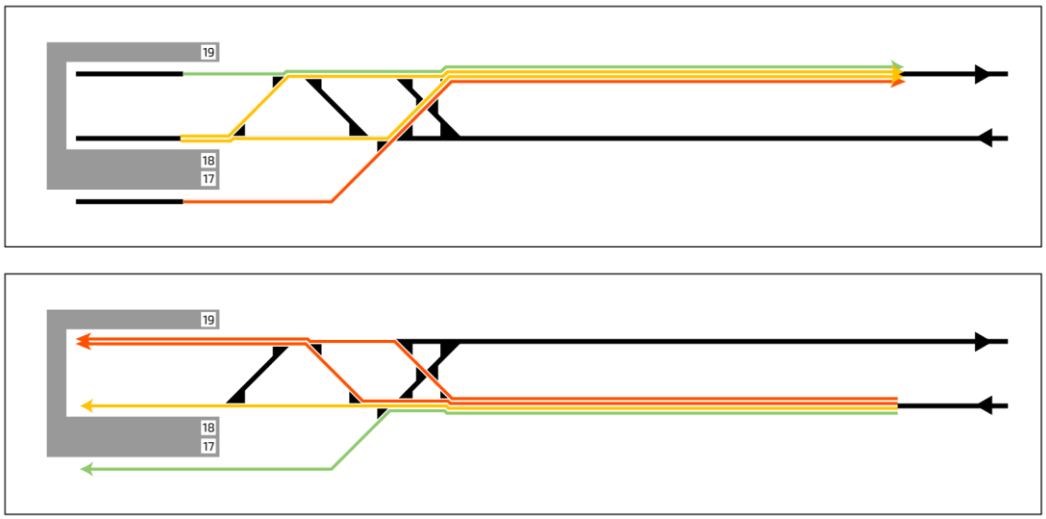
1. Junien kääntöaikojen suunnittelu niin, että ne ovat operatiivisesti riittävät ja laiturikapasiteetti riittää suhteessa käytettyyn vuoroväliin (lähtevien junien pitää ehtiä laiturilta riittävän ajoissa pois ennen seuraavan junan saapumista).
2. Linjaraiteiden ja laitureiden välisessä vaihdekujassa junat joutuvat menemään säännöllisesti toistensa reittien ylitse. Perinteisessä tilanteessa tämä tarkoittaa, että yhden junan lähtöajan ja toisen saapumisajan väliin täytyy jäädä aikataulussa riittävän suuri aikaväli, jotta fyysisesti päällekkäiset reitit eivät osu ajallisesti yhteen. Tätä nimitetään jatkossa *ristiinajo-ongelmaksi*.

Tässä luvussa analysoidaan edellä kuvattuja haasteita ja pyritään löytämään niihin ratkaisuja pienien infrastruktuurimuutosten, operointimallien ja älykkään liikenteenohjausmahdollisuuksien keinoin. Erityishuomiota kiinnitetään ristiinajo-ongelman helpottamiseen uuden raiteenvaihtopaikan ja älykkään reitinvalinnan keinoin. Tähän kokonaisuuteen viitataan jatkossa termillä *ratkaisumalli*. Ongelmaa ja ratkaisumallin teoriaa sekä sen soveltamista Helsingin ratapihalla käsitellään vaiheittain seuraavissa alaluvuissa.

5.1 Ristiinajo-ongelma kaupunkiliikenteessä

Kaupunkiliikenteen toimintatapa tämän työn tarkasteluissa on periaatteeltaan sekä itä- että länsipuolella Helsingin ratapihaa sellainen, että kahdelta vastakkaisiin suuntiin ajettavalta linjaraiteelta liikennöidään kolmelle laituriraiteelle. Molemmilla puolilla voi siis säännöllisessä liikenteessä esiintyä ristiinajo-ongelmaa. Ristiinajon riski on aina sellaisten vastakkaisiin suuntiin kulkevien junien välillä, joiden reitti kulkee laitureiden ja linjan välisessä vaihteistokujassa toistensa poikki.

Kuvassa 28 on esitetty luonnos Helsinkiä kuvaavasta tilanteesta. Vihreällä on merkitty reitit, joilla ristiinajon riskiä ei ole, sillä niissä ei ajeta muilta laitureilta lähtevien reittien poikki. Laituria 18 käyttävä juna (keltaiset reitit) risteää aina yhden reitin kanssa, mutta punaisella merkityt reitit risteävät aina kahden muun vastakkaisen suunnan reitin kanssa.



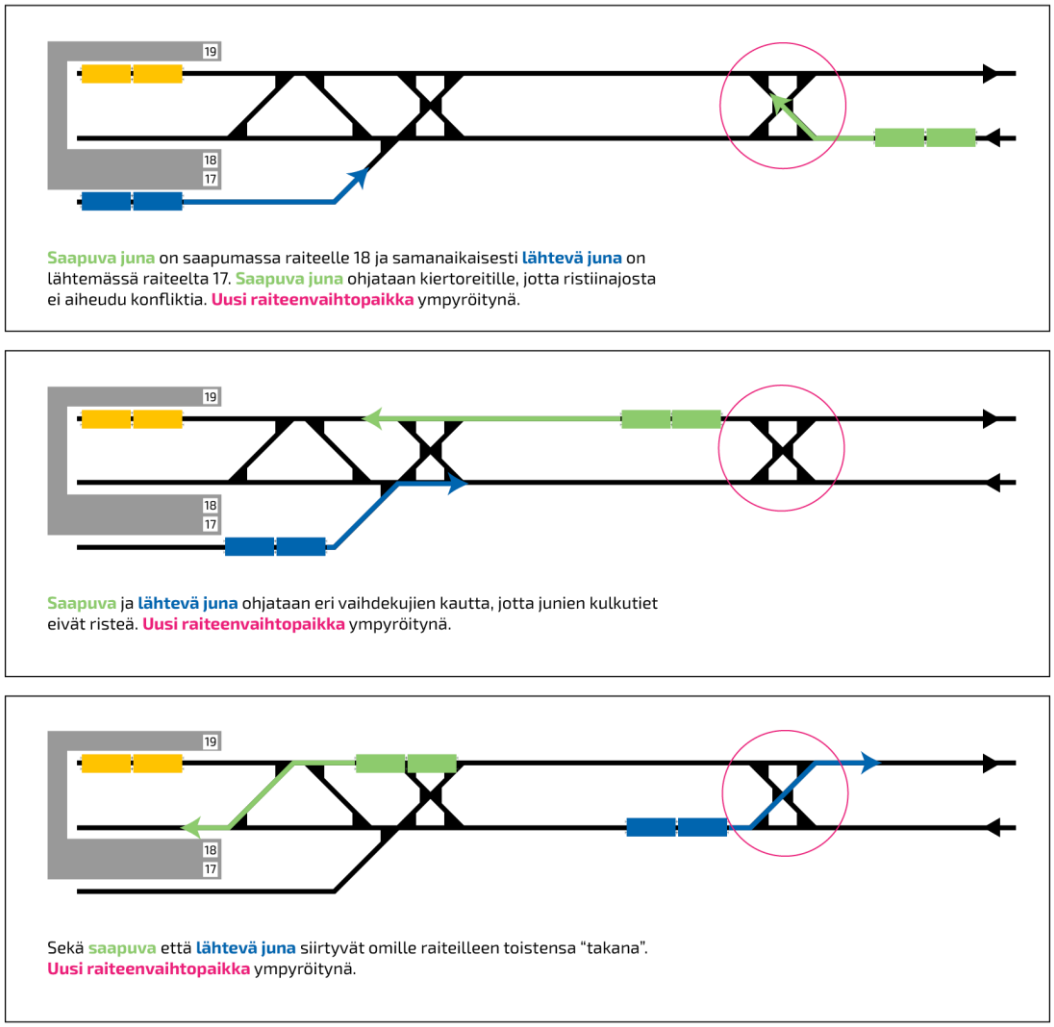
Kuva 28. Ristiinajo-ongelman kohtaamisen potentiaali. Vihreällä on merkitty ongelmattomat reitit, keltaisella osittain ongelmalliset ja punaisilla reiteillä ongelma voidaan kohdata minkä tahansa vastasuunnan junan kanssa.

Ristiinajo-ongelma kohdataan, jos toisensa risteävillä reiteillä liikkuvilla junilla olisi tarve ylittää vaihdekuja samanaikaisesti. Tarkemmin sanottuna ongelma on, että näiden junien vaihdekujan raideosuuksiin liittyvät varausajat olisivat päällekkäiset. Tämä johtaa siihen, että toiselle junista ei voida antaa reittiä heti, jolloin se joutuu pysähtymään. Mitä enemmän varausajat ovat päällekkäin, sitä suurempi haitta toisen junan kululle aiheutuu.

Ristiinajon riskin todennäköisyys ja haittavaikutukset riippuvat liikenteen aikataulutuksesta ja raiteiston operointimallista. Näillä keinoin ristiinajon riskejä voidaan pienentää hyvällä suunnittelulla. Vuorovälin tiheydellä ja ratainfrastruktuurin muodolla on kuitenkin iso merkitys siinä, kuinka paljon aikataulusuunnittelulla on mahdollisuus vaikuttaa ristiinajoihin.

5.2 Ristiinajo-ongelman ratkaisumalli: raiteenvaihtopaikka ja älykäs reitinvalinta

Tässä työssä on tutkittu ratkaisumallia, jossa ristiinajoista koituvia haittoja voisi pienentää rakentamalla toinen raiteenvaihtopaikka laiturien päädyssä olevaa vaihdekujaa kauemmaksi niin, että linjaraiteilla junilla on mahdollisuus vaihtaa puolta. Tätä hyödyntämällä junat voivat tarvittaessa päästä vaihdekujassa reiteille, jotka eivät risteä keskenään.



Kuva 29. Uuden raiteenvaihtopaikan avulla saavutettava toiminnallisuus ristiinajo-ongelman ratkaisumallissa.

Kuvassa 29 havainnollistetaan, miten uusi raiteenvaihtopaikka auttaa ongelman ratkaisemisessa. Ylemmässä kuvassa havaitaan lähtötilanne, jossa alempaa linjaraidetta saapuu juna kohti laituria 18 samalla, kun laiturilta 17 on lähdössä juna ylemmälle linjaraiteelle. Tässä junien lähtö- ja saapumisajan välinen ero ei ole tarpeeksi suuri, joten junat olisivat tavallisessa tilanteessa varaamassa vaihdekujaa yhtä aikaa.

Uuden raiteenvaihtopaikan myötä on kuitenkin mahdollista kiertää ongelma, jos se tunnistetaan riittävän ajoissa. Ylimmästä kuvasta nähdään, kuinka saapuva juna hyödyntää raiteenvaihtopaikkaa lähestyäkseen vaihdekujaa normaalista liikennesuunnasta poikkeavaa raidetta pitkin. Keskimmäisessä kuvassa lähtevä juna on samoin ohjattu toiselle raiteelle. Näin reittien risteäminen vaihdekujassa on vältetty, ja junat pääsevät vapaasti ohittamaan toisensa. Lopuksi lähtevä juna vaihtaa uudella raiteenvaihtopaikalla takaisin linjasuunnan mukaiselle raiteelle.

Uuden raiteenvaihtopaikan toteuttaminen avaa siis mahdollisuuden käyttää kahta erilaista reittiä asemalle tuloon ja sieltä poistumiseen. On kuitenkin muistettava, että uusi ratkaisu ei ole universaali, vaan suurimman hyödyn saamiseksi sitä on pystyttävä käyttämään tarvittaessa tilanteen mukaan. Edellä käsitellyssä tilan-

teessa saapuvan ja lähtevän junan välinen aika ja niiden käyttämät laiturit määrittivät, että vaihtoehtoinen reititys on järkevä ratkaisu. Kuitenkin voi olla, että reitit ykset ovat ristiinajon kannalta yhtä hyviä, tai että vaihtoehtoinen reititys johtaisi ristiinajo-ongelmaan, jota alun perin ei ole.

Liikenteen aikataulumallin voi suunnitella niin, että vaihtoehtoista reittiä käytetään vain tarvittaessa. Yleensä on edullisempaa suosia reittejä, joissa ei tarvitse ajaa vaihteista sivulle. Parhaan hyödyn saamiseksi on siis voitava dynaamisesti tehdä päätös, kumpi reititysvaihtoehto valitaan, jotta kummankin junan kulku olisi mahdollisimman esteetöntä. Koska junien kulkutiet varmistetaan esteettömän kulun tapauksessa liikenteenohjausjärjestelmissä vähintäänkin satoja metrejä ennakkoon, liikenteenohjauksen olisi kyettävä ennustamaan, milloin vaihtoehtoisesta reitityksestä hyödytään. Tilannetta mutkistaa se, että vaihtoehtoinen reitti ei useinkaan sovellu käytettäväksi seuraavalle junaparille, joten on huomioitava reitinvaihdosten käytön vaikutuksia suhteessa edeltäviin ja seuraaviin juniin. Koska liikenne on varsin tiheää ja ristiinajo-ongelman esiintymisen mahdollisuus pitää kyetä ennustamaan, on tarpeen pystyä käyttämään automaattista päätäntämenetelmää, joka päättää reitityksestä liikennetilanteen mukaan.

Kaiken kaikkiaan ratkaisumallissa on siis tutkittava:

- Mihin uusi raiteenvaihtopaikka kannattaa sijoittaa? Huomioitavaa:
    - toiminnallisuus tiheässä liikenteessä
    - ympäröivän infrastruktuurin rajoitteet
- Miten päätös reitinvalinnasta tehdään? Huomioitavaa:
    - kulunvalvonnan ja asetinlaitteen rajoitteet
    - reitinvalinnan kokonaisvaikutukset
    - ennusteen luotettavuus päätöshetkellä

5.3 Liikenteen operointimallit

Liikenteen operointimalli yhdessä muun infrastruktuurin muodon kanssa vaikuttaa keskeisesti siihen, missä liikennetilanteissa ristiinajo-ongelma saattaa realisoitua. Toisaalta tiheä liikenne asettaa muitakin reunaehtoja. Esimerkiksi laiturikapasiteettia on junaa kohti sitä vähemmän mitä tiheämpää liikenne on, mutta junilla tulisi olla riittävän hyvät kääntymisajat laitureilla ja varautumisvälit laitureille johtavilla raiteilla ja vaihteilla, jotta liikenne todellisuudessa voisi olla sujuvaa. Kolmea laituriraidetta kannattaa joka tapauksessa käyttää vuorotellen syklisesti, jotta junien kääntöajat olisivat mahdollisimman pitkät ja yhtä suuret aikataulussa.

5.3.1 Lähtöjen ja saapumisten tahdistus

3,75 minuutin vuorovälin osalta luvussa 4.3 simuloitiin kaupunkiliikennettä ilman suurempia infrastruktuurin kehitystöitä käyttäen tasatahtista operointimallia, jossa saapuminen ja lähteminen tapahtuu yhtä aikaa. Tällä mallilla ristiinajo-ongelmaa ei esiinny aikataulunmukaisessa liikenteessä. Junien kääntöaika on kaksi vuorovälin mittaa ja simulointitarkastelun perusteella asemalaiturien varautumisväli on tavoitetasolla, vähimmilläänkin 37 sekuntia laiturilla 19. Pitkä kääntöaika toisaalta takaa myös sen, että junasta itsestään aiheutuvat lähtöviiveet ovat harvinaisia. Koska operointimalli on varsin hyvä, se on otettu myös ristiinajo-ongelman tarkastelussa 3,75 minuutin vuoroväliskenaarion operointimalliksi. Tällöin vaihtoehtoinen

reititys keskittyy yleisimmin parantamaan tilanteita, jossa saapuva juna on sen verran myöhässä, että vaihdekuja ruuhkautuu.

Tasatahtisen operointimallin sijaan voidaan käyttää myös eritahtista mallia, jossa junien lähdöt ja saapumiset tapahtuvat peräkkäin. Saapumisen ja lähdön välisen aikaeron voi suunnitella periaatteessa täysin vapaasti. Kun käytössä on kolme laituriraidetta, aikaeron valinta on samalla taiteilua raiteiden varautumisvälin pituuden ja junien kääntöaikojen välillä: lyhyemmän kääntöajan tuova aikaero pidentää varautumisvälejä ja päinvastoin. Valittu aika vaikuttaa siihen esiintyykö ristiinajo-ongelmaa säännöllisessä liikenteessä, ja kuinka vakava se on. Tarkkaan ottaen tasatahtinen operointimalli on vain eritahtisen operointimallin erikoistapaus, jossa aikaero on tasan vuorovälin verran.

Kompromissiratkaisu on toteuttaa eritahtisuus niin, että jokaisen lähdön ja saapumisen välillä on tasan puoli vuoroväliä. Tällöin junien kääntöaika on puolitoista vuoroväliä, ja laitureiden varautumisväli kasvaa puolta vuoroväliä vastaavan aikamäärän. Kaikkien linjojen ajoajat voivat tällöin olla samat molempiin suuntiin, jolloin saadaan sama tahdistus kummallakin pääteasemalla.

Helsingin kaupunkiliikenteen tapauksessa operointimallin valinnassa on huomioitava junalinjat I ja P, joiden lähtöpaikka on Helsingin ratapihan toinen puoli ja määräpaikka vastapuoli. Mikäli linjojen ajoaika on sama, eritahtisuudesta seuraa, että saapumis- ja lähtöaikojen erotus on eri puolella asemaa käänteinen. Esimerkiksi jos 3 minuutin vuorovälillä länsipuolella juna lähtee 2 minuuttia ennen seuraavaa saapuvaa junaa, niin itäpuolella tilanne onkin toisinpäin: junat lähtevät yhtä minuuttia ennen seuraavan saapumista. Tällöin myös junien kääntöajat eri puolilla asemaa ovat erilaiset. Tällaiset mallit voivat sinänsä olla ihan toimivia, tai linjan ajoaika voi perustellusti olla erisuuruinen eri suunnissa. Jos linjasuuntien ajoajat oletetaan identtisiksi tahti toisella puolella määrää myös toisen puolen tahdin.

Liikenteen tihentäminen 3 minuutin vuoroväliin tasatahtisella operoinnilla lyhentää merkittävästi laitureiden varautumisvälejä, 45 sekunnilla 3,75 minuutin vuoroväliin verrattuna. Laiturin 19 osalta tämä johti simulaatiossa jo konfliktiin, eli laituri ei ole välittömästi aikataulussa saapuvalle junalle vapaana, jolloin kulunvalvonta edellyttää aloittamaan jarrutustoimenpiteet. Muiden laiturien kohdalla ei vastaavia konflikteja ollut, mutta varautumisvälit ovat säännöllisesti lyhimmillään 7 sekuntia, jolloin pienetkin variaatiot aikatauluajosta voivat johtaa epätasaisuuksiin liikenteen sujumisessa, sekä suurempaan energian kulutukseen jarrutusten ja kiihdytysten lisääntyessä.

2,5 minuutin vuorovälillä tasatahtinen liikenne ei enää selvästi toimisi kunnolla Helsingin ratapihan kummallakaan puolella. Eritahtinen operointimalli on jo välttämättömyys, koska laiturien varautumisväliä on saatava selvästi suuremmaksi tasatahtiseen malliin verrattuna. Tällöin junien aikataulun mukainen kääntöaika käy myös jo suhteellisen lyhyeksi, jonka seuraukset esimerkiksi henkilöstökierron suunnitteluun on huomioitava erikseen.

5.3.2 Laiturien kiertojärjestys

Ristiinajo-ongelman esiintyvyyteen vaikuttaa se, missä järjestyksessä junat käyttävät laitureita. Laitureiden optimaalinen kiertojärjestys riippuu siitä, kumpi linjaraiteista on Helsingin suuntaan. Ratapihan itäpuolella junat kannattaa suunnitella

saapumaan käyttäen laiturisykliä 1->2->3 ja länsipuolella 17->18->19. Eritahtisessa operointimallissa kannattaa suunnitella vielä niin, että raiteen 1 lähdön jälkeen raiteelle 3 saavutaan, sitten raiteelta 2 lähdetään, raiteelle 1 saavutaan ja niin edelleen. Länsipuolella vastaavasti raiteen 17 lähdön jälkeen raiteelle 19 saavutaan, sitten raiteelta 18 lähdetään, raiteelle 17 saavutaan ja niin edelleen. Tällöin ristiinajo-ongelma ja sen mahdollinen haitta esiintyy todennäköisimmin seuraavasti:

- raiteelta 17 lähtevän ja raiteelle 19 saapuvan junan välillä
- raiteelta 1 lähtevän ja raiteelle 3 saapuvan junan välillä.

Muilla junapareilla ongelma on tällöin harvinainen ja esiintyy vain selvästi suuremmilla liikenteen häiriöillä kuin edellä mainittujen tapauksessa. Ero ongelman esiintyvyydessä on sitä suurempi, mitä todennäköisemmin aikataulupoikkeaman syynä on saapuvan kuin lähtevän junan viivästyminen.

5.3.3 Pasilan pysähdysaika

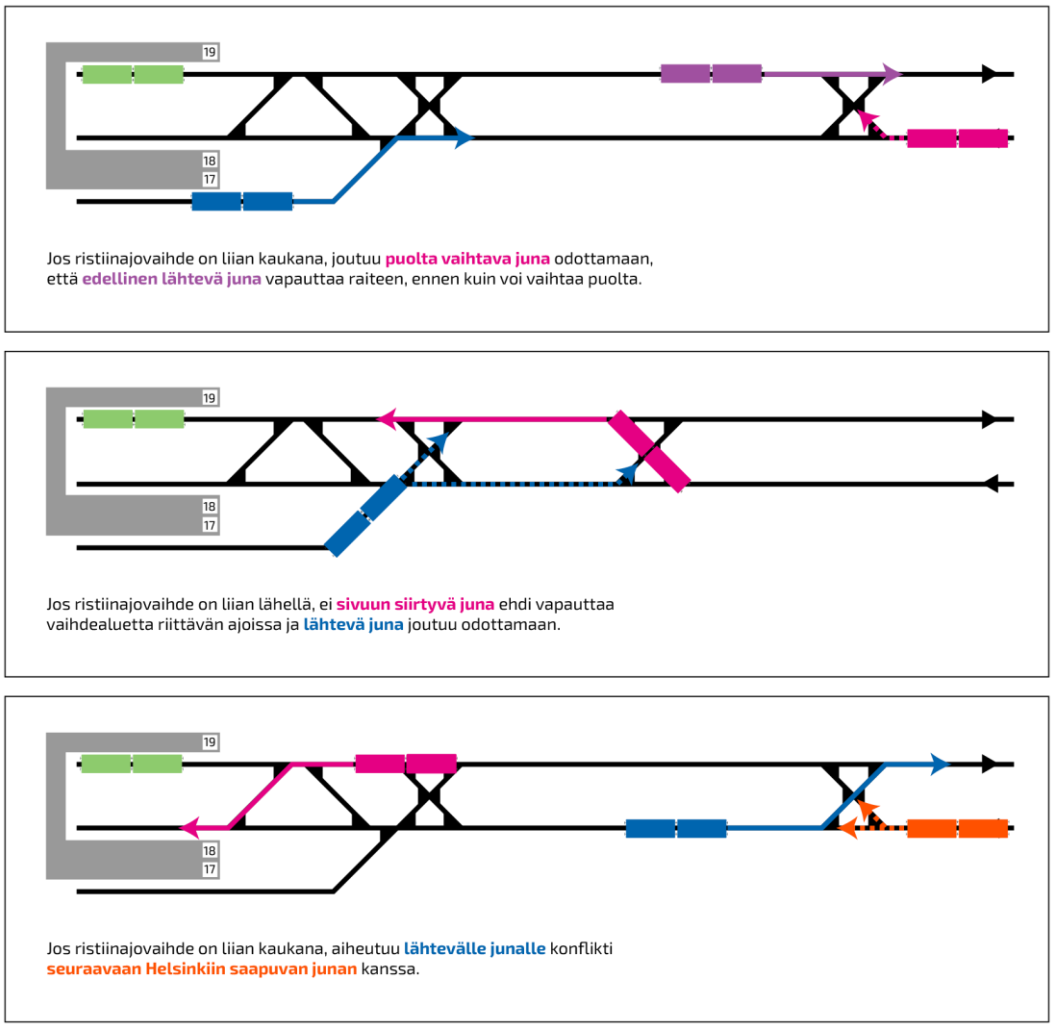
Pasilan aseman pysähdysajan tavoitteellinen aikatauluarvo on ollut tässä työssä yleisesti 50 sekuntia. Varautumisvälejä analysoimalla tämä tavoite on voitu täyttää 3,75 minuutin ja 3 minuutin vuorovälien liikennerakenteessa. 2,5 minuutin vuorovälillä Pasilan pysähdysajaksi on oletettu 30 sekuntia. Tämä on selvä tiukennus nykyisiin pysähtymisaikatoteumiin verrattuna, mutta tavoitteena se on tarpeellinen, jotta päästään työn varautumisvälien laatutavoitteeseen eli noin 30 sekuntiin.

5.4 Raiteenvaihtopaikan määrittäminen

Tutkimustyö on osoittanut, että sopivan raiteenvaihtopaikan tarkan sijainnin valintaan vaikuttaa moni tekijä. Älykkään reitinvalinnan tehtävänä on määrittää, kannattaako raiteenvaihtopaikkaa hyödyntää, mutta miten löydetään tarkoituksenmukaisin raiteenvaihtopaikka, josta on hyötyä mahdollisimman monessa tilanteessa? Paikan tulisi lähtökohtaisesti olla sellainen, jossa ristiinajo-ongelman haittojen ehkäisyssä sen käytöstä hyödytään, mutta sen käyttö ei saisi samalla haitata liiaksi muutoin liikenteen sujumista. Ei ole päivänselvää, onko näillä edellytyksillä hyödyllistä paikkaa välttämättä edes olemassa.

Luvussa 5.2 kuvattiin, miten ratkaisumallia on tarkoitus soveltaa. Seuraavaksi tutkitaan ensin teoriapohjalta, minkälaisia reunaehtoja ympäröivä junaliikenne asettaa raiteenvaihtopaikan suhteelliselle sijainnille, jotta kuvailtu ratkaisutapa todella ratkaisee ongelmia. Luvussa 5.3.2 todettiin, että hyvin valitussa operointimallissa ristiinajo-ongelman potentiaali liittyy odotusarvoisesti joka kolmanteen junalähtöön. Kahdella kolmasosalla kohtaamisista riskien ongelman on epätodennäköinen, jolloin voidaan asettaa luonnollinen reunaehto, jonka mukaan vaihtoehtoisen reitityksen käyttö ei pidä olla pakottavaa. Tällä tarkoitetaan sitä, että vaihtoehtoisen reitin käyttäminen on aina yksittäistapaus, ja että kerran tehtävä päätös ei suoraan vaikuta käytännölliseen mahdollisuuteen tehdä reitityspäätös itsenäisesti toisessa tapauksessa. Esimerkiksi, jos raiteenvaihtopaikka olisi niin kaukana, että ristiinajon välttämiseksi puolta vaihtavan junan reitillä on vastaantuleva juna tai useampi, joutuu puolen vaihtoon pyrkivä juna odottamaan pääsyä toiselle raiteelle. Mutta odottaminen on juuri se, mitä tällä ratkaisumallilla on tarkoitus minimoida. Väärin sijoitettu raiteenvaihtopaikka vain siirtää odottamisen toiseen paikkaan.

Peruslähtökohtana optimaalisen sijainnin määrityksessä on siis huomioida vaihtoehtoisen reitityksen käytössä se, ettei päällekkäisten varausten ongelma siirry vaihdekujasta uudelle raiteenvaihtopaikalle. Sijoittamisessa on mietittävä kolmea vastakkaisiin suuntiin kulkevien junien kohtausta. Kuvassa 30 havainnollistetaan tilanteet, joiden huomioiminen rajaa raiteenvaihtopaikan sijaintia.



Kuva 30. Jatkuvan tiheän linjaliikenteen asettamat teoreettiset reunaehdot optimaaliselle uuden raiteenvaihtopaikan sijainnille.

Koska ratkaisumallin tarkoitus on vähentää ristiinajo-ongelmasta koituvaa viivettä junille, on tarkoituksenmukaista välttää myös muita viiveitä mahdollisimman tehokkaasti tilanteissa, joissa vaihtoehtoista reititystä suunnitellaan käytettävän. Kuvasarjan 30 ylimmässä kuvassa puolenvaihtoon pyrkivä juna ei joudu odottamaan, jos edellinen lähtevä juna ehtii ajamaan raiteenvaihtopaikan ohi riittävän aikaisin. Tämä asettaa siis ylärajan sille, kuinka kaukana käytetty vaihdepari voi olla. Keskimmäisessä kuvassa huomataan, että vaikka ristiinajo-ongelma vältetään, ei raiteenvaihtopaikka voi olla liian lähellä vaihdekujaa. Tällöin on riskinä, ettei lähtevän junan reitti raiteenvaihtopaikan ohi ole riittävän ajoissa vapaa, koska saapuva juna varaa sitä edelleen. Tämä kohtaus asettaa siis alarajan raiteenvaihtopaikan sijainnille. Alimman kuvan kolmas huomioitava kohtaus on, että vaihtoehtoista reittiä lähteneen junan pitäisi päästä ajamaan raiteenvaihtopaikasta omalle puolelleen ennen kuin seuraava saapuvan juna varaa raiteenvaihtopaikan. Nämä kolme kohtausta rajaavat liikenteellisesti käytännöllisimmän raiteenvaihtopaikan sijainnin.

Seuraava vaihe on ollut analysoida, mitä nämä teoreettiset reunaehdot tarkoittavat käytännön tilanteissa. Alustavat simulointikokeet osoittivat ratkaisumallin käyttökelpoiseksi sikäli, että edellä kuvattujen teoreettisten sijainnin ylä- ja alarajojen väliin jäi alue, jossa ratkaisumallia voi hyödyntää ilman lainkaan ylimääräistä odottelua. Kuitenkin tämä täydellisen hyödyn alue liikenteen variaatioiden suhteen osoittautui ajallisesti kapeaksi – ja sitä kapeammaksi mitä tiheämpää vuoroväliä linjalla ajetaan. Optimaalisen sijoittelun kannalta onkin siis tarpeen miettiä, minkälaisissa liikennetilanteissa ratkaisumallia eniten on tarpeen käyttää. Tässä työssä oletettiin yksinkertaisesti, että päätavoitteena on hyötyä ratkaisumallista kaikkein todennäköisimmissä tilanteissa, joissa ylipäätään reitinvaihdoksesta voidaan hyötyä saavuttaa.

Kun on tunnistettu liikenteelliset tilanteet, joihin ratkaisumallin avulla haetaan hyötyjä, voidaan määrittää vaihtoehtoisen reitin käyttöön liittyen kohtaavien junien oletusarvoiset lähtö- ja saapumisaikojen väliset erot. Nämä erot yhdistettynä ympäröivään ratainfrastruktuuriin ja nopeustasoihin määrittävät, mihin raiteenvaihtopaikka kannattaa sijoittaa.

Seuraavaksi kuvataan vuorovälien mukaan, millaisiin tilanteisiin ratkaisua on haettu, ja kerrotaan edellä kuvattujen periaatteiden ohjaamana ja simuloinnin avulla määritelty sijoituspaikan tulos ratapihan kummallakin laidalla. Tuloksessa otetaan huomioon myös toteutettavuuteen liittyviä seikkoja ja kuvataan sijoitusratkaisujen edellyttämiä muutostarpeita ratainfrastruktuurin. Lopulliset simulointianalyysit perustuvat seuraavassa esitettyihin sijainteihin.

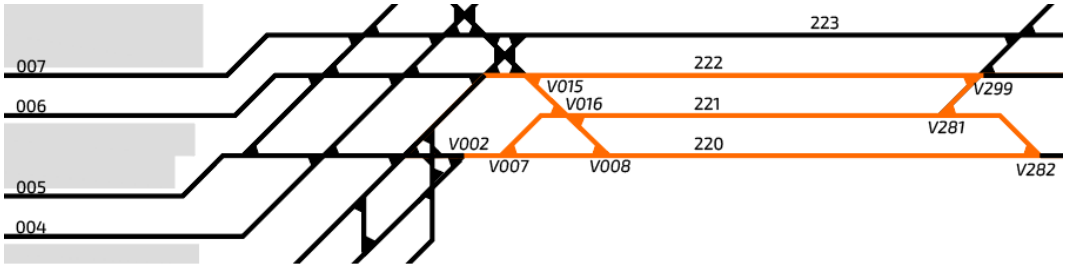
5.4.1 Ratapihan itäpuoli

Ratapihan itäpuolella on ratageometrian ja -tekniikan alustavien tarkasteluiden näkökulmasta kohtuullisen pitkä suora tila raiteenvaihtopaikan toteuttamiselle. Itäpuolella olikin siten ennakkoon odotettavissa vähäisemmillä toimenpiteillä mahdollisuus toteuttaa raiteenvaihtopaikka varsin hyvin liikenteellisten tarpeiden ehdoilla. Jokaiselle vuorovälille saatiin määritettyä oma erillinen pätevä sijainti suhteutettuna työn yleisiin oletuksiin, operointimalleihin ja aikatauluihin.

Raiteenvaihtopaikan vaihdeparit kannattaa toteuttaa pituussuunnassa mahdollisimman lyhyelle matkalle, jotta raideosuuksien varausajat ovat mahdollisimman pienet. Tällöin linjaraiteiden kannattaa olla vierekkäin, mikä edellyttää pieniä geometria- ja vaihdemuutoksia raiteille 220, 221 ja 222. Etelän suuntaan ajettavan reunimmaisen kaupunkiraiteen tulee johtaa suoraan nykyiselle raiteelle 221, ja vaihde V282 purkaa. Tällöin uusi puolenvaihtopaikka rakennetaan raiteiden 221 ja 222 väliin ja eteläpuolella raide 221 johdetaan suoraan vaihteelle V002. Raiteenvaihtopaikan sijoitustarkasteluissa on lähtökohtaisesti oletettu, että vaihde V015 voidaan muuttaa yksipuoliseksi ja V007, V008 ja V016 purkaa. Raide 220 on mahdollista säilyttää käytettäväksi uudessa tilanteessa häiriönhallintaan tai seisontaraiteena. Käytännöllinen pääsy raiteelle 220 molemmilta puolilta on kartoitettava erikseen puolenvaihtopaikan vaihderatkaisut huomioiden.

Seuraavissa tarkasteluissa on siis sijoitettu uusi puolenvaihtopaikka nykyisten raiteiden 221 ja 222 väliin. Vaihteiden toteutuskelpoisuus raiteelle 220 nykyisessä ratakäytävässä pysyen on myös tarkasteltu. Saman suuruusluokan geometria- ja vaihdemuutoksin kuin tähän tarvitaan, voitaisiin puolenvaihtopaikka varsin todennäköisesti toteuttaa myös raiteiden 220 ja 221 väliin, jolloin raiteesta 222 voidaan

saada häiriönhallintaan sopiva raide, joka on helpommin myös muun kuin kaupunkiliikenteen saavutettavissa. Kuva 31 esittää raiteenvaihtopaikan itäpuolista sijoitusaluetta ja sen vuoksi muutettavia yllä mainittuja nykyisiä raiteita ja vaihteita.

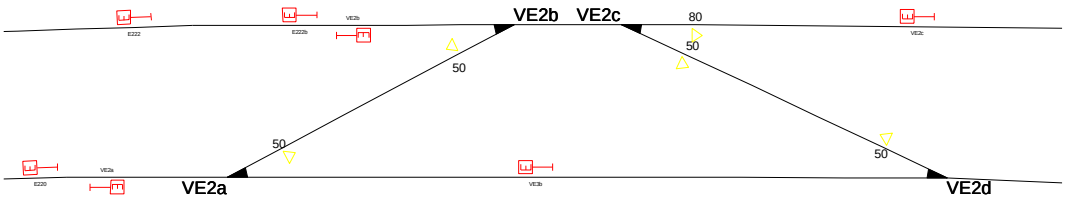


Kuva 31. Helsingin ratapihan itäpuolen muutettavat vaihteet ja raiteet uuden raiteenvaihtopaikan toteuttamiseksi (oranssilla).

Sijoitus 3,75 minuutin vuorovälillä

Luvussa 5.3 on todettu, että tällä vuorovälillä voidaan kummallakin puolella ratapihaa hyödyntää hyvin liikennöintimallia, jossa junan lähtö- ja saapumisajat aikataulutetaan samaan hetkeen. Tällöin ristiinajo-ongelmaa ei synny aikataulunmukaisessa liikenteessä lainkaan. Tarve vaihtoehtoisen reitin käytölle syntyy siis vain poikkeavassa tilanteessa. Mikäli riskipitoista reittiä saapuva juna (kuvan 31 punainen reitti) on myöhässä, sen ja samaan aikaan aikataulun mukaan lähtevän junan välinen ero kasvaa. Tietyn myöhästymisrajan ylittäessään ristiinajo-ongelma realisoituu, jolloin reitinvalinnan punnitsemiselle on peruste. Kun on näin löydetty myöhästymisraja, jolloin uudelleenreitityksen harkinta on oleellista, voidaan määrittää kohtaavien junien määräävät aikaerot.

Kuvassa 32 esitetään tapauksen käsittely Helsingin itäisellä puolella, ja raiteenvaihtopaikan muoto. Ensimmäinen kohtaaminen määrää vaihteen VE2c sijainnin suurimman etäisyyden. Raiteiston itäpuolella reititysvalintaa on tarpeen harkita, jos saapuva juna on noin puoli minuuttia myöhässä aikataulustaan. Tässä tilanteessa edellisen lähtevän junan ja saapuvan junan välinen aikaero on vuoroväli lisättynä myöhästymisellä eli 4,25 minuuttia. Vaihde VE2c on pyrittävä sijoittamaan niin, että edellä mainitun tai sitä suuremman aikaeron toteutuessa lähtevä juna ehtii vapauttaa vaihteen VE2c juuri ennen kuin Pasilasta tulevalle junalle tarvitsisi lukita reitti vaihteiden VE2d ja VE2c kautta. Tärkeää on huomioida juuri pienin merkitsevä myöhästyminen: mikäli saapuvan junan myöhästyminen on tätä suurempi, tilanne on edullisempi kohtaamisen kannalta, koska vaihteen VE2c varautumisväli kasvaa. Lähtevän junan myöhästyminen olisi kohtauksen kannalta epäedullista, mutta tässä työssä oletamme, että ylimääräisiä lähtöviiveitä Helsingin asemalla pystytään torjumaan yleensä tehokkaasti, joten lähtevien junien viivettä ei pidetä sijoitussuunnittelussa huomioitavana seikkana. Käytännöllisistä syistä varautumisväliä kannattaa aina pyrkiä saamaan tiukimmankin suunnitellun tilanteen pelivarana mukaan edes vähän pienten variaatioiden vuoksi.



Kuva 32. Ratkaisumallin puolenvaihtopaikan toteutustapa pitkillä vaihteilla Helsingin ratapihan itäpuolella. Vasemmalla Helsinki ja oikealla Pasila.

Vaihteen VE2a kauimmainen sijainti määräytyy samalla periaatteella kuin vaihteen VE2c, mutta kohtaamisen (Kuva 30, alin piirros) ohjaavana aika-arvona on tällä kertaa vuorovälin mitta eli 3,75 minuuttia. Tämä johtuu siitä, että perusoletuksena on, että kumpikin juna on aikataulussaan: lähtevän junan aikataulussa lähtö on mahdollistettu vaihtoehtoisen reitityksen käytöllä. Saapuvan junan mahdollinen myöhästymien on jälleen kohtaamistilanteelle eduksi.

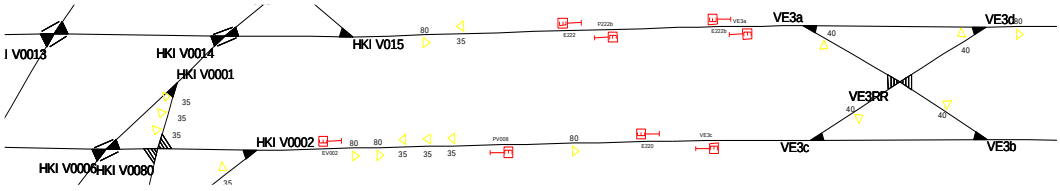
Teorian mukaan vielä tulisi tarkastella vaihteen VE2b lähintä mahdollista sijaintia (Kuva 30, keskimmäinen piirros). Kuitenkin tässä kohtaa katse on käännettävä ympäröivään infrastruktuuriin. Koska sijainnit mitoittavat junien aikaerot olivat eri suuret, vaihde VE2a voi olla lähempänä kuin VE2c. Tämä mahdollistaa vaihderatkaisun, johon ei sisälly raideristeystä, kuten Kuva 32 havainnollistaa. Tällöin on myös mahdollista käyttää pidempiä vaihteita, jolloin vaihtoehtoisen reitin käytöstä syntyvät aikaviiveet nopeuden aleneman myötä ovat vähäisemmät. Ratkaisuksi onkin valittu 1:14-suhteen vaihteet, jolloin voidaan käyttää 50-60 km/h nopeuksia, mikä tarkoittaa nopeuden aleneman vuoksi hidastusvaikutusta vain Pasilan suuntaan ajettaessa. Kuitenkin tällöin ratakäytävässä helposti käytettävissä oleva tila rajaa jo vaihteiden sijaintia. Vaihde VE2a halutaan toiminnallisuuden vuoksi tuoda sen verran kauas, että sitä edeltävän ajolupamerkin takana mahtuu seisomaan 2-yksikköinen juna ilman, että vaihdekuja Helsingin laiturien päässä jää varatuksi. Toisaalta vaihde VE2d on pyrittävä sijoittamaan ennen kaarteen alkamista, vaikka teoreettisesti hieman kauempikin sijainti voisi olla edullinen. Lopputulos on joka tapauksessa käytännöllinen ja täyttää teoriassa asetetut tavoitteet häiriöttömän kulun mahdollistamiseksi todennäköisimmissä vaihtoehtoisen reitin valinnan tilanteissa. Vaihteiden sijainnit on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Uuden raiteenvaihtopaikan sijainti (itäpuoli, 3,75 minuutin vuoroväli).

Vaihde (ks. Kuva 32)	Sijainti ratakm
VE2a	1+023
VE2b	1+126
VE2c	1+137
VE2d	1+240

Sijoitus 3 ja 2,5 minuutin vuorovälillä

Junien saapumis- ja lähtöaikojen erojen määräävä vaikutus vaihteiden sijaintiin toimii samanlaisella periaatteella kuin edellä on tehty. Operointimalli kuitenkin vaikuttaa merkittävästi vuorovälin ohella käytettäviin aika-arvoihin. Luvun 5.3 katsannossa todettiin, että tasatahtinen operointi on riskirakenne vaikkei täysin mahdoton itäpuolella ratapihaa. Kuitenkin tämä tarkoittaisi, sitä että vaihteen VE3c (Kuva 33) sijainnin määrittelisi 3 minuutin aikaero. Tällöin vaihteen pitäisi sijaita lähempänä kuin mihin VE2a sijoitettiin edellisessä tapauksessa ja lisäksi tämän vaihteen määritykseen liittyvä kohtaus on sellainen, että raiteelta 1 lähtevä juna ajaa raiteelle 1 saapuvaa junaa vastaan. Laiturin 1 varautumisväli oli kuitenkin simuloinneissa vain 7 sekuntia, jolloin on täysin mahdotonta, että vaihteen HKI V0002 jälkeen voisi olla puolenvaihtopaikan vaihde, josta olisi mitään mahdollisuuksia ehtiä alta pois ennen saapuvan junan tarvetta varata kyseisen vaihteen raideosuus.



Kuva 33. Ratkaisumalli sovitettuna raideristeyksenä (VE3RR) kaupunkiraiteiden välissä. Vasemmalla näkyy laitureille 1-3 johtavia vaihteita ratapihan itäpuolella.

Ratkaisumallin soveltamisen kannalta tasatahtinen operointi ei siis ole missään tapauksessa toimiva tiheämpien vuoroväliskenaarioiden kanssa. Sen sijaan sovellamme näissä tapauksissa eritahtista operointimallia, joissa on tasasuuruiset ajat lähtöjen ja saapumisten välillä. Tämän seurauksena ristiinajo-ongelma osoittautuu säännölliseksi, jolloin on edullista etsiä sopiva raiteenvaihtopaikan sijoittelu siten, että suurin piirtein aikataulunmukaisessa liikenteessä voidaan valita vaihtoehtoinen reitti mahdollisimman esteettömästi.

Tällöin 3 minuutin vuorovälillä vaihteiden VE3a ja VE3c sijoituksen mitoittava aikaero on kummallakin 4,5 minuuttia ja 2,5 minuutin vuorovälillä 3,75 minuuttia. Tällöin on perusteltua soveltaa kuvan 33 mukaisesti sovitettua raideristeystä tai vastaavaa rakennetta, koska kummankaan vaihteen ei tarvitse olla toista lähempänä ja näin saadaan ristiinajo-ongelman välttäneiden junien kohtaus raiteenvaihtopaikalla (Kuva 30, keskimmäinen piirros) paremmaksi, koska kriittinen vaihde on tällä ratkaisulla aina kauempana. Tämän seurauksena nykyään asennettavilla vaihteilla voidaan puolenvaihtoa tehdessä käyttää enintään 40 km/h ajonopeutta. Koska vaihtoehtoinen reitti on tarkoitettu säännöllisesti käytettäväksi, voi eron tavanomaiseen reittiin nähden myös sisällyttää aikatauluun.

Tässä ratkaisussa vaihteen tarkkaa paikkaa ei rajoittanut niinkään ympäröivä infrastruktuuri. Vaihde sijoitettiin tarkasti lopulta niin, että aikataulunmukaisen liikenteen mukaan tehdyssä vaihtoehtoisen reitin käytössä raideosuuksien varautumisvälit olivat melko tasaiset. Tällöin todennäköisimmän eli likipitäen aikataulun mukaan kulkevan liikenteen ympärillä on variaatiovaraa, jonka sisäpuolella myöhässä tai etuajassa ajot eivät vaikuta vaihtoehtoisen reitin toimivuuteen huonontavasti. Esteettömimmän kulun ratkaisualue on kuitenkin melko kapea, sillä varautumisvälit suuntaan tai toiseen on määritetyissä ratkaisuissa 15 sekunnin luokkaa kohtaavien junien välillä.

Taulukot 10 ja 11 sisältävät skenaarioiden uusien vaihteiden edellä kuvatulla tavalla määritellyt sijainnit.

Taulukko 10. Uuden raiteenvaihtopaikan sijainti (itäpuoli, 3 minuutin vuoroväli).

Vaihde (ks. Kuva 33)	Sijainti ratakm
VE3a ja VE3c	1+095
VE3b ja VE3d	1+170

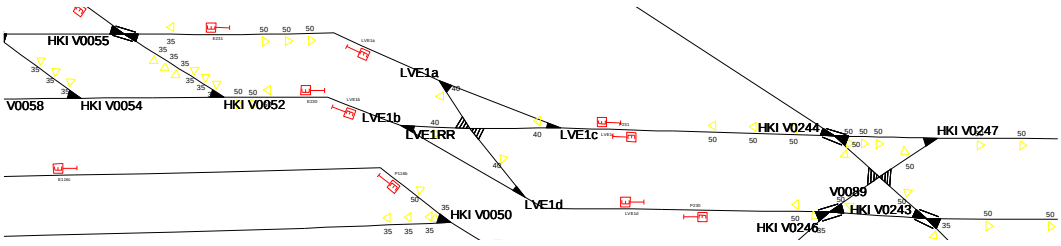
Taulukko 11. Uuden raiteenvaihtopaikan sijainti (itäpuoli, 2,5 minuutin vuoroväli).

Vaihde (ks. Kuva 33)	Sijainti ratakm
VE3a ja VE3c	0+986
VE3b ja VE3d	1+061

5.4.2 Ratapihan länsipuoli

Länsipuolella uuden raiteenvaihtopaikan sijoitusmahdollisuudet ovat raiteiston geometrian vuoksi rajoittuneemmat. Teoreettisen analyysin rajaamalla alueella ei ole nykyisin lainkaan tarpeeksi suoraa raidetta uusille vaihteille. Toisaalta käytettävissä olevaa aluetta rajaavat toiminnallisesti Helsingin pään vaihdekuja, joka ulottuu itäpuoleen verrattuna kauemmaksi Pasilan suuntaan sekä huolto- ja seisontaraiteisiin liittyvä vaihteisto (kuvassa 34 oikealla). Uuden raiteenvaihtopaikan toteuttaminen helpohkoilla toimenpiteillä edellyttää, että sijoituspaikka pitäisi olla edellä mainittujen vaihteistojen välissä, ja tällöinkin tarvitaan muutoksia raidegeometriaan, koska alueella ei ole tarpeeksi suoraa rataa.

Operointimallien osalta tilanne on sama kuin itäisen puolen liikenteessä: 3,75 minuutin vuorovälillä kannattaa säilyttää tasatahtinen operointimalli ja tiheämmillä vuoroväleillä eritahtinen on hyvän liikenteellisen toiminnan edellytys.



Kuva 34. Ratkaisumalli sovitettuna raideristeyksenä (LVE1RR) kaupunkiraiteiden välissä. Vasemmalla on laiturien 17–19 vaihdekujan pää ja oikealla huolto- ja seisontaraiteisiin liittyvää vaihteistoa.

Kuva 34 näyttää, kuinka raiteenvaihtopaikka (vaihteet alkutunnuksella LVE) sijoittuu lähelle muita nykyisiä vaihteita. Näiden vaihteiden välillä on kaarteita siten, että ilman muutoksia kyseisiin vaihteisiin raiteenvaihtopaikan sijoitukselle on varsin vähän liikkumavaraa, teoreettisestikin vain noin 75 metrin verran. Vaihdekujat ovat varsin pitkiä, joten muutokset niihin ovat suuritöisiä. Tälle alueelle saatiin sovitettua 3 minuutin vuoroväliin sopiva asetetut tavoitteet täyttävä raiteenvaihtopaikka, jonka simuloinnin avulla määritetty sijainti on ilmoitettu taulukossa 12. Alustavien

geometriatarkasteluiden mukaan tämä raiteenvaihtopaikka voidaan toteuttaa sovitettuna raideristeyksenä vähäisin muutoksin raiteiden geometriaan. Oleellista on saada riittävä suora osuus edeltävien ja seuraavien vaihteiden kaarreosuuksien väliin. On kuitenkin huomattava, että raiteenvaihtopaikkaa edeltäville ajoluvan päätekohdille pysähtyvä mitoittavana käytetty 150 metriä pitkä juna ei pääse kokonaan pois edeltävien vaihteiden raideosuuksilta. Häiriötilanteiden näkökulmasta tilanne olisi vähintäänkin epäedullinen, vaikka tämä ei ristiinajo-ongelman välttämiseen vaikutakaan.

2,5 minuutin vuorovälin tilanteessa ratkaisumallin tavoitteisiin nähden optimaalinen sijainti menisi päällekkäin laiturien pään vaihdekujan kanssa. 3 minuutin vuorovälille määriteltyä parasta sijaintia voi käyttää jokseenkin hyödyllisesti välttääkseen itse ristiinajo-ongelman, mutta aikataulussaan saapuvat tilanteeseen liittyvät junat eivät useinkaan voi kulkea esteettömästi, vaan joutuvat jarruttelemaan ennen raiteenvaihtopaikkaa. Liikenteestä tulee helposti epätasaista ja energian kulutus kasvaa, vaikka vaikutus saapumisen viivästymiseen on simulaation perusteella useimmiten melko pieni, eikä se juuri lyhennä kääntöaikaa. Jarrutuskäyttäytymisen erot kuitenkin tuovat tähän epävarmuutta ja epätasaisuutta, koska varsinaista pelivaraa ei kohtaamisissa ole.

3,75 minuutin vuorovälin suhteen vaihdepari, jossa lähtevä juna palaa oikealle raiteelle puolenvaihdossa, pitäisi parhaan mitoituksen mukaan saada yhtä lähelle kuin 2,5 minuutin vuorovälillä. Tässäkin tapauksessa jokainen vaihtoehtoisen reitityksen käyttö johtaa siihen, ettei seuraava saapuva juna ajoissa ollessaan saa esteetöntä kulkua. Toisaalta vaihtoehtoiselle reitityksen tarkastelulle on tarvetta länsipuolella vasta kun saapuva juna on yli 50 sekuntia myöhässä ja esteetön kulku lähtevälle junalle voidaan vaihtoehtoisella reitityksellä taata noin puolentoista minuutin myöhästymiseen asti. Ratkaisumallilla ja taulukon 12 mukaisella sijoittelulla voidaan siis pienentää ristiinajo-ongelman lähtevän junan viivettä, kun saapuva juna on reippaammin myöhässä pienen epävakauden hinnalla. Saavutettava hyöty ratkaisumallista on itäpuoleen verrattuna heikompi pienemmän käyttötarpeen ja käytönaikaisten pelivarojen puutteen vuoksi.

Taulukko 12. Uuden raiteenvaihtopaikan sijainti (länsipuoli, 3 minuutin vuoroväli).

Vaihde (ks. Kuva 34)	Sijainti ratakm
LVE1a ja LVE1b	1+064
LVE1c ja LVE1d	1+139

5.5 Älykkään reitinvalinnan toimintaperiaate

Älykkään reitinvalinnan toteutukseen liittyy kiinteästi kaksi seikkaa: milloin päätös suhteessa tilanteeseen tehdään ja miten parempi reitti arvotetaan. Tässä työssä käytetty mekanismi on käytettävien työkalujen rajaama, mutta systeemin toimintaa ja parametrejä on hiottu työn aikana testaamalla. Tarkoitus on esittää yksi mahdollinen systeemi päätöksentekoon – riittävän tehokas, jotta voidaan ymmärtää ratkaisumallin mahdollisuudet ristiinajo-ongelman kanssa.

Kaikissa vuoroväliskenaarioissa liikenne on sen verran tiheää, että vaihtoehtoisen reitin käyttäminen tehokkaasti edellyttää jonkinlaista automatiikkaa päätöksenteossa. Varoajat ovat varsinkin tiheimmillä vuoroväleillä pieniä, joten usein joudutaan myös tilanteeseen, jossa ajolupaa joudutaan odottamaan pieni hetki, ja se tulee kyetä myöntämään välittömästi sen ollessa mahdollista, koska junat ovat lyhytkestoisissa odotuksissa vielä liikkeessä, eikä koituva viive ole silloin suuri.

Toisaalta vaihtoehtoisen reitin käyttämistä ei voi päätöksenä sitoa aikatauluun, koska ratkaisevassa asemassa hyödyn kannalta on kohtaavien junien keskinäiset aikaerot. Tällöin päätöksenteon hetkellä pitäisi olla olemassa hyvä estimaatti siitä mikä on junien suhteellinen ajallinen sijainti toisiinsa nähden niiden kohdatessa. Paras tieto olisi toki saatavilla vain hetkeä ennen raiteenvaihtopaikkaa, mutta kulunvalvontajärjestelmän ja asetinlaitteen valvomien turvallisuusnäkökohtien vuoksi päätös pitää tehdä ennen kuin kulunvalvonta antaa Pasilasta tulevalle junalle ilmoituksen jarrutustarpeesta, mikäli reitti raiteenvaihtopaikan yli ei olisi vapaana. Ilmoitusajankohta on riippuvainen ajonopeudesta, mutta järjestelmän on varauduttava siihen, että ajetaan suurinta sallittua nopeutta.

Päätöksentekopiste ja -hetki

Aiemmin määritettyjen vaihdesijaintien ja kulunvalvonnan jarrutuskäyrien perusteella voidaan laskea kullakin vuorovälillä se piste radalla, johon mennessä päätöksen pitää viimeistään olla tehty saapuvan junan osalta. Toisaalta lähtevän junan kannalta tämä päätös täytyy olla tehty likimain lähdön hetkellä, koska laiturien jälkeinen vaihdekuja on varattava piakkoin junan liikkeellelähdön jälkeen, kun tavoitellaan esteetöntä kulkua. Simulointi on osoittanut, että määräääväksi tekijäksi muodostuu saapuvan junan sijainti, koska sille joudutaan tekemään reitityspäätös ennen päätöstilanteeseen liittyvän vastaavan lähtevän junan lähtöaikaa, mikäli päätavoitteena on esteetön kulku. Ennusteen tekemisen näkökulmasta tämä ei ole aivan ongelmaton, koska lähtevän junan reitti on jouduttu päättämään ennen junan lähtöä, ilman tietoa mahdollisesta lähtöviiveestä, joka voisi vaikuttaa tosiasiassa parhaaseen ratkaisuun. Tästä näkökulmasta oletus kyvystä tulevaisuudessa minimoida tehokkaasti ylimääräisiä lähtöviiveitä tukee ratkaisumallin luotettavuutta.

Arvaamattomien tekijöiden minimoimiseksi päätöksentekopisteelle paras sijainti on saapuvan junan lähdettyä Pasilan asemalta ja tavoitettuaan matkanopeuden. Liikkuvan junan ennuste on varsin hyvä ja aikataulun pelivarojen käyttöä on mahdollista huomioida. Pelivarat Helsinki–Pasila-välillä ovat itsessään yksi arvaamaton tekijä, koska jos pelivaraa on paljon, juna voi laskennalliseen kohtaamiseen nähden liikkua etuajassa. Tämän työn tarkasteluissa pelivarojen jakamiseen on esitetty yksi vaihtoehto, joka perustuu siihen, että suuria pelivaroja ei sijoiteta vaihdeosuuksien alueelle, jotta simuloinnin laskemat varausajat ja varautumisvälit ovat edullisia liikenteen näkökulmasta. Tällöin Helsingin asemalta lähtevät junat eivät voi juurikaan ajaa etuajassa, ja reitityspäätöksen näkökulmasta vain saapuvan junan etuajassa ajo on epäedullinen. Tämäkään ei ole operatiivisesti ongelma, koska junan odotus ei ole aikataulullinen haitta sen ollessa etuajassa. Kuljettajavetoisessa liikenteessä pelivarojen suunnittelu on osa ratkaisumallin kokonaisuutta. Tulevaisuudessa mahdollisissa junien automaattisen ajon (ATO) toteutuksissa sopivat ajonopeudet sen sijaan voidaan automaattisesti huomioida tilanteen mukaan, ja kohtauttaminen voitaneen tehdä usein hyvin edullisesti sekä liikennetilanteen että energian säästämisen kannalta.

Tämän työn simulointiosuudessa ohjelmiston kyvyt rajoittavat sitä, miten päätöksentekohetken voi valita. Koska asemille ei häiriösimuloinneissa mallinneta lähtöviiveitä, on päätöksenteko voitu yksinkertaistaa varmistamalla vain riittävä etäisyys, jolla tarvittava joustavuus algoritmin päätöksenteossa saavutetaan, sillä simulaattori laskee junien kohtaamisajalle tarkan ennusteen. On oma kysymyksensä, miten todellisuudessa varmistetaan ennusteen luotettavuus, ja miten epävarmuuteen pitää tai kannattaa varautua ratkaisumallin todellisessa toteutuksessa.

Päätöksien arvottaminen

Reitityspäätöksen tavoitteena on vähentää ristiinajo-ongelmasta koituvia junaviiveitä. Kuitenkin optimaaliset sijainnitkaan vaihteille eivät ole sellaisia, että aina jommallakummalla reitillä voitaisiin välttää kaikki viiveet. Itse asiassa edellä on havainnoitu, että esteettömän kulun alue on ajallisesti varsin kapea, ja yksittäiseen päätökseen liittyviä konfliktipisteitä on kokonaisuudessaan neljä. Tällöin pitää pystyä arvioimaan kummankin ratkaisun viivevaikutuksia.

Edellä luvussa 5.4 todettiin, että junien todennäköisin saapumis- ja lähtöaikojen välinen ero on oleellinen puolenvaihtopaikan sijainnin määrittelemisessä, koska se määrittää tarkemmin, missä sijainnissa paras hyöty voidaan saavuttaa. Koska parhaan hyödyn alue on ajallisesti kapea, päätöksentekoa varten on saatava luotettava ennuste junien kulusta. Tätä ennustetta voi käyttää laajemmin: voidaan ennustaa junien koko kulku Helsingin ja Pasilan välillä molempia reitityksiä käyttäen. Simulaattori on oiva työkalu tällaisen ennusteen laatimisessa, joka voi hetkessä tutkia eri reittivaihtoehtojen seuraukset, eli arvioida junille koituvat viiveet ja edelleen määrittää ratkaisuille viivearvot, joiden eroista päätös johdetaan.

Viiveiden lisäksi on yleensä muitakin laadullisia tekijöitä, jotka vaikuttavat liikenteenohjauspäätöksiin. Esimerkiksi reitinmuutos voisi itsessään olla vältettävä tekijä, jos se tapahtuisi vaikkapa asemalaiturin suhteen. Tässä työssä reitin muutos tarvittaessa on itsetarkoitus, mutta on syytä välttää, että vaihtoehtoinen reitti aiheuttaisi ongelmia enemmistöliikenteelle, joiden kannattaa aina käyttää normaalia reittiä. Kuitenkin mahdollinen jatko-ongelma koskee Helsinkiin saapuvaa liikennettä, jolloin on kuitenkin käytettävissä kääntöajan pelivaroja. Tästä syystä ennustettu jatkokonflikti reitinvaihdoksesta tuottaa vain hieman lisää viivettä vaihtoehtoisen reitin viivearvon laskentaan, jolla pyritään siihen, että aivan muutaman sekunnin säästöllä ei tehdä reitinvalintaa, jolla on tunnistettu vaara häiritä muuta liikennettä. Käytännössä optimaaliset ratkaisut vaihteille on valittu siten, että näitä tilanteita jo useimmiten vältetään.

5.6 Simulointianalyysi

Ratkaisumallin kokonaistoimintaa tutkittiin systemaattisen mallin osioiden tarkastelun lisäksi vastaavanlaisilla häiriösimuloinneilla kuin perusskenaariossa muutenkin on tehty. Yhdet simulointiajokierrokset suoritettiin siltä pohjalta, että haluttiin ylipäätään varmistua reitinvalintapäätöksien hyödyllisyydestä ja siitä, että tarkasteltu ratkaisumallin mukainen systeemi tekee oikeanlaisia päätöksiä. Näissä ajoissa annettiin ristiinajo-ongelman potentiaalisesti kohtaaville saapuville junille vaihtelevia alkuviiveitä ja havainnoitiin ongelmaan liittyvien junaparien kokemia lähtö- ja saapumisviiveitä. Havaintoja verrattiin tilanteeseen, jossa vastaavaa aikataulua

ajetaan ilman mahdollisuutta reitinvaihdokseen. Ratkaisumallin simuloinnit tuottivat selvästi pienempiä myöhästymisprosentteja, joten voitiin todeta, että päätöksentekosysteemi teki toimivia ratkaisuja.

Laadunvarmistusmielessä ratkaisutapoja havainnoitiin myös yksittäisillä simulaatioajoilla, ja todettiin odotusten mukaisia muutoksia ratkaisuissa tapahtuvan, kun myöhästymismäärät muuttuivat. Kaiken kaikkiaan simulaatio osoitti, että ratkaisumallia saatiin hyödynnettyä varsin vakaasti riippuen ristiinajo-ongelmaan liittyvien junien saapumis- ja lähtöajan välisestä erosta. Junaparin välisestä aikaerosta voitiin hahmotella skenaarioittain viitteelliset suuntaviivat, joilla päätöksenteon tuloksen saattoi yhdistää viitteellisiin aikakategorioihin, johon kuuluminen määrää todennäköisimmän reittipäätöksen.

Esimerkkikuvaus päätöksenteon toiminnasta

Seuraavassa taulukossa esitetään älykkään reitityksen päätöksiä Helsingin ratapihan itäpuolella 3 minuutin vuorovälin liikenteessä. Taulukko ei kuitenkaan ole tarkka kuvaus työssä sovelletusta päätösmekanismista, mutta se kuvaa millaisen päätöksen reitinvalinta tekee yksinkertaisessa päätöstilanteessa, ja miten päätös suhteutuu liikennetilanteen muutokseen.

Taulukossa esitetään liikennetilanne raiteelle 3 saapuvan junan suhteen, koska sillä on suurin ristiinajo-ongelman kohtaamispotentiaali ja koska saapuvan junan aikataulupoikkeamat ovat vaihtelevat työn viivemallinnuksissa.

Taulukko 13. Reitinvalinta-algoritmin toteutuva reitityspäätös joissakin yksinkertaisissa viivetilanteissa.

Raiteelle 3 saapuva juna myöhässä Pasilasta lähtiessään	Havainto	Paras reitti
0	Konflikti R3/R1 48 sekuntia	Uusi
15 s	Konflikti R3/R1 58 sekuntia	Uusi
30 s	Konflikti R3/R1 58 sekuntia	Uusi
45 s	Konflikti R3/R1 44 sekuntia	Uusi
60 s	Konflikti R3/R1 28 sekuntia	Vanha
75 s	Konflikti R3/R1 15 sekuntia	Vanha
90 s	Ei konfliktia	Vanha
105 s	Ei konfliktia	Vanha
120 s	Ei konfliktia	Vanha

Ratkaisumallin vaikutuksen vertailu

Häiriösimuloinneilla koetettiin myös tarkastella, nähdäänkö ratkaisumallin käytöllä täsmällisyyttä parantava vaikutus. Vertailukohtana oli häiriösimulointi mallilla, jossa uutta raiteenvaihtopaikkaa ei ole ja jokaisella vuorovälillä käytettiin tasatahtista operointimallia, koska tällöin aikataulunmukainen liikenne ei koskaan kärsi ristiinajo-ongelmasta, mikä on parempi lähtökohta, kun toista reititysvaihtoehtoa ei ole.

Tässäkin häiriösimuloinnissa käytettiin Väylän täsmällisyystilastoon (Väylävirasto 2022) perustuvaa jakaumaa, mutta häiriöt rajoitettiin enintään vuorovälin mittaisiksi. Yli vuorovälin mittaiset häiriöt aiheuttaisivat todellisuudessa liikenteessä heijastusvaikutuksia, joita simulaattorissa ei mallin rajatun alueen vuoksi pystytä huomioimaan. Yli vuorovälin mittaisessa myöhästymisessä junajärjestys saattaa simulaatiossa muuttua Pasilan saapumisen suhteen, mikä ei kovin usein vastaa todellista tilannetta kovin hyvin. Toisaalta minimikääntöaikojen lyhyyden vuoksi simulaatiossa on tällöin erittäin epätodennäköistä päätyä tilanteeseen, jossa saapuvan junan viive heijastuisi suoraan käännössä lähtevän junan viiveisiin. Lähtevien junien viiveet näissä simulaatioissa ovatkin seurausta nimenomaan ristiinajotilanteiden aiheuttamista ongelmista, koska liikenteellä ei ole muuta syytä myöhästyä. Tällöin Pasilan lähtöviivettä tarkastelemalla voidaan nähdä viitteitä ristiinajo-ongelman vaikutuksesta lähtevälle liikenteelle kummassakin vertailuvaihtoehdossa.

Vaikka viivejakauma on tehdyissä häiriösimuloinneissa keinotekoisesti rajoittunut, tuloksia vertailemalla saadaan ymmärrystä ratkaisumallin hyödyistä liikenteen sujuvuudelle. Kaikki junaparin kulkudynamiikan kannalta erilaiset ristiinajo-ongelmaan liittyvät päätökset tulevat näkyviin jo enintään vuorovälin mittaisessa myöhästymisessä, koska tänä aikana ristiinajo-ongelmaan liittyvän junaparin lähtevä vuoro vaihtuu toiseksi: jos alkuperäinen ratkottava ongelma on esimerkiksi itäpuolella raiteiden 1 ja 3 liikenteen välinen, ja raiteelle 3 saapuva juna on vuorovälin mitan myöhässä, ongelma muuttuu identtisesti raiteen 2 ja 3 liikenteen väliseksi, mikäli raiteelta 2 lähtevä juna on aikataulussa.

Kuten odottaa saattaa, lähtöviiveitä näkyi yleensä vain Helsingin aseman raiteilta 1 ja 17 lähtevissä junissa, koska niillä on taipumus joutua kohtaamaan ristiinajo-ongelma. Alkuviiveen rajoittaminen vuorovälin mittaan aiheuttaa sen, että tasatahtisessa operointimallissa ristiinajo-ongelma ei kovin helposti siirry raiteelta 2 lähtevän ja raiteelle 3 saapuvan junan väliseksi. Simuloinneissa ei käytännössä ollenkaan esiintynyt viivästyksiä raiteen 2 lähdöissä Pasilan kohdalla. Ratkaisumallin tapauksessa ongelma ehtii siirtyä vaikuttamaan raiteen 2 lähtöihin, mutta lähes poikkeuksetta niin, että vaihtoehtoinen reititys pääsee kulkemaan esteettä.

Taulukossa 14 on esitetty vertailutuloksia tapauksista, joissa tavoitteisiin nähden optimaalinen sijoitusratkaisu uudelle raiteenvaihtopaikalle oli tehtävissä. Taulukossa esitetään Pasilassa lähdön viivästymisen todennäköisyys häiriösimulointeihin perustuen. Tuloksia ei pidä nähdä absoluuttisina myöhästymismäärinä häiriöjakauman rajoittuneisuuden vuoksi. Lisäksi on huomioitava itäpuolen liikenteen osalta, että suuret aikataulun pelivarat vaikuttavat myöhästymistodennäköisyyksiin. Ristiinajo-ongelman vuoksi kärsittyä viivettä saadaan ajettua kiinni ennen Pasilaa, eikä jokaisesta ongelman aiheuttamasta viivytyksestä ole enää Pasilassa mitään havaittavissa. Yleensäkin havaitut viivytykset ovat erittäin pieniä. Tämän vuoksi myöhästymistoleranssi oli vain 3 sekuntia ja lisäksi Pasilan aseman pysähdysaikaan ei laskettu pelivaraa, jotta tuloksista saatiin ulos jotain mielekästä vertailtavaa. Taulukon 14 luvut on nähtävä nimenomaan vaihtoehtojen keskinäisenä vertailuna, eivätkä ne ole vertailukelpoisia tämän työn muiden häiriösimulointien kanssa.

Taulukko 14. Ratkaisumallin tehokkuusvertailu. Vertailuvaihtoehtona on tasatahtinen operointimalli ilman mahdollisuutta vaihtoehtoiselle reitille. Luvut edustavat Pasilasta lähdön myöhästymistodennäköisyyttä ilman asemapelivaraa.

Ratapihan puoli/vuoroväli	Vertailuraide, lähtevät junat	Ratkaisumalli, Pasilan viive %	Vertailuvaihtoehto, Pasilan viive %
Itä / 3,75 min	1	1,7	2,5
Itä / 3 min	1	2,6	5,7
Itä / 2,5 min	1	6,5	11,9
Länsi / 3 min	17	18,2	24,4

Tuloksen nojalla on pääteltävissä, että ratkaisumalli ei ainoastaan mahdollista esteetöntä aikataulunmukaista operointia, vaan myös kykenee keskimäärin vähentämään ristiinajo-ongelmasta koituvaa haittaa vuorovälistä riippumatta. Samoin voidaan kuitenkin huomata, että vuorovälin tihentäminen johtaa joka tapauksessa täsmällisyyden heikentymiseen, koska varautumisvälit kriittisillä raideosuuksilla pienenevät. Länsipuolen itäpuolta simulointituloksen suurempia lukuja selittää erityisesti junien pelivara, joka on itäpuolella suurempi ja jota junat voivat käyttää hyödykseen ottaakseen aikataulua kiinni ennen Pasilaa.

5.7 Yhteenveto

Koko luvun 5 keskeinen asia on ollut tutkia ratkaisua, jolla kaupunkiliikenteen kykyä sujuvaan liikennöintiin tiheilläkin vuoroväleillä voidaan parantaa kohtuullisin toimenpitein Helsingin nykyisellä ratapihalla. Helsingin kaltaisella pääteasemalla haastavia kohtia ovat junan kulkusuunnan nopea vaihtaminen ja lähtevien ja saapuvien junien risteävät kulkutiet laitureilta poistuttaessa. Ensin mainittua haastetta voidaan lieventää operatiivisin keinoin. Jälkimmäisestä voidaan muotoilla ristiinajo-ongelma, jonka haittavaikutusten vähentämiseen on tässä keskitytty.

Ristiinajo-ongelman tutkimiseen oli ennakkoon hahmoteltu ratkaisumalli, jossa uuden puolenvaihtopaikan ja älykkään, dynaamisen reitinvalinnan keinoin voitaisiin välttää risteäviä yhtäaikaisia kulkuteitä mahdollisimman paljon. Tälle ratkaisumallille haettiin konkreettista toteutustapaa kolmelle eri kaupunkiliikenteen vuorovälille kummallakin puolella Helsingin ratapihaa.

Tavoitteeksi ratkaisumallin toteutukselle asetettiin, että aikataulunmukainen liikenne voi saada esteettömän kulun, kun reititysvaihtoehtoja käytetään parhaalla tavalla. Tutkimukset osoittivat, että kullekin vuorovälille on löydettävissä teoreettisesti ihanteellinen etäisyysalue, jolle uusi puolenvaihtopaikka kannattaa sijoittaa. Teoreettiseen parhaaseen sijaintiin vaikuttavat kuitenkin lukuisat seikat, tärkeimpinä junien suunniteltu vuorotiheys, raiteiston ajonopeudet, turvalaitesijoittelu, junaliikenteen myöhästymisjakaumat ja myös se, millaisiin liikennetilanteisiin eniten ratkaisumallilla halutaan helpotusta.

Käytännössä teoreettisesti parhaan sijainnin käyttäminen ei ole aina mahdollista. Helsingin ratapihan osalta itäpuoli osoittautui helpommaksi, sillä siellä teoreettisesta etäisyydestä ei alustavien ratageometristen ja teknisten tarkasteluiden jälkeen tarvinnut paljoakaan tinkiä, ja ratkaisumallin toteutustavoite täyttyi kaikilla tarkastelun vuoroväleillä. Länsipuolella raiteiston muoto ja geometriat eivät olleet ratkaisumallille optimaalisia. Kohtuullisilla ratageometriamuutoksilla tavoitteet täyttävä sijainti oli mahdollinen vain 3 minuutin vuorovälillä. Muilla vuoroväleillä ei löytynyt sijaintia, jolla esteettömän kulun tavoite olisi saatu täytettyä. Toteutus on mahdollista epäoptimaalisemmallakin sijainnilla, mutta saavutettavat hyödyt ovat kyseenalaisemmat. Ratkaisumallin täysipainoinen hyödyntäminen 2,5 ja 3,75 minuutin vuoroväleillä edellyttää laajempia muutostoimenpiteitä ratapihan länsipuolen vaihteistoihin ja ratageometriaan. Optimaalisen puolenvaihtopaikan sijoittamiseksi tarvittavien muutoksien laajuutta ja yhteensopivuutta ratapihan muiden järjestelmien kanssa on vaikea arvioida ilman tarkempaa teknistä suunnittelua. Tarvittavan tilan saamiseksi kysymykseen voisivat tulla myös Helsingin laituripituuksien lyhentäminen kaupunkiradoilla, tai seisontaraiteisiin liittyvät muutokset.

Älykäs reitinvalinnan menetelmä on yhtä tärkeä ratkaisumallin toimivuudelle kuin puolenvaihtopaikan tarkoituksenmukainen sijainti. Tarkastelut osoittivat, että parhaan hyödyn ajallinen alue on suhteellisen pieni, joten liikenteen moninaisissa variaatioissa täytyy kyetä usein huomioimaan molempien reittivaihtoehtojen haittavaikutukset. Tätä varten on hyödyksi menetelmä, jolla voidaan ennustaa junien kulkua muutama minuutti eteenpäin hieman ennen päätöksentekohetkeä, joka sekin määräytyy liikenteen ja infrastruktuurin kokonaisuudesta sovellustilanteen mukaan. Simulaattori itsessään tarjosi tässä työssä kyseisen menetelmän.

Käytetyn älykkään reititysalgoritmin säädössä ja puolenvaihtopaikkojen sijoituksen haarukoimisessa oletettiin olevan voimassa kaikki perusskenaarion oletukset, joista vaikuttavimpina:

- Digiradan mukainen toimintaa tukeva turvalaitesijoittelu
- Lähtevien junien viivästymisten tehokas torjuntakyky.

Simulaatiotestit osoittivat, että ratkaisumalli on toteuttamiskelpoinen ja tavoitteet täyttävän sijoittelun kanssa ratkaisumallin avulla voidaan ehkäistä ristiinajo-ongelman haittoja ja näin mahdollistaa sujuvampi liikenne tiheillä vuoroväleillä kuin ilman ratkaisumallin hyödyntämistä. Varsinaisia myöhästymistodennäköisyyksiä eri häiriö- ja myöhästymistilanteissa ei kuitenkaan pystytty tässä työssä mittaamaan mallin rajallisen alueen vuoksi. Tässä simulaatiototeutuksessa käytetty reititysalgoritmi oli toimiva, mutta ei voi sanoa, että se olisi absoluuttisesti paras. Helposti voidaan mainita laajennettavia kohteita, kuten vielä useamman junan yhtäaikainen huomioiminen päätöksenteossa. Toisaalta merkittävä parannus ratkaisumallin tuottaman analyysin toteutumiseen olisi se, että järjestelmä voisi säädellä junien ajonopeutta tai ainakin informoida kuljettajaa suositeltavasta nopeudesta. Tämä toisi myös raiteenvaihtopaikan sijainnin optimointiin uuden näkökulman, koska sitä ei tarvitsisi välttämättä perustaa aikataulun perusteella laskettuihin kohtaamisaikaeroihin.

Helsingin ratapihalla länsi- ja itäpuolen kaupunkiliikenne kytkeytyy nykyisellään toisiinsa. Tällöin ratkaisumallin hyödyntämistä on vaikeampi tehdä toispuoleisesti. Soveltaminen käytäntöön vaatii siis joka tapauksessa jatkotutkimuksia, ja infrastruktuurin kehitystä. Tässä tehtyjä oletuksia esimerkiksi operointimalleista voi myös tarkastella enemmän ja miettiä tavoiteltavia hyötyjä, jos lähtöoletukset ovatkin toisenlaiset. Esimerkiksi simulaatiotarkasteluissa on teknisesti oletettu, että liikenne on aikataulutettua, mutta todellisuudessa hyvin tiheää liikennettä voidaan ajaa myös vain vuorovälin säilyttämiseen pohjautuen ilman aikataulua. Tällainen operointitapa ei sinällään muuta edellä tarkastellun ratkaisumallin toimintakykyä, koska reitinvalinta ei pohjimmiltaan perustu kiinteään aikatauluun vaan junien kulkuennusteeseen. Varsinkin automaattisessa junaliikenteessä (ATO) poikkeamat vuorovälin mukaan ajettaessa vähenevät, koska järjestelmä voi tasoittaa junien kulkua dynaamisesti. Silloin tässä esitetty ratkaisumallin toiminta voitaisiin optimoida tarkemmin, koska todennäköisten häiriöiden skaala pienenisi. Kaiken kaikkiaan hahmoteltu ratkaisumalli kokonaisuutena vaikuttaa lupaavalta menetelmältä auttaa tiheän liikenteen täsmällisyyden pitämistä korkealla tasolla, mutta toiminnallisesti parhaaseen ratkaisuun vaikuttaa hyvin moni asia.

6 Skenaariotarkastelut – Pisara-skenaario

Pisararadan vaikutuksia Helsingin ja Pasilan ratakapasiteettiin tarkasteltiin samoilla junamäärillä kuin perusskenaarion maksimiliikennettä. Pisara-skenaario on esitelty tarkemmin luvussa 3.1.2. Pisararadan ollessa käytössä vapautuisi Helsingin ratapihalta muun liikenteen käyttöön yhteensä kuusi kaupunkijunien käytössä olevaa raidetta. Häiriösimuloinnilla tutkittiin Helsingin ratapihan kapasiteetin lisäyksen merkitystä liikenteen häiriönsietokyvylle. Häiriösimulointi on tehty vain kauko- ja lähiliikenteelle; Pisara-radan liikenteelle ei tehty varsinaisia häiriösimulointeja, koska mallin rajatun alueen vuoksi viiveiden heijastusvaikutusten laajempi arviointi olisi epäluotettavaa ilman koko ympyrälinjan liikenteen simulointia. Kauko- ja lähiliikenteen häiriösimuloinnin osalta Pisara-skenaarion tulokset ovat vertailukelpoisia perusskenaarion maksimiliikenteen tulosten kanssa, sillä liikennemäärät ovat samat.

6.1 Maksimiliikenne

6.1.1 Aikataulusuunnittelu

Pisara-skenaariossa lähtökohdaksi otettiin perusskenaarion aikataulut. Koska perusskenaariossa maksimiliikenne toimi inframuutosten jälkeen lähes oletusliikenteen tavoin, simuloitiin Pisara-skenaario ainoastaan maksimiliikenteellä. Raiteistonkäyttö päivitettiin, jotta Helsingissä vapautuneita lisäraiteita voidaan hyödyntää kauko- ja lähiliikenteen käyttöön.

6.1.2 Simulointi

Perussimulointi

Perussimuloinnin periaatteet on esitetty luvussa 4.1.2.

Perussimuloinnissa ongelmalliseksi kohdaksi osoittautui aiempien tarkastelujen tapaan Pasilan asemalta Lentoradalle lähtevä liikenne. Lahden IC-junien, Tampereen harvaan pysähtyvien IC-junien sekä Allegrojen välillä varautumisvälit ovat tiukkoja Pasilaan saapuessa, pienimmillään noin 10 sekunnin suuruisia.

Lisäksi perussimuloinnin aikana huomattiin, että vaikka Lentorataa käyttävälle kaukoliikenteelle vapautui lisää mahdollisia raiteita käytettäväksi Helsinki–Pasila-välillä, ei kaukojunille suunniteltu ajoaika riitä käyttämään huoltoraiteita 414 tai 415, jotta junien pääsy laitureille 10 ja 11 olisi tehokkaampaa. Asemista kauempana olevien vaihteiden käyttö hidastaa ajonopeutta, jolloin junat tulisivat Helsinkiin myöhässä. Pisararadan myötä vapautunutta Helsingin ja Pasilan välistä raidekapasiteettia ei siis saada hyödynnettyä niin, että niitä pitkin Lentoradan liikenne pääsisi laitureille 10 ja 11, mikä helpottaisi vaihdekujien ruuhkaisuutta ja tekisi näiden laitureiden käytöstä joustavampaa. Edellä mainittuja raiteita on kuitenkin hyödynnetty varikkosiirroissa, jolloin on saatu muille raiteille lisätilaa häiriötilanteiden varalta. Varikkosiirtojen lisäksi huoltoraiteet tarjoavat joustavuutta häiriötilanteisiin, sillä häiriötä aiheuttava juna on mahdollista siirtää huoltoraiteille sivuun, jotta muu linjaliikenne ei häiriinny. Varikkosiirroista suurin osa ajoittuu aamulle sekä iltaan, joten huoltoraiteita voidaan hyödyntää muuhun käyttöön näiden aikojen ulkopuolella.

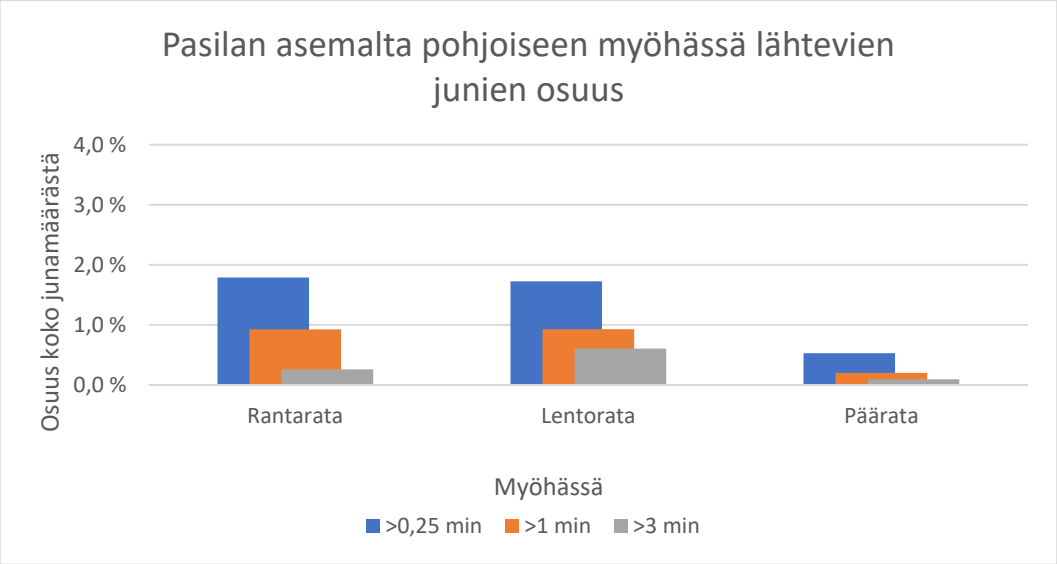
Toinen ongelmallinen kohta oli länsiraiteiden puolella. Histan lähijunien siirtyessä käyttämään raidetta 18 aiheutui saapuvan Turun express-junan kanssa lyhyt, noin 10 sekunnin mittainen varautumisväli Histan junien siirtyessä raiteelta 427 raiteelle 422. Länsiraiteille yritettiin mahduttaa Histan junien sijasta Kirkkonummen junia, mutta tämä johti suoraan konfliktiin, joten Kirkkonummen junat siirrettiin käyttämään pääsääntöisesti raiteita 12 ja 15. Histan junan ja Turun express-junan välinen lyhyt varausaika ei kuitenkaan aiheuta suuria ongelmia, sillä liikenteenohjaus voi priorisoida häiriötilanteessa express-junaa, jolloin useitakin minuutteja mahdollisesti myöhästynyt Histan juna ehtii palautua häiriöstä Helsingin asemalla kääntöajan puitteissa.

Kun kaupunkiliikenne on siirtynyt käyttämään Pisararataa, on lähi- ja kaukoliikenteen mahdollista ”levittäytyä” useammalle laiturille, jolloin häiriötilanteisiin pystytään ratapihalla reagoimaan joustavammin. Pääradan liikenne käyttää pääsääntöisesti raiteita 1–5, Lentoradan liikenne raiteita 6–13 ja Rantaradan liikenne raiteita 14–19. On kuitenkin syytä huomioida, että Pasilan aseman rajallinen kapasiteetti asettaa silti tietyt rajoitteet liikenteen aikatauluille, vaikka Helsingissä kauko- ja lähiliikenteen käytettävissä olevia raiteita onkin perusskenaariota enemmän.

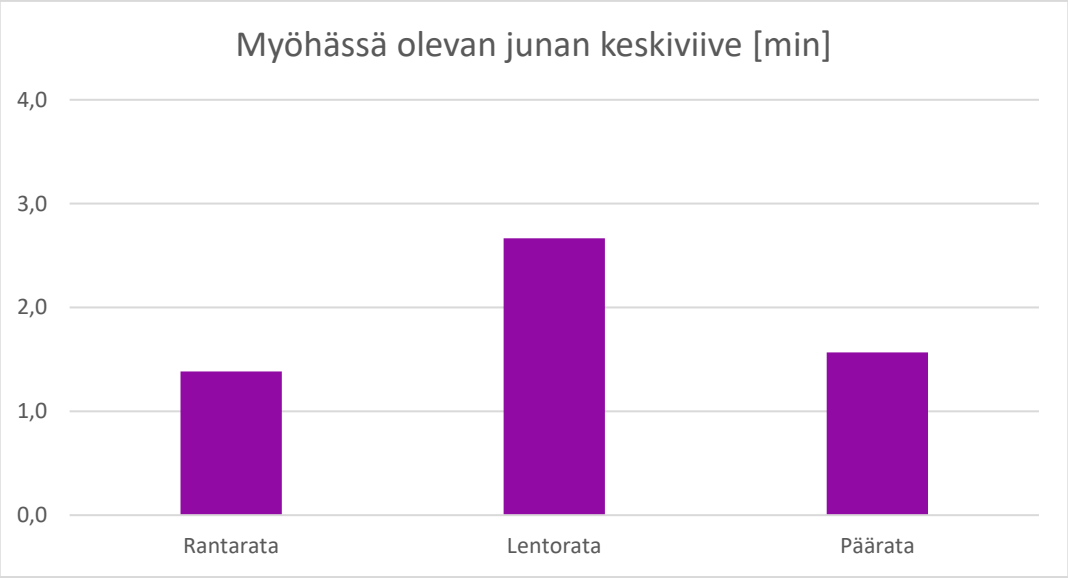
Häiriösimulointi

Häiriösimuloinnin periaatteet on esitetty luvussa 4.1.2.

Myöhästyneiden junien osuuksissa on eritelty junat rataosuuksien lisäksi myös myöhästymisen pituuden mukaan. On syytä huomata, että pienemmät myöhästymisrajat sisältävät kaikki rajaa pidemmät myöhästymiset. Esimerkiksi Lentoradan 0,6 % myöhästymisosuus yli 3 minuuttia myöhässä olevista junista sisältyy myös yli 0,25 minuuttia sekä yli 1 minuuttia myöhässä oleviin. Kaikkien myöhässä olevien junien määrän voi siis suoraan lukea 0,25 minuutin myöhästymisen kohdalta (Kuva 35, Kuva 36).



Kuva 35. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien osuus koko junamäärästä Pisara-skenaariossa.



Kuva 36. Pasilasta pohjoiseen myöhässä lähtevien junien keskiviive Pisara-skenaariossa.

Rantarata on myöhästyneiden osuudeltaan hieman Lentorataa suurempi, mutta kuvasta 36 nähdään, että myöhästyneiden junien keskiviive on Lentoradalla kuitenkin lähes kaksinkertainen. Lentoradan myöhästymiset ovat täten huomattavasti pidempikestoisia kuin Rantaradalla. Lentorata ei kuitenkaan ole erityisen häiriöherkkä, sillä myöhässä olevan junan keskiviive on VR:n käyttämää kaukoliikenteen viiden minuutin myöhästymisrajaa huomattavasti alhaisempi, eikä myöhästymisiä ole määrältään paljon. Päärata on lähes häiriötön, mutta koska häiriöiden lukumäärä on erittäin pieni, nostavat määrältään vähäiset pidemmät myöhästymiset herkemmin keskiviivettä.

6.2 Kaupunkiliikenne

Pisara-skenaariossa keskitytään kaupunkiliikenteen osalta ymmärtämään Pisararadan liikenteellisiä edellytyksiä tiheille vuoroväleille Pisara+ -selvityksen (Väylävirasto 2019) mukaisin olettamin, miltä osin niiden yksityiskohtia on esitetty riittävällä tarkkuudella.

Pisararata–Kehärata-ympyrälinjan ajoaikojen määrittäminen

Pisararadalla on ajoajat määritelty simulointitarkasteluiden avulla huomioiden Pisara+ -selvityksen kierrosaikamalli, jossa Pisararadan liikenne toimii kapasiteetin ja aikataulurakenteen kannalta edullisesti. Muiden rataosuuksien osalta Pasilasta eteenpäin on käytetty nykyisiä ajoaikoja. Jokaiselle vuorovälille on määritetty omat ajoaikansa. Pisara-rata–Kehärata-ympyrälinjan liikennöintimallin pohjana on ollut Pisara+ -selvityksen mukainen malli, jossa Lapinkylä toimii linjan ajantasausasemana ja jossa matkustajat voivat vaihtaa junaa jatkaakseen matkaa aiemmin. Nyt lasketuilla ajoajoilla 7,5 ja 5 minuutin vuoroväleillä Lapinkylän ajantasausasemalle saapuu samalle raiteelle juna melko pian edellisen junan lähdön jälkeen, joten saattaa olla tarve pidentää Kehäradan liikenteen ajoaikaa noin minuutilla sen varmistamiseksi, että asemalle saapuva juna pystyy liikennöimään sujuvasti.

Tarkastelut poikkeavat sekä Pisara-radan vuoden 2015 ratasuunnitelmasta että Pisara+ -selvityksestä seuraavista syistä: Ratasuunnitelmavaiheessa tarkasteltiin Pisararadalla 5 min ja 3 min vuorovälejä. Tiheämmästä 3 min vuorovälistä todettiin, että ratatekniikka mahdollistaa sen, mutta vaatii muiden järjestelmien kuten JKV:n päivityksen. Tässä työssä lähestymistapa poikkeaa edellä mainitusta, sillä ETCS on oletettu toteutetuksi eikä JKV:tä ole tarkasteltu. Ratasuunnitelmassa Pisararadan lenkin matka-aika oli 12 minuuttia. Luku ei kuitenkaan sisällä Pasilan pysähdysaikoja. Pisara+ -selvityksessä ei erikseen kerrottu Pisaran ajoaikoja, vain pidempien linjojen kierrosajat. Tästä syystä ajoaikoja ei voida suoraan verrata ko. selvitykseen.

Taulukko 15. Pisararata–Kehärata-ympyrälinjan operointisuunnitelman ajo- ja pysähdysaikamäärittelyt eri vuoroväleillä.

	Vuoroväli		
	7,5 min	**6 min**	**5 min**
Ajoaika Pasilasta Pasilaan Kehäradan kautta	53 min	53 min	53 min
Pisara-lenkin ajoaika (sisältää Pasilan pysähdysajat)	16,25 min	15,25 min	13,5 min
Kokonaisajoaika	69,25 min	68,25 min	66,5 min
Aika rungon saapumisen ja odottavan rungon lähdön välillä Lapinkylässä = matkustajien vaihtoaika	5,75 min	3,75 min	3,5 min
Aika rungon saapumisen ja lähdön välillä Lapinkylästä	13,25 min	9,75 min	8,5 min
Kalustoyksikön kiertoaika linjalla	82,5 min	78 min	75 min

Taulukossa 15 on esitetty eri kaupunkiliikenteen vuoroväleille suunnitellut ajoajat ja ajantasausajat. Taulukon aikojen määrityksessä tehtiin kokeita ajoajan suhteen Pisara-lenkillä. Tarkempien tietojen puutteessa Pasila–Lentoasema–Pasila-osuuden matka-aika pidettiin vakiona ja Pisaran ajoaika yritettiin valita niin, että ajantasauksen, matkustajavaihtoaikojen ja Pisara-lenkin ratakapasiteetin kannalta päästään hyvään lopputulokseen. Perussimuloinnin varautumisvälejä analysoimalla päädyttiin siihen, että tunneliosuuden aikataulut kannattaa suunnitella 60 km/h nopeuden mukaisesti, koska kulunvalvonnan jarrutusmatkavaatimuksia saadaan esteettömän kulun kannalta edullisemmiksi, jolloin kokonaiskapasiteetti kasvaa. Tämä soveltui myös hyvin huomioiden Pisara+ -selvityksen mukaisen tarkastelua ohjaavan 75 minuutin kierrosaikatavoitteen koko ympyrälinjalla. Tunnelin

suunniteltu geometria mahdollistaa 80 km/h nopeuden, jolloin alemman aikataulunopeuden hyvä puoli on, että aikataulua voidaan tunneliosuudella ajaa kiinni häiriötilanteessa.

Pasilan ja tunneliasemien pysähdysaika

Tunneliasemien ja Pasilan aseman pysähdykset ovat Pisara-tunnelin minimijunavälin määräävät kohdat. Junien tarvitsema pysähdysaika näillä asemilla on siten merkittävä tekijä kapasiteetin riittävyydelle tiheillä vuoroväleillä. Pasilan asema on nykyisellään kaikkein paras vertailukohta uusille tunneliasemille matkustajamäärien näkökulmasta. Pasilaan verrattuna on odotettavissa, että liikenteen suunnat eivät aivan yhtä voimakkaasti ole suuntautuneet vuorokaudenajan mukaan kaupunkiin tai kaupungista poispäin, koska on oletettavaa, että Pisara-rataa käytettäisiin myös Helsingin keskustan alueella matkaketjujen osana. Vaikka nykyisten päärautatieaseman matkustajamäärien kaupunkijunissa voi olettaa hajautuvan jonkin verran tunneliasemille, niin tiheämpi junaliikenne edellyttää kysynnän kasvamista. Keskustan tunneliaseman kohdalla muita asemia oletetusti suurempien matkustajavirtojen täytyisi mahtua poistumaan junasta ja nousemaan säännöllisesti junaan merkittävästi lyhyemmällä pysähdyksellä, kuin mitä junan kääntö nykyisellä päärautatieasemalla mahdollistaa.

Perussimuloinnin menetelmillä tutkittiin pysähdysaikojen muutoksien vaikutuksia kapasiteettiin, junien varautumisväleihin ja yksittäisen vakioviiveen heijastumisefektiin takaa tulevaan liikenteeseen. Liikenteen laatutavoitteeksi asetettiin vähintään samat varautumisvälit kuin perusskenaarion eri vuoroväleillä saavutettiin Pasilan aseman kohdalla, eli tavoitteellinen pienin varautumisväli on 30 sekunnin luokkaa. Koska Pisararadan aikataulussa käytettävä nopeustaso Pasilan aseman kohdalla on sama tai hitaampi kuin tunnelissa, kannattaa pysähdysaikojen olla suunnilleen samat koko tarkastelualueella. Keskustan asema-ajan todettiin olevan perusteltua pitää hieman suurempana, koska matkustajavirrat junasta sisään ja ulos ovat oletettavasti keskenään tasaisemmat ja määriltään suuremmat kuin muilla asemilla. Tällöin kuitenkin Keskustan asema on kapasiteetin määräävä kohta Pisara-radalla, joten Keskustan pysähdysajan oikea määritys on hyvin merkityksellinen. Tavoitteelliset aikatauluajat Töölön, Hakaniemen ja Pasilan pysähdyksille olivat 50 sekuntia ja Keskustan asemalle 60 sekuntia.

Simulointitarkasteluiden tuloksena tavoiteajat onnistuttiin säilyttämään 3,75 minuutin ja 3 minuutin vuorovälien kanssa, mutta 2,5 minuutin vuorovälillä liikenteen laatutavoitteiden yhteensovituksessa todettiin, että kaikkien tunneliasemien ja Pasilan aseman pysähdysajoissa pitäisi päästä noin 30 sekunnin normaaliin pysähdysaikaan.

6.3 Yhteenveto

Liikenne toimii Pisara-skenaariossa hyvin. Aikataulun mukaisessa perussimuloinnissa ei esiinny konflikteja, ja varautumisvälit ovat pääsääntöisesti tavoitteiden mukaiset. Maksimiliikenteen rakenteessa on perusskenaarion tapaan joitakin Lentoradan suunnan lähtöjä hyvin lähellä toisiaan, jolloin pienilläkin lähtöviiveillä on riskinä heijastua hetkellisesti nopeasti. Häiriösimuloinnissa ei kuitenkaan esiintynyt erityisen suuria viiveitä yksittäisen junatyypin kohdalla. Erityisesti Pääradan häiriöistä aiheutuvat viiveet saatiin minimoitua hyvin tehokkaasti. Muidenkaan ratojen

kohdalla ei ilmennyt erityisiä ongelmakohtia. Aiheutuneet viiveet olivat suoraan seurausta jonkin toisen myöhässä olevan junan odottelusta.

Kaupunkiliikenteelle saatiin laadittua Pisararata–Kehärata-ympyrälinjan kokonaisuuden huomioivat aikataulut ja liikennemallit. Suurin haaste Pisara-osuuden kapasiteetissa ovat Pasilan aseman ja etenkin tunneliasemien pysähdysajat. Kapasiteetin puolesta sujuvan liikenteen säilyttämiseksi pysäkkiaikojen pitäisi kyetä olemaan melko lyhyitä suhteutettuna nykyisiin matkustajamääriin. Erityisesti 2,5 minuutin vuorovälin sujuva liikennöinti vaikuttaa erittäin haastavalta, koska säännöllinen pysähdysaika saisi olla noin 30 sekuntia.

7 Johtopäätökset ja jatkotoimenpidesuositukset

Tämän selvityksen tarkoituksena on ollut tutkia ja ymmärtää Helsinki–Pasila-rata-osuuden kapasiteetin riittävyyttä tulevaisuuden tilanteessa, jossa varaudutaan junamäärien voimakkaaseen kasvuun junamatkustuksen lisääntyessä valtakunnallisesti ja seudullisesti. Kasvun pontimena on lisääntyvä junatarjonta nyt suunnitteilla olevien suurien raidehankkeiden myötä, sekä yleiset tavoitteet junamatkustuksen kulkumuoto-osuuden kasvattamiseksi. Selvitys tehdään tilanteessa, jossa suurista ratahankkeista on toteutettu Lentorata, Suomi-rata, Turun Tunnin juna ja Pasila–Riihimäki 3. vaihe. Lisäksi on oletettu, että junakulunvalvonta on uudistettu tarkastelualueella Digirata-hankkeen mukaisesti.

Tarkastelun keskiössä on ollut selvittää millaisiin junamääriin 2030–2040-luvuilla Helsinki–Pasila-välillä pitäisi varautua. Eri ratahankkeiden ja ennusteiden pohjalta rakennettiin kaksi kauko- ja lähiliikenteen liikennerakennetta, oletusliikenne ja maksimiliikenne, joiden pohjalta kapasiteetin riittävyyttä tutkittiin:

- Oletusliikenne kuvaa junatarjontaa, johon edellä mainittujen ratahankkeiden toteutumisen myötä on selvityksissä varauduttu.
- Maksimiliikenne kuvaa arviota suurimmasta vielä realistisesta tarjonnasta edellyttäen, että liikenteen kysynnän kehitys on suotuisaa. Tätä suurempaa liikennemäärää pidetään erittäin epätodennäköisenä.

Raidepareittain nämä tarkoittavat seuraavia junamääriä Helsinki–Pasila-välillä:

Taulukko 16. Yhteenveto Helsinki–Pasila-välin ennustetuista ruuhkatunnin junamääristä suuntaansa.

Raidepari	Oletusliikenne	Maksimiliikenne
Rantarata	8	10
Lentorata	5	7
Päärata	6	6
Yhteensä	**19**	**23**

Kaupunkiliikenteen osalta junamääristä ei pyritty tekemään ennusteisiin tai hankkeisiin pohjautuvaa kartoitusta, vaan kapasiteettia tutkittiin sekä Pää- että Rantaradan suunnan kaupunkiraiteilla tarjonnalla 8, 10 ja 12 vuoroa ruuhkatunnissa.

Toinen keskeinen kysymys oli selvittää, millaisia infrastruktuurin kehitysratkaisuja mahdollisesti tarvitaan, jotta Helsinki–Pasila-välin kapasiteetti saadaan näille junamäärille riittämään. Infrastruktuurin osalta tarkasteltiin työn simulointiosuudessa liikennettä Helsingin ja Pasilan välillä kahdessa pääskenaariossa:

- Perusskenaario. Tilanne, jossa Helsingin ratapiha on nykyisenkaltainen ja pääosin nykyisessä ratakäytävässä. Raiteisiin ja vaihteisiin tehdään kuitenkin muutoksia, joilla mahdollistetaan Lentoradan liikenne nykyisillä huoltoraiteilla, ja eri laiturit Pasilassa Pää- ja Lentoradalle.

- Pisara-skenaario. Tilanne, jossa Pisararata kaupunkiliikennettä varten on rakennettu siihen liittyvine liityntäkohtineen. Pääradan ja Lentoradan junat on erotettu omille laitureilleen Pasilassa.

Työn maksimiliikenne saatiin sovitettua ja toimiva aikataulu laadittua sekä perusskenaariossa että Pisara-skenaariossa Helsinki–Pasila-välille. Laadittu aikataulu ja raiteiston käyttö Helsingin ratapihalla osoitettiin kummassakin skenaariossa konfliktittomaksi. Häiriösimuloinneilla tutkittiin aikataulun kestävyyttä normaaleilla liikenteen variaatioilla. Häiriöiden vaikutukset olivat kummassakin skenaariossa maltillisia, eivätkä tulokset kokonaisuudessaan eronneet merkittävästi skenaarioiden välillä.

Kaupunkiliikenteen järjestämisen suhteen skenaarioiden laadulliset arviot olivat myös melko samankaltaiset: 3,75 minuutin vuoroväli oli molemmissa skenaarioissa hyvin toteutettavissa, 3 minuutin vuoroväli todettiin tietyillä kehitystoimilla toimivaksi ja 2,5 minuutin vuorovälillä todettiin merkittäviä haasteita. Pisararadan osalta haasteisiin ei osattu esittää ratkaisukeinoja.

Simulointitarkasteluiden tuella on siten tässä selvityksessä todettu, että Helsinki–Pasila-välin ja Helsingin ratapihan ja laitureiden kapasiteettitarve ei ole Pisararadan rakentamista puoltava tekijä. Nykyisen ratakäytävän kehittämisellä voidaan yhtä hyvin selviytyä paljon nykyistä suuremmastakin suunnitellusta liikennemäärästä huomioiden myös normaalien liikennetilanteiden hoidosta johtuvat tavanomaiset jokapäiväiset variaatiot liikenteessä.

Perusskenaarion tapauksessa Helsinki–Pasila-välin kapasiteetin varmistaminen edellyttää kuitenkin toimenpiteenä seuraavia vaihdemuutoksia ja geometriamuutoksia nykyisellä Helsingin ja Pasilan rautatiealueella:

- Helsingin ja Pasilan välisten huoltoraiteiden ottaminen linjaliikenteen käyttöön (vaatii Pasilan eteläpuolella raiteiden geometrian ja sijainnin muutoksia sekä muutoksia vaihdeyhteyksiin nykyisellä rata-alueella).
- Kaupunkiliikenteen täysi erottaminen muusta liikenteestä on tarpeen. Tämä vaatii pienen vaihde- ja geometriamuutoksen ratapihan länsipuolella laitureilta 16 ja 17 lähtevillä raiteilla.
- Tiheämmän kaupunkiliikenteen sujuvuuden tukemiseksi ratapihan länsipuolelle on syytä harkita uutta vaihdeparia laitureilta 18 ja 19 lähtevien raiteiden väliin.
- Tiheämmin kuin 3,75 minuutin välein kulkeva kaupunkiliikenne tarvitsee raiteiston kehittämistä. Tässä työssä on selvitetty mallia, jossa toteutetaan uusi puolenvaihtopaikka kaupunkiraiteille ja otetaan käyttöön älykäs reitinvalinnan menetelmä.

Molemmissa pääskenaarioissa on oletettu, että kaupunkiliikennettä varten on rakennettu varikkoselvityksen (Väylävirasto 2020a) mukaisia uusia varikoita. Herkkyystarkasteluna perusskenaariolle tehtiin erillinen vertailutarkastelu, Ilmala-skenaario, jossa kaupunkiliikenteen uusia varikoita ei olisikaan rakennettu, vaan kaikki huolto- ja varikkoliikenne kulkisi Ilmalan ja Helsingin välillä. Tämä vaihtoehto todettiin mahdottomaksi tässä työssä käytetyillä liikennemäärillä, sillä kaikki tarvittava huoltoliikenne Ilmalan ja Helsingin välillä ei mahtunut muun liikenteen kanssa radalle.

Vaikka vertailutarkastelua nykyiseen kulunvalvontajärjestelmään ei työn simuloinneissa tehty, on selvää, että Digiradalla on merkittävä rooli kapasiteetin parantamisessa. Digiradan toteutus nostaa kapasiteettia lyhyempien raideosuuksien ja tehokkaamman tiedonkulun myötä. Simulointitarkastelun nojalla saavutettu korkeampi kapasiteetti on tarpeellinen työssä määritellyillä liikennemäärillä, koska se on paikoin jopa lähes täydellä käytöllä.

Työssä on pidetty lähtökohtana, että uusinta teknologian kehitystä voidaan hyödyntää 2030-luvun rautatieliikenteessä. Tästä juontuu oletuksia kehityksestä liittyen niin junien toimintaan, operointimallien tehostamiseen kuin liikenteenhallinnan järjestelmiin. Kaiken kaikkiaan tulevaisuuden mahdollisten liikennemäärien huomioimiseksi tarvitaan seuraavat toimenpiteet riippumatta Pisararadan toteuttamisesta:

- Digiradan mukainen junakulunvalvonnan uusiminen
- Vanhan elinkaarensa päässä olevan nopean lähiliikenteen junakaluston korvausinvestointi
- Kaupunkiliikenteen varikkokokonaisuus
- Lentoradan liitynnän toteutus nykyiseen rataverkkoon siten, että Lentoradan tunnelista on kulku kahdelle vierekkäiselle laituriraiteelle Pasilassa. Samaten Pääradan lähiliikenteen raiteilta on oltava kahdelle vierekkäiselle laituriraiteelle Pasilassa.

Näillä toimenpiteillä rataverkon toiminnallinen pullonkaula ei ole Helsinki–Pasila-välillä eikä Helsingin ratapihalla silloinkaan, kun Lentorata, Suomirata ja Turun tunnin junan infrastruktuuri on rakennettu.

Seuraavissa luvuissa esitetään vielä työn eri vaiheiden keskeiset päätelmät ja huomiot työn rajauksista ja lopuksi jatkotoimenpidesuositukset.

7.1 Aikataulusuunnittelu

Tämän työn tarkastelussa on tunnistettu, että junien erilaiset pysähtymiskäyttäytymiset ja ajoajat vaikuttavat kapasiteetin optimaaliseen käyttöön; useasti yhden junan aikataulun muutos aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia monelle muulle junalle tai koko aikataulurakenteelle erityisesti maksimiliikenteen junamäärillä.

Helsingin ratapihan raiteistonkäyttö aiheutti reunaehtoja eri rataosuuksien liikenteen suunnittelulle, sillä junilla on oltava riittävä aika Helsingissä kääntöä varten, mutta samalla junien tulee lähteä Helsingistä jouhevasti, jotta myös seuraava juna pääsee sujuvasti ratapihalle. Kapasiteetti kuitenkin riittää niin Helsingin ratapihalla kuin Helsinki–Pasila-välillä kummallakin tarkastellulla liikennemäärällä.

Muita aikataulusuunnittelun näkökulmasta haastavia rataosuuksia ovat mm. Helsinki–Espoo- sekä Helsinki–Tampere-välit. Helsinki–Tampere-välille on oletettava neliraiteinen yhteys koko matkalle nykyiseen ratakäytävään jo oletusliikenteessä, jotta myös tavarajunille jää riittävät raot Tampere–Kytömaa-välille. Tämä ratkaisu mahdollistaa myös maksimiliikenteen tällä rataosalla. Raiteistonkäyttö perusskenaarion maksimiliikenteellä vaatii Tampereen suunnan harvaan ja tiheään pysähtyvien junien kalustokierron yhdistämisen.

Suomiradan suurnopeusratavaihtoehto on oletettu olevan käytettävissä vain nopeille IC-junille, jotka pysähtyvät Tampereen ja Helsingin välillä vain Lentoasemalla

ja Pasilassa. Tällöin suurnopeusrata vapauttaa kapasiteettia pääradalta vain yhden tunnittaisen junan kumpaankin suuntaan. Tämä ei mahdollistanut kaikkien muiden tässä selvityksessä oletettujen junien ajamista pääradalla. Suurnopeusratavaihtoehdon osalta on suositeltavaa selvittää tarkemmin pääradan kapasiteetin riittävyys.

Helsinki–Espoo-välillä Turun nopea express-juna pysähtyy maksimiliikenteessä myös Leppävaarassa, jotta junien erilaiset pysähdys- ja nopeuserot eivät aiheuta vakioaikatauluperiaatteelle suuria haasteita. Tällä tavoin Kirkkonummen, Histan ja Lohjan/Vihdin junavuorot on saatu pidettyä vakioaikatauluissa.

Lahden oikoradan aikataulusuunnittelussa ei huomioitu tavaraliikennettä, sillä tämän selvityksen junamäärillä Lahden oikoradan ohitusmahdollisuudet eivät ole riittävät tavarajunien tunnittaiselle kulkemiselle. Lahden Z-lähijunien matka-aikaa on maksimiliikenteessä nopeutettu nykyiseen matka-aikaan nähden 10 minuuttia Kytömaan ja Lahden välillä, sillä kaukojunien ja lähijunien nopeuserot osoittautuivat niin suuriksi, että kaikki liikenne ei olisi muutoin mahtunut oikoradalle.

7.2 Kauko- ja lähiliikenteen kapasiteetti

Sekä oletus- että maksimiliikenne pystytään sovittamaan Helsingin ratapihalle ja Helsinki–Pasila-välille. Paikoitellen aikataulut on jouduttu tekemään tavoiteltua tiukemmin pelivaroin etenkin maksimiliikenteessä. Oletus- ja maksimiliikenne ovat kuitenkin häiriöherkkyydeltään samankaltaisia Väylän myöhästymistilaston perusteella tehtyjen häiriösimulointien mukaan. Joissain tilanteissa maksimiliikenne on tulosten perusteella jopa häiriöttömämpi kuin oletusliikenne. Maksimiliikenne on kuitenkin suunniteltu erilaisella rakenteella kuin oletusliikenne ja sen aikataulut muun muassa käyttävät kaikkia Helsingin ratapihan nykyisiä raiteita, kun taas oletusliikenteessä jää hieman enemmän tilaa ratapihalle.

Myöhästyvien junien osuudet ovat molemmilla liikennemäärillä maltillisia: myöhästymisprosentit vaihtelevat 2 % molemmin puolin ja myöhästyvien junien keskiviiveet ovat 2 minuutin suuruusluokkaa. Aamu- ja iltaruuhkien aikana myöhästymiset ovat samaa suuruusluokkaa kuin koko päivän liikenteellä, joten erityisiä ongelmakohtia ei ruuhkaisinakaan aikoina simuloinneissa havaittu.

Helsingin ja Pasilan asemien välillä ei junien kulkuun synny suuria lisäviivästyksiä. Suurin osa saapuvien junien myöhästymisistä Helsinkiin saapuessaan johtuu niiden alkuperäisistä simuloiduista häiriöistä tai siitä, että ne joutuvat odottamaan Pasilaan pääsyä edeltävän junan vuoksi. Simuloinneissa saapuvat junat melko harvoin viivästyvät lisää Pasilan eteläpuolella. Myöhässä Helsinkiin saapuvat junat aiheuttavat tapauskohtaisesti lähteville junille odottelua, mikäli kyseiset junat käyttävät samoja vaihteita tai reittejä. Pasilasta eteenpäin jatkavat junat eivät siis viivästy sen takia, että liikenne ruuhkautuisi Helsingin ja Pasilan välillä vaan siksi, että vastaantuleva myöhästynyt juna estää tietyissä tapauksissa lähtevän junan etenemisen. Ratapihan kapasiteetti perusskenaarion oletusten vallitessa riittää hyvin sekä oletus- että maksimiliikenteen laajuiselle operoinnille, kun koko ratapiha on käytettävissä.

Pisara-skenaariossa Helsingin ratapihalla on käytössä enemmän raiteita liikenteelle. Koska maksimiliikenne mahtui operoimaan perusskenaariossa, se toimii myös Pisara-skenaariossa. Simuloinneissa ei havaittu erityisiä ongelmakohtia, vaan

aiheutuneet viiveet johtuivat pääsääntöisesti viivejakauman mukaisesti simuloiduista häiriöistä. Häiriösimulointitulosten perusteella ratapihan lisääntynyt kapasiteetti ei näyttäisi juurikaan vaikuttavan Helsinki–Pasila-välin läpäisykykyyn, vaan ainoastaan antaa Helsingin ratapihalle joustavuutta reagoida pidempiaikaisiin häiriöihin hyödyntämällä vähemmällä käytöllä olevia raiteita.

Häiriösimulointien myöhästymisjakaumat olivat molemmissa skenaarioissa samaa suuruusluokkaa. Pisaraskenaariossa saatiin Lentoradan lyhyiden myöhästymisten sekä Pääradan kaikkien myöhästymisten osuuksia hieman pienemmäksi kuin perusskenaariossa. Häiriösimuloinnin tulosten samankaltaisuudesta voidaan päätellä, että Pisararadan rakentamisella ei ole suurta merkitystä Helsinki–Pasila-välin välityskykyyn. Helsingin ratapihalta pois siirtynyt kaupunkiliikenne tarjoaa kuitenkin lisätilaa ratapihan sisäisten, mahdollisesti pitkäkestoisempien, häiriöiden ratkaisemiseen.

7.3 Kaupunkiliikenteen kapasiteetti

Kaupunkiliikenteen kapasiteettitarkasteluissa keskityttiin vertailemaan, miten ja millä edellytyksillä tiheämpää kaupunkiliikennettä voidaan operoida pääskenaarioiden oletuksin. Liikenteen sovittaminen perustui kummassakin tapauksessa simulointianalyysiin Helsingin ratapihalla. Erona kauko- ja lähiliikenteen käsittelyyn oli tuoda ilmi, mitä mahdollisia vaatimuksia kukin tarkasteltu vuoroväli asettaa kummassakin pääskenaariossa. Aikataulujen ja liikennerakenteen laatimisessa nojauduttiin pääosin perussimulointiin ja varautumisvälien maksimointiin.

Perusskenaariossa häiriösimulointi suoritettiin 3,75 minuutin vuorovälillä muun liikenteen tapaan. Lisäksi erillisiä häiriösimulointeja tehtiin, jotta voitiin vertailla eri vuorovälien liikenteelle erikseen tutkittujen liikennöintiä helpottavien kehitystoimien vaikuttavuutta. Pisara-radan liikenteelle ei tehty häiriösimulointeja, koska mallin rajatun alueen vuoksi viiveiden heijastusvaikutusten laajempi arviointi olisi epäluotettavaa ilman koko Kehärata–Pisara-rata -ympyrälinjan liikenteen simulointia. Varautumisvälien analyysillä tutkittiin kuitenkin hyvin yksinkertaisten viivästysten paikallista heijastusvaikutusta osana toimivimpien operointimallien määrittelyä.

Perusskenaariossa kaupunkiratojen liikenteen tihentämisen haasteet liittyvät Helsingin ja Pasilan laitureiden ratakapasiteettiin, poikittaisiin yhtäaikaisiin kulkuteihin ratapihalla eli niin sanottuun ristiinajo-ongelmaan ja Pasilan asema-ajan riittävyyteen. 3,75 minuutin vuorovälin liikenne oli jo yksin Digiradan tuomien parannusten myötä hyvätasoista, eikä sen operoimiseksi tarvittu erityistoimenpiteitä. Sivulla 36 kuvassa 10 esitetyt infrastruktuurin kehitystoimet ratapihan länsipuolella ovat kuitenkin suositeltavia, kun vuorotiheyttä halutaan nykyisestä nostaa tai kun kaupunkiliikenne halutaan keskittää raiteille 17–19. Toimista voidaan myös hyötyä nykyisessäkin liikenteessä.

Tiheämmillä vuoroväleillä liikenteen herkimmiksi ongelmakohdiksi tunnistettiin laiturien kapasiteetti yhdessä ristiinajon kasvaneiden riskien kanssa. 3 ja 2,5 minuutin vuorovälien sujuvan liikenteen mahdollistamiseksi ja myös 3,75 minuutin vuorovälin liikenteen laadun parantamiseksi tutkittiin ratkaisumallia, jossa ristiinajo-ongelmien häiriövaikutusta voidaan lieventää uudella puolenvaihtopaikalla ja älykkäällä reitinvalinnalla.

Kolmen minuutin vuorovälin liikennöinnille Helsingin liikenne- ja aikataulurakenteeseen sovitettu sijoitus- ja toteutusratkaisu löydettiin ratkaisumallin puolenvaihtopaikalle kummallakin puolella ratapihaa. 2,5 minuutin vuorovälin osalta optimaalinen vaihteen sijoituspaikka saatiin määriteltyä vain ratapihan itäpuolelle. Länsipuolella Helsingin pään vaihdekujat ulottuvat niin pitkälle, ettei liikennöinnin tavoitteiden mukaista ja infrastruktuurin reunaehtoihin sopivaa sijaintia ollut annettavissa. Teorian näkökulmasta optimaalinen puolenvaihtopaikka ulottuisi niin lähelle toisia vaihdekujia, että useita vaihteita ja raiteita pitäisi todennäköisesti siirtää pitkältä matkalta. Näin suurien muutoksien toteutusedellytyksiä ei tässä työssä voitu arvioida. Ratkaisumallista saatiin myös hyötyjä 3,75 minuutin vuorovälin liikenteellä soveltaen operointimallin takia osin erilaista tavoitetta. Tällöinkin tavoitteiden mukainen toimiva sijoitusratkaisu saatiin määriteltyä vain ratapihan itäpuolelle, koska länsipuolella vaatimien suurempien inframuutosten vuoksi.

Uuden puolenvaihtopaikan hyödyntäminen ristiinajotilanteiden helpottamiseksi oli simulaatioanalyysien perusteella häiriövaikutuksiltaan parempi verrattuna operointiin ilman vaihtoehtoista reittiä. Ratkaisumallilla on siis mahdollista sujuvoittaa tiheärytmistä kaupunkiliikennettä perusskenaariossa. Erityisesti ratkaisumalli auttaa poistamaan ristiinajo-ongelmien haittavaikutusta tiheillä vuoroväleillä, jos raiteenvaihtopaikka vain saadaan infrastruktuurin puolesta sijoitettua optimaalisesti. 2,5 minuutin vuorovälin osalta on kuitenkin huomattava, että Pasilan aseman pysähdysaika pitäisi saada nykyistä pienemmäksi. Tämän työn laatumittarein katsottuna arvioitiin, että pysähdysajan pitäisi olla noin 30 sekunnin luokkaa säännöllisessä liikenteessä, mikä on selkeä haaste ainakin nykyisellä kalustolla operoinnille peilaten nykyisiin pysähdysaikoihin Pasilassa.

Perusskenaarion kolmen minuutin tai tätä tiheämpiin vuoroväleihin on laiturikapasiteetin riittävyyden vuoksi tarpeellista kehittää Helsingin ratapihan infrastruktuuria. Työssä tutkitun uuden puolenvaihtopaikan vaatimat muutostoimenpiteet ratapihan itäpuolella ovat alustavassa analyysissä verraten helpohkoja. Ratapihan länsipuolella puolenvaihtopaikan rakentaminen on selvästi vaikeampaa, ja voi vaatia laajojakin muutoksia raiteisiin ja vaihteisiin. Puolenvaihtopaikan tehokas käyttö edellyttää kuitenkin automatiikkaa ja älykästä reitinvalinnan mekanismia liikenteenohjauksessa, joka kykenee arvioimaan vaihtoehtojen vaikutukset. Olennaista on myös lähtöviiveiden tehokas torjuminen Helsingissä, koska puolenvaihtopaikka on helpompi optimoida, jos todennäköisten häiriöiden laatu tunnetaan hyvin tai on rajattu. Lähtöviiveiden minimoimiseen auttaa olennaisesti esimerkiksi mahdollisuus vaihtokuljettajan käyttöön häiriötilanteissa, joka mahdollistaa nopean käännön. Junan ovet voitaisiin myös sulkea kokonaan jonkin verran ennen varsinaista lähtöaikaa, jolloin junan operatiivinen aikataulu erotetaan pienellä marginaalilla yleisöaikataulusta. Tällöin pienet poikkeamat eivät heti näkyisi palvelutasossa tai vaikuttaisi vaihtoyhteyksiin heikentävästi.

Pisara-skenaarion kaupunkiliikenteen tarkasteluissa määriteltiin kaikille vuoroväleille simuloinnin avulla aikatauluratkaisu, jossa huomioitiin Kehärata–Pisararataympyrälinjan kokonaisliikennöintimalli, Pisararadan ratakapasiteetti ja ajoajat, Digiradan toimintaa tukevat ratkaisut, sekä tunneliasemien ja Pasilan tavoitteelliset pysähdysajat. Jokaisella vuorovälillä päädyttiin käyttämään 60 km/h aikataulunmukaista nopeutta tunneliosuudella, koska tämä paransi kapasiteettia raiteen varaamiseen nähden suhteellisesti lyhyemmän jarrutusmatkan vuoksi. Lisäksi tällä valinnalla saatiin ympyrälinjan liikennöitävyys yleisesti paremmaksi, mutta ympyrälinjan muut ajoaikaratkaisut perustuivat aiempiin selvityksiin. Valinta toisi myös

lisää pelivaraa häiriötilanteisiin, koska tunneli on ratasuunnitelmassa mitoitettu nopeudelle 80 km/h.

3,75 minuutin ja 3 minuutin vuoroväleillä Pisara-radan kapasiteetti oli työn tavoitetasolla, kun pysähdysajat ovat 50–60 sekuntia. Näiden pysähdysaikojen savuttamiseksi on tärkeää kuitenkin tarkastella mahdollisuuksia ihmisten kulkuvirtojen kehittämiseen asemilla ja junissa, sekä junien ovitoimintojen tehokkuuteen. Helsingin nykyiset matkustajamäärät jakaantuisivat tunneliasemille, mutta Pasilaan verrattuna nousujen ja laskujen suhde on oletettavasti tasaisempi, koska matkustajavirrat eivät todennäköisesti ole vuorokauden aikaan nähden yhtä polarisoituneita kuin Pasilassa, mikä todennäköisesti vaikuttaa pysähdysaikatarpeeseen pidentävästi.

Pisara-skenaarion 2,5 minuutin vuorovälin liikennerakenteessa jouduttiin olettamaan, että säännöllisessä liikenteessä pysähdysajat ovat noin 30 sekuntia, jotta junavälit eivät käy liian pieniksi. Näiden pysähdysaikojen riittävyys nähdään hyvin vaikeana haasteena. Nykyisiäkin matkustajamääriä ajatellen etenkin 30 sekunnin mittainen pysähdys keskustassa on erittäin hankala saavuttaa, koska asema olisi todennäköisesti ruuhkaisin keskeisimmän sijaintinsa vuoksi. Tämän työn puitteissa ei ole kyetty tunnistamaan mitään kehityspolkua, joilla näin lyhyisiin pysähdysaikoihin voitaisiin riittävällä varmuudella säännöllisesti päästä. Pysähdysaikojen pidentäminen junavälien pienemisen hinnalla voi tehdä Pisara-radasta hyvin alttiin häiriöille. Lisäksi Pisara-radan nykyinen ratasuunnitelma on teknisestä näkökulmasta mitoitettu mahdollistamaan 3 minuutin vuoroväli, joten 2,5 minuutin vuoroväli vaatii myös teknisiä lisätarkasteluja.

Kaiken kaikkiaan säännöllisen kapasiteetin ja tavanomaisten maltillisten liikennehäiriöiden näkökulmasta 3,75 minuutin ja 3 minuutin vuoroväli vaikuttavat toteuttamiskelpoisilta sekä perusskenaarion että Pisara-skenaarion infrastruktuurissa edellyttäen, että Digirata voidaan toteuttaa liikennettä mahdollisimman hyvin tukevalla tavalla. Perusskenaarion osalta 3 minuutin vuorovälin toteuttamiskelpoisuutta ja liikennöinnin luotettavuutta voi selvästi nostaa rakentamalla uusi puolenvaihtopaikka ja älykkään reitinvalinnan mahdollistava liikenteenohjausjärjestelmä, johon on tässä työssä esitetty alustava ratkaisumalli ja toteutustapa. Pisara-skenaariossa keskeinen edellytys sujuvalle 3 minuutin vuorovälille on, että tunneliasemilla varmasti kyetään enintään minuutin pysähdysaikoihin, minkä toteutumismahdollisuudet vaatinevat muun muassa kalustoparannuksia. 2,5 minuutin vuoroväliss ä on selkeästi vaikeampia toteutettavuuden haasteita kummassakin skenaariossa.

7.4 Infrastruktuurin kehittämistarpeet

Työssä tarkasteltujen liikennemäärien mahduttaminen Helsinkiin edellyttää vain pieniä muutoksia ratainfrastruktuuriin. Suurimpana ja merkittävimpänä muutoksena on nykyisten Helsingin ja Pasilan välisten huoltoraiteiden ottaminen linjaliikenteen käyttöön perusskenaariossa. Tämän toteutus vaatii Pasilan eteläpuolella raiteiden geometrian ja sijainnin muutoksia sekä muutoksia vaihdeyhteyksiin nykyisellä rata-alueella. Näiden toteutusmahdollisuus kohtuullisin muutoksin on varmistettu ratageometrisessä tarkastelussa.

Lisäksi Pasilan pohjoispuolella on huomioitava, että Lentoradan liittyminen nykyiseen rataverkkoon toteutetaan siten, että Lentoradan tunnelista on kulku kahdelle

vierekkäiselle laituriraiteelle Pasilassa (yksi kumpaakin suuntaa varten) ja Päärадan lähiliikenteen raiteilta on niin ikään kulku kahdelle *vierekkäiselle* laituriraiteelle Pasilassa. Tässä työssä on esitetty liittymisratkaisu, joka täyttää tämän ehdon.

Helsingin aseman puolen vaihteistossa ei kaukoliikenteen osalta ole välttämättömiä lisävaatimuksia. Tämän työn liikenne ja reititysmallien vuoksi kaupunkiliikenteen täysi erottaminen muusta liikenteestä on tarpeen, ja tämä vaatii pienen vaihde- ja geometriamuutoksen ratapihan länsipuolella laitureilta 16 ja 17 lähtevillä raiteilla. Lisäksi tiheämmän kaupunkiliikenteen sujuvuuden tukemiseksi ratapihan länsipuolella on tutkittu uutta vaihdeparia laitureilta 18 ja 19 lähtevien raiteiden väliin. Myös näistä muutoksesta on tehty ratageometrinen ja tekninen alustava katselmus, jonka mukaan toteutettavuus on hyvä.

Kaupunkiratojen liikenne on saatu toimivaksi 3,75 minuutin vuorovälillä nykyisellä infrastruktuurilla. Tiheämmät vuorovälit edellyttävät vaihde- ja geometriamuutoksia kaupunkiradoille. Näillä vaihdemuutoksilla vähennetään risteävistä kulkuteistä koituvia viivästyksiä. Yhteensä tarvittaisiin kaksi uutta vaihdeparia itäpuolelle ja kaksi länsipuolelle. Itäpuolella tarvittavat muutokset on helppo toteuttaa, mutta länsipuolen tarpeet vaativat tarkempaa tutkimusta. Lisäksi tarvitaan kehittyneempää liikenteenohjauksen automatiikkaa reitinvalintaa varten.

7.5 Jatkotoimenpiteet

Työn aikana on ilmennyt jatkoselvitystarpeita muun muassa liittyen liikenteen häiriöherkkyyteen. Häiriösimuloinnit perustuivat tarkasti rajattuihin lähtöolettamiin, eikä esimerkiksi kaluston hajoamista tai yksittäisten vaihteiden rikkoutumisia ratapihalla tarkasteltu. Simulointimallin alueen rajallisuuden vuoksi myöskään liikenteen suurempaa jonoutumista linjalla ei voitu laajamittaisemmin huomioida. Yksityiskohtaisempi, tarkempiin häiriöihin keskittyvä simulointi on hyvä selvittää myöhemmin, jos nyt tarkastellut liikennemäärät ovat toteutumassa, koska tässä työssä ei ole tutkittu suurempien poikkeuksien aiheuttamaa kapasiteetin menetystä eikä liikenteenhoidon laajempia poikkeustilanteiden toimenpiteitä. Näitä tarpeita on syytä tutkia jatkossa joka tapauksessa lisää, kun liikennemäärät kasvavat.

Tiheän kaupunkiliikenteen häiriömallinnus on myös ollut kummankin skenaarion osalta rajoitettua, eikä verkostollista kokonaisuutta ole tässä työssä pystytty arvioimaan. Sekä perus- että Pisara-skenaarion osalta tiheän kaupunkiliikenteen ratkaisuja on syytä tarkastella perusteellisemmin sekä Helsingin ratapihalla että koko linjaston kannalta.

Ristiinajo-ongelman ratkaisumallissa on tässä työssä esitetty tiettyihin olettamiin perustuva ratkaisu. Tulos on vasta perusta sille, että idean on mahdollista toimia, mutta tarkan toteutuksen optimointiin liittyviä tekijöitä tunnistettiin paljon. Ideaa on syytä tutkia tarkemmin eteenpäin niin teorian kuin Helsingin ratapihalla mahdollisesti sovellettavan toteutuksen puolelta. Helsingin ratapihan länsipuolelle ratkaisumalli osoittautui hankalaksi soveltaa raiteiston muodon vuoksi. Ratkaisumallin merkityksellisen soveltamismahdollisuuden kartoitus eri vuoroväleillä vaatiikin laajempaa teknistä tarkastelua siitä, miten länsipuolen raiteistoa pitää ja voi käytännössä muuttaa, jotta uusi puolenvaihtopaikka saadaan sijoitettua liikennöinnin kannalta optimaalisesti.

Läntisten kaupunkiraiteiden käytössä on muitakin heikkouksia, joiden vuoksi liikenne on itäpuolta joustamattomampaa. Työssä esitetyt tarkemmat parannustoimenpiteet ratapihan länsipuolelle voivat kuitenkin tuoda yksinään hyötyä jo nykyäänkin, jos kaupunkijunien liikenne haluttaisiin hoitaa kolmella laituriraiteella muusta liikenteestä riippumattomasti.

Tässä selvityksessä Lahden oikoradan tavaraliikenteen aikataulusuunnittelu on jätetty pois, sillä oikoradan ohitusmahdollisuudet eivät ole riittävät tavarajunien säännölliselle tunnittaiselle kulkemiselle. Lahden oikoradan kapasiteetin parantamista tavaraliikenteen mahdollistamiseksi tulisi tarkastella varsinkin, jos tämän työn junamäärät ovat toteutumassa.

Liikenteen toimivuus Helsinki–Pasila-välin tarkastelualueen ulkopuolella on perustunut tässä työssä aikataulusuunnitteluun, eikä muuta aluetta ole simuloitu. On myös suositeltavaa, että aikataulurakennetta tarkasteltaisiin tarkemmin esimerkiksi Keravan alueella henkilö- ja tavarajunien yhteensovituksen varmistamiseksi.

Myös kunnossapidon toimintamahdollisuudet on tärkeää huomioida, jos liikennemäärät kasvavat. Tässä työssä on keskitytty ruuhka-aikojen liikenteeseen ja on oletettu, että kunnossapidon työraot painottuvat yöaikaan.

Lähdeluettelo

Helsingin seudun kuntien ja valtion välinen maankäytön, asumisen ja liikenteen sopimus 2020–31. 2020. Saatavilla: https://ym.fi/documents/1410903/40122839/MAL-sopimus+Helsingin+seutu+081020+(1).pdf/9f840882-b2d3-5386-2536-7532a93f9e0d/MAL-sopimus+Helsingin+seutu+081020+(1).pdf?t=1654673998921

Liikenne- ja viestintäministeriö 2021. Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä. Digirata-valmisteluvaiheen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:17.

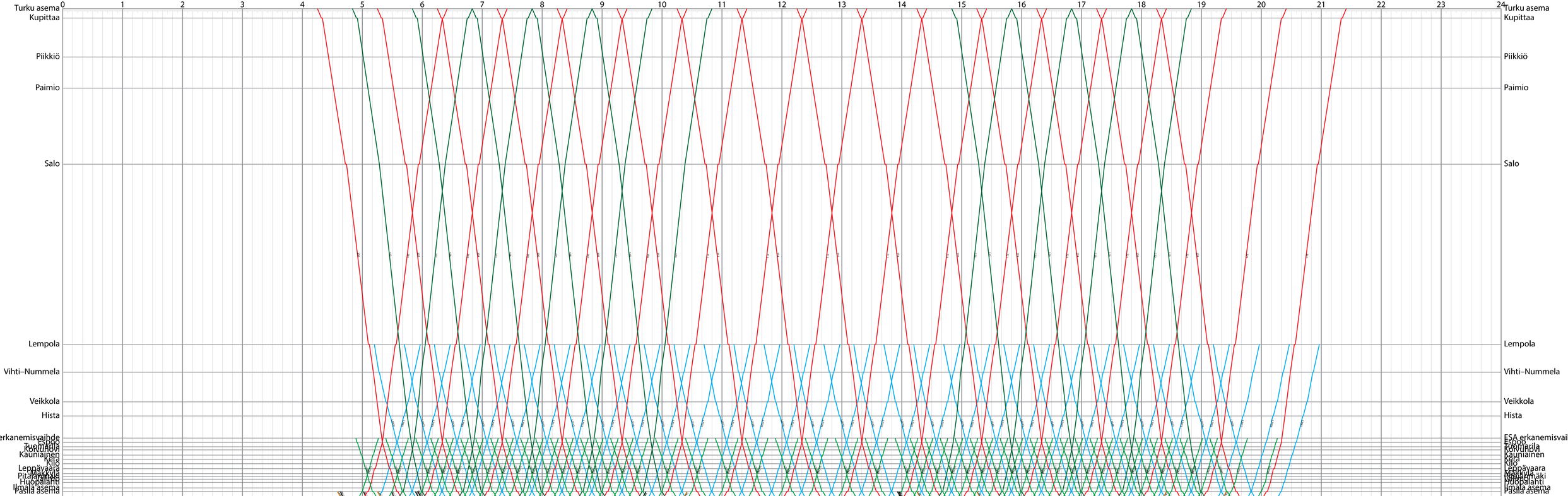
Väylävirasto 2019. Pisara+ -liikenteellinen toimenpideselvitys. Väyläviraston julkaisuja 30/2019.

Väylävirasto 2020a. Lähijunaliikennealueen varikkoselvitys. Väyläviraston julkaisuja 25/2020.

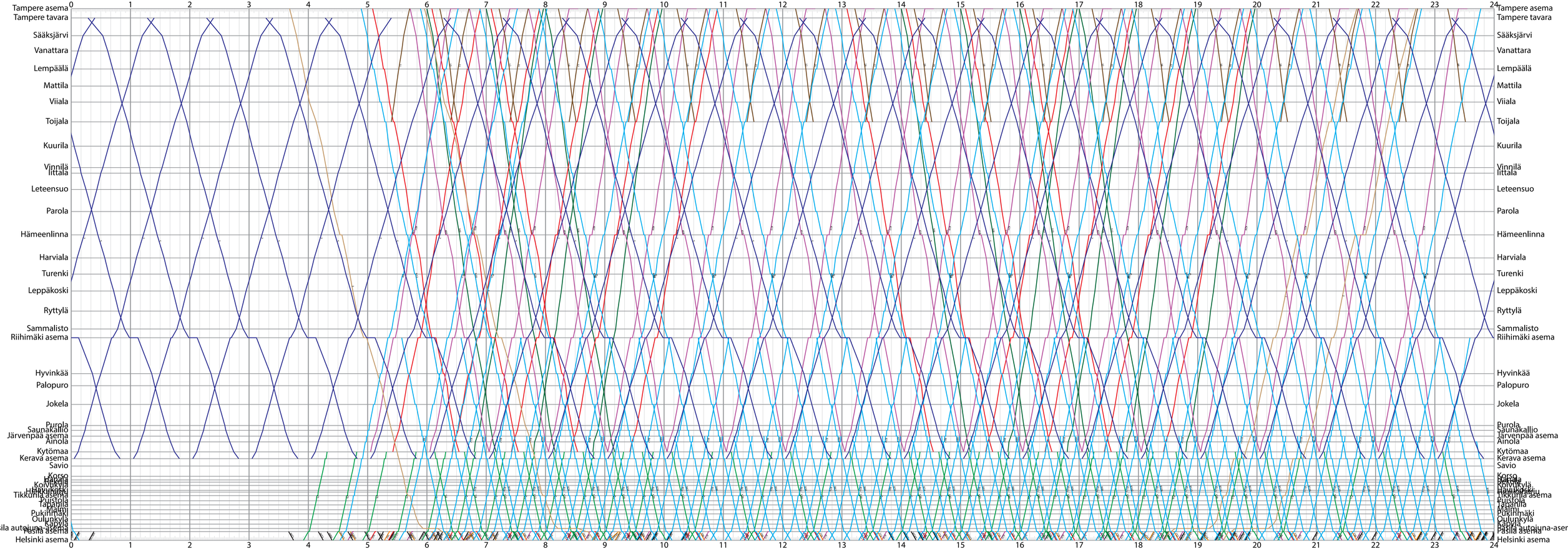
Väylävirasto 2020b. Helsinki–Turku-käytävän junaliikenteen matkustusennusteet ja liikennöintimallien vertailu. Väyläviraston julkaisuja 26/2020.

Väylävirasto 2022. Junien täsmällisyystilasto. Viitattu 19.5.2022
Saatavilla: https://vayla.fi/vaylista/aineistot/tilastot/ratatilastot/junien-tasmallisyys

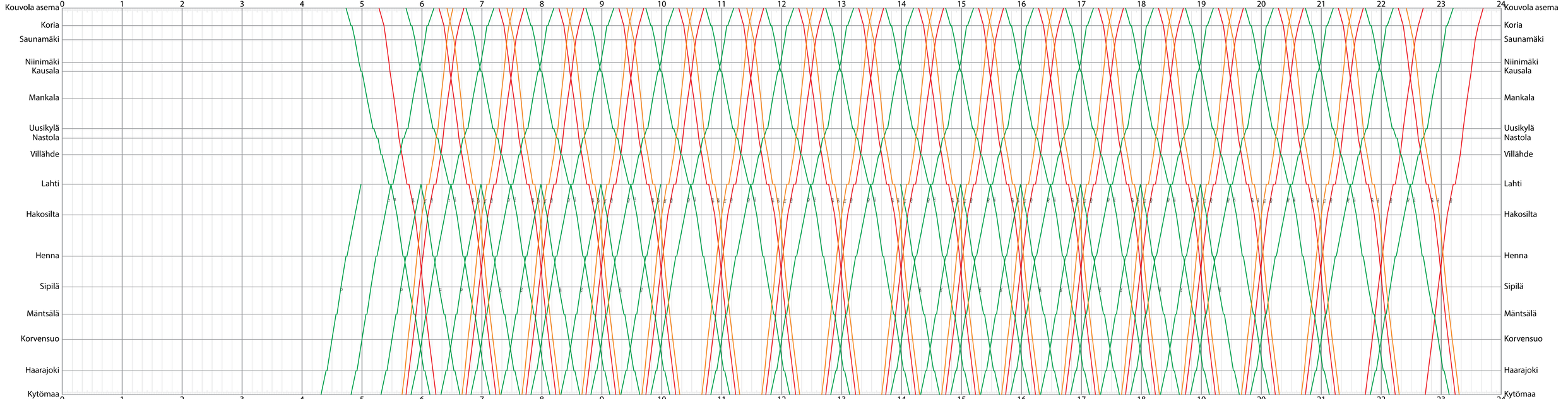
Helsinki–Turku, ESA-rata, oletusliikenne



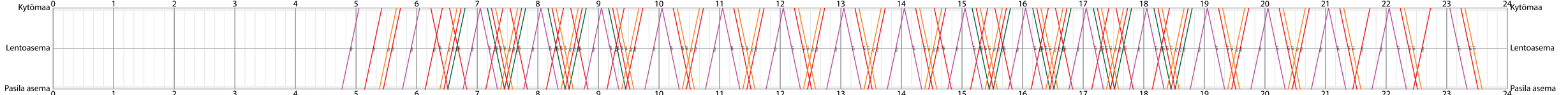
Helsinki–Tampere, Lentorata ja Päärata, oletusliikenne



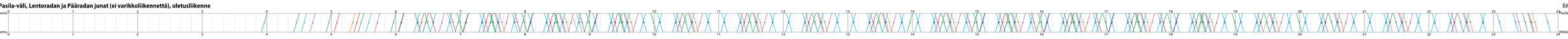
Kytömaa–Lahti–Kouvola, oletusliikenne



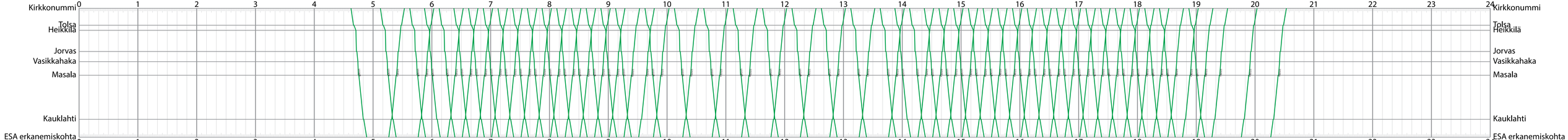
Lentorata, oletusliikenne



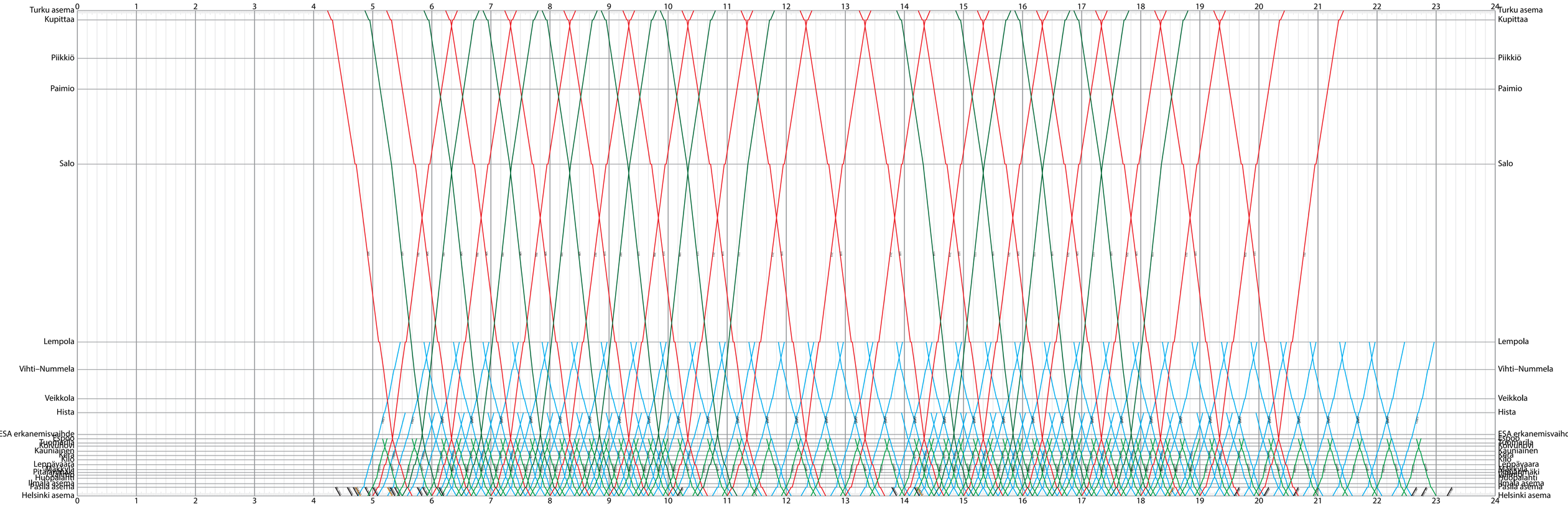
Helsinki–Pasila-väli, Lentoradan ja Pääradan junat (ei varikkoliikennettä), oletusliikenne



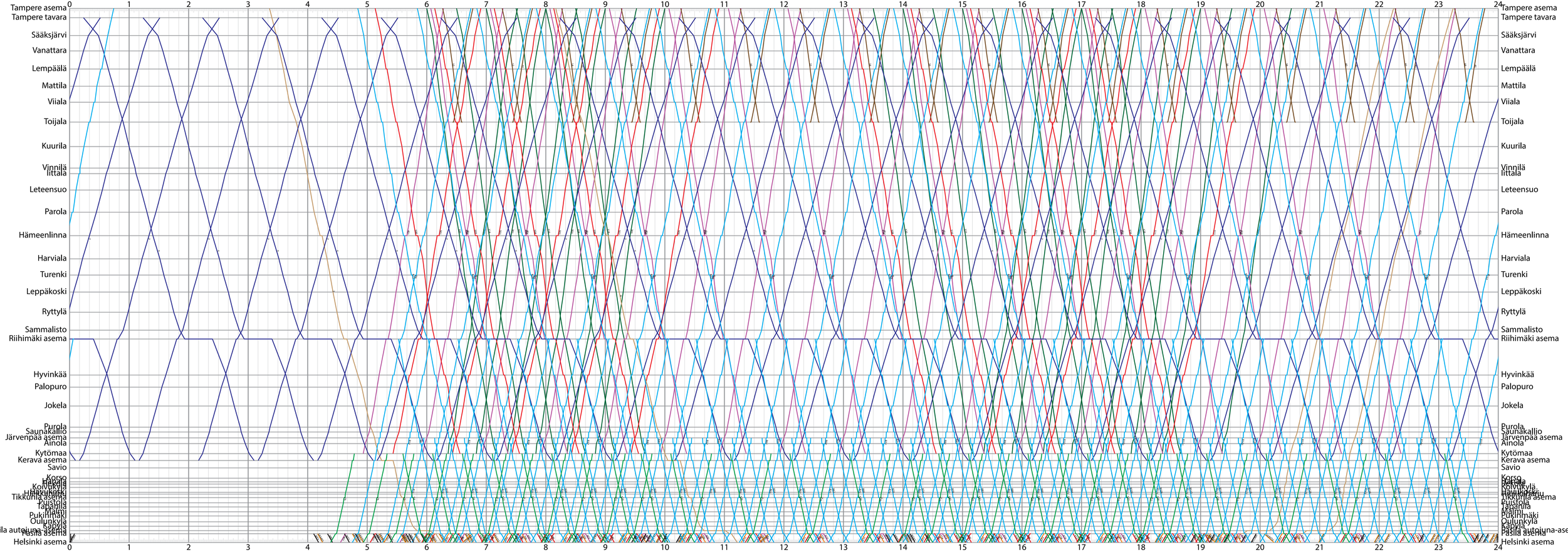
Kirkkonummen suunta, oletusliikenne



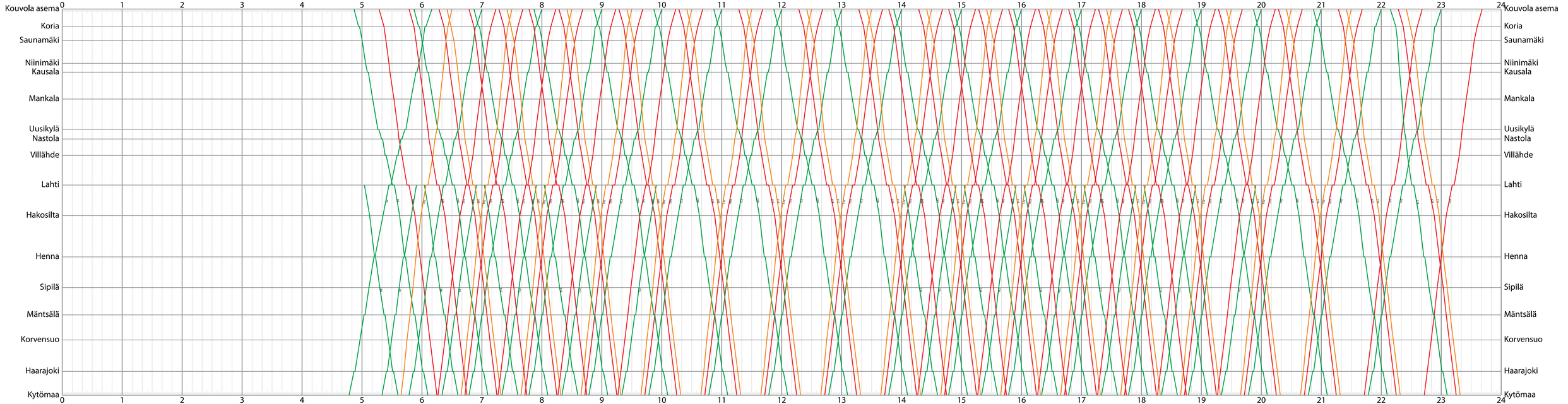
Helsinki–Turku, ESA-rata, maksimiliikenne



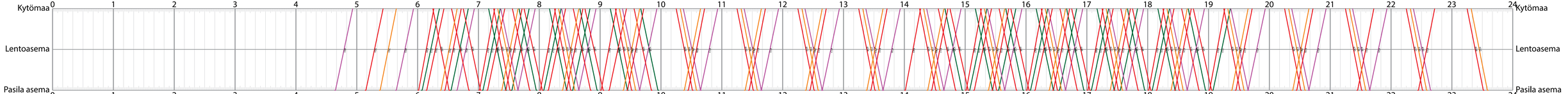
Helsinki–Tampere, Lentorata ja Päärata, maksimiliikenne



Kytömaa–Lahti–Kouvola, maksimiliikenne

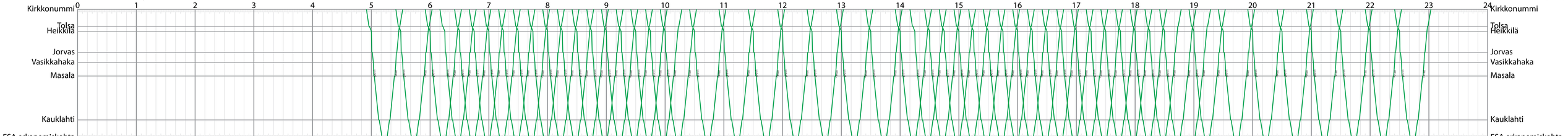


Lentorata, maksimiliikenne

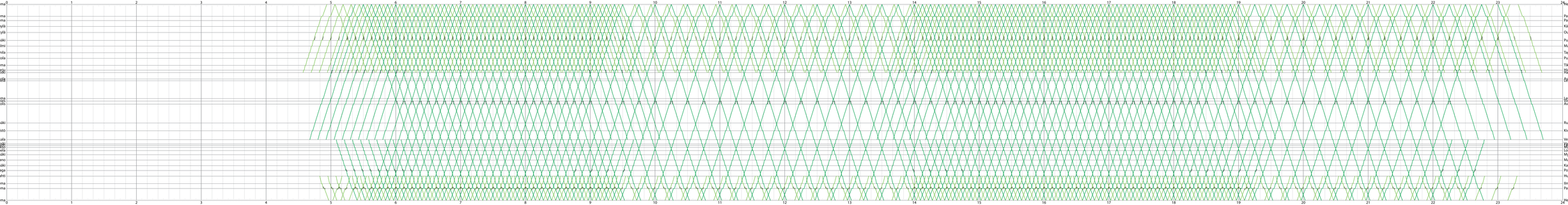


Helsinki–Pasila-väli, Lentoradan ja Pääradan junat (ei varikkoliikennettä), maksimiliikenne

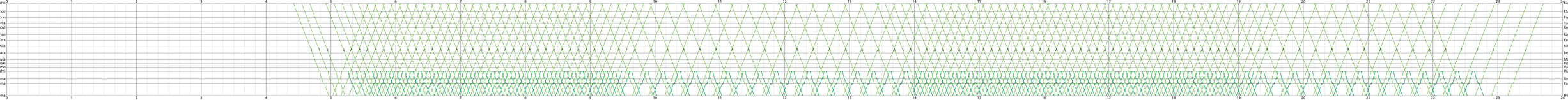
Kirkkonummen suunta, maksimiliikenne



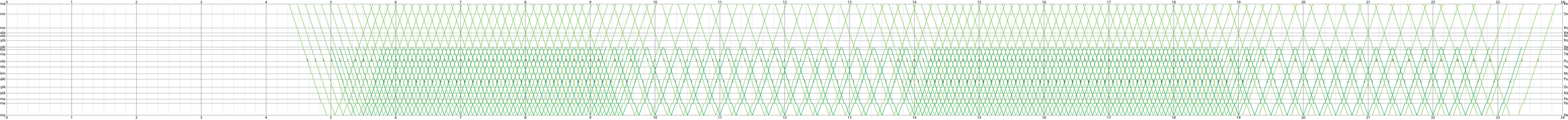
Kehärata, 7,5 min vuoroväli



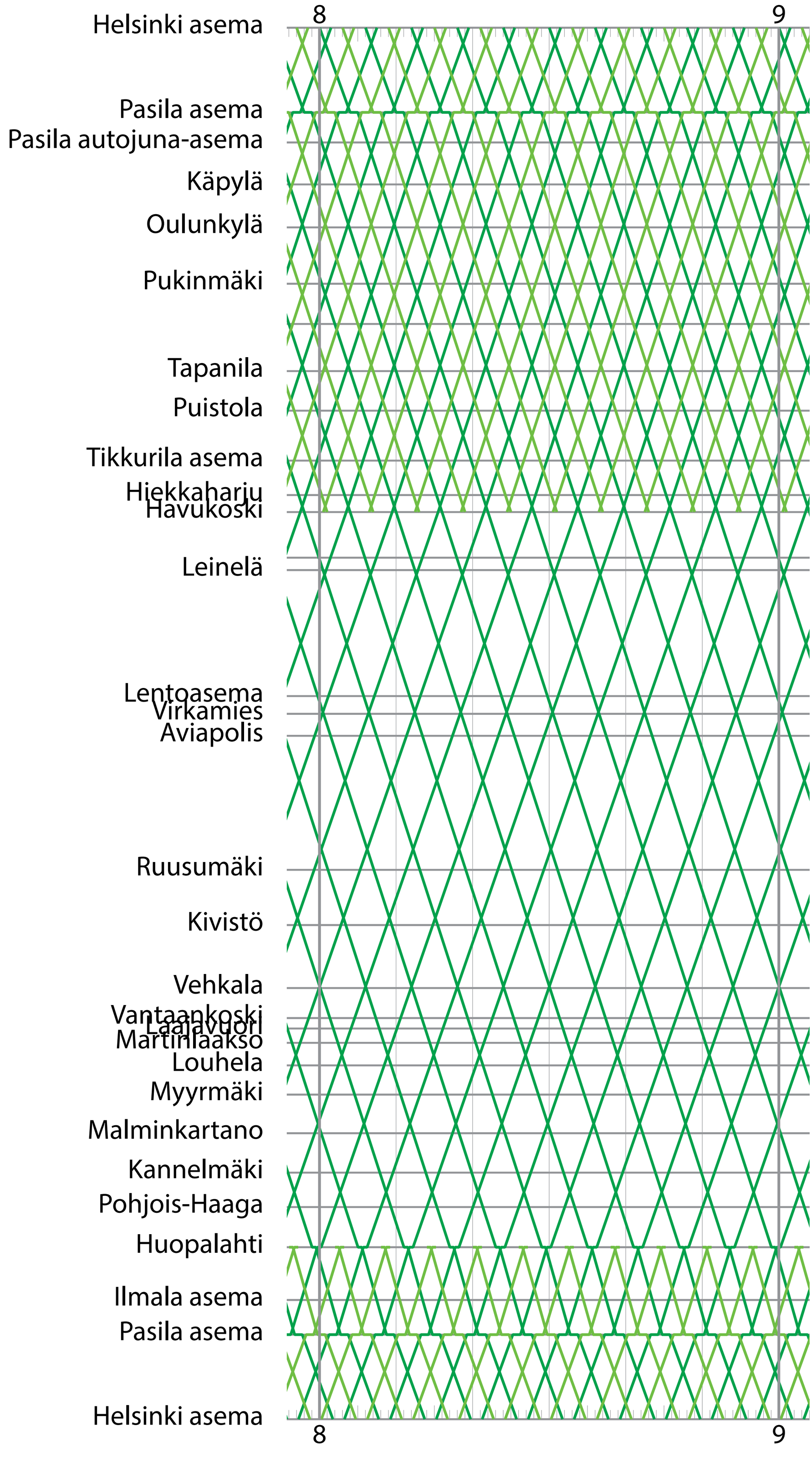
Kauklahden suunta, 7,5 min vuoroväli



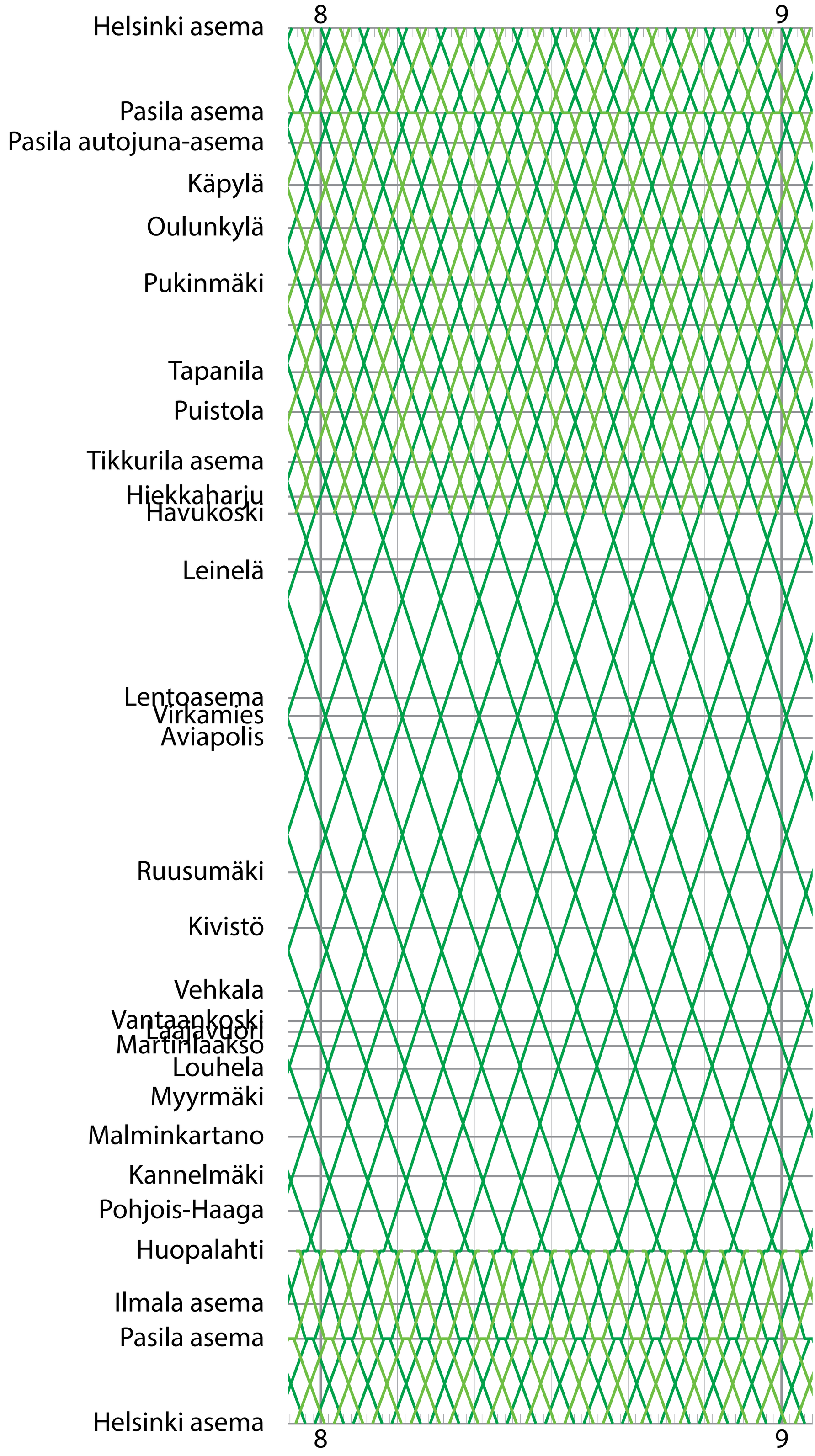
Keravan suunta, 7,5 min vuoroväli



Kehärata, 6 min vuoroväli



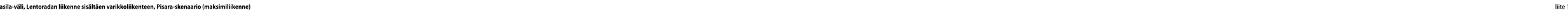
Kehärata, 5 min vuoroväli



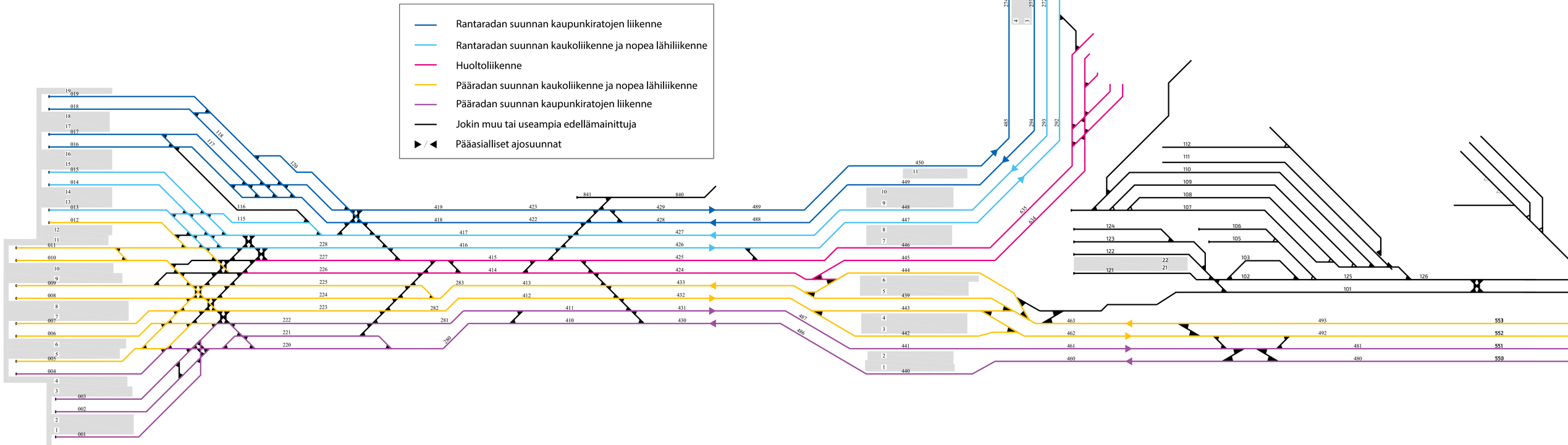
Helsinki–Pasila-väli, Lentoradan liikenne sisältäen varikkoliikenteen, oletusliikenne

Helsinki–Pasila-väli, Lentoradan liikenne sisältäen varikkoliikenteen, maksimiliikenne

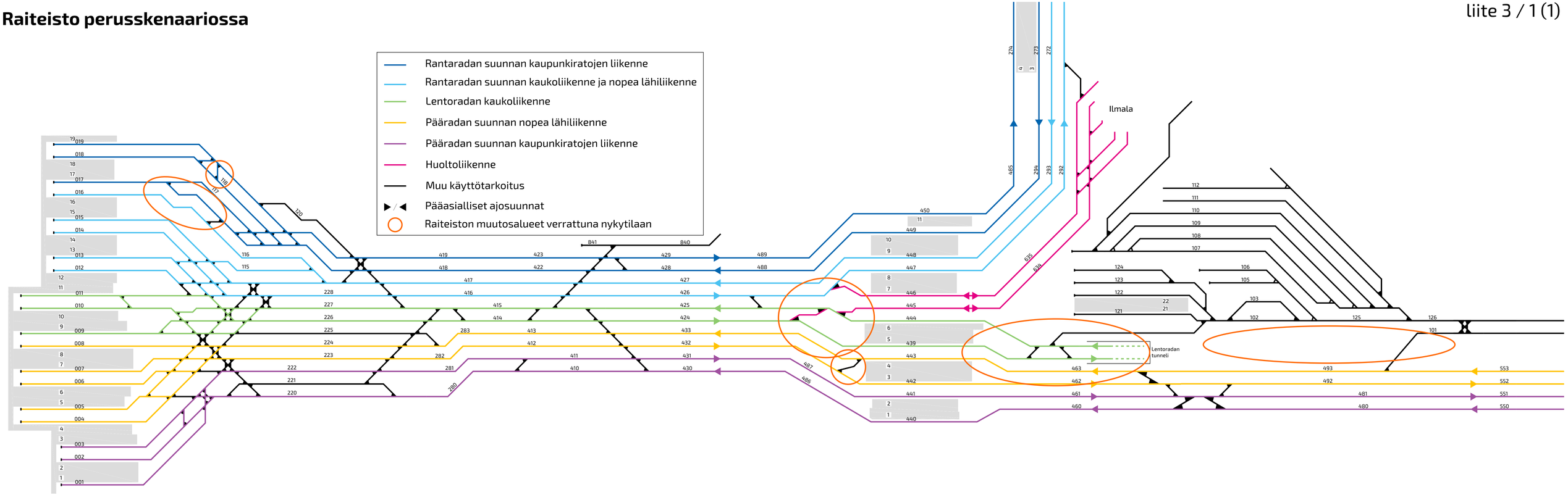
Helsinki–Pasila-väli, Lentoradan liikenne sisältäen varikkoliikenteen, Pisara-skenaario (maksimiliikenne)



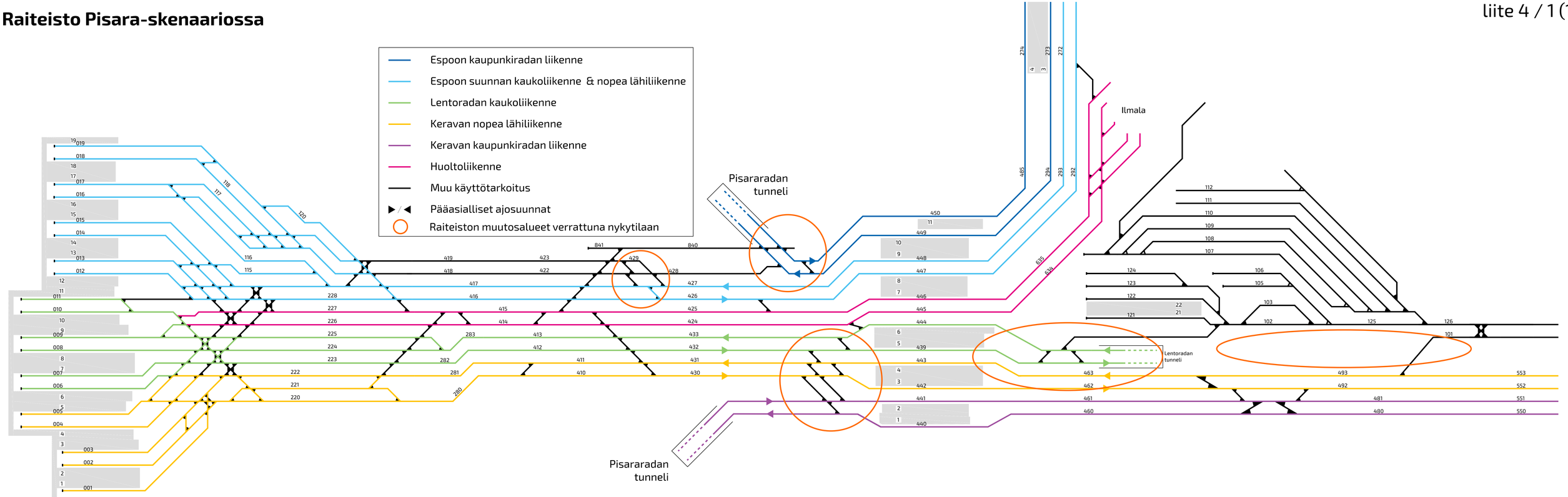
Raiteisto nykytilanteessa



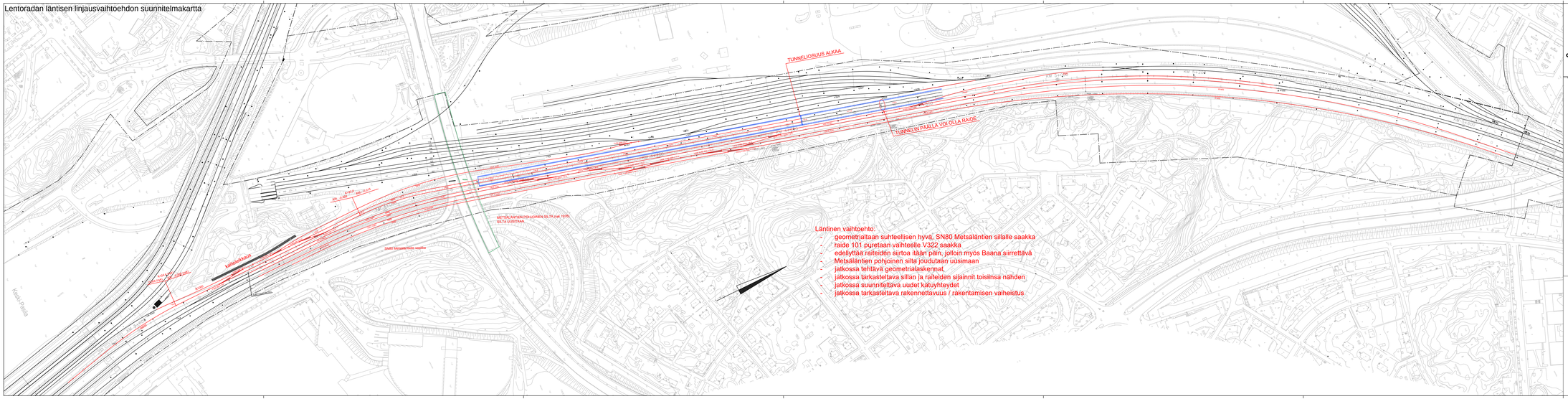
Raiteisto perusskenaariossa



Raiteisto Pisara-skenaariossa



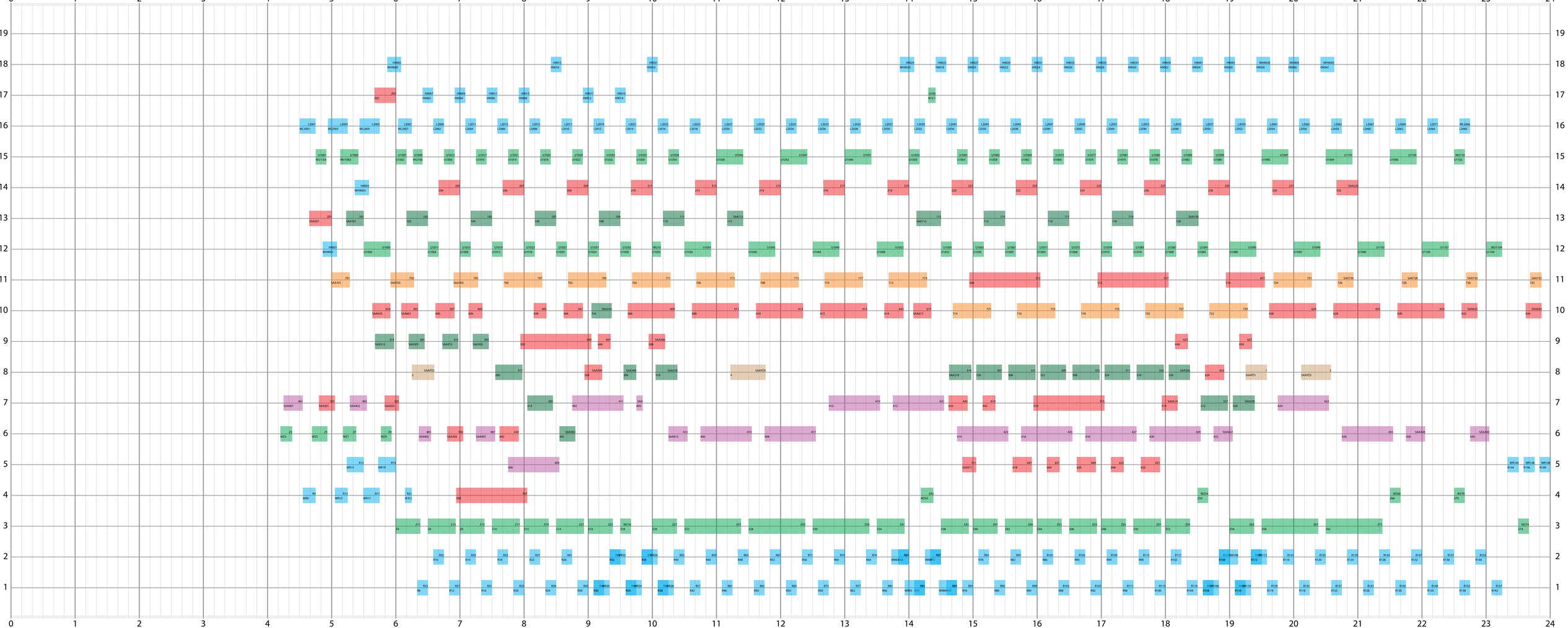
Lentoradan läntisen linjausvaihtoehdon suunnitelmakartta


TUNNELIOSUUS ALKAA
TUNNELIN PÄÄLLÄ VOI OLLA RAIDE
SILTA VARTEN POHJAUDUTAAN 55,7 PA (ref. 15/70)
SILTA VUORTIMAA
SN80 Metsäläntien sillalle
Kalliokallioon
Kalliokallioon
Kalliokallioon

Raiteistonkäyttö oletusliikenteellä perusskenaariossa

Raiteistonkäyttö maksimiliikenteellä perusskenaariossa

Raiteistonkäyttö maksimiliikenteellä Pisara-skenaariossa



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-017-3
www.vayla.fi