

Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihake- musten yhteensovittamisessa



Maija Musto



Ratahallintokeskuksen
julkaisu A 2/2008

Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys
ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa

Maija Musto

Helsinki 2008

Ratahallintokeskus

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/2008

ISBN 978-952-445-216-8 (nid.)

ISBN 978-952-445-217-5 (pdf)

ISSN 1455-2604

Julkaisu pdf-muodossa: www.rhk.fi

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Olavi Huotari

Helsinki 2008

Musto, Maija: Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto. Helsinki 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 2/2008. 124 sivua ja 8 liitettä. ISBN 978-952-445-216-8, ISBN 978-952-445-217-5 (pdf), ISSN 1455-2604.

TIIVISTELMÄ

Kansallinen tavaraliikenne avautui Suomessa kilpailulle vuoden 2007 alussa. Tämän seurauksena valtion rataverkolle voi tulla aiemmin yksinoikeudella liikennöineen VR Osakeyhtiön lisäksi myös muita kuljetusyrityksiä. Liikennöinnin yhtenä edellytyksenä on se, että yritykselle on myönnetty ratakapasiteettia liikennöintiä varten. Ratahallintokeskus sovittaa yhteen eri hakijoiden ratakapasiteettihakemukset ja laatii ratakapasiteetin jakoehdotuksen. Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko rautatieliikenteen simulointia hyödyntää ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisprosessissa. Rautatieliikenteen simuloinnilla tarkoitetaan junaoperaatioiden jäljittelemistä tietokonemallin avulla. Työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja tapaustutkimuksesta, joka toteutettiin sveitsiläisellä OpenTrack-simulointiohjelmalla.

Tutkimuksessa havaittiin, että simuloinnista on hyötyä ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisen kannalta. Simuloinnilla voidaan tarkistaa yksittäisten junien kulku reunaehtojen puitteissa sekä aikataulun toimivuus perustilanteessa ja lievissä häiriötilanteissa. Mikäli yksittäiselle junalle voidaan laatia useita erilaisia aikatauluvaihtoehtoja, tai mikäli useat eri yritykset ovat hakeneet samaa ratakapasiteettia hieman eri lähtö- ja tuloajoilla, voidaan laatia useampia vaihtoehtoisia ratkaisuja ratakapasiteetin jakoehdotukseksi. Näitä aikatauluvaihtoehtoja voidaan vertailla simuloinnalla aikatauluja erilaisissa häiriötilanteissa.

Häiriötilannesimulointien perusteella voidaan valita aikatauluvaihtoehtoista liikenteelliseltä kannalta paras eli aikataulu, joka on kaikkein stabiilein useissa erilaisissa häiriötilanteissa. Liikenteellisen paremmuuden vertailukriteereiksi soveltuvat parhaiten junien viivytykset asemilla, esimerkiksi keskimääräiset viivytykset tai viivytysten summa. Viivytyksiä voidaan tarkastella erikseen tavaraliikenteen ja henkilöliikenteen osalta tai molemmat yhdessä, ja joko yksittäisten, tärkeimpien asemien osalta, pelkästään pääteasemien osalta tai ottamalla vertailuun mukaan kaikki pysähtymisasetat yhteensä. Eri aikatauluvaihtoehtoista voidaan myös valita ne junat, jotka ovat vähiten myöhässä eri häiriötilanteissa. Näistä junista voidaan muodostaa kokonaan uusi aikatauluehdotus, jonka stabiilius tulee tutkia vastaavasti häiriötilanteilla.

Yhteensovittamisprosessissa käytettävän työkalun tulisi olla nopea käyttää, koska prosessiin käytettävissä oleva aika on vain muutaman kuukauden mittainen. Ohjelman tulisi mallintaa verkko riittävällä tarkkuudella, jotta yksittäisten junakohtaamisten seuraukset esimerkiksi ratapihoilla tulevat esille. Lisäksi ohjelman tulisi kyetä mallintamaan riittävän suuria alueita mieluiten niin, että tutkittava osuus, kuten tietyn junaryhmän ratakapasiteettihakemukset, olisivat kokonaisuudessaan mallissa. Tämän tutkimuksen tapaustutkimuksessa käytetty ohjelma OpenTrack soveltuu prosessiin, jos tutkittavasta alueesta on valmiiksi käytettävissä tarvittava malli, sillä mallin rakentaminen on hidasta, vaikka varsinainen simulointi ja tulosten käsittely on nopeaa. OpenTrack mallintaa junaliikkeen yksityiskohtaisesti ja sillä voidaan simuloida myös häiriötilanteita.

Musto, Maija: Betydelsen av simulering av järnvägstrafik vid samordningen av bankapacitetsansökningar. Banförvaltningscentralen, Trafiksystemsavdelningen. Helsingfors 2008. Banförvaltningscentralens publikationer A 2/2008. 124 sidor och 8 bilagor. ISBN 978-952-445-216-8, ISBN 978-952-445-217-5 (pdf), ISSN 1455- 2604.

SAMMANDRAG

Den nationella godstrafiken i Finland öppnades för konkurrens i början av 2007. I och med detta kan även andra transportföretag än VR Aktiebolag, som tidigare trafikerat med ensamrätt, få tillträde till statens bannät. En av förutsättningarna för trafikering är att företaget beviljats bankapacitet för att bedriva trafik. Banförvaltningscentralen samordnar ansökningarna om bankapacitet och sammanställer ett förslag till fördelning av bankapaciteten. Med utredningen ville man ta reda på om simulering av järnvägstrafiken kan utnyttjas i samordningen av bankapacitetsansökningarna. Med simulering av järnvägstrafiken menas att man efterbildar tågrörelser med hjälp av en datormodell. Utredningen består av en litteraturoversikt och fallstudier som genomfördes med det schweiziska simuleringsprogrammet Open Track.

I utredningen upptäckte man att simulering är till nytta vid samordningen av bankapacitetsansökningar. Med simulering kan man studera trafiken för enskilda tåg inom ramarna för minimikraven samt tidtabellens funktion i normalsituationer och vid lindriga störningar. Om man för ett enskilt tåg kan sammanställa flera olika tidtabellsalternativ, eller om ett flertal företag har ansökt om samma bankapacitet med något olika avgångs- och ankomsttider, kan man föreslå flera olika alternativa lösningar för fördelningen av bankapacitet. Dessa tidtabellsalternativ kan jämföras genom att man simulerar tidtabellerna vid olika störningssituationer.

På basis av simuleringen av störningssituationerna kan man välja det bästa tidtabellsalternativet, d.v.s. den tidtabell som är stabilast i olika störningssituationer. Som jämförelsekriterium vid trafikmässig rangordning lämpar sig tågens förseningar vid stationerna bäst, exempelvis genomsnittlig försening eller summan av förseningar. Förseningarna kan granskas separat för godstrafik respektive persontrafik eller för båda tillsammans. Man kan också granska enskilda viktigare stationer, enbart ändstationer eller samtliga stationer där tåget stannar. För olika tidtabeller kan man också välja ut de tåg som är minst försenade vid olika störningssituationer. För dessa tåg kan man sammanställa ett helt nytt tidtabellsförslag vars stabilitet på motsvarande sätt testas i störningssituationer.

Det verktyg som används i samordningsprocessen ska vara tidseffektivt eftersom tidskapaciteten för processen endast är några månader. Programmet ska återskapa en så exakt modell av bannätet som möjligt för att följderna av enskilda tågmöten vid t.ex. bangårdarna ska framträda. Därtill ska programmet klara av att skapa modeller av tillräckligt stora områden, helst så att den del som undersöks, som t.ex. bankapacitetsansökningarna för en viss tåggrupp, ska omfattas av modellen i sin helhet. Programmet Open Track som använts i fallstudierna i utredningen lämpar sig för processen förutsatt att det finns en färdig modell för det område som ska undersökas, eftersom byggandet av en modell är tidskrävande även om den egentliga simuleringen och bearbetningen av resultatet sker snabbt. Open Track avbildar tågrörelserna detaljerat och med hjälp av programmet kan man även simulera störningssituationer.

Musto Maija: The Role of Simulation in Railway Capacity Allocation. Finnish Rail Administration, Traffic System Department. Helsinki 2008. Publications of the Finnish Rail Administration A 2/2008. 124 pages and 8 appendices. ISBN 978-952-445-216-8, ISBN 978-952-445-217-5 (pdf), ISSN 1455-2604.

SUMMARY

Domestic freight traffic in Finland was opened for competition in the beginning of 2007. As a consequence, the state-owned rail network is available also to other companies than VR Ltd. One of the requirements for railway freight transport is that capacity has been allocated to the railway undertaking. Railway capacity is allocated by The Finnish Rail Administration (RHK), which combines all the applications from each applicant and forms a proposal schedule.

The goal of this thesis is to study how railway traffic simulation, which is computer-based traffic modeling, can be used in the railway capacity allocation process. The thesis includes a literature review and a case study, which was done using the Swiss OpenTrack-simulation program.

The case study indicated that simulation is useful in the capacity allocation process. Simulation can be used to determine how an individual train will perform under given boundaries and how a schedule will hold under normal conditions and under slight disturbances. In case an individual train can be given alternative schedules or if different railway companies are requesting for the same railway capacity with slightly different departure and arrival times, alternative schedule proposals can be made. These schedules can be compared by simulating different kinds of disturbance scenarios.

Disturbance simulation can be used to obtain the most stable schedule under different kinds of delays. The most suitable comparison criteria are for example average delay or the sum of all delays. Delays in freight transport and passenger traffic may be evaluated separately or as a whole. Also, train stations can be studied individually, in groups, or as a whole. It is also possible to choose the most stable trains from different schedule proposals and use these trains as the basis of a new schedule proposal. The stability of the new proposal should be similarly studied under various disturbances.

The tool to be used in the allocation process should be quick to use, as the time available is only a couple of months. The program should model the rail network in sufficient detail to reflect the outcomes of, for example, trains encountering at a specific point of a railway yard. Furthermore, it would be useful that the program is able to model large enough areas so that, for example, the entire area of a group of trains applying for capacity can be included completely in the simulation. OpenTrack is good enough in the process, if the area to be studied has already been modeled. While the actual simulation and evaluation of the output is fast, building a railway model is very time consuming. OpenTrack simulates train movement in detail and it can be used in simulating disturbances.

ALKUSANAT

Tutkimuksessa käsiteltävät aiheet ovat ajankohtaisia rautatieliikenteen kilpailun avautumisen ja Ratahallintokeskuksen muotoutuvan ratakapasiteetin jakajan roolin vuoksi. Työssä kuvattava menettely tulee muodostumaan osaksi Ratahallintokeskuksen ratakapasiteetin yhteensovittamista.

Tutkimuksen on laatinut tekniikan ylioppilas Maija Musto. Tutkimus on tekijän diplomityö Teknillisen korkeakoulun Liikennelaboratorioon. Työtä ovat ohjanneet professori Tapio Luttinen Teknillisestä korkeakoulusta, liikenteenhallintayksikön päällikkö Miika Mäkitalo Ratahallintokeskuksesta ja Jukka-Pekka Pitkänen Ramboll Finland Oy:stä.

Helsingissä, maaliskuussa 2008

Ratahallintokeskus
Liikennejärjestelmäosasto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY	5
ALKUSANAT.....	6
KUVALUETTELO	10
TAULUKKOLUETTELO.....	11
TYÖSSÄ KÄYTETYT MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET	12
1 JOHDANTO.....	14
1.1 Työn taustat	14
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	16
1.3 Työn rakenne	17
2 RAUTATIELIIKENTEEN SUUNNITTELU JA HALLINTA	18
2.1 Ratakapasiteetti.....	18
2.1.1 Ratakapasiteetin määrittely	18
2.1.2 Ratakapasiteetin käyttöaste	19
2.1.3 Ratakapasiteetin lisääminen	19
2.2 Aikataulusuunnittelu ja liikenteen ohjaus.....	20
2.2.1 Aikataulu ja sen esittämistavat.....	20
2.2.2 Vakioaikataulu	21
2.2.3 Aikataulun laatu	23
2.2.4 Rautatieyritysten aikataulusuunnittelu yleisesti	23
2.2.5 VR:n aikataulusuunnittelu.....	24
2.2.6 Junaliikenteen ohjaus	25
2.3 Täsmällisyys ja junaliikenteen häiriöt	26
2.3.1 Häiriöiden luokittelu liikenne- ja viestintäministeriön mukaan.....	26
2.3.2 Häiriöiden seuranta JUSEn avulla	27
2.3.3 Täsmällisyys vuonna 2006	27
3 RATAKAPASITEETTIHAKEMUSTEN YHTEENSOVITTAMINEN	30
3.1 Liikennöinnin edellytykset	30
3.1.1 Yleiset edellytykset	30
3.1.2 Turvallisuustodistus	31
3.1.3 Toimilupa	33
3.1.4 Myönnetty ratakapasiteetti	33
3.1.5 Rataverkon käyttösopimus	33
3.2 Ratakapasiteetin jakamisprosessi	34
3.2.1 Ratakapasiteetin hakeminen.....	34
3.2.2 Ratakapasiteetin jakaminen.....	35

	3.2.3 Muutoksenhaku	36
	3.2.4 Ratakapasiteetin peruuttaminen ja häiriötilanteet	36
4	SIMULOINTI RAUTATIELIIKENTEEEN SUUNNITTELUSSA	38
	4.1 Simuloinnin perusteet	38
	4.2 Liikenteen simulointi	39
	4.3 Rautatieliikenteen simulointi	40
	4.3.1 Rautatieliikenteen simulointi yleisesti	40
	4.3.2 Rautatiesimuloinnin ominaispiirteitä	42
	4.4 Rautatieliikenteen simulointiohjelmistoja	45
	4.4.1 OpenTrack	45
	4.4.2 RailPlan ja sen lisäohjelmat	46
	4.4.3 RailSys	47
	4.4.4 Simu VII ja sen lisäohjelmat	48
	4.4.5 Muita simulointiohjelmiä	49
	4.5 Rautatieliikenteen simulointi käytännössä	50
	4.5.1 Rautatieliikenteen simulointi Suomessa	50
	4.5.2 Simulointi muualla Euroopassa	52
	4.6 Päätelmiä kirjallisuuskatsauksen perusteella	53
5	TAPAUSTUTKIMUKSEN TOTEUTUS	55
	5.1 Tutkimusongelman rajaus	55
	5.1.1 Tapaustutkimuksen tarkoitus	55
	5.1.2 Tapaustutkimuksen toteutustapa	55
	5.2 Tapaustutkimuksen kohde	56
	5.3 Mallinnetut junatyypit	59
	5.3.1 Junien ominaisuudet	59
	5.3.2 Pendolino	60
	5.3.3 Intercity- ja Intercity2-junat	61
	5.3.4 Pikajunat	62
	5.3.5 Taajamajunat	62
	5.3.6 Tavarajunat	62
	5.4 Henkilöjunien mallintaminen	63
	5.4.1 Nykytilanteen aikataulu	63
	5.4.2 Tehokertoimen muokkaus	65
	5.4.3 Henkilöjunien simulointi	66
	5.5 Tavarajunien mallintaminen	68
	5.5.1 Tavarajunien aikataulut	68
	5.5.2 Tavarajunien pysähtymisajat ja odotussäännöt	69
	5.5.3 Tavarajunien simulointi	70
	5.6 Häiriötilanteiden simulointi	70
6	TAPAUSTUTKIMUKSEN TULOKSET	72
	6.1 Tavarajunien aikataulujen tarkastaminen	72
	6.1.1 Esimerkki tavarajunien ajoaikojen tarkastamisesta	72
	6.1.2 Vastakkaisiin suuntiin kulkevat junat	74

6.1.3	Parolan puolenvaihtopaikka	76
6.1.4	Tavarajunien lopulliset ajoajat	78
6.2	Lopullisten aikatauluvaihtoehtojen muodostaminen	80
6.3	Häiriötilanteiden simuloinnin tulokset	84
6.3.1	Opastin punaisella	84
6.3.2	Raide poissa käytöstä	89
6.3.3	Alkumyöhästymiset.....	91
6.3.4	Vaihteiden jumiutuminen.....	96
6.3.5	Kalusto-ongelmien mallintaminen	101
6.3.6	Häiriötilanteiden yhdistelmiä	103
6.4	Aikatauluehdotusten lopullinen vertailu.....	106
7	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT.....	111
7.1	Yhteenveto.....	111
7.2	Työn tavoitteet ja niiden toteutuminen	112
7.2.1	Simuloinnin hyödyt.....	112
7.2.2	Simulointi osana yhteensovittamisprosessia	113
7.3	Työn ja tulosten arviointi.....	115
7.4	Jatkotutkimusaiheet	118
	LÄHTEET	120
LIITTEET		
Liite 1	Hämeenlinnan ja Toijalan raiteistokaaviot	
Liite 2	Pohjoiseen kulkevien henkilöjunien aikataulu keväällä 2007	
Liite 3	Etelään kulkevien henkilöjunien aikataulu keväällä 2007	
Liite 4	Pohjoiseen kulkevien kuvitteellisten tavarajunien aikataulu	
Liite 5	Etelään kulkevien kuvitteellisten tavarajunien aikataulu	
Liite 6	Ensimmäisen aikatauluvaihtoehdon graafinen aikataulu	
Liite 7	Toisen aikatauluvaihtoehdon graafinen aikataulu	
Liite 8	Kolmannen aikatauluvaihtoehdon graafinen aikataulu	

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Esimerkki graafisesta aikataulusta (Mäkitalo 2007b).	21
Kuva 2.	Symmetria vakioaikataulussa (Mäkitalo 2007b).	22
Kuva 3.	Kaukoliikenteen junien täsmällisyys Suomessa vuosina 1992–2007 (Blomqvist 2007b).	28
Kuva 4.	Henkilöliikenteen täsmällisyys määräasemalle saavuttaessa vuonna 2006 (RHK 2007b).	29
Kuva 5.	Markkinoille tulon vaiheet (RHK 2006).	30
Kuva 6.	Ratakapasiteetin hakemisen ja jakamisen aikataulukaaavio vuoden 2008 aikataulukaudelle (RHK 2006).	34
Kuva 7.	Junaliikenteen simulointiohjelmien yleinen toimintaperiaate (Hovi ja Ronni 1997).	43
Kuva 8.	Kaaviokuva tapaustutkimuskohteen raiteistosta (Hämeenlinna ja Toijala on kuvattu tarkemmin liitteessä 1).	57
Kuva 9.	Henkilöjunien graafinen aikataulu kello 7:00–11:00.	64
Kuva 10.	Tehokertoimen vaikutus junan kulkuun.	66
Kuva 11.	Pelkkien henkilöjunien simuloinnin tulos kello 7:00–11:00.	67
Kuva 12.	Tavarajunan ajoikatarkastelun tulos graafisena aikatauluna.	73
Kuva 13.	Taajamajunan etäisyys–nopeus-kuvaaja.	74
Kuva 14.	Tavarajunan ja pikajunan konfliktin tarkastelu.	75
Kuva 15.	Henkilöjunan ja tavarajunan kohtaaminen ennen Parolaa, henkilöjuna joutuu odottamaan.	77
Kuva 16.	Henkilöjunan ja tavarajunan kohtaaminen ennen Parolaa, tavarajuna joutuu odottamaan.	78
Kuva 17.	Graafinen aikataulu henkilöjunien ja kaikissa vaihtoehdoissa mukana olevien tavarajunien simuloinnista.	84
Kuva 18.	Aikatauluvaihtoehtojen simulointitulokset graafisina aikatauluina opastimen P173 häiriötilanteessa.	85
Kuva 19.	Aikatauluvaihtoehtojen simulointitulokset graafisina aikatauluina opastimen E173 häiriötilanteessa.	87
Kuva 20.	Itäinen raide suljettu.	89
Kuva 21.	Läntinen raide suljettu.	90
Kuva 22.	Simulointitulos (VE1) Vinnilän ja Kuurilan välisen raiteen sulkemisesta.	90
Kuva 23.	Tilannekuva Toijalasta (VE2), kun kahden Pendolinon yksikkö ajetaan kahtena erillisenä yksikkönä.	102

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	JUSE:n myöhästymissyiden pääluokat (Blomqvist 2007b).	27
Taulukko 2.	Ylikuormitetun ratakapasiteetin etusijajärjestys (RHK 2006).....	35
Taulukko 3.	Suomessa Simon-ohjelmalla vuosina 1998–2004 toteutetut simulointiprojektit (Hovi 2006).....	51
Taulukko 4.	Mallinnusalueen liikennepaikat (RHK 2006).....	58
Taulukko 5.	Henkilöjunien numerointi simulointimallissa.	63
Taulukko 6.	Toteutettavat häiriötilanteet.	71
Taulukko 7.	Tavara- ja taajamajunan suunnitellut ja simuloitut aikataulut.	73
Taulukko 8.	Tavarajunien ajoajat pohjoiseen mentäessä (pysähdysasema tummennettuna).	79
Taulukko 9.	Tavarajunien ajoajat etelään mentäessä (pysähdysasema tummennettuna).	80
Taulukko 10.	Tavarajunat pohjoiseen.....	82
Taulukko 11.	Tavarajunat etelään.....	83
Taulukko 12.	Myöhästymiset Sääksjärvellä opastimen P173 näyttäessä punaista.....	86
Taulukko 13.	Myöhästymiset Sammalistossa opastimen E174 näyttäessä punaista. ...	88
Taulukko 14.	Alkumyöhästymiset sekunteina Riihimäellä tai Toijalassa.	92
Taulukko 15.	Alkumyöhästymiset sekunteina Sääksjärvellä.....	93
Taulukko 16.	Simulointitulokset, kun malliin määritettiin maaliskuun esimerkkipäivän alkumyöhästymiset.	94
Taulukko 17.	Simulointitulokset, kun malliin määritettiin toukokuun esimerkkipäivän alkumyöhästymiset.	95
Taulukko 18.	Junien uudet reitit Parolan vaihteiden häiriömallinnuksessa.....	97
Taulukko 19.	Myöhästymiset Parolan vaihteiden häiriömallinnuksessa.	98
Taulukko 20.	Junien uudet reitit Turengin vaihteiden häiriömallinnuksessa.	99
Taulukko 21.	Myöhästymiset Turengin vaihteiden häiriömallinnuksessa.	100
Taulukko 22.	Simulointitulokset kalusto-ongelmien ja maaliskuun alkumyöhästymisten yhdistämisestä.	104
Taulukko 23.	Simulointitulokset kalusto-ongelmien ja toukokuun alkumyöhästymisten yhdistämisestä.....	105
Taulukko 24.	Kooste etelään kulkevien vaihtoehtoisten junien myöhästymisistä.	108
Taulukko 25.	Kooste pohjoiseen kulkevien vaihtoehtoisten junien myöhästymisistä.	108
Taulukko 26.	Kooste vaihtoehtoisten tavarajunien aiheuttamista myöhästymisistä. .	109

TYÖSSÄ KÄYTETYT MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

Aikataulu tarkoittaa junan tai junien aikaan sidottua kulkusuunnitelmaa rataverkolla (Mäkitalo 2001).

Aikataulukausi alkaa vuosittain joulukuun toisena viikonvaihteena lauantain ja sunnuntain välisenä yönä kello 00:00 ja päättyy seuraavana vuonna samaan aikaan. (RHK 2006).

Animaatio tarkoittaa tässä työssä simuloinnin esittämistä kuvaruudulla niin, että junien liikkeitä voi nähdä simuloitavalla rataverkolla.

Graafinen aikataulu on junien liikkumista havainnollistava aikataulun esittämistapa, jossa toisella akselilla on kuvattuna etäisyys ja toisella akselilla aika (Mäkitalo 2001).

Junakulkutie on junalle turvattu kulkutie eli se raide tai ne raiteet vaihteineen, jotka turvataan junayksikön kulkua varten (RHK 2005).

JUSE (JUnien kulun SEurantajärjestelmä) on junien automaattinen kulunseuranta-järjestelmä, joka kirjaa ylös junien myöhästymiset (Pitkänen 2006).

LVM eli liikenne- ja viestintäministeriö vastaa liikennepolitiikan saralla liikennejärjestelmistä ja -verkoista, henkilö- ja tavaraliikenteestä, liikenteen turvallisuudesta, ympäristöhaittojen vähentämisestä ja ajoneuvoista, sekä merentutkimuksen, ilmatieteen tutkimuksen ja sääpalvelun tulosohjauksesta. (LVM 2007.)

Museoliikenne tarkoittaa museokalustolla tai siihen rinnastettavalla kalustolla harjoitettavaa vähäistä liikennettä, jolla ei tavoitella liiketaloudellista voittoa (RHK 2006).

Radanpito tarkoittaa radan ja sen rakenteiden, rakennelmien, laitteiden ja järjestelmien sekä radanpidon tarvitseman kiinteän omaisuuden rakentamista, ylläpitoa ja kehittämistä (RHK 2006).

Ratakapasiteetti tarkoittaa rataverkon ominaisuuksista johtuvaa aikaan sidottua rautatiereitin välityskykyä.

RHK eli Ratahallintokeskus on liikenne- ja viestintäministeriön alainen virasto, joka vastaa valtion rataverkon ylläpidosta, kehittämisestä, ratakapasiteetin myöntämisestä sekä liikenteenohjauksesta (RHK 2006).

RNE eli RailNet Europe on Euroopan rataverkon haltijoiden vuonna 2004 perustama yhdistys, jonka tarkoituksena on edistää kansainvälistä liikennettä eurooppalaisessa ratainfrastruktuurissa sekä myydä ja markkinoida jäsenten hallinnoimaa ratakapasiteettia (RHK 2006).

Rautatievirasto on liikenne- ja viestintäministeriön alainen virasto, joka valvoo yleistä rautatieturvallisuutta, rautatiejärjestelmien turvallisuutta sekä rautatieyritysten ja Ratahallintokeskuksen toiminnan turvallisuutta (RHK 2006).

Rautatieyritys tarkoittaa päätoimenaan rautatieliikennettä harjoittavaa yksityisoikeudellista yhtiötä tai muuta yhteisöä. Sillä tulee olla Euroopan talousalueella myönnetty toimilupa sekä hallussaan liikenteen harjoittamiseen tarvittavaa liikkuvaa kalustoa. Myös yksinomaan vetovoimapalveluja tarjoavia yhteisöjä pidetään rautatieyrityksinä. (RHK 2006.)

Simulointi tarkoittaa jonkin todellisen ilmiön jäljittelyä esimerkiksi tietotekniikkaa apua käyttäen.

UIC eli kansainvälinen rautatieliitto (The International Union of Railways / L'Union Internationale des chemins de fer) (UIC 2007).

Vaihde on raiteiden liityntäkohta, jossa junat voidaan ohjata raiteelta toiselle (RHK 2005).

Yhteensovittaminen tarkoittaa menettelyä, jossa Ratahallintokeskus ratkaisee tilanteet, jossa eri yritysten ratakapasiteettihakemukset ovat keskenään päällekkäisiä (RHK 2006).

Yksityisraide tarkoittaa raidetta, jolla on Ratahallintokeskuksen myöntämän yksityisraideliityntäluvan mukainen liityntä rataverkkoon (RHK 2006).

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Liikennepolitiikka on yksi Euroopan yhteisön varhaisimmista yhteisistä politiikoista. Se painottuu esteiden poistamiseen jäsenvaltioiden rajoilta ihmisten ja tavaroiden vapaan liikkumisen helpottamiseksi. Liikennepolitiikan päätavoitteet ovat sisämarkkinoiden toteuttaminen, kestävän kehityksen takaaminen, Euroopan suurten liikenneverkostojen hyödyntäminen, alueiden suunnittelu ja hallinta, liikenneturvallisuuden parantaminen sekä kansainvälisen yhteistyön kehittäminen. (Europa 2006.)

Yhtenäismarkkinoiden perustamisen myötä toteutettavien toimien, kuten rajojen poistamisen myötä voidaan puuttua liikenteen jatkuvasti kasvavaan kysyntään ja torjua kasvuun liittyviä ruuhkautumisen ja ylikuormituksen ongelmia. Euroopassa rautatiekuljetusten, erityisesti tavarakuljetusten, osuus on ollut laskussa, koska rautatiekuljetukset eivät ole yhtä kilpailukykyisiä kuin maantiekuljetukset. EU:n rautatiepolitiikan avulla on pyritty helpottamaan rautateiden sopeutumista yhtenäismarkkinoiden vaatimuksiin ja lisäämään niiden tehokkuutta. (Europa 2006.)

Rautateiden kehittämisdirektiivi tuli voimaan 1990-luvun alussa. Tällä direktiivillä erotettiin rataverkko ja verkolla operoivat kuljetusyrietykset toisistaan. Erottaminen toteutettiin eri maissa eri tavoin. Direktiivin mukaan erottelu voi olla hallinnollinen, erilaisiin yritysjärjestelyihin perustuva tai organisaatioiden todellinen erottaminen. (Mäkitalo et al. 2004.)

Suomessa direktiivivaatimus toteutettiin vuonna 1995, kun rataverkosta ja liikennöinnistä siihen asti vastannut liikelaitos Valtionrautatiet jakautui VR-Yhtymä Oy:ksi ja Ratahallintokeskukseksi. VR-Yhtymä Oy on kuljetusalan yritys, joka palvelee tavaraliikenteen asiakkaita sekä joukkoliikenteen matkustajia rautateillä ja maantietä liikenteessä. Konsernin suurin yhtiö, VR Osakeyhtiö, vastaa tavara- ja henkilöliikenteestä rautateillä. Ratahallintokeskus (RHK) puolestaan on liikenne- ja viestintäministeriön alainen virasto, joka vastaa valtion rataverkon ylläpidosta, kehittämisestä ja liikenteenohjauksesta. (Mäkitalo et al. 2004, RHK 2006, VR-Yhtymä Oy 2007a.)

Vuonna 1996 Euroopan komissio julkaisi rautatieliikennettä koskevan valkoisen kirjan, jossa komissio määritteli strategian yhteisön rautateiden elvyttämiseksi. Vuonna 2001 julkaistussa toisessa liikennepolitiikan valkoisessa kirjassa esitettiin toimintasuunnitelma, jonka tarkoituksena on parantaa liikenteen laatua ja tehokkuutta Euroopassa. Tavoitteeksi kirjattiin eri liikennemuotojen osuuksien tasapainottaminen vuoteen 2010 mennessä. (Europa 2006.)

Vuonna 2001 komissio antoi ensimmäisen niin sanotun rautatiepaketin, jonka tarkoituksena oli avata tavaraliikenteen markkinat antamalla rautatieyrityksille pääsy kansallisiin rautatieverkkoihin. Vuonna 2002 komissio antoi toisen toimenpidepaketin, jonka tarkoituksena oli elvyttää rautatieliikennettä luomalla yhdennetty eurooppalainen rautatiealue. Paketin lainsäädäntöehdotusten keskeinen sisältö koski tavaraliikenteen kansallisen kilpailun avautumista, Euroopan rautatieviraston perustamista, eurooppalaisen turvallisuussäätelyn muodostamista sekä yhteentoimivuussäätelyn kehittämistä. Vuonna 2004 komissio hyväksyi kolmannen rautatiepaketin, jolla on

tarkoitus jatkaa rautatiealan uudistusta. Kolmannen rautatiepaketin sisältö koski EU:n sisäisen henkilöliikenteen avaamista kilpailulle, matkustajien kansainvälisten oikeuksien vahvistamista, veturinkuljettajien yhtenäisen lupajärjestelmän luomista ja rautateitse tapahtuvien rahtikuljetusten laadun parantamista. (Mäkitalo et al. 2004.)

Toinen rautatiepaketti pantiin Suomessa kansallisesti täytäntöön syksyllä 2006, kun Suomessa astui voimaan uusi rautatielaki. Tässä laissa yhdistettiin voimassa oleva rautatielaki ja Euroopan laajuisen rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta annettu laki. Rautateiden kansallinen tavaraliikenne avautui kilpailulle toisen rautatiepaketin mukaisesti vuoden 2007 alussa. Tätä aikaisemmin VR Osakeyhtiöllä oli yksinoikeus harjoittaa kotimaista henkilö- ja tavaraliikennettä. Kotimaan henkilöliikenne sekä Suomen ja Venäjän välinen rautateiden yhdysliikenne jäivät edelleen pelkästään VR Osakeyhtiön yksinoikeudeksi. (LVM 2006.)

Kansallisen tavaraliikenteen vapautumisen myötä verkolle voi tulla VR Osakeyhtiön lisäksi myös muita liikenteenharjoittajia. Rataverkolle pääsy on kuitenkin tarkoin säädeltyä. Liikennöinti edellyttää turvallisuustodistusta, toimilupaa, myönnettyä ratakapasiteettia ja rataverkon käyttösopimusta. Turvallisuustodistus haetaan kansalliselta turvallisuusviranomaiselta, Suomessa Rautatievirastolta. Toimiluvat myöntää liikenne- ja viestintäministeriö. Ratahallintokeskus vastaa ratakapasiteetin myöntämisestä ja rataverkon käyttösopimuksesta. (RHK 2006.)

Ratakapasiteettia haetaan Ratahallintokeskukselta. Hakemuksessa tulee käydä ilmi muun muassa jokaisen sellaisen junan, jolla kuljetusyritys aikoo liikennöidä, kulku-suunnitelma eli aikataulu. Ratahallintokeskus sovittaa yhteen hakijoiden laatimat ratakapasiteettihakemukset, laatii liikennöitsijöille aikatauluehdotuksen, myöntää aikatauluehdotuksen perusteella rautatieyrityksille ratakapasiteettia ja solmii yritysten kanssa rataverkon käyttösopimukset. Menettelyä, jossa Ratahallintokeskus ratkaisee tilanteet, joissa eri yritysten ratakapasiteettihakemukset ovat keskenään päällekkäisiä, kutsutaan ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamiseksi. Päällekkäiset hakemukset voidaan asettaa etusijajärjestykseen kuljetusten tärkeyden mukaan. (RHK 2006.)

Käytännössä ratakapasiteettihakemusten yhteensovittaminen tarkoittaa eri liikennöitsijöiden aikataulusuunnitelmien yhdistämistä yhdeksi, koko Suomen valtion rataverkon kattavaksi aikatauluksi, jossa on huomioitu mahdollisuuksien mukaan tasapuolisesti kaikkien liikennöitsijöiden toiveet. Aikataulujen yhteensovittamisen apuna voidaan käyttää aikataulusuunnitteluohjelmia. Suomessa on käytössä muun muassa aikataulusuunnitteluohjelma Viriato.

Ratahallintokeskuksen ja liikenne- ja viestintäministeriön toimesta on tehty useita erilaisia selvityksiä liittyen rautatiesektorin toimintaympäristön muuttamiseen ja kilpailun avautumiseen. Esimerkiksi Ratahallintokeskus on teettänyt julkaisut ”Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun nykytila” (Mäkitalo et al. 2004), ”Ratatieojen kuvaaminen – ratatietokanta ja verkkoselostus” (Mäkitalo et al. 2005), ”Rautatietavaraliikenteen kilpailun avautuminen ja rataverkon haltijan palveluntuotanto” (Väänänen 2006) sekä ”Ratakapasiteetin jakamisen tietojärjestelmät” (Nyby 2005).

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Aikataulu on tärkeässä roolissa rautatiesuunnittelussa. Junaliikenteessä häiriöt, kuten yhden junan myöhästyminen, voivat aiheuttaa häiriöitä useille muille junille, ja vaikutukset voivat ulottua pitkälle rataverkkoon. Jo aikataulusuunnitteluvaiheessa voidaan havaita aikataulun potentiaalisia ongelmakohtia. Ongelmien seurannaisvaikutuksia voi kuitenkin olla vaikea havaita suoraan. Tässä työssä tutkitaan, saadaanko tähän ongelmaan helpotusta simuloinnin avulla.

Rautatieliikenteen suunnittelun avuksi on kehitetty useita simulointiohjelmiä, joilla voidaan simuloida eli jäljitellä junien liikkeitä tietokonemalliin rakennetulla rataverkolla. Simulointiohjelmiä käytetään muun muassa infrastruktuurihankkeiden suunnittelussa, mutta myös aikataulujen toimivuuden tarkastelua voi tehdä simulointiohjelman avulla. Kun aikataulu siirretään simulointiohjelmaan, aikataulun toimivuus voidaan testata sellaisenaan sekä erilaisissa häiriötilanteissa.

Työn tavoitteena on selvittää, miten simulointia voidaan hyödyntää ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa. Työn tutkimuskysymyksiä ovat:

- Mitä hyötyä simuloinnista on ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisen kannalta?
- Miten simulointi soveltuisi kiinteäksi osaksi yhteensovittamisprosessia?

Tutkimuskysymyksiin haetaan vastauksia kirjallisuuskatsauksen sekä tapaustutkimuksen avulla. Kirjallisuuosiossa tarkastellaan, miten simulointia on hyödynnetty rautatieliikenteen suunnittelun apuvälineenä ja millaisia simulointiohjelmiä on markkinoilla. Myös työn taustalla olevat tekijät, kuten ratakapasiteetin käsite, aikataulusuunnittelun perusteet ja ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisprosessi käydään läpi kirjallisuuosiossa.

Tapaustutkimus tehdään sveitsiläisellä OpenTrack-simulointiohjelmalla, joka on ollut Suomessa käytössä vuodesta 2003 lähtien. Tapaustutkimuksen kohteeksi valittiin rataosuus pääradalla Riihimäen ja Tampereen väliltä. Tapaustutkimusalueella on kaksi isompaa liikennepaikkaa, Hämeenlinna ja Toijala, sekä useita pienempiä liikennepaikkoja.

Tapaustutkimuksessa on tarkoitus vertailla simuloinnin avulla erilaisten aikataulujen pysyvyyttä häiriötilanteissa. Jokaisessa aikataulussa on sama junamäärä. Tutkittavat aikataulut ovat ikään kuin yhteensovittamisen tuloksena syntyneitä vaihtoehtoja. Koska työn tekovaiheessa rataverkolla ei liikennöinyt VR Osakeyhtiön lisäksi muita yrityksiä, tapaustutkimus jouduttiin tekemään kuvitteellisesta tapauksesta. Junat, joista aikatauluehdotukset muodostetaan, voisivat olla esimerkiksi saman operaattorin yhden junan erilaisia kulkuvaihtoehtoja, tai useamman operaattorin päällekkäisiä ratakapasiteettihakemuksia hieman erilaisilla lähtö- ja tuloajoilla.

Koska kyseessä oli kuvitteellinen tapaus, ei määritelty, kuinka monen eri yrityksen junia yhteensovittelussa on mukana. Laaditut aikatauluvaihtoehdot ja niissä kulkevat tavarajunat ajateltiin tasavertaisiksi operaattoreiden kannalta. Tällöin aikataulujen paremmuusjärjestyksen ratkaisee niiden pysyvyys häiriötilanteissa. Tapaustutkimuksessa on tarkoituksena tutkia, voiko simuloinnin avulla löytää yhtä hyviltä

vaikuttavista aikatauluista selvästi muita aikatauluja stabiilimpi ja vähemmän häiriöherkkä vaihtoehto.

Simulointiohjelman kalibrointi rajattiin tämän työn ulkopuolelle, sillä keväällä 2007 valmistui opinnäytetyö OpenTrackin simuloinnista (Kokkonen 2007). Kalibrointityössä tutkittiin, kuinka tarkasti simulointi vastaa todellista liikennettä rataosuuksilla, sekä selvitettiin simulointiparametreja erilaisille junatyypeille. Työssä todettiin, että ohjelma simuloi tavaralinjaliikenteen oikeanmukaisesti. Suurimmat erot olivat tavarajunien hidastumiskäyttäytymisessä. Ohjelma ei osaa ennakoida tulevaa pysähtymistä kuten todellinen junakuljettaja, joka saattaa laskea nopeutta vähitellen pysähdysten lähestyessä. Ohjelmassa junat ajetaan maksiminopeudella niin pitkälle kuin mahdollista. (Kokkonen 2007.)

Simulointi on aina vain todellisuuden jäljittelyä. Vaikka työkalu on kalibroitu mahdollisimman hyvin vallitseviin oloihin, simulointimalli ei kuitenkaan vastaa koskaan täysin todellista maailmaa. Vaikka työssä käytetty simulointityökalu ei vastaakaan täysin todellisuutta, työssä saadaan kuitenkin selville, minkä suuntaisia hyötyjä simuloinnista on. Työn tavoitteena ei ole pohtia pelkästään tapaustutkimuksessa käytetyn ohjelman hyötyjä, vaan simulointia laajemmasta näkökulmasta, ohjelmasta riippumatta.

1.3 Työn rakenne

Työn ensimmäisissä luvuissa on tarkasteltu työn taustalla olevia tekijöitä. Toisessa luvussa on käyty läpi rautatieliikenteen suunnitteluun ja liikenteen hallintaan liittyviä asioita, kuten aikataulusuunnittelun perusteet. Kolmannessa luvussa on kerrottu Ratahallintokeskuksen suorittamasta ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisprosessista. Luvussa on kerrottu yhteensovittamisprosessin vaiheet, menettelytavat sekä edellytykset, jotka rautatieyrityksen tulee täyttää päästäkseen liikennöimään valtion rataverkolla.

Neljännessä luvussa käsitellään aluksi simuloinnin teoriaa yleisellä tasolla sekä simuloinnin käyttöä liikennetekniikassa, erityisesti rautatieliikenteen osalta. Luvussa on tarkasteltu myös olemassa olevia rautatieliikenteen simulointiohjelmiä sekä simulointiohjelmien ominaisuuksia, vaatimuksia ja käyttökohteita yleisellä tasolla. Lisäksi luvussa on lyhyt katsaus siitä, miten rautatieliikenteen simulointia on hyödynnetty Suomessa ja muualla Euroopassa. Luvun lopussa on koottu yhteen kirjallisuuskatsauksen perusteella tehdyt päätelmät siitä, kuinka rautatieliikenteen simulointi soveltuisi osaksi yhteensovittamisprosessia.

Viidennessä ja kuudennessa luvussa käsitellään tapaustutkimusta. Viidennessä luvussa on esitelty tutkimusongelman rajaus, tapaustutkimuksen kohde ja tutkimukset toteutustavat. Tulokset on esitetty kuudennessa luvussa.

Seitsemännessä luvussa on käyty lyhyenä yhteenvetona läpi työn taustat, tavoitteet, työn toteutustavat ja tulokset. Lisäksi luvussa esitetään kirjallisuuskatsauksen ja tapaustutkimuksen avulla tehdyt päätelmät sekä tehdään ehdotuksia jatkotutkimusaiheiksi.

2 RAUTATIELIIKENTEEN SUUNNITTELU JA HALLINTA

2.1 Ratakapasiteetti

2.1.1 Ratakapasiteetin määrittely

Ratakapasiteetin määritelmä on moniulotteinen, eikä sille ole olemassa yksiselitteistä yhtenäistä määrittelyä. Ratakapasiteetti voidaan määrittellä useilla eri tavoilla muun muassa tarkastelunäkökulmasta riippuen. Yksinkertaistettuna ratakapasiteetti tarkoittaa maksimijunamäärää, joka voidaan liikennöidä tietyllä rataosalla tietyn ajanjakson aikana. Ratakapasiteetin avulla voidaan arvioida radan tai rataosan välityskykyä. Ratakapasiteetin yksikkö on junaa rataosalla aikayksikköä kohden, esimerkiksi junaa tunnissa tai junaa vuorokaudessa. Ratakapasiteetti kertoo, kuinka paljon junia voisi liikkua verkolla, suoritamäärä eli junaa aikayksikössä puolestaan kertoo, kuinka paljon junia todellisuudessa liikkuu. Kapasiteetti voidaan määrittää joko liikennöitäviltä linjoilta, risteyksistä, liikennepaikoilta tai ratapihoilta. (Čapek 2006, Pitkänen 2007.)

Kansainvälinen rautatieliitto L'Union Internationale des chemins de fer (UIC) määrittelee ratakapasiteetin suhteelliseksi käsitteeksi, jonka määrää ei voida mitata yksikäsitteisesti. Ratakapasiteettiin vaikuttavat useat itsenäiset tekijät, joiden yhteisvaikutuksesta ja käytöstavasta kapasiteetti riippuu:

- Junien määrä: Junien määrän kasvaessa kapasiteettia on vähemmän jäljellä ja liikenteen häiriöherkkyys kasvaa.
- Junien keskinopeus: Mitä nopeammin junat kulkevat, sitä vähemmän ne varaavat tiettyä rataosuutta. Jarrutusetäisyys kasvaa kuitenkin suhteessa nopeammin kuin nopeus, mikä osaltaan heikentää kapasiteettia.
- Liikenteen tasapainoisuus: Junien kulkuaikoihin lisätään marginaalit pienten myöhästymisten varalle, jolloin kapasiteetin käyttöaste kasvaa mutta liikennöinnin luotettavuus paranee, sillä pienet myöhästymiset eivät vaikuta muiden junien kulkuun.
- Heterogeenisyys: Jos junien ajoajoissa on suuria eroja, menetetään kapasiteettia. (UIC 2004.)

Ratakapasiteetti voidaan jakaa teoreettiseen, käytettyyn ja saatavilla olevaan kapasiteettiin. Teoreettinen kapasiteetti tarkoittaa maksimiarvoa, joka voi toteutua vain ideaalitulanteessa. Käytetty kapasiteetti vastaa toteutunutta liikennettä ja saatavilla oleva kapasiteetti teoreettisen ja toteutuneen eroa eli kapasiteettia, joka periaatteessa on jäljellä. (Čapek 2006.)

Tekninen kapasiteetti määräytyy pääosin infrastruktuurista ja liikkuvan kaluston ominaisuuksista. Raideinfrastruktuuri muodostuu raiteista, turvalaitteista ja muista radan varren laitteista, asemista ja asemavarusteista. Raiteiden kunto sekä pysty- ja vaakageometria vaikuttavat nopeuteen, jolla radalla voidaan korkeintaan ajaa, ja sitä myöten myös kapasiteettiin. Turvalaitteet vaikuttavat minimijunaväleihin. (Čapek 2006.)

Kapasiteettihäviö tarkoittaa radan kapasiteetin vähenemistä pullonkaulojen, kohtauspaikkojen puutteiden, taseasteusten ja nopeuserojen vaikutuksesta. Esimerkiksi

hitaat junat hidastavat nopeampien junien kulkua, jos rataosuudella ei ole mahdollista päästää nopeampaa junaa hitaamman ohi. Pullonkaulaksi voi muodostua esimerkiksi yksiraiteinen osuus kaksiraiteisten rataosien välissä tai alennettu sallittu nopeus. Yksiraiteisen rataosan mitoittava osuus on kohtauspaikkaväli, missä ajoaika on pisin. (Mäkitalo 2000.)

Kapasiteettivajetta voi ilmetä, vaikka kapasiteettia olisi periaatteessa käytössä. Henkilöliikenteessä tällainen tilanne voi esiintyä esimerkiksi, kun asemalla on kaksi raidetta, mutta vain toiselle on rakennettu henkilölaituri, jolloin asemalla voi pysähtyä kerrallaan vain yksi matkustajajuna. Tavaraliikenteessä vastaava tilanne voi syntyä esimerkiksi ohitustilanteessa, jossa pitkä juna yrittää päästää takaa tulevan nopeamman junan ohitseen siirtymällä sivuraiteelle, mutta ei mahdu pituutensa vuoksi kokonaan sivuraiteelle, jolloin nopeampi juna ei pääse takaa ohi. (Mäkitalo 2000.)

2.1.2 Ratakapasiteetin käyttöaste

Ratakapasiteetin käyttöaste tarkoittaa junien kulkuun kuluneen ajan suhdetta käytettävissä olevaan liikennöinti-aikaan. Sekaliikenteelle sopiva käyttöaste vuorokaudessa on noin 40–60 prosenttia. Optimaalinen käyttöaste on noin 60 prosenttia, tosin Suomen talvessa optimaalinen käyttöaste on alhaisempi. Käyttöastetta voidaan kasvattaa lisäämällä rataverkolle junia. Käyttöastetta ei kuitenkaan kannata kasvattaa yli 80 prosentin, sillä silloin lisäjuniin sijoittaminen verkolle hankaloituu. Lisäksi mitä suurempi käyttöaste on, sitä häiriöherkempi liikenne on, jolloin palautuminen häiriötilanteista normaalitilanteeseen voi kestää pitkään. (Mäkitalo 2000, Pitkänen 2006.)

Kapasiteetin käyttöastetta voidaan tarkastella joko simulointiohjelmilla tai laskea matemaattisten mallien avulla. Eri maissa on kehitetty useita erilaisia menetelmiä ratakapasiteetin mittaamiseen ja ne soveltuvat yleensä parhaiten juuri oman maan tarpeille. Eri maiden menetelmät eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Kansainvälinen rautatieliitto UIC on laatinut kaikkiin maihin ja kaikille rautateille sopivan, yksinkertaisen laskentamenetelmän, joka mahdollistaa eri maiden karkean vertailun. Menetelmä on ohjeellinen ja sitä on tulkittu eri maissa eri tavoin. (Mäkitalo 2000, Pitkänen 2007.)

2.1.3 Ratakapasiteetin lisääminen

Ratakapasiteetin kasvattamiseen kohdistuvat toimenpiteet voidaan jakaa neljään luokkaan: aikataulurakenteen tai liikennöintiperiaatteiden muuttaminen, rataosan hitaiden välien poistaminen, opastinjärjestelyjen muuttaminen ja ratageometrian muuttaminen. Toimenpiteet tulisi toteuttaa kyseisessä järjestyksessä, mikäli halutaan saavuttaa taloudellisesti paras ratkaisu. Infrastruktuuriin kohdistuvia toimenpiteitä ei välttämättä tarvita, jos liikennöintiratkaisuja muutetaan kapasiteetin käytön kannalta parempaan suuntaan. (Pachl 2002.)

Ratakapasiteettiin vaikuttava infrastruktuuri tarkoittaa raiteita ja niiden määrää, radan rakennetta ja varustelua, ratapihoja, kohtauspaikkoja ja turvalaitteita. Näihin kohdistuvia investointitoimenpiteitä ovat esimerkiksi kohtaamispaikkojen tai uusien raiteiden rakentaminen, päällysrakenteen uusiminen, ratageometrian parantaminen,

radan sähköistäminen, turvajärjestelyjen rakentaminen sekä tasoristeysten poisto. Investointien toteuttaminen vie yleensä aikaa. Kapasiteettia voidaan kasvattaa vähitellen tarpeen mukaan tai tekemällä suuria, paljon kapasiteettia lisääviä investointeja. (Mäkitalo 2001.)

Myös kaluston ominaisuudet vaikuttavat ratakapasiteettiin ja sen käyttöasteeseen. Vaunun kapasiteetti ja vaunujen lukumäärä muodostavat suoritemäärän. Henkilöjunissa kapasiteettia voidaan kasvattaa lisäämällä vaunuja. Tavaraliikenteessä sallittu akselipaino toimii yleensä mitoittavana tekijänä. Henkilöjunissa kallistustekniikka mahdollistaa suuremmat nopeudet kaarteissa, sillä kallistusominaisuus vähentää sivusuuntaisen liikkeen tunnetta, eikä junan tarvitse hidastaa matkustusmukavuuden säilyttämiseksi. (Mäkitalo 2001.)

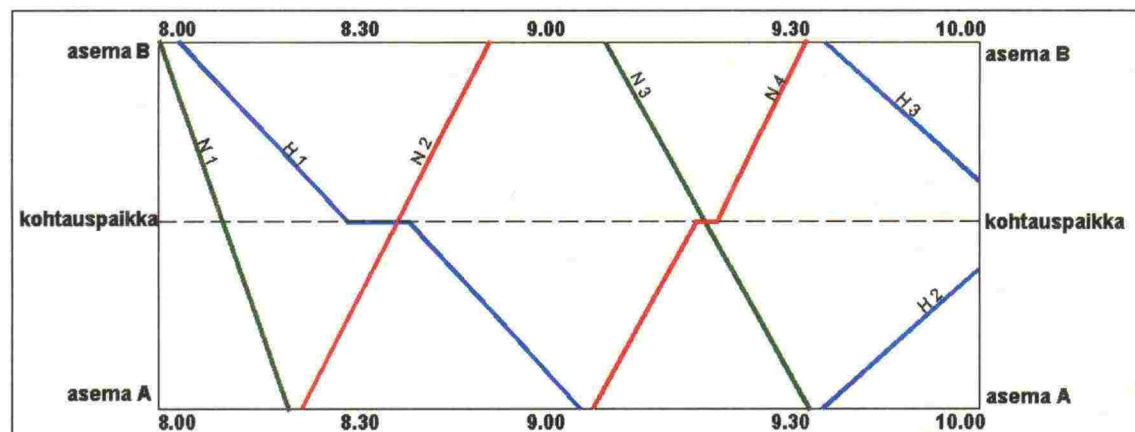
Junapaino, junapituus sekä jarruominaisuudet vaikuttavat junan liikkumis- ja suorituskykyyn. Pidempi ja painavampi juna kiihtyy hitaammin. Raskaalla junalla ei välttämättä voi myöskään ajaa suurinta sallittua nopeutta. Junapituus vaikuttaa mahdollisten kohtauspaikkojen määrään. Pitkä juna ei välttämättä mahdu lyhyelle kohtauspaikalle, jolloin junien kohtaaminen tulee järjestää jossain toisessa paikassa. Junatehon kasvaessa kiihtyvyys ja maksiminopeus kasvavat, jolloin matka-ajat lyhenevät. Tehon ja nopeustason kasvattaminen vapauttaa kapasiteettia muun liikenteen käyttöön. (Mäkitalo 2001.)

2.2 Aikataulusuunnittelu ja liikenteen ohjaus

2.2.1 Aikataulu ja sen esittämistavat

Aikataululla tarkoitetaan junan tai junien aikaan sidottua kulkusuunnitelmaa rataverkolla. Aikataulun pohjana on junan teoreettinen minimiajoaika tarkasteltavalta väliltä. Teoreettiseen minimiajoaikaan on lisätty pelivara eli ylimääräistä aikaa, jotta junan on helpompi pysyä aikataulussa. Aikataulu liittyy aina yhteen tai useampaan junaan. Aikataulun tarkoituksena on koordinoita liikennöintitavoituksia, kuvata sovitun liikenteen kulku ja antaa tietoa asiakkaille. Aikataulun tehtävänä on kuvata jokaisen junan liikennöintipäivät, reitti eli asemat, joiden läpi juna kulkee, saapumis- ja lähtöajat kullekin asemalle sekä maksiminopeudet. Suomessa kaikilla junilla tulee olla aikataulu turvallisuuden ja sujuvuuden varmistamiseksi. Näin ei kuitenkaan ole kaikkialla maailmassa, esimerkiksi Yhdysvalloissa junilla ei ole varsinaisia aikatauluja. (Mäkitalo 2001, Pitkänen 2006, Pachel 2002, White 2007.)

Aikataulut esitetään yleensä taulukkomuodossa. Graafinen aikataulu on junien liikkumista havainnollistava aikataulun esittämistapa. Kuvassa 1 on esimerkki yksinkertaisesta graafisesta aikataulusta. Graafinen aikataulu on aika-etäisyys-kuvaaja, jossa toisella akselilla on kuvattu etäisyys, esimerkiksi kahden aseman väli, ja toisella akselilla aika. Yksittäiset viivat kuvastavat junien kulkua siten, että jokaista junaa kuvaa yksi viiva. Viivan yhteydessä kerrotaan usein myös junan tunnus sekä junan kulkupäivät. Graafista aikataulua voidaan käyttää apuna aikataulusuunnittelussa sekä junien todellisen kulun seurannassa. (Pachel 2002, Mäkitalo 2001.)



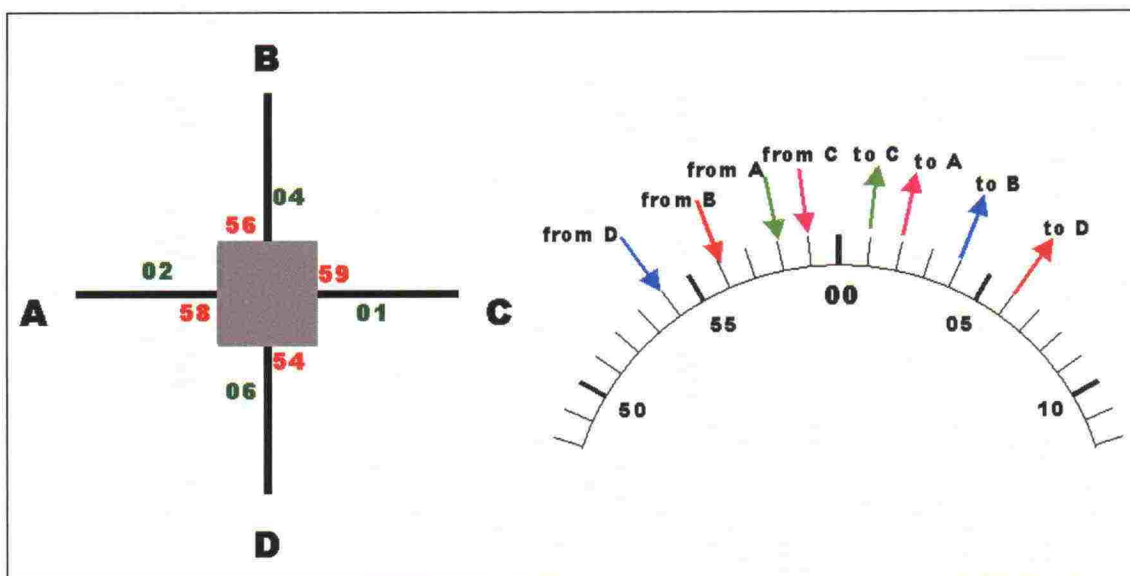
Kuva 1. Esimerkki graafisesta aikataulusta (Mäkitalo 2007b).

2.2.2 Vakioaikataulu

Vakioaikataulu on henkilöliikenteen aikataulujärjestelmä, jossa huomion keskipisteenä ovat liikenteen solmupisteet ja järjestetyt vaihdot. Vakioaikataulussa junat lähtevät ja saapuvat asemalle säännöllisin vuorovälein vakiona pysyvällä minuutiluvulla. Vuoroväli voi olla esimerkiksi tunti, puoli tuntia tai näiden kerrannainen. Vakioaikataulu on kvalitatiivinen eli laadullinen ratkaisumalli liikenteen ja infrastruktuurin suunnittelussa ja kehittämisessä. Kvantitatiivista eli laskennallista lähestymistapaa edustavat puolestaan läpimenoaikojen, liikennesuoritteiden ja nopeuden tarkastelu. (Mäkitalo 2001.)

Vakioaikataulu on käytössä useissa Euroopan maissa. Jo 1940-luvulla Saksassa Berliinin lähiliikenteessä käytettiin liikenteen kiinteää aikataulua. Sveitsi oli yksi edelläkävijämaista, siellä varsinainen vakioaikataulu otettiin käyttöön vuonna 1982. Suomessa vakioaikataulua on käytetty Etelä-Suomen henkilöliikenteessä vuodesta 2002. (Mäkitalo 2001, Hovi ja Paasikivi 2007.)

Vakioaikataulun etuna on sen säännöllisyys ja symmetrisyys. Kuvassa 2 on havainnollistettu vakioaikataulun symmetrisyyttä. Vaihtoasemalle saapuu junia suunnista A, B, C ja D. Junat saapuvat tälle solmupisteeseen toimivalle asemalle joka tunti samalla tietyllä minuutilla ennen tasatuntia ja lähtevät takaisin paluusuuntaan vastaavasti tietyllä minuutilla tasatunnin jälkeen. Esimerkiksi suunnan D junat saapuvat asemalle aina 54. minuutilla ja lähtevät paluusuuntaan neljä minuuttia tasatunnin jälkeen. Kaikki junat ovat samaan aikaan asemalla, jolloin vaihto helpottuu ja odotusajat ovat lyhyet. Vaihdot on myös helppo muistaa, kun ne toistuvat säännöllisesti samanlaisina. (Mäkitalo 2001.)



Kuva 2. Symmetria vakioaikataulussa (Mäkitalo 2007b).

Symmetria näkyy myös graafisessa aikataulussa. Saman rataosuuden eri suuntiin liikkuvien junien viivat voi piirtää toistensa peilikuviksi, koska matka-aika ja pysähtymiskäyttäytyminen asemien välillä ovat samat molempiin suuntiin. Tämä helpottaa aikataulusuunnittelua ja liikenteenohjausta. Yhden junan sovittamisen jälkeen voidaan saman junan paluusuunnan kulku ja aikataulu laatia peilikuvana. Junakohtaukset tulee ratkaista vain yhteen suuntaan, koska vastakkainen suunta saadaan toimimalla päinvastoin. Lisäksi kohtaukset tulee sovittaa vain yhden tunnin osalta, koska seuraavien tuntien junakohtaukset voidaan toteuttaa samalla tavalla. (Mäkitalo 2001.)

Rataverkon solmupisteesemiksi soveltuvat asemat, joiden välinen matka-aika on puolet symmetriaminuuttien vuoroväleistä tai sen kerrannainen. Tällöin juna voi lähteä asemalta hieman tasa- tai puolitunnin jälkeen ja saapua seuraavalle asemalle hieman ennen tasa- tai puolituntia. Yksi asema palvelee suurempaa kokonaisuutta ja koko rataverkko voidaan ajatella toiminnallisena kokonaisuutena. Henkilöliikenteen toimivuus riippuu paljon vaihtoyhteyksistä. Vakioaikataulu pyrkii luomaan rautatieliikenteen yhteyksistä järjestelmän, jossa pääsee helposti kaikkialle. Poikittainen ja pitkittäinen liikenne toimii ja niiden välillä vaihtaminen on helppoa. Järjestettyjen vaihtojen avulla matkustajien on helppo luoda matkaketjuja. (Mäkitalo 2001.)

Vakioaikataulun sovittaminen rataverkolle alkaa solmupisteiden etsimisellä. Solmupisteiden välisiä etäisyyksiä tarkastellaan junien ajoaikoina. Junakohtaukset tulisi pyrkiä järjestämään pysähdysasemille. Ajoaika niiden asemien välillä, joilla vaihto on järjestetty, tulisi olla puolen tunnin kerrannainen. Ajoajan tulisi olla hieman lyhyempi, jotta vaihto ehtii tapahtua. Tarvittava junanvaihto-aika riippuu muun muassa aseman laiturijärjestelyistä. (Mäkitalo 2001.)

Vakioaikataulusta on pidetty tarkimmin kiinni eteläisessä Suomessa. Pohjois-Suomessa ei ole niin tarkkaa esimerkiksi lähtöminuuttien kanssa. Toive, että kaikki junat olisivat asemalla aina tasatunnein, ei voi infrastruktuurin takia toteutua kaikkialla Suomessa. (Hovi ja Paasikivi 2007, Pitkänen 2007.)

2.2.3 Aikataulun laatu

Aikataulun kvantitatiivinen tai tekninen laatu tarkoittaa junien arvioitua mahdollisuutta pysyä aikataulussaan tai täsmällisyyttä eli liikenteen toteutumaa suunnitelmaan nähden. Laatuun liittyviä tekijöitä ovat pelivara, häiriöherkkyys sekä aikataulussa pysymisen mahdollisuus tai sen toteutuma. Yhden tekijän muuttuminen vaikuttaa myös muihin tekijöihin. (Mäkitalo 2001.)

Junan aikataulu sisältää aina pienen pelivaran, jonka rajoissa juna pyrkii liikkumaan. Pelivara ilmoitetaan yleensä prosentteina. Tämä prosenttiluku ilmaisee, miten paljon juna voi liikkua myöhässä pysyen kuitenkin aikataulussaan. Pelivara voidaan määrittää etäisyyden tai matka-ajan perusteella. Pelivaran määrään vaikuttaa yleensä junatarjonta, rataosuus ja ratatöiden määrä. (Mäkitalo 2001.)

Pelivaratavoite on Suomessa noin 10 prosenttia. Se on havaittu käytännössä sopivaksi arvoksi. Kansainvälinen rautatieliitto UIC suosittelee hieman alemmaa arvoa, junan nopeudesta riippuen 7–9 prosenttia. Pelivara koetetaan jakaa aikataulussa tasaisesti, kokemuksen mukaan. Aikatauluteknisistä syistä pelivarasta voidaan tinkiä joissain paikoissa ja joissain taas ajaa löysemällä pelivaralla. Junalla saattaa olla esimerkiksi alussa tiukempi aikataulu ja lopussa enemmän pelivaraa. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Häiriöherkkyys tarkoittaa aikataulun kyvyttömyyttä vaimentaa junan myöhästymisen vaikutuksia. Jos aikataulu on häiriöherkkä, yhden junan myöhästyminen saattaa myöhästyttää useita muita junia. Kun liikennesuorite ja kapasiteetin käyttöaste kasvavat, myös häiriöherkkyys kasvaa ja palautumiskyky häiriötilanteista normaalitilanteeseen heikkenee. (Mäkitalo 2001.)

2.2.4 Rautatieyritysten aikataulusuunnittelu yleisesti

Aikataulusuunnittelu on keskeisessä roolissa rautatieliikenteessä. Rautatieverkolla liikkuu suuria liikennevirtoja niukkojen resurssien vallitessa. Toimivan aikataulun avulla hallitaan liikennevirtoja ja samalla hyödynnetään resursseja tehokkaasti. Aikataulusuunnittelussa on otettava huomioon niin kalusto, infrastruktuuri kuin henkilöstö että asiakkaat. Aikataulun suunnittelun hankaluus perustuu erilaisiin juniin, niiden erilaisiin nopeuksiin ja pysähtymispaikkoihin sekä muihin ominaisuuksiin. Jos kaikki junat kulkisivat samaa nopeutta, aikataulusuunnittelu olisi helppoa. Tämä kuitenkin tuhlaisi resursseja, koska suurempiin nopeuksiin pystyvät junat joutuisivat ajamaan hitaimman junan nopeuden mukaan. Aikataulut tulisi laatia niin, että junat voivat mahdollisuuksien mukaan ajaa suurinta sallittu nopeutta. (Mäkitalo 2000.)

Suunnitteluprosessi lähtee liikkeelle liikenteen suunnittelusta, jossa määritellään asiakkaiden tarpeet. Varsinaisessa aikataulusuunnittelussa liikennesuunnitelma sovitetaan verkolle infrastruktuurin sallimissa rajoissa. Aikataulurakenne tarkoittaa erilaisten junien sijoittumista aikataulusuunnitelmassa toisiinsa nähden. Aikataulusuunnittelussa on otettava huomioon junien kulkuun vaikuttavista tekijöistä kalusto, pysähdyspaikat, suurin sallittu nopeus, ratatyöt sekä nopeusrajoitukset. Lisäksi on huomioitava henkilöstön kierto ja lepotauot sekä asiakkaiden tarpeet eli junaliikenteen kysyntä. Uuden aikataulun pohjana toimii usein vanha aikataulu, jota muokataan uusien

tilanteiden, muuttuneiden tarpeiden ja kysynnän sekä turvallisuusseikkojen vuoksi. (Mäkitalo 2000.)

2.2.5 VR:n aikataulusuunnittelu

VR:n aikataulusuunnittelu lähtee periaatteessa liikkeelle henkilö- ja tavaraliikenteen tarpeista. Henkilöliikenteen tarpeet ovat yleensä paremmin ennakoitavissa, minkä vuoksi henkilöliikennejärjestelmä on perinteisesti toiminut suunnittelun pohjana. Tavaraliikenteen tarpeet ja toimintaedellytykset otetaan huomioon aikataulujen yhteensovituksessa, jossa yhtenä tavoitteena on myös resurssien tehokas käyttö. Normaalisti henkilöjunat kulkevat liikenteessä ykkösprioriteetilla, mutta varsinkin yöllä tilanne voi olla päinvastainen, esimerkiksi yöpikajunat aikataulutetaan useasti väistämään nopeita tavarajunia. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Henkilö- ja kalustoresurssit huomioidaan karkealla tasolla jo suunnittelun aikana, mutta tarkempi resurssitarkastelu pystytään tekemään vasta, kun varsinainen aikataulu on jo laadittu. Tämän jälkeen tehdään tarvittaessa vielä pieniä muutoksia. Prosessia ei voida kuitenkaan iteroida montaa kertaa läpi, koska koko Suomen rataverkon aikataulusuunnittelu on iso ja työläs prosessi. Aikaisemmin junakalusto liikkui pääosin samoja reittejä, esimerkiksi tietty kalusto ajoi Helsinki–Turku-suunnalla ja tietty kalusto idässä. Etenkin vuosien 2002 ja 2006 aikataulu-uudistusten yhteydessä henkilöliikennekaluston liikkuvuutta eri puolille verkkoa on lisätty ja samalla kääntöaikoja asemilla lyhennetty. Muutosten pelättiin aiheuttavan häiriöiden heijastumisia rataosilta toisille, mutta järjestelmä on toiminut normaaliolosuhteissa hyvin. Häiriöitä on tullut hieman lisää, mutta toisaalta muun muassa Helsingin ratapihan kuormitus on tiettyinä aikoina vähentynyt, kun junien kääntöajat lyhenivät ja kalustokierto tehostui. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Pääkaupunkiseudun lähiliikenteen aikataulusuunnittelussa on tarkat reunaehdot, jotka muodostuvat muun muassa Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) toiveista ja linja-autojen aikatauluista. Henkilökaukoliikenteen aikataulut on rajattu löyhemmin. Liikenne- ja viestintäministeriöllä (LVM) on jonkin verran ostoliikennettä, mutta LVM ei juuri rajaa esimerkiksi kellonaikoja. Tavaraliikenne on puolestaan osa logistista ketjua. Muun muassa asiakkaan tarpeet ja satamien aikataulut saattavat sanella tiukkojakin ehtoja kuljetusten aikatauluille. Myös monet muut ehdot, kuten henkilöresurssit ja kuljettajan lepotarpeet, säätelevät suunnittelua. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Aikataulut määritellään yleensä maksimikokoonpanoille, mutta junakokoonpanojen vaihtelu on suurta. Aikatauluja muutetaan yleensä 2–3 kertaa vuodessa. Säännöllisen tavaraliikenteen ja ei-kaupallisten junien muutosajankohtia on noin kuuden viikon välein. Silloin määritellään tarkemmin, mitkä vuorot ajetaan. Normaalin runko-kuljetuksen sisältö voi vaihdella paljonkin päivittäin. Junakokoonpanon vaihtelusta voi seurata etuajassakulkua, mikä joissakin tilanteissa aiheuttaa ongelmia. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Raiteiden käytön suunnittelu ratapihoilla on pitkä prosessi. Ensimmäiseksi laaditaan junien aikataulu, jonka jälkeen sovotellaan junat ratapihalle. Ongelmatilanteissa saatetaan muuttaa aikataulua, mutta tähän turvaudutaan harvemmin. Raiteiden käytön

suunnittelussa tulee huomioida muun muassa matkustaja- ja tavarajunien lastaukseen tarkoitettujen laiturien sijainti, sähköistys ja muut raiteiden käyttöön vaikuttavat seikat. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Pysähtymiset voivat olla kaupallisia tai liikenneteknisistä syistä johtuvia. Joidenkin kohtauspaikkojen käyttöä on rajoitettu esimerkiksi radan jyrkän nousun vuoksi. Suunnitteluohjeita ei ole kirjattu, vaan suunnittelu tapahtuu pitkälti kokemuksen kautta. Liikennöntiajoissa ei ole enää juurikaan rajoitteita tiheästi liikennöidyillä rataosilla. Myös muut kuin liikenteelliset ehdot voivat vaikuttaa liikennöntiaikoihin. Määrätyillä rataosilla ja liikennepaikoilla liikennöntirajoituksia voi muodostua esimerkiksi henkilöresurssien tehokkuusvaatimuksista, kuten siitä, onko pienellä liikennepaikalla henkilökuntaa tarkistamassa junan lähtövalmiutta keskellä yötä. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Ajoaikalaskentoja on tehty kokeilemalla, esimerkiksi kun rataosa tai kalusto on muuttunut olennaisesti. Aikataulusuunnitteluohjelma Viriaton ajoaikalaskentominaisuutta saatetaan tulla käyttämään tulevaisuudessa. Toistaiseksi suunnittelu perustuu lähinnä hyvään rataverkon tuntemukseen ja kokemukseen. Nykyisin esimerkiksi henkilöliikenteen kalusto on hyvää, joten juna voi kiihdyttää huippunopeuteen ja ajaa sillä, kunnes junan tulee taas pysähtyä. Ajoaika on helppo arvioida, kun pitää tietää lähinnä kiihdytykseen ja hidastukseen kulunut aika. Arviointi on vaikeampaa rataosilla, joilla on runsaasti esimerkiksi kaarteista tai radan kunnosta johtuvia nopeusrajoituksia. Raskaille tavarajunille yksittäiset hidastukset, nousut ja liikennetekniset pysähdykset voivat aiheuttaa huomattaviakin lisäyksiä matka-aikaan. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Junavälit eli etäisyys, kuinka tiheästi junat voivat liikennöidä peräkkäin, vaihtelevat rataosittain turvalaitteiden mukaan. Lyhimmillään junaväli voi sujuvassa liikenteessä olla noin neljä minuuttia. Joillakin rataosilla ajovälit voivat olla useita kymmeniä minutteja. Kohtaamistilanteessa suunnitteluohjeena on, että väistävä juna saapuu liikennepaikan sivuraiteelle 3–4 minuuttia ennen ohittavaa tai vastaantulevaa junaa. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

2.2.6 Junaliikenteen ohjaus

Liikenteenohjaus toteuttaa ja valvoo junien kulkua sekä koordinoi häiriötilanteita ja kunnossapitotöiden raidevarauksia. Liikenteenohjauksen tarkoituksena on varmistaa junien kulku, ohjata liikennettä aikatauluja noudattaen, suorittaa raidevaraukset sekä hoitaa muut ohjaukseen liittyvät toimenpiteet. Liikenteenohjauksen piiriin kuuluu myös vaihtotyöliikenteen valvominen eli ratapihoilla tapahtuva vaunujen järjestely juniksi, sekä radanpidon edellyttämän liikenteen ja muun liikennöinnin ohjaaminen ja hallinta rataverkolla. (Mäkitalo 2000, RHK 2007a.)

Liikenteenohjaus on operatiivista ratakapasiteetin jakamista. Liikenteenohjaus on liikenteen hallintaa eli liikennöinnin ja ratatöiden yhteensovittamista sekä häiriöistä selviytymistä reaaliajassa. Uusien liikennöitsijöiden myötä liikenteenohjauksen läpinäkyvyyden ja tasapuolisuuden vaatimukset kasvavat, mikä tulee ottaa huomioon liikenteenohjauksen järjestämisessä. (Mäkitalo 2000, RHK 2007a.)

Suomi on jaettu liikenteenohjauspiireihin, joissa on miehitys ympäri vuorokauden. Esimerkiksi Etelä-Suomen liikenneverkkoa valvotaan Linnunlaulun Liikenteenohjauskeskuksessa. Liikenteenohjaus on Ratahallintokeskuksen alaisuudessa.

Liikenteenohjaus työllistää Suomessa noin 500 henkilöä. Henkilöstön tarve on vähentynyt turvalaitteiden kehittymisen, kauko-ohjauksen lisäämisen, junanumero-automatiikan käyttöönoton ja liikenteenohjauksen keskittämisen myötä. Kauko-ohjausta laajennetaan ja liikenteenohjauksen keskittämistä jatketaan. Vuoteen 2020 mennessä liikenteen ja vaihtotöiden ohjaus on tarkoitus keskittää neljään ohjauskeskukseen, jotka sijaitsevat Helsingissä, Tampereella, Kouvolassa ja Oulussa. (RHK 2007a.)

2.3 Täsmällisyys ja junaliikenteen häiriöt

2.3.1 Häiriöiden luokittelu liikenne- ja viestintäministeriön mukaan

Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) julkaisun (LVM 2004) mukaan rautatie-liikenteen häiriöt voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: säästä ja kelistä johtuvat häiriöt, kalustosta johtuvat häiriöt sekä rataverkosta sekä sen laitteista ja järjestelmistä johtuvat häiriöt. Näiden lisäksi tulevat junan alle jäämiset sekä ratatöistä aiheutuvat häiriöt. (LVM 2004.)

Pakkaset aiheuttavat kalustoon toimintahäiriöitä ja lumimyrskyt tukkivat rataverkoston vaihteita. Lumisuunnitelmien mukaisia toimenpiteitä tehdään noin 3–7 vuorokautena vuodessa. Näitä toimenpiteitä ovat resurssien varaaminen liikenteenohjaukseen tai vaihteiden puhdistamiseen ja muuhun kunnossapitoon sekä liikenteen harvennussuunnitelmat vaihteiden käytön vähentämiseksi. Ukonilmat aiheuttavat ylijännitteestä johtuvia sähkölaitteiden teknisiä ongelmia. Lisäksi ajolankojen päälle voi kaatua puita myrskyissä. (LVM 2004.)

Junien laitevioista johtuvissa häiriöissä häiriön sijainti rataverkolla toimii kriittisenä tekijänä rataverkon käytön ja häiriön keston sekä johdannaisvaikutusten suhteen. Johdannaisvaikutuksilla tarkoitetaan esimerkiksi henkilöresurssien käyttöä ja jatko-yhteyksiä. Junien laiteviat aiheuttavat kaluston kierron järjestelyitä, mikä voi edellyttää junien yhdistelyä. Junat on priorisoitu kalustovioista aiheutuvien häiriöiden ketjuuntumisen välttämiseksi. Veturinkuljettajien tulee tiedottaa välittömästi liikenteenohjaukselle linjalle pysähtymisistä, jolloin liikenteenohjaus pystyy tekemään häiriötilanteiden hoitamiseksi tarvittavat toimenpiteet mahdollisimman nopeasti. Kauko-ohjauksen avulla liikenteenohjaus voi seurata yksittäisten junien kulkua. Sijaintitiedon tarkkuus vaihtelee rataverkon eri osissa käytössä olevasta järjestelmästä riippuen. (LVM 2004.)

Rataverkosta sekä sen laitteista ja järjestelmistä johtuviin häiriöihin kuuluvat muun muassa rataverkon kisko- ja vaihdeviat, sähköradan viat ja turvalaitteiden viat. Näistä syistä johtuvat viat ketjuuntuvat helposti laajemmiksi häiriöiksi, esimerkiksi turvalaitevioissa risteävät raiteet on varmistettava. (LVM 2004.)

Junan alle jäämiset ovat tyypillisiä onnettomuuksista aiheutuvia häiriöitä. Häiriötilanteen hoitaminen tapahtuu viranomaisyhteistyönä, pelastusta johtaa pelastustoimi.

Operatiivisen ohjauksen liikenteenohjaaja vastaa tapahtuma-alueen liikenteenohjauksesta. (LVM 2004.)

Liikenne- ja viestintäministeriö jakaa häiriöt myös niiden ennakoitavuuden perusteella. Luokat ovat äkilliset eli vaikeasti ennakoitavat häiriöt, ennalta tiedettävissä olevat eli helposti ennakoitavat häiriöt sekä suunnitellut poikkeamat, kuten ratatöistä johtuvat häiriöt. Ratatöistä johtuvia haittoja pyritään minimoimaan ennakkosuunnittelulla. (LVM 2004.)

2.3.2 Häiriöiden seuranta JUSEn avulla

Suomessa junien kulkua seurataan automaattisen junien kulun seurantajärjestelmän (JUSE) avulla. JUSE otettiin käyttöön vuonna 2004. JUSE kirjaa automaattisesti junan ohitushetken mittausasemalta ja laskee mahdollisen myöhästymisen. Liikenteenohjaajan tulee kirjata käsin järjestelmään myöhästymisen syy. Häiriöt luokitellaan JUSEssa 12 pääluokkaan, joissa jokaisessa on omia alaluokkia. Lisäksi tavarajunilla on ylimääräinen häiriöluokka etuajassakulku. Taulukossa 1 on esitetty JUSEn pääluokat ja esimerkkejä kunkin pääluokan tyypillisistä myöhästymistilanteista. (Blomqvist 2007a, Pitkänen 2006.)

Taulukko 1. JUSEn myöhästymissyiden pääluokat (Blomqvist 2007b).

Pääluokka	Esimerkkejä myöhästymissyistä
Liikenneonnettomuudet	Ihmisen tai eläimen jääminen junan alle, tasoristeysonnettomuudet
Matkustajapalvelu	Matkustajan aiheuttama häiriö, aikataulusta poikkeava pysähtyminen
Tavarapalvelu	Tavaran tai postin kuormaus ja purku, ravintolavaunun kuormaus
Liikennetekniset syyt	Yhteysliikenteen odotus, liikenteenhoitovirhe, ahtaus ratapihalla
Henkilökunta	Henkilökunnan vaihto, odotus
Junakokoonpano	Vaunujen otto tai jättö, vaunujen odotus, jarrujen koettelu
Veturit	Veturin vaihto, lisäys tai poisto, veturivika, veturin odotus
Moottorijunat ja vaunut	Jarruvika, laakerivika, kytkentä tai irroitus, kallistusvika
Rata	Tilapäiset nopeusrajoitukset, radan kunnossapito- ja rakennustyöt
Sähköistys	Jännitekatko, tekniset viat, sähköradan kunnossapito- ja rakennustyöt
Turva-, valvonta- ja viestilaitteet	Turvalaitevika, opastinvika, vaihdeviak, JKV-vika, GSM-R vika
Muut syyt	Sää, lumiesteet, asiattomat radalla liikkujat
Etujassakulku (tavarajunat)	Kääntöajan alitus, tulojuna etujassa, ajoajan alitus

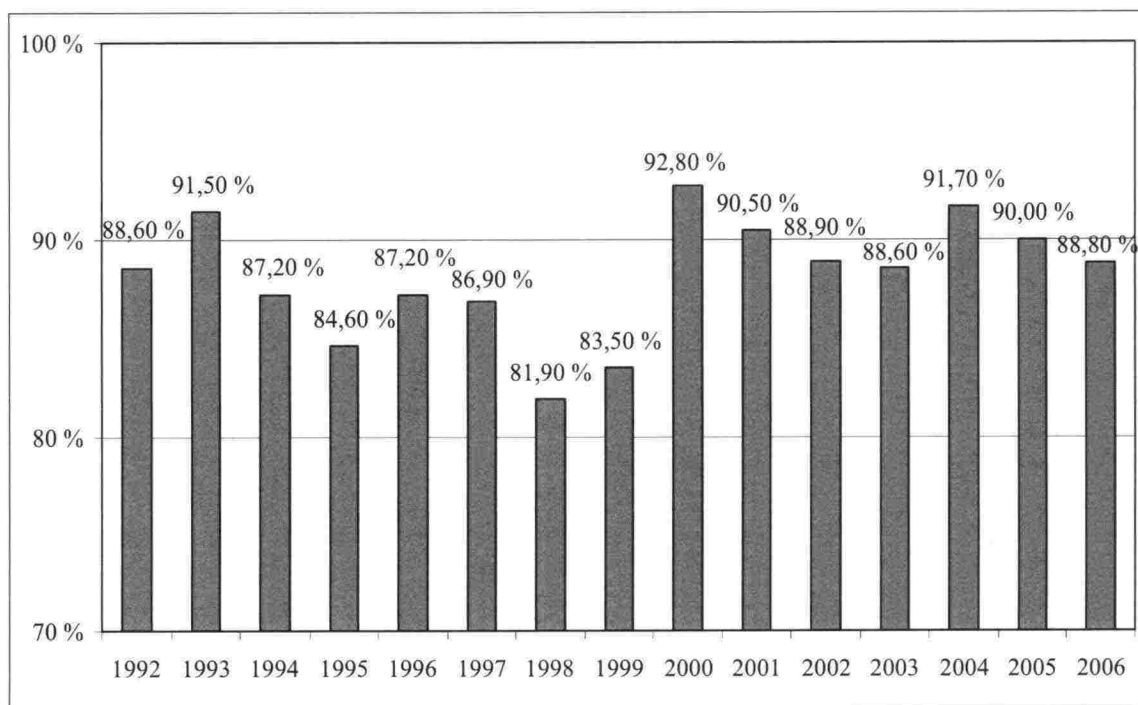
Myöhästymisrajan alittavat myöhästymiset kirjataan syykoodittomiksi. Myöhästymisraja pääteasemalla on henkilökaukoliikenteessä viisi minuuttia ja lähiliikenteessä kolme minuuttia. Tavaraliikenteen myöhästymisrajana on 15 minuuttia. Tavaraliikenteen etujassakulku merkitään seurannassa miinuksella. (Blomqvist 2007b.)

2.3.3 Täsmällisyys vuonna 2006

Ratahallintokeskus ja VR ovat asettaneet kaukoliikenteen täsmällisyystavoitteeksi 90 prosenttia, mikä tarkoittaa sitä, että vähintään 90 prosenttia junista saapuu määräasemalle aikataulussa tai enintään viisi minuuttia myöhässä. Lähiliikenteen

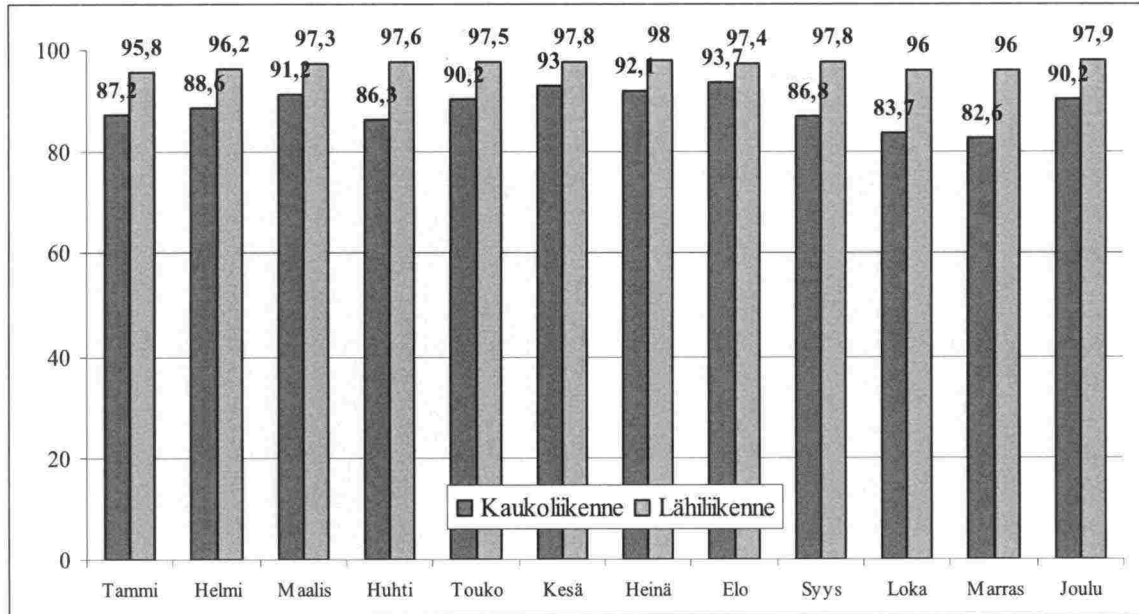
täsmällisyystavoite on 97,5 prosenttia, kun myöhästymisrajana on kolme minuuttia. (Ruohonen 2006.)

Kuvassa 3 on esitetty täsmällisyyden kehittyminen vuodesta 1992 vuoteen 2006 henkilökauliikenteen osalta. Täsmällisyys on ylittänyt tavoitteen eli 90 prosenttia vain vuosina 1993, 2000, 2001 ja 2004. Vuonna 2006 päästiin melko lähelle tavoitetta. Täsmällisyys oli heikoimmillaan vuosina 1998–1999. (Blomqvist 2007b).



Kuva 3. Kaukoliikenteen junien täsmällisyys Suomessa vuosina 1992–2007 (Blomqvist 2007b).

Kuvassa 4 on esitetty henkilöliikenteen täsmällisyyden toteutuma erikseen lähi- ja kaukoliikenteen osalta vuonna 2006. Lähiliikenteen täsmällisyystaso vaihteli tammi-kuun 95,8 prosentin ja heinäkuun 98 prosentin välillä. Kaukoliikenteen täsmällisyystaso oli hieman heikompi. Parhaimmillaan täsmällisyystaso oli elokuussa, jolloin junista 93,7 prosenttia saapui ajoissa määräasemalle. Heikoimmillaan täsmällisyys oli marraskuussa 82,6 prosenttia. Täsmällisyyteen tuli merkittäviä muutoksia niin sanotun uuden juna-ajan myötä, joka alkoi 3.9.2006. Tällöin Lahden oikorata avattiin liikenteelle ja junaliikenteen tarjonta kasvoi. (Blomqvist 2007b, RHK 2007b.)



Kuva 4. Henkilöliikenteen täsmällisyys määräasemalle saavuttaessa vuonna 2006 (RHK 2007b).

Vuonna 2006 henkilökaukoliikenteen täsmällisyyttä heikensivät edellisvuosia enemmän muun muassa tilapäiset nopeusrajoitukset, risteävät kulkutiet ja ratapihojen ahtaus. Matkustajapalveluun liittyvät pysähtymisaikojen ylitykset puolestaan vähentyivät hieman vuoteen 2005 verrattuna. Myös ratatöiden aiheuttamia myöhästymisiä oli edellisvuosia vähemmän. (Blomqvist 2007b.)

Routavaurioista johtuvia nopeusrajoituksia oli rataosilla Seinäjoki–Oulu, Turku–Toijala ja Kirkkonummi–Turku. Näillä oli merkittävä vaikutus täsmällisyyteen. Kalustoon kohdistui vikoja etenkin alkuvuodesta 2006 pakkasten takia. Kaikista kalustomyöhästymisistä 62 prosenttia johtui Pendolinoista. Pendolinojen kytkentä- ja kallistusvikojen merkitys korostui erityisesti uuden juna-ajan jälkeen. Risteävistä kulkuteistä ja ratapihojen ahtaudesta aiheutuvat myöhästymiset lisääntyivät edellisvuosista ja ajoittaista kapasiteettipulaa ilmeni. Myös tässä oli selvä lisäys uuden juna-ajan jälkeen, kun junatarjonta lisääntyi. Samoin sekundaariset myöhästymiset, kuten yhteysliikenteen odotukset tai junakohtaukset, lisääntyivät selvästi uuden juna-ajan jälkeen. (Blomqvist 2007b.)

Lähiliikenteen täsmällisyyteen vuonna 2006 vaikuttivat muun muassa kalustoviat etenkin talvikuukausina. Myöhästymisten lisäksi junia jouduttiin perumaan. Risteävät kulkutiet ja ahtaus ratapihalla aiheuttivat yhteensä yli 9 000 minuuttia myöhästymisiä, kun vuonna 2005 vastaava luku noin 8 000 minuuttia. Kapasiteettipulaa ilmeni varsinkin aamu- ja iltapäiväruuhkassa. (Blomqvist 2007b.)

Matkustajapalvelu on merkittävä myöhästymissy lähiliikenteessä. Se aiheuttaa yhteensä noin 8 000 myöhästymisminuuttia vuodessa. Sähköroutavaurioista johtuvia myöhästymisiä oli vuonna 2006 vähemmän kuin edellisvuonna. Ratatöiden vaikutus lähijunien täsmällisyyteen on vähäinen. Kaupunkiratojen lähiliikenteen täsmällisyys on huipputasoa, sillä junat liikkuvat omilla raiteilla. (Blomqvist 2007b.)

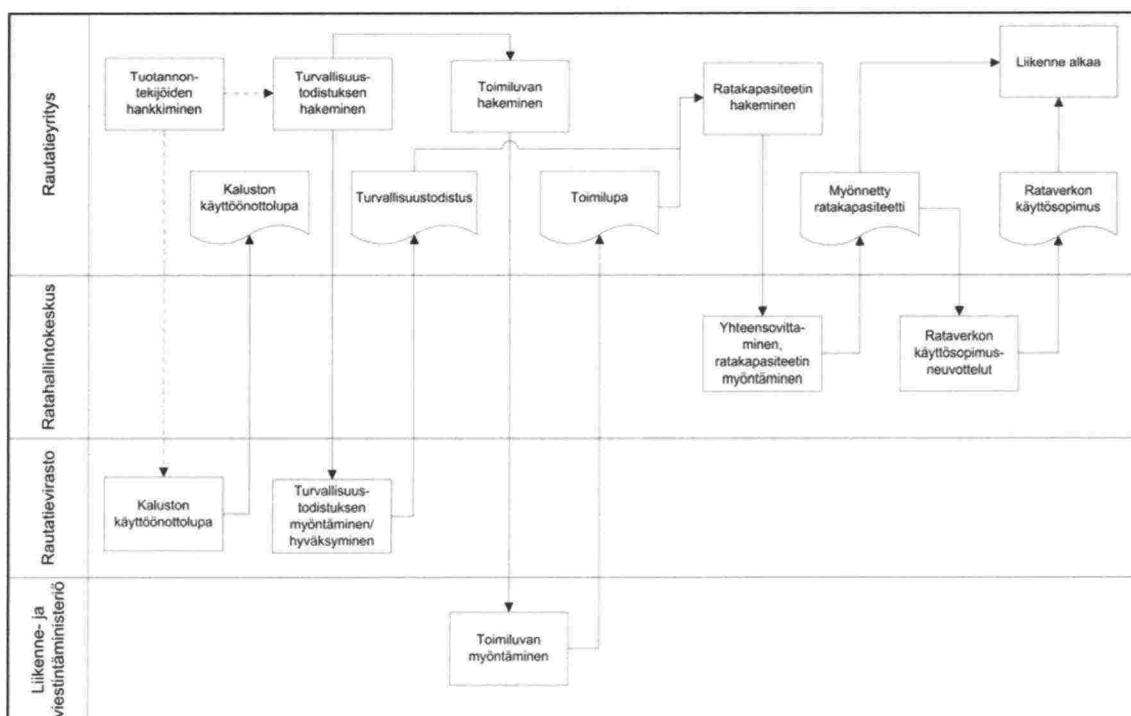
3 RATAKAPASITEETTIHAKEMUSTEN YHTEENSOVITTAMINEN

3.1 Liikennöinnin edellytykset

3.1.1 Yleiset edellytykset

Euroopan talousalueen sisäinen kansainvälinen tavaraliikenne avattiin kilpailulle vuonna 2003 ja kotimaiset tavarakuljetusmarkkinat Suomen valtion rataverkolla vuonna 2007. Rataverkon avautumisen myötä verkolle voi tulla uusia kuljetusyhtiöitä, mikäli ne täyttävät rataverkolle pääsyn edellytykset. Rataverkolle pääsyn edellytykset on kuvattu rautatielaissa (555/2006). (RHK 2006.)

Rataverkolle pääsy edellyttää turvallisuustodistusta, toimilupaa, myönnettyä ratakapasiteettia ja rataverkon käyttösopimusta. Liikennöinnin edellytyksenä on myös, että rautatieyrityksellä on hallussaan liikennöintivaatimukset täyttävää kalustoa ja pätevää henkilöstöä. Kuvassa 5 on esitetty markkinoille tulon vaiheet. (Mäkitalo 2007, RHK 2006.)



Kuva 5. Markkinoille tulon vaiheet (RHK 2006).

Rautatieyrityksen tulee hankkia määräykset täyttävä kalusto, jonka jälkeen se voi hankkia Rautatievirastolta kaluston käyttöönottoluvan. Myös turvallisuustodistus haetaan Rautatievirastolta. Kun yritykselle on myönnetty turvallisuustodistus, se voi hakea liikenne- ja viestintäministeriöstä toimilupaa. Toimiluvan saatuaan yritys hakee Ratahallintokeskukselta ratakapasiteettia. Ratahallintokeskus sovittaa hakemukset yhteen ja myöntää ratakapasiteetin sekä solmii rataverkon käyttösopimuksen yrityksen kanssa. Tämän jälkeen yritys voi liikennöidä Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla. (RHK 2006.)

Ratahallintokeskus perii radan käytöstä ratamaksua. Ratamaksun perusteella rautatieyrittäjä saa tiettyjä Ratahallintokeskuksen tarjoamia palveluita, esimerkiksi raiteiston käytön, liikenteenohjauksen ja ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisen. (Mäkitalo 2007, RHK 2006.)

Rataverkolla on noudatettava Rautatieviraston asettamia määräyksiä ja Ratahallintokeskuksen ohjeita. Euroopan talousalueeseen kuuluvien valtioiden välistä kansainvälistä rautatieliikennettä tai kotimaista tavaraliikennettä voi valtion rataverkolla harjoittaa rautatielaissa tarkoitettu rautatieyrittäjä tai rautatieyrittäjien kansainvälinen yhteisliittymä. Myös muut yritykset tai yhteisöt voivat käyttää rataverkon yksittäistä liikennepaikkaa rautatieliikenteeseen, mikäli liikennöinti palvelee liikennepaikkaan liitettyä yksityisraidetta ja siitä on sovittu Ratahallintokeskuksen kanssa. Kotimaista henkilöliikennettä sekä Suomen ja Venäjän välistä rautatieyhdyshenkilöliikennettä voi harjoittaa ainoastaan VR Osakeyhtiö. (RHK 2006.)

Liikennöinnin edellytykset on kuvattu yksityiskohtaisesti Ratahallintokeskuksen julkaisemassa verkkoselostuksessa. Ratahallintokeskus julkaisee verkkoselostuksen rautatielain (555/2006) mukaisesti. Verkkoselostus on ratakapasiteetin hakijoita varten laadittu informaatiota antava dokumentti, joka noudattaa yhteistä eurooppalaista sisältörakennetta. Verkkoselostus ei ole määräys, eivätkä siinä julkaistut tiedot vaikuta Ratahallintokeskuksen antamiin määräyksiin. Verkkoselostus julkaistaan aikataulukausittain. (RHK 2006.)

Verkkoselostuksessa kuvataan valtion rataverkko ja sen ominaisuudet, rataverkolle pääsyn edellytykset, ratakapasiteetin jakamismenettely, rautatieyrityksille tarjottavat palvelut sekä ratamaksun suuruus ja määräytymisperusteet. Verkkoselostuksen liitteessä esitetään arvio kyseisen aikataulukauden aikana tehtävistä ratatöistä, jotka mahdollisesti vaikuttavat liikennöintiin. Ratatyöluettelo julkaistaan myös Internetissä, jossa sitä pidetään ajan tasalla aikataulukauden aikana. (RHK 2006.)

3.1.2 Turvallisuustodistus

Rautatielain (555/2006) 31 §:n mukaan rautatieyrityksellä tulee olla rautatieliikenteen harjoittamista varten turvallisuustodistus. Radanpitoa tai museoliikennettä harjoittavalle yritykselle riittää liikennöintilupa. Turvallisuustodistuksella varmistetaan, että yrityksen toiminnan turvallisuusvaatimukset täyttyvät ja yrityksellä on edellytykset toimia turvallisesti rataverkolla. (Rautatievirasto 2006.)

Turvallisuustodistuksen myöntää kansallinen turvallisuusviranomaisen. Suomessa turvallisuusviranomaisena toimii syksyllä 2006 toimintansa aloittanut Rautatievirasto. Turvallisuustodistukseen sisältyy kaksi osaa, joista A-osa koskee koko Euroopan talousaluetta ja B-osa yksittäistä liikennöintialuetta. Mikäli rautatieyritykselle on myönnetty turvallisuustodistus jossain toisessa Euroopan talousalueeseen kuuluvassa maassa, yrityksen ei tarvitse hakea kokonaan uutta turvallisuustodistusta. Yrityksen tulee kuitenkin hyväksyttää turvallisuustodistuksen A-osa sekä hakea yksittäistä liikennöintialuetta koskeva B-osa. Turvallisuustodistus myönnetään tai hyväksytään kerralla enintään viideksi vuodeksi. (Rautatievirasto 2006, RHK 2006.)

Turvallisuustodistus voi koskea yksittäisiä rautatiereittejä tai koko valtion rataverkkoa. Turvallisuustodistuksen tulee kattaa kaikki ne rautatiereitit, joilla yritys aikoo harjoittaa liikennettä. Mikäli yrityksen harjoittaman liikenteen luonne tai laajuus muuttuu oleellisesti, tulee yrityksen hakea uusi turvallisuustodistus tai hyväksyttää jo myönnetty turvallisuustodistus uudelleen. (RHK 2006.)

Turvallisuustodistuksen avulla on tarkoitus varmistaa, että yritys täyttää toiminnalle asetetut, rautatielaissa esitetyt turvallisuusvaatimukset ja sillä on edellytykset toimia rataverkolla turvallisesti. Turvallisuustodistukseen voidaan sisällyttää muitakin turvallisuutta koskevia ehtoja. Ehtojen perusteena on rautatieliikenteen turvallisuuden varmistaminen, kun otetaan huomioon hakijan harjoittaman rautatieliikenteen luonne ja laajuus. Vaatimukset on esitetty tarkemmin Rautatieviraston laatimassa turvallisuustodistuksen hakemista koskevassa ohjeessa. (RHK 2006.)

Yrityksen tulee täyttää seuraavat edellytykset (Rautatievirasto 2006.):

- yrityksellä on turvallisuusjohtamisjärjestelmä tai jokin muu vastaava järjestelmä, jolla varmistetaan rautatieliikenteen harjoittamista koskevien säännösten ja määräysten noudattaminen;
- yrityksellä on liikenneturvallisuudesta vastaava johto ja sen henkilöstö on pätevä ja ammatillisesti koulutettu;
- yrityksen hallussa oleva liikkuva kalusto täyttää sille asetetut vaatimukset, ja kaluston huolto ja kunnossapito on järjestetty asianmukaisesti;
- yrityksellä on riittävä vakuutus tai muu vastaava järjestely.

Hakijan on toimitettava Rautatievirastolle selvitys yrityksen turvallisuusorganisaatiosta, määräyksistä ja ohjeista, sisäisestä tarkastuksesta, häiriötilanteiden hallinnasta sekä alihankintasopimuksista. Lisäksi hakijan on tarvittaessa toimitettava lisäselvitykset turvallisuustodistuksen verkkokohtaisen osan (B-osan) saamiseksi. (Rautatievirasto 2006.)

Rautatievirasto ratkaisee turvallisuustodistuksen myöntämisen tai hyväksymisen neljän kuukauden kuluessa siitä, kun hakija on toimittanut sille kaikki hakemuksen käsittelyä varten tarvittavat tiedot. Turvallisuustodistusta koskeva päätös tehdään kuitenkin aina 12 kuukauden kuluessa hakemuksen vastaanottamisesta. (Rautatievirasto 2006.)

Rautatieyrityksen on ilmoitettava Rautatievirastolle välittömästi turvallisuustodistukseen vaikuttavista muutoksista. Yrityksen tulee ilmoittaa myös, mikäli se palkkaa uusia turvallisuustehtäviä hoitavien henkilöstöryhmiä tai ottaa käyttöön uutta liikkuvaa kalustoa. (Rautatievirasto 2006.)

Turvallisuustodistusta voidaan muuttaa, mikäli turvallisuustodistuksen myöntämisen edellytykset ovat muuttuneet. Rautatievirasto voi myös peruuttaa turvallisuustodistuksen tai muualla Euroopan talousalueella myönnetyn turvallisuustodistuksen hyväksynnän toistaiseksi tai määräajaksi, mikäli todistuksenhaltija ei enää täytä turvallisuustodistuksen saamisen edellytyksiä tai toimii vastoin velvollisuuksia. (Rautatievirasto 2006.)

3.1.3 Toimilupa

Suomeen sijoittuneet rautatieyritykset hakevat toimiluvan liikenne- ja viestintäministeriöltä. Toimilupaa ei tarvitse hakea, mikäli yrityksellä on myönnetty toimilupa jossain toisessa Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa. Tällöin riittää, että toimilupa toimitetaan tiedoksi ministeriölle. Toimilupa on voimassa toistaiseksi. Toimilupa ja sen ehdot tarkistetaan viiden vuoden välein. (RHK 2006.)

Toimiluvan myöntämisen edellytyksenä on, että yritykselle on myönnetty turvallisuustodistus Suomessa tai jossain toisessa Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa. Lisäksi yrityksen on harjoitettava päätoimenaan rautatieliikennettä, yrityksen on oltava vakavarainen ja sillä on voimassa riittävä vastuuvakuutus tai muu vastaava järjestely, sekä yrityksen johdon tulee olla pätevä. (RHK 2006.)

3.1.4 Myönnetty ratakapasiteetti

Ratakapasiteetti haetaan Ratahallintokeskukselta. Hakeminen edellyttää, että yritykselle on myönnetty rautatieyrityksen toimilupa. Lisäksi yrityksellä tulee olla rautatielain mukainen turvallisuustodistus, joka kattaa kaikki reitit, joilla liikennettä aiotaan harjoittaa. Ratakapasiteetin hakua on käsitelty tarkemmin luvussa 3.4. (RHK 2006.)

Ratahallintokeskuksen Internetsivuilla julkaistaan tiedot myönnetystä ratakapasiteetista. Myönnetty ratakapasiteetti kuvataan graafisina aikatauluina sekä henkilö- ja tavara-liikenteen kulkupäivätaulukoina. Tiedot on tarkoitettu rautatiesektorin eri toimijoille työkäyttöön sekä tarjoamaan tietoa myönnetystä ratakapasiteetista liikennöitsijöille ja niille, joilla on aikomus aloittaa liikennöinti rataverkolla. Graafiset aikataulut kuvaavat rataosan suunniteltua liikennöintiä tietyllä aikavälillä, joten kuvaukset eivät sisällä tietoa ylimääräisistä junista tai ratatöihin liittyvästä liikenteestä. Lisäksi junien kulkupäivät voivat vaihdella ja junia voidaan perua. Junia voi siis liikkua rataosalla myös muulloin kuin graafisista aikatauluissa kuvattuna ajankohtana ja kaikkia aikataulussa olevia junavuoroja ei välttämättä ajeta. (RHK 2007b.)

3.1.5 Rataverkon käyttösopimus

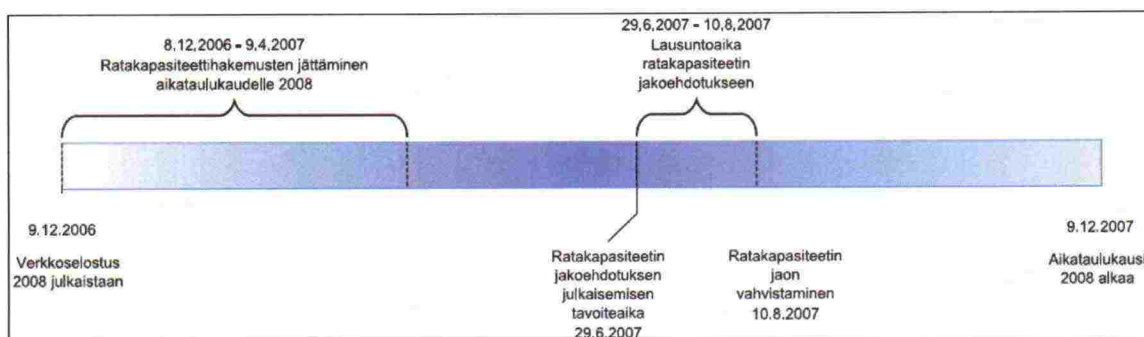
Rautatieyritys solmii rataverkon käyttösopimuksen Ratahallintokeskuksen kanssa. Siinä sovitaan valtion rataverkon sekä rautatieliikenteen harjoittamisen kannalta keskeisten palvelujen, kuten liikenteenohjauspalveluiden käytöstä. Samalla voidaan sopia myös muista rautatieliikenteen harjoittamisen kannalta tarpeellisista käytännön järjestelyistä. Sopimusneuvottelut tulee aloittaa riittävän ajoissa, mahdollisesti jo ennen ratakapasiteetin hakemista. Rataverkon käyttösopimus tehdään aikataulukausittain ja siinä huomioidaan rautatieliikenteen harjoittajalle myönnetyn ratakapasiteetin luonne ja laajuus. Sopimusta voidaan muuttaa, mikäli aikataulukauden aikana tehdyt ratakapasiteetin jakoa koskevat päätökset tai muut seikat, kuten esimerkiksi rataverkon kuntoon ja käytettävyyteen liittyvät seikat sitä edellyttävät. (RHK 2006.)

Sopimuksessa sovitaan muun muassa liikenteenohjauspalveluiden käytöstä, turvallisuusasioiden järjestämisestä, järjestelyratapihojen, seisontaraiteiden ja muiden raiteistojen käytöstä ja muista käytännön järjestelyistä. Sopimuksessa sovitaan myös ratatöiden ajoittamisesta. (RHK 2006.)

3.2 Ratakapasiteetin jakamisprosessi

3.2.1 Ratakapasiteetin hakeminen

Säännöllisen liikenteen ratakapasiteettia haetaan Ratahallintokeskukselta kutakin aikataulukautta varten. Rautatieliikenteen aikataulukausi alkaa vuosittain joulukuun toisena viikonvaihteena lauantain ja sunnuntain välisenä yönä kello 00:00. Ratakapasiteettia voi hakea aikaisintaan 12 kuukautta ja viimeistään 8 kuukautta ennen aikataulukauden voimaantuloa. Kuvassa 6 on esitetty ratakapasiteetin hakemisen ja jakamisen aikataulukaavio vuoden 2008 aikataulukaudelle. (RHK 2006.)



Kuva 6. Ratakapasiteetin hakemisen ja jakamisen aikataulukaavio vuoden 2008 aikataulukaudelle (RHK 2006).

Säännöllisen liikenteen ratakapasiteetin jakopäätöksiä voi muuttaa kesken aikataulukauden, jos muutos ei vaikuta muilla yrityksille myönnettyyn ratakapasiteettiin tai Euroopan talousalueen kansainväliseen liikenteeseen. Tiedossa olevat säännöllisen liikenteen ratakapasiteetin muutosajankohdat kyseiselle aikataulukaudelle ilmoitetaan verkkoselostuksessa. Ratakapasiteetin muutosta on haettava viimeistään neljä viikkoa ennen säännöllisen ratakapasiteetin muutosajankohtaa. Ratahallintokeskus voi päättää myös muitakin muutosajankohtia. Ratahallintokeskus tiedottaa uusista muutosajankohdista kaikille rautatieyrityksille. (RHK 2006.)

Ratakapasiteettia voi hakea myös niin sanottuna kiireellisenä ratakapasiteettina muuta kuin säännöllistä liikennettä varten kesken aikataulukauden. Hakijat voivat hakea kiireellistä ratakapasiteettia määrärajoista riippumatta, jos ratakapasiteettia tarvitaan tilapäisesti yhtä tai useampaa rautatiereittiä varten. Kiireellistä ratakapasiteettia voi hakea, kun Ratahallintokeskus on vahvistanut tulevan aikataulukauden ratakapasiteetin jakeohdotuksen. (RHK 2006.)

Rautatieyrityksen tulee toimittaa ratakapasiteettihakemuksessa jokaisen junan graafinen aikataulu, lähtö- ja tuloajat, junalaji, suurin sallittu nopeus sekä kulkuajat, päivät ja kaudet. Lisäksi yritys voi toimittaa junanumeron, etusijaisuusjärjestysluokan, matkustajajunan pysähtymiskäyttäytymisen tai tavarajunan käsittelypaikat sekä muut liikennettä koskevat tiedot. Kapasiteettia voi hakea myös ilman tarkkaa aikatauluvaatimusta kulkupäivien tai aikatauluviivan osalta, jolloin juna voidaan asettaa kulkuun Ratahallintokeskuksen liikenteenohjauksen johdolla. (RHK 2006.)

3.2.2 Ratakapasiteetin jakaminen

Rautatielain mukaan ratakapasiteetin jakoehdotus tulee laatia neljän kuukauden kuluessa hakuajan päättymisestä. RailNet Euroopassa eli rataverkon haltijoiden yhdistyksessä on kuitenkin sovittu, että yhteensovittamiseen käytetty aika pyritään pitämään 2,5 kuukaudessa. Jakoehdotus perustuu ensisijaisesti haettuun ratakapasiteettiin edellyttäen, että aikatauluehdotuksen mukaisilla aikatauluilla voidaan liikennöidä teknisten- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. (Mäkitalo 2007, RHK 2006.)

Ratahallintokeskus voi tarjota ratakapasiteetin käytön parantamiseksi hakijalle ratakapasiteettia, joka ei oleellisesti poikkea haetusta ratakapasiteetista. Ratakapasiteetti voidaan jättää myös jakamatta, jos aikataulukautta varten tarvitaan varakapasiteettia rautatieliikenteen etusijajärjestelmän vuoksi. (RHK 2006.)

Jos samaa ratakapasiteettia on hakenut usea hakija tai haettu kapasiteetti vaikuttaa toisen hakijan hakemaan ratakapasiteettiin, Ratahallintokeskus sovittelee hakemukset. Mikäli yhteensovittelu ei onnistu, Ratahallintokeskus voi ratkaista aikataulun jaon yksittäistapausta koskevan etusijajärjestyksen mukaan. Etusijajärjestyksestä säädetään rautatielaissa. Ratkaisu tulee tehdä viimeistään 10 vuorokauden kuluessa sovitteluajan päättymisestä. (RHK 2006.)

Etusijajärjestys on esitetty taulukossa 2. Synnerginen henkilöliikennekokonaisuus tarkoittaa junien joukkoa, joka muodostaa asiakkaille selvää lisäarvoa tuottavan järjestelmän, esimerkiksi vakioaikataulun mukainen liikenne. Nopea henkilöliikenne tarkoittaa muuta nopeaa henkilöliikennettä, joka ei kuulu synnergiseen henkilöliikennekokonaisuuteen. Myös kansainvälinen liikenne voi kuulua tähän luokkaan. Prosessiteollisuuden kuljetuksissa välitön määrä- tai lähtöpaikka on yleensä satama tai yksityisraide ja kuljetukset liittyvät kokonaislogistiikan hallintaan. Ryhmään kuuluvat etenkin yhdistetyt kuljetukset, kemiallisen metsäteollisuuden kuljetukset ja satamiin suuntautuvat kuljetukset. Muu liikenne voi olla esimerkiksi ratatöihin liittyvää tai museoliikennettä. (RHK 2006.)

Taulukko 2. Ylikuormitetun ratakapasiteetin etusijajärjestys (RHK 2006).

Prioriteetti	Liikenne
1.	Synnerginen henkilöliikennekokonaisuus
2.a	Nopea henkilöliikenne
2.b	Teollisuuden prosesseihin sidottu kuljetus
3.a	Taajamajunaliikenne ja muu henkilöliikenne
3.b	Muu säännöllinen tavarajunaliikenne
4.	Tavarajunaliikenne, jolla ei ole suurta aikatauluvaatimusta
5.	Muu liikenne

Etusijajärjestyksestä koskevalla erillispäätöksellä voidaan poiketa etusijajärjestyksestä. Tämä tulee kyseeseen, jos hakija harjoittaa kansainvälistä liikennettä tai hakijan ylläpitämä liikenne ylläpitää tai parantaa rautatiekuljetusjärjestelmän tai joukko- liikenteen toimivuutta. Etusijajärjestyksestä voidaan poiketa myös, jos hakemuksen

hylkääminen aiheuttaa hakijalle, rautatieyritykselle, rautatieyritysten kansainväliselle yhteenliittymälle tai näiden asiakkaan liiketoiminnalle kohtuutonta haittaa. (RHK 2006.)

Ratahallintokeskuksen on päätettävä ratakapasiteetin jakamisesta tasapuolisin ja syrjimättömin perustein. Erityisesti on huomioitava henkilö- ja tavaraliikenteen sekä radanpidon tarpeet ja rataverkon tehokas käyttö. Jos haetun ratakapasiteetin yhteensovittaminen ei onnistu päällekkäisten hakemusten kesken, Ratahallintokeskus toteaa päätöksellään reitin tai sen osan ylikuormitetuksi ratakapasiteetiksi. Nimeäminen voi tapahtua myös, jos ylikuormittuminen on ilmeistä aikataulukauden aikana. (RHK 2006.)

Ratakapasiteetin jakoehdotus toimitetaan hakijoille määräaikaan mennessä. Hakijoilla on mahdollisuus tulla kuulluksi 30 vuorokauden sisällä aikatauluehdotuksen tiedoksiannosta. Myös tavaraliikenteen rautatieyritysten asiakkailta ja rautatiekuljetuspalveluiden ostajia edustavilla yhteisöillä on oikeus antaa lausunto 30 vuorokauden kuulemisaikana. Kuulemisaika alkaa, kun Ratahallintokeskus julkaisee aikatauluehdotuksen valmistumista koskevan ilmoituksen määräyskokoelmassaan. (RHK 2006.)

Kiireellistä ratakapasiteettia voidaan myöntää, jos hakemuksessa tarkoitettuun käyttöön on osoitettavissa riittävästi ratakapasiteettia. Jollei erityissäännöksistä muuta johdu, myönnetään kiireellinen ratakapasiteetti ensimmäisenä hakeneelle. Päätös annetaan viiden työpäivän kuluessa hakemuksen jättämisestä. (Mäkitalo 2007, RHK 2006.)

Ratakapasiteettia voidaan käyttää myös radanpidon koneiden siirtoon tukikohdista työmaille, työmaiden välillä ja huoltotarkastuksissa. Tiettyjä raiteita käytetään pääsääntöisesti radanpidon tarpeisiin. Verkkoselostuksessa esitetään lista ratatöistä, jotka tehdään todennäköisesti kyseisen aikataulukauden aikana ja jotka mahdollisesti vaikuttavat liikennöintiin. (RHK 2006.)

3.2.3 Muutoksenhaku

Rautatieyritys voi hakea Rautatievirastolta oikaisua ratakapasiteetin jakoon liittyvään päätökseen. Oikaisua voi hakea, jos päätös koskee yksittäistä etusijajärjestystä ratakapasiteetin jaossa, ratamaksun maksuunpanoa, ratakapasiteetin jakamista, kiireellisen ratakapasiteetin myöntämistä, turvallisuustodistuksen myöntämistä tai rataverkon käyttösopimusta. (RHK 2006.)

Oikaisuopyyntö tulee tehdä 30 päivän kuluessa päätöksen tiedoksisaannista. Rautatieviraston tulee tehdä päätös asian ratkaisemiseksi kahden kuukauden kuluessa oikaisuvaatimuksen jättämisestä. Mikäli muutoksenhaku koskee yksittäistä etusijajärjestystä, ratakapasiteetin jakoa tai kiireellisen ratakapasiteetin hakua, päätös tulee tehdä kymmenessä päivässä. (RHK 2006.)

3.2.4 Ratakapasiteetin peruuttaminen ja häiriötilanteet

Ratahallintokeskus voi peruuttaa myönnetyn ratakapasiteetin tai sen osan, jos ratakapasiteettia on käytetty 30 vuorokauden aikana vähemmän kuin kynnysarvo edellyttää. Vähimmäiskäytön kynnysarvo on pääsääntöisesti 80 prosenttia. Rataosilla Helsinki–Kerava, Helsinki–Vantaankoski ja Helsinki–Leppävaara kynnysarvo on kuitenkin 95

prosenttia. Ratakapasiteettia ei voi peruuttaa, jos käyttämättä jättäminen johtui käyttäjästä riippumattomista, muista kuin taloudellisista syistä. Ratakapasiteetti peruutetaan aina siltä ajalta, jolloin yrityksellä ei ole voimassaolevaa turvallisuustodistusta. (RHK 2006.)

Ratakapasiteetti voidaan poistaa käytöstä osittain tai kokonaan reitillä, joka on teknisestä viasta tai onnettomuudesta tai vauriotapahtumasta johtuvasta syystä tilapäisesti pois käytöstä. Hakijalle voidaan mahdollisuuksien mukaan tarjota vaihtoehtoisia reittejä. RHK ei ole velvollinen korvaamaan hakijalle mahdollisia vahinkoja, ellei hakijan kanssa ole sovittu rautatienlain nojalla muuta. (RHK 2006.)

4 SIMULOINTI RAUTATIELIIKENTEE SUUNNITTELUSSA

4.1 Simuloinnin perusteet

Simuloinnissa jäljitellään eli mallinnetaan jotain todellisuuden ilmiötä. Simulointia voidaan tehdä hyvin erilaisilla malleilla, esimerkiksi fyysisillä pienoismalleilla, mentaalisilla malleilla, matemaattisilla malleilla tai tietokonemalleilla. Simulaattori tarkoittaa laitetta, jolla simulointi tehdään ja simulointimalli kuvausta jäljiteltävästä kohteesta, eli mallia siitä, mitä simuloidaan. Simuloinnin avulla voidaan esimerkiksi opetella lentämään tai ajamaan autoa ajosimulaattoreilla, tutkia ilmakehäsimulaattorilla kasvihuoneilmiötä tai mallintaa liikennetilannetta. (Hovi 2002, Kosonen 2007a.)

Simulointimalliin liittyy aina ajan käsite. Simuloinnissa tarvitaan mekanismi, jolla edetään simulointiajassa arvosta toiseen tai ajankohdasta toiseen. Muuttujaa, joka antaa simulointiajalle nykyarvon, kutsutaan simulaatiokelloksi (engl. simulation clock). Simulointiaika voi kulkea eri tahdissa kuin reaaliaika. Aika etenee mallissa askelina ja tapahtumana on muuttujan tilan muutos. Jokaisen askeleen jälkeen malli päivitetään. Päivitys voi olla joko aika- tai tapahtumapohjainen. Aikapäivityksessä aika-askel on vakio. Tapahtumapäivityksessä lasketaan aika muuttujan tilan muutokseen eli seuraavaan tapahtumaan, joten aika-askel on muuttuva. (Law 2007.)

Simulointimallit voidaan erotella tulosten tarkkuuden mukaan joko stokastisiin tai deterministisiin malleihin. Stokastisten mallien antamat tulokset poikkeavat toisistaan, kun verrataan samoilla lähtöarvoilla ajettuja eri simulointiajoja keskenään. Deterministiset mallit sitä vastoin antavat samat tulokset samoilla lähtöarvoilla, toistettiinpa simulointiajoja kuinka monta kertaa tahansa. Deterministinen malli ei siis sisällä lainkaan satunnaisuutta, kun taas stokastisessa simulointimallissa on mukana satunnaistekijä. Koska stokastiset mallit tuottavat vain sattumanvaraisia tuloksia, tuloksia voidaan pitää vain arvioina todellisen mallin arvoista tai tuloksista. (Law 2007.)

Tietokonemallissa tapahtumat päivittyvät yleensä järjestyksessä, kun taas reaali-maailmassa tapahtuu yhtäaikaaisesti paljon erilaisia tapahtumia Samanaikaisten tapahtumien käsittelyjärjestys määrää niiden kausaalisuhteen, mikä tulee ottaa huomioon mallinnettaessa. Tietokonesimulointi on determinististä. Todellisuuden mallintamiseksi mukaan tarvitaan satunnaiskomponentti, joka muuttaa tilannetta. Satunnaisuuden tuottaminen tietokoneen avulla onnistuu satunnaislukugeneraattorin avulla. (Kosonen 2007a.)

Simulointi on usein ainut keino tutkia kaikkein monimutkaisimpia tosielämän järjestelmiä, joiden tarkka arviointi analyttisesti matemaattisilla malleilla ei onnistu. Simuloinnilla voidaan arvioida olemassa olevan systeemin toimintaa tietyissä olosuhteissa, vertailla vaihtoehtoisia suunnitelmia tai rakenteita, ja tutkia, mikä vaihtoehtoista täyttää parhaiten asetetut vaatimukset. Simuloinnissa voidaan paremmin kontrolloida simulointitilanteen olosuhteita, kuin että koetetaan itse tehdä tilanteita systeemille. Simuloinnissa ei myöskään aiheuteta häiriötä systeemille. Lisäksi simuloimalla voidaan tehdä pitkän aikavälin tutkimuksia tiivistetyssä ajassa tai päinvastoin. (Law 2007.)

Hyötyjen lisäksi simuloinnissa on myös useita haittapuolia tai heikkouksia. Ensinnäkin, jokainen stokastinen simulointiajo tuottaa vain arvioita mallin oikeista ominaisuuksista eli siitä, miten malli käyttäytyy tietyillä arvoilla. Tämän vuoksi simulointi tulisi toistaa useita kertoja samoilla lähtöarvoilla. Lisäksi simulointimallit eivät ole pääsääntöisesti niin hyviä optimoinnissa kuin eri systeemisuunnitelmien vertailussa. Mallit voivat olla kalliita ja mallin rakentaminen ja tulosten käsittely voi viedä paljon aikaa. Tuloksia voidaan myös pitää isommassa arvossa kuin mitä tulokset antaisivat aiheita. Mikäli malli ei ole validi kuvaamaan tutkittavaa systeemiä, tulokset antavat vain vähän, jos ollenkaan, tietoa tutkittavasta ongelmasta. (Law 2007.)

Sekä edut että haitat tulee ottaa huomioon, kun päätetään, käytetäänkö simulointia vai ei. Joissain tutkimuksissa sekä simulointi että analyttiset tutkimukset voivat olla hyödyllisiä. Simulointia voidaan käyttää tarkistettaessa analyttisessä mallissa tarvittavien olettamuksien paikkaansa pitävyyttä. Tyypillinen simulointiprojektin kompastuskivi voi olla esimerkiksi se, että:

- tutkimuksen päämääriä ei ole määritelty tarpeeksi hyvin tutkimuksen alussa,
- käytetään tarkkuudeltaan väärää mallia tai epäsopivaa ohjelmaa,
- ei käytetä riittävän tarkkoja lähtötietoja,
- mallinnuksen suorittaa henkilö, joka ei osaa käyttää ohjelmaa oikein tai ei ymmärrä sen taustalla olevaa teoriaa,
- mallinnuksen tilaaja ei ymmärrä simulointia ja tulkitsee tuloksia väärin,
- käytetään väärää mittareita,
- ei oteta oikein huomioon todellisen elämän sattumanvaraisuutta tai
- perustetaan päätelmät yhteen simulointiajoon. (Law 2007.)

Hyvälle simulointimallille ei ole absoluuttista mittaria. Malli on aina vain yksinkertaistus todellisuudesta. Mallin hyvyys riippuu käyttötarkoituksesta ja asetetuista tavoitteista. Hyvä simulointimalli kuvaa tarkoituksenmukaisella tavalla tutkittavaa ilmiötä riittävällä tarkkuudella. Sekä lähtö- että tulospuolella vaaditaan myös inhimillistä tulkintaa. (Kosonen 2007a.)

4.2 Liikenteen simulointi

Simulointia on hyödynnetty liikennetekniikassa jo vuodesta 1955, kun D.L. Gerlough julkaisi teoksen ”Simulation of freeway traffic on a general-purpose discrete variable computer”. Simulointi on kehittynyt ja yleistynyt alkuajoista huomattavasti. Tätä ovat edistäneet muun muassa tietokoneiden ja liikenneteorian kehittyminen, ohjelmointitaitojen paraneminen sekä yhteiskunnan tarpeet saada tarkempaa tietoa suunniteltujen liikennekorjausten vaikutuksista. (Käräjämies 2000.)

Liikenteen simuloinnin tutkimuskohteena voi olla esimerkiksi liikennevirta ja sen ominaisuudet, ajoneuvot ja ajoneuvodynamiikka, liikenteen sijoittelu liikenneverkolle, liikenteen kysyntä ja kysynnän jakautuminen, matkustaja- ja kuljettajakäyttäytyminen tai liikenteen ohjaus ja telematikka. Liikenteen simulointi voidaan jakaa tie-, vesi-, rautatie- ja lentoliikenteen simulointiin. Tieliikenteen simulointi voidaan edelleen jakaa yksityisautojen, julkisen liikenteen, kevyen liikenteen ja tavaraliikenteen simulointiin. (Kosonen 2007a.)

Liikennetekniikassa käytetyt simulointimallit jaetaan yleensä mallinnustarkkuuden mukaan mikro-, makro-, meso- ja nanomalleihin. Mikroskooppisessa simuloinnissa mallinnetaan jokainen yksikkö ja yksikköjen väliset vuorovaikutukset erikseen. Makroskooppisessa mallissa ei mallinneta yksittäisiä vuorovaikutuksia, vaan tutkittavia yksiköitä käsitellään joukkoina, esimerkiksi liikenne käsitellään yhtenä virtana. Mesoskooppinen malli on mikro- ja makroskooppisen mallin välimuoto. Mallissa ei ole yksittäisiä vuorovaikutuksia, vaan malli pyrkii mallintamaan esimerkiksi ajoneuvoryhmien liikkeitä. Nanoskooppisessa simuloinnissa mallinnetaan kuljettajan käyttäytymistä, havaintojen tekoa ja virheitä. (Kosonen 2007a.)

Simuloinnissa on monia etuja, minkä vuoksi sitä kannattaa käyttää juuri liikennetekniikan apuvälineenä. Koska simulointi tehdään laboratorio-olosuhteissa, simuloinnissa ei aiheuteta häiriöitä todelliselle liikenteelle. Tutkimusasetelma on hyvin kontrolloitavissa, esimerkiksi mallissa voidaan muuttaa liikennemäärää tai joukko liikenteen aikatauluja ja vertailla eri vaihtoehtoja. Kokeita voidaan tehdä useita lyhyessä ajassa ja niistä saadaan paljon keskenään vertailukelpoisia lukuja. Sama koe voidaan myös tarvittaessa toistaa. Koska simuloinnilla voidaan toteuttaa asioita, joita ei vielä ole olemassa, voidaan tutkia esimerkiksi lisäkaistan rakentamista ennen kalliita investointeja.

4.3 Rautatieliikenteen simulointi

4.3.1 Rautatieliikenteen simulointi yleisesti

Junaliikenteen simuloinnin historia ulottuu niihin aikoihin, kun ensimmäiset tietokoneet otettiin käyttöön. Ohjelmat olivat aluksi kömpelöitä ja vaativat paljon tietotekniikan asiantuntemusta, työtä ja aikaa. Junaliikenteen simuloinnin läpimurtona voidaan pitää 1980-lukua, jolloin tietotekninen kehitys oli tullut siihen pisteeseen, että liikennesuunnittelijat pystyivät itse käyttämään simulointityökaluja tietotekniikka-asiantuntijoiden sijasta. Ohjelmat ovat kehittyneet näistä päivistä vielä lisää. Kun simulointinopeus kasvoi, parametrien määrää voitiin kasvattaa. Grafiikkasovellukset mahdollistivat raiteiston esittämisen kaaviomuodossa ja junien liikkeiden seuraamisen mallinnetulla rataverkolla. (Hovi ja Ronni 1997.)

Tutkimusongelma tulee rajata tarkasti ennen simulointiprojektin käynnistämistä. Tutkimusongelman rajauksen olennaisia kysymyksiä ovat muun muassa mitä simuloinnilla on tarkoitus tutkia, mihin kysymyksiin haetaan vastausta, mitä simuloinnilla on tarkoitus saavuttaa ja mitkä mahdollisuudet ovat käytettävissä. Simuloinnista saadaan mallin ominaisuuksista riippuen erilaisia tunnuslukuja, kuten junien graafiset aikataulut, raidevarauskaaviot, ajoajat, myöhästymiset, konfliktit, infrastruktuurin käyttö tai energiankulutus. Tulosteet voivat olla ohjelmasta riippuen numeerisia, graafisia tai molempia. (Hovi ja Ronni 1997.)

Simulointimallia voidaan käyttää joko absoluuttisten tunnuslukujen tarkasteluun tai suhteelliseen vertailuun. Suhteellisessa mallissa vertaillaan mallinnettuja vaihtoehtoja ja valitaan niistä paras, esimerkiksi vertaillaan erilaisia aikatauluvaihtoehtoja. Tällöin mallin tarkkuus ei ole niin merkittävässä roolissa, sillä kaikkien vertailtavien vaihtoehtojen mallinnus tapahtuu samalla tarkkuudella. Absoluuttisessa simuloinnissa tutkitaan, täyttyvätkö jotkin vaatimukset, kuten palvelutasovaatimukset. Tällöin mallin

tarkkuuden tulee olla korkeampi kuin suhteellisessa mallintamisessa. (Hovi ja Ronni 1997.)

Rautatieliikenteen simulointimallilla voidaan tutkia sekä pitkän, keskipitkän että lyhyen aikavälin hankkeita. Pitkän aikavälin suunnitelmia ovat esimerkiksi erilaiset kapasiteetti- ja strategiaselvitykset, infrastruktuurihankkeet ja kalustohankinnat. Keskipitkän aikavälin suunnitelmia ovat esimerkiksi aikataulusuunnittelu ja ratatyömaiden vaatimien liikennejärjestelyiden suunnittelu. Lyhyen aikavälin suunnitelmia ovat esimerkiksi tilausjunien ja erikoiskuljetusten aikataulusuunnittelu sekä ennalta arvaamattomien liikennehäiriöiden vaatima liikennesuunnittelu. Junaliikenteen simuloinnit ovat yleisesti ottaen keskittyneet pitkän tai keskipitkän aikavälin suunnitelmiin. Lyhyen aikavälin suunnitelmat edellyttävät, että malli on mahdollisimman pikaisesti muodostettavissa, mikä voi tuottaa ongelmia. (Hovi ja Ronni 1997.)

Rautatieliikenteessä simulointi soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa pohditaan ja arvotetaan suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksia. Esimerkkejä ovat muun muassa vaihtoehtoisten infrastruktuurihankkeiden arvottaminen tai erilaisten aikataulurakenteiden toimivuuden arviointi. Simuloinnin avulla on mahdollisuus kokeilla ratkaisujen toimivuutta ennen päätöksentekoa. Simuloinnista on erityistä hyötyä, kun tarkastellaan uusia reittejä. On halvempaa rakentaa simulointimalli kuin uusi raide tai kokonaan uusi yhteys. Simuloinnin avulla voidaan kokeilla rakentamistoimenpiteestä aiheutuvia vaikutuksia, arvioida ratkaisun toimivuutta sekä havaita mahdollisia ongelmia etukäteen. (Pitkänen 2006.)

Simulointi on osoittautunut erittäin hyväksi apuvälineeksi ratapihojen tutkimisessa. Simulointi tarjoaa mahdollisuuden tarkkailla kokonaisuuksia, joiden hahmottaminen ilman tietokonetta olisi hyvin vaikeaa. Ohjelmien taso ja tietokoneiden laskentateho ovat niin hyviä, että monimutkaisetkin kohteet voi mallintaa ilman merkittäviä yksinkertaistuksia. (Kosonen 2006.)

Simulointia ei voida tehdä ilman liikenteellisiä suunnitelmia. Ohjelma ei tuota itsessään valmista analyysiä esimerkiksi raidemäärästä tai vaihdeyhteyksien tarpeesta. Ohjelma tuottaa tiettyjä tulosteita, joista käyttäjän on pääteltävä edellä mainitut asiat. Simulointi on suunnittelun apuväline, joka mahdollistaa ongelmakohtien yksityiskohtaisen tarkastelun ja vaihtoehtoisten ratkaisumallien testaamisen. (Kosonen 2006.)

Rautatieliikenteen simulointiin liittyy tiettyjä heikkouksia ja rajoitteita, jotka tulee huomioida jo ennen simulointiprosessin käynnistämistä. Simulointi tapahtuu ideaalimaailmassa. Mikäli malliin ei aseteta häiriöitä, kalusto ei koskaan hajoa eivätkä junat myöhästele. Ilman satunnaisvaihtelukerrointa sama simulointiajo toistuu täysin identtisenä. Simulointi on vain yksinkertaistus todellisuudesta ja jossain asioissa voidaan joutua käyttämään voimakasta pelkistystä, jotta mallista ei tulisi liian monimutkainen käsitellä. Esimerkiksi ajodynamiikka ei ole täysin identtinen todellisuuden kanssa. Suurin sallittu nopeus, kiihdytykset ja jarrutukset ovat usein maksimiarvojen mukaiset. (Pitkänen 2006.)

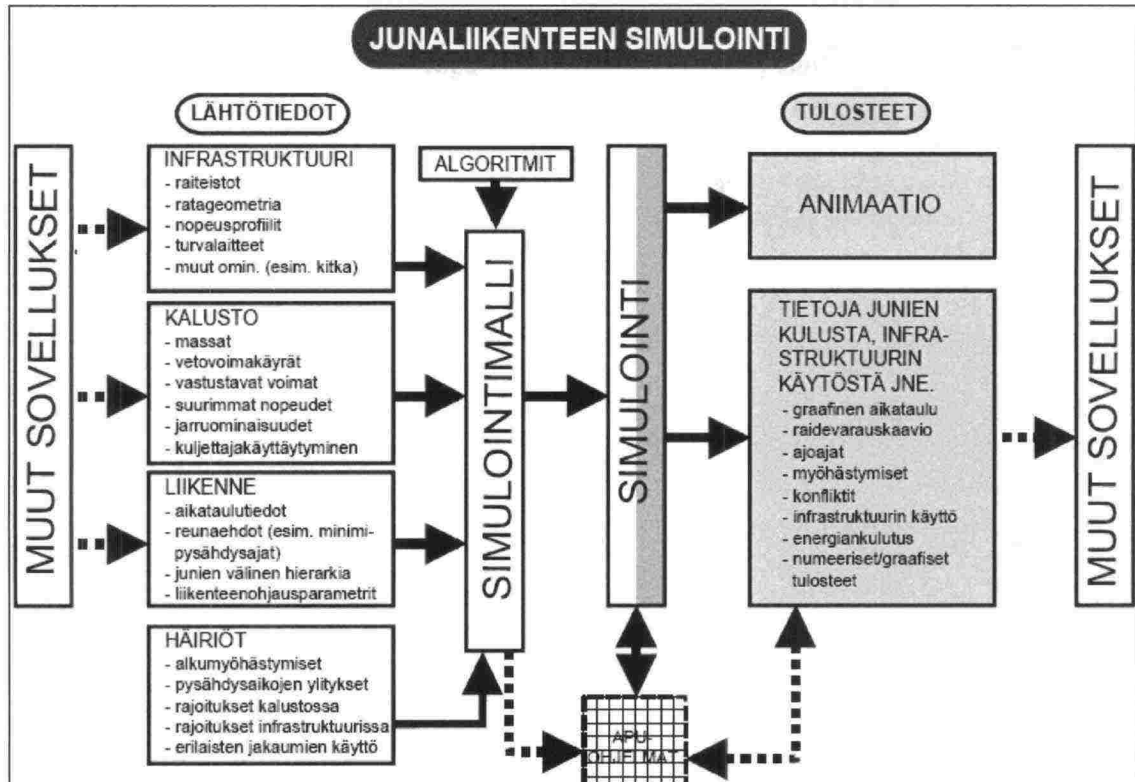
4.3.2 Rautatiesimuloinnin ominaispiirteitä

Rautatieliikenteen simulointimalleissa ei yleensä käytetä liikenteen simulointimalleille tyypillistä makro- ja mikroluokittelua, vaan ohjelmat jaetaan mallinnustarkkuuden perusteella niin sanottuihin link-node ja signal berth -tason malleihin. Signal berth -tason malleissa rautatieinfrastruktuuri mallinnetaan hyvin yksityiskohtaisesti yksittäisiä opastimia ja raiteita myöten. Link-node eli linkki-solmu-mallissa verkkoa ei mallinneta kovin yksityiskohtaisesti. Solmut tarkoittavat liikennepaikkoja ja linkit raiteita liikennepaikkojen välillä. (Watson 2005.)

Rautatieliikenteen simulointi voidaan jakaa asynkronoituun ja synkronoituun simulointiin. Asynkronoitu simulointi toimii likimain samalla tavalla kuin aikatauluttaminen. Aikataulu- ja junatoiminnot on mahdollista simuloida erillään toisistaan. Kun laaditaan aikataulua, simulointi pyrkii sijoittamaan stokastisesti luotuja junareittejä aikatauluun aikataulutussääntöjä noudattaen. Eri junaluokat aikataulutetaan etusija-järjestyksen mukaisesti. Kahden junan välisen konfliktin ratkaisussa vähemmän tärkeä juna joutuu odottamaan. Aikataulukapasiteetti on mahdollista määrittää suoraan. Synkronoidussa simuloinnissa kaikki junien liikkeet ja muut toiminnot tapahtuvat samanaikaisesti, joten aikataulua ei voida luoda simulointiajon aikana. (Pachl 2002.)

Lukkiutunut tilanne eli niin sanottu umpikujatilanne (engl. deadlock) tarkoittaa tilannetta, jossa yksikään juna ei voi jatkaa kulkuaan, koska jokaisen junan kulkutien tukkii joku toinen juna. Tilanteesta selvittää vain, kun joku juna peruuttaa. Käytännön junaliikenteessä tällaiset umpikujat vältetään aikataulutaulusuunnittelun ja liikenteenohjaajien avulla. Umpikujien välttäminen on simulointiohjelmalle tärkeä ominaisuus. Asynkronisoidussa simuloinnissa lukkiutuneita tilanteita ei pääse syntymään, koska kaikki konfliktit ratkotaan uudelleenaikatauluttamisella. Synkronoidussa simuloinnissa ei toistaiseksi ole varmaa strategiaa lukkiutuneiden tilanteiden estämiseksi. Olemassa olevien ohjelmien kontrollilogiikka voi välttää vain yksinkertaisten tilanteiden syntymisen. Tämän vuoksi paikkojen, joissa on paljon liikennettä ja paljon potentiaalisia umpikujatilanteita, simulointi on ongelmallista. (Pachl 2007.)

Kuvassa 7 on esitetty junaliikenteen simulointiin tarkoitettujen ohjelmien yleinen toimintaperiaate. Simulointimalli muodostetaan lähtötietojen avulla. Yleensä mallin tarkkuus riippuu lähtötiedoista. Mitä enemmän ja tarkempia lähtötietoja malliin määritetään, sitä tarkempi malli on. Suuri määrä lähtötietoja merkitsee suurempaa työmäärää ja virhemahdollisuuksien kasvua. Lähtötiedot tuleekin rajata tutkittavan tapauksen mukaan. Tutkimuksen kannalta epäolennaiset lähtötiedot kannattaa mahdollisuuksien mukaan jättää pois tarkastelusta. (Hovi ja Ronni 1997.)



Kuva 7. Junaliikenteen simulointiohjelmien yleinen toimintaperiaate (Hovi ja Ronni 1997).

Junaliikenteen lähtötiedot voidaan jakaa neljään luokkaan: infrastruktuuri, kalusto, liikenne ja häiriöt. Näistä infrastruktuuri on laajin lähtötietokokonaisuus. Se sisältää rataverkon eli raiteet, vaihteet ja risteykset ominaisuuksineen, kuten vaaka- ja pystygeometrian, nopeus- ja muut rajoitukset, kitkakertoimet, junien pysähtymispaikat, laiturit, tunnelit sekä vaihteiden kääntöajat. Myös turvalaitteet ja niiden toimintaperiaatteet sekä muut ominaisuudet kuten opastimien sijainnit, näkemät ja ohiajovarat kuuluvat infrastruktuuriin. (Hovi ja Ronni 1997.)

Kalusto-ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa junapituudet, massat, vetovoimakäyrät, vastustavat voimat, suurimmat sallitut nopeudet, jarruominaisuudet ja kuljettajakäyttäytyminen. Mikäli ohjelma käsittelee junat vaunujen tarkkuudella, myös vaihtotöiden simulointi on mahdollista. Ohjelmat käsittelevät usein samankaltaisia junia junaryhminä, jolloin jokaista kalustoparametria ei tarvitse määrittää erikseen joka junalle. Myös kuljettajaominaisuudet kuuluvat kalusto-ominaisuuksien piiriin. Kuljettajaominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi kuljettajan reaktioaika sekä se, kuinka suurta osuutta kaluston suurimmasta tehosta, nopeudesta ja hidastuvuudesta käytetään. (Hovi ja Ronni 1997.)

Liikennetiedot sisältävät muun muassa aikataulutiedot, reunaehdot kuten minimipysähdysajat, junien välisen hierarkian sekä liikenteenohjausparametrit. Ohjelmasta riippuen voidaan määrittää tarkat tulo-, lähtö- ja ohitusajat tai vain tietyt alkuparametrit, jolloin simulaattori ohjaa vapaammin junan kulkua. Liikennetietoihin voivat kuulua myös kalustokierto ja matkustajien vaihdon edellyttämät yhteydet junien välillä, eli myöhässä olevan junan odottaminen asemalla. Ohjelma voi toimia esimerkiksi niin, että

ohjelma arvioi, saapuuko myöhässä oleva juna asemalle käyttäjän määrittelemän vaihtoyhteysjunan maksimiodotusajan puitteissa. Mikäli myöhässä saapunut juna saapuu asemalle maksimiodotusajan sisällä, yhteys säilytetään. (Hovi ja Ronni 1997.)

Lähtötiedoissa määritetään myös junien aikataulujen yhteydessä suunnitellut kulkutiet sekä vaihtoehtoiset kulkutiet mahdollisissa poikkeustilanteissa. Joissain ohjelmissa on myös mahdollista reitittää juna poikkeusoloissa automaattisesti muillekin vapaille reiteille. (Hovi ja Ronni 1997.)

Häiriöiden luominen on yksi keskeinen simulointiohjelman ominaisuus, sillä liikennejärjestelmän todellinen stabiliteetti selviää vasta häiriötilanteissa. Häiriöt voivat liittyä infrastruktuuriin, liikenteeseen tai kalustoon. Häiriöitä ovat esimerkiksi alkumyöhästymiset, pysähdysaikojen ylitykset ja rajoitukset kalustossa tai infrastruktuurissa. Häiriöt voidaan kohdentaa esimerkiksi tietylle junalle, ajankohdalle tai tiettyyn paikkaansa. (Hovi ja Ronni 1997.)

Simuloinnin apuohjelmat ovat ohjelmia, jotka hyödyntävät simulointimallia ja simuloinnin tuloksia muiden kuin varsinaisten tunnuslukujen laskemiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi ohjelmat, jotka tarkastelevat henkilöstön käyttöä tai sähkönsyöttöjärjestelmää. Osa apuohjelmista saattaa olla myös vuorovaikutuksessa simulointiohjelman kanssa ja palauttaa tietoja takaisin simulointiin. Esimerkiksi sähkönsyöttöjärjestelmän ylikuormittuessa vetokaluston teho laskee ja tämä tieto voidaan siirtää takaisin malliin. (Hovi ja Ronni 1997.)

Simulointinopeus riippuu laitteiston ominaisuuksista, mallin sisältämästä tietomäärästä sekä siitä, näytetäänkö animaatiota. Animaatio tarkoittaa käynnissä olevan simuloinnin seuraamista tietokoneen näytöllä. Animaatio hidastaa mallin toimintaa, mutta helpottaa mallintajaa hahmottamaan liikennetilanteita ja valvomaan mallin toimintaa. Lisäksi animaation avulla voidaan esittää mallin toimintaa yleisölle kuten päättäjille. (Hovi ja Ronni 1997.)

Simuloinnin tuloksena on mahdollista saada useita erilaisia tunnuslukuja, esimerkiksi (Hovi ja Ronni 1997.):

- tietoa junien kulusta, kuten junien tulo-, ohitus- ja lähtöajat asemilla, junien nopeudet sekä myöhästymiset,
- junien eri toimintoihin käyttämä aika kuten liikkeelläolo, asemapysähdykset, seisopastimista johtuvat pysähtymiset sekä kokonaismatka-aika,
- junien energiankulutus,
- pysähdysten ja hidastusten lukumäärä mahdollisesti syyn mukaan eriteltyinä,
- junien väliset konfliktit,
- raideosuuksien varaukset ja
- tapahtumat liikennepaikoilla eli luettelo malliin ilmestyvistä ja mallista poistuvista junista sekä asemille saapuvat, ohittavat ja kohtaavat junat.

Numeeriset tulosteet on mahdollista tulostaa useista ohjelmista myös graafisesti. Yleensä graafiset tulokset helpottavat tulosten käsittelyä, kun tulosten havainnollisuus paranee. Graafisia tulosteita ovat esimerkiksi nopeusprofiili, raidevarauskaavio sekä graafinen aikataulu, jossa voidaan esittää suunniteltu ja simuloitu liikenne. (Hovi ja Ronni 1997.)

Mallin koolla tarkoitetaan sitä, miten suurta raideliikenneverkkoa voidaan simuloida mallilla. Monet ohjelmat ovat rajoittuneita kokonsa suhteen, eikä niillä voi mallintaa kuin pieniä alueita, kuten yksittäisiä ratapihoja. On kuitenkin olemassa myös ohjelmia, jotka pystyvät käsittelemään suuriakin liikenneverkkoja, esimerkiksi kokonaisen maan raideliikenneverkoston. (Hovi ja Ronni 1997, Watson 2005.)

Markkinoilla on useita erilaisia simulointiohjelmaa. Simulointimalli voi olla yleis-simulaattori tai tarkoitukseen räätälöity malli. Yleissimulaattorissa ohjelman käyttäjä luo simuloitavan ympäristön ohjelmasta löytyvien käskyjen ja toimintojen avulla. Räätälöidyssä mallissa simulaattori rakennetaan kuvaamaan suoraan haluttua ympäristöä. Räätälöity malli edellyttää ohjelmointia. (Mäkitalo 2000.)

Seuraavana on esitelty tarkemmin neljä simulointiohjelmaa, tapaustutkimuksessa käytetty OpenTrack sekä kolme ominaisuuksiltaan OpenTrackia muistuttavaa ohjelmaa: RailSys, RailPlan ja Simu VII. Nämä ovat kaikki signal berth -tason malleja. Tämän jälkeen on esitelty vielä muita, ominaisuuksiltaan OpenTrackista hieman poikkeavia simulointiohjelmaa. Monien tässä esitettyjen ohjelmien kehitystyö jatkuu koko ajan, joten kaikki tiedot eivät välttämättä pidä enää paikkaansa. Joidenkin ohjelmien kehitystyö on saatettu lopettaa, jolloin ohjelma yleensä poistuu käytöstä vähitellen, kun käyttäjät siirtyvät uusien ja kehittyneempien ohjelmien käyttäjiksi.

4.4 Rautatieliikenteen simulointiohjelmistoja

4.4.1 OpenTrack

OpenTrack on 1990-luvulla kehitetty sveitsiläinen rautatieliikenteen mikrosimulointiohjelma. Ohjelmaa käyttävät useat eri tahot, kuten eri maiden korkeakoulut, rautatieviranomaiset, konsulttiyritykset ja rautateillä operoivat kuljetusyrietykset. OpenTrack soveltuu esimerkiksi rautatieverkon infrastruktuurin vaatimusten määrittelyyn, linja- ja asemakapasiteettianalyysiin, veturien tarkasteluun, aikataulujen pysyvyyden arviointiin sekä erilaisten ohjausjärjestelmien, ongelmatilanteiden vaikutusten, viivytyksien ja energiankulutuksen analysointiin. (OpenTrack 2007.)

Simulointiverkkoa voi muokata graafisesti. Jokaisella mallin elementillä on useita erilaisia ominaisuuksia, kuten pituus, kaltevuus ja huippunopeus eri junatyypeille. Käyttäjä voi luoda ja muokata verkon peruselementtien lisäksi muun muassa vaihteita, opastimia, asemia ja reittejä. Verkon lisäksi OpenTrackiin määritetään jokaisen veturin tekniset tiedot kuten esimerkiksi vetokyky, pituus, kiinnitysmekanismi ja voimansiirtotapa. Aikataulutiedossa ovat mukana jokaisen junan käyttämät asemat sisältäen lähtö- ja saapumisajat, vähimmäispysähtymisajat ja kytkennät muihin juniin. Käyttäjä voi muokata aikatauluja tekstitiedostona tai suoraan junien graafisesta aikataulusta. Käyttäjä voi vertailla aikataulutietoa toteutuneisiin tietoihin taulukko- tai graafisessa muodossa. (OpenTrack 2007.)

Simuloinnin aikana junat kulkevat aikataulun mukaisesti verkolla. OpenTrack seuraa junien kulkua verkolla ja simulointiajon jälkeen se tuottaa erilaisia kuvaajia simulointituloksista. Simulointiajot voidaan ajaa yksittäin tai useiden ajojen sarjassa. Jos simulointi toteutetaan usean ajon sarjassa, ohjelma arpoo satunnaisesti kullekin ajolle erikseen erilaisia alku- ja asemaviivytyksiä. (OpenTrack 2007.)

Junat pyrkivät noudattamaan simulointiajon aikana annettuja aikatauluja. Junien liikkeitä laskiessa lähtökohtana ovat nopeuden ja etäisyyden differentiaaliyhtälöt. Verkon ohjausjärjestelmä asettaa ehdot liikkumiselle. Varatut raiteet ja pysäytymiskäskyä näyttävät opasteet rajoittavat junien kulkua. (OpenTrack 2007.)

Simuloinnin aikana jokaisesta junasta tallennetaan nopeus, kiihtyvyys, sijainti, virrankulutus ja muut vastaavat tiedot. Käyttäjä voi myös tarkastella simulointia animaatiomallissa, joka esittää junien liikkumisen verkolla. Käyttäjä voi näin arvioida silmämääräisesti kuormittuneita tai varattuja raiteita ja opastimien toimivuutta. (OpenTrack 2007.)

Simuloinnin jälkeen OpenTrackista on mahdollista saada paljon erilaista tietoa junista, linjoista ja asemista. Junien osalta voidaan saada kuvaajia, kuten kiihtyvyys–etäisyys tai nopeus–etäisyys. Reitiltä saa tietoa junien liikkeistä ja reitin varauksista. Asemien tietoon kuuluu kaikki asemaa käyttäneet junat mukaan lukien saapumis-, lähtö- ja pysäytymisajat. (OpenTrack 2007.)

OpenTrackissa on rajapinta yleisimpiin tiedostomuotoihin kuten ASCII ja XML sekä joihinkin rautateihin liittyviin ohjelmistoihin kuten Simu VII ja Viriato. OpenTrackilla on lisäohjelma OpenTimeTable, joka on tarkoitettu usean simulointiajon tulosten analysointiin ja visualisointiin. (OpenTrack 2007.)

OpenTrackilla laadittu simulointimalli muodostuu yksittäisistä tiedostoista. Yhdessä tiedostossa voidaan kuvata yksinkertaista rataverkkoa useita kilometrejä. Isojen asemien mallintamisessa on paljon yksityiskohtia, kuten vaihteita ja opastimia, joten isommat asemat kuvataan yleensä omissa tiedostoissa. Tiedostot voidaan yhdistää tarkasteltavan alueen mukaan. Simulointiohjelmalla voidaan rakentaa isompi malli, jota voidaan käyttää myös osissa. Junien reitit ja aikataulut tulee määrittää uudelleen joka kerta, kun tutkimusalue muuttuu, mutta raideinfrastruktuuria ei tarvitse mallintaa kuin kerran, jos infrastruktuuriin ei tule muutoksia.

4.4.2 RailPlan ja sen lisäohjelmat

RailPlan simuloi infrastruktuurin, aikataulun ja kaluston yksityiskohtaisesti. Se on alkuaan ruotsalainen simulointiohjelma, jota kehittää ja myy tällä hetkellä kansainvälinen konsulttiyritys Funkwerk Information Technologies (entinen Vossloh Information Technologies). Esimerkiksi Isossa-Britanniassa ohjelmaa käyttävät pääosin konsultointiyritykset. Ohjelman suurin ongelma on graafisen käyttöliittymän puuttuminen. Ohjelmassa ei siis voida tarkastella toimintoja, joita junat tekevät simuloinnin aikana. Tämä on tosin mahdollista tehdä jälkiprosessina erillisen työkalun avulla. (Watson 2005.)

Ohjelman lähtötiedoissa määritellään rataominaisuuksista raidekaaviot, kaltevuudet, kaarteet ja nopeusrajoitukset, liikennepaikoittain laiturit, pysähdysajat junatyypin mukaan ja junakohtausehdot. Lisäksi tulee määrittää opastinjärjestelmä ja opastimien sijainnit, junien aikataulut, kalusto, kulkureitit ja prioriteetit. Kalustosta määritetään veturityyppi, junapaino- ja pituus sekä vetovoima- ja jarruominaisuudet. Lähtötietoihin sisältyvät myös jakaumataulukot satunnaisten myöhästymisten ja junapainojen luontiin. (Hovi ja Ronni 1997.)

RailPlan muodostaa yhdessä lisäohjelmiensa kanssa suunnittelutyökalun, jolla voi yhdistää eri rautatieoperaatioiden suunnittelua aina pitkän aikavälin strategisesta suunnittelusta jokapäiväisen liikenteen toteuttamiseen. Lisätyökalut ovat RailPlaniin liitettävät TrainPlan ja PowerPlan, sekä TrainPlaniin liitettävät The Timetable Robustness Analyser (TTRA) ja ResourcePlan. Suoraan RailPlaniin yhteydessä oleva PowerPlan on liikenteen vaatiman energiantarpeen laskemista varten kehitetty apuohjelma. (Funkwerk 2007.)

RailPlanin lisäohjelma TrainPlan on aikataulusuunnitteluohjelma, jossa on mukana mahdollisuus häiriöiden havainnointiin ja ratkaisemiseen. Sen lisäohjelma TTRA simuloi aikatauluja makrotason verkolla ja testaa aikataulun pysyvyyttä häiriötilanteissa. TTRA on linkki-solmu-tason simulointimalli, joka mahdollistaa karkeiden tulosten saamisen tarkan aikataulun toimivuudesta. Malli ilmaisee täsmällisesti ongelma-alueet, mutta mallin laskemat viivytykset sisältävät kuitenkin paljon pelkkiä arvioita. (Funkwerk 2007, Watson 2005.)

TrainPlanin toinen lisäohjelma, ResourcePlan luo työvuorolistat ja kalustonkäyttökaaviot aikataulutietojen mukaan. Ohjelmassa on mahdollista huomioida myös junien kulkuun liittymättömät tapahtumat, kuten vaunujen siivoaminen vuorojen välissä. Suunnittelussa on mahdollista lähteä sekä resursseista että valmiista aikatauluista. Jos vuorojen aikataulut on laadittu, yksittäisten junien aikatauluja voidaan muokata, kunnes löydetään sopiva reitti. Jos aikataulu laaditaan ensin, ohjelman avulla voi rakentaa pysyvän ja täsmällisen kalustonkäyttökaavion. (Funkwerk 2007.)

4.4.3 RailSys

RailSys on aikataulun- ja infrastruktuurin hallintaohjelma, joka on tarkoitettu erikokoisten raidelähtöisten kuljetusverkkojen toiminnan ja laitteiston analysointiin, suunnitteluun ja optimointiin. Ohjelmalla voidaan tutkia joko järjestelmää kokonaisuutena tai tarkkoja, paikallisia ongelmia. Ohjelma sopii sekä strategiseen suunnitteluun että yksityiskohtaiseen lyhyen aikavälin suunnitteluun. (RmCon 2007.)

RailSysin sovellusalueet ovat aikataulusuunnittelu- ja hallinta, ajoikalaskut, kapasiteetilaskennat, infrastruktuurin suunnittelu, erikoiskuljetuksien aikataulusuunnittelu, logististen konseptien suunnittelu laajan skaalan projekteissa, valtakunnallisten vakioaikataulujen tarkastelu, rataverkon toiminnallisen laadun, täsmällisyyden ja jatkoyhteyksien tutkiminen sekä hyöty-kustannusanalyysit. Aikataulun pysyvyyttä ja laatua voidaan tarkastella simuloimalla ja vertaamalla normaalitilannetta käyttäjän määrittelemiin häiriötilanteisiin. (RmCon 2007.)

RailSysia markkinoivat yhteistyössä Rail Management Consultants (RmCon) ja Institute for Transport, Railway Construction and Operation (IVE). Ohjelmaa käyttävät raideliikenneyritykset, konsulttiyritykset sekä yliopistot ja korkeakoulut eri puolilla maailmaa. Käyttäjätahoja on yli 50. Ohjelmalla on simuloitu muun muassa Münchenin kaupunkirata, suurnopeusrata Sydney–Canberra sekä Melbournen rautatieverkko. RailSys on käytössä myös Ruotsissa. (IVE 2007, Wahlborg 2007.)

Junien sijainti verkolla lasketaan samanaikaisesti, jolloin kaikki junat kulkevat opastusjärjestelmän ja muiden junien vuorovaikutuksessa kuten todellisuudessa. Ohjelmassa

voi käyttää annettuja vetureita tai luoda omia ajoneuvotietoja. Ohjelmassa on valmiina moderneja ohjausjärjestelmiä kuten automaattinen junien kulunvalvonta ja ajo absoluuttisella jarrutusetaisyydellä. Ohjausjärjestelmiä voidaan lisätä tarvittaessa. (RmCon 2007.)

RailSys on signal berth -tason simulointimalli eli lähtötiedot, kuten infrastruktuuri, ajoneuvo- ja junatyypit, aikataulu- ja toimintaan liittyvä data sekä reitityssäännöt ovat mikroskooppisella tarkkuudella. Tarkkuus on noin yksi metri. Joka elementille voidaan määrittää pituus, maksiminopeus eri profiileilla tai nopeusvyöhykkeillä, kaltevuus, kaarevuus, sähköistys, tunnelien poikki- ja läpileikkaus sekä huippukorkeus. Simulointi onnistuu myös, vaikka kaikkia parametreja ei määritetä tarkasti. Mikroskooppinen näkymä voidaan vaihtaa yksinkertaisempaan makroskooppiseen verkkonäkymään, jonka ohjelma luo automaattisesti. Mikroskooppinen verkko on olemassa taustalla, joten ohjelma eroaa tavallisista makroskooppisista työkaluista. (RmCon 2007, Watson 2005.)

Junatoiminnot esitetään animaationa tietokoneen näytöllä. Mikäli mallissa tehdään muutoksia, jotka muuttavat jonkin junan reittiä, ohjelma suorittaa uuden minimiajo-aikalaskennan. RailSysin simulointialgoritmi yhdistettynä aika- ja tapahtumapohjaiseen tekniikkaan välttää umpikujia simuloinnin aikana. Tämän vuoksi RailSysiä voi käyttää joustavasti ja nopeasti. (RmCon 2007, Watson 2005.)

Käyttäjä voi asettaa viivytyksiä suoraan infrastruktuurielementteihin tai sulkea raiteita kesken simulointiajon. Aikataulun muokkaamisella voi muodostaa vara-aikatauluja. Ohjelman avulla voi suunnitella myös kunnostustöitä varten aikataulut, joissa viivytykset ovat mahdollisimman pienet. Ohjelma tunnistaa automaattisesti junat, joihin raiteen sulkeminen vaikuttaa, ja siirtää ne viereisille raiteille. Ohjelma ottaa huomioon myös vastaan tulevan liikenteen. (RmCon 2007.)

Yleisimpiä tulosteita ovat graafinen aikataulu, raidevarauskaavio, viivytystiedot, junalista, ajoajat ja rataverkko. Varaustasot ja junien numerot esitetään joka raiteelle graafisesti ja taulukkomuodossa. Ohjelma löytää pullonkaulat ja vähemmän käytössä olevat infrastruktuurit. Ohjelma kertoo myös, kuinka korkealla keskimääräinen menetettyjen jatkoyhteyksien osuus on. (RmCon 2007.)

Kaikki tulostaulukot voidaan siirtää Exceliin tai ASCII-formaattiin. Kuvat voidaan tulostaa jpg. tai bmp.-muotoon. Ohjelmassa on liityntäpinta useisiin käytössä oleviin suunnitteluohjelmiin, kuten Viriatoon. Simulointialueen koon suhteen ei ole rajoituksia. (RmCon 2007.)

4.4.4 Simu VII ja sen lisäohjelmat

Simu VII on The Consulting Company for Railway Operating Systems Ltd:n (IBS) kehittämä ja markkinoima simulointityökalu, jolla voi tutkia erilaisia rautatie-operaatioihin liittyviä ongelmia. IBS:n asiakkaita ovat esimerkiksi Saksan ja Itävallan rautatieyhtiöt ja julkiset yhteisöt. Yritys tekee paljon tutkimusta myös kansainvälisesti. (IBS 2007.)

Simu VII on tarkoitettu vuorovaikutteiseen aikataulusuunnitteluun ja ajoaikalaskentoihin. Uuden aikataulun tai infrastruktuurimuutoksen toiminnallinen laatu

voidaan määrittää simuloimalla liikennettä. Kun malliin lisätään häiriötä, kuten ylimääräisiä pysähdyksiä, ohjelma osoittaa aikataulun pysyvyyden häiriötilanteissa. Simu VII:ssa on graafinen infrastruktuurin editori, jolla voidaan tarkastella verkkoa ja muokata raiteita tai opasteita. Olemassa oleva infrastruktuuritieto voidaan tuoda malliin erilaisista tiedostomuodoista. Yksittäiset raiteet voidaan yhdistää laajempaan simulointiverkkoon. Kaikki rautatiejärjestelmän toiminnalliset seikat, kuten junien etusijajärjestys, yhteydet, työvuorolistat ja varaukset, voidaan ottaa huomioon. (IBS 2007.)

Simu VII:n lisäohjelma Bauplan kehitettiin kunnossapitopaikkojen aikataulusuunnittelua varten. Bauplan mahdollistaa tietokoneavusteisen suunnittelun tilanteessa, jossa jokin raide on suljettu tai nopeusrajoitusta on laskettu kunnossapidon takia. Junat, joita muutokset koskevat, valitaan perusaikataulusta. Kun suljetut raiteet ja nopeusrajoitukse on määritetty, Bauplan toteuttaa poikkeustilanteen aikataulut, laskee välttämättömän ajoajan ja määrittelee ajoajan häviöt kullekin junalle. Käyttäjä voi muuttaa aikataulua esimerkiksi lisäämällä ylimääräisiä pysähdyksiä tai reitittää junia uudelleen. Tulokset voihaan tulostaa graafisesti tai taulukkomuodossa. (IBS 2007.)

Simu VII:n toinen lisäohjelma Dynamis on tarkoitettu ajoaika- ja energialaskentoihin erisuuruissa verkkoympäristöissä. Dynamis sisältää erilaisia moduuleja, jotka laskevat ajoaikoja ja energiaa. Ohjelmaa voidaan käyttää, kun hankitaan uusia vetureita, laaditaan aikatauluja uusille toimijoille tai kun verkkoa muutetaan. (IBS 2007.)

Dynamis laskee energiakäytön yksittäisille vetureille, junaryhmille tai koko aikataululle, mikä mahdollistaa energiansäästävän ajon vaikutusten tarkastelun. Ajoaikoja käytetään aikataulusuunnittelussa. Dynamista tarvitaan myös opastimien mitoitusta varten, esim. tarkkojen jarrutuskohtien ja opastimien paikkojen määrittämistä varten. (IBS 2007.)

4.4.5 Muita simulointiohjelmiä

Merit (Model to Evaluate the Reliability of Infrastructure and Timetables) on Iso-Britanniassa kehitetty simulointityökalu, joka kattaa maan pääreitit. Lähtötiedot, esimerkiksi infrastruktuuritieto, on tarkoituksella yksinkertaistettu. Esimerkiksi radan raiteisto tunnetaan, mutta tarkkaa fyysistä mahdollista reittiä ei mallinneta. Yksinkertaistukset lisäävät ohjelman nopeutta ja käyttökelpoisuutta, mutta vähentävät tarkkuutta. Ohjelma ei simuloi junien veto-ominaisuutta. Ohjelma olettaa, että aikataulu on mahdollista toteuttaa määritellyillä vetotyypeillä, kun viivytyksiä ei ole sovellettu. Ohjelma kuitenkin varoittaa käyttäjää, mikäli joidenkin junien tarvitsisi ylittää sallittu nopeus kahden välipisteen välillä pysyäkseen aikataulussa. (Watson 2005.)

Trail (Track/Train Reliability Availability Infrastructure Logistics) on rautatiejärjestelmän toimivuutta ja varmuutta simuloiva työkalu. Sen ensisijainen tehtävä on rautateiden eri ominaisuuksiin liittyvien skenaarioiden vertailu. Ohjelmaa voidaan käyttää rajoitetussa laajuudessa simuloimaan erilaisia infrastruktuureja tai aikatauluja. Ohjelma mallintaa infrastruktuurin linkki-solmu-tasolla. Sen tulosteet sisältävät tiedot häiriöiden esiintymistä, häiriötavoista sekä näiden vaikutuksista viivytyksiminuutteina. (Watson 2005.)

TrackAtk on yksinkertaistettu signal berth -tason simulointimalli. Ohjelma mallintaa noin 20 metrin tarkkuudella raiteet ja opastuksen, mutta jättää huomioimatta esimerkiksi kaltevuuden, kaarteisuuden, junatehot ja laituripituudet. Aikataulut simuloidaan yksittäisen junan tarkkuudella. Asemapysähdykset ja odotusajat otetaan huomioon, mutta veturityypeistä huomioidaan vain maksiminopeus ja junan pituus, eli eri junien kiihdytys- ja hidastusaikoja ei simuloida erikseen. Mallissa on selkeä visualisointi. Ohjelma antaa käyttäjälle kuvan verkon toimivuudesta, mutta ei täsmällisesti sekunnin tarkkuudella. Se tunnistaa ongelmat pienillä mallinnusalueilla ja antaa kohtuullisen tarkan arvion viivytyksistä. Ohjelma soveltuu täten nopeaan vaihtoehtojen arviointiin, mutta sitä ei kuitenkaan pidetä riittävän tarkkana esimerkiksi opastimien suunnitteluun tai ajoaikalaskentoihin. (Watson 2005.)

4.5 Rautatieliikenteen simulointi käytännössä

4.5.1 Rautatieliikenteen simulointi Suomessa

Junasimuloinnin mahdollisuuksia selvitettiin Suomessa ensimmäistä kertaa vuonna 1993, kun Helsingin kaupunki ja liikenneministeriö järjestivät tarjouskilpailun Helsinki–Pasila-ratapihan simulointia varten. Vuonna 1995 käynnistyi ensimmäinen simulointiprojekti, niin sanottu Linnunlaulun simulointimalli eli LINTU-projekti. Vuonna 1997 puolestaan etsittiin koko rataverkolle soveltuvaa simulointityökalua Ratahallintokeskuksen ja Oy VR-Rata Ab:n yhteistyöprojektissa ”Junaliikenteen simulointiohjelmien kartoitus”. Tutkimuksessa vertailtiin useita markkinoilla olevia valmisohjelmia. Tutkimuksen perusteella lähetettiin maaliskuussa 1998 tarjouspyynnöt kahden ohjelman, Simonin ja Simu VII:n toimittajille. Tarjouskilpailun perusteella päädyttiin hankkimaan koekäyttöön ruotsalainen simulointiohjelma Simon. (Hovi ja Ronni 1997.)

Ohjelman soveltuvuutta testattiin kahden pilottiprojektin avulla. Pilottiprojektien tavoitteena oli hankkia Ratahallintokeskukselle simulointiohjelma ja testata ohjelman toiminnallisuus. Ensimmäinen pilottiprojekti, ”Pasila–Riihimäki ja Kytömaa–Sköldvik -nykytilan mallinnus” valmistui marraskuussa 1998, ja sen perusteella tehtiin lopullinen päätös ohjelman käyttöönotosta. Pilottiprojektin toisessa vaiheessa, ”Perusparannustöiden vaikutukset rataosalla Tikkurila–Kerava” ohjelmaa testattiin tuotantokäytössä. Pilotin toinen vaihe valmistui keväällä 1999. (Hovi ja Ronni 1999.)

Simulointiohjelmisto vakiintui käyttöön ja sillä tehtiin vuoteen 2004 asti useita erilaisia simulointitarkasteluja. Vuosina 1998–2004 Simonilla toteutetut projektit on lueteltu taulukossa 3 (Hovi 2006). Ohjelman mahdollisia käyttökohteita olivat rataverkon kapasiteettitarkastelut, pullonkaulakohtien löytäminen ja tutkiminen, aikataulun toimivuuden tutkiminen, ennalta tiedossa olevien häiriötilanteiden, kuten ratatöiden aikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelu, turvalaitesuunnittelu esimerkiksi opastimien ja baliisien sijoittelu, kaluston vetovoiman riittävyyden arviointi sekä virransyötön mallintaminen (Hovi 2002).

Taulukko 3. Suomessa Simon-ohjelmalla vuosina 1998–2004 toteutetut simulointiprojektit (Hovi 2006).

Vuosi	Projekti
1998	Pasila–Riihimäki ja Kytömaa–Sköldvik - ”nykytilan” mallinnus (Junaliikennesimulaattorin hankinta ja käyttöönotto, pilottiprojekti 1. vaihe)
1999	Perusparannustöiden vaikutukset rataosalla Tikkurila–Kerava (pilottiprojektin 2. vaihe)
	Kouvola–Luumäki-tarveselvityksessä esitettävän vaihtoehdon liikenteenhoidollinen toimivuustarkastelu
	Kulunvalvonnan vaikutukset kaupunkiradalla Helsinki–Pasila-välillä
2000	Liikenne rataosilla Pasila–Tampere ja Turku–Toijala vuonna 2003
	Helsinki–Tampere-ajokaikaskennat
	Liikenne rataosilla Pasila–Tampere ja Turku–Toijala vuonna 2005
	Seinäjoki–Oulu-liikenne vuonna 2002
	Lahti–Kouvola, raiteenvaihtopaikkojen tarve
2001	Jyväskylä–Pieksämäki-tarveselvitys
	Keravan kaupunkiradan simulointitarkastelu
	Vuosaaren satamaradan liikenteellinen kytkeytyminen päärataan
2002	Helsingin ratapihan simulointitutkimus
2003	Oikorata Kerava–Lahti -toimivuustarkastelu
	Seinäjoki–Oulu-tarveselvitys
2004	Ajokaikaskennat YTV:lle kalustohankinnan pohjaksi
	Savion tunnelin eteläpään oveen liittyvien turvalaite- ja sähköistysjärjestelyjen vaikutukset tavarajunien kulkuun

Ratapihatoimintojen simulointi oli vähäistä sopivien työkalujen puutteen takia. Vuonna 2002 toteutetun Helsingin ratapihan simulointitutkimuksen yhteydessä todettiin, ettei Simon sovellu tarkkuudeltaan yksityiskohtaisiin kohteisiin. Tarvetta tarkemmalle työkalulle kuitenkin ilmeni, sillä Etelä-Suomen liikennemäärien kasvaessa huolestuttiin linjaliikenteen välityskyvyn ja alueen tärkeimpien ratapihojen kapasiteetin riittävydestä tulevaisuudessa. Tätä haluttiin tutkia simuloinnin avulla. Ratapihojen kapasiteettiin vaikuttivat liikennemäärän kasvu sekä henkilöliikenteessä vuonna 2002 käyttöön otettu vakioaikataulujärjestelmä, joka keskittää ratapihan liikennekuormituksen lyhyelle aikavälille. (Hovi 2006, Kosonen 2006.)

Vuonna 2003 Ratahallintokeskus käynnisti projektin, jonka tavoitteena oli ratapihojen tarkasteluun soveltuvan työkalun hankinta ja kapasiteettiselvitys Helsingin henkilö-ratapihasta. Työ aloitettiin inventoinnilla Euroopassa käytössä olleista simulointiohjelmista. Inventoinnissa päädyttiin sveitsiläiseen OpenTrack-ohjelmistoon. Ohjelmalla oli mallinnettu onnistuneesti Zürichin henkilö-ratapiha, joka muistuttaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon Helsingin ratapihaa. Lisäksi ohjelma sisälsi rajapinnan Suomessa käytössä olevaan aikataulusuunnitteluohjelman Viriatoon. (Kosonen 2006.)

Projektin tavoitteena oli varmistaa, että Kerava–Lahti-oikoradan avaamisen myötä lisääntyvä liikennetarjonta mahtuu Helsingin ratapihalle. Muita tavoitteita olivat potentiaalisten ongelmakohtien havainnointi ja ongelmakohtien ratkaisujen esittäminen kalusto-, liikennöinti- ja raiteistomuutoksien avulla. Työssä tarkasteltiin Helsinki–Pasila-osuutta. Tarkasteluajankohtana oli maanantaiaamu kello 5:00–11:00, joka

tuolloin oli liikennemäärältään suurin ajanjakso. Liikenteellisestä suunnittelusta ja lähtötietojen keräämisestä vastasi Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelu. Mallintamisesta, simuloinnista ja tulosten analysoinnista vastasi sveitsiläinen konsultti-toimisto SMA und Partner AG. Simulointeja ei tehty Suomessa työn kiireellisyyden ja haastavan kohteen vuoksi. (Kosonen 2006.)

Ohjelman ominaisuuksien testaamiseksi ja Helsingin ratapihamallin kalibroimiseksi ohjelmalla mallinnettiin aluksi kyseisen hetken eli kevään 2003 käytössä ollut ratapihan raiteistonkäyttösuunnitelma. Malli ulotettiin rantaradan suunnalla Huopalahteen ja pääradan suunnalla Oulunkylään. Näin liikenne voitiin synnyttää malliin varsinaisen tarkastelualueen ulkopuolella. Vuoden 2006 liikennöintisuunnitelmista mallinnettiin kaksi erilaista versiota. Simuloinneilla tutkittiin junaliikkeiden välisiä konflikteja, laituriraiteiden ja vaihdekujien varausasteita sekä erilaisten liikennöintisuunnitelmien toimivuutta häiriötilanteissa. (Kosonen 2006.)

Ohjelman käyttöönotosta tehtiin lopullinen päätös pilottiprojektin valmistuttua. Tämän jälkeen ohjelmalla on simuloitu muun muassa Tampereen henkilöratapiha sekä Ilmalan ratapiha. Ilmalan malli toteutettiin Helsingin ratapihasta tehdyn mallin laajenuksena. Ohjelman käyttö jatkuu aktiivisesti. Vuonna 2007 oli käynnissä useita eri projekteja, joissa toteutettiin simulointeja OpenTrack-ohjelmalla. Ohjelmalla on simuloitu esimerkiksi eteläistä päärataa. (Hovi 2006, Kosonen 2007b.)

4.5.2 Simulointi muualla Euroopassa

Hyvin monissa Euroopan maissa simulointia käytetään suunnittelun apuvälineenä, mutta varsinaisessa ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa simulointia ei ole hyödynnetty kovin laajasti. Esimerkiksi Saksassa aikataulut luodaan aikataulun-suunnittelutyökalujen avulla, eikä simulointia käytetä apuvälineenä yhteensovittelussa. Ratakapasiteettihakemusten päällekkäisyyksissä tarjotaan asiakkaalle soveltuvaa aikataulua. Myöskään Slovakiassa ei käytetä simulointia apuna yhteensovittelussa. Slovakiassa on 28 rautatieoperaattoria, joista kaksi on suuria operaattoreita, kaksi keski-suurta ja loput pieniä. Päällekkäisissä ratakapasiteettihakemuksissa käytetään ”ensimmäinen saa kaiken” -periaatetta, eli ensimmäisenä saapuneella hakemuksella on etusija yhteensovittelussa. (Hense 2007, Ondovcikova 2007.)

Ruotsissa on noin 30 rautatieoperaattoria, joista 12 toimii tavaraliikenteessä. Ruotsissa käytetään aikataulusuunnittelun ja kapasiteetilaskennoissa TrainPlan ja liikenteen simuloinnissa RailSysia. Simulointia on hyödynnetty jo pitkään tulevaisuuden infrastruktuuri-investointien määrittämiseen. Myös nykytilan tarkastelussa, kapasiteetin käytön parantamisen suunnittelussa sekä aikataulujen täsmällisyyden ja kysyntään vastaamisen suunnittelussa on ruvettu hyödyntämään simulointia. Simulointia käytetään vertailtaessa, kuinka eri junien priorisointi vaikuttaa aikataulujen pysyvyyteen ja junien täsmällisyyteen. Simulointia tehdään vain tietyille alueille tai junalinjoille, mutta tulevaisuudessa odotetaan, että malli saadaan laajennettua koko junaverkolle. (Wolf 2007, Wahlborg 2007.)

Puolassa toimii 40 junaliikennettä harjoittavaa yritystä. Näistä yhdeksän harjoittaa matkustajaliikennettä ja loput toimivat tavaraliikenteessä. Verkolla on yksi isompi toimija, loput ovat uusia pieniä yrityksiä. Ratakapasiteetin jaossa suositaan hakemusten

saapumisjärjestystä, mutta neuvotteluja käydään päällekkäisten hakemusten kesken. Puolassa vertailtiin 90-luvulla eri simulointiohjelmaa ja päädyttiin tilaamaan puolalaisilta ohjelmoijilta kokonaan uusi ohjelma (KWR), joka on tarkoitettu juuri Puolan rautatieverkon tarpeisiin. Simulointia käytetään parhaiden reittien löytämiseksi ja konfliktien välttämiseksi. Ohjelmalla voi tarkastella vain pieniä alueita kerrallaan, koska koko verkon mallinnusta ei ole mahdollista suorittaa kerralla. (Mosiołek 2007.)

4.6 Päätelmiä kirjallisuuskatsauksen perusteella

Simulointia on perinteisesti totuttu hyödyntämään rautatieliikenteen suunnittelun apuvälineenä pitkälle tulevaisuuteen ulottuvissa suunnitelmissa. Simuloinnin hyödyntäminen lyhyenkin aikavälin suunnitelmissa on kuitenkin yleistynyt ohjelmien kehityksen myötä, kun mallintaminen sujuu entistä nopeammin ja tietokoneiden teho on kasvanut.

Mikäli simulointia halutaan hyödyntää ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa, mallin tulee olla nopeasti muodostettavissa, sillä vuosittainen ratakapasiteettihakemusprosessi kestää vain neljä kuukautta. OpenTrackin etuna on se, että koko mallia ei tarvitse tehdä kerralla, vaan Suomen rataverkkoa voidaan rakentaa osissa, ja näin onkin toistaiseksi tehty. Esimerkiksi Tampereen ratapihamalli, tässä diplomityössä laadittu tapaustutkimuksen malli sekä samanaikaisesti valmisteilla ollut eteläisen pääradan malli voidaan yhdistää tulevaisuudessa yhdeksi malliksi. Kun malliin täydennetään puuttuvat osat, on saatu valmiiksi koko päärata Tampereelta Helsinkiin.

Paloittain etenemällä voidaan rakentaa koko Suomen malli. Vaikka koko Suomen verkko mallinnettaisiin, ei kerralla tarvitse simuloida kuitenkaan koko aluetta. Mallia voidaan myös käyttää osissa, mikäli ratakapasiteettihakemukset kohdistuvat vain tietylle alueelle. Tämän ansiosta ongelmat voidaan ratkaista myös osissa, esimerkiksi ratkaisemalla ensin kuormittuneimman rataosan ratakapasiteetin hakuprosessi ja tämän jälkeen tarkistaa muut alueet. Suomi on jaettu erilaisiin liikenneohjausalueisiin, joten samaa periaatetta voi käyttää myös kapasiteetinjakoprosessissa. Etuja voidaan mahdollisesti saada jo yhden alueen simuloinnilla.

Osaverkon simuloinnissa tulee määritellä tarkasti, missä tutkittavan alueen raja menee. Kokonaisvaikutusta ei välttämättä nähdä, mikäli malli rajataan väärin. Simuloimalla eri alkumyöhistymisiä voidaan tosin jäljitellä tilanteita, joissa muualla verkossa on häiriöitä, ja häiriöt heijastuvat tarkastelualueelle myöhästymisten kautta.

Mikäli simulointimalli on jo olemassa, sen tulee olla nopeasti muokattavissa, eli uusien aikataulujen ja kulkuteiden asettaminen malliin tulisi olla nopeaa. Helpointa olisi, mikäli aikataulut voisi siirtää suoraan aikataulusuunnitteluohjelmasta simulointiohjelmaan ja päinvastoin. Ratahallintokeskuksen käyttämässä aikataulusuunnitteluohjelma Viriatossa ja simulointiohjelma OpenTrackissa on rajapinta, mutta sitä ei ole toistaiseksi saatu toimimaan moitteettomasti.

Kiireellisen ratakapasiteetin hakemisessa päätös tulisi ratkaista viiden vuorokauden kuluessa. Kiireellisen ratakapasiteetin hakuprosessin käsittely on yksinkertaisempaa, sillä valmiit aikataulut ovat jo olemassa. Simulointia voidaan hyödyntää, jos malli on valmiina. Tällöin riittää vain yhden tai muutaman uuden junan lisääminen malliin. Tällöin tärkeäksi seikaksi nousee se, että tulosten käsittely tapahtuu nopeasti.

Ratakapasiteettihakemusten yhteensovittelussa verkko tulisi mallintaa melko yksityiskohtaisesti, jotta myös liikennepaikkojen junakohtaukset huomioidaan. Myös ajoaikojen ja pysähtymisten mallintaminen tulee tapahtua todenmukaisesti. Simuloinnin ei kuitenkaan tarvitse tapahtua sekunnilleen, jos edes minuutilleen todellisuutta vastaavasti, sillä aikatauluissa on hieman pelivaraa todellisuudessakin ja kuljetusajat vaihtelevat hieman esimerkiksi kuorman, junakuljettajan ja sääolojen mukaan.

Aikataulusuunnitteluohjelmalla luodaan aikataulu, joka toimii ideaalimaailmassa. Myös perustilanteen simuloinnin on toimittava ilman ylimääräisiä viivytyksiä. Häiriötilanteiden jäljittelyllä puolestaan voidaan tutkia aikataulun pysyvyyttä. Yksi tärkeä kysymys on, mitä sellaista simuloinnilla voidaan saada selville, mitä aikataulusuunnitteluohjelma ei kerro. Pelkästään graafista aikataulua tarkastelemalla voi mahdollisesti nimetä potentiaalisia ongelmakohtia. Mahdollisten häiriöiden vaikutusta voi olla kuitenkin vaikea ennustaa. Myös usean erilaisen häiriön toteutuminen samanaikaisesti tuo haastavuutta seurausten ennustamiseen. Häiriötilanteiden vaikutusten arvioinnissa voidaan hyödyntää simulointia. Simuloinnin avulla saadaan numeerisia tunnuslukuja, jotka kertovat, kuinka pysyvä aikataulu on. Simuloinnilla voidaan tuottaa tunnuslukuja, esimerkiksi keskimääräinen viivytys junaa kohden. Simuloinnin avulla voidaan myös vastata esimerkiksi kysymykseen, kuinka kauan kestää, että junat ajavat jälleen aikataulun mukaan sen jälkeen, kun tietty ongelmatilanne, kuten opastinvika, on päättynyt.

Simulointi on myös ainut keino, jolla voidaan tarkistella järjestelmän toimintoja, kun käytännön kokeet eivät ole mahdollisia. Esimerkiksi ajoikalaskennoissa on käytetty myös kokeellista menetelmää. Eri aikataulujen toimivuutta ei kuitenkaan voi kokeilla käytännössä.

5 TAPAUSTUTKIMUKSEN TOTEUTUS

5.1 Tutkimusongelman raja

5.1.1 Tapaustutkimuksen tarkoitus

Tapaustutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten simulointia voidaan hyödyntää ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisprosessissa. Tapaustutkimuksessa selvitetään, voidaanko simuloinnin avulla löytää ratakapasiteettihakemusten perusteella laaditusta aikataulusta mahdollisia ongelmakohtia, jotka eivät välttämättä tule esille aikataulun suunnitteluvaiheessa. Simuloinnilla kokeillaan, miten eri toimenpiteillä aikataulusta saataisiin parempi ja vahvistetaan, että aikataulu on riittävän stabiili erilaisissa häiriötilanteissa.

Jos aikataulussa on useita eri vaihtoehtoja useille eri junille, ei ensimmäisenä luotu aikatauluratkaisu ole välttämättä kaikkein toimivin vaihtoehto. Simuloinnin avulla on tarkoitus testata, voidaanko muutamasta likimain samanlaisesta, yhtä hyvältä vaikuttavasta aikatauluvaihtoehdosta löytää aikataulu, joka on muita vaihtoehtoja selvästi parempi. Myöskään määritelmä ”muita parempi aikataulu” ei ole yksiselitteinen, joten simulointitulosten tarkastelun yhteydessä on tarkoitus myös pohtia, miten voidaan vertailla eri aikataulujen paremmuutta.

5.1.2 Tapaustutkimuksen toteutustapa

Tapaustutkimus aloitettiin mallin rakentamisella ja nykytilanteen aikataulun simuloinnilla. Nykytilanteen simuloinnilla saatiin varmistus siitä, että malli on rakennettu oikein, eli esimerkiksi nopeusrajoitukset on määritetty oikein ja junat liikkuvat todenmukaisesti. Tiettyjä junan kulkuun vaikuttavia parametreja, kuten kiihtyvyyden ja hidastuvuuden, säädettiin ohjelman oletusarvoista, jotta junat kulkisivat perustilanteessa aikataulunmukaisesti. Tässä työssä käytetyt arvot on todettu sopiviksi aiempien simulointiprojektien ja ohjelman kalibrointityön (Kokkonen 2007) yhteydessä.

Henkilöjunien aikatauluja ei muutettu, sillä lähtökohtana oli, että henkilöjunien ratakapasiteetti on jo kiinnitetty. Tällöin tavarajunille voidaan myöntää ratakapasiteettia vain, mikäli henkilöliikenteen seasta löytyy sopivia kulkuvälejä. Aikataulusuunnitteluohjelma Viriatolla laaditut, yksittäisten tavarajunien aikataulut tarkistettiin simuloinnilla. Yksittäisten junien simuloinnilla tarkistettiin, että tavarajunat pystyvät noudattamaan niille suunniteltuja aikatauluja eivätkä häiritse kulullaan muita junia.

Joissain tilanteissa yksittäinen tavarajuna voidaan reitittää usealla eri tavalla likipitäen saman lähtö- tai tuloajan puitteissa. Operaattorilla saattaa olla toiveita tai rajoituksia junan kulkuaikojen suhteen, esimerkiksi junan on lähdettävä tietyllä aikavälillä ja saavuttava määräasemalle tietyllä aikavälillä, mutta tarkempia vaatimuksia ei lähtö- ja saapumisaikojen tai pysähtymisten suhteen ole. Toisena vaihtoehtona on, että useampi operaattori hakee likimain samaa kapasiteettia hieman eri lähtö- ja saapumisajoilla tai pysähtymisasemilla. Tällöin junat voidaan laittaa kulkuun useilla eri tavoilla, jotka vaikuttavat kaikki yhtä hyviltä ratkaisuilta.

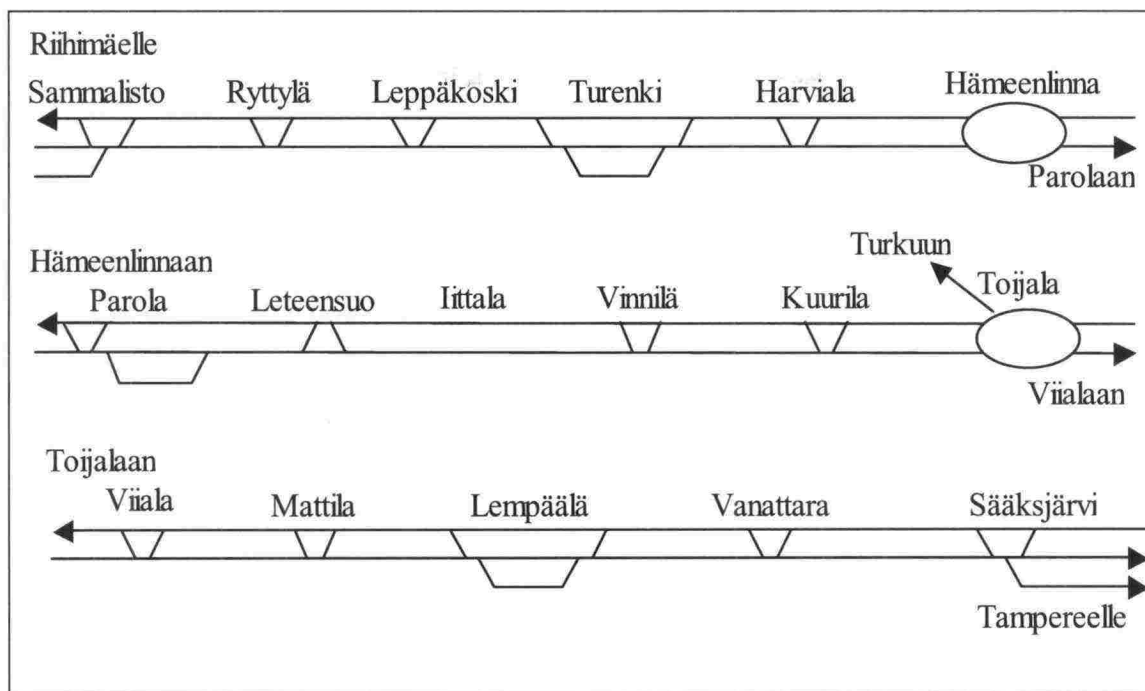
Erilaisista tavarajunavaihtoehdoista muodostettiin erilaisia aikatauluvaihtoehtoja. Jokaisessa vaihtoehdossa junavuorojen määrä on sama, mutta joidenkin tavarajunien lähtö- ja saapumisajat vaihtelevat. Jokainen vaihtoehto simuloitiin ensin ilman mitään häiriötä, jolloin kaikkien aikataulujen tulisi toimia ilman ylimääräisiä viivytyksiä. Tämän jälkeen jokainen vaihtoehto simuloitiin niin, että mallissa toteutettiin erilaisia häiriöitä. Jokaiselle vaihtoehdolle toteutettiin samat identtiset häiriötilanteet, jotta aikataulujen vertailu olisi mahdollista.

Aikatauluvaihtoehdot pyrittiin laittamaan paremmuusjärjestykseen häiriötilanteiden myöhästymistunnuslukujen avulla. Myöhästymistunnusluvuksi soveltuvat esimerkiksi keskimääräiset viivytykset, maksimiviivytykset tai myöhästyneiden junien määrä. Häiriömallintamisen yhteydessä pohdittiin myös, soveltuivatko kaikki mallinnetut tilanteet vertailuun. Mikäli jokin häiriötilannetapaus antoi epärealistisia tuloksia tai oli hyvin työläs toteuttaa, jätettiin kyseinen häiriötilannemallinnus pois lopullisesta aikatauluvaihtoehtojen vertailusta.

5.2 Tapaustutkimuksen kohde

Tapaustutkimuksen kohteeksi valittiin kaksiraiteinen rataosuus pääradalla Riihimäen ja Tampereen väliltä. Tarkastelualueella on kaksi isompaa asemaa, Hämeenlinna ja Toijala, sekä useita pienempiä liikennepaikkoja. Kohteeksi haluttiin valita vilkasliikenteinen, kaksiraiteinen rataosa, jolla kulkee sekä henkilö- että tavaraliikennettä. Riihimäen ja Tampereen ratapihat rajattiin työn ulkopuolelle, koska mallista ei haluttu tehdä liian monimutkaista.

Kuvassa 8 on esitetty yksinkertaistettu kaaviokuva tapaustutkimuskohteen raiteistosta ja liikennepaikoista. Hämeenlinnan ja Toijalan asemien raiteistokaaviot on kuvattu tarkemmin liitteessä 1. Toijalasta lähtee lisäksi yksiraiteinen rataosuus Turkuun. Mallinnusalueella on myös liityntöjä yksityisraiteisiin. Yksityisraiteet jätettiin kuitenkin tarkastelun ulkopuolelle, sillä Ratahallintokeskus ei vastaa yksityisraiteiden ratakapasiteetin jaosta.



Kuva 8. Kaaviokuva tapaustutkimuskohteen raiteistosta (Hämeenlinna ja Toijala on kuvattu tarkemmin liitteessä 1).

Tapaustutkimuskohde alkaa eteläpäässä Sammaliston eteläisiltä tulo-opastimilta ja pohjoisessa Säöksjärven pohjoisilta tulo-opastimilta. Nämä ovat ne paikat, joista pohjois-eteläsuunnassa kulkevat junat ilmestyvät malliin. Koska Riihimäen ja Sammaliston sekä Säöksjärven ja Tampereen välillä on kolme raidetta, simulointimalli alkaa molemmissa päissä kolmiraiteisena. Malli muuttuu kuitenkin kaksiraiteiseksi etelässä heti Sammaliston liikennepaikan kohdalla ja pohjoisessa vastaavasti Säöksjärven liikennepaikan kohdalla. Turun suunnasta tulevat junat ilmestyvät malliin hieman ennen Toijalan asemaa Turun ja Toijalan väliseltä, yksiraiteiselta rataosuudelta.

Junat kulkevat perustilanteessa oikeanpuoleisen liikenteen mukaisesti. Pohjoiseen kulkevat junat käyttävät niin sanottua itäistä raidetta ja etelään kulkevat junat läntistä raidetta. Turenkin, Parolan ja Lempäälän liikennepaikoilla on pääraiteiden lisäksi kolmas raide itäisen raiteen puolella. Hämeenlinnassa ja Toijalassa on useita raiteita. Taulukossa 4 on lueteltu mallinnusalueen liikennepaikat ja niiden keskeisiä ominaisuuksia. Taulukon tiedot on kerätty aikataulukauden 2008 verkkoselostuksen (RHK 2006) liikennepaikkarekisteristä.

Taulukko 4. Mallinnusalueen liikennepaikat (RHK 2006).

Nimi	Lyh.	Etäisyys Helsingistä	Henkilö- liikennettä	Tavara- liikennettä	Laiturit (lukum.)	Laituri- pituus	Mitoittava raidepituus	Yksityis- raiteita	Vaihto- työmahd.
Sammalisto	Sam	74 +487	–	–	0	–	0	–	–
Ryttylä	Ry	80 +770	On	On	2	171-173	500	On	–
Leppäkoski	Lk	87 +830	–	–	0	–	0	–	–
Turenki	Tu	93 +771	On	On	2	170	1287	On	On
Harviala	Hrv	99 +456	–	–	0	–	0	–	–
Hämeenlinna	Hl	107 +559	On	On	3	257-450	1033	On	On
Parola	Prl	115 +764	On	On	2	191-196	730	On	–
Leteensuo	Lts	123 +554	–	–	0	–	0	–	–
Iittala	Ita	129 +286	On	–	2	170	0	–	–
Vinnilä	Vin	131 +243	–	–	0	–	0	–	–
Kuurila	Ku	138 +769	–	–	0	–	0	–	–
Toijala	Tl	147 +339	On	On	4	450	770	On	On
Viiala	Via	154 +288	On	On	2	170	305	On	–
Mattila	Mat	159 +906	–	–	0	–	0	–	–
Lempäälä	Lpä	165 +928	On	–	2	170	811	–	–
Vanattara	Vtr	172 +340	–	–	0	–	0	–	–
Sääksjärvi	Sj	177 +734	–	–	0	–	0	–	–

Etäisyys Helsingistä tarkoittaa liikennepaikan etäisyyttä Helsingin vanhasta asemarakennuksesta ratakilometrijärjestelmän mukaisesti mitattuna. Henkilöliikennettä-sarakkeessa on kerrottu, millä liikennepaikoilla on säännöllistä aikataulunmukaista henkilöliikennettä ja tavaraliikennettä-sarakkeessa vastaavasti, millä liikennepaikoilla on säännöllistä tavaraliikennettä. Laiturit-sarakkeessa on kerrottu henkilöliikenteeseen tarkoitettujen laitureiden lukumäärä ja seuraavassa sarakkeessa laiturien pituudet. Mitoittava raidepituus tarkoittaa liikennepaikan pisintä tavaraliikenteelle tarkoitettua raidetta, joka ei ole kumpikaan pääraiteista. Pituus on mitattu niin, että raide on käytössä molempiin kulkusuuntiin. (RHK 2006.)

Yksityisraiteita-sarakkeessa kerrotaan, millä liikennepaikoilla on vähintään yksi liityntä yksityisraiteeseen. Vaihtotyömahdollisuus-sarakkeessa on kerrottu, onko liikennepaikan raiteisto sen muotoinen, että vähintään veturin voi vaihtaa vaunujonon päästä toiseen päähän ilman, että liike täytyy tehdä liikennepaikan läpi kulkevan pääraiteen kautta. (RHK 2006.)

Liikennepaikoilla, joilla on useita raiteita, junat ohjataan kulkemaan pääraiteita pitkin suoraan, ellei pysähtyminen tai muu syy edellytä ohjaamaan junia toisille raiteille. Henkilöliikenteen osalta käytetään seuraavia poikkeuksia säännöllisesti (Mikkola ja Nieminen 2007.):

- Parola, Lempäälä, Turenki: Pääradan raiteet ovat raide yksi (länsiraide, etelään) ja raide kaksi (itäraide, pohjoiseen), lisäksi itäisen raiteen vieressä on kolmas raide. Etelästä pohjoiseen kulkevat, kyseisellä asemalla pysähtyvät junat ohjataan kolmannelle raiteelle, sillä toisella raiteella ei ole matkustajalaituria.

- Toijala: Pääradan raiteet ovat kolmas (länsiraide, etelään) ja neljäs raide (itäraide, pohjoiseen). Pohjois-eteläsuunnassa kulkevat junat käyttävät pääraiteita. Turun suunnan junat lähtevät Toijalasta Turun suuntaan ensimmäiseltä raiteelta ja saapuvat Turun suunnasta toiselle raiteelle.
- Hämeenlinna: Pääradan raiteet ovat toinen (länsiraide, etelään) ja kolmas raide (itäraide, pohjoiseen). Pohjois-eteläsuunnassa kulkevat junat käyttävät pääraiteita. Ensimmäistä raidetta käyttävät etelästä saapuvat ja etelään lähtevät junat, joiden pääteasema on Hämeenlinna.

Myös tavaraliikenne kulkee liikennepaikoilla pääraiteita pitkin, ellei pysähtyminen tai jokin muu syy edellytä ohjaamaan junia toisille raiteille. Tavaraliikenteen osalta käytetään seuraavia toimintaperiaatteita (Mikkola ja Nieminen 2007.):

- Toijala: tavarajunat ohjataan yleensä viidennelle raiteelle odottamaan ohittavaa junaa, koska se on pisin sivuraide. Turun suunnan tavarajunat ohjataan henkilöliikenteen tavoin toisen raiteen kautta.
- Hämeenlinna: Tampereelta tulevat tavarajunat ohjataan raiteille neljä tai viisi tilanteen mukaan ja junakohtaisesti. Riihimäen suunnasta tulevat junat ohjataan pääsääntöisesti raiteelle kuusi. Myös ensimmäiselle raiteelle saatetaan ohjata pohjoisesta tulevia junia, koska raiteella neljä on usein paljon vaihtotöitä.
- Turenki: kolmatta raidetta käytetään etuajassa ajavien tavarajunien odotuspaikkana, mikäli tuleva liikennetilanne sitä edellyttää.
- Parola, Lempäälä, Turenki: Tavarajuna voidaan määrittää aikataulussa pysähtymään sivuraiteelle päästäkseen takaa tulevan nopeamman henkilöjunan ohitseen. Tavarajunaa ei kuitenkaan voi laittaa pysähtymään sivuraiteelle, mikäli asemalle on saapumassa etelästä pohjoiseen matkalla oleva taajamajuna, joka käyttää raidetta pysähtyäkseen matkustajien takia.

Jokaiselle junalle on laadittu tarkat kulkutiet jo suunnitteluvaiheessa. Liikenteenohjaajat myöntävät suunnitellut kulkutiet junille, mikäli liikennetilanne sen sallii. Junille ei ole laadittu kauko-ohjausjärjestelmään valmiiksi vaihtoehtoisia reittejä, vaan poikkeus-tilanteissa uusi kulkutie tulee laatia manuaalisesti. (Mikkola ja Nieminen 2007.)

5.3 Mallinnetut junatyypit

5.3.1 Junien ominaisuudet

Mallinnusalueella liikkuvat henkilöjunat mallinnettiin kuuden erilaisen mallinnustyyppin mukaan: Pendolinot, Intercity-junat, Intercity2-junat, taajamajunat, yöpikajunat ja päiväpikajunat. Tavarajunat mallinnettiin kahdessa eri tyypissä: etelä-pohjoissuunnassa kulkevat tavarajunat sekä Turun tavarajunat. Malliin määritettiin junien kulkuun vaikuttavat ominaisuudet, kuten junien kiihtyvyys, hidastuvuus ja paino. Simuloinnit toteutettiin normaaleissa kitkaolosuhteissa.

Henkilöjunien kiihtyvyyttä joudutaan rajoittamaan matkustajamukavuuden vuoksi. Kaikille henkilöjunille asetettiin maksimikiihtyvyydeksi $0,8 \text{ m/s}^2$. Hidastuvuus vaihteli junatyypeittäin. Pendolinojen hidastuvuudeksi määritettiin $-1,1 \text{ m/s}^2$, Intercity- ja Intercity2-junien sekä taajamajunien hidastuvuudeksi $-0,51 \text{ m/s}^2$ ja pikajunien

hidastuvuudeksi $-0,6 \text{ m/s}^2$. Lisäksi kullekin junalle määriteltiin viive, joka kuluu jarruttamisen jälkeen, ennen kuin junan jarrut ovat vapautuneet ja juna voi aloittaa uudelleen kiihdyttämisen. Henkilöjunien kiihdytyksen viiveeksi määriteltiin 10 sekuntia. (Kosonen 2007b.)

Tavarajunilla maksimikiihtyvyyttä ei rajoitettu, vaan kiihtyvyys riippuu kalustosta. Tavarajunien hidastuvuus mallinnettiin ohjelmassa valmiina olevan kaavan mukaan, joka ottaa huomioon tavarajunan jarrupainoprosentin. Jarrupainoprosentti on jarrutuskykyä ilmaiseva suure, joka kertoo, kuinka monta prosenttia junan jarrupaino (jarruvoimaa ilmaiseva suure) on junan kokonaispainosta. Tavarajunille sopiva jarrupainoprosentti on 30–60 prosenttia. Tässä työssä käytettiin kaikilla tavarajunilla 60 prosentin jarrupainoprosenttia. Henkilöjunilla vastaava arvo on 100. Tavarajunat mallinnettiin pitempinä kuin henkilöjunat, joten niiden viiveeksi kiihdytyksen uudelleen aloittamiseksi jarrutuksen jälkeen määriteltiin 40 sekuntia. (Kosonen 2007b, RHK 2005.)

Tehokertoimeksi määritettiin normaalitilanteessa 90 prosenttia ja myöhästymistilanteessa 96 prosenttia. Tämä tarkoittaa sitä, että junat eivät kulje mallissa täydellä teholla, vaan junan ollessa aikataulussa tai etuajassa juna kulkee rajoitetulla teholla. Mikäli juna ohittaa aseman aikataulustaan jäljessä, simulointiohjelma laittaa junan kulkemaan korkeammalla tehokertoimella. Juna jatkaa kulkuaan korkeammalla tehokertoimella sille asemalle asti, jossa on tieto junan ohitus- tai pysähtymisajasta. Mikäli juna saapuu asemalle ajoissa, tehokerroin palautuu 90 prosenttiin. Mikäli juna on edelleen myöhässä, juna jatkaa kulkua korkeammalla teholla.

Määritetyn tehokertoimen arvo perustuu siihen, että junia ei ajeta todellisuudessaakaan aivan täydellä teholla. Koska junien aikatauluissa on noin 10 prosentin pelivara, sopii 90 prosentin tehokerroin simulointiohjelmaan. Todellisuudessa junakuljettajat saattavat ajaa jonkin matkaa korkeammalla teholla, mutta osaavat ennakoita mallia paremmin tulevan pysähtymisen ja voivat hiljentää vauhtia vähitellen jo hyvissä ajoin ennen pysähdystä. Mallissa junat sen sijaan ajetaan tehokertoimen, kaluston ja infrastruktuurin puitteissa niin lujaa kuin mahdollista aina lähdöstä pysähdykseen asti. (Mäkitalo 2007, Kokkonen 2007, Kosonen 2007b.)

5.3.2 Pendolino

Pendolino on suurimpien kaupunkien väliseen liikenteeseen tarkoitettu nopea juna. Ensimmäinen Pendolino aloitti liikennöinnin marraskuussa 1995. Pendolinot kulkevat Helsingistä Turkuun, Tampereen kautta Ouluun tai Jyväskylään ja Kuopioon sekä Kouvolan kautta Iisalmeen ja Joensuuhun. Pendolinot on merkitty aikatauluun tunnuksella S. (VR 2007b.)

Pendolinoissa on kallistuva ja painetiivis kori, joka mahdollistaa liikennöinnin 30–40 prosenttia perinteisiä junia nopeammin, sillä matkustusmukavuus säilyy myös kaarteissa ja tunneleissa. Pendolinojen huippunopeus on 220 kilometriä tunnissa, mutta kullakin reitillä ajetaan kyseisen rataosan nopeusrajoitusten mukaisesti. Mikäli Pendolinon kallistus ei toimi, junalla voi ajaa korkeintaan 160 km/h. Mallinnusalueella Pendolinojen huippunopeus on 200 km/h, lukuun ottamatta muutamaa paikkaa, jossa on alhaisempi nopeusrajoitus kaikille junille. (VR 2007b, Pitkänen 2007.)

Yhdessä Pendolino-yksikössä on 309 paikkaa. Yksikön pituus on 159 metriä, korin leveys 3,2 metriä ja paino 328 tonnia. Suurin akselipaino on 14,3 tonnia ja teho 4 000 kilowattia. Junakokoonpanossa voi olla yksi tai kaksi Pendolino-yksikköä. Pendolinot ajetaan kahden yksikön mittaisina, mikäli juna on tarkoitus erottaa kesken matkaa kahdeksi yhden yksikön junaksi, jotka erkanevat eri reiteille. Vastaavasti kaksi eri suunnista saapuvaa Pendolino-yksikköä voidaan yhdistää yhdeksi junaksi, joka kulkee loppumatkan yhdessä. Tampere toimii tällaisena solmuasemana, jossa yhdistellään ja erotetaan Pendolinoja. (Mäkitalo 2007, VR 2007b.)

Mallinnusajankohtana alueella kulkee kaksi Pendolino-vuoroa, jotka liikennöidään aina kahden yksikön mittaisena. Toinen kahden yksikön juna on pohjoiseen kulkeva Pendolino S45. Sen ohitusaika Sammalistossa, eli aika jolloin juna syötetään simulointimalliin, on kello 10:16. Juna jakautuu Tampereella kahdeksi yhden yksikön junaksi, joista toinen jatkaa Ouluun ja toinen Jyväskylään. Toinen kahden yksikön Pendolino on etelään kulkeva S42. Sen toinen yksikkö saapuu Tampereelle Kokkolasta ja toinen Jyväskylästä. Tampereella nämä junat yhdistetään yhdeksi kahden yksikön Pendolinoksi, joka lähtee Tampereelta etelään. Se syötetään malliin Sääksjärveltä kello 8:06. Muut Pendolinot mallinnettiin yhden yksikön mittaisina. (VR 2007c.)

5.3.3 Intercity- ja Intercity2-junat

Intercity- ja Intercity2-junat ovat osa VR:n junaliikenteen perustarjontaa. Intercity-junat liikennöivät kaupunkien ja suurten asutuskeskusten välillä. InterCity2-junat liikennöivät kolmella reitillä: Helsinki–Tampere, Helsinki–Turku ja Helsinki–Lahti–Kouvola–Imatra. Junat on merkitty aikatauluihin IC- tai IC2-tunnuksella. Intercity-junissa on sekä yksi- että kaksikerroksisia vaunuja, Intercity2-junat ovat puolestaan kokonaan kaksikerroksisia. Intercity-junien huippunopeus on 140–160 km/h. Intercity2-vaunujen huippunopeus on 200 kilometriä tunnissa ja nopeuksia on tarkoitus nostaa nykyisestä, kun rataverkon kunto sen sallii. Toistaiseksi junat on aikataulutettu liikennöimään 160 km/h. (Hovi ja Paasikivi 2007, VR 2007b.)

Intercity-junaliikenne alkoi 1980-luvun lopussa. Kaksikerroksisia Intercity-vaunuja on ollut käytössä vuodesta 1998 lähtien, ja ensimmäiset kokonaan kaksikerroksiset Intercity2-junat aloittivat liikennöintinsä kesällä 2000. Intercity-junan normaali kokoonpano muodostuu kuudesta vaunusta ja veturista. Intercity2-junat ovat yleensä hieman lyhyempiä, niissä on yleensä kolmesta kuuteen vaunua ja veturi. Junakokoonpano saattaa kuitenkin vaihdella kysynnän mukaan, esimerkiksi perjantaisin ja sunnuntaisin saatetaan ajaa pitempiä junavuoroja viikonloppuruuhkan takia. Pisimmillään Intercity-junat ovat noin 14 vaunun mittaisia. (Hovi ja Paasikivi 2007, VR 2007b.)

Tässä mallinnuksessa kaikki Intercity- ja Intercity2-junat mallinnettiin keskimääräisten kokoonpanojen mukaan. Kuudesta vaunusta ja Sr2-veturista muodostuvat Intercity-junan pituudeksi määriteltiin 178 metriä ja painoksi 390 tonnia. Viidestä vaunusta ja Sr2-veturista muodostuvan Intercity2-junan pituudeksi määriteltiin 151 metriä ja painoksi 292 tonnia.

Intercity- ja Intercity2-junat on aikataulutettu voimassa olevassa aikataulussa kulkemaan samalla nopeudella ja ne pysähtyvät samoilla asemilla. Yksinkertaisuuden

vuoksi tässä työssä Intercity- ja Intercity2-junien kulkutietoja on käsitelty yhtenä juna-tyyppinä. Raportissa puhutaan jatkossa pelkästään Intercity-junista, mikä tarkoittaa joko Intercity- tai Intercity2-junaa.

5.3.4 Pikajunat

Pikajunat ovat niin sanotuista sinisistä vaunuista koostuvia junia, jotka muodostavat yhdessä Intercity-junien kanssa VR:n junaliikenteen perustarjonnan. Junat on merkitty aikatauluihin P-kirjaimella. (VR 2007b.)

Päiväpikajunat eli tavalliset pikajunat muodostuvat yleensä päiväkäyttöön tarkoitetuista henkilövaunuista, konduktöörivaunusta sekä ravintolavaunusta. Yleensä vaunuja on vähintään kuusi. Päiväpikajunien suurin sallittu nopeus on yleensä 140 km/h. Yöpikajunat muodostuvat päivävaunuista, makuuvaunuista sekä mahdollisista autojenkuljetusvaunuista. Autojenkuljetusvaunujen vuoksi yöpikajunien suurin sallittu nopeus on 120 km/h. Yöpikajunassa voi vaunuja olla lähes 20. (Hovi ja Paasikivi 2007, VR 2007b.)

Mallinnusalueella liikkuu aamuyöllä yöpikajunia pohjois-eteläsuunnassa. Lisäksi Turun suunnan aamupäivän henkilöjunat ovat pikajunia yhtä Intercity-junavuoroa lukuun ottamatta. Turun suunnan päiväpikajunat mallinnettiin kaikki samanlaisina. Junakokoonpano muodostettiin yhdestä Srl-veturista ja seitsemästä vaunusta. Tällöin junan pituus on 205 metriä. Kokonaispainoksi määriteltiin 399 tonnia. Yöjunista vain yksi liikennöidään jokaisena viikonpäivänä, joten mallinnukseen otettiin mukaan vain kyseinen juna. Se määriteltiin koostuvan 10 matkustajavaunusta ja kolmesta autovaunusta. Yöjunan pituudeksi määriteltiin 364 metriä ja painoksi 894 tonnia. (VR 2007c.)

5.3.5 Taajamajunat

Taajamajuna on lyhyen matkan junatyyppi, joka kulkee tiettyjen suurten asutuskeskusten välillä. Taajamajunat pysähtyvät myös pienemmillä asemilla. Ne tarjoavat matkustajille peruspalveluja ja toimivat jatkoyhteyksinä pika- ja Intercity- ja Pendolinojunille. Taajamajunat ovat joko veturivetoisia junia, sähkömoottorijunia tai kiskobusseja. Junien huippunopeus on 120–160 km/h. Taajamajunat on merkitty aikatauluihin H-kirjaimella ja numerotunnuksella. (VR 2007b.)

Kaikki mallinnusajankohdan taajamajunat määriteltiin sähkömoottorijuniksi (Sm4). Yhden sähkömoottorijunayksikön pituus on 55 metriä ja painoksi määritettiin 130 tonnia. Huippunopeudeksi määriteltiin 160 km/h. (Kosonen 2007b, VR 2007b.)

5.3.6 Tavarajunat

Tavarajunien aikataulusuunnittelussa ja mallintamisessa oletettiin, että tavarajunat voivat ajaa nopeudella 80 km/h, ja ne mahtuvat pituutensa puolesta Lempäälän, Turengin ja Parolan sivuraiteille. Lisäksi junat mahtuvat Hämeenlinnassa ja Toijalassa niille sivuraiteille, joita käytettiin tässä työssä ohitusten järjestämiseen. Pohjois-eteläsuunnassa liikkuvien tavarajunien pituudeksi määritettiin 725 metriä, mikä on tavallisen kiitotavarajunan maksimipituus. Turun tavarajunien pituudeksi määritettiin 519 metriä,

sillä Toijalan toisen raiteen, jota pitkin Turun tavarajunat pääsääntöisesti kulkevat, pysähtymistila on lyhyempi. Tavarajunien painoksi määritettiin 2 000 tonnia, mikä on tavallisen kiitotavarajunan maksimipaino. Kutakin tavarajunaa veti yksi Sr2-veturi.

Tässä työssä tehdyt havainnot esimerkiksi tavarajunien ajoajoista ja tavarajunien mahdollisesta pysähtymiskäyttäytymisestä pitävät paikkansa vain kyseisille, kuvitteellisille junille. Oikeat ratakapasiteetin jakoa koskevat simuloinnit tulee toteuttaa uudelleen niin, että niiden junien ominaisuudet, joille ratakapasiteettia haetaan, pitävät paikkansa simulointimallissa. Tässä työssä on esitetty simulointikäytäntöjä, joilla junien kulkua on voi tarkastella, mutta esimerkiksi työssä saatuja ajo-aikoja ei voi yleistää kaikkiin tavarajuniin.

5.4 Henkilöjunien mallintaminen

5.4.1 Nykytilanteen aikataulu

Henkilöjunien aikataulut mallinnettiin kevään 2007 aikataulujen mukaisesti. Pendolinot eivät pysähdy mallinnusalueella lainkaan. Intercity-junat pysähtyvät Hämeenlinnassa ja Toijalassa, lisäksi osa vuoroista pysähtyy myös Lempäälässä. Taajamajunat pysähtyvät Ryttylässä, Turengissa, Hämeenlinnassa, Parolassa, Iittalassa, Toijalassa, Viialassa ja Lempäälässä.

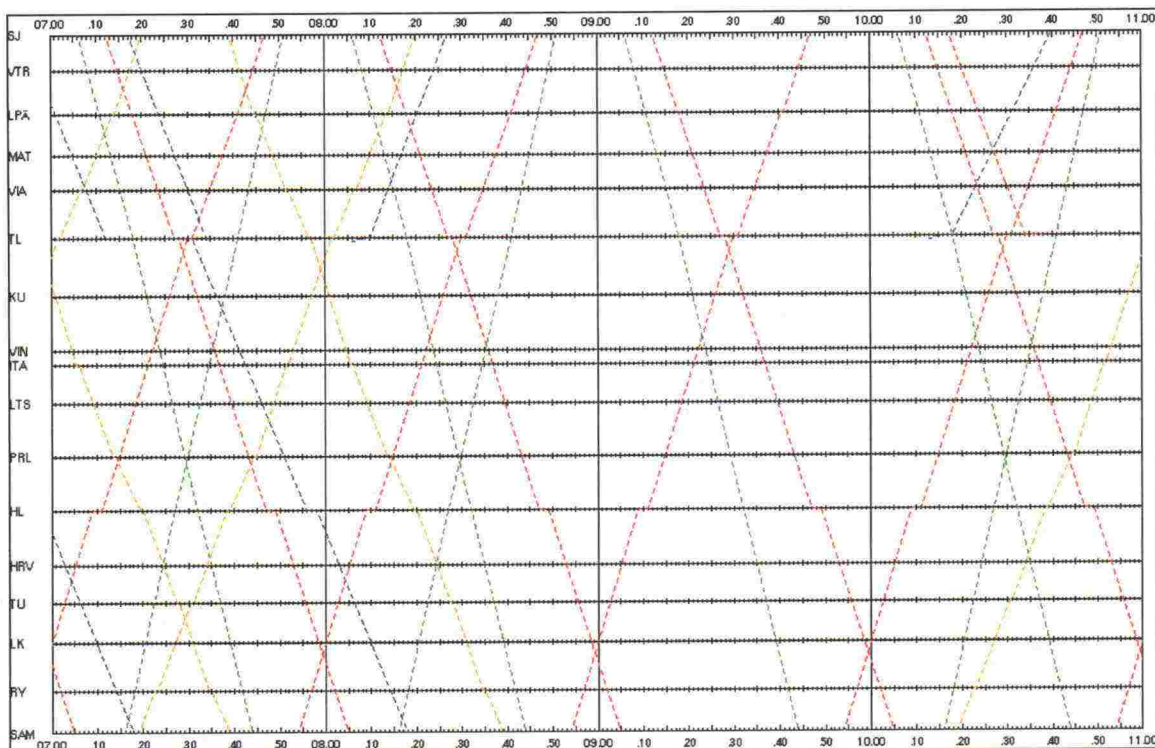
Simulointiajankohdaksi valittiin aamu, jolloin alueella liikkuu paljon henkilöjunia. Henkilöjunien simulointi aloitettiin kello 6:00 ja simulointia jatkettiin kello 14:00 asti. Mallinnusajanjakson pituus perustui siihen, että tavarajunia oli tarkoitus syöttää malliin noin kello 7:00–11:00. Ennen ensimmäistä tavarajunaa mallissa olisi hyvä olla jo junia, joilla on mahdollisuus joutua konfliktiin jossain vaiheessa matkaa tavarajunien kanssa. Lisäksi mallinnusta tulee jatkaa niin pitkään, että viimeinenkin tavarajuna on päässyt mallin loppuun, jotta tavarajunan kulusta saadaan kokonaistulokset. Uusia henkilöjunia syötettiin malliin niin kauan, että kaikki vaihtoehtoiset junat ehtivät saapua perustilanteessa mallin loppuun.

Henkilöjunat numeroitiin mallinnustulosten käsittelyn helpottamisen vuoksi uudella tavalla. Parittomat junat kulkevat pohjoiseen ja parilliset junat kulkevat etelään kuten todellisessa liikenteessäkin. Henkilöjunien mallinnusnumerot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Henkilöjunien numerointi simulointimallissa.

Jununumero	Selite
1x	Pendolinot, pohjoiseen
2x	Pendolinot, etelään
3xx	Pika- ja Intercity-junat, pohjoiseen
4xx	Pika- ja Intercity-junat, etelään
5xxx	Turusta tulevat henkilöjunat
6xxx	Turkuun menevät henkilöjunat
9xxx	Taajamajunat (pariton = pohjoiseen, parillinen = etelään)

Kuvassa 9 on esitetty henkilöjunien graafinen aikataulu kello 7:00–11:00. Intercity-junien aikatauluviiva on piirretty punaisella, Pendolinojen vihreällä, pikajunien sinisellä ja taajamajunien keltaisella. Pystyakselilla on lueteltu liikennepaikat ja vaaka-akselilla kellonaika. Mallin eteläisin liikennepaikka Sammalisto (SAM) on kaikkein alimpana pystyakselilla ja pohjoisin liikennepaikka Säöksjärvi (SJ) ylinnä. Henkilöjunien tarkemmat aikataulut on esitetty liitteissä 2–3.



Kuva 9. Henkilöjunien graafinen aikataulu kello 7:00–11:00.

Suurin osa mallinnusajankohdan junista noudattaa vakioaikataulurakennetta. Esimerkiksi Toijalasta etelään kulkevat Intercity-junat pysähtyvät asemalla yleensä 27–28 minuuttia yli tasatunnin ja pohjoiseen kulkevat Intercity-junat 30–31 minuuttia yli tasatunnin. Kaikkia junia ei kuitenkaan ajeta joka tunti. Esimerkiksi pohjoiseen kulkevat Pendolinot ohittavat Toijalan yleensä 41 minuuttia yli tasatunnin, mutta junavuoroa, joka ohittaisi Toijalan 9:41, ei ole. Tämä näkyy vihreän viivan puuttumisena graafisessa aikataulussa. Alueella liikkuu myös yksittäisiä junia, kuten yöpikajunia.

Simulointimallissa jokaiselle junalle määritettiin aika, jolloin juna ilmestyy ja poistuu mallista. Lisäksi jokaiselle henkilöjunalle määritettiin saapumis- ja lähtöajat niille asemille, joilla juna pysähtyy. Mikäli junan aikataulu sisältää paljon ylimääräistä pelivaraa, juna saattaa saapua asemalle reilusti ennen aikataulunmukaista saapumisaikaa. Juna ei kuitenkaan voi lähteä liikkeelle ennen lähtöaikaansa. Tämä pätee kuitenkin vain junille, jotka on määritelty pysähtymään asemalla. Pendolinot eivät pysähdy lainkaan mallinnusalueella, mutta niille asetettiin ohitusajat Hämeenlinnaan ja Toijalaan junien kulunseurantaa varten.

Henkilöjunille määriteltiin saapumis- ja lähtöaikojen lisäksi minimipysähdysajat matkustajapalvelua varten. Näin varmistettiin, että juna varmasti pysähtyy asemalla,

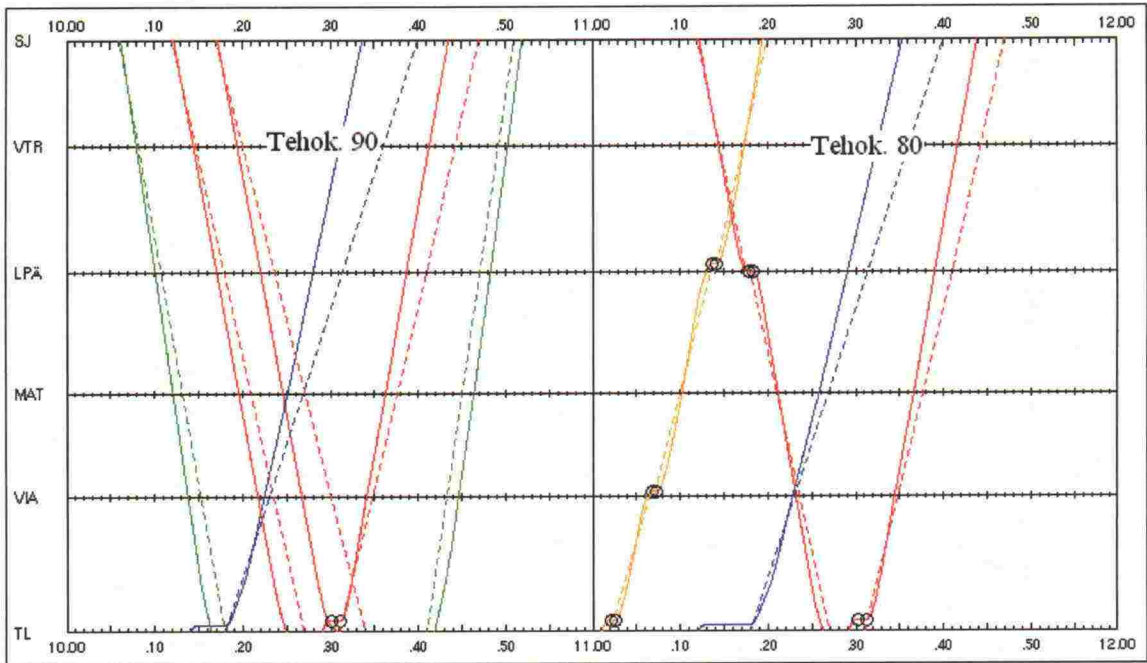
mikäli se saapuu sinne myöhässä. Taajamajunan pysähdysaika on aikataulussa jokaisella asemalla 30 sekuntia, joten tätä arvoa käytettiin myös minimipysähdysaikana. Intercity-junien minimipysähtymisajaksi asetettiin Toijalaan ja Hämeenlinnaan 60 sekuntia ja Lempäälään 30 sekuntia. Intercity-junien pysähtymisaika on aikataulun mukaan Hämeenlinnassa 120 sekuntia, joten asemalle hieman myöhässä saapuvalla junalla on periaatteessa mahdollisuus kuroa aikataulua umpeen lyhyemmällä pysähtymisellä. Yöjuna pysähtyy vain Toijalassa ja Hämeenlinnassa. Sen minimipysähdysajaksi asetettiin 120 sekuntia.

5.4.2 Tehokertoimen muokkaus

Turun ja Toijalan välisen rataosuuden parannustöiden vuoksi joillain Turun suunnasta tulevilla junilla on aikataulussa paljon pelivaraa myös Toijalan ja Tampereen välillä. Mikäli juna on myöhästynyt ratatöiden vuoksi, se ehtii kuroa aikataulua kiinni ainakin jonkin verran ennen Tamperetta. Junat kulkivat mallissa reilusti suuremmalla nopeudella kuin mitä aikataulussa pysyminen edellyttäisi, sillä simulointimalli pyrkii ajattamaan junat mahdollisimman nopeasti määräasemalle junan teknisten ominaisuuksien ja tehokertoimen puitteissa.

Niiden junien, joiden aikatauluissa oli runsaasti pelivaraa, tehokerrointa laskettiin, jotta junat kulkisivat aikataulussa ollessaan paremmin aikatauluviivansa mukaisesti. Toinen vaihtoehto olisi ollut mallintaa osa vuoroista erilaisella kalustolla, jolla on alhaisempi nopeusrajoitus. Tällöin kalusto olisi joutunut kulkemaan alhaisemmalla nopeudella myös myöhästymistilanteessa. Nyt myöhästymistilanteen tehokerroin voitiin pitää samana kuin muilla junilla. Näin junat ajoivat tarkemmin aikataulun mukaisesti, mutta mahdollisessa myöhästymistilanteessa niillä oli mahdollisuus ajaa nopeammin. Muutos koski pikajunia 5809 (P809) ja 5811 (P811).

Kuvassa 10 on havainnollistettu tehokertoimen vaikutusta junan kulkuun. Kuvan vaakakselilla on esitetty aika ja pystyakselilla liikennepaikat Toijalasta (TL) Sääksjärvelle (SJ). Junien aikatauluviiva on piirretty katkoviivalla. Yhtenäinen viiva kuvaa simuloitua junan kulkua. Junat, joiden tehokertoimen vaikutusta tutkittiin, ovat pikajunia, joiden aikatauluviiva on sininen.

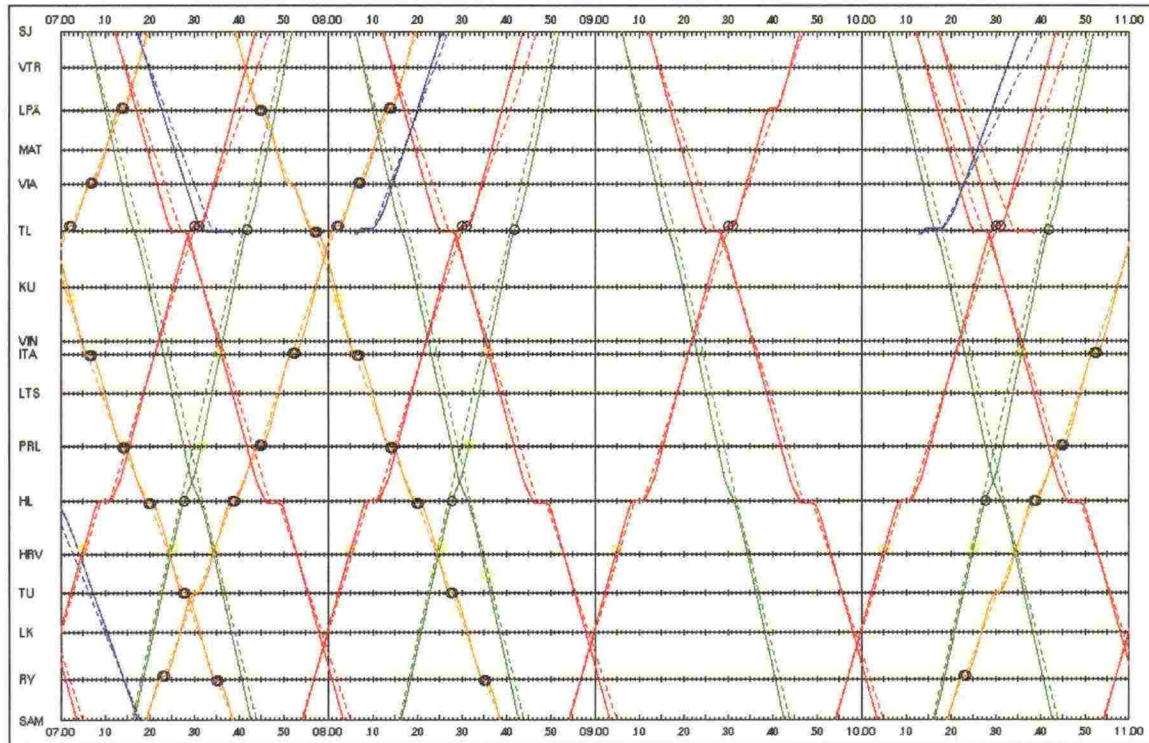


Kuva 10. Tehokertoimen vaikutus junan kulkuun.

Vasemmanpuoleisen pikajunan 5809 tehokerroin on 90 prosenttia, jolloin juna saapuu mallin loppuun Sääksjärvelle lähes seitsemän minuuttia etuajassa. Oikeanpuoleisen junan 5811 tehokerroin laskettiin 80 prosenttiin, jolloin juna saapuu vajaa viisi minuuttia etuajassa Sääksjärvelle. Vaikka juna 5811 oli reilusti ajoissa 80 prosentinkin tehokertoimella, ei tehokerrointa laskettu tästä alemmaksi, jotta junan kulussa ei olisi kovin suurta eroa myöhästymistilanteen ja tavallisen tilanteen välillä. Junien 5809 ja 5811 tehokerroin oli siten 80 prosenttia perustilanteessa ja myöhästymistilanteessa 96 prosenttia. Kaikkien muiden junien vastaavat tehokertoimet olivat 90 ja 96 prosenttia.

5.4.3 Henkilöjunien simulointi

Kuvassa 11 on esitetty pelkkien henkilöjunien simuloinnin lopullinen tulos kello 7:00–11:00. Pystyakselilla on esitetty liikennepaikat ja vaaka-akselilla aika. Eteläisin liikennepaikka on Sarmalisto (SAM) ja pohjoisin liikennepaikka Sääksjärvi (SJ). Katkoviiva kuvastaa suunniteltua aikataulua ja yhtenäinen viiva simuloitua aikataulua. Intercity-junien aikatauluviiva on piirretty punaisella, Pendolinojen vihreällä, pikajunien sinisellä ja taajamajunien keltaisella. Viivojen välinen etäisyys kertoo, kuinka paljon etuajassa tai myöhässä juna on ollut. Ympyrät aikatauluviivojen päällä kuvastavat myöhästymisiä.



Kuva 11. Pelkkien henkilöjunien simuloinnin tulos kello 7:00–11:00.

Saman junatyypin saman pysähtymiskäyttäytymisen omaavien junien simulointitulokset on sama, mikäli junien kulkuun ei vaikuta mikään toinen juna. Esimerkiksi punaisella viivalla piirrettyjen Intercity-junien, jotka lähtevät Sammalistosta 7:54 ja 8:54, ajoaika on sama Hämeenlinnaan ja Toijalaan ajettaessa. Toijalan jälkeen aiemmin lähtenyt Intercity ajaa suoraan Sääksjärvelle, jossa se on muutaman minuutin etujassa. Sammalistosta 8:54 lähtenyt vuoro puolestaan pysähtyy aikataulunsa mukaisesti Lempäälässä, mikä näkyy graafisessa aikataulussa lyhyenä vaakasuorana viivana Lempäälän (LPÄ) aseman kohdalla. Sääksjärvelle juna saapuu likimain aikataulunsa mukaisesti, eli pari minuuttia myöhemmin kuin juna, joka ajoi pysähtymättä Lempäälän ohi.

Junien aikataulut saatiin aikataulusuunnitteluohjelma Viriatosta, jossa junien tarkat aikataulut pitävät paikkansa ainoastaan pysähtymisasemilla. Muilla liikennepaikoilla aikataulut on pyöristetty lähimpään tasa- tai puoliminuuttiin. Tämän seurauksena junien aikatauluissa on epätarkkuuksia. Esimerkiksi joillain liikennepaikkaväleillä junan aikataulun mukainen nopeus saattaa olla reilusti suurempi kuin verkolla tai ylipäättään kyseisellä kalustolla olisi mahdollista ajaa ja joillain väleillä vastaavasti alhaisempi.

Pendolinot eivät pysähdy lainkaan mallinnusalueella, joten niiden aikatauluissa oli eniten epätarkkuutta. Niiden keskimääräinen aikataulun mukainen nopeus on välillä Tikkurila–Tampere noin 154 km/h. Junien nopeus ei ole kuitenkaan tasainen koko matkalla, sillä alueella on kohtia, joissa on alhaisempi nopeusrajoitus, ja toisaalta välillä verkolla voi ajaa huippunopeutta 200 km/h. Aikataulun epätarkkuuden vuoksi pohjoiseen kulkevat Pendolinot ohittivat Hämeenlinnan ja Toijalan simuloinneissa aina myöhässä. Myöhästyminen oli hieman alle minuutin luokkaa. Koska kyseessä oli hyvin pieni ero, Pendolinojen ohitusaikoja ei muutettu.

Myös muiden junien aikatauluajoissa on hieman epätarkkuutta. Suomessa aikataulut laaditaan minuutin tarkkuudella, joten pienet myöhästymiset ovat simulointimallissa hyväksyttävissä. Tämä vuoksi henkilöliikenteen aikatauluja ei muutettu Viriaton ajoista. Pienet erot todellisessa ja simuloitussa aikataulussa eivät haittaa, kun samat erot toistuvat kaikissa tutkituissa aikatauluissa ja aikatauluvaihtoehtoja vertaillaan suhteellisesti.

5.5 Tavarajunien mallintaminen

5.5.1 Tavarajunien aikataulut

Tavarajunien aikataulujen suunnittelu ja mallinnus on haasteellista, sillä tavarajunien kokoonpanot vaihtelevat suuresti. Aikataulut laaditaan yleensä aina maksimikokoonpanoille. Mikäli junassa on normaalia vähemmän vaunuja ja junan kokonaispaino on alhaisempi, voi juna liikkua jopa reilusti edellä aikataulustaan. (Hovi ja Paasikivi 2007.)

Yhteensovittamisessa lähdettiin liikkeelle tilanteesta, jossa tavarajunille toivotaan aikatauluviivaa noin puolen tunnin välein noin kello 7:00–11:00 välillä. Lisäksi Toijalan ja Tampereen välillä kulkee kaksi Turun tavarajunaa molempiin suuntiin aamun aikana. Tilanne on kuvitteellinen, sillä simulointityötä tehtäessä mikään kuljetusyritys ei ollut vielä hakenut ratakapasiteettia säännöllistä liikennettä varten. Junamäärän taustalla ovat kuitenkin todelliset kuljetusyritysten arviot tulevaisuuden kuljetustarpeista (Nieminen 2007). Junille etsittiin sopivia ajovälejä henkilöjunien väleistä. Koska henkilöjunia liikkuu mallinnusajankohdan aikana paljon, ne rajaavat melko tarkasti, mihin väliin tavarajunia mahtuu. Suurin osa tavarajunista joutuu pysähtymään vähintään kerran matkan aikana päästääkseen nopeamman henkilöjunan ohitseen.

Tavarajunien aikataulusuunnittelussa otettiin mallia Viriaton nykyisistä tavarajunista, jotka kulkevat noin 70–80 km/h nopeudella. Juna voi kahden liikennepaikan välillä joko ajaa suoraan molempien liikennepaikkojen ohi, pysähtyä toisessa tai pysähtyä molemmissa liikennepaikoissa. Kaikille näille vaihtoehdoille tulee laatia oma aikataulunsa, joissa on huomioitu pysähtymiset ja liikkeellelähdet ajominuutteja lisäämällä. Nykytilanteen aikataulusta saatiin tietää sopivat ajoajat osalle liikennepaikkaväleistä eri pysähtymistavoilla. Viriatossa ei kuitenkaan ollut kaikkia mahdollisia yhdistelmiä eri asemilla pysähtyville junille. Uusille reiteille arvioitiin ajat Viriatoon olemassa olevien reittien ajoaikojen mukaan ja ajoajat tarkistettiin simuloinnin avulla.

Vaikka simulointimalli alkoi Sääksjärven ja Sammaliston kohdilta, huomioitiin aikatauluissa myös Riihimäen ja Tampereen asemat. Koska Sääksjärven ja Tampereen sekä Riihimäen ja Sammaliston välillä on kolme raidetta, osa junista saapuu malliin kolmannelta raiteelta, tai poistuu mallista kolmannelle raiteelle. Tavarajunat kulkevat pääraidetta pitkin vain, mikäli kolmas raide on varattu toiselle tavarajunalle. Esimerkiksi kaikki Riihimäeltä pohjoiseen lähtevät tavarajunat kulkevat kolmatta raidetta pitkin Sammalistoon asti, mutta osa etelään kulkevista junista joutuu kulkemaan pääraidetta pitkin, koska kolmannelta raiteelta on tulossa samaan aikaan vastaan pohjoiseen kulkeva tavarajuna.

5.5.2 Tavarajunien pysähtymisajat ja odotussäännöt

Tavarajunien pysähtymiskäyttäytymisen lähtökohtana oli, että tavarajunat pysähtyvät tutkimusvälillä ainoastaan päästääkseen nopeamman henkilöjunan ohitseen. Tavarajunien pysähtymisajoissa ei siten tarvinnut ottaa huomioon lastaus- tai purkutoimien vaatimia aikoja. Näin ollen tavarajunille ei määritelty minimipysähtymisaikoja kuten henkilöjunille. Tavarajunille asetettiin saapumis- ja lähtöajat pysähdysasemille, sekä junan ilmestymisaika malliin ja poistumisaika mallista.

Pysähtymisaikojen lisäksi tavarajunille asetettiin aikatauluun ohitusajat Hämeenlinnan ja Toijalan asemille. Ohitusaikojen asettaminen mahdollistaa tulosten saamisen helposti myös väliasemilta. Lisäksi ohitusaikojen perusteella ohjelma tietää, kulkeeko juna aikataulussaan. Mikäli tavarajunille ei olisi asetettu ohitusaikoja väliasemille, ohjelma olisi laittanut myöhässä olevan junan kulkemaan 96 prosentin teholla mallin loppuun tai pysähtymiseen asti, vaikka vauhdin kiristäminen olisi saattanut riittää pelkästään alkumatkasta.

Tavarajunille asetettiin pysähdysasemille odotussääntöjä, joiden perusteella tavarajunat odottavat henkilöjuna. Odotussääntöjä tarvittiin häiriötilanteiden mallintamisessa, jotta tavarajuna ei lähtisi asemalta ennen kuin mahdollisesti myöhässä asemalle saapunut henkilöjuna on ohittanut aseman tai lähtenyt asemalta liikkeelle. Odotusajan minimiksi asetettiin 10 sekuntia. Näin tavarajuna pääsee myöhästymistilanteessa lähtemään välittömästi henkilöjunan perään, kun kulkutie vapautuu. Odotusajalle ei määritelty mitään maksimia, joten tavarajuna odottaa, kunnes väistettävä juna on ohittanut aseman.

Etelän suuntaan kulkeville tavarajunille koetettiin asettaa odotussääntöjä myös vastaantulevaa liikennettä varten, sillä junat pysähtyivät tutkimusalueen liikennepaikoilla itäisen raiteen puolella olevilla sivuraiteilla. Tällöin etelään kulkeva juna joutuu asemalta lähtiessään ajamaan itäisen raiteen kautta läntiselle raiteelle, eli vastakkaiseen suuntaan kulkevien junien raiteen kautta. Asemalta lähtevä juna voi varata kulkutien jopa useiksi minuuteiksi.

Vastaantulevan junan odotussäännön määrittäminen ei kuitenkaan onnistunut, sillä tavarajuna laski odotusajan siitä hetkestä, jolloin tavarajuna saapui asemalle. Odotusajaksi olisi pitänyt sen vuoksi määrittää tavarajunan normaalin pysähtymisajan lisäksi haluttu ylimääräinen odotusaika. Tällöin ongelmaksi kuitenkin muodostui se, että mikäli henkilöjuna ei saapunut odotusajan aikana, tavarajuna odotti määritetyn ylimääräisen ajan, mutta lähti sitten liikkeelle riippumatta henkilöjunan sijainnista. Ohjelma ei siis kyennyt laskemaan etukäteen, milloin henkilöjuna saapuu asemalle, ja lähettämään tavarajunaa sen perusteella joko ennen henkilöjunan saapumista tai henkilöjunan saapumisen jälkeen, vaan lähetti tavarajunan liikkeelle odotusajan päätyttyä odotettavan junan sijainnista riippumatta.

Vaikka odotusajan määrittäminen vastaantulevalle liikenteelle ei onnistunut, tämä ei ole suuri puute, sillä suoraan kulkeva juna varaa kulkutietä pitkän matkaa eteenpäin. Mikäli juna on vain hieman myöhässä, se on jo ehtinyt varata kulkutien asemalle saakka, eikä tavarajuna voi kiilata eteen, ennen kuin vastaantuleva juna on saapunut asemalle ja vapauttanut kulkutien perässään. Mikäli juna taas on niin kaukana, ettei se ole ehtinyt

varata kulkutietä asemalle asti, tavarajuna saattaa ehtiä vaihdekujan läpi ennen kuin vastaantulevan junan olisi edes tarvetta varata kulkutie.

5.5.3 Tavarajunien simulointi

Varsinainen simulointitutkimus aloitettiin simuloimalla yksittäisiä junia, joista on mahdollista muodostaa erilaisia aikatauluja. Yksittäisten tavarajunien simuloinneissa olivat mukana vain reunaehdot asettavat henkilöjunat sekä tarkastelun kohteena oleva juna. Näin pystyttiin varmistamaan kunkin tavarajunan aikataulun toimivuus tilanteessa, jossa tavarajuna liikkuu vain henkilöjunien asettamien reunaehto- jen mukaisesti.

Simuloinnissa havaittiin, että joidenkin junien aikataulut oli laadittu Viriatolla liian tiukoiksi, sillä Viriaton lisenssissä, joka Ratahallintokeskuksella on käytössä, ei ole mukana pysähtymiseen, lähtemiseen ja kiihdyttämiseen kuluva-aikaa. Aikataulu- suunnittelijan tulisi itse huomioida tämä ja lisätä lisäminuutteja pysähtymistä varten. Suunnittelijalla ei kuitenkaan ole välttämättä tarkkaa tietoa pysähtymiseen ja kiihdyttämiseen kuluva- ajoista. Ratahallintokeskuksen vastuulle jää, että myönnettyissä aikatauluissa on riittävästi pelivaraa ohitustilanteita varten.

Niiden tavarajunien aikatauluja, joissa oli ongelmia, muutettiin. Mikäli aikavälillä ei ollut enempää tilaa lisätä ajominuutteja junan aikatauluun, junan pysähtymis- käyttäytymistä muutettiin tai juna poistettiin. Viriatolla laaditun aikataulun tarkistamista jatkettiin, kunnes kaikki junat pystyivät kulkemaan verkolla ilman, että ne aiheuttivat häiriöitä henkilöliikenteelle. Näistä junista muodostettiin erilaisia aikatauluvaihtoehtoja. Osa junista on samoja kaikissa vaihtoehtoissa, sillä henkilöjunien välistä ei löytynyt riittävästi tilaa muodostaa erilaisia aikatauluja.

Yksittäisten junien simuloinnin jälkeen junista muodostettiin erilaisia aikataulu- vaihtoehtoja. Aikatauluvaihtoehdot simuloitiin ensin ilman mitään häiriöitä, jolloin varmistuttiin siitä, että aikataulut on laadittu oikein. Tämän jälkeen toteutettiin häiriötilannesimuloinnit.

5.6 Häiriötilanteiden simulointi

Aikatauluvaihtoehtoja simuloitiin erilaisissa häiriötilanteissa ja koetettiin tutkia, onko vaihtoehtojen välillä eroja. Tutkittavat häiriötilanteet pyrittiin valitsemaan niin, että ne kuvaavat parhaimmalla mahdollisella tavalla erilaisia todellisuudessa tapahtuvia häiriöitä. Häiriötilanteiden valintaa varten haastateltiin Tampereen liikenteenohjaus- keskuksen henkilökuntaa ja kysyttiin tutkimusalueelle tyypillisistä ongelmatilanteista (Mikkola ja Nieminen 2007). Häiriötilanteista päädyttiin simuloimaan tapaukset, jotka on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Toteutettavat häiriötilanteet.

Raide poissa käytöstä	Raide voi olla poissa käytöstä esimerkiksi radan kunnossapidon, onnettomuuden tai rataosalle hajonneen kaluston vuoksi. Kaksi- ja tai useampiraiteisella rataosuudella liikennettä voidaan jatkaa ohjaamalla kaikki junat käytössä olevan raiteen tai raiteiden kautta.
Opastin punaisella	Tilanteessa, jossa opastin on rikki ja näyttää punaista, liikenteenohjaaja voi antaa junankuljettajalle poikkeusluvan ohittaa punainen opastin. Tällöin junan tulee kuitenkin ajaa korkeintaan 10 km/h valvontanopeudella seuraavalle opastimelle tai toistobalisille saakka.
Vaihteet eivät käänny	Vaihteet voivat jumitua paikalleen esim. huonon sään vuoksi. Raiteiden oletusasento on yleensä suoraan pääraiteita pitkin. Tällöin sivuraiteita käyttävien junien ajoreitti tulee järjestää uudelleen. Esimerkiksi ohitustilanteet pitää järjestää toisella liikennepaikalla.
Alkumyöhästymiset	Junaliikenteelle on ominaista, että häiriöt jossain verkon osassa heijastuvat muualle rataverkkoon. Määrittämällä malliin alkumyöhästymisiä, voidaan jäljitellä häiriöitä muualla verkossa.
Kalusto-ongelmat	Mikäli Pendolinojen yhteenkytkennässä on ongelmia, junayksiköt ajetaan peräkkäin muutaman minuutin vuorovälillä. Mikäli Pendolinojen kallistus ei toimi, niillä saa ajaa normaalin huippunopeuden 200 km/h sijasta korkeintaan 160 km/h.
Yhdistetyt häiriötilanteet	Verkolla voi tapahtua samanaikaisesti myös useita erilaisia häiriöitä, jotka vaikuttavat junien kulkuun. Simuloinnissa voidaan toteuttaa myös yhdistettyjä häiriötilanteita, kuten alkumyöhästymiset ja kalusto-ongelmat samassa mallissa.

Kuudennessa luvussa on esitetty tarkemmin esimerkkejä junien kulun tarkasteluista sekä siitä, miten lopulliset aikatauluehdotukset muodostuivat. Kappaleessa on esitelty tarkemmin myös tutkitut häiriötilanteet, häiriötilannesimuloinnin tulokset sekä aikatauluvaihtoehtojen vertailun tulokset.

6 TAPAUSTUTKIMUKSEN TULOKSET

6.1 Tavarajunien aikataulujen tarkastaminen

6.1.1 Esimerkki tavarajunien ajoaikojen tarkastamisesta

Viriatosta saatiin valmiit ajoajat vain osalle liikennepaikkaväleistä. Loput välit tuli arvioida olemassa olevien aikataulujen perusteella. Kaikki pysähtymiskäyttäytymiseltään erilaiset tavarajunat simuloitiin niin, että mukana olivat vain reunaehdot asettavat henkilöjunat sekä tarkastelun kohteena oleva tavarajuna. Näin varmistuttiin siitä, että tavarajuna voi pysyä aikataulussaan eikä häiritse henkilöjunien kulkua. Seuraavaksi on esitetty esimerkki tavarajunan aikataulun tarkistamisesta.

Pendolino ja taajamajuna kulkevat peräkkäin etelästä pohjoiseen. Pendolino ohittaa Riihimäen noin kello 10:14 ja taajamajuna lähtee sieltä 10:16. Junien ajoväli on aluksi niin pieni, ettei siihen mahdu tavarajunaa. Junien välimatka kuitenkin kasvaa jatkuvasti, sillä taajamajuna ajaa paljon hitaammin kuin Pendolino ja pysähtelee useilla asemilla. Parolan ja Toijalan välissä junien välimatka on jo niin pitkä, että Viriatolla tehdyn aikataulun perusteella siihen voisi myöntää ratakapasiteettia yksittäiselle tavarajunalle, jonka huippunopeus on 80 km/h.

Tavarajunan tulee siis lähteä Riihimäeltä ennen Pendolinoa, pysähtyä Parolassa ja päästää siellä Pendolino ohitseen. Tämän jälkeen tavarajuna ajaa Pendolinon perässä ennen taajamajunaa Toijalaan. Toijalassa tavarajuna päästää myös taajamajunan ohitseen. Ennen Parolaa tavarajunalla on riittävästi aikaa, samoin Toijalasta eteenpäin. Parolan ja Toijalan välinen osuus on ratkaiseva, koska Pendolinon ja taajamajunan välissä ei ole kovin paljoa aikaa käytettävissä. Simuloinnin avulla tarkasteltiin, mahtuuko tavarajuna kulkemaan Pendolinon ja taajamajunan välissä Parolasta Toijalaan.

Pendolino ohittaa Parolan Viriatosta katsotun aikataulun mukaan noin 10:30. Nykytilanteen simuloinnissa havaittiin, että toteutunut ohitusaika on noin minuutin myöhäisempi. Taajamajuna puolestaan pysähtyy Toijalassa 11:01:30–11:02. Nämä ovat reunaehdot, jotka säätelevät tavarajunan mahdollisen aikataulun. Mikäli tavarajuna aikataulutetaan lähtemään Parolasta mahdollisimman pian Pendolinon jälkeen ja juna pystyy ajamaan Parolan ja Toijalan välin noin 27 minuutissa, se saapuisi Toijalaan riittävän ajoissa ennen taajamajunaa. Tämä edellyttäisi kuitenkin ajoa nopeudella 70 km/h. Aikataulu saattaa olla liian tiukka, sillä mukaan tulee vielä kiihdytys pysähdyksistä Parolassa sekä pysähtyminen Toijalassa.

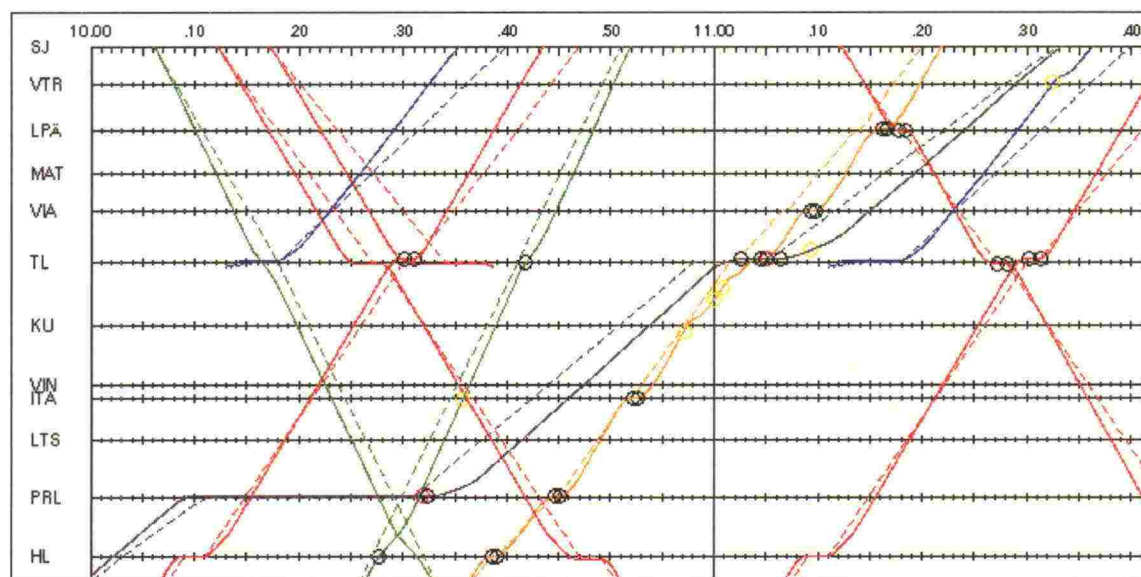
Taulukossa 7 on esitetty tutkittavan tavarajunan sekä tavarajunan perässä kulkevan taajamajunan aikataulut ja simulointitulokset. Tavarajuna lähtöaika Riihimäeltä on 9:30, joten tavarajuna syötettiin malliin 9:34. Tavarajuna saapui Parolaan hieman etuajassa. Tavarajunan tulee saapua Parolaan jo hyvissä ajoin ennen Pendolinoa, sillä Pendolinon edellä kulkee Intercity, jota tavarajuna joutuu myös väistämään. Kun Intercity ja Pendolino olivat ohittaneet Parolan, tavarajuna lähti ajamaan Pendolinon perään. Tavarajuna pääsi lähtemään kuitenkin vasta yli minuutin päästä aikataulunsa mukaisesti ajasta, sillä Pendolino oli hieman yli minuutin myöhässä ja kulkutien vapautuminen kesti jonkin aikaa.

Taulukko 7. Tavaraja- ja taajamajunan suunnitellut ja simuloidut aikataulut.

Liikenne- paikka	Tavarajuna				Taajamajuna		
	SUUNNITELTU		TOTEUTUNUT		SUUNN.	TOTEUTUNUT	
	Kellon- aika	v (km/h)	Kellon- aika	Ero (sek)	Kellon- aika	Kellon- aika	Ero (sek)
Riihimäki	9:30		-		10:16	-	
Sammalisto	9:34	45	9:34:00		10:19	10:19	
Hämeenlinna	10:03	69	10:02:09	-51	10:39	10:39:06	6
Parola (tulo)	10:11	62	10:09:30	-90	10:44:30	10:44:39	9
Parola (lähtö)	10:31		10:32:24	84	10:45	10:45:09	9
Toijala (tulo)	10:58	70	11:02:36	276	11:01:30	11:04:27	177
Toijala (lähtö)	11:05		11:06:24	84	11:02	11:04:57	177
Sääksjärvi	11:33	65	11:33:24	24	11:20	11:21:54	114

Tavarajuna ei ehtinyt Toijalaan ajoissa, vaan se saapuu perille yli neljä minuuttia myöhässä. Tavarajunan myöhästyminen myöhästytti myös perässä tulevaa taajamajunaa. Taajamajuna saapui Toijalaan 177 sekuntia myöhässä ja jatkoi matkaansa minimipysähtymisajan jälkeen, edelleen 177 sekuntia myöhässä. Tavarajunan pääsi lähtemään Toijalasta taajamajunan perään reilun minuutin myöhässä.

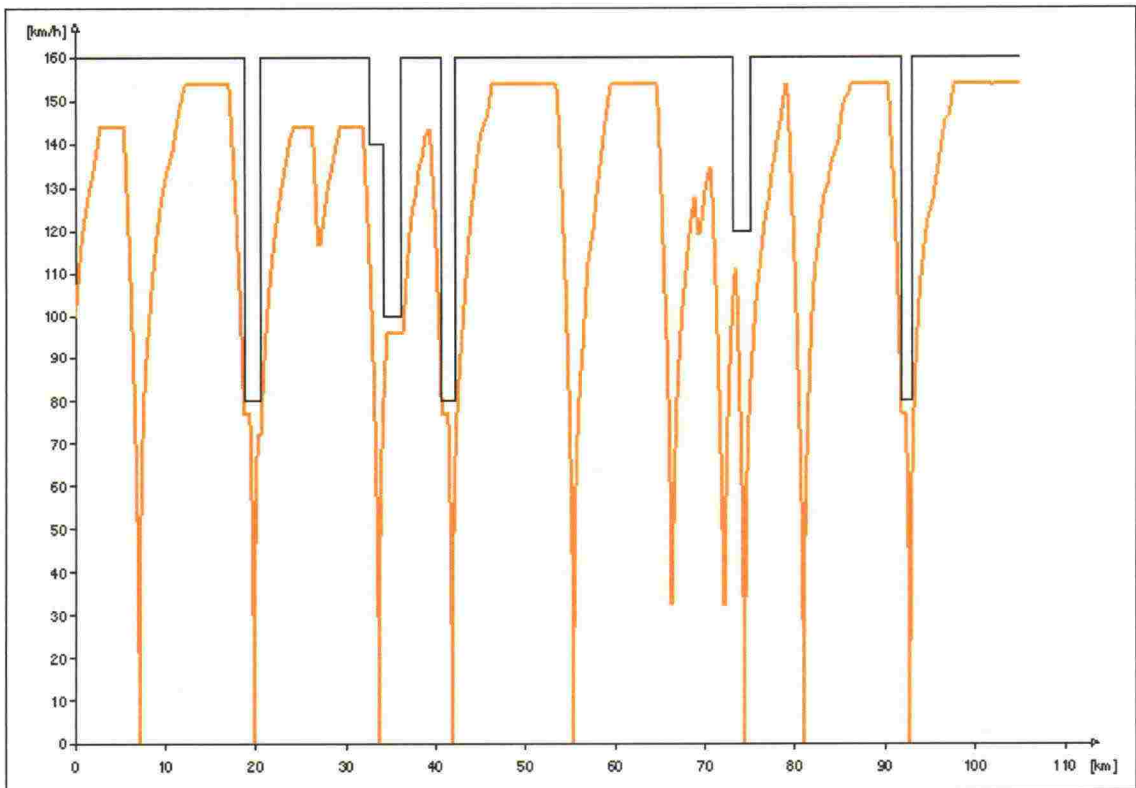
Kuvassa 12 on esitetty simuloinnin tulos graafisena aikatauluna. Vaaka-askelilla on aika ja pystyakselilla liikennepaikat Hämeenlinnasta (HL) Sääksjärvelle (SJ). Junien suunniteltu aikataulu on esitetty katkoviivalla ja simuloitu kulku yhtenäisellä viivalla. Pendolinon aikatauluviiva on vihreä, taajamajunan keltainen, Intercityn punainen, pikajunan sininen ja tavarajunan harmaa.



Kuva 12. Tavarajunan ajoaikataulukastelun tulos graafisena aikatauluna.

Taajamajuna ei saa kurottua aikatauluun täysin kiinni välillä Toijala–Sääksjärvi, sillä sen tulee pysähtyä Lempäälässä ja Viialassa matkustajien takia. Taajamajuna saapuu mallin loppuun Sääksjärvelle 114 sekuntia myöhässä. Tavarajunan ei tarvinnut enää pysähtyä ja se ajoi suuremmalla tehokertoimella, joten se sai kurottu aikataulunsa melkein kokonaan umpeen. Tavarajuna on Sääksjärvellä enää 24 sekuntia myöhässä.

Taajamajunan kulku on esitetty tarkemmin kuvassa 13. Keltainen viiva kuvastaa taajamajunan kulkua ja musta viiva taajamajunan nopeusrajoitusta. Taajamajuna on saavuttanut tavarajunan noin 10 kilometriä ennen kuudetta eli Toijalan pysähdystä ja joutunut ajaa normaalia hitaammin tavarajunan perässä loppumatkan ennen Toijalaa.



Kuva 13. Taajamajunan etäisyys–nopeus-kuvaaja.

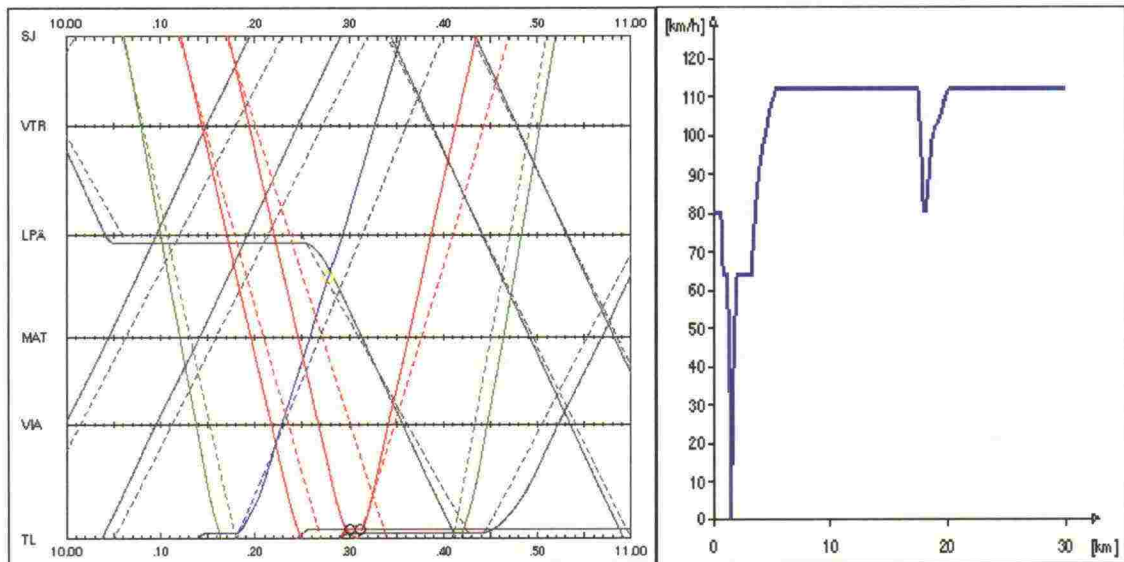
Simulointitarkastelu osoitti, että suunniteltu väli oli liian tiukka kyseiselle tavarajunalle. Vaikka tavarajuna ei mallin lopussa ollutkaan enää kovin paljon aikataulustaan myöhässä, se oli olennaisesti myöhässä Toijalassa, jossa se myöhästyi perässä kulkevaa taajamajunaa. Kaikki ajovälit tarkistettiin vastaavalla tavalla. Kaikki junat, jotka aiheuttivat viivytyksiä henkilöjunille tai eivät kyenneet pysymään annetussa aikataulussa, poistettiin tai niille etsittiin vaihtoehtoiset kulkureitit.

6.1.2 Vastakkaisiin suuntiin kulkevat junat

Junien tarkastelussa tuli huomioida myös vastakkaiseen suuntaan kulkevat junat. Seuraavaksi on esitetty esimerkki vastakkaisiin suuntiin kulkevien junien konfliktitarkastelusta.

Kuvitteellinen tavarajuna 40004 pysähtyy Lempäälässä väistääkseen siellä perässä tulevaa Pendolinoa, Helsinkiin kulkevaa Intercityä ja Turkuun kulkevaa Intercityä. Pendolino ohittaa Lempäälän noin 10:10 ja viimeisenä tuleva Turun Intercity 10:23. Tavarajunalle aikataulutettiin pysähtyminen Lempäälässä 10:06–10:25. Koska tavarajuna on pysähtyneenä itäisen raiteen vieressä olevalla kolmannella raiteella, se joutuu varaamaan itäistä raidetta päästäkseen kolmannelta raiteelta jatkamaan matkaa etelään. Vastakkaiseen suuntaan kulkee Turun pikajuna, joka ohittaa Lempäälän Viriaton mukaan noin 10:31. Tavarajunalla on siten vajaa kuusi minuuttia aikaa siirtyä sivuraiteelta pääraiteelle. Koska pikajuna varaa kulkutietä jo pitkän matkaa aikaisemmin, on aikaa todellisuudessa vähemmän.

Kuvassa 14 on esitetty simuloinnin tulos graafisena aikatauluna ja pikajunan etäisyys–nopeus-kuvaajana. Graafinen aikataulu kuvaa tilannetta Toijalan (TL) ja Sääksjärven (SJ) välillä kello 10:00–11:00. Junien aikatauluviivat on esitetty katkonaisella viivalla ja simuloitu kulku yhtenäisellä viivalla. Pikajunan kulku on esitetty graafisessa aikataulussa sinisenä, tavarajunan harmaalla, Pendolinojen vihreällä ja Intercity-junien punaisella.



Kuva 14. Tavarajunan ja pikajunan konfliktin tarkastelu.

Graafisesta aikataulusta nähdään, että tavarajuna on päässyt lähtemään aikataulunsa mukaisesti Lempäälästä. Vastaantuleva pikajuna on puolestaan kulkenut reilusti etuajassa, mikä näkyy katkoviivalla olevan aikataulutetun sekä yhtenäisellä viivalla piirretyn simuloitun viivan erona. Etäisyys–nopeus-kuvaajasta nähdään, kuinka pikajuna on joutunut hetkellisesti laskemaan nopeuttaan ennen Lempäälää, sillä tavarajuna varaa vielä raidetta silloin, kun pikajuna olisi varannut kulkutien. Tavarajuna ei kuitenkaan myöhästyttänyt pikajunaa, sillä pikajunalla oli hyvin löysä aikataulu. Pikajuna saapui Sääksjärvelle vain 15 sekuntia myöhemmin kuin tilanteessa, jossa ei ollut tavarajunaa.

Simuloinnin avulla tarkastettiin, olisiko tavarajunan mahdollista lähteä aikaisemmin Lempäälästä, jolloin vastaantulevan pikajunan ei tarvitsisi hidastaa. Tavarajunan lähtöajaksi laitettiin 10:24, minuutti ohittavan Intercityn jälkeen. Koska ohittava

Intercity oli reilusti ajoissa ja haluttiin tietää, onnistuuko tavarajunan lähtö minuutti ohittavan junan jälkeen, muutettiin myös ohittavan Intercityn lähtöaikaa. Lähtöaikaa siirrettiin Sääksjärvellä eteenpäin saman verran kuin juna oli etuajassa Lempäälässä, jolloin Intercityn ohitusaika Lempäälässä saatiin tarkalleen aikataulun mukaiseksi. Tällöin tavarajunan lähtö viivästyi hieman, sillä kulkutie ei vapautunut niin nopeasti edellä ajavan Intercityn perässä. Tavarajuna pääsi kuitenkin lähtemään aikaisemmin kuin tilanteessa, jossa lähtöaika oli 10:25, joten se ei häirinnyt vastaantulevan pikajunan kulkua. Simuloinnin perusteella nähtiin, että juna ei siis voida laittaa Lempäälässä lähtemään minuutin päästä ohittavan perään, vaan tarvitaan pitempi aika kulkutien vapautumiseen ja uuden kulkutien myöntämiseen.

Jotta tavarajuna ei häiritsisi vastaantulevaa juna, mutta ei myöskään itse myöhästyisi lähdössä, määritettiin tavarajunan lähtöajaksi aikatauluun 10:24:30. Tämä oli ainut tavarajunien aika, jossa oli käytössä puoliminuuttinen. Muiden tavarajunien aikataulu on määritetty minuutin tarkkuudella.

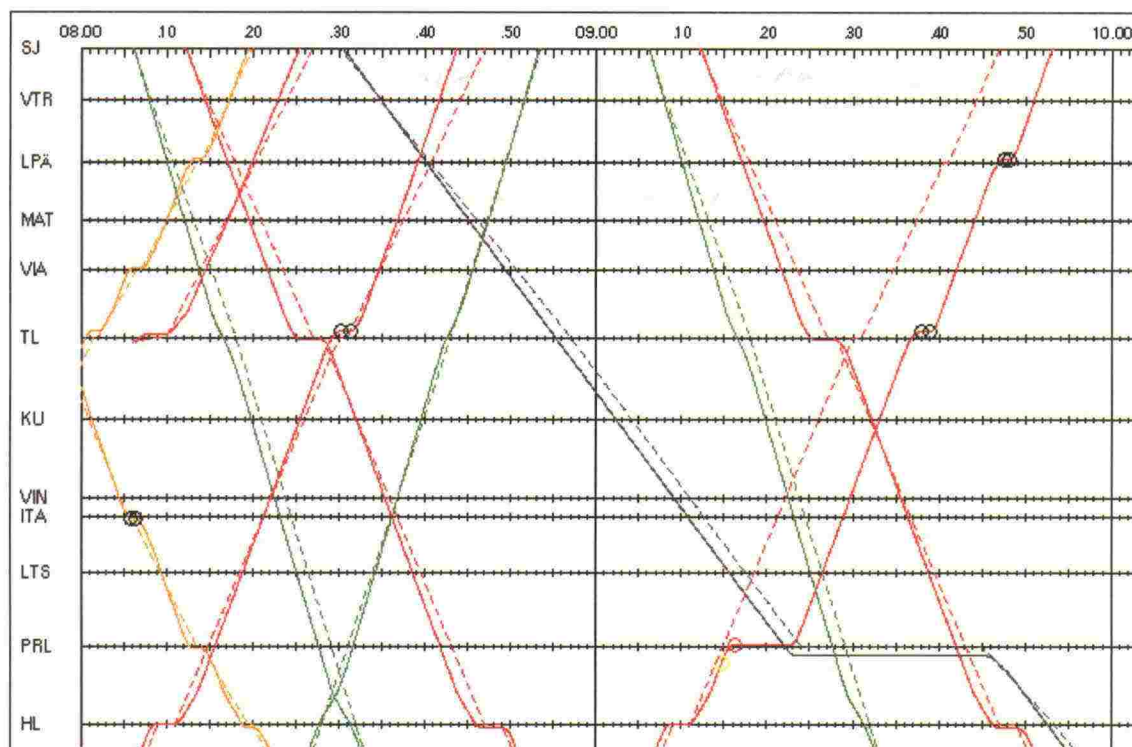
6.1.3 Parolan puolenvaihtopaikka

Suunnitelmiin oli laadittu muutamalle tavarajunalle aikataulu, jossa pohjoisesta tuleva juna pysähtyy Parolassa väistääkseen takaa tulevaa, nopeampaa henkilöjuna. Kuten muissakin tapaustutkimusalueen liikennepaikoissa myös Parolassa kolmas raide sijaitsee itäisellä puolella. Pohjoisesta saapuvan ja läntistä raidetta kulkevan junan tulee siis vaihtaa puolta ja kulkea itäisen raiteen kautta päästäkseen kolmannelle raiteelle. Parolassa ei ole puolenvaihtopaikkaa pohjoispuolella, joten pohjoisesta saapuvan ja kolmannelle raiteelle pyrkivän junan tulee vaihtaa itäiselle raiteelle jo edellisellä eli Leteensuon puolenvaihtopaikalla, jonne on matkaa Parolasta noin seitsemän kilometriä. Juna joutuu siis ajamaan useita kilometrejä itäistä raidetta pitkin etelään eli normaali-suuntaa vastaan.

Simuloinnissa tarkasteltiin tilannetta, jossa pohjoisesta saapuva tavarajuna väistää takana tulevaa Pendolinoa. Pendolino ohittaa Toijalan noin 9:18, Parolan noin 9:29 ja Hämeenlinnan noin 9:32. Samoihin aikoihin pohjoiseen kulkee Intercity-juna, joka lähtee Hämeenlinnasta 9:11, ohittaa Parolan 9:15 ja saapuu Toijalaan 9:30.

Viriatosta puuttuu tieto siitä, kuinka pitkän ajan tavarajuna joutuu varaamaan vastakkaiselle liikenteelle tarkoitettua raidetta siirtyessään sivuraiteelle väistämään juna. Viriatossa ei siten näe suoraan, että tavarajuna joutuu siirtymään itäiselle raiteelle jo Leteensuolla. Aikataulunsuunnittelijan tulee siis tietää, miten käytettävissä olevien liikennepaikkojen sivuraiteille pääsy on järjestetty. Suunnitteluohje on, että tavarajuna saapuu asemalle liikennepaikasta riippuen vähintään 3–4 minuuttia ennen ohittavaa tai vastaantulevaa juna (Hovi ja Paasikivi, 2007).

Kuvassa 15 on esitetty alkuperäisen aikatauluehdotuksen mukainen simulointitulokset, jossa tavarajuna on aikataulutettu saapumaan Parolaan suunnitteluohjeen mukaisesti neljä minuuttia ennen Pendolinoa eli 9:25. Katkoviivat kuvaavat aikataulua ja yhtenäinen viiva simulointitulosta. Tavarajuna on harmaalla, Intercity punaisella ja Pendolino vihreällä.

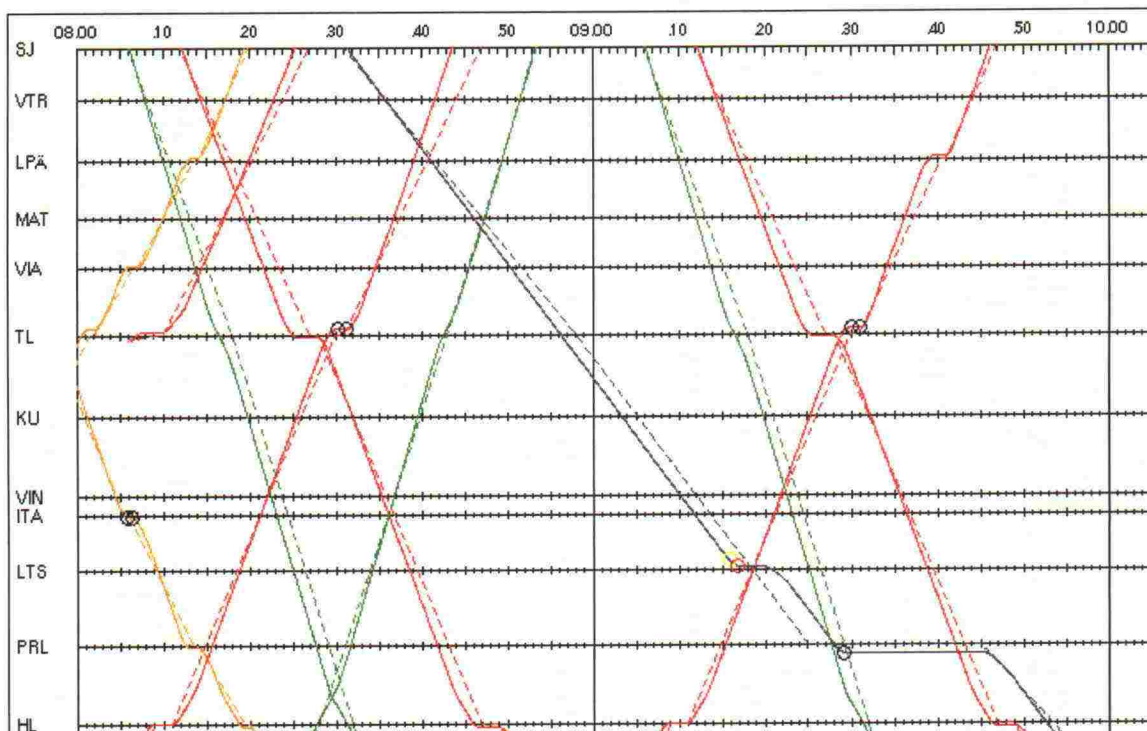


Kuva 15. Henkilöjunan ja tavarajunan kohtaaminen ennen Parolaa, henkilöjuna joutuu odottamaan.

Tavarajuna on vaihtanut puolta itäiselle raiteelle Leteensuon kohdalla. Vastaantuleva Intercity on joutunut pysähtymään Parolan eteläisille tulo-opastimille, sillä itäinen raide on varattuna. Intercity pääsee lähtemään liikkeelle vasta, kun tavarajuna on pysähtynyt Parolan sivuraiteelle ja kulkutie on vapautunut. Pysähtyminen ja odottaminen myöhästyttivät henkilöjunaa lähes 10 minuuttia.

Tilanne voitaisiin korjata aikaistamalla tavarajunan lähtöä niin, että se ehtii kolmannelle raiteelle ennen vastaantulevaa Intercityä. Koska pohjoiseen kulkeva Intercity ohittaa Parolan noin 9:15, tavarajunan tulisi olla Parolassa viimeistään 9:12. Tämä vaihtoehto ei kuitenkaan ole järkevä, sillä niin suurella aikaistuksella tavarajuna ehtisi ajaa samalla kertaa Hämeenlinnaan asti. Suoraan Hämeenlinnaan ajavan tavarajunan tulisi saapua Hämeenlinnaan 9:28, jotta se olisi siellä riittävän ajoissa ennen Pendolinoa. Hämeenlinnan ja Parolan väli on vain noin 10 minuuttia.

Mikäli tavarajunan lähtöä Tampereelta ei voida aikaistaa ja siirtää pysähdystä Hämeenlinnaan, junan lähtöä voidaan viivästyttää ja päästää vastaantuleva Intercity kulkemaan Parolan ja Leteensuon välinen osuus ensin. Tällöin tavarajuna saattaa hidastaa perässä tulevaa Pendolinoa. Simuloinnin avulla kokeiltiin, mitä tapahtuu, jos tavarajunan lähtöaikoja muutetaan. Tarkoituksena oli löytää lähtöaika, jolloin jokainen juna voisi ajaa ilman konfliktia. Simuloinnin avulla testattiin, onko mahdollista ajaa juna kolmannelle raiteelle ilman, että mikään juna joutuisi hiljentämään kulkuaan. Kuvassa 16 on havainnollistettu tavarajunan lähtöajan siirtämisen seuraukset.



Kuva 16. Henkilöjunan ja tavarajunan kohtaaminen ennen Parolaa, tavarajuna joutuu odottamaan.

Tavarajunan lähtöajan siirtämisestä myöhäisemmäksi seurasi tilanne, jossa tavarajuna joutui pysähtymään Leteensuolle ja odottamaan, kunnes Intercity oli ohittanut Leteensuon. Tämän jälkeen tavarajuna pääsi siirtymään itäisen raiteelle. Tavarajuna ei nyt häirinyt Pendolinon kulkua, sillä tavarajunan siirtyessä itäiselle raiteelle Pendolino oli vielä riittävän kaukana. Tavarajuna ei kuitenkaan ollut vielä saapunut kolmannelle raiteelle, kun Pendolino jo ohitti Parolan. Junat siis ajoivat samanaikaisesti vierekkäisillä raiteilla kohti etelää. Käytännössä vastaavia ratkaisuja tehdään esimerkiksi ongelmatilanteiden hoidossa, mutta rinnakkain ajoa ei käytetä aikataulusuunnittelussa.

Simulointitulokset osoittivat, ettei pohjoisesta tulevien junien kannata käyttää Parolan puolenvaihtopaikkaa, mikäli vastaan on tulossa toinen juna. Kohtaaminen kannattaa siirtää Hämeenlinnaan, mikäli tavarajuna on mahdollista lähettää aikaisemmin, tai Toijalaan, mikäli lähtöajan aikaistaminen ei onnistu. Vakioaikataulurakenteen vuoksi Intercityt ja Pendolinot ajetaan lähes joka tunti samalla tavalla mallinnusajankohdan aikana. Tämän vuoksi missään aikatauluehdotuksessa ei ole pohjoisesta tulevia tavarajunia, jotka käyttävät Parolan kolmatta raidetta.

6.1.4 Tavarajunien lopulliset ajoajat

Simuloinnin avulla tarkistettiin sopivat ajoajat asemien välille tilanteissa, joissa juna joko ajaa molempien asemien ohi, pysähtyy lähtöasemalla, pysähtyy määräasemalla tai pysähtyy molemmilla asemilla. Kaikilla saman pysähtymiskäyttäytymisen omaavilla junilla käytettiin samoja ajoaikoja. Jokaiselle junalle asetettiin malliin lähtöaika Sammalistosta, ohitusajat Hämeenlinnaan ja Toijalaan sekä poistumisasemalle eli

Sääksjärvelle. Lisäksi malliin asetettiin saapumis- ja lähtöaika kaikille asemille, joilla juna pysähtyy.

Riihimäen ja Sammaliston sekä Sääksjärven ja Tampereen välisiä ajoaikoja ei ollut mahdollista määrittää, koska malli päättyi ennen Riihimäkeä ja Tamperetta. Ajoajat arvioitiin Viriaton nykyisistä aikatauluista. Ajoajaksi Riihimäeltä Sammalistoon määriteltiin neljä minuuttia ja päinvastaiseen suuntaan kolme minuuttia. Sääksjärven ja Tampereen väliseksi ajoajaksi määriteltiin 12 minuuttia ja päinvastaiseen suuntaan 18 minuuttia.

Taulukossa 8 on esitetty ajoajat eri liikennepaikkojen välille pysähtymiskäyttäytymiseltään erilaisille junille pohjoiseen mentäessä. Kaikkien junien suurin sallittu nopeus on 80 km/h. Pohjoiseen mentäessä pysähtymiskäyttäytymiseltään erilaisia reittejä muodostui yhteensä seitsemän. Juna voi joko ajaa suoraan tutkimusvälin läpi tai pysähtyä kerran joko Turengissa, Hämeenlinnassa, Parolassa tai Toijalassa. Lisäksi kahden pysähtymisen reittejä oli kaksi, toisessa juna pysähtyy Turengissa ja Parolassa, toisessa Hämeenlinnassa ja Parolassa. Muita mahdollisia yhdistelmiä olisivat voineet olla esimerkiksi pysähtyminen Hämeenlinnassa ja Toijalassa, mutta nämä muut yhdistelmät eivät osoittautuneet tässä tutkimuksessa järkeviksi vaihtoehtoiksi henkilöjunien asettamien reunaehtojen vuoksi.

Taulukko 8. Tavarajunien ajoajat pohjoiseen mentäessä (pysähdysasema tummennettuna).

Ajoreitti	Pysähdysasema						
	-	TUR	HL	PRL	TL	TUR, PRL	HL, PRL
Sammalisto (SAM)							
Turenki (TUR)		0:18				0:18	
Hämeenlinna (HL)	0:29	0:14	0:30	0:29	0:29	0:14	0:30
Parola (PRL)				0:08		0:08	0:11
Toijala (TL)	0:34	0:34	0:37	0:30	0:36	0:30	0:30
Sääksjärvi (SJ)	0:26	0:26	0:26	0:26	0:28	0:26	0:26
Yhteensä	1:29	1:32	1:33	1:33	1:33	1:36	1:37

Nopeimmin juna kulkee alueen läpi, jos sen ei tarvitse pysähtyä lainkaan. Tällöin aikataulun mukainen ajoaika on 29 minuuttia Sammalistosta Hämeenlinnaan, 34 minuuttia Hämeenlinnasta Toijalaan ja 26 minuuttia Toijalasta Sääksjärvelle. Jos juna pysähtyy esimerkiksi Hämeenlinnassa, sen ajoajaksi Sammalistosta Hämeenlinnaan määriteltiin 30 minuuttia eli minuutin pidempi kuin suoraan ajettaessa, sillä sivuraiteelle siirtyminen ja pysähdys vievät enemmän aikaa. Ajoaika Hämeenlinnasta Toijalaan on puolestaan 37 minuuttia, koska kiihdytys ja sivuraiteelta pääraiteelle siirtyminen vievät aikaa. Koska juna ei pysähdy enää uudelleen, loppumatkan aikataulu on sama, kuin suoraan ajavalla junalla. Muut ajoajat eri väleille eri pysähtymisillä muodostuivat vastaavalla tavalla.

Taulukossa 9 on esitetty ajoajat liikennepaikkojen välillä pysähtymiskäyttäytymiseltään erilaisille junille etelään mentäessä. Junat joko ajoivat suoraan tai pysähtyivät kerran Lempäälässä, Toijalassa, Hämeenlinnassa tai Turengissa. Lisäksi muodostui yksi kahden pysähdyn reitti, jossa pysähdykset olivat Hämeenlinnassa ja Turengissa.

Taulukko 9. Tavarajunien ajoajat etelään mentäessä (pysähdysasema tummennettuna).

Ajoreitti	Pysähdysasema					
	-	LPÄ	TL	HL	TUR	HL, TUR
Sääksjärvi (SJ)						
Lempäälä (LPÄ)		0:12				
Toijala (TL)	0:26	0:17	0:27	0:26	0:26	0:26
Hämeenlinna (HL)	0:34	0:34	0:38	0:35	0:34	0:35
Turenki (TUR)					0:13	0:15
Sammalisto (SAM)	0:28	0:28	0:28	0:30	0:18	0:18
Yhteensä	1:28	1:31	1:33	1:31	1:31	1:34

Tavarajunat aikataulutettiin saapumaan asemalle 3–5 minuuttia ennen väistettävää junaa ja lähtemään asemalta pääsääntöisesti kaksi minuuttia ohittavan junan jälkeen. Nykytilanteen simuloinnissa havaittiin, että Viriaton aikataulu ei ole täysin tarkka asemilla, joilla junat eivät pysähdy. Tämä koski erityisesti pohjoiseen kulkevia Pendolinoja, joiden edellinen tarkka asema-aika on Tikkurilan asemalta. Sen vuoksi pohjoiseen kulkevat tavarajunat, jotka väistivät Pendolinoa, aikataulutettiin lähtemään kolme minuuttia Pendolinon Viriatosta katsotun ohitusajan jälkeen. Lempäälässä pysähtyi vain yksi juna. Se aikataulutettiin lähtemään 1,5 minuuttia ohittavan junan jälkeen vastakkaiseen suuntaan kulkevan junan vuoksi.

Joissain tapauksissa tavarajuna joutui odottamaan myös vastakkaiseen suuntaan kulkevaa junaa. Tällöin tavarajunan lähtöaika on sama kuin vastakkaiseen suuntaan kulkevan junan ohitus- tai saapumisaika sille asemalle, jolla tavarajuna odotti.

6.2 Lopullisten aikatauluvaihtoehtojen muodostaminen

Aikatauluehdotuksen lähtökohtana oli, että kello 7:00–11:00 välissä kulkisi tavarajuna noin puolen tunnin välein kumpaankin suuntaan. Yhteensä siis tarvittiin kahdeksan sopivaa ajoväliä tavarajunille yhtä suuntaa kohden. Yksittäisten junien aikataulun muokkauksen jälkeen pohjoisen suuntaan löytyi sopiva ajoväli viidelle yksittäiselle tavarajunalle, joita ei voitu laittaa kulkuun kuin yhdellä tavalla. Lisäksi löytyi kolme ajoväliä, joihin kuhunkin voitiin sijoittaa juna kulkemaan kolmella eri tavalla. Etelän suuntaan löytyi vastaavasti kulkutiet viidelle yksittäiselle junalle, sekä kolme väliä, joissa junien kulku voitiin toteuttaa kolmella eri tavalla.

Kuudesta aikavälistä, joissa junat voitiin laittaa kulkuun eri tavoilla, voitiin muodostaa erilaisia aikatauluvaihtoehtoja. Vaihtoehtoiset junat voisivat todellisessa tilanteessa olla esimerkiksi saman operaattorin yhden junan erilaisia kulkuvaihtoehtoja, tai kolme eri operaattoria hakee samaa ratakapasiteettia hieman erilaisilla lähtö- ja tuloajoilla.

Mahdollisia tapoja sijoittaa junat aikatauluehdotukseen on periaatteessa yhden suunnan osalta yhteensä 3^3 eli 27. Teoriassa molemmat suunnat huomioiden erilaisten aikataulujen määrä voisi siten olla 3^6 eli 729. Käytännössä yhdistelmien määrä on kuitenkin alhaisempi, sillä kaikkia vastakkaiseen suuntaan ajavia junia ei voi ajaa samassa aikataulussa. Esimerkiksi yhdistelmät, joissa sekä pohjoisesta että etelästä saapuvat

junat käyttävät samaan aikaan saman puolenvaihtopaikan kolmatta raidetta, eivät ole mahdollisia.

Tässä tarkastelussa tutkittavien aikatauluvaihtoehtojen määrä rajoitettiin kolmeen, jolloin jokainen vaihtoehtoinen juna oli vain yhdessä aikatauluvaihtoehdossa. Aikatauluvaihtoehdot muodostettiin valitsemalla ensin pohjoiseen menevät junat. Junat valittiin niin, että jokaisessa aikatauluvaihtoehdossa olisi pysähtymiskäyttäytymiseltään erilaisia junia, jotta kaikkia asemia käytettäisiin yhtä paljon eri aikatauluvaihtoehdoissa. Tämän jälkeen valittiin etelään kulkevat junat. Etelään kulkevien junien sijoittamisessa aikatauluvaihtoehtoihin tuli huolehtia siitä, ettei samaa sivuraidetta käytä saman-aikaisesti sekä pohjoisesta että etelästä saapuva juna. Lisäksi tuli huomioida, etteivät junat, jotka poikkeavat sivuraidteille, joudu konfliktiin vastakkaiseen suuntaan kulkevien junien kanssa. Lisäksi huomioitiin, että jokaisessa vaihtoehdossa olisi mahdollisuuksien mukaan yhtä paljon niitä junia, jotka joutuvat pysähtymään useilla asemilla.

Todellisessa tilanteessa aikataulujen muodostamisessa pitää ottaa huomioon myös liikennöitsijän toiveet. Periaatteessa operaattorille paras vaihtoehto on se, jossa lähdetään mahdollisimman myöhään liikkeelle ja saavutaan mahdollisimman aikaisin perille. Tällainen vaihtoehto saattaa kuitenkin olla kaikkein häiriöherkin, eikä tällaista vaihtoehtoa ole välttämättä edes mahdollista muodostaa. Vaihtoehtona voi olla esimerkiksi pitkä matka-aika ja aikaisempi saapuminen, tai lyhyt matka-aika ja myöhäisempi saapuminen. Koska tavarajunat olivat kuvitteellisia, työssä ei otettu kantaa siihen, mikä vaihtoehtoisista aikatauluista on operaattorien toiveiden mukaan paras. Kaikki yksittäiset junat ajateltiin operaattorien puolelta yhtä hyväksi ja toteuttamiskelpoisiksi.

Taulukossa 10 on esitetty pohjoiseen kulkevien tavarajunien lopulliset aikataulut. Taulukossa on kerrottu jokaisen tavarajunan ilmestymisaika malliin Sammallistossa sekä aikataulun mukainen poistumisaika mallista Sääksjärvellä. Mikäli tavarajuna on joutunut pysähtymään kesken matkan väistääkseen henkilöjunaa tai useampia junia, taulukossa on kerrottu pysähtymisaika ja ne junat, joita tavarajuna odotti. Lisäksi tutkimusvälillä kulki kaksi Turun tavarajunaa välillä Toijala–Sääksjärvi. Tarkemmat aikataulut on esitetty liitteessä 4 ja vaihtoehtojen graafiset aikataulut liitteissä 6–8.

Taulukko 10. Tavarajunat pohjoiseen.

Junanro. ja aika- tauluvaihtoehto	Lähtö (SAM)	Pysähtyminen			Saap. (SJ)	
		Asema	Aika	Väistettävät junat		
Yhteiset	200007	7:21	Toijjala	8:26-8:44	Intercity 8:30, Pendolino 8:41	9:12
	200011	8:00	Turenki	8:18-8:25	Pendolino 8:22	9:39
	200013	9:03	Ei pysähdy			10:32
	200015	9:21	Toijjala	10:26-11:05	Intercity 10:30-10:31, taajamajuna 11:02	11:33
	200017	10:21	Toijjala	11:26-11:33	Intercity 11:30	12:01
Vaihtoehtoiset	VE2 / 70001	7:34	Parola	8:11-8:33	Intercity 8:15, Pendolino 8:30	9:29
	VE1 / 70003	7:35	Häm.linna, Parola	8:05-8:13, 8:24-8:33	Intercity 8:09-8:11 (HL), Pendolino 8:30	9:29
	VE3 / 70005	7:41	Turenki, Parola	7:59-8:05, 8:27-8:33	Intercity 8:03 (TUR), Pendolino 8:30 (PRL)	9:29
	VE1 / 80001	8:21	Toijjala	9:26-9:33	Intercity 9:30-9:31	10:01
	VE3 / 80003	8:34	Parola	9:11-9:17	Intercity 9:15	10:13
	VE2 / 80005	8:35	Hämeenlinna	9:05-9:13	Intercity 9:09-9:11	10:16
	VE1 / 90001	10:34	Parola	11:11-11:17	Intercity 11:15	12:13
	VE3 / 90003	10:35	Hämeenlinna	11:05-11:13	Intercity 11:09-11:11	12:16
	VE2 / 90005	10:41	Turenki	10:59-11:05	Intercity 11:03	12:19

Kaikissa vaihtoehdoissa mukana olevia junia oli siis viisi, ja ne on numeroitu parittomin numeroin juniksi 200007 ja 200011–200017. Turun tavarajunat olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa, ja ne numeroitiin juniksi 555501 ja 555503. Lisäksi pohjoisen suuntaan on kolme aikatauluväliä, joita kutsutaan yhteisnimellä 7000x, 8000x ja 9000x. Jokaisessa välissä on kolme vaihtoehtoista junaa. Saman aikatauluvälin junat väistävät suurin piirtein samoja henkilöjunia eri asemilla. Esimerkiksi aikatauluvälin 7000x junat väistävät Intercityä joko Turengissa (70005), Hämeenlinnassa (70003) tai Parolassa (70001). Lisäksi kaikki väistävät Pendolinoa Parolassa. Junien lähtöaika Sammalistosta vaihtelee sen mukaan, missä ensimmäinen pysähdys on. Loppumatkan junat ajavat Parolasta samaa aikatauluviivaa pitkin, ja saapuvat samaan aikaan Sääksjärvelle.

Ensimmäisessä aikatauluehdotuksessa (VE1) ovat mukana Hämeenlinnassa ja Parolassa pysähtyvä juna 70003, Toijalassa pysähtyvä 80001 ja Parolassa pysähtyvä 90001. Toisessa aikatauluehdotuksessa (VE2) ovat mukana Parolassa pysähtyvä 70001, Hämeenlinnassa pysähtyvä 80005 ja Turengissa pysähtyvä 90005. Kolmannessa aikatauluehdotuksessa (VE3) ovat mukana Turengissa ja Parolassa pysähtyvä 70005, Parolassa pysähtyvä 80003 ja Hämeenlinnassa pysähtyvä 90003.

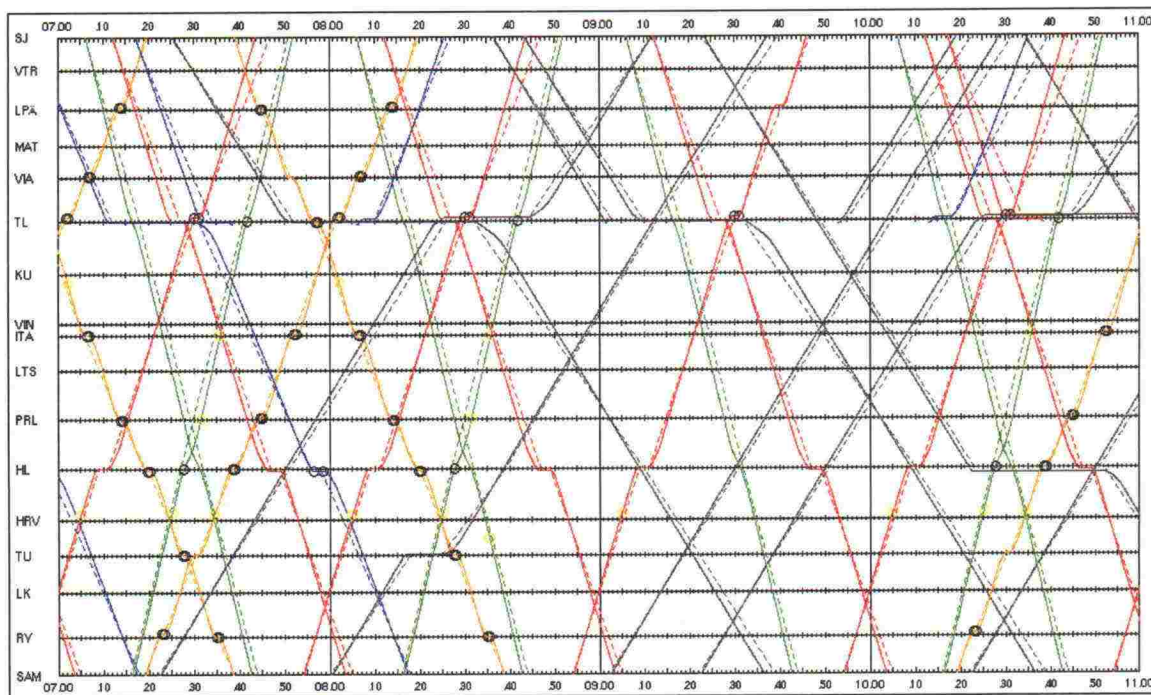
Taulukossa 11 on esitetty vastaavasti etelään kulkevien tavarajunien aikataulut. Taulukossa on kerrottu kunkin tavarajunan ilmestymisaika malliin Sääksjärvellä sekä aikataulun mukainen poistumisaika mallista Sammalistossa, mahdollinen pysähtymisaika sekä pysähtymisen syy. Lisäksi tutkimusvälillä kulki kaksi Turun tavarajunaa välillä Sääksjärvi–Toijjala. Tarkemmat aikataulut on esitetty liitteessä 5 ja vaihtoehtojen graafiset aikataulut liitteissä 6–8.

Taulukko 11. Tavarajunat etelään.

Junanro. ja aika- tauluvaihtoehto	Lähtö (SJ)	Pysähtyminen			Saap. (SAM)	
		Asema	Aika	Väistettävät junat		
Yhteiset	100004	7:25	Toijala	7:52-8:30	Taajamajuna 7:56.30, vast.tuleva Intercity 8:30	9:36
	100006	8:43	Toijala	9:10-9:30	Vast.tuleva tavara 9:13, vast.tuleva Intercity	10:36
	100008	9:22	Hämeenlinna	10:23-10:51	Vast.tuleva Pendolino 10:27, vast.tuleva tavara	11:21
	100010	10:33	Ei pysähdy			12:01
	100012	11:28	Ei pysähdy			12:56
Vaihtoehtoiset	VE1 / 20002	8:21	Turenki	9:34-9:39	Pendolino 9:37	9:57
			Hämeenlinna,	9:29-9:34, 9:49-	Pendolino 9:32 (HL), Intercity 9:57 ja	
	VE2 / 20004	8:28	Turenki	10:03	vast.tuleva tavarajuna 10:03 (TUR)	10:21
	VE3 / 20006	8:28	Hämeenlinna	9:29-9:51	Pendolino 9:32, IC 9:49 ja vast.tuleva tavara 9:51	10:21
	VE3 / 40002	9:47	Toijala	10:14-10:30	Pendolino 10:18, vast.tuleva IC 10:30	11:36
	VE1 / 40004	9:54	Lempäälä	10:06-10:25	Pendolino 10:10, pikajuna 10:23	11:44
	VE2 / 40006	10:26	Ei pysähdy			11:54
	VE1 / 50002	10:40	Turenki	11:53-12:03	Intercity 11:57, vast.tuleva Intercity 12:03	12:21
	VE3 / 50004	10:42	Hämeenlinna	11:43-11:51	Intercity 11:47-11:49	12:21
VE2 / 50006	10:47	Toijala	11.14-11:30	Pendolino 11.18, vast. tuleva Intercity 11:30	12:36	

Kaikissa vaihtoehdoissa mukana olevat viisi junaa on numeroitu parillisin numeroin juniksi 100004–100012. Tampereelta Toijalan kautta Turkuun kulkevat tavarajunat olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa, ja ne numeroitiin juniksi 555510 ja 555520. Lisäksi etelään on kolme aikatauluväliä 2000x, 4000x ja 5000x, joissa jokaisessa on kolme erilaista junavaihtoehtoa. Myös etelän suunnassa saman aikatauluvälin junat väistävät suurin piirtein samoja henkilöjunia eri asemilla. Ensimmäisessä aikatauluehdotuksessa (VE1) ovat mukana Turenkissa pysähtyvät junat 20002 ja 50002 sekä Lempäälässä pysähtyvä 40004. Toisessa aikatauluehdotuksessa (VE2) ovat mukana Hämeenlinnassa ja Turenkissa pysähtyvä 20004, suoraan ajava 40006 ja Toijalassa pysähtyvä 50006. Kolmannessa aikatauluehdotuksessa (VE3) ovat mukana Hämeenlinnassa pysähtyvät 20006 ja 50004 sekä Toijalassa pysähtyvä 40002.

Aikataulujen toimivuus varmistettiin simuloimalla ensin tilanne, jossa olivat mukana vain henkilöjunat sekä niin sanotut kiinteät tavarajunat eli tavarajunat, jotka ovat samoja kaikissa vaihtoehdoissa. Simulointitulokset on esitetty kuvassa 17. Vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla liikennepaikat Sammalistosta (SAM) Sääksjärvelle (SJ). Katkoviiva kuvastaa aikataulua ja yhtenäinen viiva junan simuloitua kulkua. Tavarajunien aikatauluviivat on esitetty harmaalla.



Kuva 17. Graafinen aikataulu henkilöjunien ja kaikissa vaihtoehdoissa mukana olevien tavarajunien simuloinnista.

Viivytyksiä verrattiin henkilöliikenteen nykytilanteen simulointiin. Tavarajunat eivät vaikuttaneet henkilöjunien kulkuun mitenkään, vaan henkilöjunien simulointitulokset säilyivät samoina tavarajunista huolimatta. Koska tavarajunat eivät myöskään olleet myöhässä, voitiin todeta aikataulu kiinteiden junien osalta valmiiksi. Tämän jälkeen simuloitiin laaditut kolme aikatauluvaihtoehtoa ja tarkistettiin, että myös nyt henkilöjunien kulku pysyi samanlaisena kuin nykytilanteessa ja tavarajunat pysyivät aikataulussaan. Lopuksi toteutettiin häiriösimuloinnit ja vertailtiin aikataulujen pisyvyyttä.

6.3 Häiriötilanteiden simuloinnin tulokset

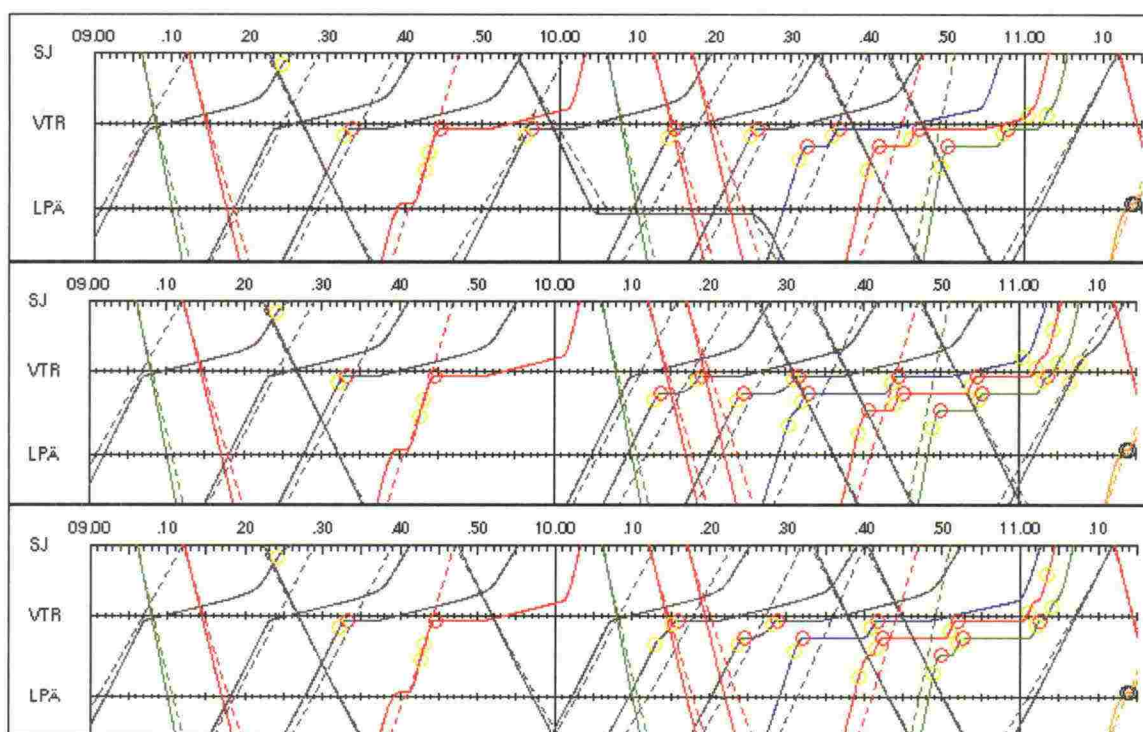
6.3.1 Opastin punaisella

Simuloinnin avulla tutkittiin punaisella olevan opastimen vaikutusta aikataulun pisyvyyteen. Opastimiksi valittiin opastin P173, joka sijaitsee itäisellä raiteella ja ohjaa pohjoiseen päin kulkevia junia, sekä opastin E174, joka sijaitsee vastaavasti läntisellä raiteella ja ohjaa etelään kulkevaa junaliikennettä. Kyseiset opastimet sijaitsevat Lempäälän ja Sääksjärven välillä. Opastin P173 valittiin tarkasteluun, koska sen kanssa on ollut todellisuudessa usein ongelmia. Opastin E174 valittiin mukaan tarkasteluun, koska se on opastinta P173 lähin etelän suuntaan ohjaava opastin.

Opastimien punaisena olo mallinnettiin erikseen, niin että yhdessä häiriötilanne-simuloinnissa oli vain yksi opastin punaisena. Simulointiajoja tuli siten kaksi kutakin aikatauluvaihtoehtoa kohden. Opastin P173 oli poissa käytössä kello 9:00–11:00 ja opastin E174 kello 9:30–11:30. Kellonajat valittiin sen perusteella, että opastimien punaisena olo koski yhtä montaa vaihtoehdoista tavarajunaa kussakin aikatauluehdotuksessa.

Opastimen P173 mallinnuksessa eroja aikataulujen välille tuli vain Sääksjärven osalta. Tämä johtui siitä, että opastin sijaitsi pohjoisessa juuri ennen junien poistumista mallista, joten häiriötilanne ei vaikuttanut kohtaamistilanteisiin eteläisemmässä verkossa.

Kuvassa 18 on esitetty allekkain kolmen eri vaihtoehdon häiriösimuloinnin tulos graafisena aikatauluna kello 9:00–11:10. Pystyakselilla on liikennepaikat Lempäälä (LPÄ), Vanattara (VTR) ja Sääksjärvi (SJ) ja vaaka-akselilla aika. Tavarajunien aikatauluviiva on piirretty harmaalla, Pendolinojen vihreällä, pikajunien sinisellä ja taajamajunien oranssilla. Katkoviiva tarkoittaa suunniteltua aikataulua ja yhtenäinen viiva junan simuloitua kulkua. Opastin P173 sijaitsee Vanattaran liikennepaikan kohdalla.



Kuva 18. Aikatauluvaihtoehtojen simulointitulokset graafisina aikatauluina opastimen P173 häiriötilanteessa.

Alussa kaikki vaihtoehdot ovat samanlaisia, sillä junien saapumisajoissa ei ole normaalitilanteessakaan eroja. Sääksjärvelle aikataulunmukaisesti noin 9:47 saapuvan Intercity-junan jälkeen eroja alkaa kuitenkin ilmetä, sillä aikatauluvälin 8000x junat saapuvat hieman eri aikaan punaiselle opastimelle. Ensimmäisessä aikatauluvaihtoehdossa, joka on kuvasarjassa ylinä, junat saapuvat ongelma-alueelle tasaisemmillä väleillä kuin muissa vaihtoehdoissa, joten ongelmatilanne ei kertaannu pahasti. Toisessa aikatauluvaihtoehdossa kello kymmenen maissa on isompi tyhjä väli, jonka jälkeen junat saapuvat ongelma-alueelle melko peräkkäin. Häiriötilanne ulottuu ajallisesti kauemmaksi ja kohdistuu myös tavarajunaan, joka saapuu paikalle vasta varsinaisen ongelmatilanteen loputtua. Häiriötilanne pahenee, kun junat ajavat peräkkäin ja joutuvat pysähtymään aikaisemmille opastimille. Kun junat ajavat tasaisemmillä välimatkoilla, ne eivät joudu pysähtymään toistensa takia, vaan ainut ongelma on hidastaminen punaisen opastimen takia.

Taulukossa 12 on esitetty myöhästymiset niiden junien osalta, joiden myöhästymisissä oli eroja eri vaihtoehtoissa. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu kyseisten junien keskimääräinen myöhästymisen, maksimimyöhästymisen sekä junien yhteenlaskettu myöhästymisen vaihtoehtoin.

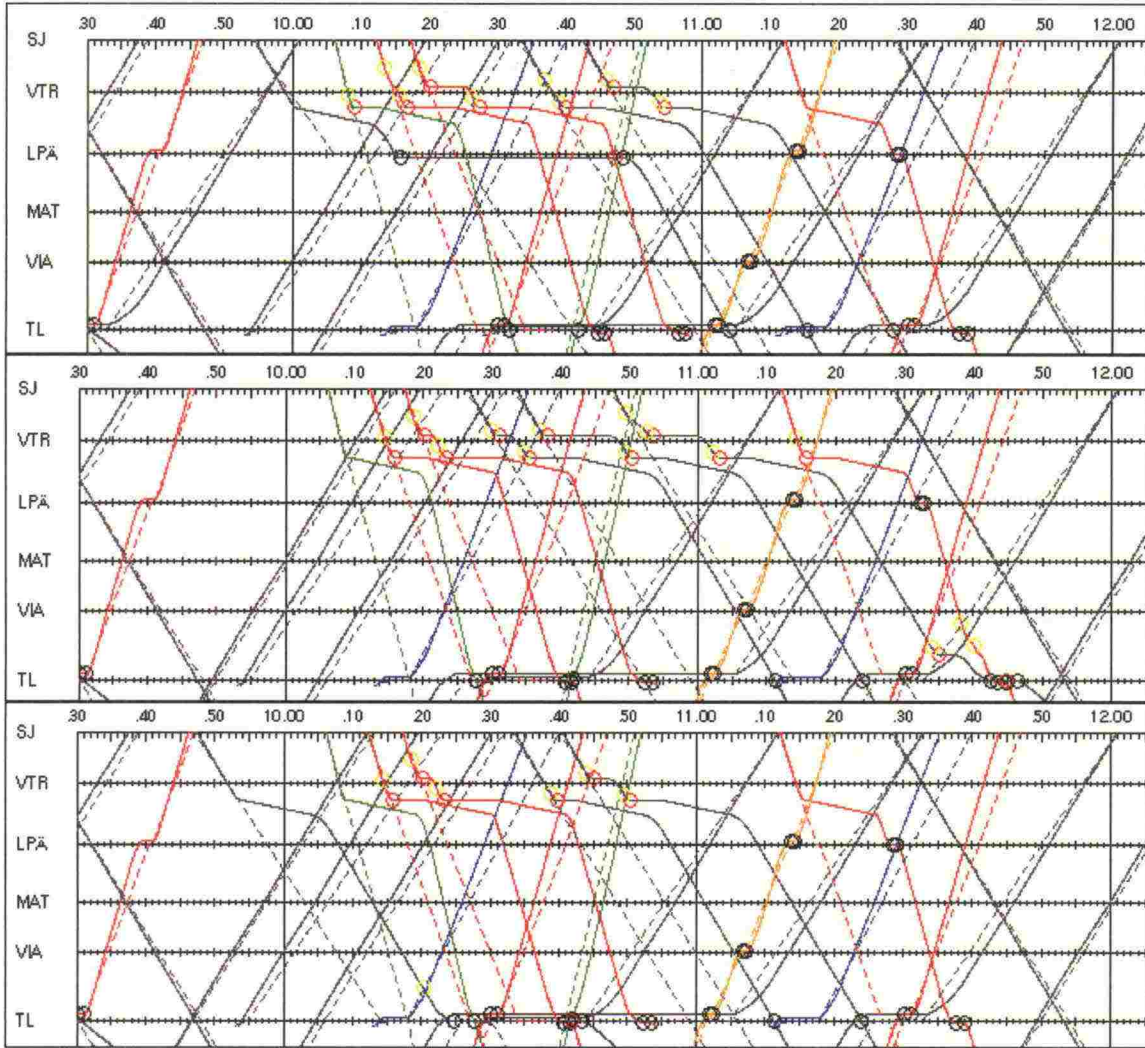
Taulukko 12. Myöhästymiset Sääksjärvellä opastimen P173 näyttäessä punaista.

Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
15	873	15	1005	15	951
317	969	317	1107	317	1053
5809	1026	5809	1416	5809	1359
80001	1125	80005	723	80003	738
200013	900	200013	1398	200013	1233
555501	633	555501	1131	555501	966
		555503	93		
Ka	921	Ka	982	Ka	1050
Max	1125	Max	1416	Max	1359
Summa	5526	Summa	6873	Summa	6300

Kuten jo graafisesta aikataulusta voitiin todeta, ensimmäinen aikatauluvaihtoehto vaikuttaa paremmalta kuin muut vaihtoehdot. Siinä myöhästymisiltään poikkeavien junien myöhästymisten keskiarvo, maksimimyöhästymisen ja myöhästymissumma ovat kaikki alhaisempia kuin muissa vaihtoehtoissa.

Häiriötilanteessa, jossa etelään johtava opastin E174 näytti punaista, ilmeni enemmän eroavuuksia vaihtoehtojen välillä kuin opastimen P173 häiriötilanteessa. Opastin E174 ohjasi etelään kulkevaa liikennettä ja junien myöhästymisen heti mallin alkupäässä heijastui junakohtaamisiin etelämpänä. Häiriötilanne ei vaikuttanut Sääksjärvelle saapuviin juniin, vaan vaikutukset kohdistuivat ainoastaan etelän suuntaan kulkeviin juniin.

Vaihtoehtoissa oli melkoisesti eroja yksittäisten junien osalta riippuen siitä, missä järjestyksessä junat olivat Sääksjärveltä lähteneet ja miten tiheästi. Kuvassa 19 on havainnollistettu graafisella aikataululla punaisella olevan opastimen E174 vaikutusta junien kulkuun eri vaihtoehtoissa Sääksjärven (SJ) ja Toijalan (TL) välillä. Katkoviiva kuvaa junan aikataulua ja yhtenäinen viiva junan simuloitua kulkua. Pendolinojen aikatauluviiva on vihreä, Intercityjen punainen, pikajunien sininen, taajamajunien keltainen ja tavarajunien harmaa. Punaisella oleva opastin sijaitsee hieman Vanattaran (VTR) eteläpuolella.



Kuva 19. Aikatauluvaihtoehtojen simulointitulokset graafisina aikatauluina opastimen E173 häiriötilanteessa.

Myös tässä häiriötilanteessa junien myöhästymisiin vaikutti se, kuinka tiheällä aikavälillä junat saapuivat punaiselle opastimelle. Peräkkäin saapuvat junat joutuivat pysähtymään jo aiemmille opastimille, koska kulkutie oli varattu. Harvemmin saapuvat junat joutuivat hidastamaan vain nopeusrajoituksen takia. Esimerkiksi ensimmäisessä vaihtoehdossa Pendolinolla kului selvästi kauemmin ohittaa punaisella ollut opastin, koska se joutui pysähtymään tavarajunan takia jo ennen opastinta E174.

Vaihtoehtojen keskinäisestä paremmuudesta antavat parhaimman kuvan myöhästymiset Sammalistossa, jossa junat poistuvat mallista. Myöhästymiset mallin loppupäässä kertovat, kuinka hyvin aikataulu on onnistunut palautumaan häiriötilanteesta. Taulukossa 13 on esitetty Sammalistoon saapuvien junien myöhästymiset. Taulukossa ovat mukana vain ne junat, joiden myöhästymisissä oli eroja eri vaihtoehtojen välillä. Taulukossa on lisäksi kerrottu kyseisten junien keskimääräinen myöhästymisen, maksimimyöhästymisen sekä junien yhteenlaskettu myöhästymisen vaihtoehdoittain.

Taulukko 13. Myöhästymiset Sammalistossa opastimen E174 näyttäessä punaista.

Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
26	762	26	513	26	513
426	789	426	540	426	540
428	786	428	1110	428	690
40004	1122	40006	897	40002	498
50004	876	50006	675	50002	423
100008	879	100008	543	100008	654
100010	726	100010	1239	100010	477
Ka	849	Ka	788	Ka	542
Max	1122	Max	1239	Max	690
Summa	5940	Summa	5517	Summa	3795

Kaikissa vaihtoehdossa myöhästyi yhtä monta junaa, mutta myöhästymisten kesto vaihteli eri vaihtoehtojen välillä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa myöhästymiset olivat melko suuria. Toisessa vaihtoehdossa osalla junista loppumyöhästymisen oli hyvin korkea, osalla taas vähäisempi. Kolmannessa vaihtoehdossa myöhästymiset olivat selvästi vähäisempiä kuin muissa vaihtoehdossa.

Pendolino 26 (S46) ja Intercity 426 (IC2 168) ajoivat ensimmäisessä vaihtoehdossa alkumatkassa junan 40004 perässä, joten ne joutivat pysähtymään jo ennen opastinta E174 ja myöhästyivät reilusti jo alkumatkasta. Tavarajuna 40004 päästi henkilöjunat ohitseen Lempäälässä. Koska henkilöjunat olivat reilusti myöhässä, myös tavarajuna myöhästyi enemmän kuin saman aikatauluvälin 4000x muut junat. Juna 40004 kärsi myöhästyttämiensä henkilöjunien myöhästymisestä. Henkilöjunien myöhästymisen vaikutti myös junan 100008 kulkuun. Se odotti henkilöjunia Hämeenlinnassa. Koska ensimmäisessä vaihtoehdossa junat jäivät eniten jälkeen aikataulustaan jo alkumatkassa, ne olivat eniten myöhässä myös Hämeenlinnassa. Myös juna 100008 myöhästyi eniten sen vuoksi ensimmäisessä vaihtoehdossa.

Intercity 428 (IC2 170) myöhästyy alkumatkasta opastimen punaisella olon takia. Intercityn loppumyöhästymisen riippui lähinnä aikavälin 5000x junista, jotka väistävät kyseistä Intercityä Toijalassa, Turengissa tai Hämeenlinnassa. Toisessa vaihtoehdossa Intercity ohitti junan 50004 jo Toijalassa, joten tällä junalla ei ollut juuri osuutta Sammaliston loppumyöhästymiseen. Sen sijaan juna 100010 oli toisessa vaihtoehdossa myöhässä enemmän kuin muissa vaihtoehdossa, ja sen kulku vaikutti Intercityn kulkuun. Juna 100010 oli enemmän myöhässä toisessa vaihtoehdossa, koska sen edessä ajoi aikavälin 4000x tavarajuna, 40006. Myös juna 100010 joutui pysähtymään jo ennen punaista opastinta, koska juna saapui opastimelle niin pian toisen junan jälkeen.

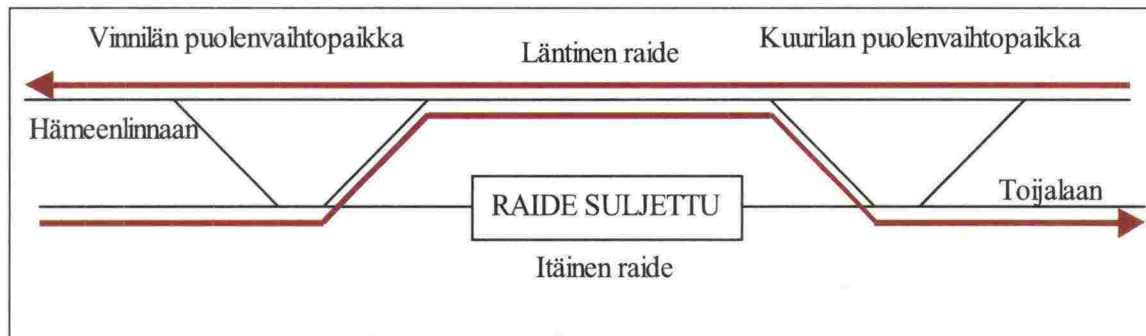
Opastimen E174 häiriötilannesimuloinnissa parhain vaihtoehto näyttäisi olevan kolmas aikatauluehdotus, jossa myöhästymiset pysyivät alhaisempina kuin muissa vaihtoehdossa. Tämä johtui pääosin junien keskinäisestä järjestyksestä ja häiriötilanteen vaikutusten heijastumisesta muihin juniin. Mikä tahansa opastin olisi voinut hajota mallinnusvälillä, ja opastimen paikasta riippuen junien ajorajastus ja aikavälit

vaihtelevat. Aikataulujen paremmuusjärjestys saattaisi olla erilainen, jos häiriötilanne mallinnettaisiin joillain toisilla opastimilla. Siksi kannattaisikin simuloida jokaiselta väliltä, jolla junien ajojärjestys on erilainen, vähintään yksi opastimen häiriötilanne, ja vertailla häiriötilanteiden tuloksia yhdessä.

Luotettavimman tuloksen aikataulujen paremmuudesta saisi, jos mallintaisi jokaisen opastimen häiriötilan erikseen ja laskisi keskiarvon myöhästymisille. Opastimien määrä mallinnusalueella on kuitenkin suuri, ja kasvaisi entuudestaan, jos mallia laajennetaan. Häiriötilanteen valmistelu on yksinkertaista, mutta mallintamiseen sekä tulosten käsittelyyn kuluisi niin paljon aikaa, että sitä ei olisi järkevää tai mahdollista toteuttaa ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa eri aikatauluvaihtoehtojen vertailussa.

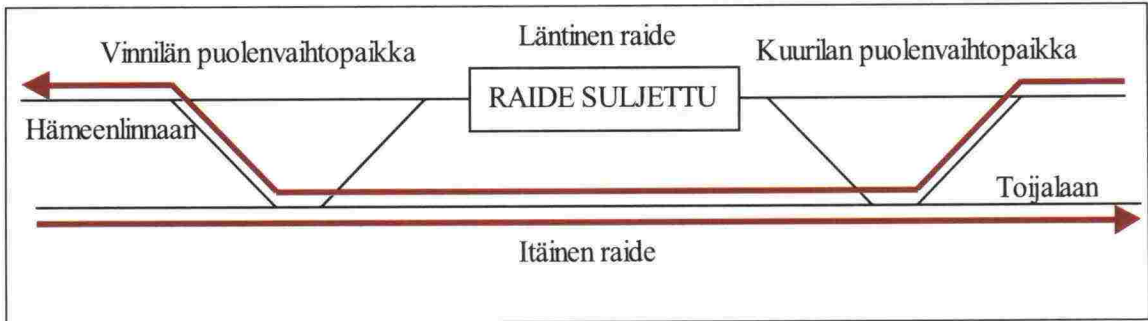
6.3.2 Raide poissa käytöstä

Simuloinnilla tutkittiin tilannetta, jossa on osan matkaa vain yksi raide käytössä normaalin kahden raiteen sijasta. Suljettavaksi osuudeksi valittiin rataosuus Vinnilän ja Kuurilan puolenvaihtopaikkojen välissä. Suljettava osuus sijaitsee lähes mallin keskivaiheilla, Toijalan ja Hämeenlinnan välissä. Näin häiriöt heijastuvat koko mallinnusalueelle. Suljetusta raiteesta mallinnettiin kaksi tilannetta, toisessa itäinen raide on suljettuna ja toisessa läntinen raide on suljettuna.



Kuva 20. Itäinen raide suljettu.

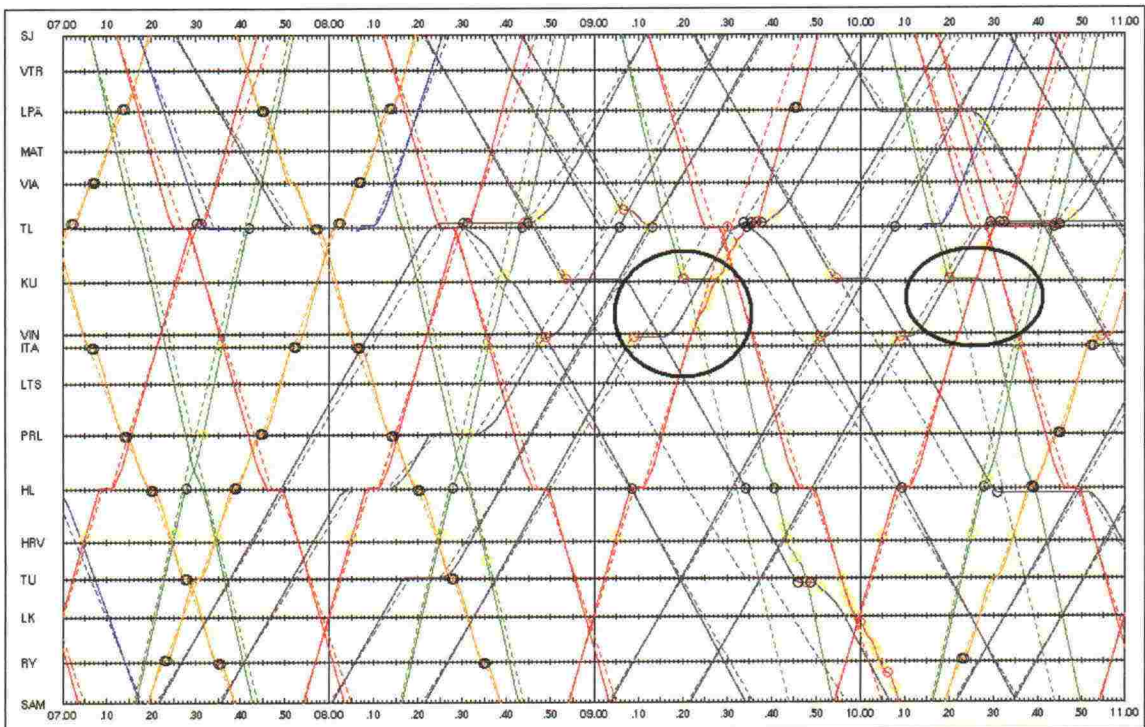
Kun itäinen raide suljetaan, pohjoiseen kulkevien junien tulee vaihtaa Vinnilässä läntiselle raiteelle, ja takaisin itäiselle raiteelle Kuurilassa (kuva 20). Vastaavasti, kun läntinen raide suljetaan, pohjoisesta etelään kulkevien junien tulee vaihtaa Kuurilassa itäiselle raiteelle ja Vinnilässä takaisin läntiselle raiteelle (kuva 21).



Kuva 21. Läntinen raide suljettu.

Simulointiohjelmaan ei ollut mahdollista määrittää, missä järjestyksessä junat päästetään kulkemaan suljetun osuuden oitse. Umpikujien välttämiseksi malliin määritettiin, että juna voi varata yksiraiteiselta osuudelta ensimmäisen kulkutien vasta, kun koko väli on vapaa eli juna voi varata koko yksiraiteisen osuuden kerralla.

Kuvassa 22 on esitetty graafinen simulointitulokset ensimmäisen aikatauluvaihtoehdon simuloinnista, kun läntinen raide oli suljettuna Vinnilän (VIN) ja Kuurilan (KU) välissä. Vaaka-akselilla on kellonaika ja pystyakselilla on liikennepaikat. Liikennepaikoista eteläisin Sammalisto (SAM) on kuvassa alinna ja pohjoisin liikennepaikka Sääksjärvi (SJ) ylinnä. Katkoviiva kuvastaa aikataulua ja yhtenäinen viiva simulointitulosta. Pendolinojen aikatauluviiva on piirretty vihreällä, Intercity-junien punaisella, pikajunien sinisellä, taajamajunien keltaisella ja tavarajunien harmaalla.



Kuva 22. Simulointitulokset (VE1) Vinnilän ja Kuurilan välisen raiteen sulkemisesta.

Kuvasta on havaittavissa, että ohjelma ei ole noudattanut junien hierarkiaa siinä, mikä junista on saanut mennä ensimmäisenä suljetun raiteen ohi. Kuvassa on ympyröity kaksi

tilannetta, joissa Pendolino on joutunut odottamaan tavarajunaa. Toisaalta molempien tavarajunien perässä on tullut Intercity, joten ratkaisu ei ole välttämättä kovin huono.

Ensimmäinen tilanne on tapahtunut hieman kello yhdeksän jälkeen. Liikenteenohjaaja olisi saattanut ratkaista tilanteen esimerkiksi niin, että tavarajuna, jota Pendolino joutui odottamaan, olisi laitettu sivuun Parolan kolmannelle raiteelle. Pendolino olisi päässyt yksiraiteiselta osuudelta ensin. Tämän jälkeen tavarajunan perässä kulkenut Intercity olisi päässyt kulkemaan osuuden ohi, ja tavarajuna olisi seurannut Intercityä.

Toisaalta, mikäli Pendolino olisi päässyt kulkemaan yksiraiteisen osuuden läpi ensin, se olisi saavuttanut pian edessä ajavan tavarajunan, joka väistää Pendolinoa normaalisti Turengissa. Tavarajuna oli myöhässä, koska se oli joutunut odottamana kahta vastakkaiseen suuntaan kulkevaa tavarajunaa ennen yksiraiteista osuutta. Tilanteen olisi voinut ratkaista esimerkiksi siirtämällä tavarajuna pysähtymään Turengin sijasta jo Hämeenlinnassa.

Häiriötilanteen ratkaisuun on monta vaihtoehtoa. Yleensä päiväliikenteessä kuitenkin suositaan Pendolinoja ja muita pitkän matkan henkilöjunia mahdollisuuksien mukaan. Koska ohjelma päästi suljetun raiteen ohi aina ensimmäisenä sille ehtivän eikä huomioinut junien prioriteettia, saattavat tulokset poiketa reilusti todellisesta tilanteesta. Ohjelma ei myöskään kyennyt muodostamaan uusia ratkaisuja, kuten jonkin vaihtoehdoisen liikennepaikan käyttämistä kohtaamistilanteissa niin, että tilanne olisi ratkennut henkilöliikenteen kannalta sujuvammin. Koska ohjelman käyttämä tapa, ensimmäisenä saapunut saa mennä ensin, ei vastaa todellisuutta, jätettiin molemmat häiriötilanteet, jossa raide on suljettuna, pois vaihtoehtojen vertailusta.

6.3.3 Alkumyöhästymiset

Häiriöitä verkon muissa osissa mallinnettiin asettamalla junille alkumyöhästymisiä. Alkumyöhästymiset saatiin valitsemalla keväältä 2007 kaksi päivää, jolloin junat olivat olleet myöhässä erilaisista syistä johtuen. Tutkimuspäiviksi valittiin keskiviikko 21.3 ja maanantai 7.5.2007. Kumpanakin päivänä oli jonkin verran lieviä myöhästymisiä. Toukokuun tutkimuspäivänä junat olivat myöhässä hieman enemmän kuin maaliskuun tutkimuspäivänä. Junien myöhästymiset saatiin katsomalla junien kulun seuranta-järjestelmästä (JUSE) junien kulkutiedot Riihimäen ja Tampereen osalta, sekä Turusta tulevien junien kulkutiedot Toijalan osalta.

Mallin eteläpään alkumyöhästymiset on lueteltu taulukossa 14. Koska JUSEsta ei saa erikseen tietoa Sammaliston osalta, oletettiin että myöhästymisen on sama junan saapuessa malliin eli Sammalistoon, kuin mitä se on Riihimäellä. Junat 5805 (P805), 5809 (P809) ja 5811 (P811) tulevat Turun suunnasta. Niiden alkumyöhästymisen on lähtömyöhästymisen Toijalan asemalta. Myöhästymiset kirjataan JUSEen minuutin tarkkuudella. Simulointiohjelmaan myöhästymiset syötettiin sekunteina. Pendolinojen 11 (S81) ja 15 (S45) etuajassakulku mallinnettiin siirtämällä junien ilmestymisaikaa malliin aikaisemmaksi. Loppuaikatauluja ei muutettu.

Taulukko 14. Alkumyöhästymiset sekunteina Riihimäellä tai Toijalassa.

Junanumero		Päivämäärä		Asema
Oikea	Mallissa	Ke 21.3.07	Ma 7.5.07	
9615	9615	0	0	Riihimäki
41	311	0	0	Riihimäki
81	11	-60	0	Riihimäki
9623	9623	0	120	Riihimäki
805	5805	0	60	Toijala
83	313	0	420	Riihimäki
-	200011	0	120	Riihimäki
163	13	0	300	Riihimäki
165	315	120	0	Riihimäki
809	5809	180	0	Toijala
167	317	0	0	Riihimäki
45	15	0	-120	Riihimäki
9645	9645	0	0	Riihimäki
811	5811	0	180	Toijala
47	319	300	0	Riihimäki
169	321	0	0	Riihimäki

Kuvitteellisten tavarajunien lähtöajat tarkistettiin, jotta junien järjestys säilyisi samana. Koska kaikki pohjoiseen kulkevat tavarajunat ilmestyivät malliin Sammaliston kolmannelta raiteelta, ei pieni myöhästymisen aiheuttanut toimenpiteitä. Tavarajunien aikoja tuli muuttaa vain, mikäli tavarajuna olisi ehtinyt ohittaa Sammaliston ennen henkilöjunaa.

Pohjoiseen mentäessä asetettiin vain yhdelle tavarajunalle alkumyöhästymisen. Juna oli 200011, joka normaalitilanteessa ilmestyy malliin kello 8:00. Sitä edellä kulkeva Intercity-juna 313 (IC83) ilmestyy malliin perustilanteessa kello 7:54, eli kuusi minuuttia aiemmin. Koska Intercity oli toukokuun tutkimuspäivänä myöhässä seitsemän minuuttia, tavarajunan lähtöä myöhästytettiin kahdella minuutilla. Tällöin Intercity ilmestyi malliin 8:01 ja juna 200011 minuuttia myöhemmin.

Mallin pohjoispään alkumyöhästymiset on lueteltu taulukossa 15. Koska JUSEssa ei saa tietoa erikseen myöskään Sääksjärven osalta, oletettiin, että myöhästymisen junan saapuessa malliin oli sama kuin Tampereella. Sääksjärven ja Tampereen välinen matka on hieman pidempi kuin Riihimäen ja Sammaliston, joten osa junista on saattanut kuroa aikataulua kiinni jo alkumatkasta. Tätä tietoa ei kuitenkaan ollut mahdollista saada. Tampere (a) tarkoittaa junaa, jonka matka alkaa Tampereelta. Lähtömyöhästymisen asemalla voi johtua esimerkiksi siitä, että junalla on ollut jotain viivytystä, kuten matkustajapalveluun liittyviä ongelmia, asemalla. Juna on myös saattanut odottaa jotain toista pohjoisesta saapuvaa junaa, joka on ollut myöhässä ja jonka on määrä jatkaa matkaa ensin.

Taulukko 15. Alkumyöhästymiset sekunteina Sääksjärvellä.

Junanumero		Päivämäärä		Asema
Oikea	Mallissa	Ke 21.3.07	Ma 7.5.07	
274	414	0	0	Tampere
162	416	0	0	Tampere (a)
804	6804	0	0	Tampere (a)
9648	9648	0	0	Tampere (a)
40	20	240	60	Tampere
164	420	120	240	Tampere (a)
806	6806	60	180	Tampere (a)
9656	9656	360	120	Tampere (a)
42	22	60	180	Tampere
166	422	0	180	Tampere (a)
84	24	360	60	Tampere
44	424	300	0	Tampere
46	26	0	180	Tampere
168	426	360	120	Tampere (a)
812	6812	300	300	Tampere
170	428	180	120	Tampere (a)
-	100012	120	60	Tampere (a)
48	430	60	0	Tampere
816	6816	300	0	Tampere

Tavarajunien aikataulut tarkistettiin, jotta junien ajojärjestys pysyisi samana. Ajoajat tarkistettiin jo Tampereelta alkaen, koska osa tavarajunista ajaa kolmatta raidetta Sääksjärvelle asti. Henkilöjunat ajavat Tampereelta Sääksjärvelle tavarajunia nopeammin ja junat voivat kulkea rinnan kolmiraitteisellä osuudella. Henkilöjunien matka-aika Tampereelta Sääksjärvelle on noin 4–7 minuuttia henkilöjunan ominaisuuksista riippuen. Tavarajunien ajoajaksi oli määritelty 18 minuuttia, mikä sisältää runsaasti pelivaraa. Tavarajuna olisi siis joissain tapauksissa voinut lähteä Tampereelta ennen henkilöjunaa, ja silti henkilöjuna ohittaisi Sääksjärven ensin. Tavarajunille asetettiin alkumyöhästymisen vain, mikäli tavarajuna olisi saapunut Sääksjärvelle ennen henkilöjunaa. Myöhästymisen koski vain juna 100012, joka lähtee Intercity-junan 428 (IC170) perään Tampereelta.

Maaliskuun tutkimuspäivän alkumyöhästymisten mallinnuksessa viivytyksissä oli eroja vain vaihtoehtoisten junien osalta. Kaikkien yhteisten tavarajunien ja henkilöjunien myöhästymiset olivat samoja kaikissa vaihtoehtoissa. Taulukossa 16 on esitetty kaikkien niiden junien myöhästymiset, joiden myöhästymisissä oli eroja eri vaihtoehtoissa.

Taulukko 16. Simulointitulokset, kun malliin määritettiin maaliskuun esimerkkipäivän alkumyöhästymiset.

Asema	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
LPÄ	40004 (L)	204				
TL	40004 (O)	147	50006 (L)	156	40002 (L)	231
	90001 (O)	36				
PRL	90001 (L)	150				
HL	40004 (O)	6	90005 (O)	108	40002 (O)	48
			20004 (L)	129	20006 (L)	12
					90003 (L)	147
TUR			20004 (S)	123		
	20002 (L)	153	90005 (L)	171		
SAM	20002 (S)	165				
	50004 (S)	9				

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Taulukossa on muutama hyvin pieni arvo, joita ei ole järkevää ottaa mukaan aikataulujen paremmuuden arviointiin. Simulointi ei vastaa todellisuutta sekunnin tarkkuudella, joten myöskään tuloksia ei ole järkevää analysoida sekunnilleen.

Taulukon liikennepaikat on lueteltu pohjoisesta etelään. Parittomalla numerolla nimetyt junat ovat kulkeneet pohjoiseen, joten niiden myöhästymiskehitystä tulisi seurata taulukossa alhaalta ylös. Parillisten junien myöhästymiskehitystä tulisi puolestaan seurata ylhäältä alas. Esimerkiksi juna 40004, joka kulki etelään, pysähtyi Lempäälässä ja pääsi lähtemään eteenpäin 204 sekuntia myöhässä, koska sen odottamat henkilöjunat olivat alkumyöhästymisien takia myöhässä. Henkilöjunien myöhästymiset olivat samat joka vaihtoehdossa, joten ne eivät näy taulukossa. Tavarajuna kuroi myöhästymistä umpeen ajamalla suuremmalla teholla. Juna ohitti Toijalan 147 sekuntia myöhässä. Hämeenlinnaa ohittaessa juna ei periaatteessa ollut enää myöhässä, koska myöhästymisajaksi kirjautui enää kuusi sekuntia. Sammalisto on juna saapui ajoissa.

Myöhästymiset johtuivat pääosin tilanteesta, jossa henkilöjuna, jolle oli asetettu alkumyöhästymisen, saapui asemalle myöhässä. Tavarajuna on joutunut odottamaan tätä henkilöjunaa, ja päässyt lähtemään asemalta myöhässä. Tällaisia junia olivat ensimmäisessä vaihtoehdossa edellä mainittu 40004 joka lähti myöhässä Lempäälästä, 90001 joka lähti myöhässä Parolasta sekä 20002, joka lähti Turengista. Toisessa vaihtoehdossa tällaisia junia olivat juna 50006, joka lähti Toijalasta myöhässä, 90005 joka lähti Turengista ja 20004 joka lähti Hämeenlinnasta, ja kolmannessa vaihtoehdossa 40002 Toijalasta sekä junat 90003 ja 20006 Hämeenlinnasta. Kaikki tavarajunat eivät olleet kuroneet aikataulua umpeen vielä seuraavalle asemalle päästyään. Suurin osa junista sai kuitenkin kurottua aikataulunsa umpeen mallin loppuun mennessä. Ainoastaan Turengista etelään myöhässä lähtenyt 20002 oli myöhässä myös mallin lopussa.

Kolmannessa vaihtoehdossa on vähiten myöhästyneitä junia ja myöhästymiset olivat melko alhaisia. Toisaalta suurin myöhästyminen oli kolmannessa vaihtoehdossa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa oli eniten myöhästyneitä ja myöhästymiset keskimäärin hieman suurempia kuin muissa vaihtoehdoissa. Kolmas vaihtoehto näyttäisi siten olevan paras ja ensimmäinen huonoin. Vaikka taulukosta otettaisiin pois pienet myöhästymiset, esimerkiksi kaikki alle puolen minuutin myöhästymiset, olisi aikataulujen paremmuusjärjestys silti sama. Merkittävin ero kolmen vaihtoehdon välillä on, että ensimmäisessä vaihtoehdossa yksi juna myöhästyi selvästi aikataulustaan Sammalistosta. Toisaalta myöhästymisen oli alle kolme minuuttia, mikä ei ole kovin suuri myöhästymisen tavarajunalle, jos perässä ei seuraa henkilöjuna.

Taulukossa 17 on esitetty toukokuun tutkimuspäivän häiriötilannesimuloinnin tulokset. Taulukossa on esitetty kaikkien niiden junien myöhästymiset asemittain, joiden myöhästymisissä oli eroja eri vaihtoehdoissa.

Taulukko 17. Simulointitulokset, kun malliin määritettiin toukokuun esimerkkipäivän alkumyöhästymiset.

Asemat	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
SJ	20002 (L)	24				
LPÄ	40004 (L)	216				
TL	40004 (O)	189	50006 (L)	96		
	555503 (L)	30				
PRL	70003 (S)	192			70005 (S)	162
HL	70003 (L)	147			70005 (O)	228
	40004 (O)	48				
TUR					70005 (L)	291
SAM	80001 (L)	66				

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Myös tässä häiriötilanteessa myöhästymiset ovat pääosin peräisin tilanteesta, jossa tavarajuna joutui odottamaan alkumyöhästymisen takia myöhässä ollutta henkilöjunaa ja pääsi sen vuoksi lähtemään liikkeelle myöhässä. Lisäksi junat 20002 ja 80001 pääsivät lähtemään liikkeelle mallissa hieman myöhässä. Pohjoiseen ajava juna 80001 ei päässyt varaamaan heti kulkutietä Sammalistossa, koska edellä ajava Pendolino oli myöhässä. Etelään ajava 20002 ei päässyt siirtymään kolmannelta raiteelta läntiselle raiteelle heti, koska vastaan tuli Tampereelle matkalla ollut taajamajuna, joka oli hieman myöhässä.

Toukokuun häiriömallinnuksessa myös yhden kaikissa vaihtoehdoissa esiintyvän junan kulku poikkesi ensimmäisessä vaihtoehdossa. Juna oli Turun tavarajuna 555503, jonka lähtö viivästyi puoli minuuttia Toijalan asemalta. Lähtö viivästyi, sillä vastaantuleva, aikavälin 4000x juna 40004 oli päässyt lähtemään Lempäälästä myöhässä henkilöjunien alkumyöhästymisien takia ja ohitti Toijalan hieman myöhässä. Muissa vaihtoehdoissa aikavälin 4000x junat eivät viivyttäneet junan 555503 lähtöä.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa oli selvästi muita enemmän häiriöitä. Toisessa ja kolmannessa vaihtoehdossa myöhästyi muista poikkeavasti vain yksi juna. Tosin kolmannessa vaihtoehdossa juna 70005 oli myöhässä melko paljon. Se ei kuitenkaan häirinnyt myöhästymisellään muita junia. Ensimmäinen vaihtoehto näyttää siten olevan huonoin. Toinen ja kolmas vaihtoehto ovat periaatteessa yhtä hyviä.

6.3.4 Vaihteiden jumiutuminen

Aikataulujen pysyvyyttä tutkittiin tilanteissa, jossa Parolan tai Turengin vaihteet ovat jumiutuneet. Paikat valittiin sen vuoksi, että kyseisillä liikennepaikoilla on itäisen raiteen vieressä sivuraide, jossa tavarajunat voivat väistää ohittavaa henkilöjunaa. Tilanteessa, jossa kyseisten liikennepaikkojen vaihteet jumiutuvat, kaikki pohjoiseen kulkevat junat pyritään ohjaamaan sivuraiteen kautta, sillä matkustajalaituri sijaitsee sivuraiteella. Myös Lempäälässä on vastaava laiturijärjestely. Laadituissa aikatauluehdotuksissa vain yksi juna yhdessä vaihtoehdossa käytti Lempäälän kolmatta raidetta, joten Lempäälän vaihteiden jumiutumista ei tarkasteltu.

Vaihteiden jumiutumisesta on kaksi haittapuolta. Ensinnäkin, mikäli kaikki pohjoiseen ajavat henkilöjunat joutuvat ajamaan sivuraiteen kautta, ne joutuvat hidastamaan nopeuttaan, sillä kyseisten liikennepaikkojen vaihteesta ajaminen edellyttää nopeutta 80 km/h. Mallinetuilla tavarajunilla tätä ongelmaa ei ole, sillä tavarajunien maksiminopeudeksi oli määritetty 80 km/h. Toiseksi, mikäli tavarajunan olisi tarkoitus väistää perässä tulevaa henkilöjunaa, tämä ei onnistu, koska kaikkien junien kulku tapahtuu sivuraiteen kautta. Junakohtaaminen tulee täten järjestää johonkin toiseen paikkaan.

Tällaisen häiriötilanteen mallintaminen on monimutkaista, sillä häiriötilanteen hoitamiseen voi olla useita erilaisia ratkaisuja. Todellisessa tilanteessa käytetty ratkaisu riippuu sekä vallitsevasta liikennetilanteesta, että ongelmaa ratkaisemassa olevasta liikenteenohjaajasta. Juna saatetaan esimerkiksi lähettää edelliseltä asemalta etuajassa, mikäli se on mahdollista, ja ajattaa juna vasta seuraavalle kohtauspaikalle. Juna voidaan myös lähettää edelliseltä pysähdysasemalta vasta, kun henkilöjuna, joka olisi pitänyt päästää ohi, on lähtenyt kyseiseltä asemalta.

Simuloinnissa tehtiin olettaus, että mikään juna ei voi lähteä ennen aikataulun mukaista lähtöaikaa Riihimäeltä tai Tampereelta, eli kaikki junat tulevat malliin joko suunnitellusti tai aikataulussa myöhässä. Junakohtaamisten järjestäminen ja junan lähettäminen joko aikataulun mukaan tai myöhässä ratkaistiin junakohtaisesti.

Parolan sivuraidetta käyttävät vain pohjoiseen kulkevat tavarajunat. Junakohtaus on mahdollista siirtää Hämeenlinnaan tai Toijalaan. Koska Parolasta on pitkä matka Toijalaan, on hyvin todennäköistä, että tavarajunat aiheuttavat henkilöjunille pitkiä viivytyksiä, mikäli hitaat tavarajunat ajetaan Parolan sijasta Toijalaan asti. Tämän vuoksi kaikkien Parolassa pysähtyvien tavarajunien pysähtyminen siirrettiin häiriötilanteessa Hämeenlinnaan. Kunkin junan alkuperäinen sekä häiriötilanteen reitti on kuvailtu taulukossa 18.

Taulukko 18. Junien uudet reitit Parolan vaihteiden häiriömallinnuksessa.

Juna- nro	Suunta	Vaihto- ehto	Alkuperäinen reitti		Uusi reitti
			Lähtö	Pysähdykset	
70001	Pohjoinen	Ve 2	Sammalisto 7:34	Parola 8:11-8:33	Pysähtyy jo Hämeenlinnassa, lähtee ohittavan Pendolinon jälkeen (8:28)
70003	Pohjoinen	Ve 1	Sammalisto 7:35	Hämeenlinna 8:05-8:13, Parola 8:24-8:33	Pitempi pysähdys Hämeenlinnassa, lähtee ohittavan Pendolinon jälkeen (8:28)
70005	Pohjoinen	Ve 3	Sammalisto 7:41	Turenki 7:59-8:05, Parola 8:27-8:33	Pysähtyy Turengissa sekä Parolan sijasta jo Hämeenlinnassa, lähtee ohittavan Pendolinon jälkeen (8:28)
80003	Pohjoinen	Ve 3	Sammalisto 8:34	Parola 9:11-9:17	Pysähtyy jo Hämeenlinnassa, lähtee ohittavan IC:n jälkeen (9:12)
90001	Pohjoinen	Ve 1	Sammalisto 10:34	Parola 11:11-11:17	Pysähtyy jo Hämeenlinnassa, lähtee ohittavan IC:n jälkeen (11:12)

Normaalitilanteessa aikavälin 7000x junat väistävät Intercityä joko Hämeenlinnassa, Parolassa tai Turengissa. Kaikki junat väistävät Pendolinoa Parolassa ja ajavat samalla tavalla loppumatkan Parolasta pohjoiseen. Parolan vaihteiden häiriömallissa junien 70001 ja 70003 pysähtymiskäyttäytyminen on samanlainen, ne pysähtyvät vain Hämeenlinnassa ja päästävät molemmat henkilöjunat siellä ohitseen. Juna 70005 lähtee muita junia myöhemmin liikkeelle ja pysähtyy ensin Turengissa päästääkseen Intercityn ohitseen. Tämän jälkeen juna pysähtyy muiden tavoin jo Hämeenlinnassa, jossa se päästää Pendolinon ohi. Junien 70001 ja 70005 ajoaikaan lisättiin minuutti Hämeenlinnan pysähdystä varten.

Kaikki aikavälin 7000x junat ajavat häiriötilanteessa loppumatkan Hämeenlinnasta eteenpäin samalla tavalla. Niiden lähtöajaksi määritetään Hämeenlinnaan 8:28. Tämän jälkeen aikatauluja ei muuteta. Parolan ohitusaika on 8:33 ja Toijalan 9:03. Simuloinnilla todettiin, että sopiva tavarajunien matka-aika Hämeenlinnasta Toijalaan olisi noin 37 minuuttia, kun juna pysähtyy Hämeenlinnassa, mutta ei pysähdy Toijalassa. Nyt junien pitää kulkea sama matka noin 35 minuutissa.

Junien 80003 ja 90001 pysähtymiskäyttäytyminen on samanlainen kuin junan 70001, eli niiden pysähtyminen siirtyy Parolasta jo Hämeenlinnaan. Junat väistävät Hämeenlinnassa vain Intercityä. Intercity lähtee asemalta 11 minuuttia yli tasatunnin, ja tavarajunien lähtöajaksi asetettiin 12 minuuttia yli tasatunnin. Tämän jälkeen aikatauluja ei muuteta. Parolan ohitusaika on 17 yli tasatunnin ja Toijalan 47 yli tasatunnin. Ajoaika on siten yhtä paljon kuin aikavälin 7000x junilla. Myös junien 80003 ja 90001 ajoaikaan ennen Hämeenlinnaa lisättiin minuutti pysähtymistä varten.

Taulukossa 19 on esitetty Parolan vaihteiden häiriötilanteen simulointitulokset. Taulukossa on esitetty vain niiden junien myöhästymiset, joissa oli eroja eri aikataulu- vaihtoehtoissa. Eroja on vain vaihtoehtoisissa junissa, ja erot vaihtoehtojen välillä ovat hyvin pienet. Hyvin pieniä myöhästymisiä ei tulisi huomioida aikataulujen paremmuuden määrittämisessä, koska simulointimalli ei vastaa todellisuutta sekunnin tarkkuudella.

Taulukko 19. Myöhästymiset Parolan vaihteiden häiriömallinnuksessa.

Asemat	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
TL	80001 (L)	30	50006 (L)	27	40002 (L)	9
			40006 (O)	21		
PRL	90001 (O)	279			80003 (O)	279

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Kaikki junat, joiden kulkua jouduttiin muuttamaan, saapuivat ajoissa Hämeenlinnaan, koska niiden ajoaikaan oli lisätty pysähtymistä varten minuutti. Ne eivät häirinneet kulullaan muita junia. Tämä oli olettavissa, koska junat ajavat normaalisti saman lähtöajan puitteissa Parolaan asti ja nyt pysähtyminen oli jo aikaisemmin. Junat pääsivät lähtemään ajoissa Hämeenlinnasta. Koska Parolan ohitusaikaa ei muutettu, kaikki junat, joita muutos koski, eli aikavälin 7000x junat sekä 90001 ja 80003, saapuivat Parolaan myöhässä. Aikatauluvälin 7000x junat lähtivät kaikki samaan aikaan Hämeenlinnasta, joten niiden myöhästymisen oli sama Parolassa, eikä junia ole mainittu sen vuoksi taulukossa. Vaikka junille varattu matka-aika Hämeenlinnasta Toijalaan oli normaalia lyhyempi, junat ehtivät Toijalaan ajoissa, koska ne ajoivat 96 prosentin teholla Parolan ja Toijalan välisen matkan.

Junien 40002, 50006 ja 80001 lähtö Toijalasta myöhästyi hieman, koska etelästä tullut Intercity oli myöhässä Toijalassa. Intercity myöhästyi, koska se joutui koukkaamaan Parolan kolmannen raiteen kautta nopeudella 80 km/h. Junan 40006 myöhästymisen Toijalassa johtui puolestaan myöhästymisketjusta, jonka alkuperäisenä syynä oli pohjoiseen kulkeva Pendolino. Pendolino myöhästyi hieman kaikissa vaihtoehdoissa Toijalassa, koska sen joutui hiljentämään nopeuttaan kiertäessään Parolan sivuraiteen kautta. Sen vuoksi Toijalassa Pendolinon perään lähteneen Turun tavarajunan lähtö myöhästyi hieman. Myös tämän junan myöhästymisen oli sama kaikissa vaihtoehdoissa. Turun tavarajuna joutui varaamaan läntisen raiteen päästäkseen Toijalan toiselta raiteelta itäiselle raiteelle. Toisessa vaihtoehdossa 40006 joutui jarruttelemaan hieman, sillä sen lähestyessä Toijalaa Turun tavarajunan kulkutie toiselta raiteelta itäiselle raiteelle ei ollut vielä vapautunut.

Aikatauluvaihtoehdoista on vaikea määrittää, mikä vaihtoehdoista oli huonoin ja mikä paras, koska vaihtoehtojen väliset erot ovat pienet. Kolmannessa vaihtoehdossa myöhästyi selvästi vain yksi juna. Toisaalta toisessa vaihtoehdossa myöhästymiset olivat hyvin pieniä.

Turengin sivuraidetta käyttävät sekä etelästä ja pohjoisesta tulevat junat. Pohjoiseen päin mentäessä junat lähtevät aikataulunsa mukaisesti ja ajavat Turengin sijasta Hämeenlinnaan asti. Etelään päin mentäessä junat odottavat henkilöjunia Turengin sijasta Hämeenlinnassa. Junien alkuperäinen sekä häiriötilanteen reitti on kuvailtu taulukossa 20.

Taulukko 20. Junien uudet reitit Turengin vaihteiden häiriömallinnuksessa.

Juna-nro	Suunta	Vaihto-ehto	Alkuperäinen reitti		Uusi reitti
			Lähtö	Pysähdykset	
20002	Etelä	Ve 1	Sääksjärvi 8:21	Turenki 9:33-30-9:39	Pysähtyy jo HL:ssa, väistää Pendolinoa. Ajaa Pendolinon perässä Sammalistoon, perässä tulee IC.
20004	Etelä	Ve 2	Sääksjärvi 8:28	Hämeenlinna 9:28-9:34, Turenki 9:49-10:03	Odottaa Pendolinon lisäksi myös IC:tä HL:ssa, aikataulu kuten normaalitilanteen 20006.
50002	Etelä	Ve 3	Sääksjärvi 10:41	Turenki 11:53-12:03	Pysähtyy Turengin sijasta jo Hämeenlinnassa. Lähtee perässä ajavan IC 428:n jälkeen (11:51)
70005	Pohjoinen	Ve 3	Sammalisto 7:41	Turenki 7:59-8:05, Parola 8:27-8:33	Pysähtyy Turengin sijasta vasta HL:ssa. Kiire, koska perässä IC 313. Ajaa Parolaan aikataulunsa mukaisesti.
90005	Pohjoinen	Ve 2	Sammalisto 10:41	Turenki 10:59-11:05	Pysähtyy Turengin sijasta vasta HL:ssa. Kiire, koska perässä IC 319.
200011	Pohjoinen	Kaikki	Sammalisto 8:00	Turenki 8:18-8:25	Pysähtyy Turengin sijasta vasta HL:ssa. Kiire, koska perässä Pendolino 13. Lähtee 7000x junien jälkeen 8:35.

Junat 20002 ja 20004 ovat etelään kulkevia vaihtoehtoja aikatauluvälistä 2000x. Juna 20002 pysähtyy normaaliaikataulussa Turengissa ja päästää perässä tulevan Pendolinon ohi. Nyt juna pysähtyy jo Hämeenlinnassa, josta se lähtee Pendolinon perään. Junan pitäisi ajaa Sammalistoon ennen perässä tulevaa Intercityä. Junan lähtöaika asetetaan 30 sekuntia Pendolinon ohitusajan jälkeen. Sammaliston saapumisaika on sama kuin alkuperäinen saapumisaika normaalitilanteessa. Junalla on 24,5 minuuttia aikaa ajaa Sammalistoon, kun normaalisti ajoaika on noin 28 minuuttia. Jotta ohjelmalla olisi tieto normaalia tiukemmasta välistä, asetettiin Hämeenlinnan jälkeiselle asemalle ohitusaika, jota juna ei voi ohittaa ajoissa. Näin ohjelma saa tiedon, että junalla on kiire, mutta sen lähtöaika Hämeenlinnasta ei tallennu myöhästymiseksi, mikäli juna pääsee lähtemään heti Pendolinon perään. Ylimääräistä ohitusaikaa ei otettu huomioon tulosten käsittelyssä.

Juna 20004 kulkee häiriötilanteessa kuten aikatauluvälin 2000x kolmas juna 20006 perustilanteessa, eli se väistää sekä Pendolinoa että Intercityä Hämeenlinnassa. Junien 20004 ja 20006 saapumisaika Sammalistoon on normaalitilanteessa sama, joten aikataulua ei tarvitse muuttaa. Samoin etelään kulkeva juna 50002 kulkee häiriötilanteessa kuten aikatauluvälin 5000x juna 50004 perustilanteessa. Juna 50002 pysähtyy Turengin sijasta jo Hämeenlinnassa ja lähtee ohittavan Intercityn perään noin 11:51. Myös junat 50002 ja 50004 saapuvat Sammalistoon normaalitilanteessa samaan aikaan.

Junat 70005 ja 90005 sekä kaikissa vaihtoehtoissa mukana oleva juna 200011 kulkevat pohjoiseen. Ne pysähtyvät normaalisti Turengissa, jossa päästävät Intercityn ohitseen. Lisäksi 70005 pysähtyy Parolassa, jossa se päästää Pendolinon ohitseen. Nyt junat pysähtyvät Turengin sijasta vasta Hämeenlinnassa. Koska lähtöaikaa ei voi aikaistaa, on junilla kiire asemalle ennen perässä tulevia Intercityjä. Jotta ohjelma tietäisi, että junilla on kiire Hämeenlinnaa, junille asetetaan Sammaliston jälkeiselle asemalle Ryttylään ohitusaika, jota juna ei voi toteuttaa. Näin junat saadaan ajamaan Hämeenlinnaa suuremmalla teholla. Tätä myöhästymistä ei otettu huomioon aikataulujen vertailussa, koska sen tarkoitus oli vain kertoa ohjelmalle, että junilla on kiire seuraavalle asemalle.

Taulukossa 21 on esitetty häiriötilannemallinnuksen tulokset, kun Turengin puolenvaihtopaikkaa ei voitu käyttää kohtaamistilanteissa. Näiden myöhästymisten lisäksi tuli

paljon myöhästymisiä, jotka olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa. Esimerkiksi kaikki pohjoiseen kulkevat Pendolinot myöhästyi jonkin verran, koska ne joutuivat kulkemaan Turengin kolmannen raiteen kautta ja laskemaan sen vuoksi nopeuden hetkellisesti 80 km:iin/h.

Taulukko 21. Myöhästymiset Turengin vaihteiden häiriömallinnuksessa.

Asemat	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
TL			40006 (O)	21		
HL (S)	313 (S)	75	313 (S)	75	313 (S)	84
	319 (S)	75	319 (S)	102	319 (S)	75
			90005 (S)	186	70005 (S)	135
HL (L)	313 (L)	15	313 (L)	15	313 (L)	24
	319 (L)	15	319 (L)	42	319 (L)	15
SAM	20002 (S)	231				

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Ensimmäisessä vaihtoehdossa juna 20002 oli myöhässä, koska se joutui väistämään Pendolinoa jo Hämeenlinnassa Turengin sijaan. Juna ei ehtinyt Sammalistoon normaalia lyhyemmässä ajassa, joka sillä oli käytettävissä, vaikka se ajoi korkeammalla teholla. Intercityt 313 (IC83) ja 319 (IC47) olivat myöhässä kaikissa vaihtoehdoissa, koska ne joutuivat ajamaan Turengin kolmannen raiteen kautta. Junat ovat taulukossa mukana, koska toisessa ja kolmannessa vaihtoehdoissa niiden myöhästymiset ovat suuremmat. Tulosten tarkastelussa tulee siis huomioida, että junien 313 ja 319 myöhästymisiä ei voi laskea ensimmäisen aikataulun heikkoudeksi, koska ne myöhästyi vain Turengin kolmannen raiteen kiertämisen johdosta, mikä ei johdu aikataulurakenteesta.

Junat 90005 ja 70005 kulkivat pohjoiseen ja pysähtyivät Turengin sijasta vasta Hämeenlinnassa. Koska junilla ei ollut riittävästi aikaa ajaa Hämeenlinnaan, ne olivat myöhässä saapuessaan Hämeenlinnaan. Junat hidastivat myös perässä kulkevien Intercityjen kulkua. Toisessa vaihtoehdossa junan 90005 perässä kulki Intercity 319, ja kolmannessa vaihtoehdossa junan 70005 perässä kulki 315.

Toisessa vaihtoehdossa oli vielä yksi juna, joka myöhästyi. Juna oli 40006, ja sen myöhästyminen toistui samanlaisena kuin Parolan vaihteiden häiriömallinnuksessa. Pendolino oli myöhässä koukattuaan Turengin kolmannen vaihteen kautta, ja Pendolinon myöhästyminen myöhästyi Turun junaa, joka oli lähdessä pohjoiseen. Tavarajuna 40006 joutui jarruttelemaan, koska Turun juna ei ollut ehtinyt vielä siirtyä Toijalan toiselta raiteelta vaihdekujan läpi itäiselle raiteelle.

Vaihtoehtojen välistä paremmuusjärjestystä on vaikea määrittää. Ensimmäisessä vaihtoehdossa vain juna 20002 myöhästyi muista vaihtoehdoista poiketen, tosin junan myöhästymisen oli mallin lopussa. Kolmannessa vaihtoehdossa myöhästyi tavarajuna 70005 sekä henkilöjuna 313. Toisessa vaihtoehdossa myöhästyi vastaavasti tavarajuna 90005 ja takia henkilöjuna 319, sekä kolmas tavarajuna. Nämä

myöhästymiset tapahtuivat kuitenkin keskellä mallia, ja junat saivat kurottua aikataulunsa kiinni ennen mallin loppua. Ensimmäistä vaihtoehtoa voidaan pitää sen perusteella parhaana, ettei siinä myöhästynyt yksikään henkilöjuna.

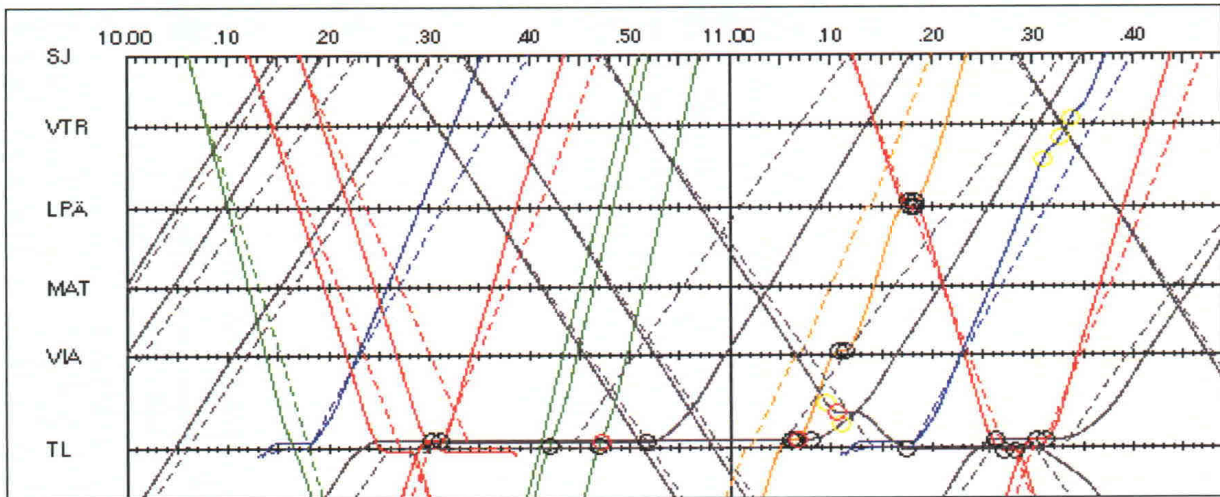
6.3.5 Kalusto-ongelmien mallintaminen

Kalusto-ongelmia mallinnettiin kahdessa erilaisessa häiriötilannesimuloinnissa. Toisessa häiriötilanteessa jäljiteltiin Pendolinojen yhdistämisen ongelmia. Ongelma-juniksi valittiin ne kaksi Pendolino-vuoroa, jotka todellisuudessa ovat kahden yksikön mittaisia. Nämä ovat pohjoiseen kulkeva 15 (S45), joka ohittaa Sammaliston noin 10:16, sekä etelään kulkeva 22 (S42) joka ohittaa Sääksjärven 8:06. Häiriömallinnuksessa nämä kahden yksikön junat ajettiin kahtena yhden yksikön junana. Uusi juna lähetettiin viiden minuutin päästä ensimmäisen yksikön perään. Loppuaikataulua ei muutettu.

Molempien Pendolinojen jälkeen lähtee muita junia. Näiden junien lähtöaikoja piti viivästyttää niin, että molemmat Pendolinot ajavat peräkkäin ennen muita junia. Pohjoisessa viivästys koski Intercity-junaa 422 (IC166), jolle asetettiin kolmen minuutin alkuviihe Sääksjärvelle. Näin juna lähti noin neljä minuuttia jälkimmäisen Pendolinon jälkeen. Etelässä Pendolinon perään lähtee Riihimäeltä taajamajuna kahden minuutin päästä, sekä kaksi minuuttia taajamajunan jälkeen kuvitteellinen tavarajuna, joka kulkee kolmatta raidetta pitkin Sammalistoon asti. Molemmille junille asetettiin neljän minuutin alkuviihe Sammalistoon.

Häiriötilanne ei tuottanut suuria eroja aikatauluvaihtoehtojen välille. Henkilöjunien osalta viiveet olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa. Tavarajunien osalta ensimmäinen ja kolmas vaihtoehto olivat yhtä hyvät. Toisessa vaihtoehdossa kaksi junaa myöhästyi enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa.

Kuvassa 23 on esitetty graafisen aikataulun muodossa toisen vaihtoehdon häiriötilanne, joka johti kahden muista vaihtoehdoista poikkeavan junan myöhästymiseen. Kuva esittää Toijalan (TL) ja Sääksjärven (SJ) väliä kello 10:00–11:50. Pendolinojen aikatauluviiva on piirretty vihreällä, tavarajunien harmaalla, Intercity-junien punaisella, pikajunien sinisellä ja taajamajunien oranssilla. Katkoviiva kuvastaa aikataulutettua kulkua ja yhtenäinen viiva simuloitua tulosta. Kahdeksi yhden yksikön junaksi erotetut Pendolinot saapuivat Sääksjärvelle noin 10:52 ja 10:57. Aikataulutettua katkoviivaa ei näy, koska molempien junien aikataulu on päällekkäin, joten viiva näkyy yhtenäisenä. Aikataulutettu viiva on kolmesta peräkkäisestä ensimmäinen, eli vihreä viiva, joka saapuu Sääksjärvelle noin 10:51.



Kuva 23. Tilannekuva Toijalasta (VE2), kun kahden Pendolinon yksikkö ajetaan kahtena erillisenä yksikkönä.

Toisessa vaihtoehdossa Turun tavarajunan 555503, joka lähtee normaalisti Toijalasta 10:44, lähtö myöhästyi enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa, koska tavarajuna joutui ensin odottamaan molempia Pendolinoja, ja sitten vielä aikavälin 4000x vastaantulevaa tavarajunaa 40006, joka ohitti Toijalan noin 10:50. Juna 555503 siis myöhästyi kaikissa vaihtoehdoissa hieman, koska se odotti molempia Pendolinoja normaalin yhden sijaan. Toisessa vaihtoehdossa se kuitenkin myöhästyi enemmän, sillä se joutui odottamaan myös vastaantulevaa junaa päästäkseen Toijalan toiselta raiteelta itäiselle raiteelle.

Etelään kulkeva juna 50006 puolestaan joutui odottamaan läntisellä raiteella junaa 200015 päästäkseen Toijalaan. Juna 200015 oli yhtä paljon myöhässä kaikissa vaihtoehdoissa. Se myöhästyi, koska se joutui odottamaan Toijalassa taajamajunaa, joka oli puolestaan päässyt lähtemään myöhässä Riihimäeltä Pendolinojen takia.

Toinen vaihtoehto oli siten huonoin ratkaisu tässä häiriötilanteessa, sillä siinä oli muista aikataulusta poikkeavia junia, jotka myöhästivät. Ensimmäinen ja kolmas vaihtoehto olivat molemmat yhtä hyviä.

Toisessa kalusto-ongelmiin kohdistuvassa simuloinnissa jäljiteltiin tilannetta, jossa Pendolinojen kallistus on rikki. Tällöin Pendolinolla voi ajaa vain 160 km/h. Häiriöjuniksi valittiin pohjoiseen kulkeva Pendolino 13 (S163) sekä etelään kulkevat Pendolinot 24 (S84) ja 26 (S46). Junien nopeusrajoitus laskettiin muuttamalla junien nopeustasoluokka Intercityn nopeustasoksi. Näin varsinaisiin kalusto-ominaisuuksiin ei tarvinnut puuttua.

Tässäkään ongelmatilanteessa ei tullut eroja henkilöjunien osalta eikä yhteisten tavarajunien osalta. Erot aikatauluvaihtoehdoissa kohdistuivat pelkästään aikatauluvälin 2000x juniin. Ensimmäisessä vaihtoehdossa juna 20002 väistää Pendolinoa 24 Turengissa. Koska Pendolino oli kallistuksen takia myöhässä, se myöhästyi junan 20002 lähtöä Turengista, joten juna saapui Sammalistoon myöhässä. Toisessa vaihtoehdossa juna 20004 odotti samaa Pendolinoa Hämeenlinnassa. Tämänkin tavarajunan

lähtö myöhästyi, koska Pendolino oli myöhässä. Juna pysähtyi toisen kerran Turengissa, jonne se saapui 1,5 minuuttia myöhässä. Se ei kuitenkaan myöhästytännyt perässä tulevaa Intercityä. Tavarajuna pääsi lähtemään Turengista ajoissa ja saapui ajoissa Sammalistoan. Kummankaan tavarajunan myöhästyminen ei siis häirinnyt muita junia.

Kolmas vaihtoehto oli siten paras vaihtoehto tässä häiriötilanteessa, koska siinä ei ollut muista vaihtoehdoista poikkeavia myöhästymisiä. Toinen vaihtoehto oli toiseksi paras, koska vaikka yksi muista aikatauluista poikkeava juna oli myöhässä, se saapui määräasemalle ajoissa.

6.3.6 Häiriötilanteiden yhdistelmiä

Koska yksittäisissä häiriötilanteissa syntyi vain vähän eroja aikatauluvaihtoehtojen välille, toteutettiin vielä kaksi simulointiajota, joissa yhdistettiin eri ongelmia. Toisessa häiriötilanteessa simuloitiin maaliskuun alkumyöhästymiset sekä molemmat kalusto-ongelmat eli kallistuksen vuoksi laskettu nopeusrajoitus ja kahdesta Pendolino-yksiköstä koostuvien junien ajo kahtena erillisenä junana. Lisäksi simuloitiin toukokuun alkumyöhästymiset samoilla kalusto-ongelmilla.

Taulukossa 22 on esitetty eri vaihtoehdoissa myöhästymisiltään poikkeavat junat, kun häiriötilanteista on yhdistetty maaliskuun alkumyöhästymiset, Pendolinojen kallistus-ongelmat ja Pendolinojen kytkentäongelmat. Myös tässä häiriötilanteessa joidenkin junien myöhästyminen on hyvin alhainen. Koska simulointi ei vastaa todellisuutta sekunnin tarkkuudella, ei pieniä myöhästymisiä ole järkevä ottaa mukaan aikataulujen paremmuuden vertailuun.

Taulukko 22. Simulointitulokset kalusto-ongelmien ja maaliskuun alkumyöhästymisten yhdistämisestä.

Asemat	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
SJ	555503 (S)	216	555503 (S)	366	555503 (S)	216
LPÄ	40004 (L)	204				
TL			50006 (S)	213		
TL	40004 (O)	147	50006 (L)	156	40002 (L)	231
	90001 (O)	36				
	555503 (L)	252	555503 (L)	456	555503 (L)	252
PRL	90001 (L)	150				
HL	40004 (O)	6	90005 (O)	108	40002 (O)	48
			20004 (L)	414	20006 (L)	12
					90003 (L)	147
TUR	20002 (L)	498	20004 (S)	408		
			90005 (L)	171		
SAM	424 (S)	144				
	20002 (S)	510				
	50004 (S)	9				

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Suurin osa tavarajunien myöhästymisestä on peräisin tilanteesta, jossa henkilöjuna saapui asemalle myöhässä. Henkilöjuna saapui myöhässä joko kalusto-ongelmien, alku-myöhästymisten tai näiden yhteisvaikutuksen vuoksi. Tavarajuna odotti henkilöjunaa, ja pääsi jatkamaan matkaansa vasta, kun myöhässä oleva henkilöjuna oli saapunut asemalle.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa juna 20002 väisti Pendolinoa Turengissa, joten sen myöhästymisen näkyy vain Sammaliston osalta. Koska 20002 oli reilusti myöhässä Sammalistossa, se häiritsi myös perässä tulevan Intercity-junan 424 (IC44) kulkua. Toisen vaihtoehdon 20004 väisti Pendolinoa Hämeenlinnassa ja Intercityä Turengissa. Se lähti myöhässä Hämeenlinnassa ja saapui Turenkiin myöhässä, mutta ei häirinnyt Intercityn kulkua. Tavarajuna ehti ajoissa Sammalistoon.

Ensimmäisen vaihtoehdon juna 40004 ei päässyt lähtemään ajoissa Lempäälässä, mikä näkyi myöhästymisinä Toijalassa ja Hämeenlinnassa. Myös kolmannen vaihtoehdon 40002 pääsi lähtemään Toijalasta myöhässä, koska Intercity oli myöhässä. Junat saivat kuitenkin aikataulunsa kiinni ennen Sammalistoa. Samoin aikavälin 9000x junat olivat myöhässä Intercityn takia. Myöhästymisasema vaihteli pysähdysaseman mukaan, mutta kaikki saivat aikataulunsa kiinni ennen Sääksjärveä.

Aikatauluvälin 5000x juna 50006 saapui Toijalaan myöhässä, koska Toijalasta lähti samoihin aikoihin toinen, kaikissa vaihtoehdoissa oleva tavarajuna, joka oli myöhässä jokaisessa vaihtoehdossa yhtä paljon. Juna myös lähti Toijalasta myöhässä, koska Intercity jota tavarajuna odotti, oli myöhässä.

Turun tavarajuna 555503 myöhästyi jokaisessa vaihtoehdossa, koska se joutui odottamaan myöhässä saapunutta henkilöjunaa. Toisessa vaihtoehdossa Turun tavarajuna myöhästyi kuitenkin enemmän kuin muissa vaihtoehdoista, koska juna joutui odottamaan vielä vastaan tulevaa tavarajunaa. Normaalitylanteessa ajotjärjestys on päinvastainen.

Kolmas vaihtoehto oli selvästi paras, koska siinä on vähiten myöhästyneitä junia, ja myöhästymiset ovat alhaisempia kuin muissa vaihtoehdoissa. Tulos on sama, vaikka tuloksissa ei huomioitaisi niitä junia, joiden myöhästyminen oli alle puolen minuutin luokkaa. Toisessa vaihtoehdossa myöhästymisten summa on hieman korkeampi kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, vaikka myöhästyneiden junien määrä on alhaisempi, sillä ensimmäisessä vaihtoehdossa on muutama juna, jotka myöhästyi vain hyvin vähän. Toinen vaihtoehto näyttää siten olevan huonoin vaihtoehto tässä häiriötilannemallissa.

Taulukossa 23 on esitetty eri vaihtoehdoissa myöhästymisiltä poikkeavat junat, kun häiriötilanteista on yhdistetty toukokuun alkumyöhästymiset, Pendolinojen kallistusongelmat ja Pendolinojen kytkentäongelmat. Myös tässä häiriötilanteessa suurin osa tavarajunien myöhästymisestä on peräisin tilanteesta, jossa henkilöjuna saapui asemalle myöhässä joko kalusto-ongelmien, alkumyöhästymisten tai näiden yhteisvaikutuksen vuoksi.

Taulukko 23. Simulointitulokset kalusto-ongelmien ja toukokuun alkumyöhästymisten yhdistämisestä.

Asemat	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)	Juna	Myöh. (s)
SJ	20002 (L)	24				
LPÄ	40004 (L)	279				
TL(S)			50006 (S)	60		
TL(L)	40004 (O)	222	40006 (O)	129		
			50006 (L)	96		
PRL	70003 (S)	192			70005 (S)	162
HL(L)	40004 (O)	81	20004 (L)	114	70005 (O)	228
	70003 (L)	147				
			100010 (O)	21		
TU	20002 (L)	198	20004 (S)	108	70005 (L)	291
SAM	20002 (S)	210				
	80001 (L)	66				

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Aikatauluvälin 2000x ensimmäisen vaihtoehdon juna 20002 oli myöhässä Sammalistossa, koska se väisti Turengissa Pendolinoa joka oli myöhässä, eikä saanut aikatauluaan kurottu umpeen. Saman aikatauluvälin toisen vaihtoehdon juna 20004 puolestaan väisti samaa Pendolinoa Hämeenlinnassa, ja sitten vielä Intercityä

Turengissa. Junan myöhästyminen ei ollut niin suuri, että se olisi häirinnyt Intercityä, ja koska Intercity oli ajoissa, tavarajunakin pääsi mallin loppuun ajoissa.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa aikatauluvälin 4000x juna 40004 ei päässyt lähtemään Lempäälästä ajoissa, koska perässä tuleva Intercity oli myöhässä. Se joutui odottamaan vielä vastaantulevaa junaa, joka oli ehtinyt varata kulkutien ennen tavarajunan liikkeellelähtöä. Saman aikatauluvälin juna 40006 joutui pysähtymään ennen Toijalan ohitusta, koska Turun juna oli matkalla pohjoiseen. Turun juna oli myöhässä jokaisessa vaihtoehdossa. Juna joutui odottamaan Pendolinoa, joka myös oli myöhässä yhtä paljon kaikissa vaihtoehdoissa. Junan 40006 perässä ollut 100010 joutui hieman jarruttelemaan, koska se tuli liian lähelle junaa 40006, ja oli sen vuoksi hieman myöhässä ohittaessaan Hämeenlinnan.

Aikatauluvälin 7000x junan 70003 lähtö Hämeenlinnasta myöhästyi myöhässä olleen Intercityn takia. Koska perässä saapunut Pendolinokin oli myöhässä, ei myöhästymisellä ollut haittaa henkilöjunien tai tavarajunan loppumatkan kannalta. Myös junalle 70005 kävi vastaavalla tavalla, tosin sen lähtö viivästyi Turengissa ja näkyi Hämeenlinnan ohituksena myöhässä.

Juna 50006 joutui hieman jarruttelemaan Toijalaan saapuessa, sillä Toijalasta vastakkaiseen suuntaan lähtevä tavarajuna oli myöhässä. Tämä tavarajuna odotti taajamajunaa, ja tilanne oli sama kaikissa vaihtoehdoissa. Juna 50006 joutui myös lähtemään myöhässä perässä tulevan ja myöhässä olevan Intercityn takia.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa myöhästyi vielä yksi juna, 80001. Se ei päässyt lähtemään Sammalistosta liikkeelle heti, koska sen edellä ajava Pendolino oli myöhässä. Myös junan 20002 lähtö Sääksjärveltä viivästyi, koska vastaantuleva taajamajuna varasi itäistä raidetta, eikä juna päässyt heti siirtymään kolmannelta raiteelta läntiselle raiteelle. Kolmas vaihtoehto oli selvästi paras, koska siinä myöhästyi vain yksi juna. Ensimmäisessä vaihtoehdossa myöhästyi useampi juna ja keskimääräiset myöhästymiset olivat toista vaihtoehtoa suuremmat. Myöhästymissumma oli selvästi suurin. Ensimmäinen vaihtoehto oli siten kaikista vaihtoehdoista huonoin.

6.4 Aikatauluehdotusten lopullinen vertailu

Häiriötilannemallinnusten tarkastelu yksittäin osoitti, että mikään aikataulu ei ollut paras tai huonoin jokaisessa häiriötilanteessa, vaan aikataulujen pysyvyys vaihteli ongelmasta riippuen. Esimerkiksi häiriötilanteessa, jossa opastin P173 oli punaisella, ensimmäinen vaihtoehto oli paras, sillä myöhästymissumma, maksimimyöhästyminen ja keskimääräinen myöhästyminen olivat alhaisimmat. Toinen vaihtoehto oli huonoin, sillä vaihtoehdossa myöhästyi yksi juna enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa, ja sekä myöhästymissumma että maksimimyöhästyminen olivat korkeimmat. Sen sijaan monissa muissa häiriötilanteissa ensimmäinen vaihtoehto oli huonoin.

Opastimen E174 häiriötilanteessa, maaliskuun alkumyöhästymistilanteessa, kallistusmallissa sekä häiriötilanteessa, jossa mallinnettiin toukokuun alkumyöhästymiset ja kalusto-ongelmat, kolmas aikatauluvaihtoehto oli paras ja ensimmäinen aikatauluvaihtoehto huonoin. Myös häiriötilanteessa, jossa mallinnettiin maaliskuun alku-

myöhästymiset ja kalusto-ongelmat, kolmas vaihtoehto oli paras, mutta huonoin oli toinen vaihtoehto.

Parolan ja Turengin vaihteiden häiriömallissa vaihtoehtojen välillä oli vaikea valita parasta tai huonointa. Turengin mallintamisessa ensimmäinen määriteltiin parhaaksi, koska siinä ei myöhästynyt yksikään ylimääräinen henkilöjuna. Pendolinojen yhdistämismallissa sekä ensimmäinen että kolmas vaihtoehto olivat yhtä hyviä. Toinen vaihtoehto oli huonoin, koska siinä oli muista aikataulusta poikkeavia junia, jotka myöhästyivät.

Kolmas vaihtoehto on stabiilein aikataulu, koska se oli paras vaihtoehto viidessä häiriötilanteessa kymmenestä. Lisäksi se jakoi parhaan sijan kaksi kertaa muiden vaihtoehtojen kanssa, eikä se ollut missään häiriötilanteessa huonoin vaihtoehto. Muiden vaihtoehtojen heikkoudet näyttivät keskittyvän muutamaan junaan. Esimerkiksi ensimmäisessä vaihtoehdossa juna 20002 oli usein myöhässä eri ongelmatilanteissa. Se väisti Pendolinoa Turengissa, eli matkan loppupäässä, joten juna ei saanut aikatauluun kurottua kiinni ennen määränpäähän saapumista. Lisäksi juna joutui malliin tultaessa muutamassa häiriötilanteessa konfliktiin toisten junien kanssa.

Koska kolmas vaihtoehto ei ole kaikissa tilanteissa paras, kannattaa tarkastella vielä yksittäisiä junia eri vaihtoehdoissa ja harkita kokonaan uuden vaihtoehdon muodostamista. Uuden vaihtoehdon voi muodostaa niistä eri vaihtoehtojen junista, jotka olivat aikatauluvälinsä pysyvimmät.

Taulukossa 24 on esitetty kooste etelään kulkevista, vaihtoehtoisista junista. Taulukossa on otettu huomioon jokainen junan reitin varrella tapahtunut pysähdys, lähtö tai ohitus, jossa juna on ollut myöhässä. Periaatteessa ei ole väliä, saapuuko tavarajuna ohituspaikalle myöhässä tai lähtekö se sieltä eteenpäin hieman myöhässä, jos tavarajunan myöhästymisen ei häiritse muiden junien kulkua. Tässä aikataulurakenteessa tavarajunat häiritsivät eri vaihtoehdoissa muita junia kuitenkin vain vähän, joten aikataulujen paremmuutta kannattaa arvioida vaihtoehtoisten tavarajunien kokonaistasmällisyyden kannalta.

Taulukko 24. Kooste etelään kulkevien vaihtoehtoisten junien myöhästymisistä.

Väli	Vaihtoehto 1				Vaihtoehto 2				Vaihtoehto 3						
	Juna/Asema	N	Ka	Summa	Juna/Asema	N	Ka	Summa	Juna/Asema	N	Ka	Summa			
2000x	20002	SJ (L)	2	24	48	20004	HL (L)	4	190	759	20006	HL (L)	2	12	24
		TU (L)	4	259	1035		TU (S)	4	184	735					
		SAM (S)	5	263	1314										
4000x	40004	LPÄ (S)	1	585	585	40006	TL (O)	4	333	1332	40002	TL (S)	1	642	642
		LPÄ (L)	5	463	2313		HL (O)	1	1023	1023		TL (L)	4	318	1272
		TL (O)	5	418	2088		SAM (S)	1	897	897		HL (O)	3	238	714
		HL (O)	5	277	1383							SAM (S)	1	498	498
		SAM (S)	1	1122	1122										
5000x	50004	TL (L)	1	1212	1212	50006	TL (S)	4	550	2199	50002	TL (L)	1	1083	1083
		HL (S)	1	1077	1077		TL (L)	6	252	1512		HL (L)	1	945	945
		HL (L)	1	876	876		HL (O)	1	798	798		TUR (S)	1	876	876
		SAM	3	298	894		SAM (S)	1	675	675		TUR (L)	1	417	417
													SAM (S)	1	423

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta, Ka = keskiarvo, N = junien määrä

Juna 20006 on selvästi paras aikavälin 2000x juna, koska se myöhästyi vain kahdessa eri mallissa, ja myöhästyminen oli todella alhainen. Juna 50002 oli aikavälin 5000x paras juna, koska se oli myöhässä vain kerran, opastimen E174 häiriötilanteessa. Saman aikavälin toinen vaihtoehto, juna 50006 oli usein myöhässä Toijalassa, ja kolmas juna 50004 oli puolestaan kolme kertaa Sammalistossa myöhässä. Aikavälin 4000x junista 40006 ja 40002 vaikuttavat yhtä hyviltä vaihtoehdoilta. Ensimmäisen aikataulu- vaihtoehdon juna 40004 sen sijaan on selvästi muita välin 4000x junia huonompi.

Taulukossa 25 on esitetty vastaavasti kooste pohjoiseen kulkevista, vaihtoehtoista junista. Taulukossa on otettu huomioon jokainen junan reitin varrella tapahtunut pysähdys, lähtö tai ohitus, jossa juna on ollut myöhässä.

Taulukko 25. Kooste pohjoiseen kulkevien vaihtoehtoisten junien myöhästymisistä.

Väli	Vaihtoehto 1				Vaihtoehto 2				Vaihtoehto 3						
	Juna/Asema	N	Ka	Summa	Juna/Asema	N	Ka	Summa	Juna/Asema	N	Ka	Summa			
7000x	70003	HL (L)	2	147	294	70001				70005	TU (L)	2	291	582	
		PRL (S)	2	192	384						HL (O)	3	197	591	
											PRL (S)	2	162	324	
8000x	80001	SAM (L)	2	66	132	80005	SJ (S)	1	723	723	80003	PRL (O)	1	279	279
		TL (L)	1	30	30					SJ (S)		1	738	738	
		SJ (S)	1	1125	1125										
9000x	90001	PRL (L)	3	193	579	90005	TUR (L)	2	171	342	90003	HL (L)	2	147	294
		TL (O)	2	36	72		HL (O)	3	134	402					

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta, Ka = keskiarvo, N = junien määrä

Pohjoisen suuntaan kulkevien junien välille ei tullut niin selviä eroja kuin etelään kulkevien vaihtoehtoisten junien osalta. Toisessa vaihtoehdossa olevat juna 70001 ja 80005 näyttäisivät olevan aikatauluvälinsä parhaat vaihtoehdot. Aikatauluvälissä 9000x puolestaan paras juna näyttäisi olevan Hämeenlinnassa pysähtyvä 90003.

Junien paremmuuden arvioinnissa tulee huomioida myös se, miten junat ovat vaikuttaneet henkilöjunien ja kiinteiden tavarajunien kulkuun. Taulukossa 26 on kooste henkilöjunista ja yhteisistä tavarajunista, joiden kulkuun vaikutti jokin vaihtoehtoista tavarajunista. Taulukossa ei ole mukana opastinhäiriötilanteiden simulointituloksia, koska näissä vaihtoehtoissa junien myöhästymiset johtuivat junien saapumistiheydestä ongelma-alueelle, eikä yksittäisten junien myöhästymisiä voinut selkeästi määrittellä pelkästään tietyn tavarajunan aiheuttamiksi.

Taulukko 26. Kooste vaihtoehtoisten tavarajunien aiheuttamista myöhästymisistä.

Juna	Asema	Vaihtoehto 1			Vaihtoehto 1			Vaihtoehto 1		
		Määrä	Ka	Summa	Määrä	Ka	Summa	Määrä	Ka	Summa
313	HL (S)	1	75	75	1	75	75	1	84	84
	HL (L)	1	15	15	1	15	15	1	24	24
319	HL (S)	1	75	75	1	102	102	1	75	75
	HL (L)	1	15	15	1	42	42	1	24	24
424	SAM (S)	1	144	144	0		0	0		
555503	TL (L)	3	178	534	2	456	912	2	252	504
	SJ (S)	2	216	432	2	275	825	2	216	432
100010	SAM (S)				1	1239	1239			

O = ohittaa aseman, S = saapuu asemalle, L = lähtee asemalta

Turun tavarajuna 555503 joutui muutamassa häiriötilanteessa odottamaan Toijalassa toisen aikatauluvaihtoehdon etelään kulkevaa junaa 40006, päästäkseen Toijalan toiselta raiteelta itäiselle raiteelle. Samoin juna 100010 myöhästeli junan 40006 ollessa myöhässä, koska ne ajoivat peräkkäin. Intercity-junan 313 (IC83) kulkuun vaikutti tavarajuna 70005 yhdessä häiriötilanteessa ja vastaavasti Intercity-junan 319 (IC47) kulkuun tavarajuna 90005. Tavarajuna 20002 puolestaan viivytti Intercity-junaa 424 (IC44) yhdessä häiriömallinnuksessa.

Kun vertailtiin pelkästään vaihtoehtoisten junien paremmuutta, havaittiin, että etelään kulkevat junat 20006, 50002 ja 40006 tai 40002 olivat parhaimmat vaihtoehdot. Pohjoisen suuntaan kulkevista junista parhaimmilta vaikuttivat 70001, 80005 ja 90003. Näistä junista ainoastaan 40006 oli vaikuttanut yhteisten tavarajunien kulkuun. Junista 40006 ja 40002 kannattaa siten valita mieluiten 40002. Uusi aikatauluehdotus muodostui siten neljästä kolmannen vaihtoehdon junasta ja kahdesta toisen vaihtoehdon junasta.

Todellisuudessa junien valinnassa tulee ottaa huomioon myös operaattorien toiveet. Samoin tulee varmistaa, että parhaimmaksi valitut junat voivat liikkua samassa aikataulussa. Esimerkiksi vastakkaiseen suuntaan kulkevat junat eivät välttämättä voi käyttää saman puolenvaihtopaikan samaa raidetta samaan aikaan, ja junat eivät saa joutua konfliktiin keskenään, esimerkiksi toisen pyrkiessä asemalle kun toinen on juuri lähdessä sieltä.

Uusi aikatauluehdotus simuloitiin ilman häiriöitä. Näin varmistuttiin, että aikataulu näytti toimivan perustilanteessa. Mikäli tämä aikatauluehdotus haluttaisiin valita lopulliseksi, tulisi aikataulun toimivuus vielä varmistaa häiriötilanteiden simuloinnilla.

Tässä tutkimuksessa häiriötilannesimuloinnit päätettiin tehdä kuitenkin vain kerran, joten pysyvimmäksi aikatauluksi muodostui kolmas aikatauluehdotus. Tarkoitus oli kuitenkin osoittaa, miten prosessia voitaisiin jatkaa, mikäli parhaimmaksi vaihtoehtotukseksi noussut ratakapasiteetinjakoehdotus ei vaikuta riittävän pysyvältä ja ehdotuksesta halutaan muokata vielä parempi.

7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

7.1 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin, voidaanko rautatieliikenteen simulointia hyödyntää ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa. Rautatieliikenteen simuloinnilla tarkoitetaan junien kulun jäljittelemistä tietokoneohjelman avulla. Ratakapasiteettihakemusten yhteensovittaminen puolestaan tarkoittaa menettelyä, jossa Ratahallintokeskus ratkaisee, miten eri kuljetusyriyten hakema, keskenään päällekkäinen ratakapasiteetti jaetaan kuljetusyriyten kesken. Työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta, jossa käsitellään työhön liittyvää teoriapuolta, sekä tapaustutkimuksesta, jossa toteutettiin simulointitutkimus sveitsiläisellä OpenTrack-simulointiohjelmalla.

Kansallinen tavaraliikenne avautui kilpailulle Suomen valtion rataverkolla vuoden 2007 alussa. Tätä aikaisemmin VR Osakeyhtiöllä oli yksinoikeus harjoittaa säännöllistä aikataulunmukaista tavaraliikennettä valtion rataverkolla. VR Osakeyhtiölle jäi edelleen yksinoikeus harjoittaa henkilöliikennettä sekä Suomen ja Venäjän välistä yhdysliikennettä. Rataverkon avautumisen myötä verkolle voi tulla uusia tavarankuljetusyriyksiä, mikäli ne täyttävät rautatielaisissa (555/2006) kuvatut rataverkolle pääsyn edellytykset.

Rataverkolle pääsy edellyttää, että yrityksellä on liikennöintivaatimukset täyttävää kalustoa ja pätevää henkilöstöä, Rautatieviraston myöntämä turvallisuustodistus, liikenne- ja viestintäministeriön myöntämä toimilupa sekä Ratahallintokeskuksen myöntämää ratakapasiteettia niille rataosille, joilla yritys aikoo harjoittaa liikennettä. Lisäksi yrityksen täytyy solmia rataverkon käyttösojimus Ratahallintokeskuksen kanssa.

Kuljetusyriyksen tulee laatia omat aikataulusuunnitelmat niille junille, joita se aikovat liikennöidä ja hakea sen perusteella Ratahallintokeskukselta ratakapasiteettia. Ratahallintokeskus sojittaa yriyten laatimat aikataulut yhteen ja laatii hakemusten pohjalta aikatauluehdotuksen. Yhteensovittamisen perusteella voi syntyä useita erilaisia aikatauluvaihtoehtoja, mikäli eri yriyksen hakevat suunnilleen samaa ratakapasiteettia hieman eri lähtö- tai saapumisajoilla, tai mikäli joku yritys ei hae tarkkaa aikataulua, vaan ratakapasiteettia tiettyjen aikarajojen puitteissa.

Aikatauluvaihtoja voidaan vertailla simuloimalla niitä erilaisissa häiriötilanteissa. Simuloinnin avulla nähdään, millaisia seurauksia erilaisista häiriötilanteista on erilaisissa aikatauluvaihtoehtoisissa. Simuloinnilla saadaan tunnuslukuja aikataulujen pysyvyydestä ja näiden tunnuslukujen avulla voidaan laittaa aikatauluehdotukset paremmuusjärjestykseen liikenteelliseltä kannalta.

Työssä toteutettiin tapaustutkimus Riihimäen ja Tampereen väliltä. Välillä on kaksi isompaa asemaa, Toijala ja Hämeenlinna, sekä useita pienempiä liikennepaikkoja. Mallinnusajankohdaksi valittiin aamu, jolloin verkolla liikkuu paljon henkilöjunia. Henkilöjunien aikatauluja ei muutettu, vaan lähtökohtana oli, että henkilöjunien ratakapasiteetti on jo kiinnitetty. Tavarajunille voidaan myöntää ratakapasiteettia vain, mikäli ne eivät häiritse henkilöjunien kulkua. Yhteensovittamisprosessin lähtökohtana oli löytää aikataulu kahdeksalle eri tavarajunalle molempiin suuntiin läpi mallinnus-

alueen, sekä kahdelle Toijalan ja Sääksjärven välillä kulkevalle Turun tavarajunalle molempiin suuntiin. Yhteensovittamisprosessi perustui kuvitteelliseen tilanteeseen, sillä tutkimuksen toteutusvaiheessa VR Osakeyhtiö oli edelleen ainut säännöllistä liikennettä harjoittava kuljetusyritys valtion rataverkolla.

Tavarajunien aikataulut laadittiin aikataulusuunnitteluohjelma Viriatolla. Varsinainen tapaustutkimus aloitettiin simuloimalla OpenTrackilla yksittäisiä junia ja varmistamalla, että tavarajunien aikataulut on laadittu niin, että ne voivat pysyä aikataulussaan. Junille tulee varata riittävästi aikaa esimerkiksi pysähdyksiä varten. Mikäli tavarajunan aikataulu oli laadittu liian tiukaksi, aikataulua muokattiin. Aikataulujen muokkausta jatkettiin, kunnes kaikki junat pystyivät liikkumaan niin, että ne pysyivät aikataulussaan eivätkä häirinneet muiden junien kulkua.

Kun tavarajunien aikataulut oli tarkistettu, muodostettiin kolme aikatauluvaihtoehtoa. Jokaisessa vaihtoehdossa oli viisi pohjoiseen ja viisi etelään kulkevaa tavarajunaa, jotka olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa. Lisäksi jokaisessa vaihtoehdossa oli kolme pohjoiseen ja kolme etelään kulkevaa junaa, jotka poikkesivat toisistaan eri vaihtoehdoista. Myös Turun tavarajunat olivat samat kaikissa vaihtoehdoissa.

Aikatauluehdotuksia tutkittiin simuloimalla erilaisia häiriötilanteita ja vertailemalla häiriötilanteiden seurauksia viivytysten avulla. Vertailuun otettiin mukaan vain ne junat, joiden viivytyksissä oli eroja vaihtoehtojen välillä. Koska suurin osa junista oli samoja kaikissa vaihtoehdoissa, ei aikatauluvaihtoehtojen välille noussut kovin suuria eroja. Yksi vaihtoehdoista oli hieman muita vaihtoehtoja parempi, sillä se oli pysyvin suurimmassa osassa tutkituissa tapauksissa. Ero ei ollut kuitenkaan kovin selkeä, sillä kyseinen aikatauluvaihtoehto ei ollut pysyvin kaikissa tutkituissa häiriötilanteissa. Muiden aikatauluvaihtoehtojen heikkoudet perustuivat lähinnä muutamiin juniin, jotka olivat usein myöhässä erilaisissa häiriötilanteissa.

Voitiin kuitenkin todeta, että häiriötilanteiden avulla onnistuttiin löytämään kolmesta vaihtoehdoisesta aikataulusta stabiilein. Simuloinnista oli siten hyötyä yhteensovittamisprosessissa. Simuloinnilla voitiin tarkistaa laaditut aikataulut ja asettaa aikataulut paremmuusjärjestykseen liikenteellisen sujuvuuden kannalta.

7.2 Työn tavoitteet ja niiden toteutuminen

7.2.1 Simuloinnin hyödyt

Työssä etsittiin vastauksia kahteen keskeiseen tutkimuskysymykseen. Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä hyötyjä simuloinnista on ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa. Lisäksi työssä oli tarkoitus selvittää, miten simulointi soveltuisi kiinteäksi osaksi yhteensovittamisprosessia.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että simuloinnista on hyötyjä useassa eri vaiheessa yhteensovittamisprosessin aikana. Ensinnäkin, simuloimalla voitiin tarkistaa yksittäisten junien aikataulut. Mikäli aikataulusuunnitteluvaiheessa ei ole huomioitu pysähtymiseen ja kiihdyttämiseen tarvittavaa aikaa, tavarajunan aikataulu saattaa jäädä liian tiukaksi ja juna saattaa häiritä muiden junien kulkua. Niiden junien, joiden

aikatauluissa on liian vähän pelivaraa, ajoaikoihin tulee lisätä aikaa esimerkiksi pysähtymisiä varten. Mikäli ajan lisäämiseen ei ole riittävästi tilaa muiden junien takia, junalle tulisi etsiä joku toinen reitti. Aikataulun tarkistamisella on erittäin tärkeä rooli yhteensovittamisessa, sillä mikäli aikatauluvirheitä ei havaita yhteensovittamisvaiheessa, virheet tulevat esille vasta liikenteessä. Jos junat eivät pysy aikataulussaan, myöhästymiset voivat heijastua eri puolille rataverkkoa.

Yksittäisten tavarajunien aikataulujen tarkistamisen jälkeen tavarajunat tulee sijoitella aikatauluun niin, että vastakkaiseen suuntaan kulkevat junat eivät joudu konfliktiin keskenään. Vastakkaisiin suuntiin kulkevat junat voivat joutua kaksiraiteisilla osuuksilla konfliktihin, mikäli junat poikkeavat pääraiteilta sivuraiteille ja joutuvat tuolloin varaamaan vastakkaiseen suuntaan kulkevien junien raidetta. Simulointi auttoi näkemään, milloin vastakkaisiin suuntiin kulkevien junien kulkureitit kohtasivat. Ilman simulointia on vaikeampaa arvioida, miten pitkään junat varaavat tiettyjä kulkuteitä, esimerkiksi kuinka kauan asemalta lähtevä juna varaa tiettyä vaihdekujaa.

Simuloinnin avulla nähtiin myös, että aikatauluvaihtoehdot oli laadittu kokonaisuudessaan oikein ja ne toimivat perustilanteessa ilman viivytyksiä. Häiriötilanteiden simuloinnin avulla nähtiin myös, miten aikataulut toimivat lievissä häiriötilanteissa. Sen lisäksi että simuloinnilla voitiin tarkistaa laadittujen aikatauluvaihtoehtojen toimivuus, simuloinnin avulla voitiin myös järjestää aikatauluvaihtoehdot liikenteelliseltä kannalta paremmuusjärjestykseen. Simuloinnin avulla saatiin aikataulujen pysyvyydestä tunnuslukuja, joiden avulla voidaan perustella ratakapasiteetin jakamispäätöksiä.

Simuloinnin avulla voidaan myös vaihtoehtoisesti etsiä vähiten häiriöherkkiä junia. Näistä junista voidaan muodostaa kokonaan uusi aikataulu, mikäli se on mahdollista kun otetaan huomioon muut seikat, kuten liikennöitsijöiden toiveet.

7.2.2 Simulointi osana yhteensovittamisprosessia

Kirjallisuuskatsauksen perusteella yhdeksi pääkriteeriksi simuloinnin soveltuvuudesta yhteensovittamisen osana nousi se, että simulointiprosessin tulee tapahtua nopeasti. Mallin tulisi olla nopeasti muodostettavissa tai valmiin mallin tulisi olla nopeasti muokattavissa ja tulosten käsittelyn tulisi olla yksinkertaista. Vuosittainen ratakapasiteetinhakemusprosessi kestää lain mukaan vain neljä kuukautta, tosin Ratahallintokeskuksen pyrkimys on, että prosessi kestäisi vain 2,5 kuukautta. Tästä ajasta aikataulusuunnittelu vie suurimman osan, joten simuloinnille saattaa olla aikaa käytettävissä vain muutama viikko.

Mallin rakentaminen on hidasta, joten kokonaan uuden alueen mallin rakentaminen ja simulointi tuskin onnistuu ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamiseen käytettävissä olevan ajan puitteissa. OpenTrackia voidaan kuitenkin rakentaa osissa, ja esimerkiksi nyt muodostettu malli voidaan liittää muihin pääradan malleihin. Mikäli simulointeja toteutetaan muiden suunnitteluprojektien yhteydessä eri puolella Suomen rataverkkoa, voidaan vähitellen paloittain etenemällä rakentaa vaikka koko Suomen kattava malli. Tulosten käsittely tapahtuu nopeasti, joten sen kannalta simulointi soveltuu hyvin myös nopeasti suoritettavaan tarkasteluun. Mikäli rajapinta aikataulusuunnitteluohjelma

Viriaton ja OpenTrackin välille saadaan toimimaan moitteettomasti, itse simulointi-prosessi nopeutuisi, mutta mallin rakentaminen veisi silti aikaa.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella arvioitiin myös, ettei kerralla tarvitse simuloida koko tutkittavaa aluetta. Myös osissa mallintaminen saattaa toimia riittävällä tarkkuudella, jos tutkittavat alueet voidaan rajata järkevästi. Esimerkiksi reitin, joka on osin kaksi- ja osin yksiraiteinen, voisi simuloida kahdessa osassa simuloimalla yksi- ja kaksiraiteiset osuudet erikseen. Ensin tulisi simuloida se alue, jossa on suuremmat reunaehdot ja vähemmän pelivaraa. Tämän jälkeen toisen alueen voi simuloida siten, että ensimmäisen alueen simulointitulokset huomioidaan asettamalla alkumyöhästymisiä tai aikaistamalla lähtöaikoja. Parasta kuitenkin olisi, jos tutkittavan ratakapasiteettihakemuksen saa kokonaisuudessaan malliin, jolloin voidaan tarkastella junan tai junien kulkua koko matkalta. Suomessa ei kuitenkaan ole simuloitu kovin suuria alueita, joten ei ole tietoa siitä, kuinka suurta verkkoa on käytännössä mahdollista tutkia yhdellä kerralla.

Simulointi voisi soveltua myös kiireellisen ratakapasiteetin hakuprosessiin, mikäli hakemus koskee yhtä tai muutamaa tavarajunaa. Tämä kuitenkin edellyttää, että verkko ja säännöllisen liikenteen junat ovat valmiina mallissa. Muutaman junan syöttö sekä tulosten tarkastelu on nopeaa valmiissa verkossa.

Simulointia ei kannata käyttää selvien aikatauluvirheiden etsimiseen, sillä jokaisen ylimääräisen junan lisääminen ja ylimääräinen simulointi vie aikaa. Jo ennen simulointia tulisikin tarkistaa, että esimerkiksi suunnitellut kohtaamis- ja ohitustilanteet on mahdollista toteuttaa suunnitelman mukaisilla liikennepaikoilla. Kun selvät virheet on poistettu aikataulusta, voidaan aloittaa simulointiprosessi.

Simulointi kannattaa aloittaa yksittäisten junien simuloinnilla, jolloin voidaan tarkistaa, että aikataulusuunnittelussa laadituissa aikatauluissa on riittävästi pelivaraa pysähtymisiä varten. Vuosia alalla toimineet liikennesuunnittelijat osaavat suunnitella pysähtymiset pitkän kokemuksen perusteella. Uudella liikennöitsijällä ei välttämättä kuitenkaan ole vastaavaa aikataulusuunnittelukokemusta. Liikennöitsijällä ei aina ole myöskään tietoa muiden tavarajunien kulusta. Liikennöitsijä saattaakin hakea suoraa yhteyttä, jossa on mukana vain kuorman lastaukseen ja purkuun tarvittavat pysähdykset. Jää siis Ratahallintokeskuksen vastuulle huolehtia, että aikatauluihin lisätään riittävästi aikaa myös ohitustilanteiden pysähtymistoiminnoille.

Simulointi soveltuu ajoikalaskentoihin, mutta myös Viriatoon on mahdollista saada lisäominaisuus, jossa lasketaan ajoaika. Viriaton ajoikalaskentaa varten ohjelmaan tulee syöttää tiedot junien ominaisuuksista ja verkosta. Viriatolla suoritettavaa ajoikalaskentaa tullaan mahdollisesti käyttämään Suomessa tulevaisuudessa. Mikäli aikataulujen laatiminen tapahtuu Viriatolla, saattaa simuloinnin käyttäminen ajoikalaskentoihin olla turhaa, jos sen voi suorittaa Viriatolla riittävällä tarkkuudella.

Vaikka Viriaton ajoikalaskenta korvaisi simuloinnin ajoikalaskennan, simuloinnilla on silti rooli yhteensovittamisprosessissa aikataulujen vertailussa. Häiriötilanne-simulointien perusteella voidaan vertailla junien viivytyksiä eri aikatauluvaihtoehdoissa ja valita aikataulu, joka on kaikkein stabiilein.

Ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisprosessissa häiriötilannemallinnukseen sopivat parhaiten häiriötilanteet, jotka eivät edellytä muutoksia aikataulurakenteeseen ja joissa junien ajojärjestys säilyy likipitään samana. Sopivimmiksi häiriötilanteiksi soveltuvat siten alkumyöhästymiset ja kalusto-ongelmien simuloinnit, sillä niiden mallintaminen on yksinkertaista. Tosin yksittäisten kalusto-ongelmien kohdistuessa vain yhteen tai muutamaun junaan, ei välttämättä synny selviä eroja vaihtoehtojen välille. Sen vuoksi kannattaa käyttää kalusto-ongelmia myös yhdistettynä alkumyöhästymisiin. Alkumyöhästymiset kannattaa perustaa todellisiin, toteutuneisiin tilanteisiin.

Tutkittavien vaihtoehtojen määrä riippuu vaihtoehtoisten junien määrästä ja liikennöitsijöiden toiveista. Kaikkia vaihtoehtoja ei kannata simuloida, jos aikataulu-yhdistelmien määrä on suuri. Tutkittavaksi tulisi valita vain ne vaihtoehdot, jotka vaikuttavat liikenteellisestiärkevimmiltä ja joissa samalla yhdistyvät mahdollisimman hyvin eri kuljetusyritysten toiveet. Tutkittavien häiriötilanteiden määrä puolestaan riippuu yksittäisten häiriötilanteiden informaation määrästä. Mikäli eri häiriötilanteet antavat toisistaan poikkeavia tuloksia, tarvitaan häiriötilannesimulointeja enemmän, jotta tulokset tukisivat riittävästi parhaimman vaihtoehdon valintaa.

Aikatauluvaihtoehtojen vertailussa mittareiksi sopivat parhaiten viivytykset, kuten keskimääräinen viivytys junaan kohden ja viivytyksen summa. Myös myöhässä olevien junien määrä kannattaa ottaa huomioon. Henkilöliikenteen kannalta on olennaista, että juna on ajoissa kaikilla pysähdysasemilla, joten aikataulujen vertailussa tulisi huomioida henkilöjunien viivytykset kaikilla pysähtymisasemilla. Tavaraliikenteen kannalta ei ole niin olennaista, onko tavarajuna yksittäisellä asemalla ajoissa, jos kyse on pelkästä väistämistilanteesta, edellyttäen että tavarajuna ei viivästytä muita junia. Tavarajunalle riittäisi siis periaatteessa se, että juna on ajoissa niillä asemilla, joilla on lastaus- tai purkutoimenpiteitä, joten muiden asemien viivytyksiä ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon. Tavarajunien viivytykset matkan aikana kertovat kuitenkin aikataulun mahdollisesta pelivaran puutteesta, joten myös tavarajunien myöhästymiset matkan varrella olevilla asemilla kannattaa ottaa mukaan tarkasteluun, erityisesti jos vaihtoehtojen välille ei juuri tule muita eroja.

Aikatauluista voidaan valita stabiilein vaihtoehto, joka toimii ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisen jakoehdotuksena, tai prosessia voidaan jatkaa valitsemalla ne junat, jotka joutuivat vähiten konfliktiin muiden junien kanssa. Näistä junista voidaan muodostaa kokonaan uusi aikataulu, mikäli muut seikat kuten liikennöitsijöiden toiveet sen mahdollistavat. Tämän jälkeen häiriötilanteet tulisi simuloida uudelleen, jotta myös uuden aikatauluvaihtoehdon pysyvyys erilaisissa häiriötilanteissa tulisi esille. Näin iteroimalla saatetaan löytää vielä parempi aikatauluvaihtoehto.

7.3 Työn ja tulosten arviointi

Ohjelma mallintaa linjaliikenteen oikeanmukaisesti, vaikka junankulku ei vastaakaan sekunnilleen todellisuutta. Pienet erot todellisuuden ja simuloinnin välillä eivät haittaa, sillä samat erot toistuvat kaikissa tutkituissa aikatauluissa ja aikatauluvaihtoehtoja vertailtiin suhteellisesti. Työssä saatiin vastaukset tutkimuskysymyksiin. Työssä löydettiin simuloinnille hyötyjä, kuten ajoaikojen tarkistaminen, ja voitiin vertailla eri

aikatauluvaihtoehtoja liikenteellisen sujuvuuden kannalta. Lisäksi työssä voitiin todeta, että simulointi soveltuu osaksi yhteensovittamisprosessia. Työtä voidaan siten pitää onnistuneena ja työn tuloksia luotettavana. Toisaalta työssä havaittiin myös joitain heikkouksia tai rajoituksia, jotka tulee ottaa huomioon, kun simulointia käytetään todellisessa tilanteessa yhteensovittamisen apuvälineenä.

Työssä käytetyn simulointimallin yhtenä heikkoutena oli se, että malli päättyi juuri ennen Riihimäen ja Tampereen asemia. Mikäli juna saapui mallin loppuun myöhässä, myöhästymisen todellisia seurauksia ei nähty, koska ei voitu mallintaa sitä, miten myöhästyminen vaikutti kyseisten ratapihojen muuhun liikenteeseen. Junan myöhästymisen saattaisi esimerkiksi myöhästyttää jonkun toisen junan lähtöä. Lisäksi jos junan on määrä lähteä lyhyen pysähtymisen jälkeen takaisin, paluulähtö olisi saattanut myöhästyä, jos kääntymiselle ei ole varattu riittävää pelivaraa ja tulomyöhästymisen on suuri. Nyt junien vuorovaikutuksia ja kytkentöjä paluujuniin ei voitu huomiota.

Tässä tutkimuksessa ohitusajat asetettiin vain isoimmille asemille Hämeenlinnaan ja Toijalaan sekä mallin päihin Sammalistoan ja Sääksjärvelle. Lisäksi pysähtyville junille asetettiin saapumis- ja lähtöajat pysähdysasemille. Tässä menettelyssä haittana oli kuitenkin se, että vain hieman myöhässä ollut juna ajoi korkeammalla teholla pitemmän matkan kuin olisi ollut tarvetta, sillä juna ei saanut tietoa jokaisella liikennepaikalla siitä, kulkeeko se aikataulussaan. Mikäli ohitusaika olisi asetettu kaikille asemille, ohjelma olisi saanut jokaisella liikennepaikalla tiedon siitä, kulkeeko juna aikataulussaan. Jotkut liikennepaikkavälit ovat kuitenkin hyvin lyhyitä, joten ajoajat lyhyille väleille olisi pitänyt määrittää lähes sekunnin tarkkuudella. Tutkimuksessa ajateltiin, että ohitusajat isoimpien asemien kohdalla riittävät, koska junakuljettajatkään eivät todellisuudessaakaan seuraa junankulkua sekunnin tarkkuudella. Tarkempaa ajoaikojen määrittämistä kannattaa kuitenkin harkita jatkossa.

Ohitusaikojen lisäksi tavarajunien pysähtymisajat olisi voinut määrittää toisin. Nyt pysähtyville tavarajunille määritettiin saapumis- ja lähtöaika asemalle. Junille olisi voinut määrittää myös pelkän arvioitun saapumisajan, pakollisen pysähtymisen sekä ehdon, että tavarajunan tulee odottaa sitä henkilöjuna, joka on tarkoitus päästää ohi. Tällöin tavarajuna pääsisi lähtemään heti, kun henkilöjuna on ohittanut aseman. Kun tavarajunalle asetettiin myös lähtöaika, tavarajuna joutui odottamaan asemalla lähtöaikaan asti, vaikka ohittava juna olisi jo mennyt aiemmin. Simulointi ilman lähtöaikoja olisi saattanut vastata paremmin todellisuutta, sillä todellisuudessa tavarajunat voivat mahdollisesti lähteä asemalta nopeammin ohittavan junan perään, jos muita syitä pysähtymiselle ei ole. Lähtöaikoja käyttämällä saatiin kuitenkin tuloksia tilanteesta, jossa junilla on selkeä aikataulu, jota ne pyrkivät noudattamaan.

Työssä saatiin numeerisia tuloksia junien viivytyksistä eri tilanteissa, kuten lähtö- ja saapumisviivytykset ja ohitusviiveet. Osa junien häiriötilanteen viivytyksistä oli kuitenkin hyvin pieniä. Simulointimalli ei jäljittele todellisuutta sekunnin tarkkuudella, joten alhaiset myöhästymiset pitäisi jättää tuloksista huomioimatta. Pienetkin viiveet kuitenkin kertovat hieman aikataulun pysyvyydestä ja siitä, onko junan aikataulu hyvin häiriöherkkä. Esimerkiksi lähes joka häiriötilanteessa hieman myöhästyvän junan aikatauluun kannattaa lisätä vähän pelivaraa.

Tapaustutkimuksessa havaittiin, että kaikkia kokeiltuja häiriötilanteita ei kannata ottaa mukaan yhteensovittamisprosessiin. Näitä olivat raiteiden sulkeminen sekä vaihteiden häiriöt. Esimerkiksi raiteiden sulkemista ei kannata käyttää yhteensovittamisprosessissa, sillä ohjelma ei osaa ratkoa tilanteita älykkäästi ja junien hierarkiaa noudattaen. Yksiraiteisen osuuden saa kulkea ensin juna, joka ehti osuudelle ensin, vaikka junien kulku toisessa järjestyksessä saattaisi olla kokonaistilanteen kannalta parempi. Vaihteiden häiriötilanteessa käyttäjä joutui päättämään junien uuden ajojärjestyksen ja pysähtymiskäyttäytymisen, mikä on hyvin työlästä. Lisäksi käytetty ratkaisu vaikuttaa myös aikataulujen paremmuuteen. Junia olisi voitu siirrellä myös toisella tapaa. Tässä suosittiin henkilöliikennettä niin pitkälle kuin mahdollista, joten tuloksissa ei ollut suuria eroja vaihtoehtojen välillä.

Vaikka raiteiden sulkeminen tai vaihteiden ongelmatilanteet eivät sovi yhteensovittamisprosessiin, tämä ei ole varsinainen ongelma. Todellisuudessa liikenteenohjaajat joutuvat ongelmatilanteissa tekemään erikoisratkaisuja junien reittien ja järjestyksen suhteen. Tilanteen ratkaisu riippuu aina liikenteenohjaajasta. Eri liikenteenohjaajien tekemillä ratkaisuilla voi olla erilaiset seuraukset. Yhden ohjaajan tekemien ratkaisujen mukaan yksi aikataulu saattaisi olla pysyvin. Mikäli toinen ohjaaja toteuttaisi tilanteen ratkaisemisen jollain toisella tapaa, saattaisi tässä ratkaisussa olla jokin toinen aikatauluvaihtoehto pysyvämpi.

Opastimen häiriösimuloinnin haittana on se, että häiriö kohdistuu pistemäisesti yhteen paikkaan, ja tulokset riippuvat junien ajojärjestyksestä ja etäisyyksistä juuri kyseisessä pisteessä. Mikäli häiriö kohdistuisi johonkin toiseen opastimeen samalla reitillä, tulokset voisivat poiketa, koska junien ajojärjestys ja ajoväli vaihtelevat matkan aikana, kun tavarajunat päästävät nopeita junia ohitse. Mikäli opastimen häiriötilannesimulointeja halutaan ottaa mukaan yhteensovittamisprosessin aikataulujen vertailuun, kannattaa niitä suorittaa useita yhdelle aikataululle niin, että tutkittavaksi otetaan useita opastimia eri puolilta verkkoa. Jokainen tilanne simuloidaan erikseen ja tulokset voidaan arvioida yhdessä.

Tapaustutkimuksessa pyrittiin valitsemaan tutkittavat häiriötilanteet niin, että ne kuvastaisivat mahdollisimman hyvin yleisiä, rautatieliikenteessä esiintyviä häiriötilanteita. Tapaustutkimuksessa olisi voinut toteuttaa myös toisenlaisia häiriötilanteita, kuten määrittää tilapäinen nopeusrajoitus jollekin osuudelle esimerkiksi radan kunnan vuoksi. Häiriötilanteita olisi voitu ottaa tutkimukseen myös lisää, esimerkiksi simuloimalla useampia alkumyöhästymisiä. Valittaviin häiriötilanteisiin vaikuttaa myös tutkimusalue. Ennen uuden tutkimuksen aloittamista uudelle alueella kannattaa käydä läpi kyseisen alueen tyypilliset ongelmapaikat alueen liikenteenohjaajien kanssa.

Ajoaikasimulointitulosten tarkasteluissa tulee muistaa, että ajat pätevät vain tietyn painoisille ja pituisille, tietyn vetokyvyn omaaville junille. Ajoikalaskentojen simulointituloksia ei siis saa yleistää toteamalla, että tietyille väleille voi lisätä tavarajunia ja tietyille väleille ei. Ajoikalaskennat tulisi suorittaa juuri sille kokoonpanolle, jolle ratakapasiteettia haetaan.

Aikatauluyhdistelmien mahdollinen määrä on suuri, ja tässä tutkittiin vain kolmea vaihtoehtoa. Vaihtoehtoja olisi voinut tutkia myös useampia. Simulointi olisi voitu toteuttaa myös väleittäin esimerkiksi niin, että aloitetaan tutkimalla yhden välin parhaat

vaihtoehdot. Tämän jälkeen kiinnitetään parhaiksi osoittautuneet junat, jonka jälkeen siirrytään seuraavan aikatauluvälin tutkimiseen. Tämän olisi kuitenkin huomattavasti työläämpi ratkaisu. Lisäksi se, mikä väleistä tarkastellaan ja kiinnitetään ensimmäisenä, vaikuttaisi juniin, jotka valittaisiin aikatauluehdotukseen mukaan ja siten muodostuneen aikataulun pysyvyyteen.

Aikataulujen vertailuperusteena käytettiin häiriötilanteesta riippuen joko koostetta määräasemalta tai kaikkien yksittäisten junien myöhästymisiä kaikilla asemilla. Opastimen häiriötilanteissa vertailtiin koostetta määräasemilla Sammalistossa ja Sääksjärvellä, ja vertailuperusteina käytettiin keskimääräisiä viivytyksiä, viivytysten summaa ja maksimiviivytystä. Muissa häiriötilanteissa ei tullut niin suuria eroja vaihtoehtojen välille, joten myöhästymisiä tarkasteltiin yksittäisten junan osalta. Vertailuun otettiin mukaan kaikki ne junat, jotka myöhästyi muista vaihtoehdoista poikkeavasti ja viivytyksissä huomioitiin niin ohitus, saapumis- kuin lähtöviivytyksetkin. Tunnusluvut olisi voinut valita myös toisin, esimerkiksi vertailla pelkkiä viivytyssummia tai valita vertailtavat viivytykset toisin, esimerkiksi huomioida viivytykset kaikissa häiriötilanteissa vain määräasemilla. Tässä työssä käytetyllä tavalla voitiin kuitenkin huomioida aikataulujen ongelmakohdat parhaiten koko tarkastelualueella.

Tässä työssä päästiin kokeilemaan vain yhden simulointiohjelman käyttöä. Markkinoilla on myös muita simulointiohjelmiä, jotka varmasti soveltuisivat yhteensovittamisprosessiin yhä hyvin kuin OpenTrack. Koska ohjelmat pyrkivät kuvaamaan junien kulun todellisuutta vastaavasti, tulokset aikataulujen pysyvyydestä tutkittujen häiriötilanteiden osalta olisivat luultavasti samansuuntaisia. Muissa ohjelmissa saattaisi kuitenkin olla ominaisuuksia, joiden ansiosta ohjelma soveltuisi OpenTrackia paremmin yhteensovittamisprosessiin, esimerkiksi mallin rakentaminen on nopeampaa ja simulointialueen koon suhteen ei ole rajoituksia. Toistaiseksi OpenTrack näyttää kuitenkin soveltuvan riittävässä määrin yhteensovittamisprosessin apuvälineeksi.

7.4 Jatkotutkimusaiheet

Tässä tutkimuksessa simuloitu rataosuus oli kokonaan kaksiraiteista. Seuraavaksi simulointia kannattaisi kokeilla yksiraiteisella osuudella. Myös yksiraiteiselle osuudelle soveltuvat häiriötilanteiden mallintamisessa parhaiten alkumyöhästymiset ja kalusto-ongelmat, joiden toteuttaminen on nopeaa.

Tutkimuksessa laadittu malli pääradasta kannattaisi yhdistää pääradan muihin simulointimalleihin ja kokeilla, voiko esimerkiksi koko pääradan simuloida kerralla erilaisissa häiriötilanteissa ja kuinka kauan tämä kestää. Simulointia kannattaisi kokeilla myös yksittäisten junien osalta isommalla mallilla ja testata, toimiiko simulointi riittävän nopeasti isolla mallilla niin, että sitä voitaisiin hyödyntää kiireellisen ratakapasiteetin jakoprosessissa.

Tekniikan kehittyessä kannattaa pohtia myös ajantasaisen simuloinnin hyödyntämistä rautatieliikenteessä. Ajantasaisen simuloinnin avulla voitaisiin esimerkiksi simuloida tulevia ongelmia jo etukäteen ja nähtäisiin ongelmatilanteisiin erilaiset ratkaisut saman tien. Esimerkiksi junan lähtiessä lähtöasemalta myöhässä tiedetään suunnilleen, kuinka paljon juna voi kuroa aikatauluun kiinni matkan varrella. Tällöin voitaisiin tutkia

alkumyöhästymisten avulla, mitä seurauksia tulee, kun kyseinen juna saapuu myöhässä, ja siirtää esimerkiksi kohtaamisia muiden junien kanssa. Kun vaihtoehtoja on useita, ajantasaisella simuloinnilla saataisiin selvät numeroarvot eri junien viivytyksistä erilaisissa ratkaisuisa. Tämä voisi helpottaa liikenteenohjaajaa ongelmatilanteiden ratkaisuisa. Lisäksi toteutuneita myöhästymistietoja voitaisiin hyödyntää seuraavan aikataulun suunnitteluvaiheessa.

Ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamiseen saattaisi soveltua myös sellainen simulointiohjelma, joka kykenee muodostamaan ongelmatilanteissa uutta aikataulua, eli siirtämään kohtaamisia ja vaihtamaan junien ajojärjestystä junien hierarkian mukaisesti niin, että kokonaistilanne säilyy mahdollisimman edullisena. Tällöin voitaisiin simuloida monimutkaisempia häiriötilanteita. Esille voisi tulla myös kokonaan uusia ratkaisuja, joita ei ole havaittu aikataulun suunnitteluvaiheessa. Mikäli liikennöitsijöiden määrä Suomessa kasvaa, yhteensovittamistyö varmasti monimutkaistuu ja tällöin iteratiivisesti toimivalle, OpenTrackia itsenäisemmälle ja nopeammalle työkalulle voisi olla käyttöä.

Kilpailutilanteen kehittyessä kannattaa varautua laajempaan selvitykseen käytettävissä olevista työkaluista. Todennäköisesti tämä ei kuitenkaan ole ajankohtaista vielä lähivuosina. Vertailutyötä ei kannata tehdä liian aikaisin, koska ohjelmien kehitystyö jatkuu koko ajan ja ohjelmiin tulee uusia ominaisuuksia. Myös OpenTrackin kehitystyö jatkuu, joten ohjelman ominaisuuksia saatetaan kehittää tulevaisuudessa vielä paremmin ratakapasiteetin jakoprosessiin sopiviksi.

LÄHTEET

Blomqvist, E. (2007a). Täsmällisyyskoordinaattori Egon Blomqvistin haastattelu 1.6.2007. VR Osakeyhtiö, Helsinki.

Blomqvist, E. (2007b). Kalvosarja junaliikenteen täsmällisyydestä. VR Osakeyhtiö, Helsinki.

Čapek K. (2006). Increasing railway capacity by means of better scheduling and traffic control. Liikennetekniikan seminaari 2005–2006, Raideliikenne. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu 109. Espoo. s. 474.

Euroopan unionin portaali (2006). Internetsivut, liikenne. (Online, viitattu 22.12.2006.) <http://europa.eu/scadplus/leg/fi/lvb/l24040.htm>

Europa, kts. Euroopan unionin portaali.

Funkwerk (2007). Internetsivut, tuotteet. Funkwerk Information Technologies GmbH. (Online, viitattu 10.4.2007.) http://www.vit.vossloh.com/fs_cms/en/products/planning_and_simulation/planning_and_simulation.html

Hense W. (2007). RNE-yhdyshenkilö Wolfgang Hensen haastattelu sähköpostitse 2.7.2007. DB Netz AG, Frankfurt, Saksa.

Hovi S. (2002). Junaliikenteen simulointi. Seminaariesitelmä, Väylät ja Liikenne 2002, Jyväskylä.

Hovi S. (2006). Muistio Suomessa toteutetuista simulointitarkasteluista.

Hovi S. ja Paasikivi J. (2007). Liikennesuunnittelija Sami Hovin ja liikennesuunnittelu-päällikkö Jari Paasikiven haastattelu 10.8.2007. VR Osakeyhtiö, Helsinki.

Hovi S., Ronni J. (1997). Junaliikenteen simulointiohjelmien kartoitus. Ratahallintokeskus, kehittämissyksikkö ja Oy VR-Rata Ab, suunnitteluosasto. Helsinki.

Hovi S., Ronni J. (1999). Junasimulaattorin esittelytilaisuus 14.1.1999. Oy VR-Rata Ab, suunnitteluosasto, Helsinki.

IBS - The Consulting Company for Railway Operating Systems Ltd. (2007). Internetsivut, tuotteet ja palvelut. (Online, viitattu 10.4.2007.) http://www.simu.de/website_en/produkte/simulation/index.htm

IVE - Institute for Transport, Railway Construction and Operation (2007). Internetsivut, RailSys-simulointiohjelma. (Online, viitattu 10.4.2007.)

http://www.ive.uni-hannover.de/software/railsys/index_en.shtml

Kokkonen M. (2007). Junakaluston ajodynamiikan mallintaminen. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 103 s.

Kosonen, I. (2007a). Kurssin Yhd-71.148 ”Liikenteen simulointi”, luentokalvot 29.1.2007. TKK, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo.

Kosonen T. (2006). Lehtiartikkeli ”Ratapihojen simulointi”. Rautatietekniikka 1/2006.

Kosonen, T. (2007b). Diplomi-insinööri Tero Kososen pitämät OpenTrack-simulointiohjelman koulutustilaisuudet keväällä ja kesällä 2007. Oy VR-Rata Ab, Helsinki.

Käräjämies, U. (2000). Simulointi käyttäjän näkökulmasta. Liikennetekniikan seminaari 1999–2000, Liikenteen simulointi. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu 101, Espoo. 145 s.

Law, Averill M. (2007). Simulation modelling and analysis, 4th ed. McGraw-Hill, New York, USA.

Liikenne- ja viestintäministeriö (2004). Rautatieliikenteen häiriönhallinnan toimintamalli. FITS-julkaisuja 46/2004. Helsinki. 92 s.

Liikenne- ja viestintäministeriö (2006). Liikenne- ja viestintävaliokunnan mietintö, hallituksen esitys HE 16/2006.

Liikenne- ja viestintäministeriö (2007). Internetsivut, ministeriön esittely. (Online, viitattu 3.9.2007)

<http://www.lvm.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1924&menuid=5>

L’Union Internationale des chemins de fer (2004). Code 406, Capacity. 1st edition, June 2004.

L’Union Internationale des chemins de fer (2007). Internetsivut. (Online, viitattu 7.9.2007.) <http://www.uic.asso.fr/>

LVM, ks. Liikenne- ja viestintäministeriö.

Mäkitalo M. (2000). Ratakapasiteetin perusteet. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 9/2000. Ratahallintokeskus, turvallisuusyksikkö, Helsinki. 65 s.

Mäkitalo M. (2001). Vakioaikataulu junaliikenteen ja rautatieinfrastruktuurin kehittämiseksi. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 9/2001. Ratahallintokeskus, liikennejärjestelmäyksikkö, Helsinki. 117 s.

- Mäkitalo M. (2007a). Diplomi-insinööri Miika Mäkitalon haastattelut keväällä 2007. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto, Helsinki.
- Mäkitalo M. (2007b). Rautatieliikenteen perusteet. Ratahankkeiden reunaehdot, rautatieliikennejärjestelmä. Esitelmä 14.2.2007, RHK-Akatemia, Tampereen teknillinen yliopisto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos, Tampere.
- Mäkitalo M., Paasikivi J., Mäkilä M. (2004). Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun nykytila. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 7/2004. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäyksikkö, Helsinki. 33 s.
- Mäkitalo M., Tuominen M., Väänänen H. (2005). Ratatietojen kuvaaminen – ratatietokanta ja verkkoselostus. Ratahallintokeskus. Liikennejärjestelmäosasto. Helsinki. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 3/2005. 34 s.
- Mikkola A. ja Nieminen J. (2007). Opastusliikenteenohjaaja Aki Mikkolan ja ohjauspäällikkö Jorma Niemisen haastattelu 21.3.2007. VR Osakeyhtiö, Tampere.
- Mosiołek P. (2007). RNE-yhdyshenkilö Piotr Mosiołekin haastattelu sähköpostitse 31.5.2007. Polish Railway Network, Varsova, Puola.
- Nieminen, J. (2007). Pääradan toimivuustarkastelu: VR:n edustajien haastattelut, Muistio.
- Nyby M. (2005). Ratakapasiteetin jakamisen tietojärjestelmät. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenne- ja kuljetustekniikka. Tampere.
- Ondovcikova, B. (2007). RNE-yhdyshenkilö Blanka Ondovcikovan haastattelu sähköpostitse 30.5.2007. Railways of the Slovak Republic (ZSR), Bratislava, Slovakia.
- OpenTrack (2007). Internetsivut. OpenTrack Railway Technology Ltd. c/o Institute for Transport Planning and Systems, Zürich, Sveitsi. (Online, viitattu 10.4.2007.) http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html
- Pachl, J. (2002). Railway Operation and Control, VTD Rail Publishing, USA.
- Pachl J. (2007). Avoiding Deadlocks in Synchronous Railway Simulations. 2nd International Seminar on Railway Operations Modeling and Analysis, RailHannover 2007.
- Pitkänen, J. (2006). Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen. Ratahallinto-keskuksen julkaisu A 4/2006. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto, Helsinki. 146 s.
- Pitkänen, J. (2007). Diplomi-insinööri Jukka-Pekka Pitkäsen haastattelut keväällä 2007.
- Ratahallintokeskus (2005). Junaturvallisuussääntö 2005 (Jt). Ratahallintokeskuksen määräykset ja ohjeet, Helsinki.

Ratahallintokeskus (2006). Verkkoselostus 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisu F 1/2006, Helsinki.

Ratahallintokeskus (2007a). Liikenteenohjaus. (Online, viitattu 7.9.2007.)
http://www.rhk.fi/rhk/rautatiet_osana_liikennejarjeste/perusradanpito/turvalaitteet_ja_liikenteenohjau/

Ratahallintokeskus (2007b). Internetsivut, radan käyttö. (Online, viitattu 15.1.2007.)
http://www.rhk.fi/radan_kaytto/

Rautatievirasto (2006). Ohje turvallisuustodistuksen hakemisesta. 13.12.2006.

RHK, ks. Ratahallintokeskus.

RmCon - Rail Management Consultants (2007). Internetsivut, RailSys-simulointiohjelma. (Online, viitattu 10.4.2007.)
http://www.rmcon.de/englisch/uber_railsys.html

Ruohonen, K. (2006). Rautatieliikenteen toimivuus syksyllä 2006. RHK:n sisäinen muistio, 13.11.2006. Ratahallintokeskus, Helsinki.

UIC, ks. L'Union Internationale des chemins de fer.

VR-Yhtymä Oy (2007a). Internetsivut, etusivu. (Online, viitattu 1.2.2007.)
<http://www.vr-konserni.fi/index.html>

VR-Yhtymä Oy (2007b). Internetsivut, junakalusto. (Online, viitattu 30.7.2007.)
<http://www.vr.fi/heo/junat/junat.htm>

VR-Yhtymä Oy (2007c). Kevään 2007 junaliikenteen aikataulut. VR, ks. VR-Yhtymä Oy.

Väänänen H. (2006). Rautatietavaraliikenteen kilpailun avautuminen ja rataverkon haltijan palvelutuotanto. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenne- ja kuljetustekniikka. Tampere.

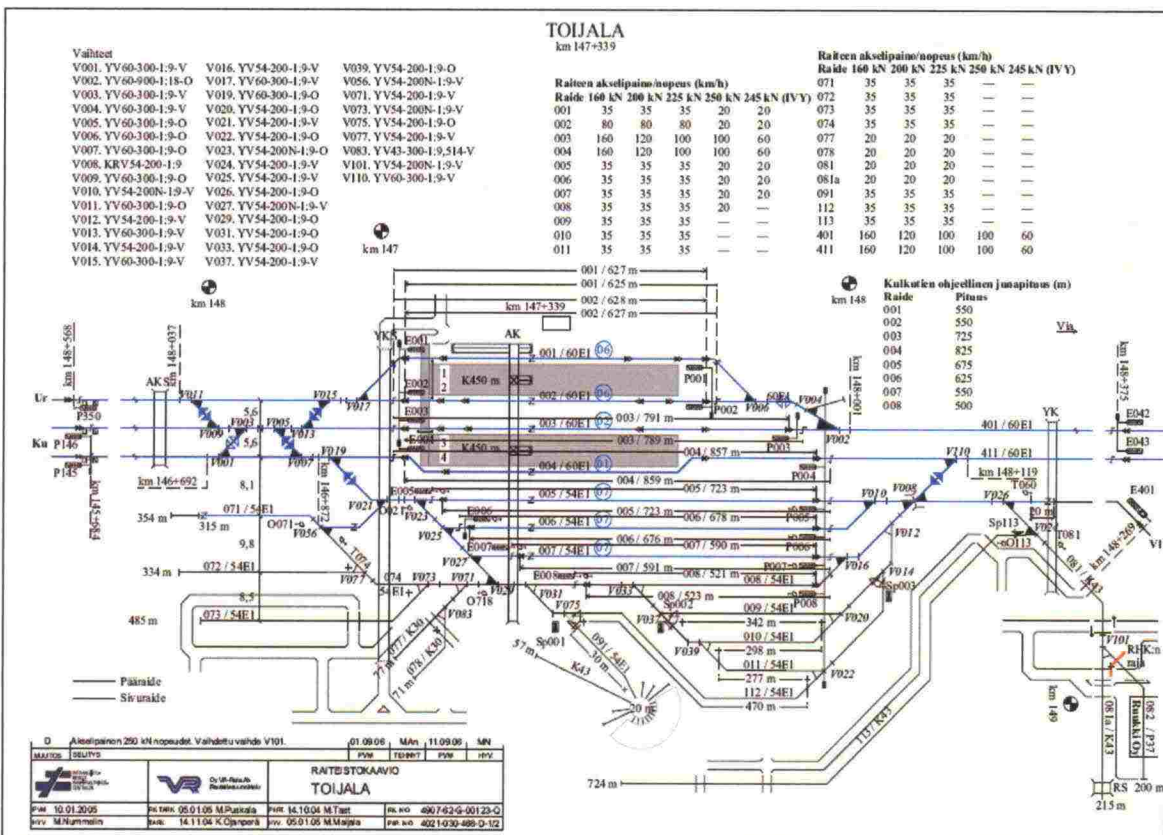
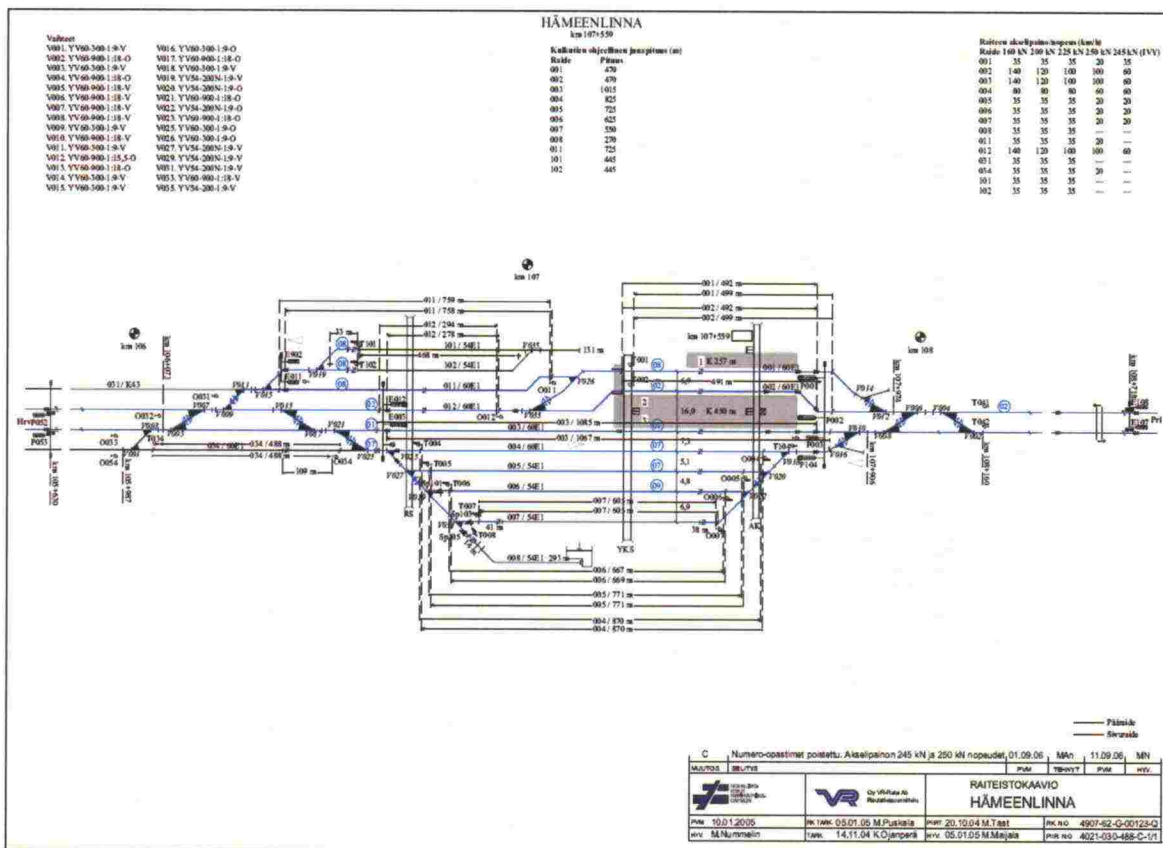
Wahlborg, M. (2007). Suunnittelija Magnus Wahlborgin haastattelu sähköpostitse 8.6.2007. Banverket, Borlänge, Ruotsi.

Watson, R. (2005). Using stochastic simulation to predict timetable performance – status and developments in the UK, RailDelft 2005. Transport Studies Group, Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Loughborough, UK.

White, A. (2007). The development and use of dynamic traffic management simulations in North America, RailHannover 2007. Transit Safety Management, Inc., Mountlake Terrace WA, USA.

Wolf H. (2007). RNE-yhdysenkilö Hans Wolfin haastattelu sähköpostitse 4.6.2007.
Banverket, Borlänge, Ruotsi.

Hämeenlinnan ja Toijalan raiteistokaaviot



Pohjoiseen kulkevien henkilöjunien aikataulu keväällä 2007

Junanumero	9615		41		81		9623		805		83	
	9615		311		11		9623		5805		313	
Mallinnusno.	Ma-Pe		Ma-La		Ma-Pe		Ma-La		Ma-Su		Ma-Su	
Kulkupäivät	Ma-Pe		Ma-La		Ma-Pe		Ma-La		Ma-Su		Ma-Su	
Tavara/hlö	Taajamajuna		IC		Pendolino		Taajamajuna		Pikajuna		IC	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Riihimäki		6:16		6:52		7:14		7:16				7:52
Sammalisto		6:19		6:54		7:16		7:19				7:54
Ryttylä	6:22:30	6:23		6:57		7:18	7:22:30	7:23				7:57
Turenki	6:30:30	6:31		7:03		7:22	7:30:30	7:31				8:03
Hämeenlinna	6:38:30	6:39	7:09	7:11		7:27	7:38:30	7:39			8:09	8:11
Parola	6:44:30	6:45		7:15		7:30	7:44:30	7:45				8:15
Iittala	6:51:30	6:52		7:21		7:35	7:51:30	7:52				8:21
Toijala	7:01:30	7:02	7:30	7:31		7:41	8:01:30	8:02	8:09	8:10		8:31
Viihala	7:06:30	7:07		7:35		7:43	8:06:30	8:07		8:15		8:35
Lempäälä	7:13:30	7:14		7:41		7:47	8:13:30	8:14		8:21		8:41
Sääksjärvi		7:20		7:47		7:51		8:20		8:27		8:47
Tampere		7:25		7:52:00		7:56		8:25		8:33		8:52

Junanumero	163		165		809		167		45		9645	
	13		315		5809		317		15		Ma-Su	
Mallinnusno.	Ma-Pe		Ma-La		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su	
Kulkupäivät	Ma-Pe		Ma-La		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su	
Tavara/hlö	Pendolino		IC2		Pikajuna		IC2		Pendolino		Taajamajuna	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Riihimäki		8:14		8:52				9:52		10:14		10:16
Sammalisto		8:16		8:54				9:54		10:16		10:19
Ryttylä		8:18		8:57				9:57		10:18	10:22	10:23
Turenki		8:22		9:03				10:03		10:22	10:30	10:31
Hämeenlinna		8:27	9:09	9:11			10:09	10:11		10:27	10:38	10:39
Parola		8:30		9:15				10:15		10:30	10:44	10:45
Iittala		8:35		9:21				10:21		10:35	10:51	10:52
Toijala		8:41	9:30	9:31	10:16	10:18	10:30	10:31		10:41	10:01	11:02
Viihala		8:43		9:35		10:23		10:35		10:43	10:06	11:07
Lempäälä		8:47	9:40	9:41		10:31		10:41		10:47	10:13	11:14
Sääksjärvi		8:51		9:47		10:40		10:47		10:51		11:20
Tampere		8:56		9:52		10:47		10:52		10:56		11:25

Junanumero	811		47		169	
	5811		319		321	
Mallinnusno.	Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su	
Kulkupäivät	Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su	
Tavara/hlö	Pikajuna		IC		IC2	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Riihimäki				10:52		11:52
Sammalisto				10:54		11:54
Ryttylä				10:57		11:57
Turenki				11:03		12:03
Hämeenlinna			11:09	11:11	12:09	12:11
Parola				11:15		12:15
Iittala				11:21		12:21
Toijala	11:14	11:18	11:30	11:31	12:30	12:31
Viihala		11:23		11:35		12:35
Lempäälä		11:31		11:41	12:40	12:41
Sääksjärvi		11:40		11:47		12:47
Tampere		11:47		11:52		12:52

Etelään kulkevien henkilöjunien aikataulu keväällä 2007

Junanumero	274		162		804		9648		40		164	
	Mallinnusno.		416		6804		9648		20		420	
Kulkupäivät	Ma-Su		Ma-La		Ma-Su		Ma-Pe		Ma-Pe		Ma-La	
Junatyyppi	Yöjuna		IC2		Pikajuna		Taajamajuna		Pendolino		IC2	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Tampere		5:56		6:07		6:11		6:34		7:02		7:07
Sääksjärvi		6:03		6:12		6:17		6:39		7:06		7:12
Lempäälä		6:10		6:18		6:23	6:44:30	6:45		7:10		7:18
Viiala		6:17		6:23		6:29	6:51:30	6:52		7:14		7:23
Toijala	6:22	6:31	6:27	6:28	6:34	6:35	6:56:30	6:57		7:18	7:27	7:28
Iittala		6:43		6:37			7:05:30	7:06		7:24		7:37
Parola		6:50		6:43			7:13:30	7:14		7:29		7:43
Hämeenlinna	6:56	6:58	6:47	6:49			7:19:30	7:20		7:32	7:47	7:49
Turenki		7:07		6:57			7:27:30	7:28		7:37		7:57
Ryttylä		7:14		7:02			7:34:30	7:35		7:42		8:02
Sammalisto		7:18		7:05				7:39		7:44		8:05
Riihimäki		7:21		8:07				7:42		7:46		8:07

Junanumero	806		9656		42		166		84		44	
	Mallinnusno.		9656		22		422		24		424	
Kulkupäivät	Ma-Pe		Ma-Su		Ma-La		Ma-La		Ma-La		Ma-La	
Junatyyppi	Pikajuna		Taajamajuna		Pendolino		IC2		Pendolino		IC	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Tampere		7:11		7:34		8:02		8:07		9:02		9:07
Sääksjärvi		7:17		7:39		8:06		8:12		9:06		9:12
Lempäälä		7:23	7:44:30	7:45		8:10		8:18		9:10		9:18
Viiala		7:29	7:51:30	7:52		8:14		8:23		9:14		9:23
Toijala	7:34	7:38	7:56:30	7:57		8:18	8:27	8:28		9:18	9:27	9:28
Iittala			8:05:30	8:06		8:24		8:37		9:24		9:37
Parola			8:13:30	8:14		8:29		8:43		9:29		9:43
Hämeenlinna			8:19:30	8:20		8:32	8:47	8:49		9:32	9:47	9:49
Turenki			8:27:30	8:28		8:37		8:57		9:37		9:57
Ryttylä			8:34:30	8:35		8:42		9:02		9:42		10:02
Sammalisto				8:39		8:44		9:05		9:44		10:05
Riihimäki				8:42		8:46		9:07		9:46		10:07

Junanumero	46		168		812		170		48		816	
	Mallinnusno.		426		6812		428		428		6816	
Kulkupäivät	Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su		Ma-Su	
Tavara/hlö	Pendolino		IC2		IC		IC2		IC2		Pikajuna	
	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö	Saap.	Lähtö
Tampere		10:02		10:07		10:11		11:07		12:07		12:11
Sääksjärvi		10:06		10:12		10:17		11:12		12:12		12:17
Lempäälä		10:10		10:18		10:23	11:17:30	11:18		12:18		12:23
Viiala		10:14		10:23		10:29		11:23		12:23		12:29
Toijala		10:18	10:27	10:28	10:34	10:38	11:27	11:28	12:27	12:28	12:34	12:38
Iittala		10:24		10:37				11:37		12:37		
Parola		10:29		10:43				11:43		12:43		
Hämeenlinna		10:32	10:47	10:49			11:47	11:49	12:47	12:49		
Turenki		10:37		10:57				11:57		12:57		
Ryttylä		10:42		11:02				12:02		13:02		
Sammalisto		10:44		11:05				12:05		13:05		
Riihimäki		10:46		11:07				12:07		13:07		

Pohjoiseen kulkevien kuvitteellisten tavarajunien aikataulu

TAVARAJUNAT POHJOISEEN

Junanumero	200007				200011				200013				200015				200017				
Pysähdysas.	Toijala				Turenki				Ei pysähdys				Toijala				Toijala				
Reitti	SAM 3R, SJ IR				SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R				
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	
Riihimäki		7:17				7:56				8:59				9:17				10:17			
Sammalisto		7:21	04:00			8:00	04:00			9:03	04:00			9:21	04:00			10:21	04:00		
Turenki					8:18	8:25	0:18	0:07													
Hämeenlinna		7:50	0:29			8:39	0:14			9:32	0:29			9:50	0:29			10:50	0:29		
Toijala	8:26	8:44	0:36	0:18		9:13	0:34			10:06	0:34		10:26	11:05	0:36	0:39		11:26	11:33	0:36	0:07
Sääksjärvi		9:12	0:28			9:39	0:26			10:32	0:26			11:33	0:28			12:01	0:28		
Tampere		9:24	0:12			9:51	0:12			10:44	0:12			11:45	0:12			12:13	0:12		
		Yht.	1:49	0:18		Yht.	1:48	0:07		Yht.	1:45	0:00		Yht.	1:49	0:39		Yht.	1:49	0:07	

TAVARAJUNAT TURUSTA

Junanumero	555501				555503			
Reitti	SJIR, TL2R				TL2R, SJ3R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Toijala		9:55			10:31	10:44		0:13
Sääksjärvi		10:23	0:28			11:12	0:28	
Tampere		10:35	0:12			11:24	0:12	
		Yht.	0:40	0:00		Yht.	0:40	0:13

Raisteiston käytön selitykset	
SAM3R	Kulkee Riihimäki-Sammalisto-välin kolmannella raitteella
SJ3R	Kulkee Sääksjärvi-Tampere-välin kolmannella raitteella
SJ IR	Kulkee Sääksjärvi-Tampere-välin itäistä raidetta
TL 2R	Kulkee Toijalassa 2. raitteen kautta

VAIHTOEHTOJUNAT:

Junanumero	VE2 /// 70001				VE1 /// 70003				VE3 /// 70005			
Pysähdysas.	Parola				Hämeenlinna, Parola				Turenki, Parola			
Reitti	SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Riihimäki		7:30				7:31				7:37		
Sammalisto		7:34	04:00			7:35	04:00			7:41	04:00	
Turenki									7:59	8:05	0:18	0:06
Hämeenlinna		8:03	0:29		8:05	8:13	0:30	0:08		8:19	0:14	
Parola	8:11	8:33	0:08	0:22	8:24	8:33	0:11	0:09	8:27	8:33	0:08	0:06
Toijala		9:03	0:30			9:03	0:30			9:03	0:30	
Sääksjärvi		9:29	0:26			9:29	0:26			9:29	0:26	
Tampere		9:41	0:12			9:41	0:12			9:41	0:12	
		Yht.	1:49	0:22		Yht.	1:53	0:17		Yht.	1:52	0:12

Junanumero	VE1 /// 80001				VE3 /// 80003				VE2 /// 80005			
Pysähdysas.	Toijala				Parola				Hämeenlinna			
Reitti	SAM3R, SJ IR				SAM3R, SJ IR				SAM3R, SJ IR			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Riihimäki		8:17				8:30				8:31		
Sammalisto		8:21	04:00			8:34	04:00			8:35	04:00	
Hämeenlinna		8:50	0:29			9:03	0:29		9:05	9:13	0:30	0:08
Parola					9:11	9:17	0:08	0:06				
Toijala	9:26	9:33	0:36	0:07		9:47	0:30			9:50	0:37	
Sääksjärvi		10:01	0:28			10:13	0:26			10:16	0:26	
Tampere		10:13	0:12			10:25	0:12			10:28	0:12	
		Yht.	1:49	0:07		Yht.	1:49	0:06		Yht.	1:49	0:08

Junanumero	VE1 /// 90001				VE3 /// 90003				VE2 /// 90005			
Pysähdysas.	Parola				Hämeenlinna				Turenki			
Reitti	SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R				SAM3R, SJ3R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Riihimäki		10:30				10:31				10:37		
Sammalisto		10:34	04:00			10:35	04:00			10:41	04:00	
Turenki									10:59	11:05	0:18	0:06
Hämeenlinna		11:03	0:29		11:05	11:13	0:30	0:08		11:19	0:14	
Parola	11:11	11:17	0:08	0:06								
Toijala		11:47	0:30			11:50	0:37			11:53	0:34	
Sääksjärvi		12:13	0:26			12:16	0:26			12:19	0:26	
Tampere		12:25	0:12			12:28	0:12			12:31	0:12	
		Yht.	1:49	0:06		Yht.	1:49	0:08		Yht.	1:48	0:06

Etelään kulkevien kuvitteellisten tavarajunien aikataulu

TAVARAJUNAT ETELÄÄN

Junanumero	100004				100006				100008				100010				100012			
Pysähdysas.	Toijala				Toijala				Hämeenlinna				Ei pysähdy				Ei pysähdy			
Reitti	SJ3R, SAM3R				SJLR, SAMLR				SJ3R, SAM3R				SJLR, SAM3R				SJLR, SAM3R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Tampere		7:07				8:25				9:04				10:15				11:10		
Sääksjärvi		7:25	0:18			8:43	0:18			9:22	0:18			10:33	0:18			11:28	0:18	
Toijala	7:52	8:30	0:27	0:38	9:10	9:30	0:27	0:20		9:48	0:26			10:59	0:26			11:54	0:26	
Hämeenlinna		9:08	0:38			10:08	0:38		10:23	10:51	0:35	0:28		11:33	0:34			12:28	0:34	
Sammalisto		9:36	0:28			10:36	0:28			11:21	0:30			12:01	0:28			12:56	0:28	
Riihimäki		9:39	0:03			10:39	0:03			11:24	0:03			12:04	0:03			12:59	0:03	
		Yht.	1:54	0:38		Yht.	1:54	0:20		Yht.	1:52	0:28		Yht.	1:49	0:00		Yht.	1:49	0:00

TAVARAJUNAT TURKUUN

Junanro.	555520				55510			
Reitti	SJ3R, TL2R				SJ3R, TL2R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Tampere		6:03				8:18		
Sääksjärvi		6:21	0:18			8:36	0:18	
Toijala		6:48	0:27			9:03	0:27	
		Yht.	0:45	0:00		Yht.	0:45	0:00

Raiteiston käytön selitykset	
SAM3R	Kulkee Riihimäki-Sammalisto-välin kolmannella raiteella
SJ3R	Kulkee Sääksjärvi-Tampere-välin kolmannella raiteella
SJLR	Kulkee Sääksjärvi-Tampere-välin läntistä raidetta
SAMLR	Kulkee Riihimäki-Sammalisto-välin läntisellä raiteella
TL2R	Kulkee Toijalassa 2. raiteen kautta

VAIHTOEHTOJUNAT:

Junanumero	VE1 /// 20002				VE2 /// 20004				VE3 /// 20006			
Pysähdysas.	Turenki				Hämeenlinna, Turenki				Hämeenlinna			
Reitti	SJ3R, SAMLR				SJ3R, SAMLR				SJ3R, SAMLR			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Tampere		8:03				8:10				8:10		
Sääksjärvi		8:21	0:18			8:28	0:18			8:28	0:18	
Toijala		8:47	0:26			8:54	0:26			8:54	0:26	
Hämeenlinna		9:21	0:34		9:29	9:34	0:35	0:05	9:29	9:51	0:35	0:22
Turenki	9:34	9:39	0:13	0:05	9:49	10:03	0:15	0:14				
Sammalisto		9:57	0:18			10:21	0:18			10:21	0:30	
Riihimäki		10:00	0:03			10:24	0:03			10:24	0:03	
		Yht.	1:52	0:05		Yht.	1:55	0:19		Yht.	1:52	0:22

Junanumero	VE3 /// 40002				VE1 /// 40004				VE2 /// 40006			
Pysähdysas.	Toijala				Lempäälä				Ei pysähdy			
Reitti	SJLR, SAMLR				SJLR, SAMLR				SJ3R, SAMLR			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Tampere		9:29				9:36				10:08		
Sääksjärvi		9:47	0:18			9:54	0:18			10:26	0:18	
Lempäälä					10:06	10:24:30	0:12	0:18:30				
Toijala	10:14	10:30	0:27	0:16		10:41	0:16:30			10:52	0:26	
Hämeenlinna		11:08	0:38			11:15	0:34			11:26	0:34	
Sammalisto		11:36	0:28			11:43	0:28			11:54	0:28	
Riihimäki		11:39	0:03			11:47	0:04			11:57	0:03	
		Yht.	1:54	0:16		Yht.	1:52	0:18		Yht.	1:49	0:00

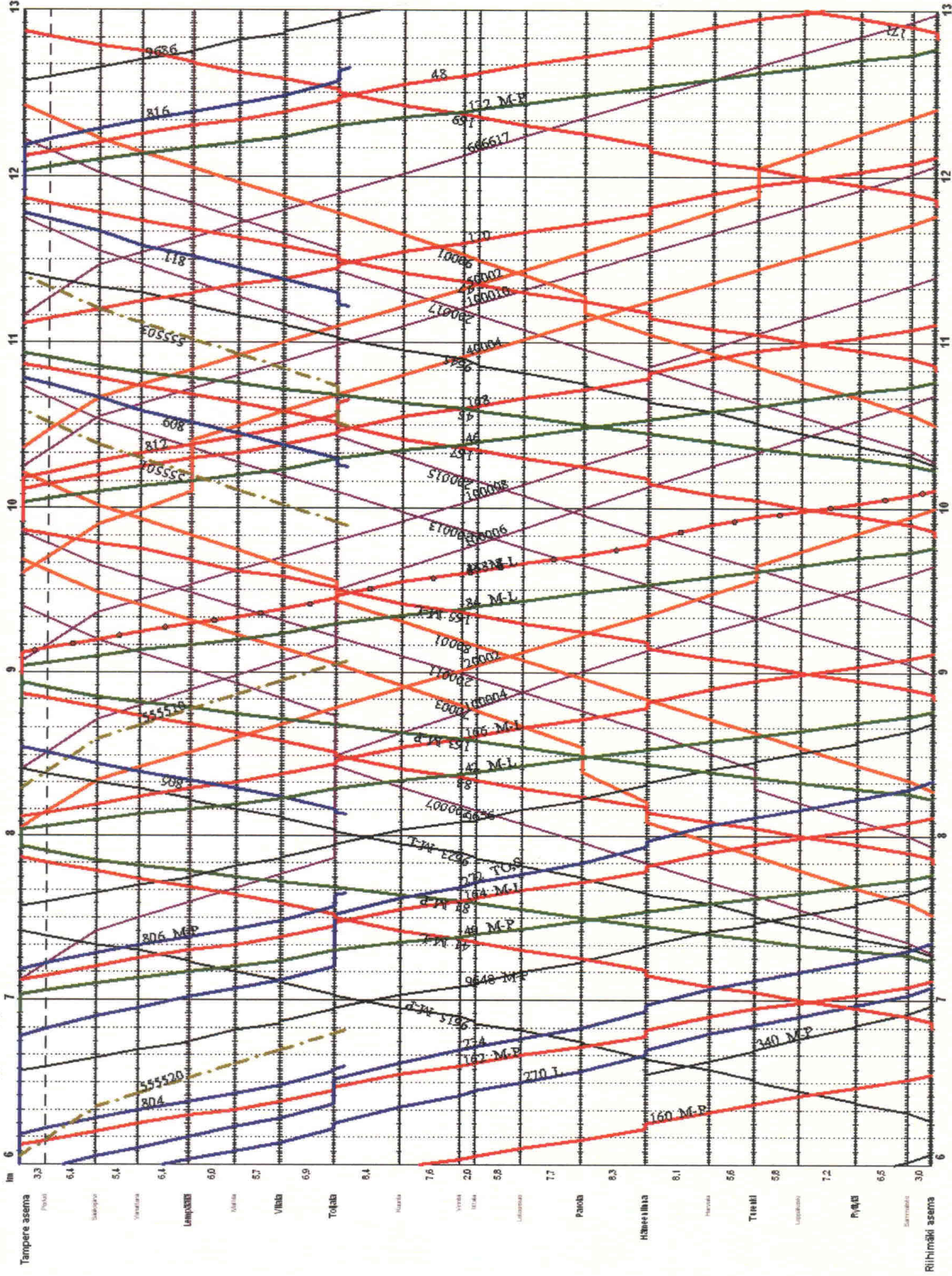
Junanumero	VE3 /// 50002				VE1 /// 50004				VE2 /// 50006			
Pysähdysas.	Turenki				Hämeenlinna				Toijala			
Reitti	SJLR, SAM3R				SJLR, SAM3R				SJLR, SAM3R			
Asemat	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.	Saap.	Läht.	Ajo-aika	Pys.
Tampere		10:22				10:24				10:29		
Sääksjärvi		10:40	0:18			10:42	0:18			10:47	0:18	
Toijala		11:06	0:26			11:08	0:26		11:14	11:30	0:27	0:16
Hämeenlinna		11:40	0:34		11:43	11:51	0:35	0:08		12:08	0:38	
Turenki	11:53	12:03	0:13	0:10								
Sammalisto		12:21	0:18			12:21	0:30			12:36	0:28	
Riihimäki		12:24	0:03			12:24	0:03			12:39	0:03	
		Yht.	1:52	0:10		Yht.	1:52	0:08		Yht.	1:54	0:16

Ensimmäisen aikatauluvaihtoehdon graafinen aikataulu

LIITE 6

VALLI 2012

R1-TPE: Riihimäki - Tampere
 Theatrical Petros: All Day(s) - cal - Day Type: cal -



© 2012 VALLI

RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2004 Tavaraliikenteen ratapihavisio ja -strategia 2025
2/2004 Rautateiden kaukoliikenteen asemien palvelutaso ja kehittämistarpeet
3/2004 Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset
4/2004 Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa
5/2004 Radan kulumisen rajakustannukset vuosina 1997–2002
6/2004 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2002
7/2004 Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun tila
8/2004 Stabiiliteetiltaan kriittiset ratapenkereet, esitutkimus
9/2004 Ratapenkereitten leveys ja luiskakaltevuus, esitutkimus
10/2004 Lähtökohtia ratapihojen kapasiteetin mittaamiseen
1/2005 Sähköratamaadoitusten perusteet – suojarakenteet, rakennukset ja laiturirakenteet
2/2005 Kerava–Lahti-oikoradan ennen-jälkeen vaikutusarviointi, ennen-vaiheen selvitys
3/2005 Ratatietojen kuvaaminen – ratatietokanta ja verkkoselostus
4/2005 Kaakkois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
1/2006 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
2/2006 Rautatie ja sen vaarat osana lasten ympäristöä
3/2006 Matkustajainformaatiojärjestelmien arviointi Tampereen, Toijalan ja Hämeenlinnan rautatieasemilla
4/2006 Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen
5/2006 Deformation behaviour of railway embankment materials under repeated loading
6/2006 Research and Development Strategy of the Finnish Rail Administration
7/2006 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman lähtökohdat ja vaikutustarkastelut
8/2006 Vanhojen, paalutettujen ratapenkereiden korjaus
9/2006 Ratarakenteessa käytettävien kalliomurskeiden hienoneminen ja routimisherkyys
10/2006 Radan stabiiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet
Kirjallisuustutkimus ja laskennallinen tausta-aineisto
11/2006 Rautatieinfrastruktuurin kehitystarpeet suuryksikkökuljetusten yleistyessä
12/2006 Pasilan aseman esteettömyyskartoitus ja toimenpideohjelma
1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiiliteettitarkasteluihin
5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys
Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
7/2007 Luvattomien radanylitysten välttäminen
8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa
9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys



**RATAHALLINTOKESKUS
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:
Ratahallintokeskus
Keskuskatu 8, PL 185, 00101 Helsinki
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100
www.rhk.fi

ISBN 978-952-445-216-8 (nid.)
ISBN 978-952-445-217-5 (pdf)
ISSN 1455-2604