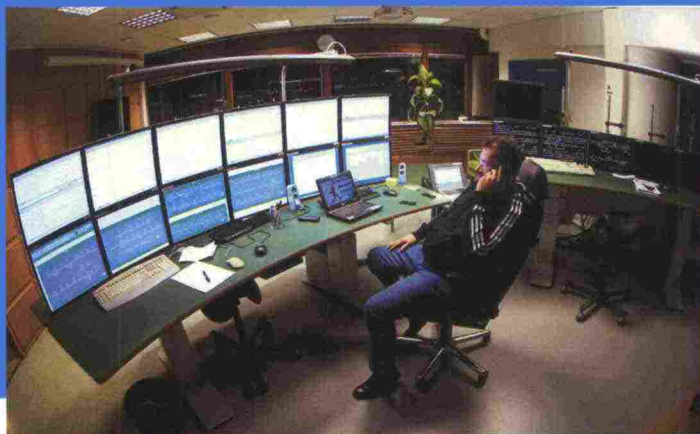


Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen



Anna Sipilä



Ratahallintokeskuksen
julkaisu A 11/2008

Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen

Anna Sipilä

Helsinki 2008

Ratahallintokeskus

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 11/2008

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-239-7

Verkkajulkaisu pdf (www.rhk.fi)

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-240-3

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Juha Vuorinen

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2008

Sipilä Anna: Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto. Helsinki 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 11/2008. 107 sivua ja 9 liitettä. ISBN 978-952-445-239-7, ISBN 978-952-445-240-3 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

TIIVISTELMÄ

Rautatieliikennettä vaivaavat häiriöt aiheuttavat harmia matkustajille, liikennöitsijöille, rautatieinfrastruktuurista vastaavalle viranomaiselle ja radanpitäjälle eli Ratahallintokeskukselle (RHK). Työn lähtökohtana oli Ratahallintokeskuksen käyttämän tiedon lisääminen kehitysinvestointien suunnitteluun. Tarkoituksena oli selvittää mitä lisäarvoa liikennehäiriöiden analysoinnista saataisiin kehitysinvestointien suunnitteluun.

Työn yhtenä tavoitteena oli selvittää, miten jo nyt käytössä olevaa junien seurantajärjestelmää JUSEa voidaan paremmin hyödyntää häiriöiden analysoinnissa. Tavoitteena oli myös selvittää, miten nykyisin käytössä olevia häiriöiden analysointimenetelmiä tulisi kehittää. Työn kolmantena tavoitteena oli selvittää, kuinka häiriöitä voidaan paikantaa rataverkolta mahdollisimman tarkasti. Työ perustui kirjallisuusselvitykseen ja kahteen tapaustutkimukseen, minkä lisäksi työssä haastateltiin rautatieliikenteen asiantuntijoita.

Työn tuloksena laadittiin uusi toimintamalli häiriöiden analysoimiseksi. Mallilla vastataan kaikkiin tutkimustavoitteisiin. Uuden toimintamallin perusteella häiriöiden analysointi on järjestelmällisempää ja sen avulla on mahdollista saada hyvin paljon enemmän tietoa häiriöistä kuin aikaisemmin. Malli koostuu kolmesta tasosta. Perustarkastelu tehdään koko rataverkon osalta samanaikaisesti. Perustarkastelu perustuu nykyiseen täsmällisyysyhteenvetoon. Verkon tarkastelussa rataosat tarkastellaan erikseen perustuen JUSEen tallentuneeseen tietoon. Rataosan tarkastelussa rataosalla tallentunutta liikenteen toteumatietoa, kuten ajoaikoja ja junien aikataulussa pysymistä, analysoidaan tarkemmin esimerkiksi liikennepaikkaväleittäin tai opastinvälien tarkkuudella.

Toimintamallia testattiin kahden tapaustutkimuksen avulla. Toisessa tapaustutkimuksessa tutkittiin myöhästyneiden junien suhteellista osuutta eri rataosilla ja häiriöistä matkustajille aiheutunutta haittaa laskemalla matkustajien kokemat myöhästymisminuutit jokaiselle rataosalle erikseen. Tarkastelu perustui JUSEen tallentuneeseen tietoon. Myöhästyneiden junien suhteellisella osuudella tunnistettiin rataosia, joilla matkustajan riski olla myöhässä oli suurin. Merkittävimmät myöhästymisen syyt voitiin myös tunnistaa. Matkustajien yhteenlaskettujen myöhästymisminuuttien perusteella tutkittiin häiriöiden vaikuttavuutta. Edellä mainittujen menetelmien yhdistämisellä voidaan löytää merkittävimmät häiriöille alttiit rataosat.

Toisessa tapaustutkimuksessa analysoitiin junien toteumatietoa tarkasteluväliltä Hirvineva–Liminka–Kempele. Analysoinnin perusteella kohtaamistilanteet ja tavara-liikenteen huono aikataulunmukainen kulku aiheuttivat eniten vaihtelua liikenteen täsmällisyyteen.

Sipilä Anna: Utveckling av analyseringen av störningar i järnvägstrafiken. Banförvaltningscentralen, Trafiksystemenheten. Helsingfors 2008. Banförvaltningscentralens publikationer A 11/2008. 107 sidor och 9 bilagor. ISBN 978-952-445-239-7, ISBN 978-952-445-240-3 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

SAMMANDRAG

Störningar i järnvägstrafiken orsakar problem för resenärerna, trafikföretagen, myndigheterna som ansvarar för järnvägsinfrastrukturen och för banhållaren, d.v.s. Banförvaltningscentralen (RHK). Utgångspunkten i utredningen var att utnyttja information som används av Banförvaltningscentralen i planeringen av utvecklingsinvesteringarna. Syftet var att utreda om analyseringen av trafikstörningarna kunde tillföra mervärde för planeringen av utvecklingsinvesteringarna.

Ett av målen med arbetet var att utreda hur tågövervakningssystemet JUSE, som redan är i användning, bättre kunde utnyttjas i analyseringen av störningarna. Ett annat mål var också att utreda hur man borde utveckla de metoder för analysering av störningar som används för närvarande. Det tredje målet var att utreda hur man så noggrant som möjligt kan lokalisera störningarna på bannätet. Arbetet baserade sig på litteraturutredningar och på två fallstudier jämte intervjuer av experter inom järnvägstrafik.

På basis av utredningsarbetet utarbetades en ny verksamhetsmodell för analysering av störningar. Med modellen möter man alla utredningsmål. Med hjälp av den nya verksamhetsmodellen sker analyseringen av störningar systematiskt och den möjliggör betydligt mer information om störningarna än tidigare. Modellen är uppbyggd i tre nivåer. En grundläggande granskning görs för hela bannätet samtidigt. Den grundläggande granskningen baserar sig på det nuvarande precisionssammandraget. Vid granskningen av bannätet granskas banavsnitten separat baserat på information som lagrats i JUSE. Vid granskningen av ett banavsnitt analyseras på banavsnittet lagrad trafikinformation, som körtider och om tågen har hållit tidtabellen, noggrannare t.ex. per en sträcka mellan trafikplatser eller semaforer.

Verksamhetsmodellen testades med hjälp av två fallstudier. I den ena fallstudien undersöktes den relativa andelen försenade tåg på olika banavsnitt och störningar för resenärerna genom att man för varje banavsnitt separat räknade de reella förseningsminuterna för resenärerna. Granskningen baserade sig på information lagrad i JUSE. Genom den relativa andelen försenade tåg kunde man identifiera banavsnitt där risken för resenärerna att bli försenade var störst. Man kunde även identifiera de största orsakerna till förseningarna. På basis av resenärernas sammanlagda antal förseningsminuter utreddes störningarnas effekt. Genom att kombinera de metoder som nämns ovan kan man hitta de banavsnitt som är mest utsatta för störningar.

I den andra fallstudien analyserades trafikinformationen för tågen på den granskade sträckan Hirvineva–Liminka–Kempele. Enligt analysen orsakade mötessituationer och avvikelser från tidtabellerna i godstrafiken mest variationer i fråga om punktlighet i trafiken.

Sipilä Anna: Development of Rail Traffic Disturbances Analysis. Finnish Rail Administration, Traffic System Department. Helsinki 2008. Publications of the Finnish Rail Administration A 11/2008. 107 pages and 9 appendices. ISBN 978-952-445-239-7, ISBN 978-952-445-240-3 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995.

ABSTRACT

Passengers, operators as well as the infrastructure manager, The Finnish Rail Administration (RHK), are influenced by the disturbances that occur in the railways. Starting point for this thesis was to increase the level of information that is used in strategy planning. The purpose was to find out what kind of information the analysis of the railway traffic can give to the strategy planning.

There are three main goals in the thesis. The first one is to find out how the present analyzing methods should be developed. The second goal is to study how the train punctuality reporting system (JUSE) can be exploited better when analyzing traffic disturbances. The third goal is to study how the location of the disturbance interferes could be identified more precise. The thesis includes a literature review and two case studies. Railway traffic specialists are also interviewed.

In this thesis a new model was developed for analyzing disturbances. The model gives an answer to all three main goals mentioned before. There are three steps when using the new model. In the first step, the whole network is analyzed. In the second step, the network is divided into smaller track lines and the smaller track lines are analyzed. If necessary, the third step can be taken where the track lines are divided into even smaller track sections. The first step is performed as the punctuality reports are done at the present moment, i.e. they are based on the information taken from JUSE. The second step is also based on the information taken from JUSE. The third step is based on the empirical data that comes from the track sections occupancies. By using the third step it is possible to analyze the arrival delays and running times, for example.

The new analyzing model was tested by two case studies. The proportion of delayed trains was studied as well as the sum of passengers delay minutes caused by the disturbances on the rail sections. The data were based on JUSE. By the proportion of delayed trains it was possible to identify the rail sections where passengers had the highest risk to be delayed. The main causes for disturbances were also identified. The influence of disturbances was studied by the sum of passengers delay minutes. By using both methods mentioned before it is possible to find the track lines that are influenced by the disturbances most.

Empirical data were also analyzed. The study was situated in Hirvineva–Liminka–Kempele track line. On the basis of the analysis it was concluded that train meetings and delays in schedual in freight traffic were the main causes for the disturbances in the studied area.

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Teknillisen korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksen liikennelaboratorioon Ratahallintokeskuksen tilauksesta. Tutkimuksen on tehnyt tekniikan ylioppilas Anna Sipilä. Työ on samalla tekijän diplomityö Teknillisen korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitokselle.

Työn tarkastajana toimi professori Timo Ernvall Teknillisen korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitokselta ja työn ohjaajana yksikön päällikkö Jukka Ronni Ratahallintokeskuksesta. Ohjausryhmään kuuluivat lisäksi yksikön päällikkö Miika Mäkitalo, yksikön päällikkö Risto Heinonkoski ja pääsuunnittelija Hannu Lehikoinen Ratahallintokeskuksesta.

Helsingissä, kesäkuussa 2008

Ratahallintokeskus
Liikennejärjestelmäosasto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
ABSTRACT.....	5
ALKUSANAT.....	6
KUVALUETTELO.....	10
TAULUKKOLUETTELO.....	11
1 JOHDANTO.....	12
1.1 Työn tausta.....	12
1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus.....	12
1.3 Työn rakenne.....	13
2 SUOMEN RAUTATIELIIKENNE.....	14
2.1 Suomen rautatieliikenne ennen ja nyt.....	14
2.2 Liikenne rataverkolla.....	14
2.3 Radan välityskyky.....	16
2.4 Turvalaitteet rautatieliikenteessä.....	17
2.5 Ratakapasiteetin vaikutus rautatieliikenteessä.....	18
2.5.1 Ratakapasiteetti.....	18
2.5.2 Ratakapasiteetin käyttöaste.....	18
2.6 Radan kehitysinvestoinnit.....	19
2.7 Rautatiealan toimijat ja roolit.....	19
3 LIIKENNEHÄIRIÖT RATAVERKOLLA.....	22
3.1 Liikennehäiriön määritelmä.....	22
3.2 Käsitteitä.....	25
3.3 Häiriöihin varautuminen.....	27
3.3.1 Johdanto.....	27
3.3.2 Häiriöherkkien kohtien tunnistaminen Suomessa.....	27
3.3.3 Aikataulusuunnittelun toimenpiteet.....	28
3.3.4 Radanpitäjän toimenpiteet.....	29
3.3.5 Taloudelliset sanktiot.....	32
3.4 Viipeet rataverkolla.....	32
3.4.1 Myöhästymiskriteerit.....	32
3.4.2 Primääriset ja sekundääriset myöhästymiset.....	33
3.4.3 Syykoodittomat viipeet.....	34
3.5 Häiriöt rataverkolla.....	36
3.5.1 Häiriön leviäminen ja vaikuttavuus.....	36
3.5.2 Häiriön rajaaminen ja häiriöstä toipuminen.....	38
3.5.3 Häiriönhallinta.....	39
3.6 Häiriöherkät osuudet.....	41

4	HÄIRIÖIDEN ANALYSOINTI	43
4.1	Häiriöiden analysointi Suomessa – nykytila	43
4.1.1	Nykyiset analysointitavat	43
4.1.2	JUSE	46
4.1.3	LIIKE-projekti	48
4.2	Häiriöiden analysointimenetelmiä	48
4.2.1	Yleistä	48
4.2.2	Analyttiset menetelmät	48
4.2.3	Simuloinnit	52
4.2.4	Tilastollinen analysointi	53
4.3	Häiriöiden analysointi eräissä maissa	56
4.3.1	Johdanto	56
4.3.2	Ruotsi	56
4.3.3	Sveitsi	57
4.3.4	Alankomaat	61
4.4	Häiriöiden analysoinnin kehittäminen Suomessa (toimintamalli)	62
5	RATAVERKON HÄIRIÖIDEN TARKASTELU VUODEN 2007 TIETOJEN PERUSTEELLA	66
5.1	Tutkimusongelman rajaus ja tutkimuksen toteutus	66
5.2	Rataosilla esiintyneiden häiriöiden tarkastelu kaukojunien osalta	67
5.2.1	Myöhästyneiden kaukojunien osuus	67
5.2.2	Häiriöiden merkittävimmät syyt	69
5.2.3	Yksityiskohtainen tarkastelu väleiltä Helsinki–Oulu ja Oulu–Helsinki ..	70
5.3	Kaukojunien myöhästymisten vaikuttavuus	72
5.3.1	Myöhästymisten vaikuttavuus matkustajiin	72
5.3.2	Myöhästymisten kesto rataosittain	74
5.4	Yhteenvedo tuloksista ja käytetyistä menetelmistä	75
6	YKSITYISKOHTAINEN TARKASTELU VÄLILTÄ HIRVINEVA–LIMINKA– KEMPELE	77
6.1	Tutkimusongelman rajaus ja tutkimuksen toteutus	77
6.2	Tapaustutkimuksen kohde	78
6.3	Lähtötiedot	79
6.3.1	Tarkasteltavat junat	79
6.3.2	Junien aikataulu liikennepaikoilla	81
6.4	Tarkasteltava aineisto	82
6.4.1	Aineiston valinta	82
6.4.2	Havaintoaineiston laatu	83
6.5	Tarkastelut aineistosta	83
6.5.1	Menetelmät	83
6.5.2	Tarkastelut laatikkodiagrammien avulla	84
6.5.3	Ajoaikojen tarkastelut	89
6.6	Tulosten arviointi	94

7	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	96
	7.1 Johdanto.....	96
	7.2 Häiriöiden määritelmä ja häiriötieto.....	96
	7.3 Häiriöiden analysointimenetelmät.....	97
	7.4 Häiriöiden analysointi eräissä maissa.....	98
	7.5 Uusi toimintamalli häiriöiden analysoimiseksi	99
	7.6 Työn tavoitteet ja niiden toteutuminen.....	100
	7.7 Työn arviointi ja suositukset	101
	7.8 Jatkotutkimusaiheet	102
	LÄHTEET	104

LIITTEET

Liite 1	Rautatieliikenteen viipeiden kokonaiskestot vuonna 2007
Liite 2	JUSEssa käytettävät syykoodit
Liite 3	JUSE-järjestelmästä saatavat vakioraportit
Liite 4	Rataosien lähtötietoja vuodelta 2007
Liite 5	Rataosilla esiintyneet viisi merkittävintä häiriöiden aiheuttajaa vuonna 2007
Liite 6	Primääriten häiriöiden osuudet kaikista häiriöistä Helsinki–Oulu välisillä rataosilla suunnittain
Liite 7	Rataosien myöhästymisten kestot jaettuna persentiileihin
Liite 8	Graafinen aikataulu tarkastelun alla olevista junista
Liite 9	Tutkimusalueen opastinvälien vapautumisten kirjautumisista tehdyt frekvenssikuvaajat

KUVALUETTELO

Kuva 1. Suomen rataverkko (RHK 2008b).	15
Kuva 2. Välityskyvyltään kriittisiksi määritetyt (RHK 2006a).	16
Kuva 3: Rautatieliikenteen eri tahot Suomessa (RHK 2007b).	20
Kuva 4. Junien automaattinen kulunvalvonta (Lehikoinen 2006).	31
Kuva 5. Rautatieliikenteestä aiheutuneiden viipeiden osuudet kokonaisuudesta vuonna 2007 syyn ja junatyypin mukaan jaoteltuna (JUSE).	35
Kuva 6. Rautatieliikenteen viipeitä aiheuttaneiden tapausten osuus (JUSE).	35
Kuva 7. Tavaraliikenteen etuajassa kulku vuonna 2007.	36
Kuva 8. Häiriöpaikan merkitys häiriön leviämiseen rataverkolla.	37
Kuva 9. Häiriötiedon saamisen lähteet (Levo 2004).	40
Kuva 10. Häiriöiden analysointi nykytilassa.	43
Kuva 11. Pullonkaula kaksoisraideosuuden keskellä (de Kort et al. 2003).	52
Kuva 12. Primääriseen viipeen vaikutus sekundäärisiin viipeisiin (Gibson et al. 2002).	55
Kuva 13. OpenTimeTable-ohjelmasta otettu kuva esittää Bernin ja Luzernin välillä olevan junaliikenteen klo 7–10. (OpenTimeTable 2008.)	59
Kuva 14. Saapumisviipeen jakauma Bernin ja Luzernin välillä (OpenTimeTable 2008)	59
Kuva 15. Kapasiteetin käyttöaste päivän aikana Bernissä. (OpenTimeTable 2008.)	60
Kuva 16. Kaaviokuva ehdotuksesta häiriöiden analysoinnin uudistamiseksi.	63
Kuva 18. Vuonna 2007 myöhästyneiden kaukojunien osuus kaikista kaukojunista rataosittain kuvattuna.	68
Kuva 19. Vuonna 2007 kaukojunissa matkustajille aiheutuneiden myöhästymisten kokonaisuus rataosittain.	73
Kuva 20. Yksinkertaistettu raidekaavio tutkimuskohteesta.	78
Kuva 21. Raidevirtapiirin raide-eristyksen sijainti pääopastimeen (yläpuoli) ja raideopastimeen (alapuoli) nähden raiteella, jonka nopeus on yli 50 km/h.	79
Kuva 22. Pohjoiseen päin kulkevien kaukojunien kulku esitettynä laatikkodiagrammeissa liikennepaikoittain.	85
Kuva 23. Etelään päin kulkevien kaukojunien kulku esitettynä laatikkodiagrammeissa liikennepaikoittain.	86
Kuva 24. Tarkastelualueella kulkevien kaukojunien kulku esitettynä laatikkodiagrammeissa liikennepaikoittain	87

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Häiriöt voidaan luokitella aiheuttajan mukaan neljään luokkaan (RHK 2007 ja Goverde 2005 mukaellen).....	23
Taulukko 2. Häiriöt voidaan luokitella niiden ennakoitavuuden mukaan.....	24
Taulukko 3. Primäärisyystä aiheutuu usein myös sekundäärisiä vaikutuksia.....	24
Taulukko 4. Rautatieliikenteeseen vaikuttavien erilaisten häiriötekijöiden vaikutus (Nyström 2005).	25
Taulukko 5. Vuoden 2007 rautatieliikenteen myöhästymisten osuudet kokonaiskestosta (min) jaoteltuina primäärisiin ja sekundäärisiin syihin (JUSE).....	33
Taulukko 6. Vuonna 2007 rautatieliikenteessä myöhästymisiä aiheuttaneiden tapausten (kpl) osuudet jaoteltuina primäärisiin ja sekundäärisiin syihin (JUSE).	34
Taulukko 7. JUSE-järjestelmässä näkyvä yhden junan häiriytynyt kulku ja järjestelmään kirjautuvan tiedon pääperiaatteet (Blomqvist 2007).	47
Taulukko 8. Viisi merkittävintä häiriötekijää (JUSEn syykoodien mukaan) rataosilla, joilla myöhästyneiden junien osuus on vähintään 20 %.....	69
Taulukko 9. Vuoden 2007 primääristen myöhästymisten yksityiskohtainen tarkastelu Helsinki–Oulu välillä. Taulukkoon on kerätty 5 merkittävintä häiriönaiheuttajaa kullakin rataosalla.....	71
Taulukko 10. Kaukojunien keskimääräiset myöhästymisten kestot sekä myöhästymisten mediaanit rataosittain vuonna 2007.....	74
Taulukko 11. Tarkastelussa olevien junien suunta-, kohtaus- ja ajopäivätiedot.	81
Taulukko 12. Tarkasteltujen junien aikataulunmukainen saapumisaika tarkastelluille liikennepaikoille.	82
Taulukko 13. Tarkasteltavien junien liikennepaikkojen välille käyttämä keskimääräinen ajoaika ja ajoajan keskihajonta. Lisäksi taulukossa ilmoitettu aikataulun mukainen ajoaika.....	90
Taulukko 14. Aikataulunmukaiset kohtaamisten määrät ja niiden osuus junien mukaan	94

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Ratahallintokeskus (RHK) on Suomen rataverkosta ja sen käytöstä vastaava viranomainen, joten se seuraa myös rataverkolla liikennöivää liikennettä. Rautatieinfrastruktuurista ja rautateiden välityskyvystä aiheutuu noin kolmasosa junaliikenteen viivästymisistä. Yleisesti ottaen junaliikenteen häiriöt johtuvat neljästä tekijästä: ratainfrastruktuurista, kalustosta, liikenteellisistä syistä sekä muista tekijöistä, jotka liittyvät säähän, onnettomuuksiin tai matkustajiin. Yleisesti on määritetty, että kaukoliikenteen ja tavaraliikenteen täsmällisyydestavoite on 90 % ja lähiliikenteen 97,5 %.

Liikenne- ja viestintäministeriön asettaman RHK:n tulostavoitteen mukaisesti radanpidosta aiheutuvien yli viiden minuutin myöhästymisten määrä kaikista henkilökaukoliikenteen junista saa olla enintään 5 %. Keskeisimmät, radanpidosta aiheutuvat myöhästymiset johtuvat turvalaitevioista, sähkövaurioista ja ukkosen aiheuttamista vaurioista. Radanpidon tavoite on kova, mutta saavutettavissa. Toisaalta voidaan ajatella, että häiriöiden kokonaismäärän ollessa vähäinen jakautuu prosenttiosuus tiukemmin eri toimijoille ja eri syyille.

Junaliikenteen myöhästelyt ja epätasällisuus puhuttivat valtakunnan lehdistöä viimeksi vuoden 2007 kesällä ja syksyllä. Tästä johtuen elokuussa 2007 liikenneministeri puuttui asiaan ja pyysi VR:ltä ja RHK:lta selvitystä myöhästelyistä. Selvitykset luovutettiin ministerille syyskuun 2007 puolella välissä. Selvityksessä RHK esitti korjaavina toimenpiteinä rautateiden turva- ja sähkölaitevikojen vähentämisen. VR puolestaan esitti panostavansa junakaluston kunnossapitoon ja liikenteenhoitoon. Lisäksi tavoitteena oli parantaa matkustajainformaatiota.

Rautatieliikenteen häiriöt eivät saa vaikuttaa liikenteen turvallisuuteen. Tämän vuoksi esimerkiksi turvalaiteesta aiheutuneessa häiriötilanteessa edetään turvallisuuden ehdoilla mm. alentamalla nopeuksia, josta usein seuraa myöhästymisiä. Kun turvalaite on korjattu tai turvallisuus muuten taattu, juna voi jatkaa matkaansa. Täsmällisyys on kuitenkin noussut monen matkustajan tärkeäksi kriteeriksi kulkumuodon valintatilanteessa. Rautatieliikenteen onkin vastattava tähän kysyntään, joka tarkoittaa panostamista täsmälliseen liikenteeseen, häiriöiden poistamiseen ja kykyyn tunnistaa häiriöiden kannalta kriittiset paikat rataverkolla.

Junaliikenteen häiriötiedot tallentuvat junien kulun seurantarjestelmään (JUSE). Järjestelmä on ollut Ratahallintokeskuksen käytössä vuoden 2004 lopusta. Se tuottaa erilaisia yhteenvetoraportteja toteutuneesta liikenteestä. Tällä hetkellä JUSE-järjestelmään kirjataan junaliikenteeseen vaikuttaneita häiriöitä 13 erilaisella pääsyykoodilla. Häiriötietojen saaminen järjestelmästä on kuitenkin melko kankeaa. Järjestelmän tuottamia tietoja ei tällä hetkellä myöskään hyödynnetä kehitysinvestointihankkeiden suunnittelussa juuri lainkaan.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Työn lähtökohtana on Ratahallintokeskuksessa tehtävien kehitysinvestointien suunnittelussa käytettävän tiedon lisääminen. Tarkoituksena on selvittää, mitä lisäarvoa

liikennehäiriöiden analysoinnin kehittämisestä saataisiin kehitysinvestointien suunnitteluun. Tarkoitukseen pääsemiseksi työlle laadittiin kolme päätavoitetta. Jotta päätavoitteisiin voitaisiin vastata, otetaan aluksi selvää siitä, millaisia häiriöitä yleensäkin on olemassa ja mistä ne syntyvät. Sen lisäksi tehdään kartoitusta häiriöiden analysointimenetelmistä. Alkukartoitukseen haetaan vastauksia kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntijahaastattelujen avulla.

Työn ensimmäisenä tavoitteena on selvittää, miten nykyisiä Suomessa käytössä olevia häiriöiden analysointimenetelmiä tulisi kehittää. Tätä varten tutkimuksessa kartoitetaan käytössä olevat menetelmät, laaditaan ehdotus analysointimenetelmien kehittämistarpeista sekä testataan tapaustutkimuksen avulla ehdotuksen toimivuutta.

Työn toisena tavoitteena on selvittää, miten jo nyt käytössä olevaa JUSE-järjestelmää voidaan paremmin hyödyntää häiriöiden analysoinnissa. Tavoitteeseen pääsemiseksi tutustutaan JUSEn piirteisiin ja siitä saatavaan häiriötietoon. Lisäksi tarkastellaan analysointimenetelmiä, joita sen hyödyntämisessä nykyisin käytetään. JUSE-järjestelmän hyödynnettävyydestä toteutetaan tapaustutkimus, jolla arvioidaan järjestelmässä olevan tiedon hyödyntämismahdollisuutta. Tarkoituksena on myös arvioida, onko JUSEsta saatavissa hyödynnettävää häiriötietoa, vai pitäisikö käytössä olla jokin muu menetelmä.

Työn kolmantena tavoitteena on selvittää, kuinka rataverkosta on mahdollista paikallistaa kohtia, joita kehittämällä rautatieliikenteen täsmällisyyttä on mahdollista parantaa. Tätä tavoitetta varten käydään läpi ulkomailla käytössä olevia menetelmiä häiriöiden paikallistamiseksi sekä tutkitaan tapaustutkimuksen avulla rautatieliikenteen toteumatietoa.

Työ perustuu kirjallisuusselvitykseen, asiantuntijahaastatteluihin sekä kahdesta tapaustutkimuksesta saatuihin tuloksiin.

1.3 Työn rakenne

Ensimmäinen luku on johdanto työhön. Toisessa luvussa lukija tutustutetaan rautatieliikenteeseen ja rautatieliikennettä vaivaaviin häiriötekijöihin. Kolmannessa luvussa määritellään, mitä tarkoitetaan rautatieliikenteen häiriöllä, tarkastellaan rautatieliikenteen häiriöihin vaikuttavia tekijöitä ja tutustutaan häiriöiden luonteeseen.

Tämän jälkeen käydään läpi suomalaisia nykyhetken häiriöiden analysointimenetelmiä ja esitellään JUSE. Neljännessä luvussa on myös kirjallisuusselvitys häiriöiden analysointimenetelmistä ja kerrotaan muutamia esimerkkejä siitä, kuinka eräissä maissa analysoidaan rautatieliikenteen häiriöitä. Neljännen luvun lopuksi annetaan toimintamalliehdotus nykyisen suomalaisen analysointimenetelmän kehittämiseksi.

Viidennessä luvussa esitetään tapaustutkimus koko rataverkon rataosittaiseen häiriöiden tarkasteluun. Kuudennessa luvussa esitetään tarkempi tapaustutkimus, jonka aineistona on käytetty liikenteen toteumatietoja väliltä Hirvineva–Kempele–Liminka. Lopuksi seitsemännessä luvussa on yhteenveto ja päätelmät.

2 SUOMEN RAUTATIELIIKENNE

2.1 Suomen rautatieliikenne ennen ja nyt

Suomen ensimmäinen rautatieyhteys avattiin vuonna 1862 välille Helsinki–Hämeenlinna. Yhteys yhdisti Hämeen sisävesistöt Helsingissä sijainneeseen satamaan. Tästä alkoi nopea rautateiden rakentaminen ja jo vuonna 1900 oli pohjois-eteläsuuntainen perusrunko rakennettu. Toiseen maailmansotaan asti etenkin poikittaissuuntaisia ratoja rakennettiin paljon. Sotien jälkeen Suomen rautateiden rakentaminen hidastui, kun kannattavimmat rautatiet oli jo rakennettu. Rataverkkoa laajennettiin lähinnä työllisyystöinä. (Immonen 1961.) Vielä 1960- ja 1970-luvuilla rakennettiin oikoratoja ja teollisuusratoja tyydyttämään kaukoliikenteen ja tuotantolaitosten tarpeita.

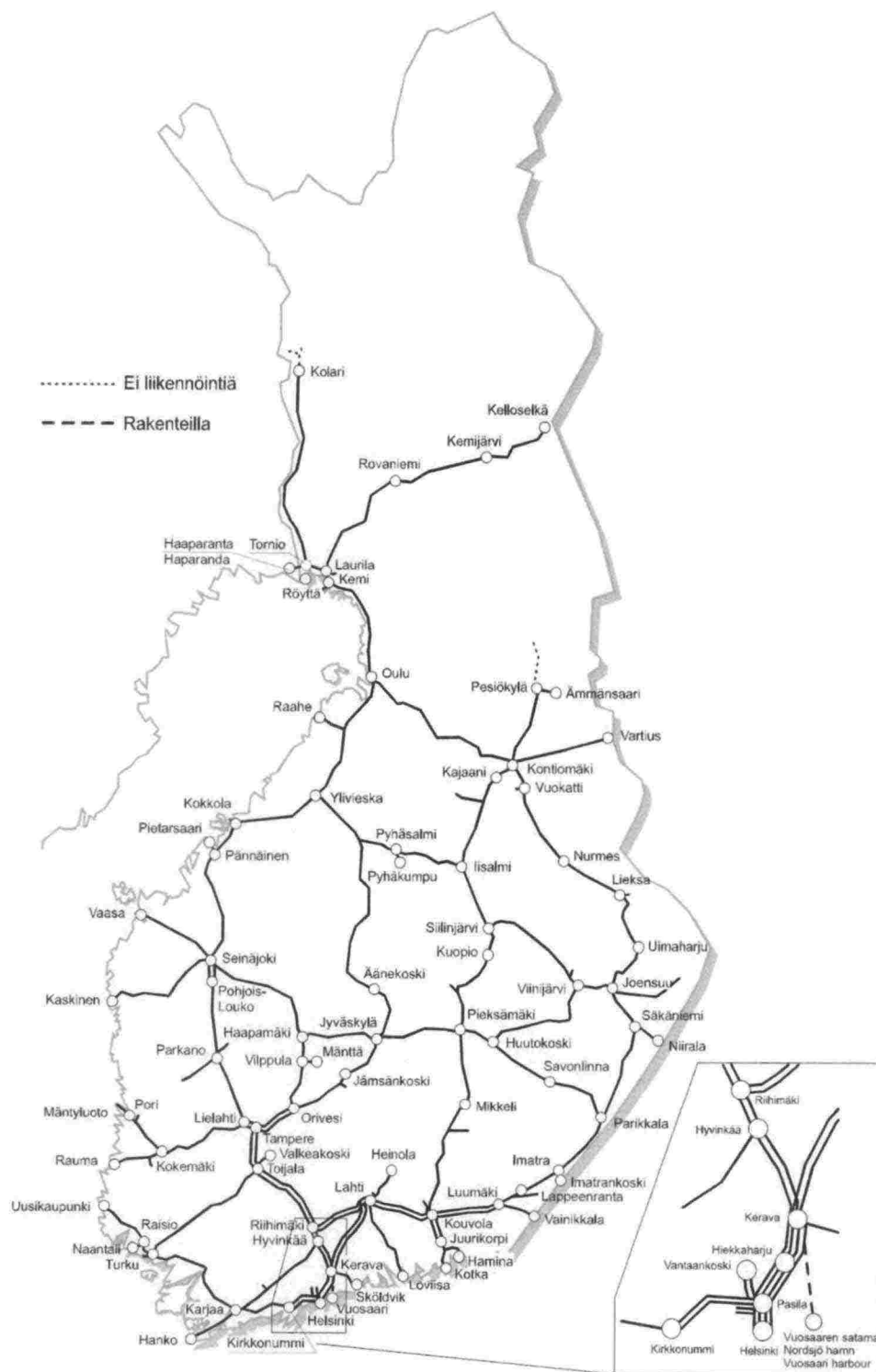
1960-luvulla siirryttiin pääosasta höyryvetureita dieselpolttoainetta ja sähköä voimalähteenä käyttäviin vetureihin. Myös rataverkon sähköistys aloitettiin 1960-luvulla ja työtä jatketaan vielä nykyäänkin. 1980-luvun alkuun mennessä uusien ratojen rakentaminen lähes tyrehtyi. Ratainvestointeja keskitettiin lähinnä olemassa olevien ratojen kunnostamiseen ja uuden kaluston hankintaan. 1990-luvulla uusien raiteiden rakentaminen elpyi, kun pääkaupunkiseudulle alettiin rakentaa uusia kaupunkirata-osuuksia. (Nieminen 2005.) Kerava–Lahti-oikorata on Suomen uusin merkittävä ratahanke, joka otettiin käyttöön 1.9.2006.

2.2 Liikenne rataverkolla

Suomen rataverkon ratapituus on noin 5 900 km, josta pääratoja on 5 620 km ja sivuratoja 280 km. Liikennöity ratapituus on 5 780 km, josta noin 52 % on sähköistetty (RHK 2008a). Tässä työssä rataverkolla tarkoitetaan Ratahallintokeskuksen hallinnoimaa valtion rataverkkoa. Lisäksi on olemassa kuntien ja teollisuuden hallinnoimaa rataa yli 1 000 km, jota on lähinnä satamissa ja tehdasalueilla (RIL 2005). Suomen rataverkko on esitetty kuvassa 1.

Suomen rataverkosta yli 90 % on yksiraiteista, mikä hankaloittaa vastakkaissuuntaisen liikenteen järjestämistä ja johtaa turvallisuusasioiden korostumiseen. Useampaa kuin kaksirataista osuutta on Suomessa vain pääkaupunkiseudun kaupunkijunaliikenteen käytössä. Vuorokaudessa liikennöi keskimäärin noin 320 kaukojunavuoroa ja noin 850 lähijunavuoroa. Venäjän ja Suomen välillä liikennöi päivittäin noin kuusi junavuoroa. Tavaraa kuljetetaan noin 500 tavarajunalla päivittäin. (VR 2007.)

Suomen rataverkolta on raideyhteys Venäjälle Vainikkalan, Imatrankosken, Niiralan ja Vartiuksen rajanylityspaikoilta. Ruotsin rataverkolle on yhteys Tornioista. Suomen eurooppalaista standardia leveämpi raideleveys, 1 524 mm, mahdollistaa samalla kalustolla operoimisen Venäjän rataverkolla. Venäjän raideleveys on 1 520 mm. Ruotsissa raideleveys on ns. eurooppalainen standardiraideleveys, 1 435 mm, joten rajan yli kuljetettava tavara vaatii siirtokuormauksen tai erikoiskaluston.



Kuva 1. Suomen rataverkko (RHK 2008b).

Rataverkon vuosivolyymit ovat kasvaneet viime vuosien aikana. Henkilöliikenteessä tehdään vuosittain noin 66,7 miljoonaa matkaa. Kaukoliikenteessä tehdään 12,9 miljoonaa matkaa, YTV-alueella 42,3 miljoonaa ja VR:n vyöhykealueella 11,5 miljoonaa. Venäjälle suuntautuvassa liikenteessä tehdään vuosittain noin 339 000 matkaa. (VR 2008a.)

Tavaraliikenteessä kulkee vuosittain noin 40,3 miljoonaa tonnia tavaraa. Näistä on kotimaan tavarakuljetuksia 26,2 miljoonaa tonnia ja Suomen ja Venäjän välistä tavaraliikennettä 9,9 miljoonaa tonnia. Transitoliikenteen osuus on 3,5 miljoonan tonnin luokkaa. (VR 2008a.)

2.3 Radan välityskyky

Radan välityskyky määrittää sen, kuinka monta junaa radalla voi kulkea tietyllä aikavälillä. Yksiraiteisuus asettaa esteitä rataosan liikenteen lisäämiselle. Jos yksiraiteinen rataosa on vilkkaasti liikennöity, se hidastaa varsinkin verkolla olevaa tavaraliikennettä merkittävästi, sillä Suomessa tavaraliikenne väistää useimmiten perusaikatauluihin sidottua henkilöliikennettä. Välityskyvyn puute aiheuttaa matka- ja kuljetusaikojen pitenemistä, kaluston käytön epätehokkuutta ja kuljetuskustannusten nousua. Välityskyvyltään kriittisimmät rataosat on esitetty kuvassa 2. (RHK 2006a.)



Kuva 2. Välityskyvyltään kriittisiksi määritetyt rataosat on kuvattu paksulla punaisella viivalla (RHK 2006a).

Radan välityskykyyn vaikuttavia seikkoja ovat (RIL 2005):

- yksiraiteisella osuudella kohtaupaikkojen väliset etäisyydet
- kaksi- tai useampiraiteisella osuudella radan suojavälinpituus, eli kuinka tiheästi junat voivat ajaa peräkkäin
- junien nopeuserot
- liikenteen rakenne, eli onko radalla paljon vastakkaista vai samansuuntaista liikennettä
- kohtaus- ja sivuutuspaikkojen raidemäärät
- turvalaitevarustus.

2.4 Turvalaitteet rautatieliikenteessä

Vaikka rautatieliikenne on jo lähes 150 vuotta vanha liikennemuoto Suomessa, siihen liittyvä tekniikka on hyvin nykyaikaista. Nykyaikaiseen rautatietekniikkaan liittyy hyvin paljon tietoliikenne- ja sähkötekniikkaa, automaatiotekniikkaa ja tietenkin perinteisempää mekaniikkaa ja kalustotekniikkaa. Varsinkin turvalaitteiden merkitys korostuu rautatieliikenteessä junien nopeuksien ja raideliikenteelle ominaisten piirteiden vuoksi. Raiteet määrittelevät sen, minne juna voi mennä, minkä vuoksi rautatieliikenne muistuttaa hyvin paljon suljettua järjestelmää. Turvallisuuden varmistamiseksi tarvitaan paljon laitteita ja järjestelmiä, joiden toimivuus on perusedellytys turvalliselle rautatieliikenteelle.

RHK:n Liikennekeskuksen kautta valvotaan koko Suomen junaliikennettä ja tarvittaessa koordinoidaan alueellista liikenteenohjausta. Alueellisessa liikenteenohjauksessa hoidetaan liikenteen operatiivinen ohjaus ja valvonta. Liikenteenohjaus on jaettu kuudelle eri alueelle. Ohjauspalvelukeskukset sijaitsevat Helsingissä, Oulussa, Tampereella, Kouvolassa, Pieksämäellä ja Joensuussa. Kauko-ohjaus sekä suojustus luovat perusedellytykset liikenteen ohjaamiseen ja valvontaan.

Kauko-ohjauksella ohjataan keskitetysti yhdestä paikasta, yleensä ohjauspalvelukeskuksesta käsin, yhtä tai useampaa asetinlaitetta, jotka on kytketty kauko-ohjausjärjestelmään. Näin varmistetaan junan kulkutie reitin alku- ja päätepisteen välillä ja toteutetaan junan kulkutiehen liittyvät toimenpiteet. Kulkutiehen kuuluvat sillä olevat opastimet, vaihteet, raiteensulut ja raideosuudet. (RHK 2007a.)

Suojastuksen avulla varmistetaan junakulkutieraiteiden vapaana olo. Suojastetulla radalla liikenne on turvattu opastimilla, joilla liikennettä ohjataan suojaväliltä toiselle. Suojastuksessa on useita toimintoja, joilla varmistetaan asetinlaitteen kulkutie-ehtoja vastaavat suojustusehdot linjalla. Opastimen opasteesta nähdään, onko sen suojaama osuus vapaana vai ei, ja voiko matkanteko jatkua vai pitääkö junan pysähtyä odottamaan kulkutien vapautumista. Vain yksi juna kerrallaan voi saada varmistetun kulkutien tietyille rataosuudelle. (RHK 2007a.)

Junien automaattisella kulunvalvontajärjestelmällä (JKV) tarkoitetaan järjestelmää, jonka avulla varmistetaan, että juna noudattaa sille asetettuja nopeusrajoituksia ja opasteita. Järjestelmä ilmaisee kuljettajalle junan ja radan suurimman sallitun nopeuden sekä antaa ennakkotietoa opastimista, nopeusrajoituksista ja vaihteista. Järjestelmä laskee junan jarrutusikäyrät sekä valvoo ja näyttää veturilaitteelle suurinta nopeutta tai

baliisiin, eli radalle sijoitetun tiedonsiirtolaitteen antamaa pienempää nopeutta. JKV valvoo nopeuksien noudattamista ja tarpeen vaatiessa hidastaa junan nopeutta. (Lehikoinen 2007.)

Turvalaitteissa, kuten muissakin teknisissä laitteissa, ilmenee aika ajoin häiriöitä. Turvalaitteiden toimintahäiriöiden vaikuttavuus on suuri, sillä niiden toiminta on varmistettava ennen kuin liikennettä voidaan turvallisesti jatkaa. Jos ei voida olla varmoja junakulkutien vapaana olosta, ei kyseiselle osuudelle voida lähettää junaa. Näin ollen turvalaiteviat korostuvat rautatieliikenteen täsmällisyystilastoinnissa. Vuonna 2007 turvalaitteisiin liittyvät viat kuuluivat merkittävimpiin liikenteen myöhästelyjä aiheuttaviin syihin. Aiheesta on kerrottu lisää luvussa 3.

2.5 Ratakapasiteetin vaikutus rautatieliikenteessä

2.5.1 Ratakapasiteetti

Ratakapasiteetilla tarkoitetaan suurinta mahdollista junamäärää, joka voi liikennöidä tarkastelulla alueella (rataverkolla, rataosalla tai liikennepaikalla) tietyn ajanjakson aikana. Ratakapasiteetti muodostuu rатаinfrastruktuurista ja radalla liikkuvasta kalustosta sekä niiden yhteensovittamisesta. Ratakapasiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat rатаinfrastruktuurin osalta ratageometria, nopeusrajoitukset, opastinväljen pituudet ja suojustus. Ratakapasiteettiin vaikuttavat myös liikkuvan kaluston ominaisuudet sekä aikataulu. (Mäkitalo 2000, Pitkänen 2006).

Pelkistetyksi ratakapasiteetin laskentakaava voidaan esittää seuraavasti:

$$C = \frac{\textit{Tarkasteltava ajanjakso}}{X}$$

Kaavassa esiintyvä C on kapasiteetti ja X tarkastelutavasta riippuen esimerkiksi peräkkäisten junien aikaväljen summa, turvalaitetekniikan ominaisuuksista määritetty tekijä tai junien nopeuksista määritetty tekijä. (Pitkänen 2006.)

Kapasiteetin väheneminen aiheuttaa liikenteellisiä pullonkauloja. Tällaisia paikkoja ovat mm. pitkät rataosuudet ja alhaisen nopeusrajoituksen omaavat rataosat. Tällaisilla rataosuuksilla nopean junan ei ole mahdollista ohittaa edellä kulkevaa hitaampaa junaa eikä junalla ole myöskään mahdollisuutta kohdata edestäpäin tulevaa junaa. Kapasiteetin nostaminen tapahtuu edellä mainituilla paikoilla esimerkiksi turvalaiteopastimien, kuten toistopisteiden määrän kasvattamisella, mutta parhaiten kohtauspaikkojen lisäämisellä.

2.5.2 Ratakapasiteetin käyttöaste

Ratakapasiteetin käyttöasteella tarkoitetaan sitä osuutta tietyistä ajanjaksosta, jonka liikenne on varannut tarkastellusta alueesta käyttöönsä. Käyttöasteen laskentakaava voidaan esittää seuraavasti (Pitkänen 2006):

$$C_{\textit{käyttö}} = \frac{\textit{Liikennöinnin varaama aika}}{\textit{Tarkasteltava ajanjakso}} \cdot 100$$

Liikenteellisesti katsottuna ratakapasiteetin käyttöasteen lähestyessä 80 % liikenteen vakaus häiriintyy. Rata on tällöin ruuhkainen ja pienienkin häiriöiden vaikutukset voivat olla hyvin kauaskantoisia. Ruotsin rautatieviranomaisen Banverket on määrittänyt kansainvälisen rautatieliiton (UIC) määrittämien periaatteiden mukaisesti palvelutasoluokat, joiden avulla saa karkean kuvan liikenteen sujuvuudesta tietyillä kapasiteettiasteilla.

Seuraavassa on esitetty palvelutasoluokkien kuvaukset (Mukula 2007):

- Kapasiteetinkäyttöaste 0–40 %, rataosalla on runsaasti käyttämätöntä kapasiteettia.
- Kapasiteetinkäyttöaste 41–60 %, liikenteen määrä ja laatu ovat tasapainossa.
- Kapasiteetinkäyttöaste 61–80 %, liikenteessä voi olla ongelmia ja kyky palautua häiriötilanteesta on rajoittunut. Kapasiteetista on myös ajoittain pulaa. Liikenteen laadun ja lisäjunien välillä joudutaan tekemään valinta.
- Kapasiteetinkäyttöaste 81–100 %, rataosalla on pulaa kapasiteetista ja lisäjunien sekä kunnossapidon sijoittaminen verkolle on hyvin vaikeaa. Myös aikataulu on herkkä häiriöille, josta johtuen liikenteessä on odotettavissa vakavia ongelmia.

2.6 Radan kehitysinvestoinnit

Rautatieliikenteessä tulevaisuuden suunnitteleminen on erittäin tärkeää. Rautatieinfrastruktuuri ja -kalusto ovat pitkäikäisiä ja investointikustannuksiltaan korkeita. Pitkäikäisyydellä tarkoitetaan noin 30–40 vuoden aikajännettä. RHK:ssa tehdään radanpidon strategista suunnittelua, joka ulottuu noin 20 vuotta tulevaisuuteen. Suunnitelmia tehdään ja päivitetään 4 vuoden välein, hallituskausien mukaan. Maankäyttöön ja yhdyskuntarakenteeseen rautateilla on merkittävä vaikutus. Ratojen uusilla linjauksilla saattaa näin ollen olla hyvinkin suuri vaikuttavuus. (RHK 2006b.)

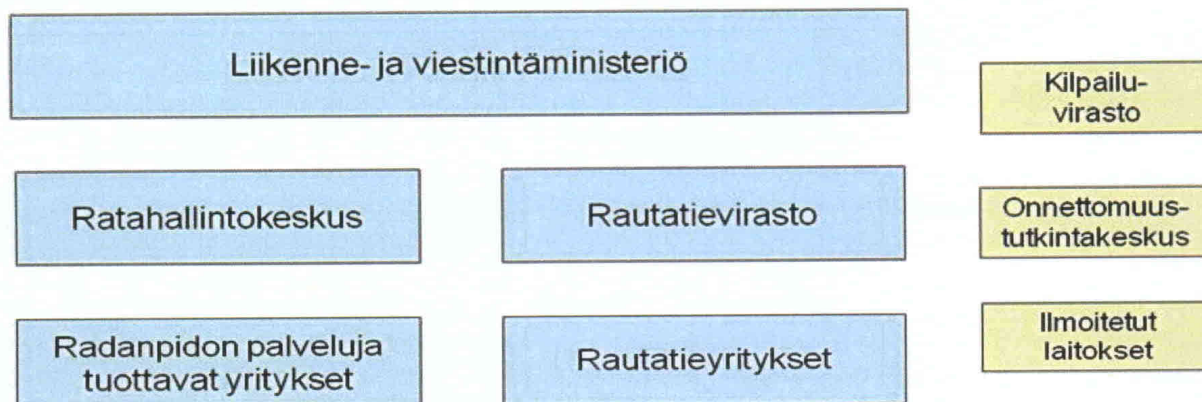
Rautateiden pitkän aikavälin suunnitelmiin (PTS) osallistuu RHK:n henkilöstön lisäksi myös sidosryhmien edustajia mm. muista viranomaistahoista, maakuntaliitoista, kaupungeista, kunnista, jne. RHK:n toimintaa ohjaa PTS:n tavoitteiden ohella lyhyemmän tähtäimen toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS). TTS:ssä esitetään radanpidon ja RHK:n toiminnan haasteet, painopisteet ja taloudelliset tiedot. TTS sisältää kaksi rahoitustasoa, kehittämissuunnitelman, joka määrittelee radanpidon rahoitustarpeen, ja kehysuunnitelman, joka vastaa maan hallituksen aiemmin tekemien päätösten mukaista tasoa. Kehittämissuunnitelma sisältää teemahankkeina toteutettavia pieniä palvelutasoa parantavia investointeja. (RHK 2006a.)

Palvelutaso rautateilla on kahden tekijän summa, rautatieinfrastruktuurin ja kaluston. Ilman toista ei ole liikennettä. Jos toinen näistä tekijöistä ei toimi kunnolla, merkitsee se palvelutason laskua. Kilpailukykyisen rautatieliikenteen edellytyksenä on nopeudeltaan, välityskyvyltään, kantavuudeltaan ja toiminnallisuudeltaan riittävän hyvä rataverkko (RHK 2006b). Myös kaluston saatavuus ja toimivuus vaikuttavat oleellisesti palvelutasoon.

2.7 Rautatiealan toimijat ja roolit

Valtionrautatiet muutettiin vuonna 1990 valtionvirastosta liikelaitokseksi silloisen liikenneministeriön toimintapolitiikan mukaisesti. Toiminnalla eriytettiin viranomais-

toiminnot ja liiketoiminta toisistaan. Liikelaitos yhtiöitettiin heinäkuussa 1995 VR-Yhtymä Oy:ksi tytäryhtiöineen hoitamaan rautatieliikennettä. Samalla perustettiin uusi liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalainen viranomaistaho, Ratahallintokeskus (RHK), vastaamaan viranomaistehtävistä ja rataverkon hallinnoinnista. (Nummelin 2005.) Syyskuussa 2006 Euroopan unionin turvallisuusdirektiivin edellyttämällä tavalla Suomeen perustettiin erillinen virasto valvomaan rautateiden turvallisuutta (RVI 2007). Näin ollen turvallisuusasioiden hoitaminen siirtyi Ratahallintokeskukselta Rautatievirastolle. Suomen rautatieliikenteeseen liittyvät eri tahot on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Rautatieliikenteen eri tahot Suomessa, oikeassa reunassa olevat tahot toimivat muuallakin kuin vain rautatiealalla (RHK 2007b).

Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) toteuttaa liikenne- ja viestintäpolitiikkaa. Ministeriö valmistele lakeja ja asetuksia sekä päätöksiä. Ministeriö tekee myös itse säädöskokoelmassa julkaistavia päätöksiä ja määräyksiä sekä antaa ohjeita ja määräyksiä lakien soveltamisesta. (LVM 2008.) LVM vastaa valtion rataverkon radanpidon kustannuksista, joiden rahoitus saadaan valtion talousarviossa osoitetuista määrärahoista ja lisäksi mm. ratamaksuista (Ratalaki 110/2007). Ministeriön tehtävänä on ohjata ja valvoa sen alaisten itsenäisten organisaatioiden, kuten Ratahallintokeskuksen ja Rautatieviraston toimintaa. Ohjauskeinoina ovat mm. vuosittain asetettavat tulostavoitteet sekä tavoitteiden toteutuksen ja määrärahojen käytön seuranta. (LVM 2008.)

Ratahallintokeskus (RHK) huolehtii viranomaistehtävistä ja toimii ratainfrastruktuurin haltijana. RHK huolehtii rataverkon ylläpitämisestä, rakentamisesta ja kehittämisestä sekä vastaa rataverkon turvallisuudesta, ratakapasiteetin jakamisesta ja liikenteenohjauksesta. RHK on määritellyt pääprosesseikseen radanpidon strategisen suunnittelun, hankesuunnittelun, rakentamisen, kunnossapidon ja liikenteen palvelut. RHK on tilaajavirasto, joten ratojen kunnossapito- ja rakentamistyöt sekä kiinteistönhoidon palvelut ostetaan niitä tuottavilta yrityksiltä. Lisäksi hankkeiden suunnittelussa ja rakentamisessa käytetään apuna suunnittelu- ja rakentamisalan konsultteja. (RHK 2007b, RHK 2007c.)

Rautatieviraston tehtävänä on rautatiejärjestelmän turvallisuuden noudattamisen valvonta, rautatieturvallisuudesta huolehtiminen, virastolle säädetyistä tai osoitetuista

viranomaistehtävistä huolehtiminen sekä alan kansainvälisestä yhteistyöstä huolehtiminen. (RVI 2007.)

Radanpidon palveluja tuottavat yritykset tekevät radan rakentamiseen liittyviä töitä. Radanpito on määritetty Ratalaissa (110/2007) koskemaan rautatien ja siihen liittyvän kiinteän omaisuuden suunnittelua, hankintaa, rakentamista, hallintaa ja kunnossapitoa sekä olemassa olevan rautatien parantamista. Kuten jo aiemmin on mainittu, RHK on tilaajavirasto, jonka oma kapasiteetti ei riitä näiden palveluiden tuottamiseen, minkä vuoksi se tilaa niitä monilta eri yrityksiltä. (Finlex 2008.)

Rautatieyritykset ovat yksityisoikeudellisia yhtiöitä tai muita yhteisöjä, joiden päätoimi on rautatieliikenteen harjoittaminen. Yrityksellä tulee olla Euroopan talousalueella myönnetty lupa toiminnan harjoittamiseen ja sen hallinnassa tulee olla liikenteen harjoittamiseen tarvittavaa liikkuvaa kalustoa. Rautatieyrityksenä pidetään myös yksinomaan vetovoimapalveluja tarjoavia yhteisöjä. (RHK 2007d.) Tällä hetkellä Suomessa toimii henkilöliikenteen osalta vain yksi liikennöitsijä VR, mutta tavaraliikenteen osalta kilpailu on jo avattu ja pääsy rataverkolle on mahdollista.

3 LIIKENNEHÄIRIÖT RATAVERKOLLA

3.1 Liikennehäiriön määritelmä

Rataverkolla esiintyvä liikennehäiriö on poikkeava tapahtuma, joka laskee radan kapasiteettia eli välityskykyä ja liikenteen täsmällisyyttä. Rautatieliikenne on erilaista, jos sitä verrataan muuhun liikenteeseen häiriöiden leviämisen ja niiden seurannaisvaikutusten osalta. Rautatieliikenteessä häiriöiden vaikutusalue voi olla hyvinkin suuri kerrannaisvaikutusten johdosta. Toisaalta häiriön vaikutus voi kohdistua vain yhteen junaan, jos liikennöintiäika tai paikka tai molemmat ovat sopivia. Syitä häiriöiden ilmenemiseen on useita, eikä niiden poistaminen kokonaisuudessaan ole mahdollista. Erilaisin toimenpitein on kuitenkin mahdollista edesauttaa täsmällisyyttä ja vähentää liikenteen häiriöherkkyyttä.

Rautatieliikenteelle on ominaista turvallisuusasioiden korostuminen. Häiriöt ja viat eivät saa vaikuttaa alentavasti turvallisuuteen, minkä vuoksi junien kulussa esiintyy korostetusti enemmän viipeitä. Junien kulkuun liittyy paljon kontrollointia ja valvontaa. Suurista nopeuksista johtuen junankuljettajalla ei välttämättä ole mahdollisuutta havaita edesspäin samaa raidetta tulevaa junaa tai edessä hitaasti ajavaa junaa. Myös junien kohtaamismahdollisuuksien vähäisyys väistämättäkin vaikuttaa siihen, että junankuljettaja on riippuvainen liikenteenohjauksen antamista ohjeista. Myös monet järjestelmät alajärjestelmien, kuten rata, opastinjärjestelmät, sähköistys, kalusto- ja henkilöstökierrot, aiheuttavat herkkyyttä rautatieliikennejärjestelmän vakauteen ja aiheuttavat aika-ajoin liikennehäiriöitä. (Mattsson 2004.)

Suurin osa Suomen rataverkosta on yksiraiteista, joten jos häiriö sattuu tällaisella osuudella, muun liikenteen joko odotettava häiriön aiheuttajan poistamista tai kierrettävä häiriöosuus jollain muulla reitillä. Kiertäminen ei tule kyseeseen kuin marginaalisessa osassa tapauksista, joten käytännössä häiriötilanteen ajaksi koko junaliikenne hidastuu riippuen häiriön laadusta. Palautuminen häiriöstä saattaa kestää hyvinkin kauan, jopa yli vuorokauden. Junien välejä päästään kunnolla tasaamaan vasta, kun aikataulussa on tarpeeksi väljyyttä, esimerkiksi pääradalla Ylivieskan kohdalla noin klo 4–5 aikaan aamulla (Blomqvist 2007).

Häiriö voidaan määritellä monen tekijän suhteen. Jossain tapauksessa on tärkeää, että vastuutaho saadaan esille. Tällöin häiriö voidaan määritellä aiheuttajan mukaan. Esimerkiksi taloudellisissa korvaustilanteissa on hyvä tietää, kuka maksaa ja kenelle. Häiriö voidaan määritellä myös tapahtuman ennakoitavuuden mukaan. Tietyissä tapauksissa voidaan etukäteen tehdä toimenpiteitä, jotka tavallisimmin edesauttavat sujuvaa liikennettä. Häiriö voidaan määritellä myös viipeen syyn perusteella. Aiheuttaja voi olla tekninen vika tai kenties edellä kulkeva juna. Häiriö voidaan määritellä myös vaikuttavuuden mukaan, eli kuinka vakava tietyistä tapahtumasta aiheutuvat häiriöt on. Seuraavaksi on käsitelty tarkemmin edellä mainittujen häiriömääritelmien sisältöä.

Häiriön aiheuttaja

Häiriöitä aiheuttavat tekijät voidaan jakaa rатаinfrastruktuurista, kalustosta ja henkilökunnasta, liikenteellisistä syistä sekä muusta osapuolesta johtuviksi (taulukko 1).

Taulukossa yläotsikon alla on kuvattu joitain esimerkkejä siitä, mihin liittyen häiriökyseisen tekijän puitteissa voi liittyä.

Tällainen jaottelu tuo esiin rautatiealan toimijoista sen tahon, joka on vastuussa ko. häiriöistä. Suuremmissa häiriötilanteissa vastuutahoja saattaa olla useampikin, ja perimmäisen syyn selvittäminen ja vastuutahon esiintuominen on erittäin vaikeaa. (Vromans 2005)

Taulukko 1. Häiriöt voidaan luokitella aiheuttajan mukaan neljään luokkaan (RHK 2007 ja Goverde 2005 mukailten).

Infrastrukturi	Kalusto ja henkilökunta	Liikenteelliset syyt	Muu osapuoli
sähköistys turvalaite vaihte valvontalaite opastinlaite rata	junakokoonpano veturit moottorijunat ja -vaunut henkilökunnan vaihto tai odotus	liikenteenohjaus ja - valvonta kommunikaatio reitin määritykset aikataulun pullonkaulat	huono keli lumiesteet asiattomat radallakulkijat ilkivalta liikenneonnettomuus asiakkaat

Häiriön ennakoitavuus

Täsmällisyyteen vaikuttavat häiriöt voidaan jakaa tiedossa oleviin eli ennustettaviin häiriöihin sekä ennalta arvaamattomiin eli ennustamattomiin häiriöihin taulukon 2 mukaisesti. Ennustettavia häiriöitä ovat mm. huono radan kunto ja säästä johtuva huono keli.

Ennalta arvaamattomat häiriöt liittyvät usein ratavaurioihin, onnettomuuksiin, asiakkaista johtuviin viipeisiin, junakaluston rikkoutumiseen ja paikallisiin sääolosuhteisiin yms. tekijöihin. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Lisäksi voi esiintyä häiriöitä, jotka ovat edellä mainittujen määritelmien väliltä. Tällaisia ovat tapahtumat, joiden tiedetään tulevan, mutta joiden kesto tai laatua ei pystytä arvioimaan ennen kuin tapahtuma on päällä. Tällaisia tapahtumia, ovat mm. kuuroittain esiintyvät rankat lumipyryt. Esimerkiksi ensimmäisen lumikuuron tyrehtyttyä liikenne palautuu pikku hiljaa normaaliksi, mutta seuraavan kuuron alettua liikenne on jälleen hyvin suurissa ongelmissa nopean lumentulon vuoksi.

Taulukko 2. Häiriöt voidaan luokitella niiden ennakoitavuuden mukaan.

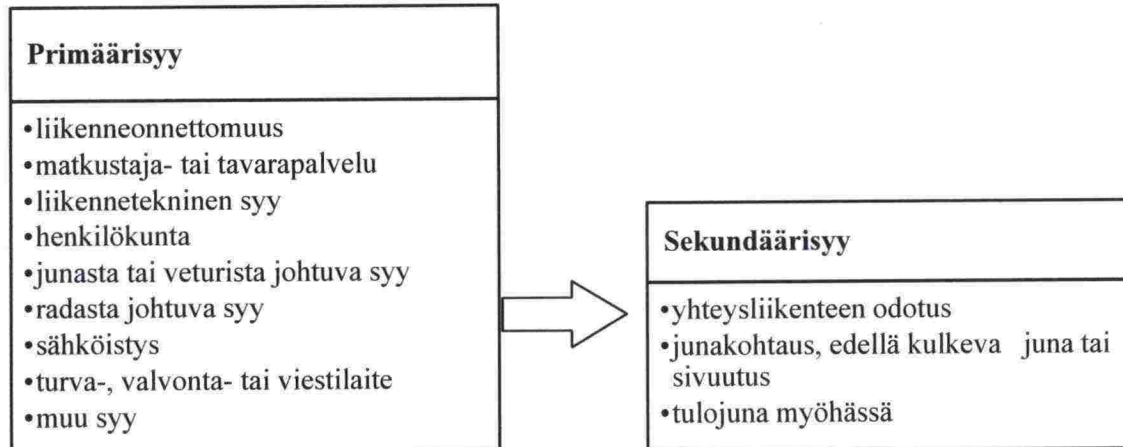
Tiedossa olevat syyt	Ennalta arvaamattomat syyt	Vaihteleva
radan kunto säästä johtuva huono keli	ratavauriot onnettomuudet kaluston rikkoutuminen asiakkaista johtuvat häiriöt paikalliset sääolosuhteet	vaihtelevat sääolosuhteet (esim. lumipyry, joka taukoaa ja jatkuu hetken päästä uudelleen)

Häiriön luonne

Häiriö voidaan määritellä myös primäärisen ja sekundäärisen syyn perusteella. Primäärisestä syystä aiheutunut häiriö raiteilla aiheuttaa usein häiriöitä myös muulle radalla liikennöivälle liikenteelle. Tällaisista toisen junan aiheuttamista häiriöistä käytetään nimitystä sekundäärisyy. (Goverde 2005, Vromans 2005)

Taulukon 3 mukaisesti primäärisyistä aiheutuu usein myös sekundääriä vaikutuksia.

Taulukko 3. Primäärisyistä aiheutuu usein myös sekundäärisiä vaikutuksia.



Häiriön vaikuttavuus ja vakavuus

Häiriö voidaan luokitella myös vaikuttavuuden ja häiriöstä aiheutuvan seurauksen vakavuuden mukaan. Näin ollen häiriöstä aiheutuneen vaikutuksen tasolla on eroa. Nyström (2005) kuvaa työssään kolme vakavuuden tasoa: vaihteleva, poikkeava ja haavoittava. Kun häiriö on vakavuudeltaan vaihteleva, ei häiriö useinkaan ole vaikutukseltaan kovin suuri. Poikkeava häiriö sen sijaan on seuraukseltaan vakavampi ja aiheuttaa liikenteelle ja muille osallisille näkyvää haittaa. Kolmatta vakavuuden tasoa Nyström (2005) kuvailee haavoittavaksi, jolloin häiriön syy saattaa lamauttaa koko liikennejärjestelmän toimivuuden. Taulukossa 4 on esitetty häiriön vaikuttavuuden ja vakavuuden mukaan määritelty häiriö.

Taulukko 4. Rautatieliikenteeseen vaikuttavien erilaisten häiriötekijöiden vaikutus (Nyström 2005).

Seurauksen vakavuus				
vaihteleva		poikkeava	haavoittava	
vähäiset kalusto- ja infrapuutteet, inhimilliset toiminnalliset tekijät kuten nopeus	kalustossa ja infrassa esiintyvät viat, inhimilliset virheet kuten päin punaista ajo	sabotaasi allejäännit taseuristeys-onnettomuudet	rajut myrskyt laajat tulvat	terrorismi suur-onnettomuudet

3.2 Käsitteitä

Ajoaika on aika, jonka aikana juna kulkee paikasta A paikkaan B. Ajoaika jaetaan seuraavaksi pienempiin osiin, jotta voidaan määrittää sen tarkempi koostumus.

Teoreettinen ajoaika on aika, jonka juna käyttää junan kulkemalla matkalla optimiolosuhteissa ilman pysähdyksiä. Teoreettisen ajoajan määrittämiseksi on huomioitava monenlaisia radan infrastruktuuriin ja kalustoon liittyviä seikkoja. Tällaisia ovat mm. ratageometria ja siihen liittyvät nopeusrajoitukset, vetokaluston vetovoima, junan jarrutusominaisuudet, junapaino, junakaluston ja kuljetettavan tavaran asettamat rajoitteet sekä radan infrastruktuurista aiheutuvat nopeusrajoitukset (Mukula 2008).

Teoreettinen ajoaika = ajoaika optimiolosuhteissa ilman pysähdyksiä

Junan ei ole kuitenkaan mahdollista kulkea aikataulunmukaisesti teoreettisen ajoajan puitteissa. Sen vuoksi teoreettiseen ajoaikaan lisätään **pelivaraa**. Pelivara on teoreettiseen ajoaikaan lisätty aika, jonka ajatellaan kattavan sellaiset ajan vaihtelut, joiden laskemiseksi ei ole yksiselitteistä kaavaa. Pelivaran avulla aikataulusta saadaan vakaampi ja siten paremmin häiriöitä kestävä. Pelivaralla on mahdollista kattaa pienten häiriöiden, kuten sään, matkustajakäyttäytymisen tai kuljettajan ajotavan, aiheuttamia täsmällisyysvaihteluja tai jopa estää ne.

Pelivaran käyttö junaliikenteen suunnittelussa ja aikataulujen laadinnassa on hyvin tavallista niin Suomessa kuin muuallakin. Pelivaran suuruus on maakohtaista, mutta yleisesti se on 5–10 % teoreettisesta ajoajasta. (Hovi ja Oksanen 2007, Mäkitalo 2003.) Suomessa pelivara on yleensä noin 10 %.

$$\text{Pelivara} = \text{teoreettinen ajoaika} \cdot 10 \%$$

Minimijoaika on aika, joka junan on mahdollista saavuttaa, kun se kulkee häiriöttä radalla. Minimijoaika koostuu teoreettisesta ajoajasta ja pelivarasta sekä henkilöliikenteessä lisäksi asemilla pysähdyksistä.

$$\text{Minimijaoaika} = \text{teoreettinen ajoaika} + \text{asemilla pysähdykset} + \text{pelivara}$$

Junan aikataulun mukainen ajoaika muodostuu minimijaoajasta ja siihen lisätyistä kohtaamiseen ja ohitukseen kuluvista odotusajoista, joita junalle tulee eteen varsinkin yksiraiteisilla rataosilla. Kohtaamiseen kuluva aika sisältää jarruttamiseen, pysähdyksissä olemiseen ja kiihdyttämiseen kuluvan ajan.

$$\text{Aikataulun mukainen ajoaika} = \text{minimijaoaika} + \text{odotusajat}$$

Suomessa aikataulun mukaisen ajoajan määrittämiseksi käytetään varsinkin kaukoliikenteen osalta karkeaa ja yksinkertaista menetelmää laskemalla junan kulkeman reitin nopeuden ja etäisyyden tulo ja ottamalla huomioon kaluston ja infrastruktuurin nopeusrajoitukset. Joissain tapauksissa otetaan huomioon myös kiihdytyksiin ja jarrutuksiin kuluva aika. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Laskennallisten menetelmien ohella käytetään myös **koeajoja**. Niiden avulla saadaan todellinen kuva liikenteen järjestämismahdollisuuksista. Koeajoilla määritetään minimiaika, jolla juna pystyy selviytymään sille määritetystä reitistä. Koeajot ajetaan ilman matkustajia, mutta pysähdykset tehdään linjan määrittelemillä asemilla. Tällä tavoin ajoaika pyritään määrittämään mahdollisimman realistisesti oikeaa liikennetilannetta vastaavaksi. Koeajojen käyttö on hyvin yleistä lähiliikenteen ajoaikojen määrittämisessä, mutta myös pidemmällä osuuksilla niitä hyödynnetään. Esimerkiksi Turku–Toijala-radana ratatöiden vuoksi alennettujen nopeuksien vaikutusta ajoaikoihin selvitettiin koeajoilla. Koeajojen puutteena on, ettei niillä ole mahdollista mallintaa matkustajien käyttäytymistä. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Maailmalla käytetään ajoajan määrittämiseen koeajojen lisäksi myös tietokoneavusteisia **ajoikalaskentamenetelmiä**. Suomen oloihin hyvin toimivaa ohjelmaa ei ole vielä löydetty. Sellaiselle olisi käyttöä varsinkin tavarajunien ajoajan määrittelyyn, koska tavarajunien kiihtyvyys on hyvin riippuvainen kuljetettavasta tavarasta, kun taas henkilöliikenteen junien kiihtyvyyksiin matkustajamäärillä ei juurikaan ole vaikutusta. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Viive on todellisen ajoajan ja aikataulunmukaisen ajoajan välinen ero. Viive on yleensä positiivinen, sillä myöhästynyt juna on aina aikataulustaan jäljessä. Jos viive on negatiivinen, merkitsee se sitä, että juna kulkee etuajassa. Kapasiteetin käytön kannalta olisi tärkeää, että infrastruktuuria käytettäisiin mahdollisimman tehokkaasti. (Mattsson 2004.)

$$\text{viive} = \text{todellinen ajoaika} - \text{aikataulun mukainen ajoaika}$$

Viipeet voidaan jakaa kahteen osaan: aikataulutettuihin ja aikatauluttamattomiin. Aikataulutettu viive voidaan määrittellä aikataulun mukaisen ajoajan ja pienimmän mahdollisimman ajoajan välisenä erona. (Mattsson 2004.)

$$\text{aikataulutettu viive} = \text{aikataulun mukainen ajoaika} - \text{minimijaoaika}$$

Aikatauluttamaton viive voidaan määritellä joko todellisen ajoajan ja aikataulun mukaisen ajoajan välisenä erona, tai vaihtoehtoisesti primäärisen ja sekundäärisen viiveen summana. (Mattsson 2004.)

aikatauluttamaton viive = todellinen ajoaika – aikataulun mukainen ajoaika
= primäärinen viive + sekundäärinen viive

3.3 Häiriöihin varautuminen

3.3.1 Johdanto

Häiriötä esiintyy satunnaisesti rautatieverkon yhtymäkohdissa ja liikennepaikkojen välisillä osuuksilla. Häiriöt näkyvät rautatieliikenteessä viivästyksinä, aikataulustaan myöhässä olevina junina. Varsinkin henkilöliikenteen kannalta tämä on epämiellyttävää, sillä häiriö vaikuttaa hyvin monen matkustajan jatkoyhteyksiin ja ajankäyttöön sekä junahenkilökunnan ja junakaluston kiertoihin. Tavaraliikenteen osalta viipeet eivät ole niin ratkaisevassa roolissa kuin henkilöliikenteessä, sillä tavaraliikenteen kulku määritellään usein henkilöliikenteen ehdoin ja näin ollen niihin osataan varautua. Tavaraliikenteen aikataulujen tärkeyden määrittelevät usein tavarakuljetusten jatkoyhteydet, mm. laivaliikenne, joka ei odotele myöhässä olevaa junaa satamassa.

Aikataulusuunnittelulla luodaan junan aikataulu tiettyjen liikennepaikkojen välillä. Aikataulu muodostuu ajoajasta, joka on teknisesti mahdollinen kyseisellä osuudella, sekä pelivarasta, jolla pienennetään mahdollista viivettä ja sen vaikutuksia eli häiriöitä (Mäkitalo 2003).

Radanpitäjän toimesta avainasemaan asettuvat teknisten järjestelmien ja laitteiden toimivuus. Keskuksien ja valvomoiden sekä laitteiden ja järjestelmien välillä oleva tiedonsiirtoyhteys on yksi perusedellytys, jonka on toimittava häiriöttömän kulun saavuttamiseksi. Radan on myös oltava kunnossa, jotta sillä pystytään liikennöimään normaalisti.

3.3.2 Häiriöherkkien kohtien tunnistaminen Suomessa

Rataverkolla olevien häiriöherkkien kohtien tunnistaminen Suomessa ei tällä hetkellä ole organisoitua. Ongelmakohtia tunnistetaan tällä hetkellä vain sattumanvaraisesti. Jos ongelmakohdasta tiedotetaan asiantuntijoita, ryhdytään ongelmaan paneutumaan, mutta jos tieto ongelmallisesta paikasta ei kulkeudu asiantuntijoille, ei ongelma häviä mihinkään. (Hovi ja Oksanen 2007, Lehikoinen 2008.)

Tietoa ongelmallisista kohdista saadaan asiantuntijoille kulkeutuneen palautteen ohella myös VR:n ja YTV:n asiakaspalautteen kautta, sekä hieman myös liikenteenohjaajilta. Liikennesuunnittelun osalta asiakaspalautteissa olevat aikataululliset kommentit kirjataan Profi-tietojärjestelmään, josta suunnittelijat lukevat tietoja noin 1–2 kertaa kuukaudessa ja valikoivat aikataulurakenteeseen liittyvät palautteet. Aikatauluja voidaan muuttaa joko välittömästi tai seuraavaa aikataulua laadittaessa. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Liikennesuunnittelijat käyttävät myös JUSE-järjestelmää hyväkseen aikataulujen ongelmakohtien tunnistamisessa. Asiakaspalautteen vauhdittamina JUSEsta tarkistetaan noin muutaman kuukauden ajanjaksolta yksittäisten junien myöhästymisiä. Jos JUSEn perusteella junan aikataulussa on selvästi havaittavissa säännöllistä epätasaisuutta, ryhdytään aikataulusuunnittelun keinoin välittömiin toimiin, tai vaihtoehtoisesti asia otetaan huomioon seuraavaa aikataulua laadittaessa ongelman poistamiseksi. (Hovi ja Oksanen 2007.)

JUSE-järjestelmän sisältämästä tiedosta on mahdollista selvittää, kuinka paljon viipeitä on tietyille rataosalle tai tietyille seuranta-asemille kirjattu. Tällaisen tiedon perusteella voidaan arvioida, miten liikenteen häiriöt ovat kehittyneet järjestelmän käyttöönotosta vuodesta 2004 lähtien. JUSE-järjestelmästä ja muista tavoista analysoida liikennehäiriöitä on kerrottu lisää luvussa 4.

3.3.3 Aikataulusuunnittelun toimenpiteet

Yksinkertaisia aikataulusuunnittelun keinoja häiriöihin varautumiseen ovat ajoaikojen nostaminen ja aikataulun pelivaran kasvattaminen. Tällöin junien vuorovälit kuitenkin kasvavat, sillä nopeudet laskevat. Pelivaran lisäämisen johdosta häiriöiden vaikuttavuus vähenee ja aikataulun vakaus lisääntyy luotettavamman ja täsmällisemmän aikataulun johdosta. Kuitenkin pelivaran kasvattamisella päädytään pitempiin ajoaikoihin, pitempiin matkustusaikoihin, hitaampaan ajonopeuteen, korkeampiin kustannuksiin ja heikompaan kapasiteetin käyttöön. Aikataulusuunnittelulla vaikutetaan siis matkustajille tarjottavaan palvelutasoon, operointikustannuksiin ja -tuottoihin sekä kapasiteetin käyttöön. (Yuan ja Hansen 2007)

Tiedossa oleviin häiriöihin on mahdollista varautua etukäteen. Sääennusteiden antaman huonon kelin ennusteen, kuten sankan lumipyryn, tiedetään vaikuttavan normaaliin liikenteeseen. Näin ollen sääennusteen mukaiselle huonon kelin alueen rataosille laaditaan poikkeusaikataulu ja poikkeukselliset liikennejärjestelyt, kunnes tilanne rauhoittuu. Tilanteen rauhoituttua pyritään noudattamaan normaalia aikataulua niin nopeasti kuin mahdollista.

Myös radan huono kunto voi aiheuttaa häiriöitä liikenteeseen. Sen aiheuttamiin häiriöihin voidaan myös varautua etukäteen laskemalla rataosan nopeusrajoituksia. Tällaisella toimenpiteellä päästään yleensä haluttuun tulokseen. Nopeuksien laskeminen tapahtuu joko etukäteen annetun ohjeistuksen mukaisesti tai kesken toimintavuotta kriittisenä toimenpiteenä. Jos radalla tiedetään olevan mittava häiriötä aiheuttava ominaisuus, on joissain tapauksissa liikenteen vakauden ylläpitämiseksi peruttava osa junavuoroista kokonaan. (Hovi ja Oksanen 2007.)

Ennalta arvaamattomiin häiriöihin ei voida varautua edellä mainituin menetelmin vaan ennalta arvaamattomuuden vuoksi Suomessa lisätään teoreettiseen ajoaikaan yleensä 10 % pelivaraa. Harvoissa poikkeustapauksissa aikataulurakenteen tiukkuuden takia vain 5 %. Pelivara on Suomessa 10 % teoreettisesta ajoajasta. Tällöin esimerkiksi Helsingistä Ouluun kulkevan IC-junan pelivara on noin 40 minuuttia (aikataulun mukainen ajoaika 7 h 13 min), mutta Helsinki–Kauklahti-lähijunan E pelivara vain noin 2,5 min (aikataulun mukainen ajoaika 28 min).

Pelivara jaetaan aikatauluun asemakohtaisesti. Aikataulusuunnittelussa määritetään junalle aika, jonka se käyttää aina tiettyjen liikennepaikkojen välillä. Tämä aika sisältää pelivaran, joka siis on noin 10 % kyseiseen väliin kuluvasta ajoajasta. (Pitkänen 2008.) Liikenteen suunnitteluprosessissa otetaan häiriöiden osalta kaksi pääasiaa huomioon. Toisaalta liikennettä hidastavat tiedossa olevat ratatyöt ja toisaalta myös normaalit ennalta arvaamattomat häiriöt. Suunnittelulla ei voida vaikuttaa häiriöön enää, kun häiriö rataverkolla konkreettisesti tapahtuu. Häiriötilanteessa liikenteenohjaajat hoitavat operatiivisen toiminnan puitteissa tilanteen selvittämisen. Aikataulusuunnittelu on yksi keino, jonka avulla voidaan varautua häiriöihin ja vähentää häiriöiden esiintymistiheyttä.

3.3.4 Radanpitäjän toimenpiteet

Infrastruktuurin kannalta häiriöihin varautuminen tehdään ennakoivilla toimenpiteillä, kuten kunnossapidolla, huoltotoiminnalla, varmuusjärjestelmillä (sähköt) sekä teknisillä laitteilla, kuten vaihteiden lämmittimillä. Liikenteellisiä häiriöitä aiheuttavat tekijät liittyvät suureksi osaksi turvalaitteisiin. Toisaalta jo radan suunnitteluvaiheessa määritettävät tekijät, kuten vaihteiden pituus, sähköliitännät ja liikennepaikkojen sijoittaminen, vaikuttavat erittäin suuresti saavutettuun ja mahdollisuuteen saavuttaa häiriötön junakulku.

RHK julkaisee vuosittain rautatielain mukaisen verkkoselostuksen, joka koskee uutta aikataulukautta. Verkkoselostus on tarkoitettu ratakapasiteetin hakijoille. Siitä selviää uuden aikataulukauden edellytykset rataverkolle pääsyyn, valtion rataverkko, ratakapasiteetin jakamisen menettely, rautatieyrityksille tarjottavat palvelut ja ratamaksujen määräytymisperusteet. Häiriöihin ja täsmällisyyteen liittyen verkkoselostuksessa kerrotaan kyseisen aikataulukauden aikana tehtävät kehittämishankkeet ja niistä liikenteelle aiheutuvat rajoitteet, jotka on otettava huomioon liikennettä suunniteltaessa ja aikatauluja laadittaessa. (RHK 2007d.)

Täsmä-projekti

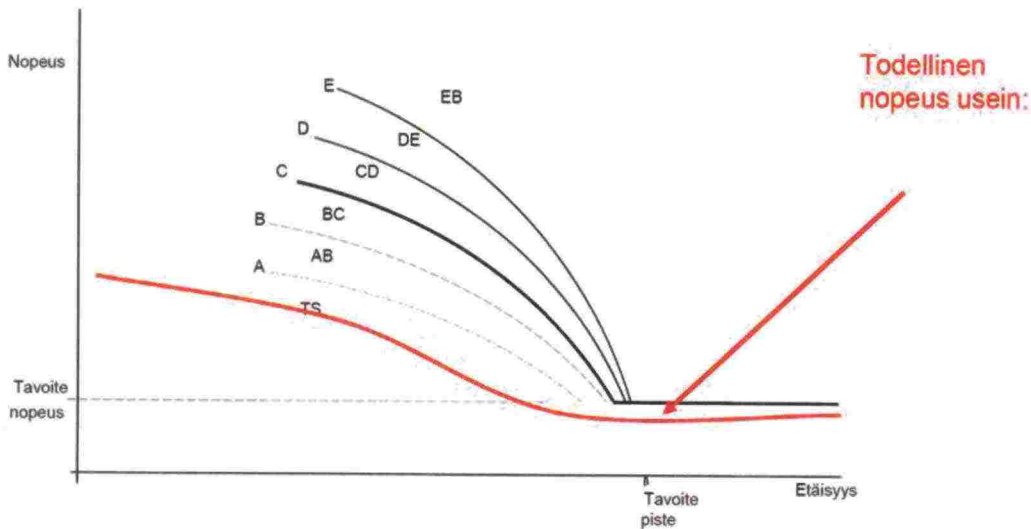
Ratahallintokeskuksessa on pyritty pureutumaan eniten häiriöitä aiheuttaviin tekijöihin perustamalla ns. Täsmä-projekti. Sen tarkoituksena on poistaa eniten häiriöitä aiheuttavia primäärisiä tekijöitä raitinfranktuurista. Täsmä-ryhmään kuuluu asiantuntijoita RHK:sta ja VR:ltä. Täsmä-projektissa on listattu toimenpiteitä kolmeen eri luokkaan. Näistä luokista ensimmäinen on välittömät toimet, jonka tarkoituksena on pureutua välittömästi tiettyihin asioihin, jotka aiheuttavat häiriöitä rataverkolle. Välittömät toimet sisältyivät kyseisen vuoden budjettiin ja ovat kustannuksiltaan pienempiä verrattuna muihin luokkiin. Toinen luokka on lyhyen ajan toimet, jonka toimenpiteitä toteutetaan seuraavana vuonna. Tähän luokkaan kuuluvat projektit on huomioitu seuraavan vuoden budjetissa ja TTS:n kehyyssuunnitelmassa, ja ne ovat kustannuksiltaan merkittävämpiä kuin välittömät toimet. Kolmas luokka on pitkän ajan toimet, joiden toimeenpaneminen ajoittuu seuraaville vuosille. Näiden toimien vaikutus häiriötasoon on merkittävä suurimmassa osassa tapauksia. Pitkän ajan toimet huomioidaan seuraavien vuosien budjeteissa sekä TTS:n kehittämissuunnitelmassa.

Junien automaattinen kulunvalvonta (JKV)

Ratahallintokeskuksen yksi tapa sujuvoittaa liikennettä on lisätä junien automaattinen kulunvalvontajärjestelmä (JKV) kattamaan mahdollisimman hyvin koko maa. JKV on turvallisuusjärjestelmä, jonka tehtävänä on varmistaa junan sen hetkisen sallitun nopeuden sekä junan kulkuun vaikuttavien opasteiden noudattaminen. JKV toimii pääperiaatteellisella tavalla siten, että tieto radan opasteista ja vaihteista välittyy baliisista yliajavaan veturiin, jonka tietojen käsittelylaite säätää tiedon perusteella junan nopeuden automaattisesti sopivaksi. Baliisi valitsee lähetettävän tietonsa läheisten opastimien ja vaihteiden asentojen perusteella. Vastaanotetun informaation perusteella veturissa oleva tietokone tarkistaa mm. junan nopeuden ja ilmoittaa, jos sitä pitää alentaa. Baliisien lisääminen rataverkolle ei teknisesti ole kovin hankalaa, sillä baliisi on passiivinen komponentti. Se saa tiedonsiirtoon tarvitsemansa energian veturin alla olevan lähettimen muuttuvasta magneetikentästä, eikä näin ole riippuvainen ulkoisesta virtalähteestä. Baliisista veturin kulunvalvontatietokoneelle välittyy tietoa vaihteiden asennosta, nopeusrajoituksista ja seuraavasta punaisesta valosta. (Tekniikka ja talous 2004.)

Lisäämällä baliiseja tai toistopisteitä rataverkolle on häiriötöntä kulkua mahdollista parantaa tarkemman kulunvalvonnan ansiosta. Seurantapisteiden määrää kasvattamalla veturilaitteelle saadaan ajantasaisempaa opastintietoa edellä olevasta tilanteesta. Näin veturin tietokoneen laskemat jarrutuskäyrät saadaan nopeimmin vastaamaan todellisuutta ja turhat jarruttamisesta aiheutuvat viipeet voidaan välttää. Veturissa oleva tietokone laskee junan jarrutuskykyyn perustuvat nopeuskäyrät. Junan kuljettaja ei saa ylittää JKV:n ilmoittamaa tavoitenopeutta. Jos kuljettaja ajaa nopeammin kuin tavoitenopeus on, järjestelmä ilmoittaa nopeuden ylittämisestä ja aloittaa kuvan 4 mukaiset toimet nopeuden laskemiseksi. (Lehikoinen 2008.)

Jos JKV:n asettaman tavoitenopeuden ylittää tietyllä määrällä, tuloksena on kuljettajasta riippumaton automaattisen kulunvalvonnan tekemä jarrutus. Automaattinen hälytysjärjestelmä saattaa myös aiheuttaa tilanteen, jossa kuljettaja tietoisesti ajaa selvästi alle sallitun nopeuden, jottei hälytysjärjestelmä ala varoittaa. Tällainen toiminta saattaa hidastaa junan aikataulussa kulkua. (Lehikoinen 2008.)



Kuva 4. Junien automaattinen kulunvalvonta laskee junalle jarrutuskäyrät ja varoittaa liian suuresta nopeudesta jarrutuskäyrien mukaan seuraavasti. A = varoituskäyrä: ”JARRUTA”-tekstinäytössä; B = hälytyskäyrä: ”JARRUTA” vilkkuu tekstinäytössä; C = Käyttäjarrutuksen aloituskäyrä: JKV tekee käyttäjarrutuksen; D = Käyttäjarrutuskäyrä: peruskäyrä, johon nähden muut käyrät lasketaan; E = Hätäjarrutuskäyrä: JKV tekee hätäjarrutuksen (Lehikoinen 2006).

Rataan liittyvien laitteiden muutokset

Yksinkertainen radanpitäjän toimi rautatieliikenteen sujuvoittamiseksi on rataverkolla olevien turva- ja muiden laitteiden lisääminen tai sijainnin vaihtaminen. Laitteiden ansiosta junan kulunseuranta on tarkempaa, jolloin liikenteestä saadaan sujuvampaa. Radan suunnitteluvaiheessa asioihin on helpointa vaikuttaa ja kiinnittää erityistä huomiota esteettömän radan suunnitteluun.

Turvallaitteilla voidaan sujuvoittaa rautatieliikennettä tiettyjen periaatteiden mukaisesti. Ensinnäkin tulo-opastimia ei tulisi viedä vaihteesta kovin etäälle, sillä on mahdollista, että minuutin varmistuksen aikana junat joutuvat jarruttamaan turhaan. Kulunvalvontaan liittyen toistobaliisien lisääminen radalle on hyvä tapa saada useammin junalle ajantasaista tietoa, kuten edellä on kuvattu. Liikennepaikkojen pituuden lisääminen joissain tapauksissa auttaa korottamaan valvontanopeuksia, jolloin turhilta jarruttamisilta voidaan välttyä.

Joustavampaa junakulkua edesauttavat pitkät vaihteet, joihin voidaan ajaa suuremmalla nopeudella toisin kuin pieniin, jyrkkiin vaihteisiin. Näin ongelmat korostuvat osuuksilla, joilla nopeusrajoitukset ovat alhaiset ja siksi tällaisten osuuksien vähentäminen olisi tarpeen. Toisaalta käytännön syistä johtuen ongelman poistaminen ei aina ole mahdollista. Esimerkiksi infrastruktuurissa sijaitsevien sähköradan erotusjaksojen kohdilla veturit eivät saa sähköenergiaa, jolloin ainoa mahdollisuus etenemiseen on rullaus. Tämä aiheuttaa kiihdytyksen katkeamisen, jolloin aikaa kuluu enemmän, koska kiihdytys ei ole täysimittainen. Pitkien vaihteiden lisääminen infrastruktuuriin on myös hyvin haastavaa, sillä niiden sijoittamiseen ei joissain tapauksissa ole käytännössä yhtään tilaa. Tällöin ainoa kustannustehokas ratkaisu on tyytyä lyhyempiin vaihteisiin ja alempiin nopeuksiin. (Lehikoinen 2008.)

3.3.5 Taloudelliset sanktiot

Taloudellisesti henkilöliikenteen häiriöihin voidaan varautua sanktioin. Jos liikenne ei saavuta tiettyä määritettyä palvelutasoa, asianomaisen katsotaan olevan oikeutettu saamaan korvauksia häiriön aiheuttamasta haitasta. Rautatielaissa (555/2006) on kohta rataverkon käyttösopimuksesta, johon RHK:lta saatavat korvaukset perustuvat. Rautatiekuljetuslaki (1119/2000) taas koskee rautatieyrityksen vastuuta matkustajan, tavarankuljetuksen ja matkatavaran kuljetuksessa. (Finlex 2008). Näin kaikkia osapuolia kannustetaan mahdollisimman hyvään lopputulokseen.

RHK maksaa vuosittain VR Osakeyhtiölle korvauksia äkillisistä liikenteellistä häiriöistä. Näitä häiriöitä aiheutuu mm. aikataulustaan venähtäneistä ratatöistä ja rata-laitteiden vioista. Ennakkoon sovituista ratatöistä johtuvista liikennerajoituksista ei makseta korvauksia. Vuonna 2005 RHK maksoi VR:lle korvauksia noin 1,1 miljoonaa euroa ja vuonna 2006 noin 1,5 miljoonaa euroa. (HS 2006, Mukula 2007.) RHK tekee urakointisopimuksensa siten, että urakoitsijoiden toiminnasta aiheutuvat häiriöt korvataan RHK:lle. Näin ollen urakoitsija sitoutetaan pitämään kiinni aikataulustaan ja työn laadusta.

Rautatieyritys korvaa asiakkailleen junavuorojen viivästymisestä rautatiekuljetuslain mukaisesti maksimissaan 5 000 euroa. Junan on tällöin oltava myöhässä kuitenkin usean kymmenen minuutin verran, ja aiheutunut taloudellinen vahinko on pystyttävä osoittamaan. Junan sellaisesta viivästymisestä, johon matkustajan voidaan kohtuudella edellyttää varautuneen tai josta aiheutuneiden vahinkojen välttämiseksi rautatieyritys on kaikin keinoin ryhtynyt kaikkiin kohtuudella vaadittaviin toimenpiteisiin, ei matkustaja ole oikeutettu korvauksiin. (VR 2008b.) Vuonna 2005 VR maksoi matkustajilleen noin 65 000 euroa ja vuonna 2006 noin 75 000 euroa korvauksia. (HS 2006, Mukula 2007.)

3.4 Viipeet rataverkolla

3.4.1 Myöhästymiskriteerit

Suomessa junien myöhästymiskriteeri riippuu junalajista. Erillisiksi junalajeiksi on henkilöliikenteen osalta eroteltu lähiliikenne ja kaukoliikenne, ja tavaraliikenne on omana junalajinaan. Myös yksittäiset veturit on eroteltu omiksi junalajeikseen.

Tällä hetkellä lähiliikennejuna katsotaan myöhästyneeksi, jos se on yli 3 minuuttia aikataulustaan jäljessä määräasemalle saapuessaan. Kaukoliikenteen osalta myöhästymiskriteeri on 5 minuuttia ja tavaraliikenteen osalta 15 minuuttia. Aikataulustaan myöhässä olevan junan viipeen syytä vaaditaan JUSEen vasta, kun myöhästymiskriteeri on ylitetty. Jos viive on pienempi kuin myöhästymiskriteeri, viive kirjautuu järjestelmään ilman syykoodia. Jos juna siis on myöhästynyt määräasemalleen tullessaan alle myöhästymiskriteerin määrittelemän ajan, JUSEn mukaan juna ei ole myöhästynyt.

Tavaraliikenteen osalta on määritetty myös etuajassa kulkuun liittyvät kriteerit. Jos kyseessä on kiitokuljetus, joka voi olla esimerkiksi yhdistetty kuljetus, on etuajassa kulun kriteeri tällöin 15 minuuttia. Jos kuljetus on ”tavallinen” tavaraliikenteen kuljetus, on kriteeri 30 minuuttia. Aivan kuten myöhästymiskriteerinkin osalta pätee, että

tavaraliikenteen ollessa etuajassa vähemmän kuin kriteerin määrittelemän ajan junan katsotaan tulleen asemalle ajoissa eikä etuajassa.

Tavaraliikenteen aikataulutukseen ja etuajassa kulun aikakriteereihin liittyy yksi ongelmallinen tekijä: tavarakuljetusten määrä vaihtelee lähdöittäin. Yhtenä päivänä juna saattaa olla täyteen lastattu ja junan kiihtyvyys ja hidastuvuusarvot ovat täysin erilaisia kuin päivänä, jolloin juna on lastattu kevyesti. Myös vetovoima saattaa vaihdella junien mukaan. Tämä johtaa siihen, että junan aikataulu on suunniteltava suurimman mahdollisimman lastipainon mukaisesti, jolloin ajoajat vaihtelevat suuresti lastin mukaan.

Tavaraliikenteen kulkemista rataverkolla rajoittaa myös henkilöliikenne. Henkilöliikennettä sitovat yleisaikataulut, josta johtuen tavaraliikenne joutuu yleensä väistämään junakohtamisissa.

3.4.2 Primääriset ja sekundääriset myöhästymiset

Rautateillä aiheutuneet täsmällisyyshäiriöt voidaan jakaa primäärisestä syystä ja sekundäärisestä syystä aiheutuneisiin viipeisiin. Aiemmin taulukossa 3 esiteltiin tekijöitä, jotka aiheuttavat primäärisiä viipeitä. Niistä puolestaan saattaa aiheutua sekundäärisiä viipeitä. Primäärinen viive ei koskaan voi olla toisesta viivästyneestä junasta aiheutunut, vaan tällöin kysymys on aina sekundäärisestä viipeestä. Tutkimusten perusteella kapasiteetin käyttöasteen kasvaessa myös sekundäärivaikutukset kasvavat. Primääristen viipeiden ehkäisy on usein kalliimpaa kuin sekundääristen viipeiden ehkäisy (Vromans 2005).

Taulukoissa 5 ja 6 esitetään rautatieliikenteen primääristen ja sekundääristen myöhästymisten osuudet vuonna 2007. Niiden määrästä ja toisaalta myös kestosta voidaan huomata, että lähiliikenteessä primäärisyistä aiheutuneita viipeitä on hieman alle kaksi kolmasosaa ja sekundäärisistä syistä hieman yli kolmasosa. Lähiliikenteen primääri- ja sekundääristen myöhästymisten kesto ja määrä eivät kovinkaan suuresti eroa toisistaan päivittäin kuin kaukoliikenteessä, jossa sekundäärisyistä aiheutuneita myöhästymisiä on määrällisesti hieman yli puolet, mutta kestoltaan niiden osuus on vain noin yksi kolmasosa. Kaukoliikenteessä suurimmat vaikutukset ovat siten primäärisillä tekijöillä. Tavaraliikenteen osalta myöhästymisiä aiheuttavat huomattavissa määrin primääriset tekijät, ja kestoltaan ne ovat pääsyy myöhästelyihin.

Taulukko 5. Vuoden 2007 rautatieliikenteen myöhästymisten osuudet kokonaiskestosta (min) jaoteltuina primäärisiin ja sekundäärisiin syihin (JUSE).

	lähiliikenne (98 000 min)	kaukoliikenne (464 000 min)	tavaraliikenne (1 169 000 min)
primäärisyy	56,8 %	49,0 %	69,3 %
sekundäärisyy	43,2 %	51,0 %	30,7 %

Taulukko 6. Vuonna 2007 rautatieliikenteessä myöhästymisiä aiheuttaneiden tapausten (kpl) osuudet jaoteltuina primäärisiin ja sekundäärisiin syihin (JUSE).

	lähiliikenne (22 700 kpl)	kaukoliikenne (78 200 kpl)	tavaraliikenne (33 200 kpl)
primäärisyy	56,5 %	58,6 %	63,4 %
sekundäärisyy	43,5 %	41,4 %	36,6 %

Primäärisistä syistä johtuen lähiliikenteessä myöhästymisten määrä oli vuonna 2007 noin 12 800 kpl ja niiden kokonaiskesto oli noin 55 600 minuuttia. Sekundäärisistä syistä johtuen myöhästymisiä kirjattiin noin 9 900 kpl, joiden kokonaiskesto oli noin 42 300 minuuttia.

Kaukoliikenteessä primääristen myöhästymisten määrä oli vuonna 2007 noin 45 800 kpl ja kokonaiskesto noin 227 700 minuuttia. Sekundäärisiä myöhästymisiä oli noin 32 400 kpl ja niiden kokonaiskesto oli noin 236 800 minuuttia.

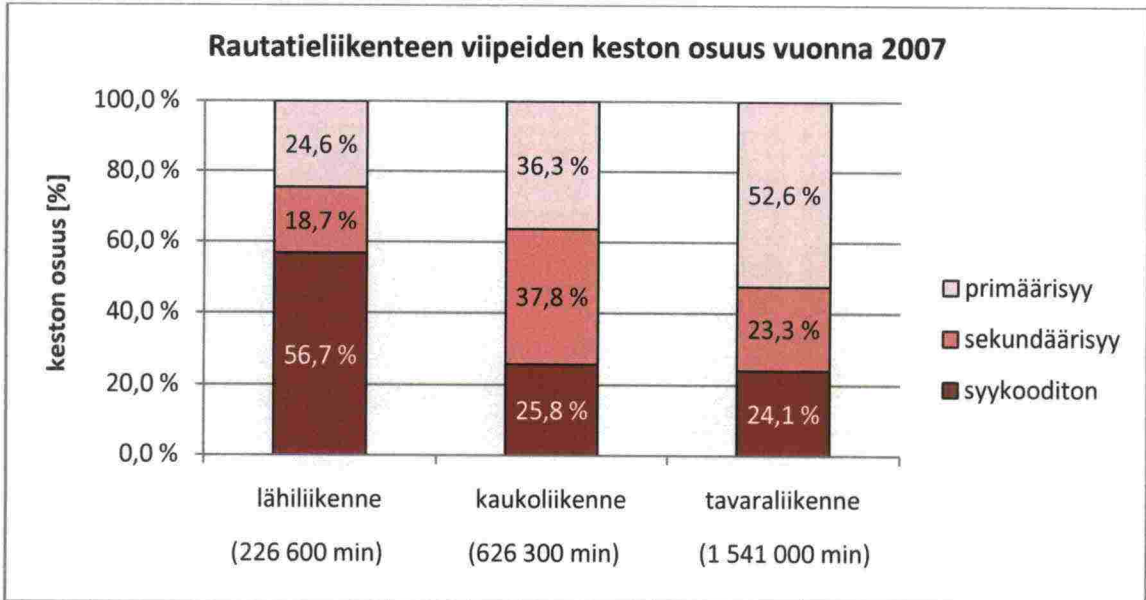
Primäärisyistä aiheutuneita myöhästymisiä oli vuonna 2007 tavaraliikenteessä 21 100 kpl, joiden kokonaiskesto oli noin 810 200 minuuttia. Sekundäärisistä syistä aiheutuneita myöhästymisiä oli noin 12 200 kpl ja niiden kokonaiskesto oli 358 900 minuuttia.

Tavaraliikenteen luonteeseen kuuluu, ettei se ole kovin riippuvainen sille määritetyistä aikataulusta etuajassa kulkuun liittyvien aikakriteerien määritelmän vuoksi. Näin ollen tavaraliikenne voi kulkea myös aikataulustaan edellä. Tavaraliikenteen etuajassa kulkuun liittyviä syitä koodataan E-syykoodeille. Vuonna 2007 E-syykoodille kirjattiin etuajassa kulkua yhteensä 44 400 kertaa ja niiden kokonaiskesto oli noin 2 765 400 minuuttia. Lisää syykoodeista on kerrottu kappaleessa 4.1.2.

3.4.3 Syykoodittomat viipeet

Kuvassa 5 esitetään rautatieliikenteen epätasällisyyttä kuvaavien viipeiden osuus kokonaiskestosta ja kuvassa 6 viipeitä aiheuttaneiden tapausten osuus vuonna 2007. Kuvista voidaan päätellä nopeasti, että täsmällisyyttä vaivaavat eniten pienet syykoodittomat viivästyksset. Näitä pieniä viivästyksiä ei kuitenkaan katsota myöhästymisiksi, sillä kyseisissä tapauksissa myöhästymiskriteeri ei ylity.

Lähiliikenteen täsmällisyyttä vaivaavat eniten pienet syykoodittomat viivästyksset. Niiden keskimääräinen kesto oli vuonna 2007 vain noin 1,2 minuuttia, mutta kokonaiskesto suuri, noin 128 600 minuuttia. Kaukoliikenteen osalta pieniä syykoodittomia viipeitä, keskimääräiseltä kestoaltaan noin 1,5 minuuttia, oli kokonaisuudessaan noin 161 800 minuuttia.

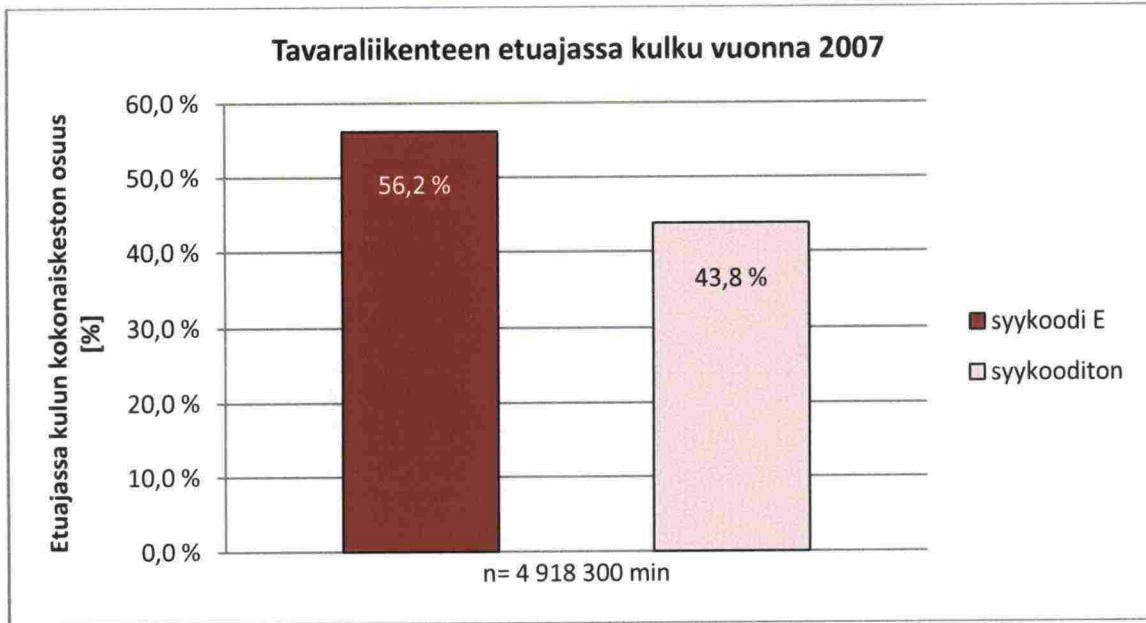


Kuva 5. Rautatieliikenteestä aiheutuneiden viipeiden osuudet kokonaiskestoista vuonna 2007 syyn ja junatyypin mukaan jaoteltuna (JUSE).



Kuva 6. Rautatieliikenteen viipeitä aiheuttaneiden tapausten osuus vuonna 2007 syyn ja junatyypin mukaan jaoteltuna (JUSE).

Tavaraliikenteen osalta kuvissa 5 ja 6 on esitetty vain myöhässä saapumiset. Kuvaan 7 on kuvattu tavaraliikenteen etuajassa kulkuun liittyvät syyt. Kuvasta nähdään, että tavaraliikenteen etuajassa kulkuun ei useinkaan tarvitse koodata syytä, mikä osaltaan johtuu myös aikakriteerien suuruudesta.



Kuva 7. Tavaraliikenteen etuajassa kulku vuonna 2007 JUSEen kirjatun tiedon perusteella.

3.5 Häiriöt rataverkolla

3.5.1 Häiriön leviäminen ja vaikuttavuus

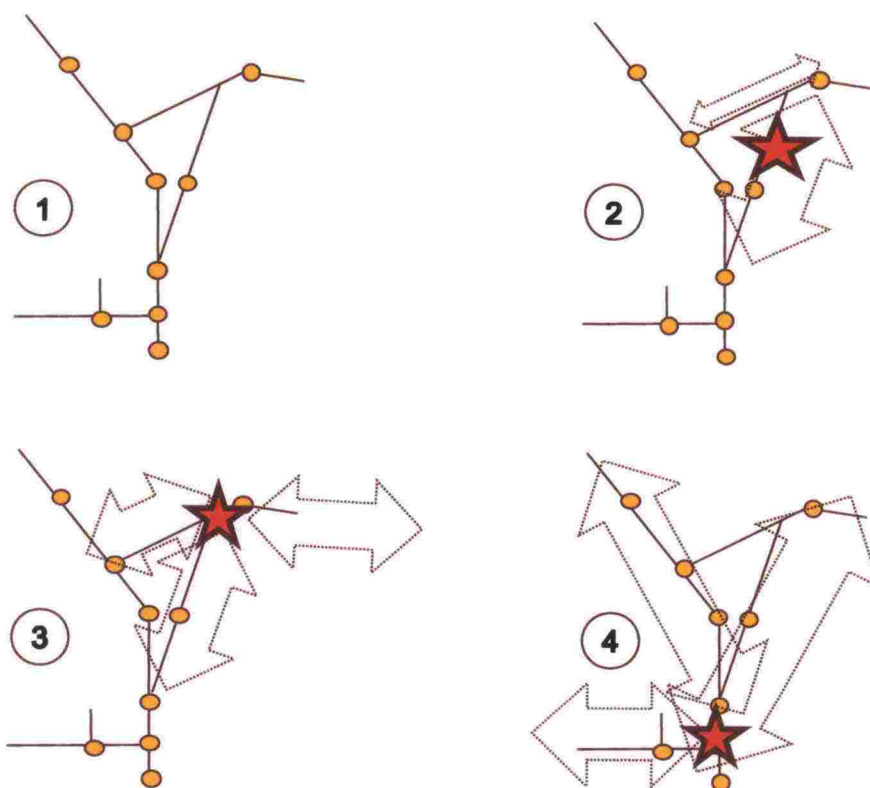
Häiriöitä esiintyy rataverkolla jatkuvasti, joskin ne ovat yleensä pienehköjä. Toisinaan häiriöt vaikuttavat liikenteeseen merkittävästi. Häiriöt voidaan tunnistaa junan matka-ajan normaalin hajonnan muutoksen huomattavan kasvun. Normaalisti hajonta on pientä, mutta häiriötilanteessa matka-ajan hajonta yleensä kasvaa selvästi. (Mukula 2008)

Häiriöiden aiheuttajista ja syistä kerrottiin jo aiemmin. Syitä voivat olla mm. radan laitteiden toimimattomuudesta aiheutuvat häiriöt, kalustosta aiheutuvat häiriöt, liikenteellisistä riippuvuuksista kuten ohituksista, kohtauksista tai jatkoyhteyksistä aiheutuvat häiriöt sekä muista ulkopuolisista tekijöistä, kuten säästä tai matkustajista, aiheutuneet häiriöt. Jos liikennesysteemi ei ole vakaa, se ei selviä rataverkolla syntyvistä häiriöistä. Vakaassa systeemissä junien kulussa on tarpeeksi pelivaraa, jotta pienemmistä häiriöistä selviydytään itsekseen. Jos häiriö on suuri tai systeemi epävakaa, häiriö alkaa levitä alkukohdastaan muualle rataverkkoon.

Häiriöpaikasta riippuu, miten häiriö vaikuttaa muuhun liikenteeseen. Jos häiriöpaikka ei ole liikenteellisesti kovin strategisessa kohdassa, se voidaan kiertää. Jos rataosa on vähäliikenteinen, häiriön leviäminen voidaan usein estää tehokkaasti. Häiriöistä matkustajille aiheutuva matkan keskeytys pyritään jokaisessa häiriötapauksessa hoitamaan mahdollisimman nopeasti. Tarpeen vaatiessa käytetään vaihtoehtoista kuljetusta, kuten linja-autokuljetusta.

Kuvassa 8 on esitetty häiriöpaikan yhteyttä häiriön leviämiseen. Ensimmäinen tapaus kuvaa normaalia tilannetta. Toisessa tilanteessa häiriö on tapahtunut raideosalla, joka

toimii oikoratana. Tällaisessa tapauksessa häiriön vaikutuksia voidaan vähentää siirtämällä ko. rataosalla liikennöiviä junia kulkemaan vaihtoehtoista reittiä. Häiriön vaikuttavuus ja vakavuus näkyvät todennäköisesti vain kiertoreitin liikenteen kasvuna, matka-aikojen hienoisena nousuna sekä tietenkin itse rataosalla, jolla häiriö on tapahtunut. Jos häiriöpaikka sijaitsee tärkeässä paikassa, kuten kolmannessa tapauksessa, häiriön laajuus on hyvin merkittävä. Tällöin häiriön välitön vaikutusalue kasvaa tapaukseen 2 verrattain paljon. Neljännen tapauksen häiriökohta on juna-liikenteelle jo hyvin haavoittava. Jos häiriötä ei saada nopeasti poistettua, sen vaikutukset ylettyvät hyvin pitkälle muualle rataverkkoon. Häiriöiden luonteen mukaisen kerrannaisvaikutuksen vuoksi pääsystä johtuneita sekundäärisvaikutuksia saatetaan havaita kaukana itse alkuperäispaikasta jopa useiden tuntien kuluttua.



Kuva 8. Häiriöpaikan merkitys häiriön leviämiseen rataverkolla. Nuolilla on esitetty häiriön keskeisimmät vaikutusalueet.

Vakioaikataulun käyttöönoton jälkeen häiriöiden leviämisen ennustettavuus on parantunut. Liikenteenohjaajat pystyvät ennakoimaan tietyllä rataosalla syntyneiden häiriöiden vaikutuksia muualla rataverkolla harventamalla häiriöpaikan ja häiriön vaikutusalueen liikennettä. Liikenteen harventaminen tarkoittaa käytännössä tiettyjen junien perumista. Vakioaikataulun vuoksi häiriöiden vaikutuksia voidaan systemaattisesti vähentää kun tiedetään, mihin pitkäkestoinen häiriö mahdollisesti vaikuttaa. Toisaalta kalusto- ja henkilöstökierron suunnitelmiin häiriöt saattavat vaikuttaa merkittävästi, ja varsinkin kalustokierron palauttaminen normaaliksi saattaa kestää useamman päivän häiriön vaikutuksen (kalustonperumisen ja kaluston väärässä paikassa sijaitsemisen vuoksi) vakavuuden mukaan (Hämäläinen 2008).

3.5.2 Häiriön rajaaminen ja häiriöstä toipuminen

Häiriöiden leviämisen ja ehkäisyn tärkein tekijä on liikenteenohjaus. Suomessa liikenteenohjausta suorittavat alueelliset liikenteenohjauskeskukset liikenteenohjaajineen sekä Liikennekeskuksen liikennepäälliköt. Ensisijaisen tärkeää häiriön rajaamisessa on, että liikenteenohjaus saa välittömästi häiriön tapahduttua ensitiedon häiriöstä. Paras tulos saavutetaan, jos liikenteenohjauksella on tieto häiriön syystä, sen luonteesta ja arvioidusta kestosta. Nopea reagointi sattuneeseen häiriöön mahdollistaa häiriöiden ketjuuntumisen estämisen ja mittavien liikennehäiriöiden syntymisen. (Levo 2004.)

Häiriöistä voidaan toipua joko ennalta määritettyjen häiriönhallintatoimintamallien mukaisesti tai optimoimalla jokainen häiriötilanne erikseen. Yksi tapa toipua häiriöstä on nostaa myöhässä olevien junien nopeuksia (Hofman et.al. 2006). Häiriöstä toipuminen tapahtuu yleensä kuitenkin liikenteenohjauksen toimesta. Sillä on käytössään tiettyjä menetelmiä, joita hyödyntämällä häiriöiden kestoa ja laajuutta voidaan vähentää. Hofmanin (2006) mukaan näitä ovat mm. seuraavat toimenpiteet.

Päivän aikana tehdään asemien laiturikohtaisia muutoksia. Aikataulun mukaisiin saapumislaitureihin voidaan tehdä muutoksia, jos myöhästynyt juna on sillä laiturilla, jolle saapuvan junan pitäisi saapua. Laiturimuutoksesta informoidaan samalla myös matkustajia. Paras tilanne on, jos saapuva juna voidaan ohjata saman laiturin toiselle puolelle ilman, että matkustajien tarvitsee vaihtaa sijaintiaan.

Junat ohittavat asemia, joihin niille on aikataulun mukaan merkitty pysähtyminen. Myöhästymisen pienentämiseksi junat voivat ohittaa asemia, joilla matkustajamäärät ovat alhaisia ja lisäyhteyksiä ei ole paljon tarjolla. Tällaisissa tapauksissa ko. asemalla jääneet ja sellaiset matkustajat, jotka olisivat asemalla poistuneet junasta, kuljetetaan määränpähän korvaavilla yhteyksillä. Kahta peräkkäin kulkevaa junaa ei tulisi kuitenkaan perua samalta asemalta.

Junien reittejä lyhennetään. Juna voidaan kääntää paluumatkalle ennen kuin se ehtii pääteasemalleen. Tavallaan viimeiset asemat ”ohitetaan”. Taaskaan kahta peräkkäin kulkevaa junaa ei tulisi perua samalta asemalta.

Junien roolia/reittejä vaihdetaan, kun nopea juna saavuttaa hitaamman junan. Joissain kohdissa rataverkkoa häiriön sattuessa edellä kulkeva hitaampi juna, joka pysähtyy kaikilla asemilla, ja takana tuleva nopeampi juna, joka pysähtyy vain muutamilla asemilla, päätyvät ajamaan perätysten. Tällöin nopeammalle junalle saattaa aiheutua suuriakin myöhästymisiä, joten junien roolin/reitin vaihtaminen päittäin saattaa olla ratkaisu myöhästymisongelmaan. Tällöin pitää kuitenkin varmistaa, että matkustajat ovat tietoisia ko. muutoksesta.

Korvaavien junien lisääminen myöhästyneiden junien tilalle. Jos junien kulussa on häiriöitä, voidaan reitin varrella olevalla liikennepaikalla mahdollisuuksien mukaan lisätä myöhästyneelle junalle korvaava juna, joka lähtee asemaltaan ns. aikataulun mukaisesti. Kun myöhästynyt juna saapuu ko. asemalle, sitä ei enää ajeta reittinsä loppuun. Tällöin pitää huolehtia, että myöhästyneen junan matkustajilla on tarvittavat lisäyhteydet määränpähän pääsemiseksi.

Korvaavien junien lisääminen rikkoutuneiden junien tilalle. Jos junakalusto rikkoutuu kesken liikennöinnin, se voidaan korvata toisella kalustolla mahdollisuuksien mukaan. Tällöin lisäkalustoa pitää kuitenkin olla saatavilla lähellä.

Pysähtymisaikojen pienentäminen minimiinsä. Jos juna on myöhässä, aikataulua voidaan ottaa kiinni tekemällä mahdollisimman tehokkaita pysähdyksiä asemilla. Pysähtymisaika riippuu suuresti mm. matkustajavirroista sekä kuljettajien vaihdoista.

Vuorovälien pienentäminen minimiinsä. Jos junaliikenteessä on myöhästymisiä, junien vuorovälejä voidaan tiivistää, jolloin junat kulkevat lähempänä toisiaan ja aikataulua saadaan kiinni.

Ajoaikojen pienentäminen minimiinsä. Aikataulut määritetään kahden aseman välisten ajoaikojen kestolla. Todellinen ajoaika muodostuu minimiajoajasta, pysähdyksistä sekä ennalta määritetystä pelivarasta. Häiriön tapahtuessa ajoajat tiivistetään mahdollisimman pieniksi.

Ohittaminen asemilla. Junilla on normaalissa tilanteessa suunniteltu järjestys, mutta häiriötilanteessa järjestys voidaan muuttaa asemilla. Tällöin nopeat junat voivat ohittaa hitaamman junan ilman suurempia viivytyksiä kummallekaan.

Junan peruminen. Jos häiriö on erittäin vakava, junien lähtöjä voidaan joutua perumaan. Tällöin tiettyjä lähtöjä perutaan, jotta muut junat voisivat kulkea mahdollisimman häiriöttä. Syitä junien perumiseen ovat mm. huonot keliolosuhteet, kuten rankat lumisateet.

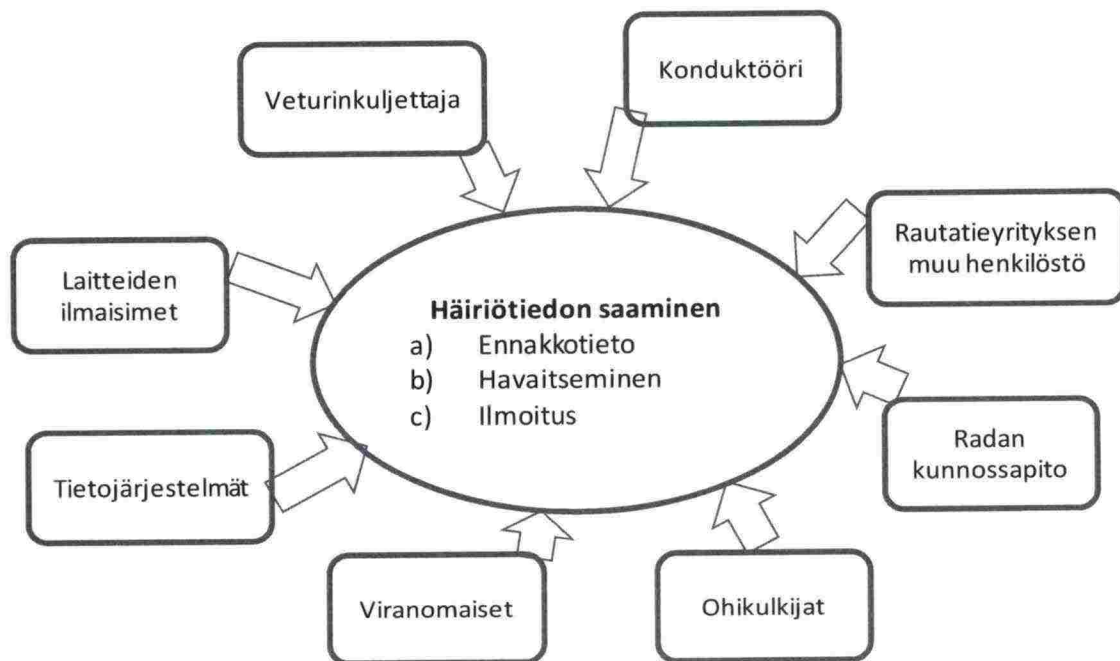
Häiriöstä toipumisen päästrategiat ovat vuorovälien pienentäminen sekä aikataulussa olevan pelivaran hyödyntäminen. Häiriötilanteessa käytetään ensiksi aikataulun sisältämä pelivara, jonka jälkeen ajoaikoja aletaan tiivistää. Yleensä häiriöiden hallinnasta on etukäteen sovitut menettelytavat. (Hofman et. al. 2006.)

3.5.3 Häiriönhallinta

Suomessa on määritelty häiriöihin varautumiseksi häiriöhallinnan toimintamalli. Häiriöhallinnan tärkeys korostuu varsinkin siinä vaiheessa, kun rautateillä liikennöi useampia liikennöitsijöitä samanaikaisesti. Häiriöhallinnan toimintamallin tavoitteena on pystyä varautumaan mahdollisimman hyvin tilanteisiin, jolloin rautatieliikenteessä esiintyy arvaamattomia häiriöitä tai poikkeamia, tai tilanteita, joiden tulevaisuudessa tiedetään aiheuttavan poikkeuksia liikenteelle. Toimintamallin keskeisiä osia ovat häiriöhallinnan suunnittelu yhteistyössä kaikkien osapuolten kanssa, ennalta tiedettävien häiriötilanteiden hallinta, ajantasainen häiriöhallinta ja häiriöiden jälkianalyysi sekä raportointi. (Levo et. al. 2004)

Tärkeää häiriöhallinnassa on eri häiriöhallinnan osapuolten, kuten viranomaisten, rautatieyritysten, rautatieverkon, ylläpidosta vastaavien urakoitsijoiden sekä muiden olennaisten toimijoiden yhteisen toimintasuunnitelman laatiminen ja noudattaminen. Yhteistyöhön liittyy toimintasuunnitelman lisäksi myös häiriötietojen keruu ja käsittely, informaation koordinoitu jakelu sekä liikenteenohjauksen ja rautatieyritysten välinen

yhteydenpito. (Levo et. al. 2004) Kuvassa 9 on esitetty lähteet, joista häiriötietoa saadaan.



Kuva 9. Häiriötiedon saamisen lähteet (Levo 2004).

Nykyään häiriönhallinnasta päävastuussa on RHK:ssa toimiva Liikennekeskus eli valtakunnallinen liikenteenohjaus. Liikennekeskuksen toimenkuvaan kuuluu mm. häiriötilanteiden hallinta koko rataverkolla ja häiriötilanneviestintä. Häiriötilanteiden hallintaan liittyy häiriön vaikutusten minimointi. Näin ollen Liikennekeskus koordinoi alueellisia liikenteenohjauskeskuksia ohjeistamalla liikenteenohjaajia ja viestimällä häiriötilanteista viestimille. Liikennekeskus on toiminnassa vuorokauden läpi. Jos häiriötilanne aiheutuu, päivystävä liikennepäällikkö arvioi tilanteen sekä suunnittelee ja koordinoi yhteistyössä liikennöitsijän kanssa tarvittavat toimenpiteet. Toimenpiteet koskevat usein junien kulkujärjestystä sekä vuorojen peruutuksia. (RHK 2008c.)

Esimerkki: lumipyryn aiheuttamat toimenpiteet

Heti pääsiäisen jälkeen keskiviikkona 26.3.2008 junaliikennettä vaivasivat kovat lumipyryt varsinkin Etelä- ja Itä-Suomessa. Edellisenä päivänä VR ilmoitti omilla kotisivuillaan lumipyryjen saattavan vaikeuttaa junaliikennettä ja kertoi, että lumipyryyn varaudutaan mm. järjestämällä ylimääräistä henkilökuntaa vaihteiden puhtaana pitoon. Tiedotteessa kehoitettiin matkustajia varautumaan pyrstä johtuviin junaliikenteen häiriöihin (VR 2008c). Edessä olevien häiriöiden hallitsemiseksi Liikennekeskus ja VR:n kuljetushallinta päättivät peruuttaa osan lähiliikenteen junista seuraavalta aamulta. Päätös tehtiin myöhään tiistai-illalla, jonka jälkeen päätöksestä lähetettiin tiedote tiedotusvälineille. Päätöksentekovaiheen myöhäinen ajankohta vaikutti siihen, että tieto saavutti osan matkustajista vasta asemalaiturilla. (Helsingin Sanomat 2008)

Tikkurilan ja Helsingin välillä liikennöivien I-junien vuorot peruttiin kokonaan ja Keravan ja Helsingin väliä liikennöivät K-junat puolestaan muutettiin N-juniksi, jotka pysähtyvät kaikilla asemilla Keravan ja Helsingin välillä. Lahden ja Helsingin väliä liikennöivät Z-junat ajettiin normaalisti. Riihimäen suunnan lähiliikenne toimi muuten normaalisti, mutta Järvenpään Saunakallion ja Helsingin väliä liikennöivät G-junat peruttiin kokonaan. Vantaankosken radalla pyrittiin ajamaan kolme M-junavuoroa suuntaansa tunnissa. Rantaradalla kaikki Kaukalahden ja Helsingin väliä liikennöivät E-junat peruttiin. Leppävaaran ja Helsingin välillä pyrittiin ajamaan kolme A-junavuoroa suuntaansa tunnissa. Kirkkonummen ja Karjaan suuntaan liikennöivät lähijunat ajettiin normaalisti. Kaukojunien kulkuun ei tehty peruutuksia. (YLE Uutiset 2008.)

Lähiliikenteen perumisella pyrittiin takaamaan lähiliikenteen ja kaukoliikenteen häiriötön kulku ja sujuvuus. Liikennöitävien lähijunien pituuksia kasvatettiin, jotta matkustajat mahtuivat harvennetuin vuoroväleihin liikennöiviin juniin. Pyry heikkeni aamupäivällä siten, että lähiliikenteen peruutukset ajoittuivat noin klo 6–10. Iltapäivällä lumentulon ehdyttyä lähiliikenne saatiin normalisoitua. Vaikka lähiliikenteessä tehtiin suuriakin muutoksia normaaliin aikatauluun verrattuna, myöhästymisiltä ei vältytty. Lumipyry vaikutti sekä lähiliikenteeseen että kaukoliikenteeseen edellä mainituista häiriöihin varautumistoimenpiteistä huolimatta.

Omalta osaltaan päivän myöhästymissaldoon vaikutti myös Riihimäellä sattunut vaihdevika. Sen vaikutukset näkyivät sekä kauko- että lähiliikenteessä. Vika saatiin korjattua puolilta päivin, jonka jälkeen myös Riihimäen suunnan liikennettä voitiin vihdoinkin alkaa normalisoida. Sään ja osaksi vaihdevian vuoksi myöhästymisiä oli kaukoliikenteen osalta Kouvolassa ja Pieksämäellä vielä iltapäivällä. Pääkaupunkiseudulla junaliikenne palautui iltapäivän aikana normaaliksi. (YLE Uutiset 2008.) Voikin vain kuvitella, kuinka junaliikenne olisi häiriintynyt, jos ehkäiseviä toimenpiteitä ei olisi tehty.

3.6 Häiriöherkät osuudet

Rataverkon häiriöherkillä osuuksilla häiriöiden eri osatekijät kohtaavat toisensa. Niitä ovat mm. kapasiteetin korkea käyttöaste, kohtauspaikkojen vähäinen määrä, pienet vaihteet ja ratapihat. Ratapihat ovat kohteita, joissa nopeudet ovat alhaisia ja kapasiteetti varsinkin ruuhka-aikoina hyvin käytössä. Pienikin poikkeama normaalista tilanteesta voi aiheuttaa vakavia seurauksia, häiriöitä liikenteelle ja jatkoyhteyksien katkeamista. Ratapihojen analysointi on jätetty kuitenkin tässä työssä vain maininnan asteelle ja keskitytty liikennepaikkojen välillä syntyviin ja havaittaviin häiriöihin.

Yksiraiteisilla osuuksilla liikenteelle aiheuttavat ongelmia kohtauspaikkojen niukka määrä sekä osuudet, joiden suojustusvälit ovat hyvin pitkät, yleisesti ottaen siis osuudet, joilla liikuttaessa on häiriön ilmaantuessa vaikeaa päästä etenemään tai ohittamaan. Näiden ratojen kapasiteettirajoitteena toimii näin ollen ensisijaisesti ratainfrastruktuuri. Kalusto ja muut tekijät vaikuttavat omalta osaltaan myös kapasiteettiin, mutta liikenteen suunnittelun, sujuvuuden ja lisäämisen kannalta ratainfrastruktuuri on tekijä, joka nousee hyvin suureksi rajoittavaksi tekijäksi ongelmallisella rataverkon osuudella.

Aikataulun sisältämällä pelivaralla on suuri merkitys häiriöiden esiintymisessä. Vromans (2005) on listannut periaatteita, joiden mukaan tietyille paikoille jaetaan

aikataulun suunnitteluvaiheessa enemmän pelivaraa. Periaatteiden mukaan liikenteen aikatauluongelmat vähenevät koko verkolla.

- Pelivaraa junille, joiden matkustajamäärät ovat suuret.
- Pelivaraa raideosuudelle, joka on juuri ennen risteysasemaa.
- Pelivaraa pitkille raideosuuksille, joissa useammat junat kohtaavat ja voivat aiheuttaa viipeitä.
- Pelivaraa tiheästi liikennöidyille rataosille, joissa kapasiteetin käyttöaste on suuri ja sekundääristen viipeiden riski suuri.
- Pelivaraa ruuhka-ajan aikatauluihin. Ruuhka-aikana matkustajien nousut ja poistumiset ovat määrältään suuria. Silloin myös junia liikennöi enemmän kuin normaalisti.
- Pelivaraa sinne, missä historiatiedon mukaan häiriöitä esiintyy keskimääräistä enemmän.

Edellä luetelluista periaatteista voidaan koota häiriöitä aiheuttavia kohteita rataverkolla, joita siis ovat

- asemien, varsinkin risteysasemien tai muuten vilkkaiden asemien, läheiset raideosuudet
- suuren kapasiteetin käyttöasteen omaavat raideosuudet
- asemat ja niiden esteellisyys matkustajien nousujen ja poistumisten kannalta
- historiatiedon mukaisesti häiriöalttiit rataosuudet.

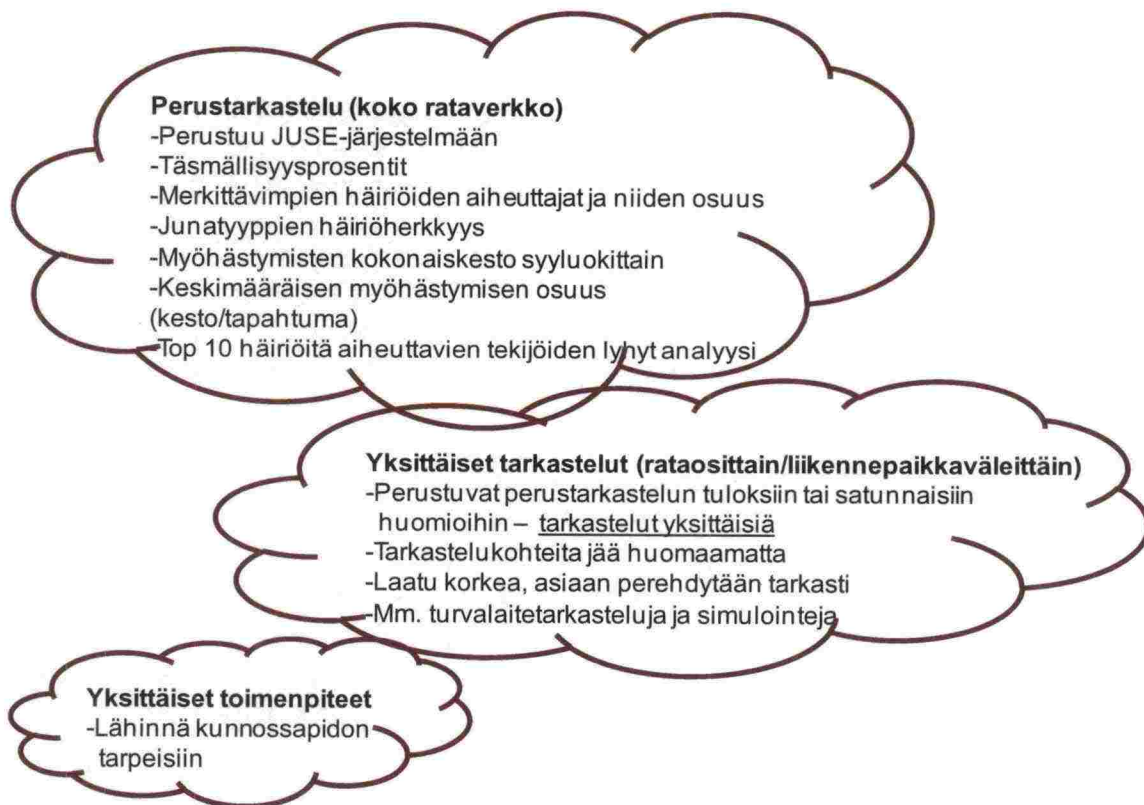
Välityskyvyltään kriittisiksi ja siten myös häiriöherkiksi ja muuten ongelmallisiksi alueiksi ovat asiantuntijat määrittäneet muutamia kohteita rataverkosta. Kriittiset rataosat esitettiin jo aiemmin luvun 2 kuvassa 2. Työssä myöhemmin esitettävässä toisessa tapaustutkimuksessa on tarkasteltu Suomessa vuonna 2007 tapahtuneita häiriötapahtumia hieman tarkemmin.

4 HÄIRIÖIDEN ANALYSOINTI

4.1 Häiriöiden analysointi Suomessa – nykytila

4.1.1 Nykyiset analysointitavat

Suomessa häiriöitä analysoidaan JUSEsta koottujen täsmällisyystilastojen perusteella. Ensisijainen kiinnostuksen kohde on täsmällinen junaliikenne, jonka perusteella syihin paneudutaan tarkemmin, jos viivästykset aiheuttavat haittaa liikenteelle. Täsmällisen junaliikenteen seuraamista varten perustettu Täsmä-ryhmä seuraa koko rataverkon täsmällisyyden kehittymistä kuukausittain tehtävien täsmällisyysyhteenvedojen perusteella. Täsmällisyystilastoinnissa junaliikenne on luokiteltu kolmeen eri luokkaan, joita ovat: lähiliikenne (kattaen pääkaupunkiseudun alueen lähiliikenteen), kaukoliikenne sekä tavaraliikenne. Näiden osalta täsmällisyystilastoja seurataan erikseen, mikä on järkevää, sillä ne ovat luonteeltaan hyvin erilaisia. Lähiliikenteessä on yleisesti lyhyet pysähtymisvälit ja kaukoliikenteessä matkan pituudet ovat pitkiä. Tavaraliikenne poikkeaa paljon henkilöliikenteestä, sillä ideaalitalanteessa sen tarvitsee pysähtyä vain lähtö- ja määräpaikallaan, kuljetusten nopeudet ovat pienempiä ja kuljetusten paino suurempi. Kuvassa 10 on esitetty rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin nykytilannetta.



Kuva 10. Häiriöiden analysointi nykytilassa. Kuvasta nähdään, etteivät nykyiset analysointitoimenpiteet ole järjestelmällisesti toisiaan tukevia. Perustarkastelu tehdään kuukausittain, mutta toisaalta yksittäisiä tarkasteluja, jotka usein perustuvat satunnaiseen tietoon häiriytyneestä liikenteestä, tehdään myös hyvin paljon.

Kuvan tarkoitus on osoittaa, kuinka eri analysointitoimenpiteet määräytyvät tällä hetkellä melko itsenäisesti. Perustarkastelua tehdään koko ajan. Lisäksi yksittäisiä tarkasteluja tehdään siellä, missä ajatellaan tai tiedetään olevan ongelmia. Yksittäisten tarkastelujen perusteella tehdään toimenpiteitä, mutta toimenpiteitä tehdään myös kentältä kantautuvat tiedon perusteella, jolloin analyysit jätetään tekemättä ja korjaavat toimenpiteet suoritetaan saadun tiedon perusteella. Seuraavaksi on käyty tarkemmin läpi nykyisiä tapoja analysoida häiriöitä ja häiriöistä saatavaa tietoa. Tiedon analysointi perustuu paljon täsmällisyysyhteenvetoihin.

Perustarkastelu eli kuukausittainen täsmällisyysyhteenveto

Täsmällisyyttä tarkastellaan junien täsmällisyysprosentin mukaan eli sen mukaan, kuinka suuri osuus junista on saapunut määräasemalleen ajoissa. Tulokset ovat kuukausikohtaisia. Lisäksi tarkastellaan junien lähtötäsmällisyyttä. Tarkastelu-kuukauden tuloksia verrataan tavoitteeseen ja samalla seurataan vuoden kumulatiivista täsmällisyystilannetta. Kaukoliikenteessä ja tavaraliikenteessä täsmällisyyttä seurataan eri täsmällisyysluokkien perusteella. Täsmällisesti ja häiriöttä kulkeneet junat saapuvat 5 minuutin sisällä aikatauluun määritetystä aikataulusta, seuraavassa luokassa junat ovat 6–15 minuuttia myöhässä ja kolmannessa luokassa yli 15 minuuttia myöhässä. Lähiliikenteen osalta ensimmäinen luokka on 3–5 minuuttia ja viimeinen yli 30 minuuttia myöhässä olevat junat. Lisäksi lähiliikenteen yhteenvedossa ilmoitetaan peruttujen junien osuus.

Täsmällisyyteen vaikuttaneista tärkeimmistä tekijöistä on kuukausiraportissa aina yhteenveto. Siinä käydään läpi tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet eniten täsmällisyyslukuihin täsmällisyyttä huonontaan, ja täsmällisyyteen vaikuttavia tekijöitä, jotka ovat kehittyneet parempaan suuntaan edellisistä kuukausista. Täsmällisyyttä seurataan myös junatyypeittäin. Näin nähdään, mihin juniin häiriöt kaikkein eniten vaikuttavat. Samalla saadaan myös osviittaa siitä, mitkä junista aiheuttavat itsessään eniten häiriöitä. Lähiliikenteen täsmällisyydestä tehdään myös linjakohtaista toteuma-analyysia, jossa näkyy kunkin lähiliikennelinjan täsmällisyyskehitys kuukausitasolla. Tällaisesta yksinkertaisesta esitystavasta voidaan nopeasti todeta, mitkä linjoista ovat kärsineet eniten liikenteessä esiintyneistä häiriöistä.

Täsmällisyysyhteenvedossa käydään läpi erikseen primäärisyistä ja sekundäärisyistä aiheutuneita täsmällisyysongelmia. Huono puoli tällaisessa yhteenvetomaisessa esityksessä on, ettei tietoa voida yksiselitteisesti sijoittaa tietyille rataosille, jolloin täsmällisyystiedoista olisi konkreettista hyötyä mm. kunnossapidon kannalta. Nykyisellä menetelmällä löydetään täsmällisyysongelmalle syyllinen, muttei anneta mahdollisuutta helposti päästä itse ongelmaan käsiksi. Koko rataverkon yhteen otteeseen analysoinnissa on juuri se huono puoli, ettei käytännön tasolla päästä tarpeeksi lähelle aiheuttajaa.

Myöhästymiset esitetään muodossa, josta käy ilmi myöhästymisten kokonaiskeston osuus syyluokittain ja tällöin tiedot esitetään esimerkiksi muodossa: radasta johtuvat häiriöt 20 %, turvalaitteista johtuvat häiriöt 25 %, kalustosta johtuvat häiriöt 15 % jne. Lisäksi täsmällisyysyhteenvedossa esitetään keskimääräisen myöhästymisen keston per tapahtuma osuus syyluokittain ko. kuukautena. Keskimääräinen myöhästymisen keston per tapahtuma osuus kertoo paremmin eri häiriöiden syiden vaikuttavuudesta. Tällöin

pääsääntöisesti suuria myöhästymisiä aiheuttaneet syyt painottuvat esityksessä enemmän.

Lisäksi kymmenen merkittävimmin täsmällisyyteen vaikuttanutta primäärisyyttä ja sekundäärissyyt käydään tarkemmin läpi. Tällä tavalla voidaan nähdä syyt, jotka vaikuttavat eniten täsmällisyyteen. Rataverkkoon häiriöitä aiheuttavien kymmenen merkittävimmän syyn esittämistä täydennetään syyn keskimääräisellä kestolla.

Tarkemmat yksittäiset tarkastelut

Kunnossapidon tarpeeseen ja toisaalta myös rataverkosta aiheutuvien junaliikenteen häiriöiden vähentämiseen paneudutaan yleensä yksittäisten tarkastelujen avulla. Tarkastelujen tarpeeseen kiinnitetään huomiota, jos tilastojen mukaan ko. alueella näyttää olevan paljon ongelmia, mutta eniten käytetty tapa huomata ja puuttua asiaan ovat asiantuntijoille satunnaisesti tulevat tiedot ongelmakohteista. Nykyisen menetelmän ongelmana on, ettei sillä voida havaita kuin satunnaisia rataverkosta aiheutuvia häiriöitä.

Tarkastelujen laatu sen sijaan on ollut erittäin hyvä ja tarkastelun alla olleille kohteille on voitu tehdä huomattavia parannuksia. Tarkasteluja on tehty mm. tarkastelemalla eri turvalaitejärjestelyjä ja simuloimalla uudelleen järjestelyjä. Turvalaitteiden muutos-tarkasteluja on tehty mm. Helsinki–Riihimäki välisellä osuudella, jossa JKV:lla ei ollut toistopisteitä Järvenpään ja Jokelan asetinlaitteiden alueella, mistä aiheutui ongelmia liikenteen sujuvuudelle. Ko. osuudella oli myös ongelmana vaihdenopeuden valvonta, joka alkoi liian aikaisin ja sen vuoksi hidasti turhaan osaa Hyvinkään kautta kulkeneesta liikenteestä. Riihimäellä ongelmia tuottivat lisäksi valvontanopeudet, jotka tuottivat varsinkin tavaraliikenteelle häiriöitä. Lisäksi rataosalla olivat ongelmana pitkät opastinvälit. Niiden lyhentämisellä saavutettiin liikenteen parempi sujuvuus. Myös heräte-osuuksien sijoituksen tarkentamisella, Pasilassa 80 km/h -nopeusrajoituksen paikan tarkentamisella, lähiliikenteen pysähdyspaikkojen ja toistopisteiden sijainnin tarkentamisella ja Hyvinkään vaihdenopeusrajoitusten tarkentamisella saavutettiin sujuvampi ja häiriöitä kestävämpi liikennesysteemi ko. rataosalla. (Lehikoinen 2006.)

Simuloimalla on tehty erilaisia suurempia investointeja vaativien hankkeiden sujuvuustarkasteluja. Näin on voitu mallintaa eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia, valita liikenteen sujuvuuden osalta paras vaihtoehto ja samalla kehittää vaihtoehtoa vielä paremmaksi. Simulointeja on tehty mm. tarkasteltaessa Kerava–Lahti-oikoradan vaikutuksia Helsingin ratapihan kapasiteettiin (Musto 2008).

Tarkempien yksittäisten tarkastelujen puutteena on tällä hetkellä se, etteivät ne perustu mihinkään selvään toimintamalliin. Tarkastelut perustuvat tilastojen sijaan yleensä asiantuntijoiden huomioihin. On tietenkin tärkeää tarkastella vaikutuksia, jos rataosalle ollaan tekemässä muutoksia, mutta tämä ei pitäisi olla ainut analysoinnin aloittava tekijä. Tuloksia tulisi tarkastella tarkemmin myös sellaisilla rataosilla, joissa tilastojen perusteella huomataan olevan ongelmia.

Suorat toimenpiteet

Varsinkin kunnossapidon tarpeisiin kootaan aika ajoin tilastoja suurimmista laitteista ja systeemeistä, jotka eivät toimi määrittelyjen mukaisesti. Jos ongelman katsotaan olevan kriittinen, siihen paneudutaan välittömästi ja asia korjataan niin nopeasti kuin mahdollista. Toisinaan käy kuitenkin niin, että esimerkiksi radan alueisännöinnistä vastaavilta henkilöiltä tulee suoraan listaa korjausta vaativista tekijöistä. Tällä hetkellä toimiin puututaan listan mukaisesti, jos investoinnin määrä ei ole kovin suuri. Analysointeja näistä toimenpiteistä ei juurikaan tehdä.

Toisinaan toimenpiteet auttavat ja toisinaan ne olisi voitu korvata jollain toisella toimenpiteellä, joka olisi vaikuttanut ongelmaan paremmin. Tästä syystä olisi syytä aina analysoida suunnitteilla olevien investointien vaikutuksia häiriöihin.

4.1.2 JUSE

Junaliikenteen häiriötiedot tallentuvat junien kulun seurantajärjestelmään (JUSE). JUSE ei ole analysointityökalu, mutta se käsitellään tässä sen vuoksi, että se on tärkein työkalu tällä hetkellä, jota käytetään analysoinnissa hyödyksi. Seuraavaksi kuvataan millainen järjestelmä JUSE on, mitä tietoja siihen tallentuu ja ketkä sitä käyttävät.

Järjestelmä otettiin käyttöön 18.10.2004 testimielessä ja vuodesta 2005 lähtien se on ollut Ratahallintokeskuksen käytössä kokopäiväisesti. Kaikki myöhästymiskriteerin ylittämät viipeet kirjataan järjestelmään aina jollain syykoodilla. JUSE:n rakenne perustuu syyluokitukseen. Pääsyyluokkia on 13, jotka on edelleen luokiteltu syykoodittain alaluokkiin. Liitteessä 2 on esitetty JUSE:n syykoodit. Pääluokista R (Rata), S (Sähköistys) ja P (Turva,- valvonta- ja viestilaitteet) toimivat indikaattoreina RHK:n vastualueen hoidossa. Lisäksi on lähinnä operaattoriin, liikenteenhoitoon sekä muihin tekijöihin viittaavia syitä.

JUSE-järjestelmä käyttää hyväkseen tietoa kulussa olevista junista ja niiden aikatauluista. Toteumaa JUSE vertaa näitä vasten ja myöhästymiskriteerien mukaan tuottaa myöhästymistilastoja. JUSEa käytetään hyödyksi sekä päivittäisessä operatiivisessa liikenteenohjauksessa että liikenteen täsmällisyystilastointien teossa. Lisäksi JUSEssa on 27 vakioraporttia, joiden perusteella on mahdollista tulostaa niiden junien tai yksittäisten junien kulkutietoja, jotka ovat kiinnostuksen kohteena. Vakioraportit on esitetty liitteessä 3.

Myöhästymiset kirjataan tilanteesta riippuen joko liikennepaikoittain tai kahden liikennepaikan väliselle rataosalle. Myöhästymisen määritelmän raja-arvon ylittänyttä junaa seurataan tarkemmin kirjaamalla aikataulutetun ja toteutuneen saapumisajan erotuksia ± 1 minuutin tarkkuudella. Tämä mahdollistaa myöhästyneen junan kulun seurannan myöhemmin koko junan reitin varrelta. (Pitkänen 2006.) Taulukossa 7 on esitetty JUSE-järjestelmään kirjautuvan tiedon pääperiaate. Esimerkiksi on otettu Turku–Helsinki-välillä kulkeva henkilöjuna, jolla on ollut ongelmia pääasiassa kaluston kanssa ja siitä on aiheutunut aikataulullisia ongelmia.

Myöhästymiset kirjautuvat automaattisesti JUSEen sen perusteella, mikä on junan toteuman ja aikataulun välinen ero. Jos ero ylittää myöhästymiskriteerin, myöhästy-

misen syy on koodattava järjestelmään käsin. Jos junankulussa syntyy lisämyöhästymistä verrattuna edelliseen kirjautumispaikkaan, jo 1 minuutin lisämyöhästymisen on kirjattava järjestelmään. Ajankohtaisen liikennetiedon mm. kulussa olevista junista ja niiden aikatauluista JUSE-järjestelmä saa tiedon sisältävästä KULTU-tietokannasta. Poikkeamatilanteessa eli tilanteessa, jossa juna on joko myöhässä tai etuajassa, kunkin vastuualueen liikenteenohjaaja syöttää myöhästyneestä junasta seuraavat tiedot: syykoodi, junakohtainen lisätieto ja ennakoitavat ajat tuleville liikennepaikoille, siltä osin kun ne ovat arvioitavissa.

Taulukko 7. JUSE-järjestelmässä näkyvä yhden junan häiriytynyt kulku ja järjestelmään kirjautuvan tiedon pääperiaatteet (Blomqvist 2007).

Liikenne- paikka	Min	Syy	Selite
TKU.A	0		
SLO.T	6	J5	Syy kirjattu, sillä myöhästymisen yli 5 min
SLO.L	6		Ei lisämyöhästymistä, ei syyn kirjausta
KR.T	8	J5	2 min lisämyöhästymisen, syy kirjattu
KR.L	9	M6	1 min lisämyöhästymisen, syy kirjattu
KKN.T	11	J5	2 min lisämyöhästymisen, syy kirjattu
KKN.L	12	M6	1 min lisämyöhästymisen, syy kirjattu
EPO.T	12		Ei lisämyöhästymistä, ei syyn kirjausta
EPO.L	12		Ei lisämyöhästymistä, ei syyn kirjausta
HKI.M	21	L2	8466 9 min lisämyöhästymisen, syy kirjattu ja annettu myös selite, eli tavarajuna myöhästymisen aiheuttajaosapuoli

JUSEa käyttävät lähinnä liikenteenohjaus – liikenteenohjaajat sekä liikennepäälliköt, täsmällisyystilastoinnin laatijat, sekä liikennesuunnittelijat. Liikenteenohjaus voi seurata reaaliaikaisesti, mitä liikenteessä tapahtuu, ja poikkeamatieto välittyy välittömästi muillekin tiedoksi. Tiedon reaaliaikaisen välittymisen johdosta on mahdollista tehdä ennakoivia toimenpiteitä mm. häiriötilanteiden hoitamiseksi. Muut liikennöitsijän ja RHK:n työntekijät voivat seurata liikenteen kokonaistilannetta JUSEn katselijanäyttökohdasta tai seurata tarkemmin niiden junien tai yksittäisen junan kulkutietoja, jotka ovat kiinnostuksen kohteena. (RHK 2004.)

Voidaan todeta, että JUSEn aktiiviseen käyttäjiin ei juuri kuulu radanpitäjän toimijoita. Keväällä 2008 JUSEsta liitettiin VR:n kotisivuille kaikille matkustajille tarkoitettu palvelu, josta asiakas voi itse seurata haluamansa junan kulkua JUSEen määritettyjen seuranta-asemien tai junanumeron perusteella.

4.1.3 LIIKE-projekti

RHK:ssa on ollut vireillä jo muutamien vuosien ajan ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmäprojekti (LIIKE). Tämä projekti kuvataan suurpiirteisesti tässä, koska sillä saattaa olla vaikutuksia tulevaisuuden häiriöiden analysointikeinoihin.

Rautatieliikenteen avautuminen kilpailuille nosti tarpeen tietojärjestelmälle, joka tukee toimintaa monen liikennöitsijän toimintaympäristössä. Lisäksi ratakapasiteettiin liittyvien tietojärjestelmien keskitetylle hallinnalle syntyi tarve uudessa toimintaympäristössä. Keskitetysti yhdessä paikassa oleva tieto palvelee useita käyttäjiä. Sellaisia ovat mm. RHK:n, liikennöitsijän ja liikenteenohjauksen eri käyttäjäryhmät. Lisäksi tietoa saattavat tarvita mm. radan isännöitsijät/rakennuttajakonsultit ja urakoitsijat sekä Rautatievirasto. (Natunen 2007.)

LIIKE-järjestelmän toiminnalliset osa-alueet liittyvät pitkällä aikajänteellä säännöllisen liikenteen ratakapasiteetin jakamiseen ja aikataulusuunnitteluun. Järjestelmää käytetään myös ratakapasiteettihakemusten käsittelyyn ja siihen liittyvään asiahallintaan. Lisäksi lyhyellä aikajänteellä järjestelmää käytetään ratakapasiteetin operatiiviseen hallintaan. (Natunen 2007.)

Kiinnostavaa häiriöiden analysoinnin kannalta on, että LIIKE-järjestelmään ollaan sisällyttämässä mm. liikennetietoja liikennemäärästä, junien kulun toteumatietoja, myönnetyn ratakapasiteetin käytöstä sekä liikennesuoritettietoa. (Natunen 2007.)

4.2 Häiriöiden analysointimenetelmiä

4.2.1 Yleistä

Kirjallisuudessa häiriöiden analysointimenetelmät voidaan luokitella kolmeen osaan. Analysointia voidaan lähestyä seuraavilla kolmella eri tavalla: analyttisesti matemaattisilla menetelmillä, mikrosimulointimalleilla ja empiiriseen aineistoon perustuvilla tilastollisilla menetelmillä. Jokaisella menetelmällä on sekä hyvät että huonot puolensa, joten tutkimuksen tarkoituksesta riippuen valitaan paras menetelmä. Menetelmiä voidaan myös yhdistää ja siten hyödyntää kaikkien käsittelyssä olevien menetelmien ominaisuuksia. Esimerkiksi simuloinneissa havaittuja sekundääriviipeitä on helppo analysoida tilastollisen analysoinnin menetelmin, koska simuloitaessa rautatiejärjestelmiin vaikuttavia tekijöitä on helppo kontrolloida eristetyssä, keinotekoisessa systeemissä. (Mattsson 2004.)

4.2.2 Analyttiset menetelmät

Analyttiset menetelmät ovat joskus hyvin monimutkaisia matemaattisia analysointimenetelmiä. Ne ovat nopeampia käyttää verrattuna esimerkiksi simulointimalleihin, joiden rakentaminen ja ajot vievät aikaa. Todelliseen rautatiemaailmaan liittyy kuitenkin paljon muuttujia, joita ei analyttisissä malleissa voida ottaa huomioon. Sen vuoksi analyttisten mallien käytön ominaispiirteenä on, että niiden käytössä pitää tehdä joukko yksinkertaistavia oletuksia. Analyttisten menetelmien etuna on, ettei niitä käytettäessä tarvita välttämättä lainkaan junien aikataulutietoa, mikä helpottaa menetelmien soveltamista mitä erilaisimpiin tapauksiin. Tässä kappaleessa on esitelty

kahden hyvin yleisesti rautatieliikenteen analysoinnissa käytetyn analyyttisen menetelmän pääpiirteitä ja esimerkkejä käytännöstä: jonojärjestelmiin liittyvät analyysit sekä optimointimenetelmistä Max-plus algebraan liittyvät analyysit. Molempiin liittyvät esimerkit liittyvät kaksiraiteisille osuuksille.

Jonojärjestelmät

Jatkuvasti kasvava junaliikenne vaatii olemassa olevaan rautatieverkkoon muutoksia, jotta liikenne voidaan suunnitella toteuttamiskelpoiseksi ja viipeiden määrä pitää hyväksyttävissä rajoissa. Rautatieliikenteen laajentaminen suunnitellaan useita vuosia etukäteen, yleensä kymmenien vuosien taakse. Ja koska rautatieinfrastruktuuri on hyvin kallista rakentaa, sen pitää pystyä palvelemaan liikennettä useimpien vuosikymmenien ajan. Kun suunnitelmia tehdään pitkälle ajanjaksolle, ei pikkutarkkoja tekijöitä voida huomioida, vaan on käytettävä karkeita arvioita tulevasta kysynnästä ja vastaavasta junatiheydestä. Tähän käyttötarkoitukseen jonojärjestelmämallit ovat hyvin käyttökelpoisia.

Häiriöiden analysointi jonojärjestelmän avulla perustuu kapasiteettitarkasteluihin ja pullonkaulojen toteamiseen. Wakob¹ esitteli vuonna 1985 jonojärjestelmämallin, jonka avulla aliverkon kapasiteetti voitiin arvioida. Wakobin käyttämä menetelmä, nimeltään *Wakob's razor*, perustuu junien satunnaisiin saapumisiin ilman aikataulua. Menetelmässä ääretön määrä junia saapuu tietyn infraelementin läpi.

Vuonna 1994 Schwanhäußer esitteli tavan, jolla jonojärjestelmämallien avulla voitiin määrittää odotusarvo odotettavissa olevalle viipeelle ja muille aikataulun kannalta olennaisille ominaisuuksille. Nämä jonojärjestelmämallit perustuvat ainoastaan junatiheyteen ja ajoaikoihin, joten aikatauluihin näillä ei oteta kantaa. Siksi ne ovat hyviä analysointimenetelmiä infrastruktuurin kapasiteettimäärittelyihin. (Vromans 2005.)

Esimerkki. Jonojärjestelmään perustuvan verkkomallin hyödyntäminen rautatieverkon pullonkaulojen tunnistamisessa (Huisman et al. 2002)

Huisman et al. (2002) ovat tutkineet analyyttisesti joustavaan jonojärjestelmään perustuvaa verkkomallia Markovin määritelmän avulla. Menetelmällä on suunnittelun alkuvaiheessa mahdollista tunnistaa pullonkauloja rataverkosta, vertailla yleisesti vaihtoehtoisia suunnitelmia tai analysoida liikenneskenaarioita. Mallissa otetaan huomioon yksittäisten komponenttien riippuvaisuudet ja vuorovaikutukset. Tarkastellaan rataosuuden analysointia hieman tarkemmin, tämän työn tapaustutkimusta silmälläpitäen.

Komponentteja ovat asemat, vaihteet ja rataosuudet. Määrittelemällä ne huolellisesti saadaan jonojärjestelmä rautatieverkosta, joka muodostuu erikseen määritellyistä osista. Osia voidaan määrittelyn ansiosta analysoida erikseen. Joitain yksinkertaistuksia ja oletuksia on tehty.

¹ Lähteen Vromans (2005) mukaan.

Huismanin työssä tarkastellaan kahta rinnakkaista raidetta, jotka eivät ole yhteydessä toisiinsa. Useampi juna voi käyttää rataosuudella olevia raiteita yhtä aikaa toisin kuin asemalla olevia raiteita. Radalla on otettava huomioon kaksi kapasiteettirajoitetta. Ensinnäkin ohittaminen on mahdotonta, eli nopeampi juna ei pääse hitaamman junan ohitse. Toisaalta suojastusjärjestelmän vuoksi opastinvälillä voi kerrallaan olla vain yksi juna.

Rataosuuden alussa ja lopussa on liikennettä mallinnettu *first-come-first-served single server queues* -mallilla, jolloin palveluaika on pienimmän vuorovälin määrittämä aika. Nämä vuorovälien ajat ajatellaan olevan eksponentiaalisesti jakautuneita. Rataosan väli on mallinnettu M/M/1-jonojärjestelmän avulla. M/M/1-jonojärjestelmässä saapumis- ja palveluprosessi noudattavat eksponenttijakaumaa ja järjestelmä sisältää vain yhden palvelupaikan, joka vastaa kapasiteettirajoitteita. Vapaa ajoaika vastaa mallissa kokonaispalveluaikaa. Jonomäärä ei vastaa opastinvälien määrää, jolloin mallissa voidaan huomioida sekä keskimääräiset ajoajat että ajoaikojen varianssit. Junan keskimääräinen odotusaika EW_t raiteella

$$EW_t = \sum_{i=1}^{k_t} \frac{\rho_t^{(i)}}{\mu_t^{(i)} - \lambda_t}, \text{ jossa}$$

$\mu_t^{(i)}$ on jonon palveluintensiteetti raiteella aikayksikössä t ($i=1, \dots, k_t$),

$\rho_t^{(i)}$ on yhden pisteen välittämä kuorma ja

λ_t on junien keskimääräinen saapumisintensiteetti raiteella aikayksikössä t .

Huisman et al. (2002) mukaan keskimääräisten odotusaikojen perusteella voidaan tunnistaa verkolla olevia pullonkauloja. Pullonkaulojen tunnistamiseen riittää mallin soveltaminen ainoastaan liikennetiheyden avulla, jolloin tulokset ovat vakaampia.

Esimerkki. Aikataulutetun odotusajan tutkiminen jonojärjestelmämallilla (Wendler 2007)

Saksassa rautatieliikennettä on tutkittu paljon. Wendler (2007) on tutkinut rautatieliikenteen aikataulutettuja odotusaikoja osittaisen Markovin jonojärjestelmämallin (*semi-Markovian queueing model*) avulla. Palveluprosessin kuvaus perustuu varaussajan ja minimivuorovälin teorioiden soveltamiseen. Tutkimuksen mukaan menetelmällä on mahdollista tunnistaa rataverkon kapasiteettipullonkauloja. Tutkimuksessa käsitellään kaksiraiteisen osuuden toista suuntaa. Näin ollen liikenne on tutkimuskohteessa yksisuuntaista, eikä siten sovellu sellaisenaan yksiraiteisen raideosuuden tutkimiseen.

Tutkimuksessa luodaan yhteys aikayksikköä λ kohti kulkevien junien lukumäärän ja odotusajan EW odotusarvolle

$$EW = f(\lambda).$$

Aikataulutetun odotusajan käytön etuna on, ettei se ole riippuvainen primäärisistä myöhästymisistä. Vertaamalla aikataulutetun odotusajan odotusarvoa suurimpaan sallittuun tasoon voidaan ruuhkautunut infrastruktuuri tunnistaa. Aikataulutetun odotusajan ja normaalin odotusajan erona on, että odotusaika sisältyy ajoaikaan. Tästä johtuen aikataulutettu odotusaika vaikuttaa kokonaisajoaikaan sitä kasvattaen.

Tutkimuksessa on käytetty kahta jonojärjestelmää: $M/SM/1/\infty$ ja sen lisäksi apuna jonojärjestelmää $M/GI/1/\infty$. Kuten edellisessä esimerkissä M viittasi satunnaiseen jakaumaan, joka on eksponentiaalisesti jakautunut, G viittaa yleiseen jakaumaan, joka voi noudattaa mitä hyvänsä jakaumaa. Tutkimustulosten mukaan $M/SM/1/\infty$ -järjestelmän avulla voidaan kartoittaa hyvinkin aikataulun laadinnan palveluprosessia, mutta erilaisten junien prioriteettiluokittelua ei tällä menetelmällä ole mahdollista tehdä, minkä vuoksi apuna on käytetty $M/GI/1/\infty$ -jonojärjestelmää. SM :n approksimointi GI :n avulla vaikuttaa tuloksiin kuitenkin yliarvioiden aikataulutetun odotusajan suuruutta, mistä johtuen menetelmällä ei saavuteta täysin tarkkoja tuloksia.

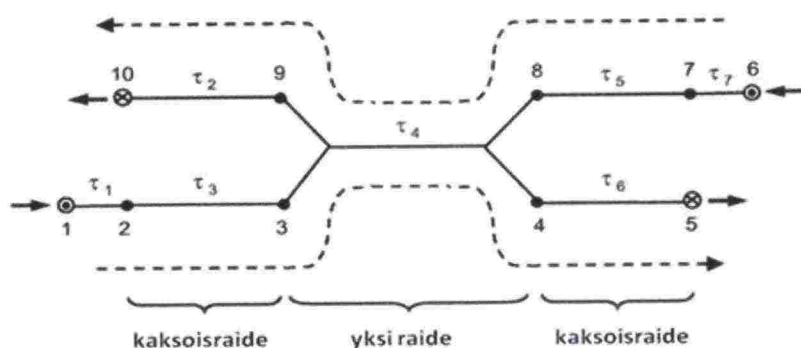
Max-plus algebra

Max-plus algebra on sopiva menetelmä liikennesysteemien, kuten rautatieliikenteen, matemaattiseen analysointiin. Stokastisten differentiaaliyhtälöiden avulla on mahdollista mallintaa rautatieliikenteen dynamiikkaa ja turvajärjestelmien vaikutusta liikenteeseen. (de Kort et al. 2003.) Menetelmällä voidaan laskea liikenteen ominaispiirteitä, kuten minimikiertoaikoja tai kapasiteettiin liittyviä piirteitä. Nykyinen max-plus algebraan tukeutuva tutkimus keskittyy stokastisten häiriöiden huomioimiseen mallien luomisessa. (Vromans 2005.)

Seuraava lähestymistapa on yleisesti käytössä käytettäessä max-plus algebraa rautatieliikenteen suunnitteluprosessissa. Rautatieinfrastruktuuri jaetaan generisiin palikoihin, jotka kaikki sisältävät rautatieinfrastruktuurin peruselementit. Näin voidaan tiivistetysti esittää monta erilaista infrastruktuuriyhdistelmää, kuten esimerkiksi yhdistelmä, jossa kaksiraiteisen osuuden välissä on yksiraiteisia osuuksia. Koko monimutkaisen verkon kapasiteetti voidaan arvioida jokaisen geneerisen palikan mukaan seuraavanlaisesti: ensin määritetään palikan kapasiteetti, jotta voidaan tunnistaa potentiaaliset pullonkaulapalikat ja sitten kyseisen palikan kapasiteetti otetaan indikaattoriksi koko verkon kapasiteettiin. (de Kort et al. 2003.)

Esimerkki. Infrastruktuurin kapasiteetin määrittäminen max-plus algebran avulla (De Kort et al. 2003)

De Kort et al. (2003) tutkimuksessa lähestytään max-plus-mallilla probabilistisesti infrastruktuurin kapasiteetin arvioimista. Kapasiteetti-arviot perustuvat aikatauluihin, joita ei ole tarkasti määritetty. Tällainen tilanne kuvaa hyvin tulevaisuutta, jonka liikenteen aikatauluista ei ole tietoa. Tutkimuksessa kapasiteetti määritellään sen avulla, kuinka monta juna maksimissaan voi kulkea tietyn infrastruktuuri-elementin, kuten tunnelin, sillan, rataosan tai aseman, läpi aikayksikössä t siten, että todennäköisyys on suurempi tai yhtäsuuri kuin etukäteen määritetty täsmällisyystaso p . Täsmällisyystason määrittämisellä pyritään arvioimaan, voiko esitetty infrastruktuuri selviytyä suunnitellusta liikennemäärästä etukäteen määritetyin edellytyksin. Tutkimuksessa käsitellään häiriöitä aiheuttavien tunneliosuuksien vaikutusta liikenteeseen. Muuten kaksiraiteinen verkko muuttuu pullonkaulaksi tunnelien kohdalla kuten τ_4 kuvassa 11, joissa ei turvallisuuden vuoksi voi kulkea kuin yksi juna kerrallaan. Mallin avulla voidaan myös arvioida investointien ja saavutettavan hyödyn yhteyttä.



Kuva 11. Pullonkaula kaksoisraideosuuden keskellä (de Kort et al. 2003).

4.2.3 Simuloinnit

Mikrosimulointia käytetään paljon rautatieliikenteen mallintamisessa. Simuloinnin etuna on, että sillä voidaan jäljitellä liikennetilannetta totuudenmukaisesti tilanteessa, joka ei analyttisillä matemaattisilla malleilla onnistu. (Musto 2008.) Totuudenmukaisen mallin luominen on kuitenkin työlästä ja aikaa vievää, sillä mallin parametrien on vastattava tarkasti todellisuutta. Myös mitä yksityiskohtaisemmin halutaan simuloida, sitä enemmän tarvitaan parametreja ja sitä kauemmin simuloinnin ajaminen kestää. (Vromans 2005.)

Simuloinneilla on mahdollista tehdä kapasiteettitarkasteluja ja löytää liikenneverkosta pullonkauloja. Myös ennalta tiedossa olevien häiriöiden, kuten ratatöiden vaikutusta liikenteeseen, voidaan arvioida simulointitarkasteluilla. Simulointimallissa voidaan luoda kuvitteellisia häiriötilanteita, jolloin on mahdollista arvioida häiriöiden vaikuttavuutta. (Musto 2008.) Luomalla häiriöitä simuloitavalle alueelle voidaan tutkia, kuinka häiriö leviää ja millaisia sekundäärisiä vaikutuksia kyseisellä primäärisyyllä on. Koska simulointimalleissa esitetyt häiriölähteet on etukäteen päätetty, simulointiin liittyvät tulokset ovat jossain määrin epätodennukaisia sen vuoksi, että käyttäjä on joutunut määrittelemään häiriöt. Tämä johtaa siihen, että tulokset perustuvat oletuksiin, joita saadaan mm. häiriöiden jakaumista eikä todellisen elämän häiriöistä. (Vromans 2005.) Tähän voisi olla apuna reaaliaikainen simulointi, jolla voitaisiin simuloida reaaliaikaista häiriötilannetta.

Asemien liikennettä simuloitaessa on seuraavanlaisissa tapauksissa voitu osoittaa syntyvän sekundääriä viivettä (Vromans 2005):

- Asemalla on kapasiteettipula, eikä juna voi ajaa sinne alkuperäisesti suunnitellulla tavalla.
- Syntyy konflikti toisen junan kanssa kohdassa, joka on in-out-datan ja aseman välillä.
- Aikaisemmin ajanut juna ei ole ehtinyt vapauttaa raideosuuttaan seuraavalle.
- Raiteella on jo maksimimäärä junia, eikä sille mahdu lisää.
- Juna, josta on vaihtoyhteys toiseen junaan, on myöhässä.
- Junakierrossa oleva edeltävä juna ei ole saapunut ajallaan,

Suomessa yksi merkittävä projekti, jossa simulointia on käytetty, oli Kerava–Lahti-oikoradan vaikutustarkastelut Helsingin ratapihan kapasiteettiin. Tällöin pyrittiin myös löytämään potentiaaliset ongelmakohdat ja pullonkaulat, ja esittämään niihin ratkaisu simulointimallin avulla. (Musto 2008.)

Esimerkki. Simuloinnin hyödyntäminen ratakapasiteetin myöntämisessä (Musto 2008)

Musto (2008) tarkasteli tutkimuksessaan mahdollisuuksia myöntää ratakapasiteettia tavarajunille Riihimäen ja Tampereen välisellä liikennöintialueella. Henkilöliikenteen aikataulut rajoittavat tavarajunien sijoittamista radalle. Rataverkolle voidaan sijoittaa tavarajunia vain, jos ne eivät häiritse henkilöjunien kulkua. Tutkimuksessa tavara-liikenteelle muodostettiin kolme aikatauluvaihtoehtoa, joiden sujuvuutta vertailtiin simuloimalla. Liikenteen sujuvuutta ja häiriönsietokykyä eri aikatauluvaihtoehdoissa tutkittiin muodostamalla verkolle erilaisia häiriötilanteita. Häiriötilanteista aiheutuneita seurauksia vertailtiin häiriöiden aiheuttamien viipeiden avulla. Viipeiden avulla löydettiin kaikkein stabiilein aikatauluvaihtoehto, jossa sujuvuus ja täsmällisyys olivat parhaimmat.

4.2.4 Tilastollinen analysointi

Kolmas tapa analysoida liikenteen kysynnän ja rataanfrastruktuurin kohtaamattomuutta ovat erilaiset tilastollisen analyysin menetelmät. Jotta saavutettaisiin paras täsmällisyys tai kustannustehokkuus, tarvitaan tietoa rautatieoperaatioissa sattuvista satunnaisista tapahtumista. Rautatieliikenteen empiirinen aineisto sisältää tietoa tapahtumien aikavaihteluista ja junien keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Sen vuoksi empiiristä aineistoa kannattaa hyödyntää rautatieliikenteen toimintojen tutkimisessa. (Goverde et al. 2001)

Tilastollisen analysoinnin avulla empiirisestä aineistosta voidaan määrittää esimerkiksi keskimääräisten viipeiden suuruus, pysähtymisaikojen pituus jne. Näin ollen voidaan todeta, onko jossain kohdissa enemmän vaihtelua kuin toisissa, ja siten edelleen tutkia, mistä kyseinen vaihtelu johtuu.

Alankomaissa on tehty paljon tutkimusta rautatieliikenteen täsmällisyyteen liittyen. Siellä on kehitetty liikenteen toteumatietoja keräävä työkalu, TNV-Prepare, jonka avulla liikenteestä kerätty toteumatieto on erittäin tarkkaa. Ohjelmasta on kerrottu enemmän kappaleessa 4.3.4.

Seuraavassa on kuvattu Goverde et al. (2001) TNV-Preparen aineistosta tilastollisen analyysin keinoin tehty tutkimus. Toisena esimerkkinä on esitetty Gibsonin et al. (2002) tekemä tutkimus liikenteeseen sijoitettavan lisäjunan aiheuttamista marginaalikustannuksista Isossa-Britanniassa.

Esimerkki. Alankomaissa tehty tutkimus asemalle saapuvien junien täsmällisyydestä (Goverde et al. 2002)

Aikaisemmin Alankomaissa juna kirjattiin myöhästyneeksi, kun viive oli yli 3 minuuttia. Uuden työkalun TNV-Preparen avulla tutkimuksessa pystyttiin estimoimaan junan saapumis- ja lähtöajat sekä pysähdykseen kulunut aika noin sekunnin

tarkkuudella. Aineistona toimi Eidhovenin aseman yhden viikon ajalta kerätty liikenne-data. Liikenteen toteumatieto oli kirjattuna lokitiedostossa, jota TNV-Prepare-työkalun avulla muokattiin käyttökelpoiseksi. Junien kulusta saatiin tarkka tieto, jolloin tiedon jatkojalostusta oli mahdollista tehdä.

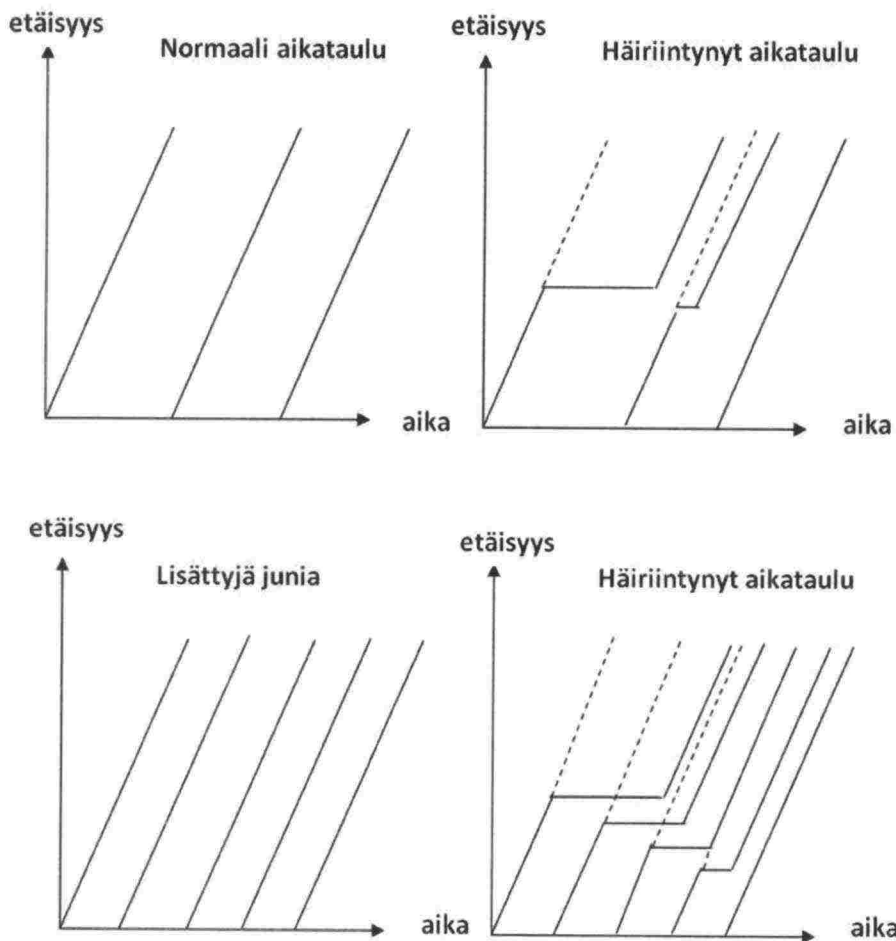
Tutkimuksen mukaan eri junatyyppeiden täsmällisyys vaihteli selvästi toisistaan sekä saapumis- että lähtöaikojen suhteen. Tilastollinen analyysi paljasti, että 40–80 % eri linjojen junista saapui asemalle myöhässä. Lähtöjen osalta 69–84 % kaukojunista ja 84–98 % paikallisjunista lähti alle 3 minuuttia myöhässä.

Tilastollisten analyysien tuloksena oli, että saapumisviipeet vaihtelivat selvästi ajankohdasta riippuen, mutta lähtöviivästykset eivät riippuneet niinkään päivästä tai ajankohdasta. Saapumisviipeille ei voitu määrittää mitään yleistä jakaumaa, joka olisi kuvannut kaikkia saapumisviipeitä hyvin. Tutkimuksessa tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että kaikkia saapumisviipeitä oli järkevää mallintaa yksinkertaisen eksponenttijakauman avulla ajanjaksosta riippumatta. Lähtö- ja pysähdysaikojen ja niiden viipeiden osalta tulokset voitiin sovittaa helposti yksinkertaiseen eksponenttijakaumaan.

Tilastollisten analyysien perusteella suuri määrä pieniä viivästyksiä vaikuttaa merkittävästi rautatieliikenteen palvelun laatuun.

Esimerkki. Rataverkon ruuhkautumisen kustannukset (Gibson et al. 2002)

Gibson et al. (2002) tutkivat rataverkon ruuhkautumisen kustannuksia, joita infrastruktuurin omistaja ja haltija Railtrack kohtasi, kun rataverkkoon lisättiin ylimääräinen juna (kuva 12). Työssä analysoitiin yksityiskohtaisesti kapasiteetin käyttöasteen ja junien toimintakyvyn välistä suhdetta. Tuloksena oli, että ruuhkakustannukset liittyivät suoraan sekundäärisiin viipeisiin, jotka aiheutuivat primäärisistä viipeistä.



Kuva 12. Primäärisen viipeen vaikutus sekundäärisiin viipeisiin normaalisti kuormitetulla verkolla (yläkuvat) ja kapasiteetinkäyttöasteen ollessa suurempi (alakuva) (Gibson et al. 2002).

Viipeiden vaikutukset olivat selvästi voimakkaampia silloin, kun verkko oli hyvin kuormitettu. Tällöin myös ruuhkautumiskustannukset olivat suuremmat.

Kapasiteetinkäyttöasteen ja sekundääri viipeiden välistä yhteyttä rautatieverkolla tutkittiin regressioanalyysin avulla. Viipeet ovat luontaisesti erittäin muuttuvia, joten sen vuoksi aineistoa analysoitiin koko vuoden osalta. Tutkimuksessa huomattiin, että erilaisilla osuuksilla viipeiden määrä oli hyvin erilainen. Viivedatan analysoinnissa keskityttiin vertailemaan eri ajankohtien rataosuuksien viipeitä, koska eri ajankohtina myös radan kapasiteetinkäyttöaste vaihteli. Tutkimuksessa päädyttiin t-testien perusteella kuvaamaan aineistoa eksponentiaalisen yhteyden avulla:

$$D_{it} = A_i \exp(\beta C_{it}), \text{ jossa}$$

D_{it} on sekundääri viive raideosuudella i ajanjaksolla t ,

A_i on reittiosuuteen liittyvä vakio,

β on reittikohtainen vakio,

C_{it} on kapasiteetinkäyttöasteeseen liittyvä vakio raideosuudella i ajanjaksolla t .

Tutkimuksessa kyettiin löytämään 24 reitistä tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä 20. Tuloksissa β arvo vaihteli tyypillisesti 1,1 ja 4,1 välillä, josta voidaan päätellä, että reittien ominaisuudet vaihtelevat jonkin verran toisistaan.

4.3 Häiriöiden analysointi eräissä maissa

4.3.1 Johdanto

Muiden maiden häiriöiden analysointimenetelmiä tutkittiin lähettämällä kysely kolmeen maahan, joiden katsottiin olevan jollain tapaa oleellisia Suomen rautatieliikenteen häiriöiden analysointia ajatellessa. Nämä maat olivat Ruotsi, Sveitsi ja Alankomaat. Ruotsi valittiin kyselyyn sen vuoksi, että se on samantyyppinen maa maantieteellisesti, mutta myös sen vuoksi, että rautateihin liittyvät asiat hoidetaan Ruotsissa hyvin samalla tavalla kuin Suomessa. Sveitsi valittiin tarkasteluun sen vuoksi, että sveitsiläinen rautatiekulttuuri ja rautatieasioiden hoito on Euroopan ja koko maailman huippua. Ajateltiin, että Sveitsin toimintatavoissa voisi olla jotain hyödynnettävää myös Suomessa, vaikka rautatierakenne on hieman erityyppinen. Alankomaat valittiin tutkimukseen sen vuoksi, että siellä tehdään Sveitsin ohella paljon rautatieliikenteeseen liittyvää tutkimusta. Valitettavasti Alankomaista ei saatu vastauksia haastatteluun, joten Alankomaihin liittyvä tieto perustuu kirjallisuuteen.

4.3.2 Ruotsi

Ruotsissa ongelmallisia kohteita estimoidaan kapasiteetin käyttöasteen ja liikenteen kysynnän avulla. Työtä tehdään monissa eri kokoonpanoissa, yhteistyössä operaattoreiden kanssa ja Banverketin omissa kokoonpanoissa. (Wahlborg 2008.)

Häiriöitä aiheuttavista paikoista ei ole Ruotsissa tehty listaa, mutta yleinen oletamus on, että häiriöitä aiheutuu paikoissa, joissa on kapasiteettiongelmaa, kuten suurissa kaupungeissa ja niiden läheisyydessä. Myös tärkeillä rataosilla, kuten kaksiraiteisilla rataosilla Tukholma–Hallsberg–Göteborg ja Tukholma–Katrineholm–Malmö sekä yksiraiteisilla rataosilla kuten Gävle–Sundsvall ja Mjölby–Hallsberg, esiintyy häiriöitä kapasiteettiongelmien johdosta. (Wahlborg 2008.)

Häiriöiden analysoimiseksi Ruotsissa on perustettu laatuprojekteja mm. Tukholman, Göteborgin ja Malmön alueiden liikenteen laadun parantamiseksi. Lähitulevaisuudessa on odotettavissa, että Göteborg pääsee eroon ruuhkaisuusongelmistaan. Kapasiteettianalyysijä tehdään siinä vaiheessa, kun junille ollaan muodostamassa aikatauluja. Analyysit tehdään joko paperilla tai ohjelmiston avulla (Trainplan), ja lisäksi tarkasteluja tehdään simulointiohjelmiston avulla (Railsys). Analyysijä tehdään myös täsmällisyys- ja häiriötiedoista, joita kerätään samantyyppisellä menetelmällä kuin JUSE-järjestelmä on Suomessa. Ruotsissa liikenteen toteumatietoa ja siis tietoa myöhästymisistä tallennetaan asemakohtaisesti. Infran vioista rekisteröityy tieto Ofeliatietokantaan, jonka tarkkuus on hyvä, joten infrasta aiheutuneet häiriöt saadaan Ofeliasta. Myöhästymiskriteerit ovat Ruotsissa vastaavat kuin Suomessa. (Wahlborg 2008.)

Häiriöiden tarkempaa analysointia tehdään vain yksittäisissä tapauksissa. Tällöin analysointimenetelminä ovat mm. tilastollinen prosessinohjaus (SPC) ja regressio-

analyysit, joilla on tutkittu mm. aikataulun ja täsmällisyyden yhteyttä sekä sään vaikutusta täsmällisyyteen. Häiriöiden leviämisestä on tehty lisäksi mm. lisensiaatintyö (Lindfeldt 2007). Työssä tutkittiin yksiraiteisen rautatiellä olevan liikenteen laatua. Tutkimusta varten kehitettiin matemaattinen malli, joka otti huomioon häiriöjakaumat. Tutkimuksen jatkotyönä teetetään liikennedatan perusteella simulointitutkimus kaksiraiteisella rataosalla, jossa huomioidaan myös liikenteenohjauksen toiminta. (Wahlborg 2008.)

Vuodesta 2005 lähtien Ruotsissa on kehitetty liikennehäiriöiden datalle uutta järjestelmää, johon data voitaisiin tallentaa ja tätä dataa analysoida. Analysoinnin ongelmaksi on kuitenkin noussut kerätyn data huono laatu. Huono laatu taas johtuu teknisten mittausjärjestelmien huonosta tarkkuudesta. (Wahlborg 2008.)

4.3.3 Sveitsi

Sveitsissä rautatieliikenteen analysointi on tasoltaan maailman parhaimmistoa. Liikenteen toteumatietoa analysoidaan jatkuvasti. Rautatieliikenteen aikatauluja analysoidaan erittäin paljon päivittäin. Lähtökohta liikenteen sujuvuuteen on aikataulujen oikeellisuus ja toimivuus.

Aikataulujen suunnitteluosasto suunnittelee rautatieliikenteen aikatauluja aina 15 vuoden päähän. Tällaisten pitkän aikajänteen suunnitelmien pohjalta on mahdollista parantaa infrastruktuurissa sellaisia kohteita, jotka eivät mahdollista suunnitellun aikataulun toimivuutta – tietenkin kustannuksista riippuen. Suunnitteluosasto analysoi koko ajan liikennetietoa varsinkin pullonkauloiksi määritetyistä alueista. Sveitsissä kaikkein liikennöidyimmät rataosat ovat myös kaikkein kriittisimmät rataosat. (Achermann 2008.)

Kehityshankkeiden suunnittelussa on mukana useita organisaatioita, kuten aikataulujen suunnitteluosasto sekä liikennöintiin ja asiakkaisiin liittyvä osasto. Kun häiriöityneen liikenteen tiedot ja seuraukset kirjautuvat järjestelmiin, tieto tavoittaa myös vastuussa olevan yksikön. Näin vastuussa oleva yksikkö osaa tarkalleen ryhtyä toimiin poistaakseen häiriön ja mahdolliset tulevaisuudessa samasta syystä aiheutuvat häiriöt ja vähentääkseen häiriön vaikutuksia. (Achermann 2008.)

Myöhästymiset raportoidaan Prosurf-järjestelmään, josta tiedot varastoidaan täsmällisyysraportointijärjestelmään analysoitavaksi ja raportoitavaksi. Yleisesti ottaen junan katsotaan olevan myöhässä, kun saapuminen poikkeaa aikataulusta 3 min tai enemmän. Zürichin S-Bahn-alueella on erityinen suoritesopimus, jossa on tiukemmat ehdot ruuhka-aikoina. Jos myöhästymisen on myöhästymiskriteeriä suurempi, liikenteenohjauksen on määritettävä myöhästymiselle syy. Kaikki ko. syystä aiheutuneet sekundääriset myöhästymiset on myös linkitettävä häiriön alkulähteeseen omalla järjestelmällään. (Achermann 2008.)

Sveitsissä käytetään automaattista liikenteenhallintajärjestelmää, joka vertailee sopimuksen mukaista aikataulua toteumaan 4 sekunnin välein. Ero eli delta-t arvo saadaan näkyviin järjestelmästä automaattisesti. Syitä myöhästymisiin/häiriöihin on kerätty viidessä kansallisessa liikenteenhallintakeskuksessa. Kaikkia henkilöitä tai

yksiköitä informoidaan päivittäin tapauksista, joista he ovat vastuussa. (Achermann 2008.)

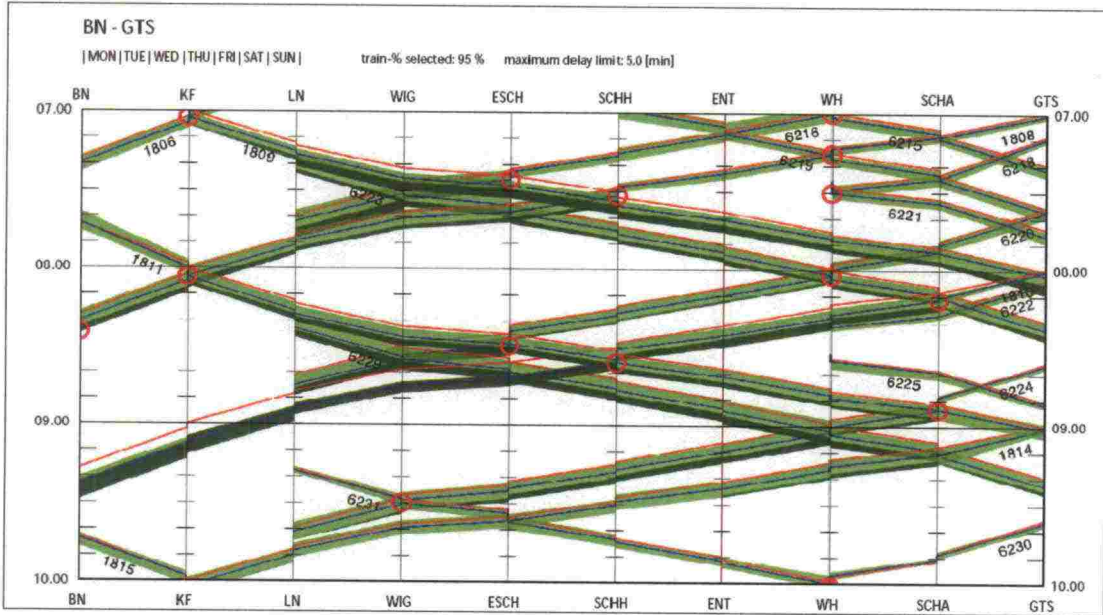
Sveitsin analysointimenetelmissä ja kansallisessa häiriöiden kirjaamisjärjestelmässä häiriöiden ja myöhästymisten kirjaaminen tapahtuu ainoastaan suunnittemattomien ja yllättävien tapausten osalta. Esimerkiksi suunniteltujen ja ennalta tiedettyjen rakennustöiden aiheuttamat eroavuudet normaaliin liikenteeseen, eivät tallennu järjestelmään. (Achermann 2008.)

OpenTimeTable

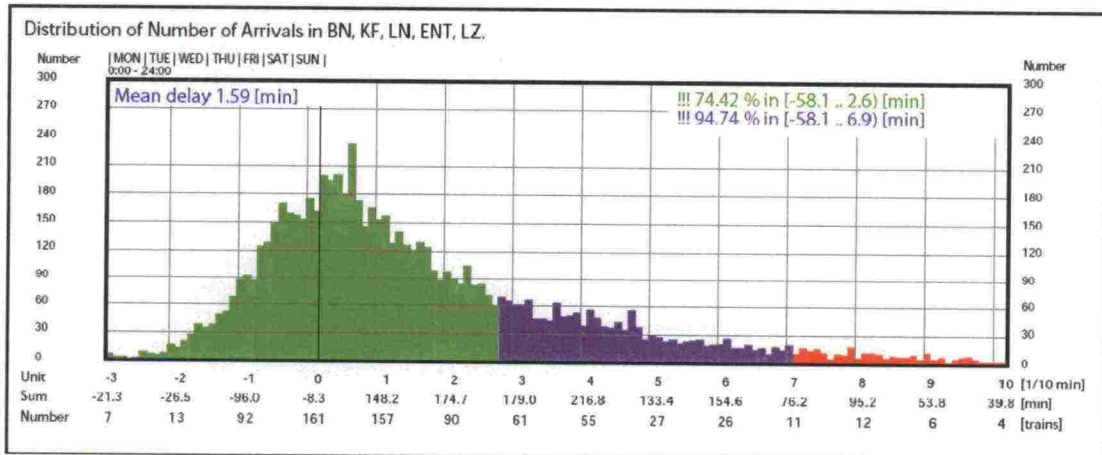
Sveitsissä rautatieliikenteen suunnittelun mainittiin jo edellä olevan aikataululähtöistä. Aikataulujen kehittämiseen on Sveitsissä panostettu ja sen tuloksena on syntynyt mm. liikennetiedon analysointiohjelma OpenTimeTable. OpenTimeTable on tulos Zürichin teknillisen korkeakoulun (ETH) liikennesuunnittelun ja -järjestelmien laitoksen (IVT) ja Sveitsin rautateiden (SBB) yhteistyöhankkeesta. OpenTimeTable perustuu tarpeeseen luoda uusia aikatauluja, jotka parantavat matkustajille tarjottavaa palvelua useampien junien ja yhä nopeampien junien muodossa, vaikka infrastruktuurin parantamishankkeita minimoidaan. Uusien aikataulujen laatiminen on monimutkaista ja virheiden mahdollisuus on suuri. Jos juna ei pysy aikataulussaan, se aiheuttaa toisille junille häiriöitä. OpenTimeTable-ohjelmisto toimii apuna systemaattisten viipeiden analysoinnissa, kuten myös aikataulujen hienosäädössä, jolloin tuloksena on parempi liikenteen laatu ja paremmin hyödynnetty infrastruktuuri. (OpenTimeTable 2008.)

OpenTimeTable käyttää hyväkseen lähinnä kahdenlaista dataa: liikenteen aikataulutietoa sekä liikenteen toteumatietoa. Sen tuottamista kuvaajista voi helposti havaita, kuinka liikenne on kulkenut tarkasteltavalla rataosalla ja kuinka sen olisi tullut kulkea aikataulun mukaisesti. Liikenteen toteumatieto päivittyy jatkuvasti järjestelmässä ja se rinnastetaan graafisen aikataulun esitykseen. Tällä tavalla aikatauluista vastuussa olevien henkilöiden on helppo analysoida tietoa siitä, missä ja milloin häiriöitä tapahtuu, ja tämän tiedon avulla tehdä muutoksia aikatauluun. (OpenTimeTable 2008.)

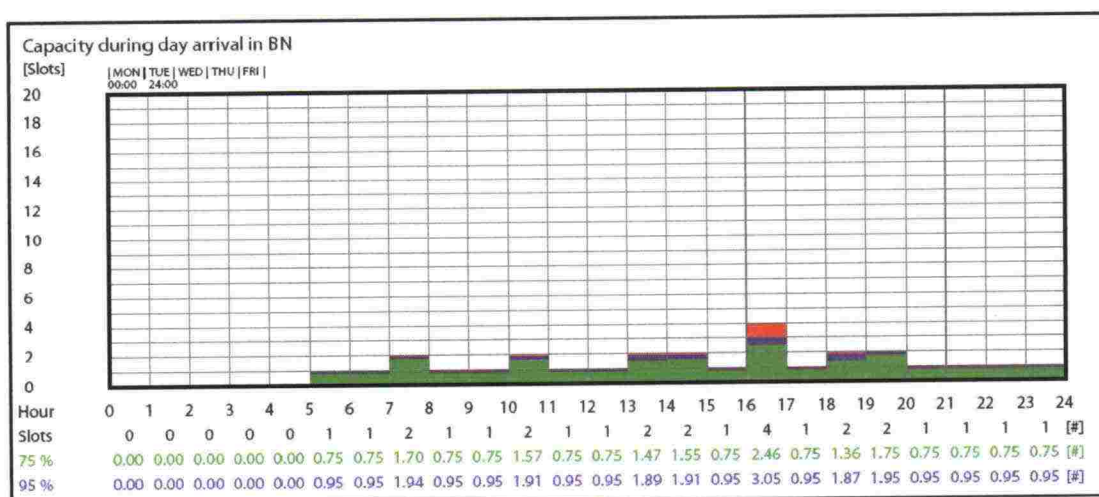
OpenTimeTablen ominaisuuksia on esitetty seuraavissa kuvissa.



Kuva 13. OpenTimeTable-ohjelmasta otettu kuva esittää Bernin ja Luzernin välillä olevan junaliikenteen klo 7–10. Punaiset viivat esittävät junalle määritettyä aikataulua ja siniset viivat ajanjaksolta määritettyjä todellisten ajoaikojen keskimääräisiä aikoja. Vihreät alueet kuvaavat 95 % täsmällisimmin tulleista junista. Tummanvihreät alueet kuvaavat yli 5 minuutin myöhästymisiä. (OpenTimeTable 2008.)



Kuva 14. Saapumisviipeen jakauma Bernin ja Luzernin välillä. (OpenTimeTable 2008.)



Kuva 15. Kapasiteetin käyttöaste päivän aikana Bernissä. (OpenTimeTable 2008.)

Toteumatiedon mittaaminen toteutetaan pääopastimien kohdalta eikä aikataulupisteeltä (aseman kohdalta), minkä vuoksi mittauspisteestä mitattuun aikaan käytetään korjauskertoimia. SBB:n korjauskertoimet ovat hyvin tarkkoja ja niillä päästään alle 20 sekunnin absoluuttiseen virheeseen. Virhe on näin pieni, koska korjauskerroin on saatu optimoimalla differentiaalisesti reitti, junatoiminnot, junatyyppi ja lisäksi opastimien sijainti mahdollisimman hyvin. (Goverde 2005.)

Kuvassa 13 on esitetty graafisesti toteuman ja aikataulun ero Bernin ja Luzernin välisellä rataosalla. Voidaan nähdä, että punaisella viivalla esitetty aikataulu ei joissain kohdin osu toteumaa kuvaavien viivojen kanssa päällekkäin tai edes kovin lähelle. Kuva 14 esittää saapumisviipeen jakaumaa Bernin ja Luzernin välisellä rataosalla. Kuvasta voidaan tulkita, että keskiviive on 1,59 min ja että n. 75 % junista saapuu enintään 2,6 minuuttia aikataulustaan jäljessä. Noin 95 % junista saapuu enintään 6,9 minuuttia myöhässä. Kuvassa 15 on esitetty Bernin kapasiteetti yhden päivän aikana. Kuvan mukaan kaikkein ruuhkaisinta on klo 16–17 aikoihin ja muita käyttöasteeltaan korkeita ajankohtia ovat klo 7–8, klo 10–11, klo 13–15 ja klo 18–20.

OpenTimeTablella voidaan tehdä seuraavanlaisia manuaalisia analyysejä. (OpenTimeTable 2008.)

- Aikataulun ja toteutuneiden aikojen vertailu sekä graafisesti että tekstimuodossa
- Keskimääräiset junien ajat; saapumis- ja lähtöaikojen keskihajonta
- Liikennepaikkojen viipeiden jakauma
- Määrätyn tunnin/päivän/viikonpäivän/viikon/kuukauden viipeet
- Liian pitkien pysähtymisaikojen analyysi
- Junien oikeasti tarvitsema tila aikataulussa, joka voidaan myös esittää prosentti-
osuus-muodossa tietyn aikakriteerin sisällä, täsmällisimmin kulkeneista junista
- Analyysi todellisesti käytetyistä aikaväleistä

Yksityiskohtaisia analyysejä, joita graafisella toteutuksella voidaan tehdä, ovat mm. aikataulun ja yksittäisten toteutuneiden ajojen sekä toteuman keskiarvon esittäminen samassa aikataulussa. Tällöin nähdään, paljonko edellä tai jäljessä junat oikeasti

kulkevat aikatauluun verrattuna. Tuloksen mukaan on myös mahdollista havaita, missä kohtaa aikataulusuunnittelussa on liikaa pelivaraa, ja jos jossain kohdin tarkastelualuetta näyttää olevan ratainfrastruktuurista aiheutuvia häiriöitä. Graafisessa esityksessä voidaan esittää toteuman keskihajonta, joka esityksessä on sitä leveämpi viiva mitä suurempi hajonta toteumassa on. Persentiilien esittäminen toteumasta antaa tietoa siitä, mitä eroa nopeimpien ja hitaimpien junien kulussa on. Eri persentiileillä voidaan arvioida mm. millaisia vaikutuksia aikataulun tiukentamisella on toteuman tilastoihin. Esittämällä myöhästymisten kokonaismäärä tietyllä tunnilla voidaan nähdä häiriöiden kriittisimmät tunnit vuorokaudesta tietyllä osuudella. Samalla tavalla voidaan esittää myös kapasiteetinkäyttöastetta. Kahta viimeksi mainittua vertaamalla voidaan tutkia, miten kapasiteetinkäyttöaste tietyllä alueella vaikuttaa häiriöiden määrään.

4.3.4 Alankomaat

Alankomaissa tehdään paljon tutkimusta rautatieliikenteen saralla. Eniten kirjallisuudesta löydettyjä työhön liittyviä tutkimuksia oli aikataulusuunnitteluun liittyen. Alankomaissa toimii viiden yliopiston yhteinen rautatieliikenteeseen keskittynyt tutkijakoulu, TRAIL Research School, joka tuottaa myös rautatiealan korkeatasoisia tutkimuksia. Lisäksi varsinkin Delftin teknillisessä korkeakoulussa tehdään paljon tutkimusta rautatieliikenteeseen liittyen.

Delftin teknillisessä korkeakoulussa kehitettiin liikenteen toteumatiedon keräämisen ja sen laadun varmistamiseen TNV-Prepare-ohjelma. Aikaisemmin Alankomaissa tulo-opastimien ja aikataulun välinen ero perustui tiettyjen nyrkkisääntöjen perusteella määritettyihin korjauskertoimiin. Tarkemman toteumadatan saamiseksi kehitettiin työkalu, joka huomioi infrastruktuurista saatavan tiedon, kuten varautumis- ja vapautumisajat, opasteista ja vaihteiden asennosta saatavan tiedon ja liittää sen junanumeroon sidottuun tietoon. Infrastruktuurista saatava tieto oli ollut jo kauan saatavilla, mutta sitä ei ollut osattu yhdistää oikealla tavalla junien todellisiin kulkuihin. Uuden järjestelmän käyttöönoton jälkeen TNV-Prepare-ohjelmasta on mahdollista saada helposti irti erilaista junan kulkuun liittyvää toteumatietoa, kuten rataosan varaamiseen kuluneen ajan, ajoajan ko. osuudella, junavälin jne. (Goverde 2005.)

TNV-Preparen avulla voidaan tehdä myös erilaisia rautatieliikenteeseen liittyviä analyysejä. Ohjelmaa voidaan käyttää kapasiteettianalyyseihin, täsmällisyysanalyyseihin ja satunnaisen rautatiejärjestelmän analyyseihin. Oikean junan pituuden ja jokaisen junan nopeus viimeisellä opastimella ennen asemaa estimoidaan yksinkertaisesti opastimen lähtö- ja saapumisajan erotuksesta sekä ko. junan ominaispiirteistä. Nopeuden ja hidastamisen vaihtelun aiheuttama virhe estimoidaan pienimmän neliösumman menetelmällä mahdollisimman pieneksi, ja laskettua nopeutta vertaillaan suunniteltuun nopeuteen esimerkiksi opastimen ja vaihteen kohdalla. Jäljelle jäänyt hidastamiseen ja kiihdyttämiseen kulunut aika opastimelta opastimelle voidaan estimoida TNV-Filter-työkalulla, joka perustuu junatyyppeihin hidastuvuus- ja kiihdytysarvoihin. Tällä tavalla data saadaan sekunnin tarkaksi. (Hansen 2003.)

TNV-Prepare-ohjelman avulla toteumadataa on mahdollista analysoida sekunnin tarkkuudella. Tällaisen työkalun avulla on mahdollista tehdä kappaleen 4.2.4 ensimmäisen esimerkin mukaisia analyysejä toteutuneesta liikenteestä.

4.4 Häiriöiden analysoinnin kehittäminen Suomessa (toimintamalli)

Häiriöiden analysointia tulisi tehdä Suomessa nykytilannetta enemmän ja koordinoitusti. Nykyisin Suomessa pyritään panostamaan täsmälliseen juna-liikenteeseen. Häiriöiden analysointi ja varsinkin täsmällisyyden seuraaminen ovat keinoja löytää häiriöherkkiä alueita. Näin ollen täsmällisyysanalyysit ovat erittäin tärkeä lähde häiriöiden analysointiin. Suomessa jo aiemmin esitetyt häiriöiden analysointi-keinot antavat melko hyvän kuvan liikenteen häiriöistä yleisellä tasolla. Jos halutaan päästä käsiksi häiriöitä aiheuttaviin tekijöihin, olisi tärkeää analysoida aineistoa enemmän ja varsinkin tarkemmin.

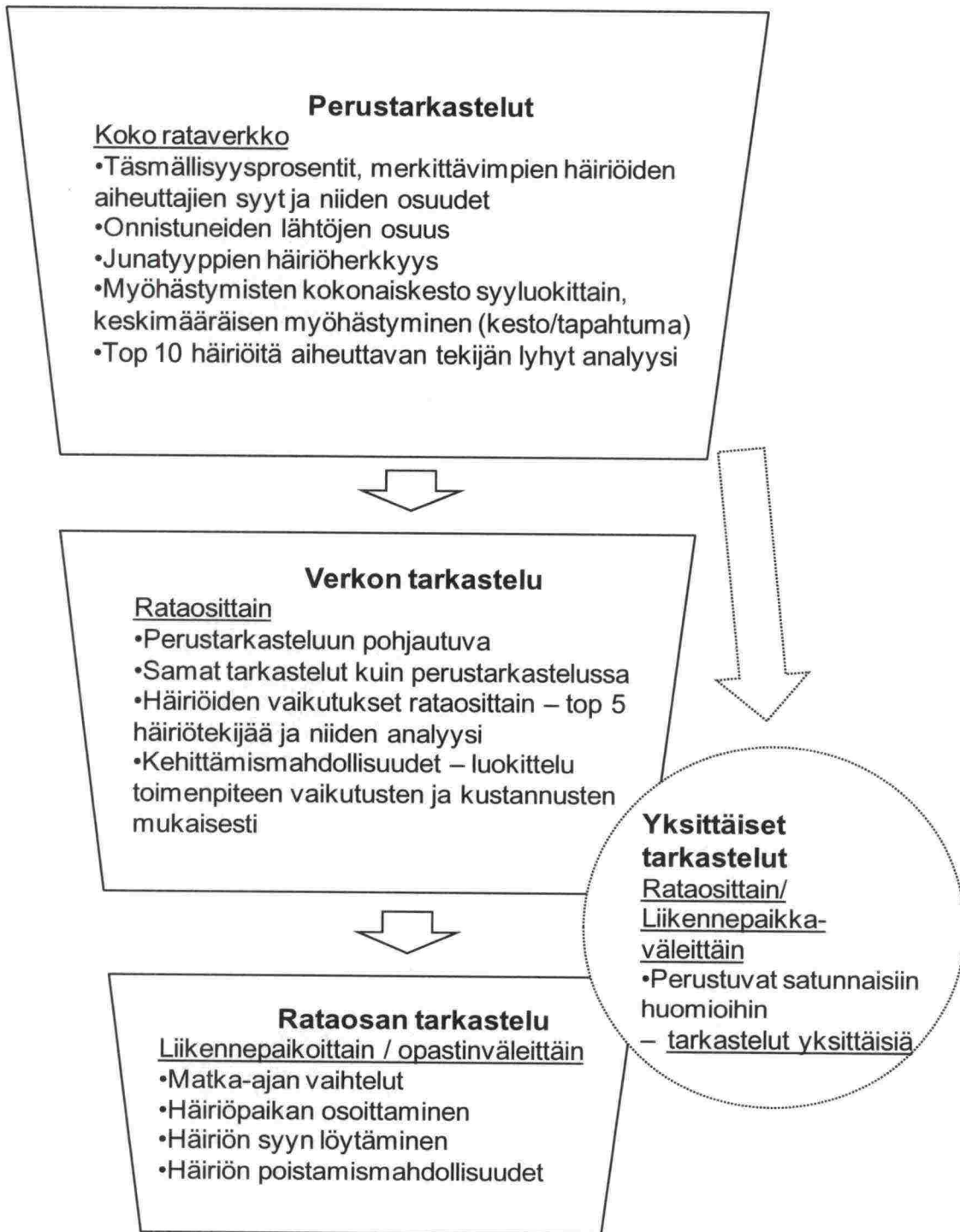
Tässä työssä esitetään, että häiriöiden analyysijä olisi hyvä tehdä kolmella eri tasolla. Ensimmäinen taso vastaisi suurelta osalta nykytilanteesta tehtävää täsmällisyys-yhteenvedoa, toisella tasolla analysoitaisiin häiriöitä tarkemmin, jolloin erityyppiset häiriöt erottuisivat erilaisilla rataosilla toisistaan. Kolmannen tason analyysiä käytettäisiin sellaisissa tilanteissa, joissa toisen tason analyysit eivät riittäisi toimenpiteiden aloittamiseen. Kolmannen tason analyysit tukisivat siten päätöksentekoa toisen tason analyysijä enemmän. Edellä mainitut kolme tasoa on esitetty kuvassa 16. Esitetyn analyysimallin ohella olisi edelleen tietenkin tärkeää tehdä yksittäisiä tarkasteluja mm. yksittäisissä projekteissa, joiden tuloksia voitaisiin käyttää hyväksi siellä, missä on perus- ja verkkotarkastelujen perusteella nähty tarvetta yksityiskohtaisimmille tarkasteluille.

Seuraavaksi käydään läpi mallissa ehdotetut kolme tasoa ja niiden sisältö.

Perustarkastelu

Ensimmäinen taso sisältäisi jo nykyisin käytössä olevaa perustarkastelua, jolloin tunnuslukuja olisivat mm. täsmällisten saapumisten/lähtöjen määrä, myöhästyneiden junien osuus kaikista junista (tällöin huomioon otettaisiin myös peruutetut junat), eri junatyypin häiriöherkkyys, jolloin saisi kuvaa myös kalustovioista, myöhästymisten kokonaisuudesta syyloukittain ja 10 eniten häiriöitä aiheuttaneen tekijän tarkempi analyysi.

Perustarkastelu tehtäisiin kuukauden välein, kuten tehdään nykyjärjestelmässäkin. Kuukausittaisten yhteenvedojen perusteella kunkin häiriötekijän vaikuttavuuden trendi olisi nähtävissä. Nousevan trendin perusteella tulisi häiriöistä tehdä tarkempia analyysijä mitä pikimmiten. Jos tulosten perusteella häiriöissä olisi jotain epänormaalia, nämä syyt tulisi analysoida erikseen. Kymmenen eniten häiriöitä aiheuttanutta tekijää tulisi jatkossakin analysoida tarkemmin, sillä tällä tavalla olisi mahdollista päästä kiinni suurimpia liikennehäiriöitä aiheuttaviin tekijöihin. Perustarkastelun tavoitteena olisi saada tilannekatsaus koko rataverkon merkittävimpiin häiriöitä aiheuttaviin tekijöihin. Kuukausiyhteenvedon ohella tulisi tehdä myös vuosittaiset yhteenvedotarkastelut.



Kuva 16. Kaaviokuva ehdotuksesta häiriöiden analysoinnin uudistamiseksi. Mallissa lähdetään häiriöiden analysoinnin järjestelmällisyydestä. Tämä johtaa siihen, että ylemmän tason tarkastelut tehdään ennen alemmalle tasolle siirtymistä. Tällaisen toimintamallin avulla voidaan systemaattisesti löytää rataverkolla häiriötä aiheuttavat tekijät.

Verkon tarkastelu

Verkon tarkastelussa ideana olisi tarkastella syntyneitä häiriöitä rataosittain. Rataosajakona voitaisiin pitää JUSE-järjestelmän nykyisiä seuranta-asemia, mutta mahdollisesti myös tarkempaa jakoa, jos tarvittavaa tietoa on saatavilla. Rataosittaisessa tarkastelussa päästäisiin tarkempaan häiriöiden analysointiin, sillä rataosat ovat rakenteeltaan ja luonteeltaan hyvin erilaisia, minkä vuoksi häiriöiden laatu ja määrä riippuvat hyvin paljon tarkasteltavasta rataosasta.

Verkon tarkastelu perustuisi perustarkasteluun, jota tarkennettaisiin verkon yksityiskohtaisemmalla tarkastelulla. Analyysit tehtäisiin samalla tavalla myös rataosittain, jolloin rataosien välille voitaisiin synnyttää eroavuuksia. Ei olisi kuitenkaan välttämättä tehdä yksityiskohtaista analyysiä kymmenestä merkittävimmästä häiriön aiheuttajasta, vaan määräksi riittäisi vähemmän, esimerkiksi 5 kpl, sillä liikennemäärät suurimassa osassa rataverkkoa ovat kuukausitasolla verrattain pienet, jolloin kymmenennen merkittävimmän syyn vaikutus saattaa olla jo hyvin pieni.

Rataosittaisen tarkastelun perusteella voitaisiin tehdä analyysejä kehittämistoimenpiteistä tai analyysejä kunnossapidon tarpeisiin. Rataosittain voitaisiin sanoa, millaisia ongelmia milläkin rataosalla esiintyy eniten, ja mitkä olisivat vaikutukset, jos ongelmiin puututtaisiin. Kuitenkaan kovin tarkkaan analyysiin rataosittaisella analyysillä ei päästäisi, mutta jonkinlaista osviittaa tarkastelu kuitenkin antaisi. Kun kehittämistarpeet olisi rataosittain listattu, voitaisiin niitä sen jälkeen alkaa priorisoida sen mukaan, mitkä olisivat ko. ajan resurssit ja kehittämistarpeet yleensä. Analysointia olisi hyvä painottaa esimerkiksi häiriön vaikuttavuudella eli sillä, mikä on häiriöiden aiheuttama ”kärsimys” matkustajille tai vastaavasti tavaraliikenteelle. Siellä missä vaikutus olisi suuri, voitaisiin ajatella olevan kriittisempää korjata tilannetta kuin siellä, missä häiriön vaikuttavuus on pienempi. Toisaalta myös vähäliikenteisemmillä rataosilla on tärkeää poistaa häiriö, jos rataosa on hyvin häiriöaltis, varsinkin silloin, jos kyseessä ei ole kustannuksiltaan kovin merkittävä teko, mutta myös tapauksissa, joiden vaikutus on erittäin suuri.

Rataosittaisten tarkastelujen teko ei ole kovin työlästä tai vaikeaa tapaustutkimuksen tapaisella menetelmällä. Työmäärä verrattuna esimerkiksi yksittäisiin tarkasteluihin on hyvin paljon pienempi. Jos aineistona käytetään JUSE-järjestelmään kirjautuvaa tietoa, analyysejä on mahdollista tehdä esimerkiksi taulukkolaskelmaohjelmalla ristiintaulukointia hyväksikäyttäen. Tietojen keräämiseen olisi varmasti mahdollista ohjelmoida myös kevyt ohjelma, joka hakisi tiedot automaattisesti järjestelmästä.

Tässä työssä tehtiin rataosittaisesta analyysistä tapaustutkimus, joka on esitetty luvussa 5.

Rataosan tarkastelu

Rataosan tarkastelu tulisi tehdä tarkemmassa kolmannen tason analysoinnissa liikennepaikoittain tai vielä tarkemmin opastinvälitarkkuudella. Tämä tarkastelu perustuisi toisen tason, rataosittaisen tarkastelun tuloksiin, joita olisi syytä analysoida vielä tarkemmin mm. kehitys- tai kunnossapitoinvestointeja silmällä pitäen. Rataosittaisessa tarkastelussa tavoitteena olisi häiriötä aiheuttavan kohteen tunnistaminen ja sen

sijainnin määrittäminen. Keinoja rataosittaisessa tarkasteluissa olisivat matka-aikojen vaihteluiden seuraaminen ja niistä tehty tilastolliset analyysit.

Rataosittainen tarkastelu vaatisi tarkkaa liikenteen toteumatietoa, jolle analyysit perustuisivat. Jos tarkempiin tarkasteluihin haluttaisiin liittää JUSEsta saatavaa syytietoa, JUSEn seuranta-asemia täytyisi lisätä huomattavasti nykytilanteeseen verrattuna. Seuranta-asemien lisääminen olisi itsessään oma projektinsa, sillä kaikille uusille liikennepaikoille pitäisi määrittää tulo- ja lähtöaikojen korjausparametrit. Kuitenkin seuranta-asemien lisäämisellä saavutettaisiin tarkempaa tietoa siitä, missä häiriö on aiheutunut.

Jos tarkasteluja tehtäisiin opastinvälitarkkuudella, toteumadataa tulisi olla saatavilla tarpeeksi. Tällä hetkellä ko. tarkasteluja on mahdollista tehdä Pohjois-Suomen osalta, jossa järjestelmän toimittajana on Mipro Oy. Liikennepaikkaväleittäin tehtävään tarkasteluun verrattuna opastinvälitarkkuudella tehtävillä tarkasteluilla analysointiaineisto olisi yhtä astetta tarkempi ja aineistoa olisi enemmän. Opastinvälitarkkuudella tehtäviä analyysejä olisikin hyvä tehdä, jos mahdollista, vain liikennepaikkavälisen analyysin tueksi.

Kuitenkin jo liikennepaikkaväleittäin tehtävällä analyysillä päästään tarkempaan tulokseen kuin kokonaisen rataosan tarkastelulla. Rataosan tarkemmalla analyysillä voitaisiin tarkentaa investointikohdetta ja kartoittaa sen ongelman poistomahdollisuuksia, samalla kun kustannusarviointi helpottuisi.

Liikennepaikka- tai opastinvälien mukaan tehty analyysi on todennäköisesti työläämpi kuin rataosittaisten tarkastelujen teko. Erilaisten tunnuslukujen saaminen aineistosta ei toisaalta ole muuta kuin taulukkolaskentaohjelman käyttämistä. Aineiston käsittelyyn on kuitenkin varattava aikaa, sillä se on nykyhetkellä muotoiltava taulukointiin sopivaksi. Liikennepaikkavälein tai opastinvälein tehdyistä analyyseistä saadut tulokset ovat hyvin luotettavia lähteitä päätöksenteon tueksi.

Tässä työssä tehtiin tapaustutkimus myös opastinvälitarkkuudella saadusta aineistosta. Tapaustutkimus on esitetty luvussa 6.

5 RATAVERKON HÄIRIÖIDEN TARKASTELU VUODEN 2007 TIETOJEN PERUSTEELLA

5.1 Tutkimusongelman rajaus ja tutkimuksen toteutus

Nykyisin rataverkon häiriöherkkiä alueita ei tunnisteta rataosittain. Suurimmat ongelmat tulevat esille kuukausittaisessa täsmällisyysyhteenvedossa koko rataverkon osalta. Tapaustutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, millä JUSEn seuranta-asemien väleillä kaukoliikenteessä esiintyviä häiriöitä on eniten ja missä ongelmien vaikuttavuus on suurinta. Häiriöherkkiä kohteita selvitettiin yksinkertaisella aikataulupoikkeamien tarkastelulla. Tarkastelua varten koottiin seuraavat tiedot vuoden 2007 osalta:

- Aikataulupoikkeamat liikennepaikkaväleittäin (JUSE)
- Kaukojunien määrä tarkastelluilla väleillä (Turisti-aikataulut 2007)
- Vuoden 2007 matkustajamäärät kaukoliikenteessä (RHK 2008d)

Lähtötiedot ja niistä lasketut tunnusluvut on esitetty liitteessä 4.

Rataverkko jaettiin kaukoliikenteen osalta 50 liikennepaikkaväliin JUSE-järjestelmän seuranta-asemien mukaisesti. Etelä-Suomessa seuranta-asemia on jokseenkin tiheästi, kun taas muualla rataverkolla seuranta-asemia on harvakseltaan. Rataverkolta pyrittiin osoittamaan häiriöherkkiä osuuksia mahdollisimman yksinkertaisilla menetelmillä.

Ensimmäisessä menetelmässä tutkittiin **myöhässä olleiden junien osuutta** kullakin rataosalla kulkeneista junista vuonna 2007. Tarkastelussa käytettiin hyväksi tietoa siitä, kuinka monta myöhästymistapausta kullakin rataosalla oli tallentunut JUSEen (myöhästyneiden junien määrä) ja kuinka paljon junia oikeasti liikennöi kullakin rataosalla. Näin ollen saatiin laskettua myöhästyneiden kaukojunien osuus rataosittain. Myöhästyneiden junien osuuden voidaan ajatella kuvaavan myös **matkustajalle aiheutuvaa myöhästymisen riskiä**. Riski on sitä pienempi, mitä pienempi on myöhässä olevien junien osuus matkalla olevilla rataosilla.

Jotta rataosien myöhästymisiä voitaisiin vähentää, on tiedettävä häiriöiden aiheuttajat. Tätä varten koottiin **viisi merkittävintä häiriötekijää** kullakin rataosalla. Viiden merkittävimmän häiriötekijän ajateltiin kattavan kaikkein merkittävimmät häiriöiden aiheuttajat kullakin rataosalla ja niiden poistamisen parantavan liikenteen täsmällisyyttä huomattavasti. Viisi merkittävintä häiriötekijää laskettiin molempien suuntien liikenteestä yhteensä, jonka vuoksi päätettiin tehdä yksi tarkempi tarkastelu Helsinki–Oulu–Helsinki-välisistä liikenteistä. Tarkastelussa otettiin huomioon vain primääriset myöhästymiset, jotta saataisiin paremmin esille myöhästelyjä aiheuttavat perimmäiset tekijät. Tarkastelun tarkoituksena oli myös tuoda esille häiriöiden suunnittaista merkitystä. Lisäksi tarkastelulla voitiin tarkastella yhtenä kokonaisuutena tarkasteltavien rataosien tulosten luotettavuutta.

Toisessa menetelmässä tutkittiin sitä, mikä muodostui **matkustajien yhteenlasketuiksi myöhästymisminuuteiksi kullakin rataosalla** vuonna 2007. Näin tuli paremmin esille häiriöiden todellinen vaikuttavuus eli se, kuinka moni matkustaja kärsii häiriöistä todellisuudessa. Menetelmällä saatiin esille rataosia, joilla häiriöiden vaikuttavuus on suurta matkustajien näkökulmasta katsottuna. Tämän tarkastelun tavoitteena oli, etteivät

vähemmän liikennöidyt rataosat painottuisi samassa suhteessa kuin myöhässä olevien junien osuutta tutkittaessa. Rataosat, joissa myöhästymisminuuttien määrä oli suuri, olivat ongelmallisia kohteita. Tällä tarkastelutavalla vähäliikenteiset rataosat eivät korostuneet tuloksissa, kuten myöhästyneiden junien osuutta tarkasteltaessa.

Häiriöiden vaikuttavuuden tarkastelussa käytettiin hyväksi kullakin rataosalla matkustajille aiheutuneiden myöhästymisminuuttien summaa. Matkustajille aiheutuneiden myöhästymisminuuttien kokonaiskeston laskemiseksi piti tehdä muutamia yleistyksiä. Tuloksia saattaa hieman vääristää oletus, jonka mukaan myöhästyneitä junia ja myöhästyneitä matkustajia on samassa suhteessa. Menettelyyn jouduttiin, koska matkustajatietoja ei ole tällä hetkellä junittain, vaan ainoastaan vuosittaisina kokonaismatkustajamäärinä. Myöhästyneiden matkustajien määrä laskettiin kertomalla myöhässä olevien junien osuus vuoden 2007 matkustajamäärällä. Käytännössä eri junissa eri aikoina päivää matkustajamäärä vaihtelee. Tässä tarkastelussa jouduttiin käyttämään oletusta, että kaikissa junissa kulkee saman verran matkustajia. Vaikutus tuloksiin ei ole merkittävä, sillä aineisto on suuri, mistä johtuen jokaiselle viikonpäivälle ja kuukaudelle, jolloin junat ovat liikennöineet kullakin rataosalla, on tallentunut paljon häiriötietoja.

Jotta matkustajille aiheutuvan myöhästymisen kestosta oli mahdollista saada jonkinlainen kuva, tutkittiin, kuinka suuria myöhästymiset keskimäärin olivat kullakin rataosalla. Jos keskimääräinen myöhästymisen kesto oli hyvin pieni, oletettavasti rataosalla oli syntynyt paljon ns. lisämyöhästymisiä, joihin JUSE vaatii syykoodia. Keskimääräisen myöhästymisen kesto ei kuitenkaan kerro koko totuutta, minkä vuoksi myöhästymisiä tarkasteltiin myös persentiilien avulla.

5.2 Rataosilla esiintyneiden häiriöiden tarkastelu kaukojunien osalta

5.2.1 Myöhästyneiden kaukojunien osuus

Kuva 17 esittää myöhästyneiden kaukojunien suhteellista osuutta liikennepaikkojen välillä koko rataverkon osalta vuonna 2007. Myöhästyneet junat ovat seuranta-asemien välillä joutuneet häiriötekijän kohteeksi, jolloin kyseiseltä seuranta-asemien väliltä on kirjautunut myöhästymisen JUSEen. Jokainen myöhästymisen merkitsee yhden junan myöhästymistä, sillä vain yksi myöhästymisen per juna kirjataan kullakin JUSEn seuranta-asemaväliltä.

Suhteellisesti eniten aikataulustaan myöhässä olevia junia on Oulu–Kontiomäki välisellä rataosalla sekä Kajaani–Iisalmi ja Jämsä–Jyväskylä välisillä rataosilla. Vähintään viidennes junista on myöhässä myös Kemi–Kolari, Kemi–Rovaniemi, Kokkola–Oulu, Parkano–Seinäjoki ja Haapamäki–Seinäjoki välisillä rataosilla. Näistä vilkkaimmin liikennöityjä rataosia ovat Parkano–Oulu välillä olevat rataosat Parkano–Seinäjoki, Seinäjoki–Kokkola, Kokkola–Ylivieska ja Ylivieska–Oulu.

5.2.2 Häiriöiden merkittävimmät syyt

Myöhästelyjä aiheuttavia syitä tarkastelemalla saadaan kuva ko. tarkasteluvälillä yleisimmistä häiriötekijöistä. Liitteessä 5 on esitetty seuranta-asemien välisten rataosien viisi tärkeintä häiriönaiheuttajaa. Niistä lähempään tarkasteluun on poimittu edellä mainitut rataosat, joilla myöhästyneiden junien osuus on vähintään 20 %.

Taulukko 8. Viisi merkittävintä häiriötekijää (JUSEn syykoodien mukaan) rataosilla, joilla myöhästyneiden junien osuus on vähintään 20 %.

OL-KON			KAJ-ILM			TPE-JÄS		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	61 %	52 %	R1	52 %	71 %	L2	48 %	41 %
R1	12 %	21 %	L2	17 %	10 %	K5	23 %	26 %
P1	9 %	3 %	P1	14 %	4 %	R3	7 %	12 %
M6	6 %	10 %	M6	3 %	5 %	J5	4 %	4 %
L4	2 %	4 %	P7	3 %	1 %	P1	2 %	2 %
n=	10 284	1276	n=	6342	1356	n=	14 216	2613
KEM-KLI			KEM-ROI			HPK-SK		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	14 %	29 %	L2	40 %	38 %	L2	42 %	36 %
I1	8 %	9 %	R3	20 %	26 %	R3	8 %	12 %
I4	7 %	7 %	R1	14 %	20 %	M1	6 %	10 %
O2	12 %	7 %	I1	2 %	3 %	M6	5 %	9 %
P1	24 %	7 %	P1	8 %	3 %	R1	4 %	9 %
n=	836	69	n=	7074	948	n=	4020	489
KOK-YV			YV-OL			PKO-SK		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
R1	31 %	42 %	L2	67 %	66 %	R3	25 %	32 %
L2	35 %	26 %	R1	8 %	14 %	R1	17 %	24 %
R3	18 %	22 %	M6	3 %	5 %	L2	28 %	23 %
P1	7 %	4 %	P1	3 %	2 %	J5	5 %	6 %
M6	1 %	1 %	V2	3 %	1 %	I1	2 %	2 %
n=	10 744	2072	n=	11 644	1836	n=	8334	1792

Syykoodeista L2 (myöhästymisen syynä junakohtaus, edellä kulkeva juna tai sivuutus) oli edustettuna jokaisessa myöhästymistapauksessa. Tämä tarkoittaa, että junalle aiheutunut häiriö ko. rataosalla oli aiheutunut toisesta junasta ja häiriö on

sekundäärinen. L2-syy oli kolmessa tapauksista syynä yli 50 % junien myöhästymisistä, jota voidaan pitää erittäin merkittävänä. Esimerkiksi rataosalla Ylivieska–Oulu 66 % kaikista myöhästymistapauksista ja 67 % kaikista rataosalla syntyneistä myöhästymisminuuteista aiheuttivat sekundäärisyyt. Sekundäärisistä syistä johtuvien häiriöiden perimmäistä syytä on vaikea todeta, mutta kuvan 17 ja liitteen 4 avulla myöhästymistä voidaan tulkita esimerkiksi seuraavaa.

Iisalmi–Kajaani-rataosalla oli paljon tilapäisistä nopeusrajoituksista aiheutuneita häiriöitä (syykoodi R1). Kuopio–Iisalmi-rataosalla ei kuitenkaan ollut tilapäisistä nopeusrajoituksista johtuvia häiriöitä juurikaan, mutta sekundääristen myöhästymisten määrä oli hyvin korkea. Näin ollen voidaan olettaa, että Kuopio–Iisalmi-rataosan sekundääriset myöhästymiset johtuivat ainakin osaksi Iisalmi–Kajaani välisestä radan nopeusrajoituksista.

Myös Kokkola–Ylivieska-rataosalla havaitut primääriset syyt näyttivät heijastuvan läheisille rataosille sekundäärisinä viipeinä. Kokkola–Ylivieska-rataosalle pääsyitä olivat tilapäiset nopeusrajoitukset (syykoodi R1) sekä radan kunnossapito- ja rakennustyöt (syykoodi R3) sekundääristen syiden ohella. Myös Ylivieska–Oulu ja Seinäjoki–Kokkola-rataosilla suurimmat myöhästymissyöt olivat sekundäärisiä. Näin voidaan jälleen olettaa, että suurin osa Seinäjoki–Kokkola ja Ylivieska–Oulu välisistä sekundäärisistä myöhästymisistä on aiheutunut Kokkola–Ylivieska-rataosalla tehdyistä ratatöistä ja niiden vaatimista nopeusrajoitusten alentamisista.

5.2.3 Yksityiskohtainen tarkastelu väleiltä Helsinki–Oulu ja Oulu–Helsinki

Yksityiskohtaiseen tarkasteluun valittiin Helsingin ja Oulun väliset rataosuudet eli ns. päärata. Tarkastelu tehtiin erikseen molemmille suunnille. Tarkastelussa ei tutkittu sekundäärisiä myöhästymisiä, jotka esittivät hyvin suurta roolia merkittävien häiriöitä aiheuttaneiden syiden taulukoissa. Sen sijaan pyrittiin pääsemään kiinni myös sekundäärisiä myöhästelyjä aiheuttaviin primäärisiin tekijöihin. Menetelmällä saatiin osviittaa myös siitä, kannattaako rataosalla suunnittain syntyviä häiriöitä tarkastella samanaikaisesti vai olisiko parempi tarkastella molempia suuntia erikseen.

Taulukossa 9 on kuvattuna pääradalla vuoden 2007 merkittävimmät primääriset häiriöiden aiheuttajat. Rataosittaisten tuloksien vertailun perusteella jokaisella rataosalla on omat ominaiset ongelmansa. Tarkastelussa rataosien merkittävimpien myöhästymissyiden järjestys vaihtelee suuresti suunnittain. Samoja myöhästymissyitä on kuitenkin havaittavissa molempien suuntien liikenteessä. Myöhästymisten kokonaisuudesta noin 54 % ja tapauksista noin 59 % tapahtui pohjoiseen päin suuntautuvassa liikenteessä.

Taulukko 9. Vuoden 2007 primääristen myöhästymisten yksityiskohtainen tarkastelu Helsinki–Oulu välillä. Taulukkoon on kerätty 5 merkittävintä häiriönaiheuttajaa kullakin rataosalla suunnittain.

Hki-Tkl			Tkl-Ri			Ri-HI			HI-TI		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
M6	27 %	53 %	O1	33 %	14 %	S2	28 %	1 %	K5	42 %	56 %
P1	23 %	7 %	P1	27 %	45 %	K5	25 %	42 %	J5	28 %	32 %
K7	21 %	9 %	P3	15 %	29 %	J5	22 %	34 %	P1	12 %	5 %
M1	16 %	28 %	V2	14 %	9 %	P1	15 %	6 %	V2	11 %	1 %
V2	13 %	3 %	V4	11 %	3 %	R3	10 %	17 %	K7	7 %	6 %
n=	1278	251	n=	1912	231	n=	2422	675	n=	3038	966

Tkl-Hki			Ri-Tkl			HI-Ri			TI-HI		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
L3	59 %	47 %	P1	42 %	23 %	J5	30 %	27 %	K5	40 %	46 %
M6	15 %	25 %	O1	23 %	10 %	R1	27 %	29 %	J5	36 %	38 %
L4	15 %	23 %	J5	14 %	38 %	K5	20 %	21 %	P1	11 %	5 %
P1	6 %	2 %	P3	11 %	11 %	R3	15 %	15 %	I4	7 %	7 %
R3	4 %	3 %	M3	11 %	18 %	I4	8 %	7 %	K7	7 %	4 %
n=	2552	711	n=	1694	245	n=	4508	1727	n=	2540	1031

TI-Tpe			Tpe-Pko			Pko-Sk			Sk-Kok		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
K5	37 %	48 %	P1	68 %	57 %	R3	35 %	46 %	P1	28 %	22 %
J5	21 %	24 %	P2	11 %	10 %	R1	27 %	37 %	R3	26 %	37 %
L3	16 %	8 %	I1	9 %	20 %	P1	16 %	5 %	R1	19 %	35 %
R3	13 %	16 %	K1	8 %	6 %	V2	11 %	4 %	V2	17 %	4 %
P1	12 %	4 %	I3	4 %	8 %	L4	11 %	9 %	K7	11 %	3 %
n=	5078	1489	n=	475	85	n=	1449	336	n=	2118	277

Tpe-TI			Pko-Tpe			Sk-Pko			Kok-Sk		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
J5	25 %	24 %	P1	39 %	39 %	R3	45 %	48 %	P1	55 %	44 %
R3	24 %	32 %	L3	24 %	33 %	R1	31 %	36 %	R1	14 %	25 %
K5	19 %	22 %	V2	16 %	16 %	J5	11 %	9 %	L4	12 %	22 %
M6	16 %	17 %	K7	12 %	11 %	P1	9 %	3 %	V2	11 %	4 %
P1	16 %	5 %	O1	8 %	2 %	I4	4 %	4 %	R2	8 %	5 %
n=	6184	2073	n=	782	124	n=	4574	1045	n=	1581	243

Kok-Yv			Yv-OI		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
R1	48 %	54 %	R1	42 %	57 %
R3	36 %	39 %	L4	18 %	18 %
P1	11 %	5 %	L3	15 %	7 %
V2	3 %	1 %	M6	14 %	14 %
M6	2 %	2 %	I4	11 %	3 %
n=	4039	845	n=	2492	428

Yv-Kok			OI-Yv		
Syykoodi	min %	kpl %	Syykoodi	min %	kpl %
R1	56 %	70 %	R1	24 %	44 %
R3	23 %	22 %	V2	22 %	5 %
P1	14 %	6 %	P1	21 %	10 %
V2	4 %	1 %	M6	19 %	34 %
K7	2 %	0 %	K7	6 %	3 %
n=	2921	688	P2	6 %	5 %
			n=	1392	196

Primäärisyiden suunnittaisessa tarkastelussa tarkasteltiin myös sekundääristen myöhästymisten osuutta kaikista myöhästymisistä. Liitteessä 6 on kuvattu primääristen häiriöiden osuudet sekä keston että tapausten osalta Helsinki–Oulu ja Oulu–Helsinki suunnilla. Tarkastelut viittaavat siihen, että suunnittaista tarkastelua kannattaisi tehdä. Yksiraitaisilla rataosilla voidaan tehdä myös molempien suuntien yhtäaikaista tarkastelua, jolloin esiin saadaan eniten ko. rataosalla häiriöitä aiheuttavat tekijät. Kaksitai useampiraitaisella rataosalla molempien suuntien yhtäaikaisella tarkastelulla saadaan myös merkittävimmät häiriötekijät nostettua esille, mutta suunnittaisen tarkastelun hyödyntäminen antaa kokonaistarkastelulle paljon lisäarvoa sen vuoksi, että junat käyävät samansuuntaisessa liikenteessä yleensä samoja raiteita.

5.3 Kaukojunien myöhästymisten vaikuttavuus

5.3.1 Myöhästymisten vaikuttavuus matkustajiin

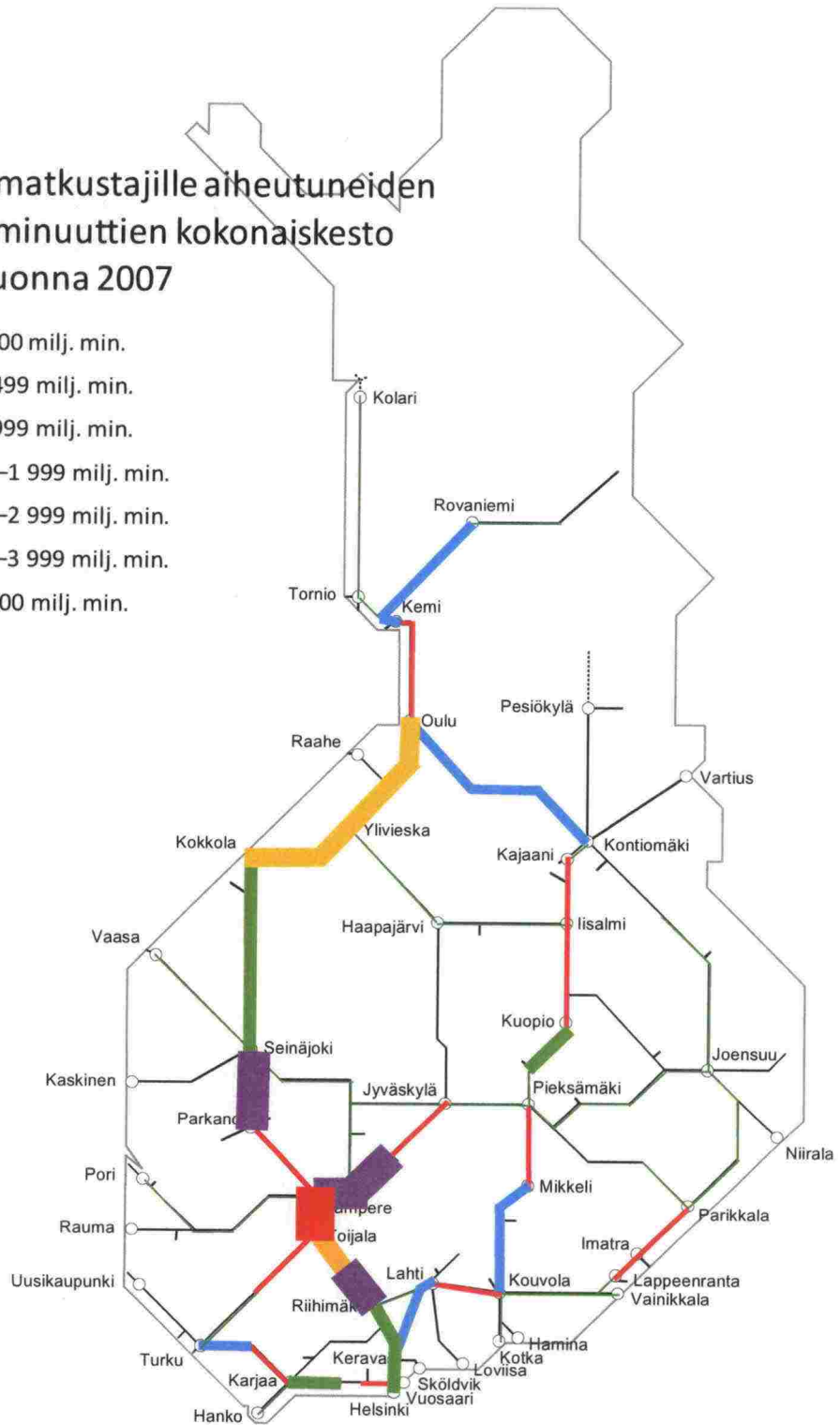
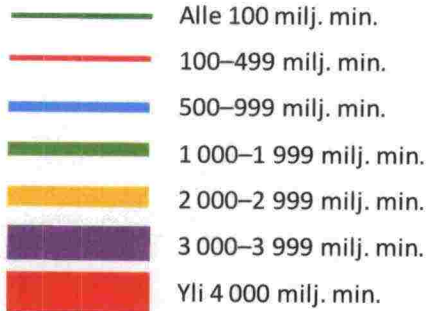
Kuva 18 esittää kaukojunissa matkustajille aiheutuneiden myöhästymisminuuttien kokonaiskestoja rataosittain vuonna 2007. Kuvan mukaan myöhästymisminuuttien kokonaismäärä on suurin Toijala–Tampere-rataosalla. Rataosa erottuu muista rataosista selkeästi myöhästymisminuuttien kokonaiskeston osalta, kokonaiskesto oli 7 344 miljoonaa minuuttia, kun se muissa selkeissä ongelmakohdissa oli alle 4 000 miljoonaa minuuttia. Tällaisella tarkastelumenetelmällä kokonaismyöhästymisminuuttimäärä on korkea juuri vilkkaasti liikennöidyillä rataosilla, sillä myöhästymisminuutit kertaantuvat helposti suuren matkustajamäärän vuoksi. Kuitenkaan kaikilla vilkkaasti liikennöitävillä rataosilla tai rataosilla, joilla matkustajamäärät ovat suuret, ei myöhästymisminuuttimäärä nouse kovin korkealle. Tämä viittaa siihen, että ko. rataosilla ei häiriöherkkyys ole kovin suuri.

Häiriöiden vaikuttavuuden vähydessä erottuvat rataosat Helsinki–Kirkkonummi ja Helsinki–Lahti–Kouvola–Luumäki (Lappeenrannan ja Vainikkalan liikenne). Näillä rataosilla matkustajamäärät ovat korkeat, mutta myöhästymisminuuttien määrä suhteessa matkustajamäärään melko pieni.

Vilkkaimmin liikennöidyillä rataosilla on myös rataosia, joiden kokonaismyöhästymisminuuttimäärä on hyvin korkea suhteessa matkustajamäärään. Tällaisia ovat mm. pääradan osuudet Hämeenlinna–Riihimäki–Toijala–Tampere, Parkano–Seinäjoki ja Kokkola–Ylivieska–Oulu sekä Tampere–Jämsä.

Kokonaismyöhästymisminuuttien ohella myös keskimääräinen myöhästymisen kesto kertoo liikennepaikan häiriön laadusta. Jos häiriöt aiheuttavat liikenteelle vain vähäisiä täsmällisyysongelmia, pysyy rataosan keskimääräinen myöhästymisen kesto alhaisena. Jos häiriöt ovat vakavuudeltaan suuria, on niiden aiheuttamat myöhästymisetkin suuria.

Kaukojunissa matkustajille aiheutuneiden myöhästymisminuuttien kokonaiskesto rataosittain vuonna 2007



Kuva 18. Vuonna 2007 kaukojunissa matkustajille aiheutuneiden myöhästymisten kokonaiskesto rataosittain. Kuva kertoo, missä päin rataverkolla häiriöiden vaikuttavuus on suurinta ja missä pienempää. Tarkastelulla voidaan välttää vähemmän liikennöityjen rataosien painotusta vilkkaammin liikennöityjen rataosien kustannuksella.

5.3.2 Myöhästymisten kesto rataosittain

Taulukossa 10 on esitetty vuoden 2007 osalta kaukojunien keskimääräiset myöhästymisten kestot ja myöhästymisten keston mediaani rataosittain. Junien keskimääräisestä myöhästymisestä voidaan nähdä, että suurimmat keskimääräiset myöhästymisen kestot ovat vähemmän liikennöidyillä radoilla. Vastaavasti suurin osa häiriöistä, jotka keskimääräiseltä kestoiltaan ovat pienimpiä, kuuluvat vilkkaasti liikennöitäviin rataosiin.

Taulukko 10. Kaukojunien keskimääräiset myöhästymisten kestot sekä myöhästymisten mediaanit rataosittain vuonna 2007.

Rataosuus	Junan kesk.määr. myöh. [min]	Myöh. mediaani [min]	Rataosuus	Junan kesk.määr. myöh. [min]	Myöh. mediaani [min]	Rataosuus	Junan kesk.määr. myöh. [min]	Myöh. mediaani [min]
HKI-TKL	3,9	3	HPK-JY	6,7	3	PAR-SL	10,1	8
TKL-RI	5,8	4	TPE-JÄS	5,4	5	LPR-IMR	4,8	4
TKL-LH	6,3	5	JÄS-JY	5,4	5	IMR-PAR	7,3	4
LH-KV	7,8	4	TPE-PKO	4,8	4	KV-LPR	6,4	4
RI-HL	6,0	4	PKO-SK	4,7	4	KV-MI	7,0	5
RI-LH	3,1	2	SK-VS	9,4	7	MI-PM	7,4	5
HL-TL	3,2	2	SK-KOK	6,7	5	PM-KUO	7,6	5
TL-TPE	3,3	2	KOK-YV	5,2	4	KUO-ILM	6,3	5
LM-TL	6,0	5	YV-ILM	14,2	13,5	PM-JNS	13,7	9
TKU-LM	5,4	4	KAJ-ILM	4,7	4	JNS-NRM	14,0	8
HKI-EPO	4,7	4	KON-KAJ	3,0	2	KV-KTS	6,6	5
EPO-KKN	6,0	3	OL-KON	8,1	6	KV-VNA	6,6	5
KKN-KR	7,0	5	YV-OL	6,3	5			
KR-HNK	7,7	6	OL-KEM	12,8	5			
KR-SLO	4,3	3	KEM-KLI	12,1	7			
SLO-TKU	4,7	4	KEM-ROI	7,5	6			
TPE-PRI	10,2	6	ROI-KJÄ	13,4	6			
HPK-SK	8,2	6	PM-JY	7,6	4			
TPE-HPK	8,4	7	PAR-JNS	7,9	5			

Taulukossa on lihavoitu ne rataosat, joiden myöhästymisen keskimääräinen kesto ja myöhästymisten mediaani poikkeavat selvästi toisistaan (keskimääräinen myöhästymisen kesto vähintään kaksinkertainen mediaaniin verrattuna). Lihavoituissa tapauksissa voidaan olettaa sattuneen hyvin suuria häiriöitä. Näiden häiriöiden kesto on ollut pitkä, joten ne ovat vaikuttaneet keskimääräisen myöhästymisen kesto suuressi. Ko. rataosilla on ollut paljon vähäisiä häiriöitä, jotka ovat vaikuttaneet junan täsmällisyyteen vain vähän, mutta lisäksi suuria häiriöitä, joiden vaikutus tilastollisesti on ollut erittäin suuri. Lihavoituilla rataosilla kulkeneiden myöhästyneiden junien kokonaismäärä ei ole ollut kovin suuri eikä ko. rataosilla kulkeneiden matkustajien yhteenlasketut myöhästymisminuutitkaan ole erityisen suuret. Monesti luvut ovat keskimääräistä selvästi pienempiä.

Myöhästymisten kestojen hajautumista tutkittiin lisää persentiilien avulla. Liitessä 7 on esitetty persentiilitarkastelun tulokset rataosittain. Tarkastelussa käytettiin 10., 25., 50., 75. ja 90. persentiilejä. Persentiilien avulla havaitaan, kuinka suuri myöhästymisen on maksimissaan esimerkiksi 25 % tapauksista tai 75 % tapauksista. Tuloksista päätellen voidaan yhtyä edellä esitettyihin havaintoihin, eli siellä missä liikennettä ja myöhästymistapauksia on vähemmän, siellä 90. persentiili sisältää huomattavasti suurempia myöhästymisiä kuin vilkkaammin liikennöidyillä rataosilla. Tämä viittaa myös siihen, että vilkkaasti liikennöidyillä rataosilla syntyy paljon ns. lisämyöhästymisiä, joiden kesto on lyhyt.

5.4 Yhteenveto tuloksista ja käytetyistä menetelmistä

Myöhästyneitä kaukojunia tarkasteltaessa korostuivat vähäliikenteisillä rataosilla liikennöivien junien myöhästelyt. Määrällisesti pääradalla Helsingistä Ouluun esiintyi Tampere–Parkano-osuutta lukuun ottamatta erittäin paljon myöhästymisiä. Selittävä tekijää ei Tampere–Parkano välisellä osuudella ollut havaittavissa, varsinkaan koska rataosa pohjoiseen on yksiraiteinen ja Tampereelta etelään rataosat ovat kaksi- tai useampiraiteisia. Rantaradalla häiriöiden määrä nousi Kirkkonummen jälkeen merkittävästi rataosilla, jotka olivat yksiraiteisia. Rantaradalla kaksi- tai useampiraiteisen rataosan merkitys tuli esiin täsmällisemmän liikenteen osalta. Toki myös muut tekijät vaikuttavat rataosien häiriöherkkyyteen kuin raiteiden määrä.

Siellä, missä on matkustajia, häiriöiden vaikutus suurenee. Tarkastelun perusteella kävi ilmi, etteivät pääkaupunkiseudulla kaukojunilla matkustavat kohtaa niin paljon häiriöitä kuin esimerkiksi Tampereen läheisyydessä matkaavat, vaikka kaukoliikenteen lisäksi raiteilla liikennöi paljon lähiliikennettä. Myös Lahteen ja Kouvolaan suuntaavat matkustajat pääsivät vähemmällä häiriöllä kuin pääradalla kulkijat. Tähän saattaa vaikuttaa varsinkin Lahden osalta oikorata ja sen uudet nykyaikaiset rakenteet. Parkano–Seinäjoki-osuus osoittautui Tampereen pohjoispuolen häiriön vaikutuksiltaan suurimmaksi. Lisäksi Tampere–Jämsä-rataosalla näytti olleen selvästi keskimääräistä enemmän häiriöitä.

Tarkastelujen tuloksia voitiin verrata myös etukäteen asiantuntijoiden määrittelemiin välityskyvyiltään kriittisiin rataverkon osiin. Ongelmallisiksi alueiksi oli määritetty Seinäjoki–Oulu, Oulu–Kontiomäki, Helsinki–Riihimäki sekä Kouvola–Imatra rataosat. Kun edellä mainittuja rataosia vertasi aiemmin esitettyihin tarkastelun tuloksiin, voidaan todeta, että häiriötarkasteluiden perusteella Seinäjoki–Oulu- ja Oulu–Kontiomäki-rataosat ovat hyvin kriittiset. Kuitenkaan Helsinki–Riihimäki- ja Kouvola–Imatra-rataosat eivät tarkastelujen valossa nousseet erityisen kriittisiksi.

Tarkastelemalla myöhästyneiden junien osuutta rataosittain voidaan havaita, missä osissa rataverkkoa liikenteellä ilmenee ongelmia. Junien osuus ei kerro kaikkea, vaan samalla pitäisi myös huomioida myöhästymistapausten määrä. Jos rataosalla näyttää olevan suuria ongelmia, kuten esimerkiksi rataosalla Kontiomäki–Oulu, tulisi ongelman syy selvittää. Kyseissä tapauksessa ongelmat johtuivat suureksi osaksi siitä, että rataosan aikataulut oli laadittu radan suurimmalle nopeudelle 140 km/h, kun radalla pystyttiin ajamaan vain nopeudella 120 km/h.

Tarkastelemalla matkustajille aiheutuneiden myöhästymisminuuttien kokonaismäärää kullakin rataosalla erikseen voidaan saada hyvää tietoa siitä, missä rataverkon osilla häiriöiden vaikuttavuus on suurinta. Menetelmää käyttäen vähemmän liikennöidyt rataosat eivät tule esille yhtä vahvasti kuin myöhästyneiden junien osuuksia tarkasteltaessa. Vaikuttavuuden perusteella rataosien kehitys- ja kunnossapitotoimet rataosilla on mahdollista perustella.

Yhdistäen edellä esitetyt kaksi menetelmää häiriöiden analysoimisessa, häiriöiden paikantaminen ja häiriöiden vaikuttavuuden arvioiminen, saadaan erittäin hyvää tietoa siitä, missä häiriöt aiheutuvat ja vaikuttavat eniten junaliikenteeseen. JUSEn seuranta-asemia lisäämällä tieto häiriöistä tarkentuu ja niihin on helpompi päästä käsiksi.

6 YKSITYISKOHTAINEN TARKASTELU VÄLILTÄ HIRVINEVA-LIMINKA-KEMPELE

6.1 Tutkimusongelman rajaus ja tutkimuksen toteutus

Tapaustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko häiriötietoa saada junien kulun toteumatiedoista helposti ja tehokkaasti, kun toteumatietoa analysoidaan tarkemmin tilastollisin menetelmin. Tutkimuksen tarkoitus oli myös tutkia, oliko tutkitulla aikavälillä tarkastelualueella sattunut häiriöitä ja samalla myös paikantaa ne oikeaan kohtaan.

Kuten jo aiemmissa kappaleissa on tullut esille, ei edes nykyisestä JUSE-järjestelmästä ole mahdollista saada analysoitavaa tietoa opastinvälitarkkuudella eikä liikennepaikkaväleittäin, vaan tietoa on saatavilla ainoastaan järjestelmään määritettyjen seuranta-asemien tarkkuudella. Jotta häiriökohtaan päästään tarkasti kiinni, junien kulkua olisi hyvä tarkastella vähintään liikennepaikkaväleittäin.

Tutkimuksen kohde valittiin sen perusteella, että toteumatietoa olisi mahdollista saada helposti. Toteumatiedon tuli olla myös tarkkaa, jotta sen analysointi olisi mielekästä tehdä. Toisaalta tutkittavalla paikalla tuli olla myös mahdollisimman paljon liikennettä, varsinkin tarkasti aikatauluun sidottua henkilöjunaliikennettä. Jokainen tarkastelualueella kulkenut juna piti voida erikseen yksilöidä tutkittavan aineistosta. Näitä kriteerejä käyttäen päädyttiin valitsemaan tarkasteltavaksi alueeksi Hirvineva-Liminka-Kempele välinen rataosuus.

Tutkittava alue kuului Oulun kauko-ohjausjärjestelmään, jossa Mipro Oy on järjestelmätoimittajana. Mipro Oy:n toimittamasta järjestelmästä on mahdollista saada junien kulusta sekunnin tarkkaa toteumatietoa junanumerotarkkuudella.

Tarkastelut tehtiin sekunnintarkasta toteumatiedosta. Toteumatieto kertoi opastinvälien varautumis- ja vapautumishetken. Tarkastelualueella junan kulku saadaan tietoon raidevirtapiirin syntyvän oikosulkureaktion perusteella, joka näkyy datassa opastinvälien varautumis- ja vapautumisaikana.

Tarkasteltavien liikennepaikkojen todellista aikataulua ei kyseiseltä ajanjaksolta voitu määrittää täysin tarkasti, sillä liikennepaikat eivät olleet JUSEn seuranta-asemia. Tämän vuoksi myöskään ns. korjausarvoja tuloraiteen varautumishetkestä ja junan oikeasta saapumisesta asemalle ei ollut laadittu (Blomqvist 2008). Tarkasteltavien junien aikataulunmukainen saapumisaika tarkastelluille liikennepaikoille määritettiin graafisesta aikataulusta.

Tutkimusaineistosta tehtiin seuraavia analyysejä:

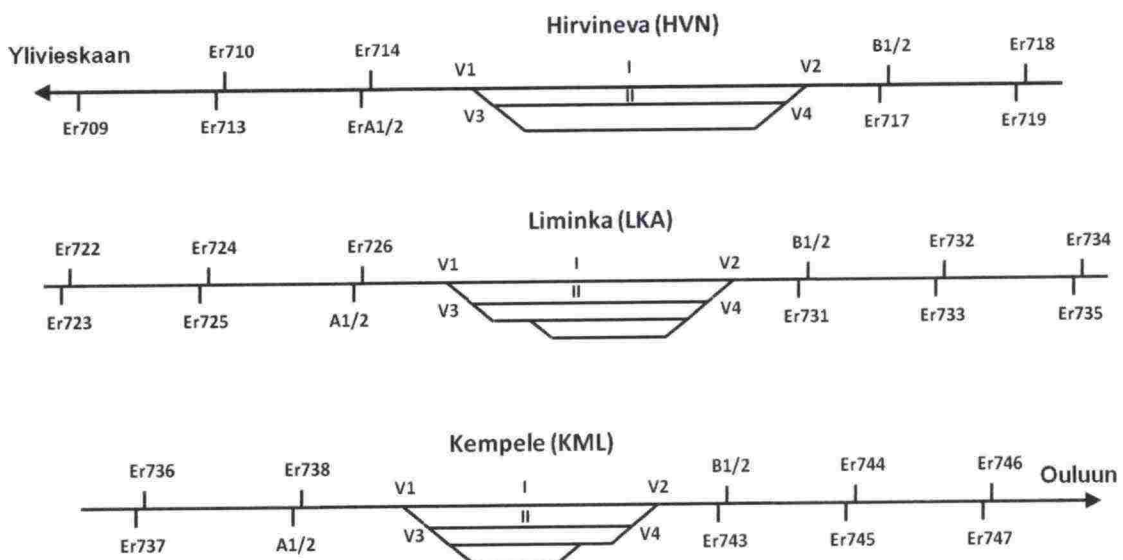
- junien aikataulunmukainen ajo ja aikataulupoikkeamat
- kohtaamisten ja suoraan ajon merkitys
- otokseen valittujen junien varautumishetken keskihajonta
- kaukoliikenteen ja tavaraliikenteen vertailu.

6.2 Tapaustutkimuksen kohde

Tapaustutkimus sijoittui pääradalle, Oulun eteläpuolella peräkkäin sijaitseville liikennepaikoille Hirvineva, Liminka ja Kempele. Lisäksi tarkastelussa olivat Hirvineva–Liminka ja Liminka–Kempele väliset rataosuudet sekä muutamat opastinvälit Hirvinevan eteläpuolella ja Kempeleen pohjoispuolella. Tutkimuksessa tarvittava aineisto oli ajalta 25.1.–24.2.2008. Tarkasteluaikana tavarajunien ja kaukojunien aikataulut noudattivat ajanjaksolle 14.1.–24.2.2008 määritettyä aikataulua. Aikataulu on esitetty liitteessä 8. Liitteessä olevaan aikatauluun on korostettu tarkastellut junat ja niiden kohtaamiset.

Tarkastelualueella ei tutkimuksen aikana ollut asematoimintaa eli kaukojunat eivät pysähtyneet ottamaan matkustajia tai päästämään heitä ulos näillä liikennepaikoilla. Kaukojunat ja tavarajunat pysähtyivät tarkastelluilla liikennepaikoilla vain kohtaamistilanteissa. Tällä tavalla tutkimuksesta voitiin rajata matkustajista aiheutuvat viipeet pois kyseisiltä liikennepaikoilta.

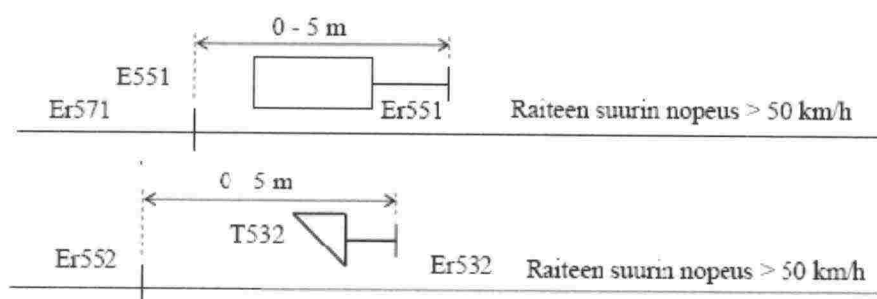
Kuvassa 19 on esitetty yksinkertaistettu raidekaavio tapaustutkimusalueesta. Alueella Hirvinevan eteläpuolella on 2 raideosuutta ennen tulo-opastinta, Limingan eteläpuolella 4 raideosuutta, Kempeleen eteläpuolella 4 raideosuutta ja Kempeleen pohjoispuolella 2 raideosuutta. Raideosuudet on merkitty kuvassa Er-kirjainosalla sekä kyseistä kohta vastaavalla raidekilometrillä. Tutkimuksessa käytettiin raideosuuden välin määrittämiseen parittomien raidekilometrien määrittelemää väliä. A-kirjaimen osoittama raideosuus sijaitsee pohjoiseen mentäessä ennen liikennepaikan pää- ja sivuraiteita, B-kirjaimen osoittama raideosuus on ko. pää- ja sivuraiteita seuraava raideosuus. I tai II merkityt raideosuudet merkitsevät liikennepaikan pää- ja sivuraiteita. Tarkastelualueella I-raide on pääraide ja II- ja mahdolliset III-raiteet ovat sivuraiteita, joilla kohtaustilanteissa väistävä juna odottaa ohittavaa junaa.



Kuva 19. Yksinkertaistettu raidekaavio tutkimuskohteesta. Numeroin merkityt alueet viittaavat opastimiin, jotka varautuvat ja vapautuvat junan kulun mukaisesti. Liikennepaikalla olevat roomalaisin numeroin osoitetut kohdat kuvaavat pääraidetta (I) ja sivuraidetta (II). V-kirjaimella varustetut kohdat kuvaavat vaihteita.

Tutkittavalla rataosalla raiteen vapaana olo varmistetaan raidevirtapiirijärjestelmän avulla. Toinen yleisesti käytettävä menetelmä on akselinlaskenta, joka nimensä mukaan perustuu laitteen yli kulkevien junan akseleiden laskemiseen. Molempien järjestelmien avulla varmistetaan suunnilleen, missä junat kulkevat systeemin rajaamalla alueella, ja täten varmistetaan junan kulun turvallisuus. Junan täsmälliseen seurantaan järjestelmät eivät kuitenkaan sovellu. Molemmissa järjestelmissä tiedetään, milloin juna on ohittanut raideosuuksien reuna-alueet ja milloin juna on seuraavalla osuudella. Reaaliseuranta ei ole kuitenkaan mahdollista. Jos junaan vaikuttaa häiriö, se pystytään parhaimmassa tapauksessa rajaamaan yhdelle raideosuudelle. Junan sijainnista tiedetään siis, millä opastinvälillä juna on, mutta junan tarkkaa sijaintia opastinvälillä ei pystytä tarkalleen osoittamaan.

Raidevirtapiirijärjestelmässä junan seuranta perustuu raidevirtapiirissä syntyvään oikosulkuun sillä hetkellä, kun juna saapuu ko. raideosuudelle. Oikosulku purkautuu, kun juna poistuu kyseiseltä raideosuudelta. Purkautumishetki on samalla myös kyseisen raiteen vapautumishetki. Raidevirtapiirin luomiseksi kiskot on eristettävä toisistaan ja maasta. Tarkkaa raide-eristyksen sijaintikohtaa ei tutkimuksessa ollut käytössä. Raide-eristyksen sijainti on esitetty kuvassa 20. Sen mukaan raiteella, jonka suurin nopeus on yli 50 km/h, saa pää- tai raideopastimen kohdalla oleva raideosuuden päättävä raide-eristys olla enintään 5 metrin etäisyydellä opastimesta (RHK 2007a). Tutkittavalla alueella eristys saattaa olla käytännössä myös hieman pidemmällä, sillä eristyksen rakennusaikana kyseiset rajoitukset eivät olleet voimassa (Lehikoinen 2008).



Kuva 20. Raidevirtapiirin raide-eristyksen sijainti pääopastimeen (yläpuoli) ja raideopastimeen (alapuoli) nähden raiteella, jonka nopeus on yli 50 km/h.

6.3 Lähtötiedot

6.3.1 Tarkasteltavat junat

Tapaustutkimukseen valittiin sekä kaukojunia että tavarajunia. Suurimmalla osalla junista oli aikataulun mukaan kohtaaminen jossain kolmesta tutkimusalueen liikennepaikasta. Tarkasteltavia junia oli yhteensä 18 kpl, joista kaukojunia 12 kpl ja tavarajunia 6 kpl. Tarkasteltavista junista puolet kulki Oulun suuntaan ja puolet Ylivieskan suuntaan. Tarkasteluajankohdan aikataulu on esitetty liitteessä 8. Tarkasteltavat junat ja niiden kohtaamiset on korostettu aikatauluihin. Tarkastelluista junista on yhteenveto taulukossa 11.

Limingassa kohtasi kuusi junaa, joista yhdellä junalla oli toinen kohtaaus myös Kempeleessä. Tarkastelussa oli kaksi junaa, joilla ei ollut kohtauksia lähellä kyseisiä liikennepaikkoja. Toinen näistä junista kulki Oulun suuntaan ja toinen Ylivieskan suuntaan. Lisäksi neljän junan aikataulut oli määritetty siten, että Oulussa saattoi tapahtua kriittinen kohtaaminen, jonka epäonnistuessa oletettiin Oulusta lähtevälle junalle tulevan sekundäärinen viive.

Kaikki kaukojunat kulkivat joka päivä lukuun ottamatta Pendolinoa 46, joka ei kulkenut sunnuntaisin. Tarkasteltavista henkilöjunista Pendolinoja oli puolet, pikajunia neljä sekä InterCity-junia kaksi. Pendolinojen suuri määrä otoksessa johtui siitä, että ko. junilla oli tarkastelupaikoissa kohtauksia kaikkein eniten.

Tavarajunien valinnassa tärkeä kriteeri oli se, että juna kulki mahdollisimman usein. Toteuma-aineistosta seulottiin tällaisia junia erilleen, jonka jälkeen tarkasteltiin junien aikataulua graafisesta aikataulusta. Tarkasteluun valituista tavarajunista kolme ei väistänyt kohtaamistilanteessa, kaksi väisti yhdessä kohtauksessa ja yksi juna, joka väisti kahteen otteeseen toisia junia. Tavarajunista mikään ei ollut kulussa sunnuntaisin. Neljä junista oli aikataulun mukaan kulussa viitenä päivänä viikossa ja kaksi junista kuutena päivänä viikossa.

Taulukko 11. Tarkastelussa olevien junien suunta-, kohtaus- ja ajopäivätiedot. Junissa S tarkoittaa Pendolinoa, P pikajunaa ja IC InterCity-junaa, neljännumeroiset junat ovat tavara-junia.

	Juna	Määräsema	Kohtaaminen	Ajopäivät
Ylivieska-Oulu	S59	OL	Liminka P274*	M-S
	P269*	KLI	Liminka S46	M-S
	P273	ROI	Liminka IC48*	M-S
	S45	OL	Hirvineva (M) (Oulussa S56)	M-S
	IC49	OL / ROI	-	M-S
	S53	OL	Kempele 5014* (M-P) (Oulussa P266)	M-S
	3051	NOK	Kempele	Ti-L
	3069	NOK	Kempele S46*	Ti-L
	5437*	NOK	Liminka 5014, P266	M-L
Oulu-Ylivieska	P274*	HKI	Liminka S59	M-S
	S46(*)	HKI	Kempele 3069 (Ti-L) Liminka P269* (M-L)	M-L
	IC48*	HKI	Liminka P273	M-S
	S52	HKI	-	M-S
	S56	HKI	(Oulussa S45) Kempele 3083* (M)	M-S
	P266	HKI	(Oulussa S53) Liminka 5437* (M-L)	M-S
	5406*	YV	Kempele P403	M-P
	5014(*)	PSLT	Kempele S53 Liminka 5437*	M-P
	5400	KOK	Liminka (Ti,P)	M-L

* väistää, (*) ei väistä toisessa kohtaamisessa

6.3.2 Junien aikataulu liikennepaikoilla

Junien aikataulunmukaisen saapumisen tarkastelu edellytti tarkasteltujen kolmen liikennepaikan aikataulunmukaisen ajan määrittämistä. Junien aikataulu voitiin määrittää graafisesta aikataulusta minuutin tarkkuudella. Aikatauluja tarkasteltiin saapumisajan perusteella. Saapumisajat tarkasteltaville junille on esitetty taulukossa 12. Kaukojunien ajoaika riippuu kohtaamisesta, mutta molempien liikennepaikkojen välinen osuus on aikataulun mukaan mahdollista ajaa noin 6–7 minuutissa. Tavara-junilla tarkasteluvälit on aikataulun mukaan mahdollista ajaa noin yhdeksässä minuutissa, jos kohtaamistilannetta ei ole.

Taulukko 12. Tarkasteltujen junien aikataulunmukainen saapumisaika tarkastelluille liikennepaikoille.

Junanro	HVN	LKA	KML	Junanro	HVN	LKA	KML
59	0:09	0:16	0:22	274	0:25	0:12	0:03
3051	3:49	3:58	4:07	5400	1:09	0:56	0:42
3069	5:21	5:31	5:41	46	5:54	5:48	5:38
269	5:34	5:42	5:56	48	7:17	7:07	6:58
273	7:03	7:10	7:18	5406	9:11	8:57	8:37
45	15:02	15:09	15:16	52	11:35	11:29	11:23
49	19:52	19:59	20:05	56	15:46	15:39	15:33
53	21:18	21:25	21:31	5014	21:52	21:41	21:28
5437	21:26	21:39	22:09	266	22:03	21:55	21:48

6.4 Tarkasteltava aineisto

6.4.1 Aineiston valinta

Tarkasteltavalta alueelta saatiin jo aiemmin mainittu aineisto, jossa näkyivät kunkin raideosuuden sekä vaihdealueen varautumis- ja vapautumishetki. Vaihdealueen varautumis- ja vapautumishetkiä ei käsitelty, sillä tallentuneiden tapausten määrä ei ollut kovin suuri ja vaihdealueet vapautuivat lähes samaan aikaan kuin sitä seuraava raideosuus junan kulkusuuntaan nähden.

Koska junien aikataulu laaditaan siten, että aikataulumerkintä vastaa liikennepaikalla olevaa asemarakennusta tai muuta vastaavaa kiinteää kohtaa, ei aikataulunmukaista aikaa saatu suoraan lokiin kirjautuvasta tiedosta. Tarkastelun alla oleville liikennepaikoille ei ollut myöskään määritetty junatyypikohtaisia korjauskertoimia, joilla aikataulunmukainen kulku normaalisti määritetään. Tarkastelun alla olevat liikennepaikat eivät kuulu JUSEn seuranta-asemiin, joille korjauskertoimet on laskettu. Ilman korjauskerrointa lähimmäksi aikataulupistettä päästään silloin, kun juna on raideosuudella, jossa aikataulupiste sijaitsee.

Tämän perusteella tutkimusaineistoksi valittiin liikennepaikkaa edeltävän raideosuuden vapautumishetkellä lokiin kirjautunut tieto. Raideosuuden vapautumishetki tapahtuu käytännössä välittömästi silloin, kun junan viimeinen akseli on poistunut sen hetkiseltä raideosuudelta seuraavalle. Vapautumishetkeä hyväksikäyttäen junan aikataulunmukainen kulku voitiin määrittää melko tarkasti. Jos raideosuuden, jossa aikataulupiste sijaitsee, varautumishetkeä olisi käytetty aikataulunmukaisena aikana, olisi junan täsmällisyyteen tullut tarkasteltavan junan mittainen virhe. Edellisen raideosuuden vapautumishetkeä hyväksikäyttäen oli siis mahdollista päästä mahdollisimman lähelle aikataulunmukaista aikaa.

Pientä virhettä tämän aineiston käytössä tulee junapituuksista, jotka vaihtelevat jonkin verran päivästä riippuen. Esimerkiksi perjantaisin kaukojunat ajavat yleensä maksimipituusina, kun taas tiistaisin vaunujen määrä on pienempi. Myös tavarajunien osalta junapituudet vaihtelevat päivittäin riippuen lähinnä kuljetettavan tavarantoiminnan määrästä.

6.4.2 Havaintoaineiston laatu

Tarkasteltavan aineiston piti periaatteessa kattaa kaikkien tarkasteltavalla välillä olevien opastinvälien varautumis- ja vapautumishetket kaikkien junien osalta tarkastelu-ajanjakson aikana. Aineistoa analysoitaessa huomattiin kuitenkin, ettei lokiin ollut kirjautunut kaikkia varautumis- eikä vapautumistietoja. Näin ollen havaintoaineiston laatu tarkasteltiin erikseen.

Aineiston luotettavuutta tarkasteltiin arvioimalla eri liikennepaikalla syntyneiden havaintoaineistojen kokoja. Tarkasteltavalla alueella junien liikennöinti riippuu viikonpäivästä, joten jokaisen junan havaintomäärää piti verrata sen aikataulunmukaisiin kulkupäiviin. Taulukossa 11 on esitetty jokaisen junan osalta niiden liikennöintipäivät. Tallentuneista havainnoista laadittiin frekvenssikuvaajat junakohtaisesti. Frekvenssikuvaajat on esitetty liikennepaikkaväleittäin liitteessä 9. Frekvenssikuvaajien perusteella useammalla opastinvälillä on maksimimäärä tai lähellä maksimimäärää olevia kirjautumisia. Kuitenkin yöjunien P269 ja P274 sekä IC48 osalta Limingan liikennepaikan kohdalla on huomattavasti vähemmän havaintoja kuin muilla raideosuuksilla ja muilla junilla. Tämä ei kuitenkaan vaikuta tuloksiin, sillä tarkasteluja tehtiin liikennepaikkoja edeltävien opastinvälien A ja B sekä Hirvinevan ja Kempeleen pää- ja sivuraiteiden (ERI/II/III) vapautumistietoja hyväksikäyttäen.

6.5 Tarkastelut aineistosta

6.5.1 Menetelmät

Tarkastelemalla junien aikataulunmukaista kulkua ja niiden vaihtelua pyrittiin saamaan yleiskuva siitä, mitkä tarkastelussa olevat junat kulkevat aikataulunmukaisesti, millä junilla on vaikeuksia pysyä aikataulussaan ja millaisissa tilanteissa aikataulun mukainen ajaminen on hankalaa. Kahteen ensimmäiseen kysymykseen haettiin vastausta analysoimalla aineistosta laadittuja laatikkodiagrammeja. Kolmanteen kysymykseen haettiin vastausta tarkastelemalla ajoaikoja yksityiskohtaisemmin.

Jokaiselle tarkasteltavalle junalle tehtiin Box and Whisker Plot -laatikkodiagrammi. Laatikkodiagrammin avulla voidaan helposti esittää aineiston jakaumaan liittyviä tunnuslukuja kuten

- mediaani
- aineiston hajonta neljänneskvartiilivälien avulla
- jakauman symmetrisyyden ja vinouden indikaattori.

Lisäksi laatikkodiagrammin avulla voidaan tunnistaa aineistossa olevat mahdolliset vieraat havainnot (outliers) (Puranen 2008).

Diagrammissa olevan laatikon sisälle mahtuvat puolet aineiston arvoista, aineiston jakauman ylä- ja alakvartiilit. Viiva laatikon sisällä kuvaa aineiston mediaania, ja pystyviivat eli ”viikset” (whiskers) kuvaavat aineistolle tyypillisinä arvoja, jotka normaalijakauman tapauksessa ulottuvat noin 1,5 kertaa laatikon pituuden etäisyydelle mediaanista (Puranen 2008). Havainnot, jotka eivät ole kosketuksissa laatikon kanssa, ovat poikkeuksellisia havaintoja. Poikkeuksellisista havainnoista tähdet ilmaisevat mahdollisia harha-arvoja ja rinkulat todellisia harha-arvoja. Laatikkodiagrammien

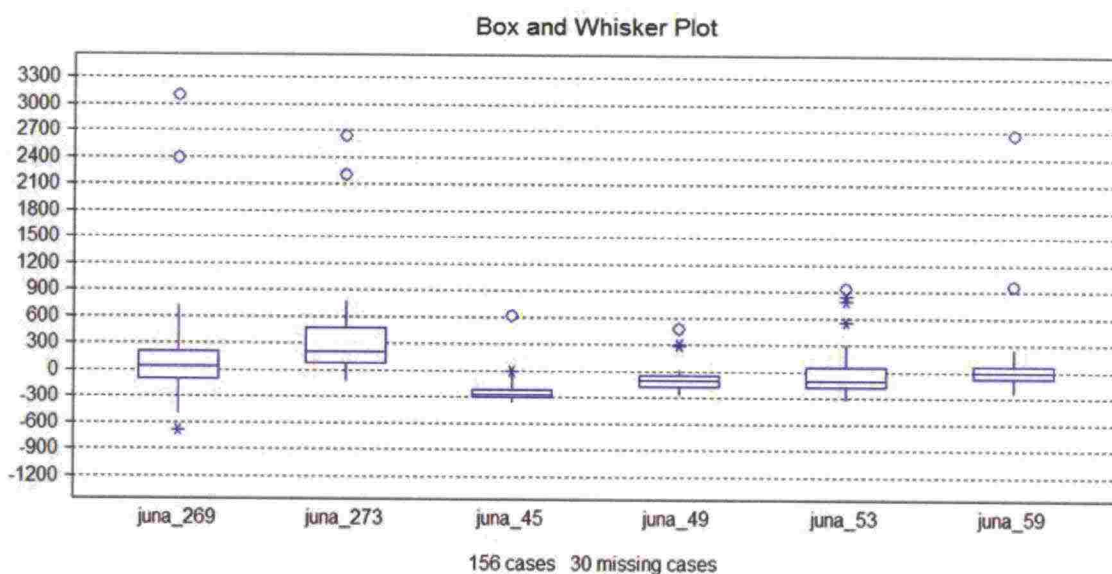
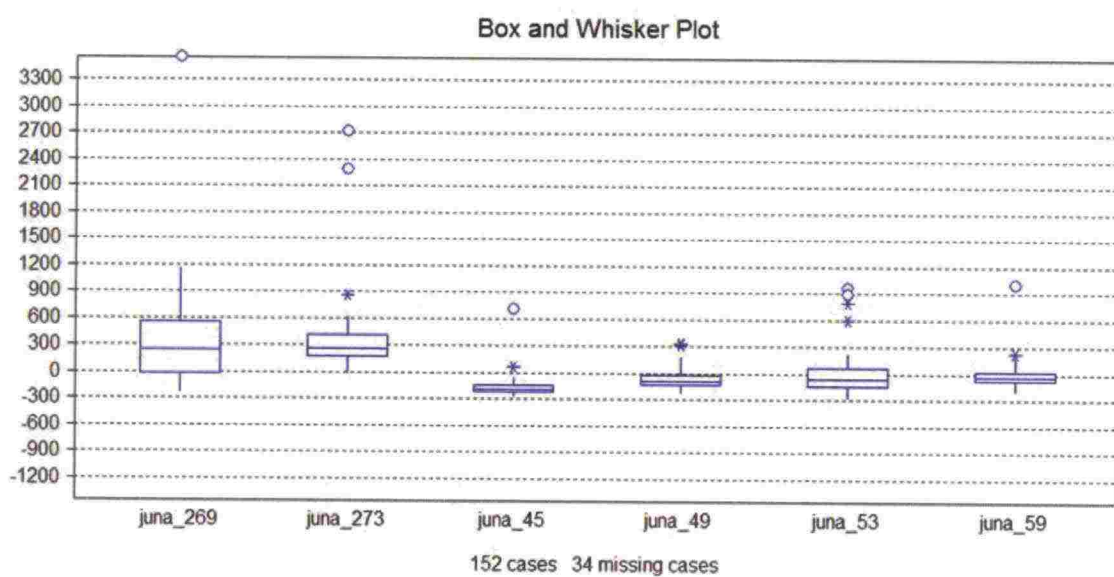
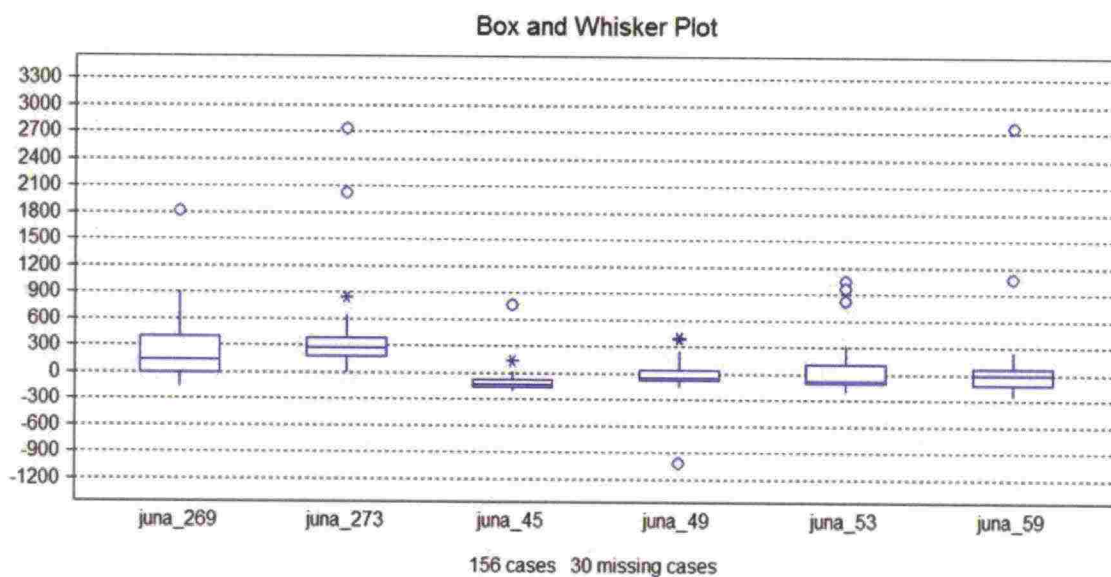
tuloksia tarkastellaan kaukojunien osalta erikseen suunnittain ja tavaraliikenteen analyysit yhdessä.

Ajoaikojen vaihteluiden tutkimisessa keskityttiin tarkastelemaan ajoaikojen keskiarvoa ja niiden hajontaa, lisäksi tarkasteltiin aikataulutettujen kohtaamisten onnistumista. Ajoaikoja tutkimalla pyrittiin löytämään sellaisia tapauksia, joissa aikataulun noudattaminen onnistui hyvin ja tapauksia, joissa aikataulun noudattaminen ei onnistunut. Tarkastelussa pyrittiin myös löytämään syitä epäonnistuneille junan kulkemisille. Junan keskimääräisen ajoajan noudattaessa aikataulua ja lisäksi ajoajan keskihajonnan ollessa pieni juna kulkee hyvin aikatauluunsa nähden. Jos keskimääräinen ajoaika on pienempi kuin aikataulutettu ajoaika, aikataulu saattaa sisältää turhan paljon pelivaraa ja päinvastoin.

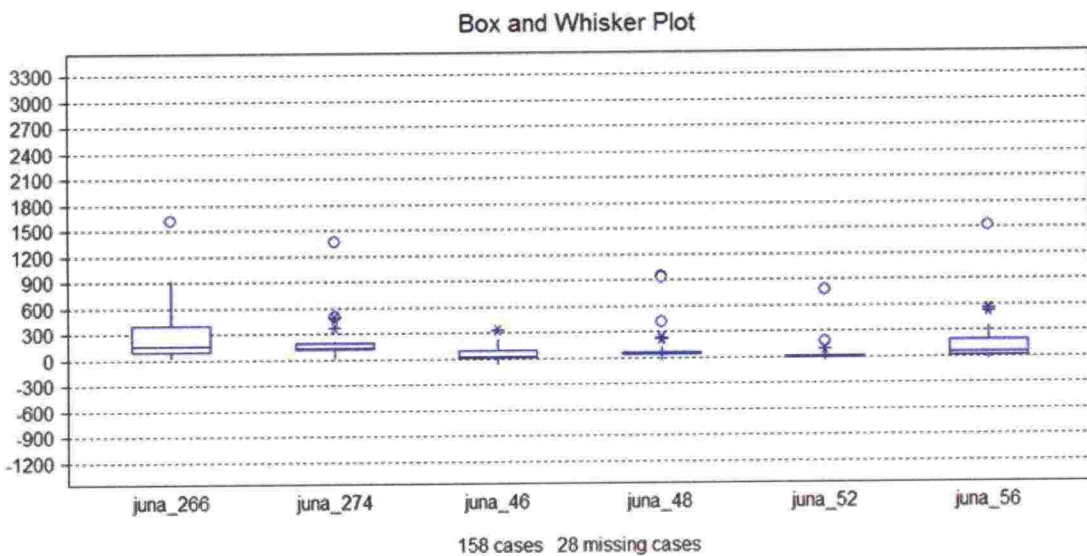
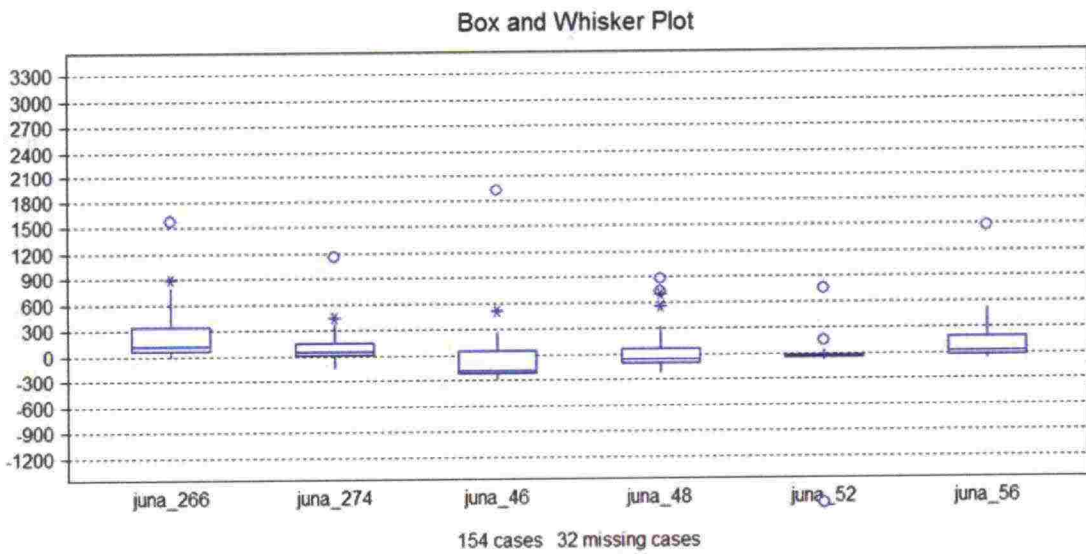
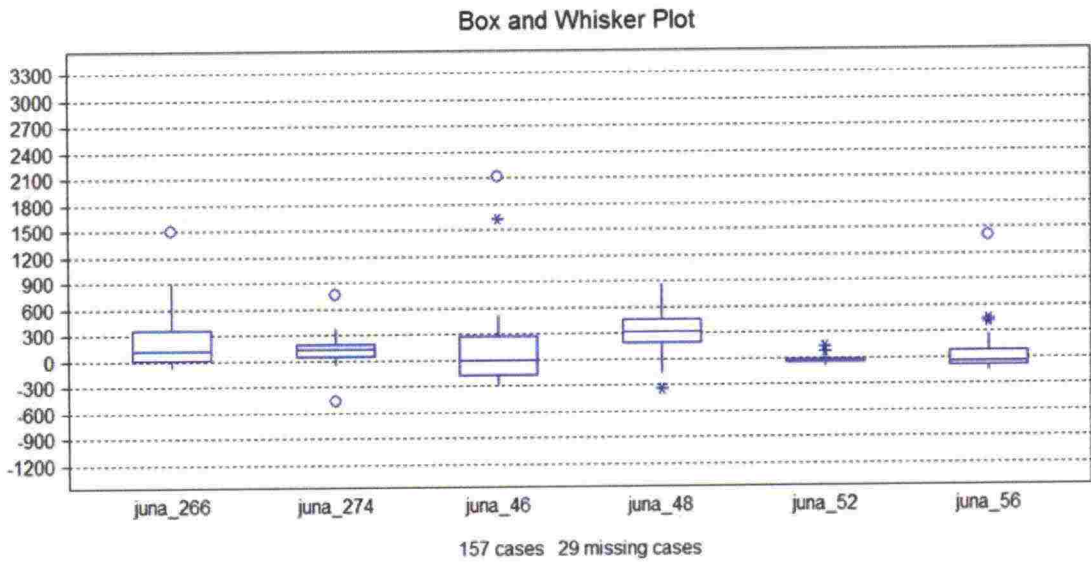
6.5.2 Tarkastelut laatikkodiagrammien avulla

Kuva 21 esittää pohjoiseen päin kulkevien kaukojunien aikataulun ja toteuman välistä eroa. Kuvassa 22 on vastaavasti etelään päin kulkevien kaukojunien toteumatietoa. Kuvassa 23 on esitetty tavaraliikenteen kulkua. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että kaukoliikenteen junat noudattavat paremmin niille suunniteltua aikataulua kuin tavaraliikenne. Samalla voidaan kuitenkin havaita, että myöhästymiskriteerien sisällä kulkevien junien osuus on suuri. Kaukoliikenteen osalta myöhästymiskriteeri on 5 minuuttia eli 300 sekuntia, eikä etuajassa kulkuun ole määritetty rajaa. Tavaraliikenteessä etuajassa kulun raja on yleisesti 30 minuuttia eli 1800 sekuntia. Myöhästymiskriteeri tavaraliikenteellä on 15 minuuttia eli 900 sekuntia. Kovin montaa myöhästymis- ja etuajassa kulun kriteerin ylittävää junaa ei tarkastelluista junista löydy.

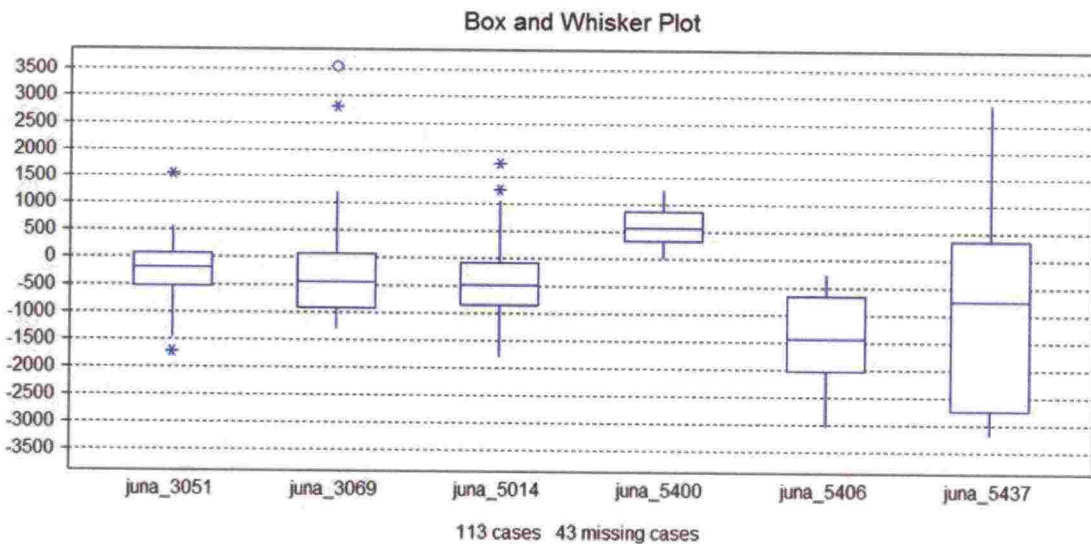
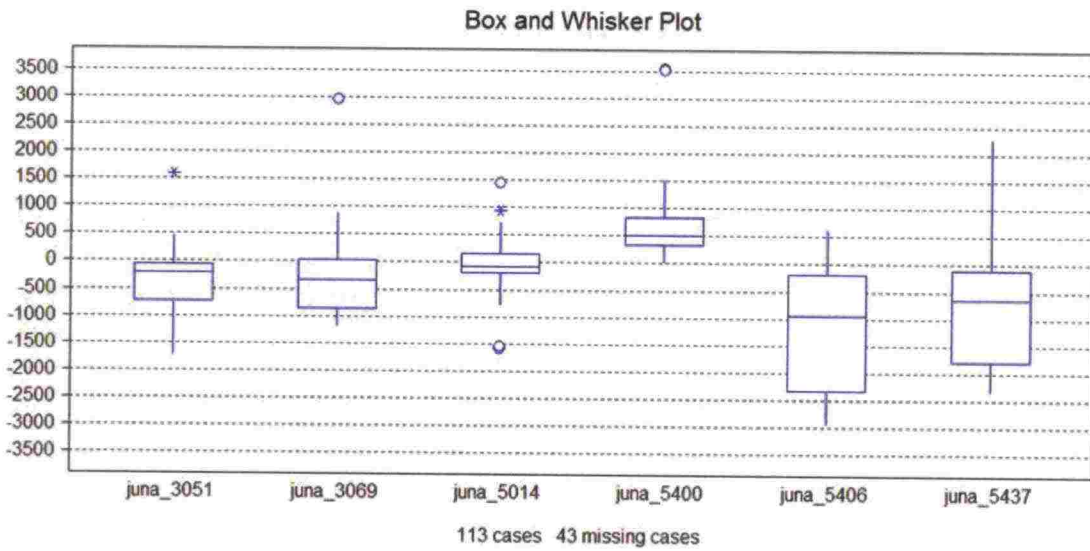
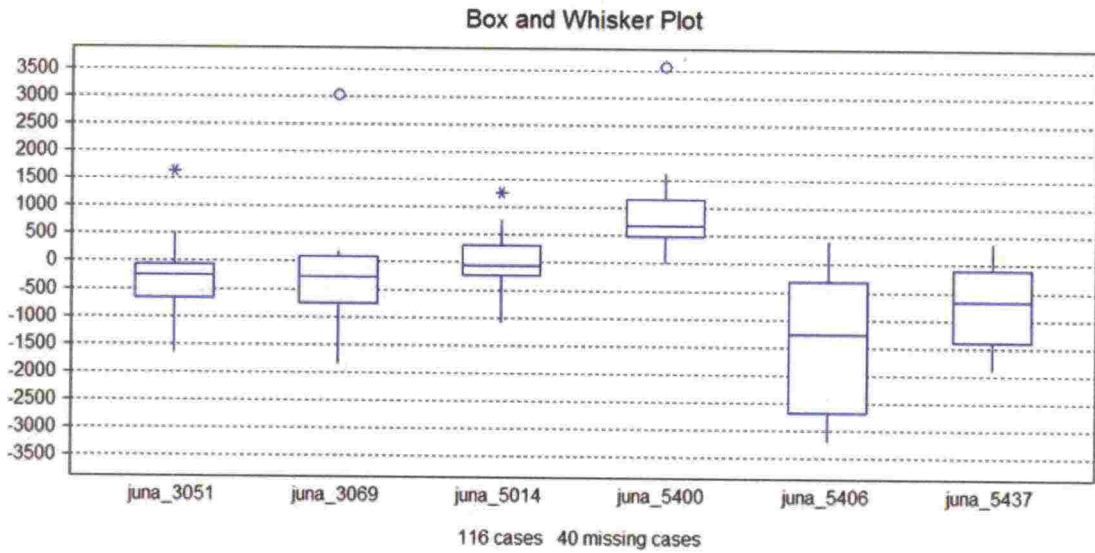
Tämä tarkastelu on kuitenkin liian epätäsmällinen, minkä vuoksi kaikkien junien piirteitä analysoidaan tarkemmin. Junien kulusta tarkastellaan täsmällisyyttä ja epätäsmällisyyttä, poikkeuksellisia havaintoja sekä aineiston jakauman vinoutta. Diagrammissa olevan laatikon ollessa korkea ja laatikosta lähtevien ”viiksien” ollessa pitkät junan aikataulunmukaisessa kulussa on toisinaan ongelmia. Tällöin esimerkiksi kohtaamistilanteet eivät onnistu kuten aikataulussa on suunniteltu.



Kuva 21. Pohjoiseen päin kulkevien kaukojunien kulku esitettyinä laatikko-diagrammeissa liikennepaikoittain, Hirvineva (ylin), Liminka (keskellä) ja Kempele (alhaalla). Y-akselilla aikataulun ja toteuman välinen ero sekunteina.



Kuva 22. Etelään päin kulkevien kaukojunien kulku esitettynä laatikkodiagrammeissa liikennepaikoittain Hirvineva (ylin), Liminka (keskellä) ja Kempele (alhaalla). Y-akselilla aikataulun ja toteuman välinen ero sekunteina.



Kuva 23. Tarkastelualueella kulkevien kaukojunien kulku esitettynä laatikko-diagrammeissa liikennepaikoittain Hirvineva (ylin), Liminka (keskellä) ja Kempele (alhaalla). Y-akselilla aikataulun ja toteuman välinen ero sekunteina. Tavarajunan numeron ollessa pariton juna kulkee pohjoiseen päin ja numeron ollessa parillinen juna kulkee etelään päin.

Junien täsmällisyys ja epätäsmällisyys

Pohjoiseen päin kulkevista junista S45, S53 ja S59 sekä IC49 kulkevat keskimäärin hyvin täsmällisesti. Ilman poikkeuksellisia arvoja ko. junat pysyvät aikataulussaan myöhästymiskriteerin sisällä. Toki aikataulun mukaista aikaa verrattaessa toteumaan on nähtävissä hajontaa myös 5 minuutin sisällä. Varsinkin juna S45 kulkee koko tarkastelualueella aikataulustaan edellä. Juna P273 näyttäisi kulkevan systemaattisesti myöhässä varsinkin Hirvinevan ja Limingan kohdalla, mutta Kempeleessä junan jakauman hajonta kasvaa. Junan P269 kulussa on selvästi enemmän hajontaa verrattaessa sen kulkua muihin pohjoiseen päin kulkeviin juniin. Varsinkin Liminka, jossa junalla on kohtaaminen toisen junan kanssa, on ongelmallinen junan kulun kannalta. Tällöin myöhästymisten kesto kasvaa. Kempeleessä ko. juna kuitenkin ottaa aikatauluun kiinni.

Etelään päin kulkevista junista puolet kulkee aikataulukriteerin sisällä ja juna S52 on kaikkein täsmällisin. Sen kulussa ei ole vaihtelua eri liikennepaikkojen kesken ja sen kulku on erittäin täsmällistä muutamia harha-arvoja lukuun ottamatta. Kempeleelle tultaessa kaikki junat kulkevat aikataulussaan tai vain hieman sitä jäljessä lukuun ottamatta junaa P266, jonka kulussa on selvää vaihtelua jo heti tarkastelualueen alussa (Kempeleessä). Limingan liikennepaikalla junien kulussa on havaittavissa selvästi suurempaa hajontaa kuin Kempeleen liikennepaikalla. Siltikin kaikki junat lukuun ottamatta junaa P266 kulkevat myöhästymiskriteerin puitteissa ajallaan. Hirvinevalle päästäessä aikataulunmukaisessa kulussa on selvää eroavuutta myös aiemmin täsmällisesti kulkeneiden junien osalta. Junilla S46 ja IC48 on Hirvinevalla suurempia täsmällisyysongelmia kuin aikaisemmillä liikennepaikoilla. Aikataulunmukaisessa kulussa on vaihtelua, joten osa junista on myös etuajassa. Verrattaessa Kempeleessä ja Hirvinevalla junien kulusta syntynyttä hajontaa toisiinsa voidaan huomata selviä eroja. Kempeleessä hajonta on junaa P266 lukuun ottamatta pientä, kun taasen Hirvinevalla hajonta on kasvanut merkittävästi kohtaamistilanteessa väistävien junien S46, IC48 ja P274 osalta. Tämä viittaa siihen, että kohtaamistilanteet eivät ole onnistuneet aina suunnitellusti.

Tavarajunien analysointia vaikeuttaa osaltaan se, ettei junien kokoonpano ole samaan aikaan analysoitavissa. Junien pituudet ja painot sekä vetokalusto saattavat vaihdella päivän mukaan. Pohjoiseen päin menevien tavarajunien kulussa on havaittavissa selvää etuajassa kulkua. Tavarajunat 3051 ja 3069 kulkevat systemaattisesti edellä aikataulustaan. Kuitenkin etuajassa kulun määritelmän mukaan nämä junat kulkevat ajallaan. Ko. junat kulkevat myös myöhästymiskriteerin sisällä. Tavarajunan 5437 täsmällisyyttä kuvaavan laatikon koko on erittäin suuri. Se kulkeekin hyvin vaihtelevasti verrattaessa sitä muihin pohjoiseen päin meneviin juniin. Juna kulkee erittäin paljon etuajassa, mutta sen kulussa on huomattavissa myös hyvin suuria myöhästelyitä varsinkin Limingassa, johon sen kohtaaminen ja odottaminen aikataulun mukaan ajoittuu.

Etelään päin menevillä tavarajunilla on suuria vaikeuksia pysyä aikataulussaan. Juna 5406 ei kulje kertaakaan myöhässä myöhästymiskriteerinsä puitteissa, mutta se kulkee huomattavan monta kertaa etuajassa. Etelään päin menevien junien kulusta voidaan myös todeta, että junan 5400 kulussa on vähiten vaihtelua, vaikkakin aikataulun mukaan sille on määritetty kohtaaminen sekä Kempeleessä että Limingassa. Juna 5400 on

keskimäärin koko ajan hieman aikataulustaan jäljessä, kun taas juna 5014 kulkee Kempeleessä aikataulustaan edellä ja Limingan ja Hirvinevan kohdalla suunnilleen aikataulussaan, vaikka kulussa onkin paljon hajontaa.

Junien poikkeuksellinen kulku

Kaikilla kaukojunilla näyttäisi tarkasteluajana olleen joitain normaalista selvästi poikkeavia kulkuja. Pendolinon 53 kulussa näyttäisi olevan useampaan otteeseen saman suuruisia myöhästymiseen viittaavia harha-arvoja. Syy saattaa piillä samassa asiassa, mutta laatikkodiagrammia analysoitaessa itse syyhyn ei päästä käsiksi.

Vaikka tavarajunien kulussa on havaittavissa suurta hajontaa, niiden kulusta on myös määritettävissä harha-arvoja. Harha-arvot liittyvät tarkastelluissa tapauksissa yhtä tapaista lukuun ottamatta aikataulustaan paljon myöhässä oleviin ajoihin.

Jakaumien vinous

Laatikkodiagrammin esityksestä nähdään, kuinka hyvin junien kulku noudattaa normaalijakaumaa. Positiivisesta vinoudesta voidaan päätellä, että liikenteessä junien kulku painottuu enemmän aikaisempaan kulkuun kuin myöhäisempään kulkuun. Negatiivisesta vinoudesta voidaan tehdä päinvastaiset päätelmät. Vinous ei itsessään kerro myöhästymisen tai etuajassa kulun suuruutta. Vinouden muutoksesta voidaan päätellä junien täsmällisyyden muutoksia, joihin vaikuttavat mm. kohtaamiset.

Pohjoiseen päin menevien junien jakaumista suurin osa on normaalijakautuneita Hirvinevalla ja Limingassa, koska vain junien IC49 ja P269 jakaumat ovat hieman positiivisesti vinoja. Kempeleessä negatiivisesti vino jakauma on sen sijaan junilla S45 ja S53.

Etelään päin menevien junien jakaumat ovat suurimmaksi osaksi myös normaalijakautuneita. Kuitenkin Limingan osalta on havaittavissa negatiivista vinoutta junien P266, S46, IC48 ja S56 jakaumissa. Hirvinevaan saapuessa vain junissa P266 ja S56 jakaumissa on edelleen havaittavissa negatiivista vinoutta.

Tavarajunien jakaumista yli puolet on vinoja ja tarkemmin tutkittuna voidaan todeta, että pohjoiseen päin kulkevien junien jakaumat ovat vinompia kuin etelään päin menevien junien. Hirvinevan kohdalla vinot jakaumat ovat negatiivisia. Limingassa ja Kempeleessä junilla 3069 ja 5437 on selvästi positiivisesti vinot jakaumat. Kempeleessä ja Limingassa myös junan 5406 jakaumat ovat vinot, tosin negatiivisesti.

6.5.3 Ajoaikojen tarkastelut

Junien ajoajoista tehtiin seuraavanlaisia tarkasteluja:

- tutkimusalueen läpi (Hirvinevan ja Kempeleen liikennepaikkojen) menemiseen kulunut keskimääräinen ajoaika
- liikennepaikkojen välisille osuuksille kuluva keskimääräinen ajoaika
- ajoaikojen keskihajonta
- aikataulunmukaisen ja toteuman vertailu
- kohtaamisten onnistuminen aikataulunmukaisesti.

Ajoajan kokonaiskesto on laskettu Hirvinevan ja Kempeleen liikennepaikkojen kohdalla tallentuneista tiedoista. Pohjoiseen päin kulkevien junien osalta saapuminen on määritetty raideosuuden A vapautumisen mukaan ja etelään päin kulkevien junien osalta raideosuuden B vapautumisen mukaan. Kaikkein suurimmat harha-arvot on poistettu aineistosta ennen ajoaikojen keskiarvojen laskemista. Taulukoihin on merkitty aineiston maksimi- ja minimiarvot sekä otoskoot. Aikatauluun merkitty pysähtyminen on lisätty junan kulkusuunnassa seuraavalle osuudelle. Jos esimerkiksi pohjoiseen päin menevällä junalla on Limingassa vastaan tulevan junan odottaminen, odotusaika on lisätty junan Liminka–Kempele väliselle osuudelle. Tämä sen vuoksi, että junan saapuminen liikennepaikalle on määritetty hetkenä, jolloin liikennepaikkaa edeltävä raideosuus vapautuu.

Junien keskimääräiset ajoajat tarkasteluvälillä on esitetty jokaisen junan osalta taulukossa 13.

Taulukko 13. Tarkasteltavien junien liikennepaikkojen välille käyttämä keskimääräinen ajoaika ja ajoajan keskihajonta. Lisäksi taulukossa ilmoitettu aikataulun mukainen ajoaika.

59				274*			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto		HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto
aikataulu	0:07	0:06	0:13	aikataulu	0:13	0:09	0:22
toteuman ka.	0:06:46	0:06:07	0:13:03	toteuman ka.	0:13:42	0:07:35	0:19:55
k.haj.	0:01:05	0:01:28	0:01:56	k.haj.	0:05:18	0:01:16	0:03:48
min	0:05:47	0:05:21	0:11:08	min	0:06:18	0:05:32	0:11:58
max	0:09:09	0:10:17	0:17:48	max	0:16:58	0:11:37	0:24:18
otos	20	23	25	otos	24	26	25

3051				5400			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto		HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto
aikataulu	0:09	0:09	0:18	aikataulu	0:13	0:14	0:27
toteuman ka.	0:08:25	0:09:09	0:17:36	toteuman ka.	0:14:52	0:12:07	0:27:54
k.haj.	0:01:26	0:02:21	0:03:39	k.haj.	0:02:04	0:01:01	0:05:38
min	0:07:59	0:07:30	0:15:30	min	0:10:17	0:09:35	0:19:56
max	0:14:38	0:16:48	0:31:26	max	0:18:25	0:15:03	0:49:32
otos	21	19	19	otos	18	16	19

3069				46(*)			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto		HVN-LKA	LKA-KML	kokonaiskesto
aikataulu	0:10	0:10	0:20	aikataulu	0:06	0:10	0:16
toteuman ka.	0:08:30	0:10:04	0:18:09	toteuman ka.	0:07:33	0:07:10	0:14:48
k.haj.	0:00:52	0:03:07	0:03:16	k.haj.	0:02:30	0:02:20	0:03:42
min	0:07:53	0:07:27	0:15:22	min	0:05:41	0:05:14	0:10:55
max	0:11:15	0:20:01	0:29:27	max	0:14:48	0:14:56	0:21:23
otos	18	20	18	otos	20	22	18

269*			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:08	0:12	0:20
toteuman ka.	0:08:23	0:09:19	0:18:07
k.haj.	0:01:12	0:02:53	0:03:02
min	0:06:42	0:06:18	0:13:03
max	0:11:35	0:14:07	0:22:25
otos	19	19	17

273			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:07	0:08	0:15
toteuman ka.	0:06:56	0:06:23	0:13:19
k.haj.	0:00:35	0:00:10	0:01:02
min	0:06:36	0:06:12	0:12:52
max	0:08:30	0:06:56	0:17:58
otos	25	24	23

5406*			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:14	0:20	0:34
toteuman ka.	0:16:23	0:18:24	0:33:32
k.haj.	0:07:27	0:11:13	0:10:15
min	0:08:46	0:08:06	0:16:52
max	0:33:15	0:41:14	0:51:44
otos	13	13	15

52			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:06	0:06	0:12
toteuman ka.	0:05:57	0:05:32	0:11:27
k.haj.	0:00:16	0:00:11	0:00:27
min	0:05:45	0:05:22	0:10:52
max	0:06:57	0:06:06	0:13:03
otos	23	23	24

56			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:07	0:06	0:13
toteuman ka.	0:05:52	0:05:31	0:11:22
k.haj.	0:00:10	0:00:10	0:00:16
min	0:05:42	0:05:20	0:11:02
max	0:06:24	0:06:00	0:12:20
otos	23	21	24

48*			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:10	0:09	0:19
toteuman ka.	0:13:24	0:07:19	0:21:57
k.haj.	0:04:35	0:02:22	0:05:26
min	0:05:41	0:05:15	0:10:56
max	0:20:41	0:17:10	0:32:09
otos	24	22	25

45			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:07	0:07	0:14
toteuman ka.	0:05:53	0:05:28	0:11:33
k.haj.	0:00:06	0:01:14	0:00:30
min	0:05:44	0:00:00	0:11:07
max	0:06:07	0:07:01	0:13:04
otos	25	23	21

49			
	HVN- LKA	LKA- KML	kokonais- kesto
aikataulu	0:07	0:06	0:13
toteuman ka.	0:05:56	0:05:40	0:12:06
k.haj.	0:00:11	0:00:36	0:01:44
min	0:05:47	0:05:20	0:11:07
max	0:06:40	0:07:33	0:16:56
otos	21	20	21

53			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonais-kesto
aikataulu	0:07	0:06	0:13
toteuman ka.	0:05:56	0:05:39	0:11:28
k.haj.	0:00:16	0:00:30	0:00:30
min	0:05:42	0:05:20	0:11:04
max	0:06:57	0:07:39	0:13:28
otos	22	24	26

5014(*)			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonais-kesto
aikataulu	0:11	0:13	0:24
toteuman ka.	0:11:47	0:15:28	0:26:53
k.haj.	0:05:26	0:07:49	0:07:08
min	0:07:57	0:00:00	0:15:22
max	0:22:12	0:25:41	0:36:10
otos	15	16	14

5437*			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonais-kesto
aikataulu	0:13	0:32	0:45
toteuman ka.	0:12:20	0:24:00	0:34:06
k.haj.	0:03:06	0:18:49	0:15:43
min	0:09:58	0:09:17	0:19:20
max	0:21:58	1:12:19	1:04:35
otos	18	17	15

266			
	HVN-LKA	LKA-KML	kokonais-kesto
aikataulu	0:08	0:07	0:15
toteuman ka.	0:07:22	0:06:30	0:13:52
k.haj.	0:00:30	0:00:14	0:00:40
min	0:06:48	0:06:14	0:13:07
max	0:08:41	0:07:02	0:15:43
otos	25	24	25

Toteutuneista ajoajoista voidaan todeta seuraavaa.

Junat S59 ja P274 kulkevat molemmat melko hyvin aikataulun määrittelemän ajan puitteissa. Junan S59 ajoaika vastaa aikataulun mukaista kulkua hyvin ja ajoaikojen keskihajonta on pientä. Junan P274 ajoajoissa on enemmän hajontaa välillä, jossa junan pitäisi odottaa kohtaamista. Tämä viittaa siihen, että kohtaamiset eivät ole menneet täysin aikataulunmukaisesti.

Tavarajunat 3051 ja 5400 ajavat aikataulun mukaan tarkastelualueen läpi ilman pysähdyksiä (5400 kohtaa toisen tavarajunan, mutta toteumatietojen perusteella sillä ei ollut merkitystä junan täsmällisyyteen). Vaikuttaisi siltä, että junan todellinen ajoaika vastaa hyvin aikataulun mukaista ajoaikaa. Junan 5400 osalta kokonaisajoaika vastaa aikataulunmukaista ajoaikaa, mutta ajan jakautuminen liikennepaikkojen välille eroaa keskimäärin 2 minuuttia suunnitellusta kompensoiden toisensa.

Junien 3069, S46 ja P269 aikataulu on suunniteltu siten, että 3069 ajaisi suoraan, jolloin Pendolino 46 väistäisi ja hieman myöhemmin P269 taas väistäisi Pendolinoa. Tällaista ajojärjestystä ei kuitenkaan noudateta, vaan Pendolino ajaa tavarajunan kohtaamistilanteessa suoraan ja tavarajuna odottaa. Tämä näkyy Pendolinon keskimääräisissä ajoajoissa, jotka ovat aikataulun mukaista aikaa selvästi alemmat. (Kempeleeseen ajoittuva odotus pohjoiseen suuntaavan tavarajunan osalta ei näy tarkastelussa.) Hirvineva–Liminka-osuudella tavarajuna kulkee aikataulussa määritettyä ajoaikaa selvästi nopeammin. Pikajunan osalta ajoaika alittuu keskimäärin noin 2 minuutilla aikatauluun verrattaessa.

Junat P273 ja IC48 kohtaavat aikataulun mukaan Limingassa. Ohittavan junan P273 osalta ajoajat noudattavat hyvin aikataulussa määritettyjä ajoaikoja Hirvineva–Liminka-osuudella, mutta Limingan ja Kempeleen väli on tultu keskimäärin hieman nopeammin

kuin aikataulussa on määritetty. Väistävän junan IC48 osalta Liminkaan asti ajoaika on keskimäärin noin 2 minuuttia vähemmän kuin aikataulussa on suunniteltu, mutta seuraavalla osuudella ajoaika on ollut keskimäärin 3 minuuttia aikataulun määrittämää aikaa pitempi. Tämä viittaa siihen, että IC on joutunut odottamaan Limingassa keskimäärin 5 minuuttia aikatauluun kauemmin vastaantulevaa junaa.

Tavarajuna 5406 kulkee etelään ja kohtaa Kempeleessä pikajunan. Toteutuneet ajoajat vastaavat melko hyvin suunniteltua. Tarkemmassa tarkastelussa kävi ilmi, että juna on kulkenut hyvin usein etuajassa, mistä johtuen kohtaaminen on sijoittunut usein myös Liminkaan ja Hirvinevalle.

Junat S52 ja S49 kulkevat tarkastelualueen läpi ilman kohtaamisia. Huomiota herättävää on, että etelään päin menevälle Pendolinolle 52 on tarkastelualueen läpi kulkeminen määritetty 2 minuuttia nopeammaksi kuin pohjoiseen suuntaavan Pendolinon aikataulu. Toteumatietojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei junien ajoaikoja verrattaessa toisiinsa ole juurikaan eroa. Aikataulussa on tämän vuoksi havaittavissa käyttämätöntä pelivaraa näiden junien osalta.

Junat S53, 5014, 5437 ja P266 ovat aikataulun mukaan tarkastelualueella samanaikaisesti ja sen vuoksi niitä on kiinnostava tutkia. Aikataulun mukaan Pendolino 53 ja pikajuna P266 ajavat kohtaustilanteissa suoraan ja tavarajunat väistävät. Suoraan ajavien junien osalta aikataulun mukaiset ajoajat alittuvat kokonaisuudessaan keskimäärin hieman yli minuutin suunnittelusta. Ko. junat kulkevat siis hyvin aikataulunsa määrittelemissä puitteissa. Tavarajunien osalta juna 5014 käyttää Kempeleen ja Limingan välillä keskimäärin hieman alle 3 minuuttia enemmän aikaa kuin aikataulun mukaan pitäisi ja lisäksi juna käyttää myös Limingan ja Hirvinevan välillä keskimäärin enemmän aikaa kuin on suunniteltu. Nämä viittaisivat siihen, että kohtaamistilanteet eivät onnistu, ja tarkemman tarkastelun perusteella ko. tavarajuna saapuu Kempeleeseen etuajassa. Tavarajunan 5437 tarkemman tarkastelun seurauksena ilmeni, että juna kulki usein keskimäärin yli 40 minuuttia etuajassa, mistä johtuen aikataulussa suunniteltua kohtaamistilannetta ei päässyt tapahtumaan kuin kaksi kertaa. Tällöin ajoajat vastasivat melko hyvin aikataulua. Tavarajuna 5437 kulki todellisuudessa tarkasteluvälin suunniteltua nopeammin.

Ajoaikojen lisäksi on hyvä tarkastella myös aikataulunmukaisia kohtaamistilanteita ja niiden onnistumista (taulukko 14). Kuten aikaisemmista tarkasteluista kävi ilmi, osa junista kulkee aikataulun mukaisesti ja toiset taas eivät. Useimmiten kohtaamistilanne onnistuu kahden henkilöjunan kohtaamisessa aikataulunmukaisesti. Tavarajunien osallistuessa kohtaamistilanteeseen kohtaamisen aikataulunmukaisen onnistumisen todennäköisyys pienenee. Yhdessä tarkastelluista tapauksista kohtaamistilanteessa aikataulun mukaan suoraan kulkeva tavarajuna todellisuudessa väistikin vastaantulevaa henkilöjunaa (tavarajuna 3069). Useat tarkastelluista tavarajunista kulkivat myös huomattavasti aikatauluun edellä, mistä johtuen suunnitellut kohtaamiset eivät todellisuudessa tapahtuneet lainkaan tai ne sijoittuivat jonnekin muualle.

Taulukko 14. Aikataulunmukaiset kohtaamisten määrät ja niiden osuus junien mukaan. Jos aikataulunmukainen kohtaaminen ei ole onnistunut, se on johtunut siitä, että väistämisjärjestys on tehty toisin kuin aikataulun mukaan on määritetty, tai toinen tai molemmat junista eivät ole kulkeneet aikataulunmukaisesti.

Junanro	Otos	Aikataulun mukaiset kohtaamiset		Junanro	Otos	Aikataulun mukaiset kohtaamiset	
59	25	20	80 %	274*	27	21	78 %
3051	21	16	76 %	5400	20	17	85 %
3069	20	2	10 %	46(*)	23	3	13 %
269*	18	10	56 %	48*	27	21	78 %
273	26	22	85 %	5406*	17	3	18 %
53	27	27	100 %	5014(*)	17	10	59 %
5437*	18	6	33 %	266	26	26	100 %

* väistää, (*) ei väistä toisessa kohtaamisessa

6.6 Tulosten arviointi

Tarkasteltaessa aineistoa laatikkodiagrammista saatavien tulosten perusteella voidaan todeta, että menetelmä sopii hyvin kuvaamaan junien täsmällistä ja epätäsmällistä kulkua. Laatikkodiagrammin avulla voidaan nopeasti määrittää junat, joiden kulussa on ongelmia, sekä junat, joiden kulussa on paljon vaihtelua. Laatikkodiagrammin vinoudesta voidaan päätellä, kuinka junan kulku todellisuudessa painottuu, lähemmäksi vai kauemmaksi täsmällisyyttä osoittavaa nolla-akselia. Laatikkodiagrammissa laatikko osoittaa sitä täsmällisyyttä, jonka puolet, eli ylä- ja alakvartiili, aineistosta saavuttaa. Laatikon keskellä oleva viiva kertoo täsmällisyyden, jonka puolet aineistosta alittaa ja puolet ylittää.

Laatikkodiagrammimenetelmää voitaisiin käyttää epätäsmällisyyden nopeana indikaattorina. Sillä voitaisiin nopeasti paikantaa rataosuksilta ongelmallisia kohteita. Niillä liikennepaikoilla, joilla ongelmat ovat suuria, hajonta on suurta kaikkien junien osalta ja junien kulussa on vikaa.

Hajonnan aiheuttama ongelma voi kuitenkin johtua joko aikataulullisista syistä tai siitä, että infrastruktuuri kaipaisi ko. paikalla parannusta. Syyhyn ei päästä laatikkodiagrammilla kiinni. Tätä varten toisena tapauksena tarkasteltiin junien keskimääräisiä ajoaikoja ja niiden hajontoja. Tarkastelulla päästiin tarkemmin kiinni siihen, miten junat oikeasti kulkevat ko. osuuksilla. Tarkastelualue jaettiin kahteen osuuteen, Hirvinevan ja Limingan väliseen rataosuuteen ja Limingan ja Kempeleen väliseen rataosuuteen. Näin voitiin tarkentaa sitä, millä paikalla ongelma syntyy.

Tarkastelujen tuloksena havaittiin, että ongelmia ei ollut silloin, kun junat ajoivat tarkastelualueen läpi suoraan kohtaamatta toista junaa. Tällöin oli havaittavissa myös sellaista, että junat kulkivat nopeammin kuin aikataulussa oli junien kulusta suunniteltu. Suoraan ajavien junien ajoaikojen hajonta oli hyvin pientä, mikä viittaa siihen, että junat hyvin useassa tapauksessa kulkivat nopeammin kuin oli suunniteltu.

Tarkastelualueella junien kohtaamisesta päätellen suoraan ajavan junan ajoaikoihin ei juuri vaikuttanut, että se on kohtaamassa. Toisaalta väistämään joutuvan junan osalta ajoaikojen hajonta oli jo selvästi suurempaa kuin suoraan ajavien. Pelkät henkilöliikenteen kohtaamistilanteet onnistuivat hyvin aikataulunmukaisesti. Tavaraliikenteen tarkasteluissa kohtaamiset eivät järjestyneet aikataulunmukaisesti. Tavaraliikenteen kulkuun liittyy hyvin paljon epävarmuuksia, jotka sotkevat aikataulunmukaista kulkua. Myös aikataulunmukaisesti kulkenut tavarajuna 3069 joutui systemaattisesti odottamaan vastaan tulevaa henkilöjunaa, vaikka aikataulunmukaisesti henkilöjunan olisi pitänyt väistää tavarajunaa. Tällaisten tilanteiden poistamiseen tulisi kiinnittää huomiota jo aikataulujen suunnitteluvaiheessa, sillä useampien operaattoreiden liikennöidessä yhtäaikaisesti rataverkolla ei tällaisia toimenpiteitä välttämättä voida tehdä.

Satunnaista vaihtelevuutta junien kulkuun tuovat kuljettajien erilaiset ajotavat, tarkastelualueella vallitseva keli sekä liikenteenohjaajien ratkaisut erilaisissa tilanteissa. Nämä on pidettävä mielessä tuloksia analysoitaessa.

7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

7.1 Johdanto

Tässä työssä tutkittiin, kuinka rautatieliikenteen häiriöiden analysointia voitaisiin kehittää. Analysointia tarkasteltiin lähinnä radanpitäjän, Ratahallintokeskuksen, näkökulmasta. Ratahallintokeskus toimii ratainfrastruktuurin haltijana ja huolehtii viranomaistehtävistä. Radanpitäjän toimenkuvaan kuuluu rataverkon kehittäminen, rakentaminen ja ylläpitäminen.

Työ koostuu teoriaosasta, jossa käsitellään rautatieliikenteen häiriöitä ja niiden syitä, sekä erilaisten häiriöiden osuuksia kokonaismäärästä. Teoriaosassa käytiin läpi kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla häiriöiden analysointikeinoja ja niiden käyttöä eri maissa. Teorian pohjalta kehitettiin uusi toimintamalli häiriöiden analysoimiseksi Suomessa. Tapaustutkimuksilla kokeiltiin toimintamallin toimivuutta. Tapaustutkimus koostuu kahdesta osasta. Toinen tapaustutkimuksista perustui häiriöiden analysointiin rataosittain ja toisessa tapaustutkimuksessa käytiin läpi tarkemman toteumadatan analysointia tilastollisin menetelmin.

7.2 Häiriöiden määritelmä ja häiriötieto

Jotta häiriöiden analysointia voitiin tutkia, käytiin työssä läpi häiriön määritelmää sekä yleisimpiä häiriöiden aiheuttajia eri näkökulmista. Häiriöt voidaan määritellä häiriön aiheuttajan mukaan, häiriön ennakoitavuuden mukaan, häiriön laadun mukaan ja häiriön vaikuttavuuden ja vakavuuden mukaan. Häiriön vaikutus saattaa levitä rataverkolla erittäin pitkälle, jos sitä ei saada nopeasti hallintaan. Leviämistä kuvaavat sekundääriset myöhästymiset, jotka ovat hyvin yleisiä rautatieliikenteessä. Kun yhden junan kulku häiriytyy, vaikuttaa häiriytynyt juna varsinkin vilkasliikenteisillä radoilla nopeasti myös muihin juniin. Jos liikennettä ei saada nopeasti normaaliksi, voivat häiriön vaikutukset näkyä hyvin kaukana sen alkulähteestä. Häiriöihin voidaan vaikuttaa joko radanpitäjän tai liikennesuunnittelijoiden toimesta. Radanpitäjä pyrkii löytämään ongelmakohtan ja poistamaan häiriötä aiheuttavan tekijän, kun taas liikennesuunnittelijan mahdollisuudet ovat aikataulun uudelleen suunnittelussa, mm. pelivaran lisäämisessä aikataulun ongelmakohtiin.

Suomessa häiriötietoa saadaan junien seurantajärjestelmästä (JUSE), johon täsmällisyyspoikkeamat kirjataan kauko-ohjaajan toimesta ennalta määritettyjen täsmällisyyskriteerien mukaan syykoodeille. Täsmällisyyskriteerit poikkeavat juna-lajeittain siten, että lähijunat katsotaan myöhästyneiksi, kun ne ovat määräasemallaan yli 3 minuuttia myöhässä, kaukojunat yli 5 minuuttia myöhässä ja tavarajunat yli 15 minuuttia myöhässä, lisäksi tavaraliikenteelle on määritetty etuajassa kulkuun liittyvät kriteerit. Nykyiseen järjestelmään kirjautuvat myös myöhästymiskriteeriä pienemmät viipeet. Näiden syykoodittomien viipeiden määrä on hyvin merkittävä. Häiriön aiheuttajaan on jälkikäteen käytännössä mahdotonta päästä käsiksi, jos häiriölle ei kirjata syykoodia.

7.3 Häiriöiden analysointimenetelmät

Rautatieliikenteen häiriöiden analysointia ei tehdä tällä hetkellä Suomessa systemaattisesti muuten kuin koko verkkoa koskevan täsmällisyysyhteenvedon muodossa. Kuukausittain tehtävässä täsmällisyysyhteenvedossa esitetään kuluneen kuukauden epätasällisyys koko rataverkolla. Koko verkon analysointi kerralla ei anna mahdollisuutta määrittää ja paikantaa tarkasti rataverkolla sattuvia häiriöitä. Häiriöiden laatu ja niiden perimmäinen syy vaihtelevat rataosasta riippuen. Toisaalla on ongelmia turvalaitteiden kanssa, kun toisaalla taas radan kunto on ongelman aiheuttaja. Rataosien tarkastelu erikseen auttaisi määrittämään kunkin rataosan ongelman lähteet ja kriittiset alueet. Tällä hetkellä Suomessa tehdään erilaisiin projekteihin liittyen yksittäisiä tutkimuksia liikenteen sujuvuudesta häiriöjakauksia hyväksikäyttäen, jolloin menetelmänä ovat esim. simuloinnit. Toisinaan juuri häiriöiden poisto on lähtökohtana projektilla. Ongelmana kuitenkin on, että tällaisia tarkasteluja tehdään satunnaisen tiedon perusteella, eikä tietyn systemaattisen tavan mukaan. Yksittäisten tarkastelujen laatu ja niiden tarkoituksenmukaisuus ovat kuitenkin korkeaa luokkaa.

Työssä tehtiin kirjallisuuden perusteella kartoitusta liikennehäiriöiden analysointimenetelmistä. Kartoituksen perusteella voitiin analysointimenetelmät jakaa kolmeen luokkaan: analyyttisiin matemaattisiin menetelmiin, mikrosimulointiin ja empiirisen aineiston tilastolliseen analysointiin. Häiriöiden tarkastelua voidaan tehdä joko yhdellä edellä mainituista menetelmistä tai käyttämällä menetelmiä toistensa kanssa, jolloin ne täydentävät toisiaan.

Analyttiset menetelmät perustuvat aineiston matemaattiseen mallintamiseen. Analyttisten menetelmien suurena etuna on, ettei niitä käyttäessä tarvitse tietää junien aikataulua, vaan tarkastelut tehdään kysynnän karkeita arvioita, junatiheyksiä ja junien ajoaikoja, hyväksikäyttäen. Tällaisten analyysien teko on erittäin käyttökelpoista silloin, kun suunnittelun aikajänne on pitkä. Pitkällä aikajänteellä suunniteltaessa junien aikatauluista ei ole tietoa tai aikataulut voivat muuttua ajan kuluessa erilaisiksi. Analyttisten menetelmien etuna on myös, että ne ovat nopeakäyttöisiä verrattuna esimerkiksi simulointeihin. Analyttisiin menetelmiin joudutaan aina tekemään yleistyksiä, jotta matemaattiset mallit olisi mahdollista ratkaista. Yleistyksistä johtuen analyyttiset menetelmät eivät sovellu kovin yksityiskohtaisten tarkastelujen tekemiseen, vaan niiden käyttökohteet ovat lähinnä kapasiteettitarkastelut, joiden avulla voidaan mm. todeta infrastruktuurin sisältämiä pullonkauloja.

Toinen tapa analysoida liikennehäiriöitä on mikrosimulointi. Mikrosimuloinnin avulla liikennetilannetta voidaan mallintaa hyvin totuutta vastaavasti, jos mallin parametrit on määritetty oikein. Mikrosimulointityöhön kuuluu oleellisena osana simulointimallin rakentaminen. Mallin rakentamisen työmäärä riippuu siitä, kuinka tarkka mallista halutaan saada. Mitä tarkempi malli, sitä työläämpi se on rakentaa, mutta sitä tarkemmat ja todellisuutta vastaavat tulokset saadaan. Häiriötilanteita simuloitaessa voidaan tarkastella tietyn syyn aiheuttamia vaikutuksia muuhun junaliikenteeseen, ts. sekundäärivaikutuksia, niiden vaikuttavuutta ja häiriön leviämistä. Tällaiset tarkastelut ovat hyvin totuudenmukaisia ja niistä on mahdollista saada tärkeää tietoa. Epävarmuustekijä häiriöiden mallintamisessa syntyy häiriön määrittämishetkellä ja sen sijoittamisessa, sillä häiriön sijoittaminen verkkoon liittyy ennalta määrättyihin toimintoihin, jolloin mallinnetut häiriöt eivät ole satunnaisia. Toisaalta juuri tästä syystä

tiettyjä häiriöitä tarkasteltaessa niiden vaikutuksia voidaan tarkasti tutkia. Simulointimallit vaativat tarkkoja lähtötietoja, jotta ne voivat kuvata tilannetta mahdollisimman totuudenmukaisesti. Simulointimalleihin on sen vuoksi mm. määritettävä aikataulu, jonka perusteella junat kulkevat. Tämän vuoksi simulointimallien käyttö häiriöiden analysoinnissa on parhaimmillaan silloin, kun tarkastellaan olemassa olevaa liikennettä tai liikennettä, johon on tehty pieniä korjauksia olemassa olevaan liikenteeseen verrattuna.

Kolmas tapa analysoida liikenteen häiriöitä ovat empiiriseen aineistosta tehdyt tilastolliset analyysit. Empiirisen aineiston analysointi on varma keino saada tietoa tapahtuneesta, sillä aineisto on koottu toteumatiedoista. Jos liikenteessä on ollut erittäin poikkeavia tapahtumia sinä aikana, kun analysoitava aineisto on kerätty, ei siitä voida tehdä kovin suuria yleistyksiä. Tällöinkin jokin poikkeava tapahtuma eli häiriö on vaikuttanut liikenteeseen, jonka vuoksi aineistoa kannattaa analysoida. Empiiristä aineistoa on helppo ja nopea analysoida, samalla kun tulokset ovat totuudenmukaisia. Empiirinen aineisto sisältää tietoa junien aikatauluvaihteluista. Aineiston avulla voidaan tutkia junien keskinäistä vuorovaikutusta. Aineistosta saadaan erilaisia tunnuslukuja, kuten ajoaikojen vaihtelua, viipeitä ja häiriöherkkyyttä. Empiirisen analyysin perusteella ei voida kovin hyvin mallintaa tulevaisuutta. Erilaisten jakaumien avulla voidaan toki miettiä, mitä tapahtuu jos aikataululle tehdään muutoksia, mutta infrastruktuuriin tehtävien muutosten vaikutusta on melko vaikea arvioida empiirisen aineiston perusteella.

7.4 Häiriöiden analysointi eräissä maissa

Kirjallisuuskartoituksen tueksi työssä haluttiin myös perehtyä siihen, kuinka Ruotsissa, Sveitsissä ja Alankomaissa käytännössä analysoidaan häiriöitä. Tätä varten haastateltiin yhteyshenkilöitä sekä tutustuttiin saatavilla oleviin sähköisiin lähteisiin. Ruotsi valittiin tarkasteluun sen vuoksi, että se muistuttaa infrastruktuurinsa ja toimintatapojensa puolesta paljon Suomea. Sveitsi ja Alankomaat valittiin tarkasteluun sen vuoksi, että niissä rautatieliikenteen analysointi on maailman huippua.

Tarkastelussa kävi ilmi, että Ruotsissa häiriöiden analysointia tehdään samalla tavoin kuin Suomessa. Analysointi ei ole kovin systemaattista, mutta toisaalta Ruotsissa on perustettu työryhmiä parantamaan suurten kaupunkialueiden rautateiden täsmällisyyttä hyvin tuloksin. Alankomaissa analysoinnin tueksi on tehty paljon eri menetelmien kehittämistä, esimerkiksi nykyisin liikenteen toteuma-aika voidaan määrittää sekunnin tarkkuudella, joka parantaa analyyseissä saatavan tiedon määrää ja sen hyödynnettävyyttä. Alankomaissa on käytetty kaikkia edellä mainittuja analysointimenetelmiä liikenteen analysoinnissa. Voidaan todeta, että Alankomaissa rautatieliikenteen, ja myös häiriöiden analysointi, on korkealla tasolla.

Sveitsissä rautatieliikenteen analysointi on korkeaa tasoa. Sveitsissä on jo hyvin kauan panostettu liikenteen sujuvuuteen ja sen vuoksi toimintatavat ovat kehittyneet huippuunsa. Pientä kehittämistä tehdään jatkuvasti, joka näkyy mm. analysointityökaluissa. Sveitsissä analysoidaan taukoamatta aikataulujen toimivuutta ja oikeellisuutta. Lähtökohtana sveitsiläisessä analysoinnissa pidetään aikataulua. Aikataulusuunnittelun perusteella tehdään myös infrastruktuuriin investointeja, joten kriittisen rataosan parantaminen pohjautuu osittain myös häiriöiden analysointiin. Sveitsiläisessä

häiriöiden kirjaamistyössä mainittavaa on, että sekundäärisyyt liitetään aina alkuperäiseen primäärisyyhyyn, jonka avulla häiriöiden vaikuttavuutta ja leviämistä on mahdollista analysoida tarkasti. Nykyisin Sveitsissä on käytössä työkalu, joka analysoi reaaliaikaisesti junien kulkua. Työkaluun on määritetty normaalin liikenteen aikatauluvaihtelut. Kun juna kulkee normaalista poikkeavasti, liikenteenohjaaja huomaa asian heti ja voi ryhtyä toimenpiteisiin junan aikataulussa pysymiseksi. Junien kulun toteumatietoa analysoidaan jatkuvasti, jolloin liikenteeseen voidaan tehdä nopeastikin korjaavia toimenpiteitä.

7.5 Uusi toimintamalli häiriöiden analysoimiseksi

Työn tuloksena laadittiin toimintamalli, jonka perusteella häiriöiden analysointia tulisi tehdä Suomessa. Työtä tehtäessä todettiin, ettei suomalainen tapa analysoida häiriöitä ole tarpeeksi kattava, jotta kehitysinvestointeja tai kunnossapidon toimenpiteitä voitaisiin niiden pohjalta aloittaa. Apuja häiriöiden analysointiin kerättiin kirjallisuudesta ja muiden maiden tavoista tehdä analyysejä.

Toimintamalli koostuu kolmesta tasosta. Ensimmäinen taso vastaa suuresti nykyistä menetelmää tehdä täsmällisyysyhteenvetoja koko rataverkosta kuukausittain. Toinen taso koskee rataosittaista tarkastelua, joka tehdään samoilla periaatteilla kuin ensimmäisen tason tarkastelu. Lähteenä tarkasteluissa toimii JUSEen kirjattu tieto. Rataosittaisen tarkastelun hyöty on koko verkon kattavaa tarkastelua parempi, sillä käytetyllä työmäärällä saadaan erittäin paljon tarkempaa tietoa häiriöistä. Toisen tason tarkastelulla on mahdollista päästä käsiksi niihin tekijöihin, jotka kullakin rataosalla aiheuttavat eniten ongelmia. Tämä taas nopeuttaa ongelman poistamista. Jos toisen tason analyysi ei ole tarpeeksi kattava investointien perustaksi, tai muuten halutaan saada tarkempaa tietoa häiriöstä, voidaan tarkastelu suorittaa astetta tarkempaan, esimerkiksi liikennepaikkaväleittäin tai opastinvälein. Kolmannen tason tarkastelut perustuvat toteumadatan tilastolliseen analysointiin. Tällöin tarkastelun alla ovat erilaiset tilastolliset tunnusluvut. Kolmannen tason analysoinnissa aikaa vievin osuus on lähtöaineiston saaminen ja muokkaaminen, sillä kaikista järjestelmistä toteumadata ei ole saatavilla tai se on vaikeasti muokattavissa. Toteumadatan keräämistä tulisi siis kehittää sellaiseen suuntaan, joka mahdollistaa aineiston saamisen jatkokäsittelyyn mahdollisimman helposti.

Toimintamallin testaamiseksi työssä tehtiin kaksi tapaustutkimusta. Toinen tapaustutkimuksista liittyi toimintamallissa esitettyyn toisen tason analyysiin ja toinen tapaustutkimus kolmannen tason analysointimenetelmään.

Verkon rataosittainen tarkastelu tehtiin JUSEen tallentuneesta aineistosta, jota käytetään myös koko verkon täsmällisyysyhteenvedoissa. Rataosittaisessa tarkastelussa pyrittiin yksinkertaisella menetelmällä osoittamaan rataverkosta häiriöherkkiä rataosia. Rataosajako perustui JUSEn seuranta-asemien jakoon. Häiriöherkkiä rataosia pyrittiin määrittämään kahdella eri menetelmällä. Toisella menetelmällä tutkittiin myöhästysten junien osuutta eri rataosilla. Toisella menetelmällä tutkittiin häiriön vaikuttavuutta laskemalla matkustajille aiheutuneet myöhästymisminuutit jokaiselle rataosalle erikseen. Myöhästysten junien osuudella osoitettiin, missä rataosilla junat ylipäänsä kokevat häiriöitä puuttumatta siihen, kuinka paljon junia kullakin rataosalla määrällisesti kulkee. Häiriön vaikuttavuutta taas arvioitiin myöhästymisminuuttien

kokonaismäärällä, jolloin vähäliikenteiset rataosat eivät painottuneet merkittävästi kokonaisuuteen nähden. Menetelmien käytön perusteella rataverkosta oli mahdollista paikantaa häiriöherkkiä rataosia ja määrittää merkittävimmät häiriöitä aiheuttaneet tekijät kullakin rataosalla. Lisäksi kullekin rataosalle määritettiin keskimääräinen myöhästymisen kesto. Myöhästymisten kesto vaihteli suuresti rataosasta riippuen, mikä viittasi siihen, että myöhästymisten vaikutukset vaihtelevat rataosittain, minkä vuoksi rataosittain tehtävää häiriöiden analysointia kannattaa tehdä.

Tarkempi kolmannen tason tarkastelu tehtiin Hirvineva–Liminka–Kempele väliseltä rataosuudelta. Ko. rataosuudelta oli saatavilla sekunnin tarkkaa junien kulkutietoa junanumerotarkkuudella. Tarkasteluun valittiin 18 junaa, joista puolet kulki pohjoiseen päin ja puolet etelään päin. Junista 12 oli kaukojunia ja 6 tavarajunia. Tapaustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voitiinko häiriöitä analysoida junien kulun toteumatiedosta. Tätä varten aineistosta tehtiin jokaisen junan osalta analyysi siitä, kuinka hyvin junat kulkevat aikataulunmukaisesti ja millaisia aikataulupoikkeamia junilla on. Junien kohtaamistilanteista tarkasteltiin niiden onnistumista, sekä suoraan ajamisen merkitystä verrattuna kohtaamistilanteessa odottamiseen. Lisäksi tarkasteltiin, millaisia eroja kaukoliikenteen käyttäytymisessä ja tavaraliikenteen käyttäytymisessä oli toteumatiedon perusteella. Tarkastelujen perusteella junien aikataulunmukainen kulku vaihteli riippuen siitä, kohtasivatko junat vai ajoivatko ne suoraan, sekä siitä, oliko tarkasteltava juna henkilöjuna vai tavarajuna. Suoraan ajavat henkilöjunat pysyivät hyvin aikataulussaan ja saattoivat ajaa tarkastelualan läpi nopeammin kuin aikataulussa oli määrätty. Kohtaamistilanteessa väistämään joutuneiden henkilöjunien kuluksena sen sijaan oli enemmän hajontaa ja ne kulkivat vähemmän täsmällisesti kuin suoraan ajavat henkilöjunat. Pelkkien henkilöjunien kohtaamiset onnistuivat osassa tapauksista hyvin ja osassa melko hyvin, mutta jos kohtaamisessa oli toisena osapuolena mukana tavarajuna, ei kohtaaminen useinkaan onnistunut aikataulun mukaan. Tavarajunien kulku vaihteli suuresti päivästä riippuen. Vaikuttaisi siltä, että osa ongelmista johtui aikataulusuunnittelusta, mutta taustalla saattaa olla myös muita tekijöitä, joita ei suoraan voitu johtaa tarkastelusta.

7.6 Työn tavoitteet ja niiden toteutuminen

Työn tavoitteina oli selvittää, miten nykyisiä Suomessa käytössä olevia häiriöiden analysointimenetelmiä tulisi kehittää, miten jo nyt käytössä olevaa JUSE-järjestelmää voidaan paremmin hyödyntää häiriöiden analysoinnissa ja kuinka rataverkosta on mahdollista paikallistaa kohtia, joita kehittämällä rautatieliikenteen täsmällisyyttä on mahdollista parantaa. Työn tulos oli häiriöiden analysoinnin uusi toimintamalli, joka vastaa kaikkiin työn tavoitteissa esitettyihin kysymyksiin.

Kirjallisuuden perusteella ja JUSE-järjestelmää hyödyntäen voitiin häiriöiden syntyyn vaikuttavia tekijöitä nimetä ja määrittellä häiriö erilaisista näkökulmista. Kirjallisuuden perusteella käytiin läpi rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnissa käytettäviä menetelmiä ja lisäksi tutustuttiin muutamien maiden tapoihin käytännössä analysoida häiriöitä. Uuden toimintamallin perusteella häiriöiden analysointi on järjestelmällisempää ja sen avulla on mahdollista saada hyvin paljon enemmän tietoa häiriöistä kuin aikaisemmin.

JUSE sisältää paljon tärkeää ja informatiivista tietoa, jota on mahdollista hyväksikäyttää selvästi nykyistä enemmän. Työssä laadittuun toimintamalliin perustuen JUSEn sisältämää täsmällisyystietoa analysoitiin ja aineistosta saatiin paljon uutta tietoa. JUSEa kannattaa siis hyödyntää nykyistä enemmän.

Junan sijaintia rataverkolla ei voida määrittää täysin tarkasti. Jakamalla rataverkko yhä pienempiin ja pienempiin osiin voidaan rataverkolta saada yhä tarkempaa tietoa, mistä johtuen häiriöiden paikallistaminen tarkentuu. Jos JUSEn seuranta-asemia lisätään, lisääntyy myös junanumeroon ja liikennepaikkaväliin liittyvän häiriötiedon arvo. Tarkasteluja voidaan suorittaa myös analysoimalla junaliikenteen toteumatietoa, mutta ainakin tällä hetkellä toteumatiedon ja mahdollisesti tarkastelualueella sattuneen häiriön syytä ei voida yhdistää, sillä syyn kirjaaminen tapahtuu hyvin harvoilla liikennepaikoilla (JUSEn seuranta-asemilla). Toteumatiedosta on nähtävissä esimerkiksi junien keskimääräiset ajoajat ja ajoaikojen hajonta. Jos ajoajat vaihtelevat suuresti toisistaan (eli hajonta on suurta), voidaan tarkastelualueella sanoa olevan ongelmia. Ongelman syyn löytäminen on siltikin hankalaa, sillä se voi liittyä mm. rataan tai kalustoon tai aikataulusuunnitteluun. Parasta olisi jos syy voitaisiin yhdistää jollain tavalla junien ajoaikojen ja aikataulunmukaisen ajon vaihteluihin.

7.7 Työn arviointi ja suositukset

Työn tavoitteiden haastavuuden ja niiden toteutumisen perusteella voidaan todeta, että työ onnistui tavoitteittensa mukaisesti erittäin hyvin. Positiivisena tuloksena työssä voidaan pitää myös häiriöihin liittyvän keskustelun lisääntymistä niin RHK:ssa kuin muidenkin rautatieliikenteen toimijoiden keskuudessa. Työn perusteella tuli esiin seuraavanlaisia suosituksia, jotka osaltaan liittyvät tämän työn tuloksiin.

Liikenteen häiriötietoa analysoimalla saadaan erittäin arvokasta tietoa siitä, mitä ongelmia radalla on. Analysoidun häiriötiedon perusteella voidaan päästä kiinni kaikkein akuuteimpiin kehitys- ja kunnossapitoa vaativiin kohteisiin, joita parantamalla liikenteen laatu paranee. Työssä ehdotettua uutta toimintamallia häiriöiden analysoimiseksi kannattaisi kokeilla. Järjestelmällisellä kartoittamisella saadaan tietoa mm. häiriöiden vakavuudesta, joka näkyy jatkuvina häiriötapauksina tietyillä rataosilla. Häiriöiden trendien seurannalla voitaisiin seurata kunkin rataosan häiriöherkkyyden kehittymistä. Nykyistä häiriöiden analysointimenetelmää tulisi kehittää toimintamallin suuntaan ja tekniikan kehittyessä junien toteumatiedon analysointitapojen tulisi lähentyä Sveitsin kaltaisen maiden tapaa analysoida toteumatietoa jopa reaaliajassa.

Jotta JUSEsta saatava tieto olisi mahdollisimman hyvin hyödynnettävissä, tulisi seuranta-asemia lisätä. Tämä toimenpide lisäisi todennäköisesti häiriötiedon laatua, mutta sen seurauksena liikenteenohjaajien työtaakka todennäköisesti kasvaisi, koska oletettavasti nykyisten seuranta-asemien välillä tapahtuu usein enemmän kuin yksi häiriö yhtä kirjausta nähden. Myös primääristen häiriöiden kiinnittäminen siitä aiheutuviin sekundäärisiin häiriöihin olisi merkittävä parannus nykyhetkeen. Tällöin tietyn primäärihäiriön vaikutuksia voitaisiin analysoida aivan eri tasolla kuin nykyhetkenä.

Häiriöiden analysoinnin kannalta häiriöiden kirjaamiskäytäntöä tulisi tarkentaa. Tarkentaminen toisi merkittävästi enemmän tietoa siitä, mitkä tekijät aiheuttavat eniten

häiriöitä liikenteeseen. Häiriöiden koodaaminen JUSEen tehdään tällä hetkellä kauko-ohjaajien toimesta, jotka häiriötilanteessa eivät välttämättä ehdi kirjaamaan jokaiselle myöhästyneelle junalle syykoodia. Tästä syystä JUSEn sisältämät tiedot eivät välttämättä sisällä kaikkia myöhästymisiä. Voitaisiinkin pohtia, ovatko kauko-ohjaajat oikeita henkilöitä kirjaamaan myöhästymisssyyt, vai pitäisikö työn tehdä joku muu, tulevaisuudessa esimerkiksi infojärjestelmistä vastaava taho.

JUSE-järjestelmässä tulisi myös huomioida peruutetut junat, jotka eivät tällä hetkellä näy JUSEsta saatavissa tilastoissa. Jos juna on myöhässä, se kirjautuu järjestelmään, mutta jos juna perutaan kokonaan, sen osalta viivettä ei kirjata eikä se myöskään vaikuta täsmällisyyslukuihin. Lisäksi aikataulujen sisältämä pelivara vähentää häiriöiden näkyvyyttä. Pelivaraa täytyy olla jonkin verran, jotta liikenne ei mene sekaisin pienistä häiriöistä, liian suuren pelivaran käyttäminen kuitenkin "hautaa" rataverkon ongelmakohdat, jolloin niiden paikallistamista ja kehittämistarpeita ei voida havaita. Tämän vuoksi olisi tärkeää, että myös hieman pienempien viipeiden syyt kirjattaisiin ylös. Lopuksi tavaraliikenteen etuajassa kulkuun tulisi kiinnittää nykyhetkeä enemmän huomiota, sillä etuajassa kulku vaikuttaa junakohtaamisten järjestämiseen ja niiden onnistumiseen ja siten liikenteessä havaittaviin häiriöihin.

Junaliikenteen täsmällisyyden mittausta tulisi kehittää, jotta kerättävää tietoa voitaisiin paremmin hyödyntää esimerkiksi suunnittelun ohjauksessa. Tätä varten tarvittaisiin lisää täsmällisyysmittareita ja uudenlaisia tunnuslukuja, jotka antaisivat nykyistä paremman kuvan rautateiden täsmällisyydestä. Tärkeää olisikin luoda mittari, joka vastaa olemassa oleviin tarpeisiin, esimerkiksi kehittää häiriöiden syiden tunnistamista osana täsmällisyyden mittausta.

7.8 Jatkotutkimusaiheet

Seuraavanlaisia jatkotutkimusaiheita ja -ideoita syntyi työtä tehtäessä.

Häiriöiden syiden ja junien täsmällisyyden koodaaminen JUSE-järjestelmään kaipaa jonkin verran parantamista. Tätä varten olisi syytä tehdä jatkotutkimus siitä, millä perusteella JUSEa voitaisiin kehittää siihen suuntaan, että siitä saatava tieto olisi mahdollisimman luotettavaa. Tätä varten kannattaisi selvittää tapaustutkimuksena esimerkiksi viikon ajalta, kuinka paljon kirjaamisen tarkentaminen lisäisi kauko-ohjaajien työtä ja kuinka paljon lisäarvoa tarkemmalla kirjaamisella saadaan. JUSEen liittyen olisi mielenkiintoista tehdä kartoitus myös siitä, mitä liikennepaikkoja kannattaisi lisätä JUSEn seuranta-asemiksi. Myös seuranta-asemien lisäämisestä aiheutuvaa työ määrää olisi hyvä selvittää esimerkiksi tapaustutkimuksena.

Kirjallisuuskartoituksen perusteella analyttiset menetelmät sopivat pitkällä aikajänteellä tehtävään suunnitteluun. Tämän vuoksi olisi mielenkiintoista tutkia, miten analyttisiä menetelmiä voitaisiin hyödyntää kehitysinvestointien suunnittelussa.

Häiriöiden aiheuttamista vaihtoyhteyksien menettämistä olisi myös mielenkiintoista tutkia. Tällöin häiriöiden vaikuttavuudesta saataisiin lisäinformaatiota.

Verkollisia analyysejä olisi mielenkiintoista tehdä myös tavaraliikenteen sekä lähiliikenteen osalta. Nyt tarkastelussa oli vain kaukoliikenne.

Myös matkustajien laiturikäyttäytymistä tulisi tutkia enemmän, sillä varsinkin lähiliikenteessä matkustajista aiheutuvat viipeet ovat suuressa roolissa. Asemien kehittämisellä sujuvammaksi tarkoitetaan ohjeita junavaunun pysähtymispaikasta, tilaa ovien kohdilla, tarpeeksi pitkiä katoksia, joiden alla odottaa jne. Tällaiset seikat vaikuttavat varmasti matkustajista aiheutuneiden viipeisiin ja niitä kehittämällä voitaisiin edesauttaa junaliikenteen täsmällisyyttä.

Junien etuajassa kulkua suhteessa aikatauluun pitäisi selvittää lisää. Nykyään etuajassa kulku ei näy JUSEn tilastoissa muuten kuin tavaraliikenteen osalta. Etuajassa kulkevat junat kuitenkin vaikuttavat rataverkolla kulkeviin muihin juniin, minkä vuoksi niiden vaikutuksia olisi tärkeä tutkia enemmän.

Käytettävissä olevan pelivaran vaikutusta tulisi myös tutkia tarkemmin. Tällä hetkellä pelivaran jakaminen aikatauluun riippuu aikataulusuunnittelijasta. Yleinen nyrkkisääntö on, että pelivaran suuruus on noin 10 %. Pelivaran jakamiseen liittyvää käytäntöä tulisi selkeyttää, jotta mm. häiriöiden tunnistaminen olisi helpompaa.

LÄHTEET

- Achermann, R. 2008. SBB:n asiantuntijan sähköpostihaastattelu 11.1.2008. Sveitsi.
- Blomqvist, E. 2007. Täsmällisyyskoordinaattori Egon Blomqvistin haastattelu. VR Osakeyhtiö, Helsinki. 26.11.2007.
- Blomqvist, E. 2008. VR Osakeyhtiön täsmällisyyskoordinaattori Egon Blomqvistin sähköpostihaastattelu 17.4.2008.
- Finlex. 2008. *Ratalaki 110/2007*. Online. Viitattu 13.2.2008. [<http://www.finlex.fi>.]
- de Kort, A. Heidergott, B., Ayhan, H. 2003. *A probabilistic (max,+) approach for determining railway infrastructure capacity*. European Journal of Operational Research 148. s. 644–661.
- Gibson, S., Cooper, G., Ball, B. 2002. *Developments in Transport Policy: The Evolution of Capacity Charges on the UK Rail Network*. Journal of Transport Economics and Policy, Volume 36, Part 2. s. 341–354.
- Goverde, R.M.P., Hooghiemstra, G., Lopuhää, H.P. 2001 *Statistical Analysis of Train Traffic*. TRAIL Studies in Transportation Science S2001/1. The Netherlands TRAIL Research School. DUP Science. 139 s.
- Goverde, R.M.P. 2005. *Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis*. PhD Thesis. The Netherlands TRAIL Research School. TRAIL Thesis Series no. T2005/10. Delft University of Technology, Alankomaat. 293 s.
- Hansen, I. 2003. *A new tool for the analysis of train punctuality based on train detection data*. AGRRI Network Capacity Seminar. Lontoo, Iso-Britannia, 28.9.2003.
- Helsingin sanomat. 2008. *Peruutukset tulivat VR:n nettisivuille vasta aamulla*. Julkaistu 27.3.2008 Helsingin sanomien osastolla Kaupunki.
- Hofman, M., Madsen L.F., Groth, J.J., Clausen, J., Larsen, J. 2006. *Robustness and Recovery in Train Scheduling - a simulation study from DSB S-tog a/s*. 6th Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ATMOS). 14.9.2006, Zürich, Sveitsi. 22 s.
- Hovi, S. ja Oksanen, J. 2007. Liikennesuunnittelijoiden Sami Hovin ja Jarmo Oksasen haastattelu. VR Osakeyhtiö, Helsinki. 3.12.2007.
- Huisman, T. Boucherieb, R., van Dijk, N. 2002. *A solvable queueing network model for railway networks and its validation and applications for the Netherlands*. European Journal of Operational Research Volume 142, Issue 1. s. 30–51.
- Immonen K.J. *Valtionrautatiet 1862–1962*. Helsinki. Kirjayhtymä. 209 s.

- Lehikoinen, H. 2006. *Turvalaitteet ja liikennesuunnittelu*. ppt-esitys 26.10.2006, Ratahallintokeskus.
- Lehikoinen, H. 2007. *Radan turvalaitteet*. Rautatiesuunnittelun erikoisopintojakso, TTY, Tampere 27.3.2007. RHK-Akatemia. 49 s.
- Lehikoinen, H. 2008. Pääsuunnittelija Hannu Lehikoisen haastattelu. Ratahallintokeskus. 2.1.2008, Helsinki.
- Levo, J., Lähesmaa, J., Hautala, R., Pajunen, K. 2004. *Rautatieliikenteen häiriönhallinnan toimintamalli*. FITS-julkaisuja 46/2004. Helsinki. 92 s.
- LVM. 2008. *Ministeriön esittely, toimintatavat*. Online. Viitattu 13.2.2008. [<http://www.lvm.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1926&menuid=61>.]
- Mattsson, L.-G. 2004. *Train service reliability: A survey of methods for deriving relationships for train delays*. Royal Institute of Technology Department of Infrastructure Unit for Transport and Location Analysis. Tukholma. 30 s.
- Mäkitalo, M. 2000. *Ratakapasiteetin perusteet*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 9/2000. Ratahallintokeskus, turvallisuusyksikkö, Helsinki. 65 s.
- Mäkitalo, M. 2003. *Aikataulu ja ratakapasiteetti – mitä eroa?* Rautatietekniikka 3/2003. s. 38.
- Mukula, M. 2007. *Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 1/2008. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto, Helsinki. 124 s.
- Musto, M. 2008. *Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/2008. Ratahallintokeskus, Liikennejärjestelmäosasto, Helsinki. 124 s.
- Natunen, M. 2007. *Ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä (LIIKE)*. Ppt-esitys LIIKE-projektista 1.6.2007. Ratahallintokeskus.
- Nieminen, J. *Junaliikenteen tarjonnan ja maankäytön välinen yhteys – Case Kerava-Riihimäki-Lahti*. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 84 s.
- Nummelin, M. (toim.) 2005. *Ratahallintokeskus 10 vuotta*. Ratahallintokeskus. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 107 s.
- Nyström, B. 2005. *Punctuality and Railway Maintenance*. Licentiate Thesis. Luleå. Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering. 41 s.
- OpenTimeTable 2008. *OpenTimeTable-ohjelman kotisivut*. Online, viitattu 18.3.2008 [http://www.opentimetable.ch/opentimetable_e.html]

Pitkänen, J.-P. 2006. *Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A4/2006. Helsinki. 147 s.

Pitkänen J.-P. 2008. DI Jukka-Pekka Pitkäsen haastattelu Ratahallintokeskus, Helsinki. 11.3.2008.

Puranen, Juha. 2008. Tilastotieteensanastoa. Helsingin yliopiston valtiotieteen tiedekunnan lehtorin kotisivu. Online, viitattu 28.4.2008 [<http://noppa5.pc.helsinki.fi/uudet/dal1htm/kuva/bw.html>.]

Ratahallintokeskus. 2004. JUSEn kuvaus. 3.3.2004. julkaisematon.

Ratahallintokeskus. 2006a. *Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2008–2011*. Helsinki. 58 s. RHK:n pdf-julkaisu, saatavilla osoitteesta [<http://www.rhk.fi>]

Ratahallintokeskus. 2006b. *Rautatieliikenne 2030, Radanpidon pitkän aikavälin suunnitelma*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja F2/2006. Helsinki. 62 s.

Ratahallintokeskus. 2007a. *Ratatekniset ohjeet, turvalaitteet (RATO 6)*. Dnro 1747/611/2007. 171 s.

Ratahallintokeskus. 2007b. *RHK:n info 2007*. ppt-esitys.

Ratahallintokeskus. 2007c. *RHK*. Online. Viitattu 19.12.2007. [<http://www.rhk.fi/rhk>.]

Ratahallintokeskus. 2007d. *Verkkoselostus 2009*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja F2/2007. Helsinki. 121 s.

Ratahallintokeskus. 2007e. Aikataulupoikkeamissa käytetyt syykoodit.

Ratahallintokeskus. 2008a. *Ratapituus lyheni 6 km, vuoden 2007 ratapituus 5899 km*. Ratahallintokeskuksen sisäisen intranetin, Baliisin, tiedote 19.2.2008.

Ratahallintokeskus. 2008b. *Rataverkon kuvaus 7.1.2008*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja F 1/2008. Helsinki. 59 s.

Ratahallintokeskus. 2008c. *Ratahallintokeskuksen Liikennekeskus – Rautatieliikenne hallinnassa yötä päivää*. Ratahallintokeskuksen Liikennekeskuksen esittelymateriaali. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2008d. *Henkilöliikenteen matkat vuonna 2007, kaukoliikenne*. Ratahallintokeskuksen tilastotietoa henkilöliikennevirroista. Helsinki.

Rautatievirasto. 2007. *Rautatieviraston toiminta-ajatus*. Online. Viitattu 19.12.2007. [<http://www.rvi.fi>.]

RIL ks. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.

RVI ks. Rautatievirasto

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. 2005. *RIL 165-1 Liikenne ja väylät I. Raideliikenne* s. 449–479.

Tekniikka ja talous. 2004. *Kaikki tarpeellinen 255 bitissä*. [Tekniikka ja Talous, 21.4.2004] Online, viitattu 14.3.2007 [<http://www.tekniikkatalous.fi/incoming/article30288.ece>]

Turisti aikataulut. 2007. *Turisti aikataulut 2/2007*. toim. Kari Juntunen. Helsinki 768 s.

VR 2007. VR Vuosikertomus 2006. 68 s.

VR. 2008a. *VR kuljetti viime vuonna ennätysmäärän matkustajia*. Online. Viitattu 15.2.2008. [http://www.vr-konserni.fi/vakiolinkit/VR-konsernitiedottaa/news_353.html]

VR. 2008b. *Korvausten hakeminen*. Online, viitattu 10.3.2008. [<http://www.vr.fi/heo/palaute/fpalaute.htm>]

VR. 2008c. *Voimakas lumipyry saattaa vaikeuttaa junaliikennettä huomenna (julkaistu 25.3.2008)*. Online, viitattu 28.3.2008. [http://www.vr-konserni.fi/vakiolinkit/VR-konsernitiedottaa/news_381.html]

Vromans, M.J.C.M. 2005. *Reliability of Railway Systems*. ERIM Ph.D series Research in Management 62. TRAIL Thesis series T2005/7, Erasmus University Rotterdam, Erasmus Research Institute of Management (ERIM). Alankomaat. 244 s.

Wahlborg, M. 2008. Banverketin asiantuntijan sähköpostihaastattelu 15.1.2008. Ruotsi.
Wendler, E. 2007. *The scheduled waiting time on railway lines*. Transportation Research Part B. 41. s. 148–158.

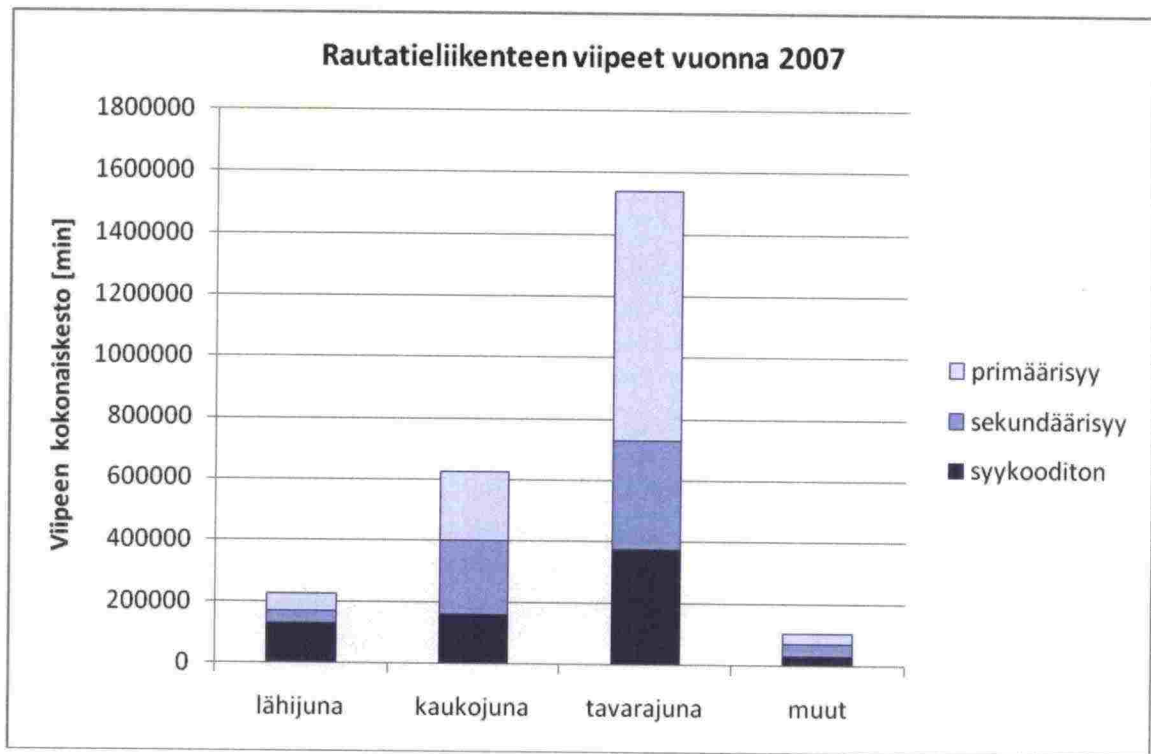
YLE Uutiset 2008. *VR peruu aamun lähijunia pyryn vuoksi (julkaistu 25.3.2008)*. Online, viitattu 28.3.2008. [<http://www.yle.fi/uutiset/kotimaa/vasen/id86235.html>]

Yuan J. ja Hansen I.A. 2007. Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays. Transportation Research Part B 41 s. 202–217.

Lisäksi seuraavien henkilöiden kanssa käydyt keskustelut ovat antaneet lisäarvoa työhön, vaikka niihin ei ole suoraan viitattu tekstissä:

Keskustelut yksikön päällikkö Jukka Ronnin kanssa, RHK, 1.11.2007–27.5.2008
Keskustelut yksikön päällikkö Miika Mäkitalon kanssa, RHK, 1.11.2007–27.5.2008
Keskustelut pääsuunnittelija Hannu Lehikoisen kanssa, RHK, 1.11.2007–27.5.2008
Keskustelut ylitarkastaja Harri Lahelman kanssa, RHK, 1.3.2008–16.5.2008
RHK:n liikennepäälliköiden kanssa käydyt keskustelut, RHK, 1.3.2008–16.5.2008
Dipl.ins. Tero Kososen haastattelu, VR Rata Oy, Helsinki, 17.3.2008

RAUTATIELIIKENTEN VIIPEIDEN KOKONAISKESTOT VUONNA 2007



JUSESSA KÄYTETTÄVÄT SYYKOODIT

AIKATAULUPOIKKEAMISSA KÄYTETTÄVÄT SYYKOODIT

Liikenneonnettomuudet	Henkilökunta	Rata
O1 ALLEJÄÄNTI (IHMINEN)	H1 HENKILÖKUNNAN VAIHTO	R1 TILAPÄISET NOPEUSRAJOITUKSET
O2 ALLEJÄÄNTI (ELÄIN)	H2 HENKILÖKUNNAN ODOTUS	R2 ESTERADALLA
O3 TASORISTEYSONNETTOMUUS	H3 MUUT SYYT	R3 RADAN KUNNOSSAPITO - JA RAKENNUSTYÖT
O4 MUUT ONNETTOMUUDET JA VAURIOIT		R4 VARAUKSEEN SOVITUN AJAN YLITYS
Matkustajapalvelu	Junankokoonpano	Sähköistys
M1 MATKUSTAJARUUHKA	J1 VAUNUJEN OTTO TAI JÄTTÖ	S1 JÄNNITEKATKO
M2 MATKUSTAJIEN AIHEUTTAMIA HÄIRIÖITÄ	J2 VAUNUJEN TAI VAUNURYHMIEN ODOTUS	S2 TEKNISET VIAT
M3 AIKATAULUSTA POIKKEAVA PYSÄHDYS	J3 JARRUJEN KOETTELU	S3 SÄHKÖRADAN KUNNOSSAPITO- JA RAKENNUSTYÖT
M4 PASSI- JA TULLITARKASTUS	J4 ERIKOISKULJETUS	S4 HÄIRIÖ VALTAKUNNAN VERKOSSA
M5 VANKIEN KUORMAUS JA PURKU	J5 ALENNETTUSN	
M6 PYSÄHTYMISAJAN YLITYS		
Tavarapalvelu	Veturit	Turva-, valvonta- ja viestilaitteet
T1 TAVARAN KUORMAUS JA PURKU	V1 VETURIN ODOTUS	P1 TURVALAITEVIKA
T2 POSTIN KUORMAUS JA PURKU	V2 VETURVIKA JA JKV-VIKA VETURILAITTEESSA	P2 OPASTINVIKA
T3 RAVINTOLAVAUNUN KUORMAUS	V3 VETOVOIMAN PUUTE	P3 VAIHDEVIKA
T4 AIKATAULUSTA POIKKEAVA PYSÄHDYS	V4 VETURIN VAIHTO, LISÄYS TAI POISTO	P4 JKV-VIKA RATALAITTEISSA
		P5 LINJA- TAI RATAPIHARADIOVIKA TAI PUHELINVIKA
		P6 GSM-R -VIKA
		P7 VALVONTALAITTEVIKA TAI AIHEETON HÄLYTYS
Liikennetekniset syyt	Moottorijunat ja vaunut	Muut syyt
L1 YHTEYSLIIKENTEEN ODOTUS	K1 JARRUVIKA	I1 SÄÄ (SUMU, HUONO KELI TMS)
L2 JUNAKOHTAUS, EDELLÄ KULKEVA JUNA TAI SIVUUTUS	K2 LAAKERVIKA	I2 LUMIESTEET
L3 AHTAUS RATAPIHALLA	K3 JUNAN KATKEAMINEN	I3 ASIATTOMAT RADALLA LIIKKUJAT TAI ILKIVALTA
L4 RISTEÄVÄT KULKUTIET	K4 KYTKENTÄ TAI IIRROITUS (Sm / Dm)	I4 MUUT HÄIRIÖT
L5 MYÖHÄSTYMINEN ULKOMAILTA	K5 KALLISTUSVIKA (Sm3)	
L6 HÄIRIÖ PÄIVYSTYSTYÖSSÄ	K6 LOVIPYÖRÄ	
L7 TULOJUNA MYÖHÄSSÄ	K7 MUU VIKA	
L8 LIIKENTEENHOITOVIRHE		
	Etuaajassakulku (vain tavara liikenteessä)	
	E1 TULOJUNA ETUAJASSA	E5 VETURINA KULKU
	E2 VAIHTOTOITÄ VÄHÄN TAI EI OLLENKAAN	E6 AJOAJAN ALITUS / LIIKENNETEKNISET SYYT
	E3 PIENI JUNAKOKO	E7 MUU SYY
	E4 KÄÄNTÖAJAN ALITUS	

JUSE-JÄRJESTELMÄSTÄ SAATAVAT VAKIORAPORTIT

Työkirja	Kuvaus
A1 Yksittäisen junan kulkutietojen haku	Raportti hakee junan kulkutiedot tietylle päivämäärälle
Henkilökunnasta johtuvat myöhästymiset	Raportti listaa H-syyt lähi liikenteessä ja Hkin osalta myös kaukoliikenteestä
Junalajien myöhästymisen syykoodeittain	Välilehdet 1) Primaarisyyt - syyluokka E, 3) Sekundaarisyyt ja 3) Syykoodeittomat
Junien aikataulunmukainen kulku junatyypeittäin vuositasolla	Vuosi- ja junatyypittaisen raportti, joka tulostaa junat kuukausittain, tapahtuma koodeittain, kapaleittain sekä täsmällisyysprosentteina.
Junien kalustomuutokset ja lisätiedot	lisätietokentässä
Junien kulku	Raportti listaa tietyn junan kulkutiedot liikennepaikoittain, tapahtuma koodeittain, myöhästymisminuuteittain ja syykoodeittain valituille aikavälille junatyypeittäin.
Junien kulku 2	Raportti hakee junien kulkutiedot junalajeittain sekä liikennepaikoittain tai syykoodeittain.
Junien kulkutietojen haku	Välilehdet 1) Liikennepaikkahaku, 2) Syykoodeihaku, 3) Peruteut
Kaukoliikenteen myöhästymiset	Raportti listaa kaukoliikenteen kulkutiedot ja niiden syykoodeit tietyltä aikaväliltä.
Lähijunien kulku	Raportti listaa lähijunien kulkutiedot ja niiden syykoodeit tietyltä aikaväliltä.
Lähijunien linjalajeinnit (K- ja V-syyt)	Raportti listaa lähijunalahtojen linjalajeinnit (Kriteerit: Yli 15 min. myöhästymiset ja peruteut, jos niillä esiintyy K- tai V-syytä, ei kuitenkaan JKV-vikoja) tietyltä aikaväliltä.
Lähi liikenteen ruuhkajunien kulku	Raportti listaa lähiliikenteen ruuhkajunien kulkutiedot ja niiden syykoodeit tietyltä aikaväliltä.
Lähi liikenteen täsmällisyys kuukausitasolla	Raportti listaa lähiliikenteen täsmällisyysprosentin kuukausittain ja liikennepaikoittain valituille vuodelle
Liikennepaikoittain	
Lähi liikenteen täsmällisyys linjoittain	
Lähi liikenteen täsmällisyys myöhästymisluokittain ja kuukausittain	Raportti listaa valitun vuoden kaikki lähi liikenteen ajoissa kulkeneet, myöhästyneet ja perutut junat kuukausittain ja myöhästymisluokittain
Lähi liikenteen täsmällisyys myöhästymisluokittain ja liikennepaikoittain	Raportti listaa valitun kuukauden kaikki lähi liikenteen ajoissa kulkeneet, myöhästyneet ja perutut junat liikennepaikoittain ja myöhästymisluokittain.
Perutut junat	Raportti listaa tietyiltä aikaväliltä junatyypeittäin kaikki perutut junat (E/P) ja niiden syykoodeit, tai jos syykoodein selitteessä on maininta peruutuksesta.
Perutut lähijunat määrät linjoittain	aikaväliltä
Perutut tai yli 3 min myöhässä kulkevat junat	liikennepaikoittain, tapahtumakoodeittain, myöhästymisminuuteittain ja syykoodeittain
Seuranta-asema haku junittain	valituille aikavälille.
Sm 4-junien myöhästymiset (K- ja V-syyt)	tai V-syytä, tietyiltä aikaväliltä.
Täsmällisyys junatyypeittäin	
Täsmällisyys liikennepaikoittain	
Yli 3 min myöhässä kulkevat lähijunat	Raportti listaa kaukoliikenteen junien täsmällisyyden liikennepaikoittain annetulle aikavälille myöhästymisminuuteittain valituille aikavälille.
YTV-junien maksimi myöhästymiset	Raportti listaa YTV-junien maksimi myöhästymiset
Ö Junalajien myöhästymisen syykoodeittain (vanha)	Kuukausittaisen raportti, joka tulostaa myöhästymiset syykoodeittain ja kapaleittain.
Ö Junien kulkutietojen haku (vanha)	Välilehdet 1) Primaarisyyt, 2) Sekundaarisyyt ja 3) Syykoodeittomat
	Raportti hakee junien kulkutiedot junalajeittain sekä liikennepaikoittain tai syykoodeittain.
	Välilehdet 1) Liikennepaikkahaku, 2) Syykoodeihaku

RATAOSIEN LÄHTÖTIETOJA VUODELTA 2007

Rata- osuus	Rai- teita	Rata- osuuden pituus [km]	Matkusta- jamäärät (tuhatta) [kpl]	Junien myö- häs- tymin- nen [min]	Myö- häs- tyneet junat [kpl]	Junan kesk.määr. myöh. [min]	Myöh. media ani [min]	Junia/ vuosi [kpl]	Myöhästy- neet matkustajat [kpl]	Junien määrä/ vrk [kpl]	Matkus- tajien myöhäs- tyminen [milj. min]
HKI-TKL	4	15,7	5 780	6 151	1 565	3,9	3	40 515	223 268	111	1373,3
TKL-RI	4 / 2	55,6	4 000	9 065	1 563	5,8	4	40 515	154 313	111	1398,8
TKL-LH	2	88,5	2 010	7 415	1 184	6,3	5	22 995	103 494	63	767,4
LH-KV	2	61,3	2 085	4 600	590	7,8	4	14 600	84 257	40	387,6
RI-HL	2	58,8	270	1 225	205	6,0	4	13 140	4 212	36	5,2
RI-LH	2	36,2	3 805	8 830	2 868	3,1	2	25 550	427 113	70	3771,4
HL-TL	2	39,8	3 805	7 603	2 399	3,2	2	25 550	357 268	70	2716,3
TL-TPE	2	39,8	4 165	13 737	4 170	3,3	2	32 485	534 648	89	7344,5
LM-TL	1	63,7	575	2 823	474	6,0	5	6 570	41 484	18	117,1
TKU-LM	1	66,1	575	2 433	450	5,4	4	6 570	39 384	18	95,8
HKI-EPO	4 / 2	20,2	1 520	2 584	546	4,7	4	12 410	66 875	34	172,8
EPO-KKN	2	16,7	1 520	928	154	6,0	3	12 410	18 862	34	17,5
KKN-KR	1	48,8	1 520	8 143	1 168	7,0	5	12 410	143 059	34	1164,9
KR-HNK	1	49,3	130	1 012	131	7,7	6	12 5 110	3 333	14	3,4
KR-SLO	1	53,2	1 345	2 529	586	4,3	3	12 410	63 511	34	160,6
SLO-TKU	1	54,1	1 345	5 111	1 082	4,7	4	12 410	117 268	34	599,4
TPE-PRI	1	132,5	265	1 860	183	10,2	6	4 380	11 072	12	20,6
HPK-SK	1	117,8	90	4 020	489	8,2	6	2 190	20 096	6	80,8
TPE-HPK	2 / 1	113,1	65	878	105	8,4	7	2 190	3 116	6	2,7
HPK-JY	1	77,2	80	748	112	6,7	3	2 190	4 091	6	3,1
TPE-JÄS	2 / 1	96,9	850	14 216	2 613	5,4	5	8 030	276 594	22	3932,1
JÄS-JY	1	56,9	850	3 870	721	5,4	5	8 030	76 320	22	295,4
TPE-PKO	1	75,0	1 900	2 994	619	4,8	4	8 760	134 258	24	402,0
PKO-SK	2 / 1	84,6	1 840	8 334	1 792	4,7	4	8 760	376 402	24	3136,9
SK-VS	1	74,6	360	3 569	380	9,4	7	5 840	23 425	16	83,6
SK-KOK	1	134,0	1 210	8 529	1 282	6,7	5	8 395	184 779	23	1576,0
KOK-YV	1	78,9	995	10 744	2 072	5,2	4	8 030	256 742	22	2758,4
YV-ILM	1	154,5	30	540	38	14,2	13,5	1 460	781	4	0,4
KAJ-ILM	1	82,4	210	6 342	1 356	4,7	4	4 380	65 014	12	412,3
KON-KAJ	1	25,3	210	644	216	3,0	2	3 650	12 427	10	8,0
OL-KON	1	165,9	145	10 284	1 276	8,1	6	3 650	50 690	10	521,3
YV-OL	1	122,4	955	11 644	1 836	6,3	5	8 030	218 354	22	2542,5
OL-KEM	1	104,7	585	5 252	411	12,8	5	4 380	54 894	12	288,3
KEM-KLI	1	209,0	65	836	69	12,1	7	312	14 375	6 / vk	12,0
KEM-ROI	1	113,4	400	7 074	948	7,5	6	4 380	86 575	12	612,4
ROI-KJÄ	1	84,7	20	697	52	13,4	6	730	1 425	2	1,0
PM-JY	1	79,9	365	1 529	201	7,6	4	5 110	14 357	14	22,0
PAR-JNS	1	130,0	330	1 774	224	7,9	5	4 380	16 877	12	29,9
PAR-SL	1	58,5	85	717	71	10,1	8	4 015	1 503	11	1,1
LPR-IMR	1	36,2	565	2 153	449	4,8	4	5 110	49 645	14	106,9
IMR-PAR	1	63,0	435	3 382	464	7,3	4	4 380	46 082	12	155,8
KV-LPR	1	86,3	830	1 925	300	6,4	4	5 110	48 728	14	93,8
KV-MI	1	113,6	695	6 076	869	7,0	5	5 110	118 191	14	718,1
MI-PM	1	70,8	595	3 643	492	7,4	5	6 205	47 178	17	171,9
PM-KUO	1	84,2	690	2 568	340	7,6	5	8 030	29 215	22	75,0
KUO-ILM	1	85,1	340	5 289	841	6,3	5	4 380	65 283	12	345,3
PM-JNS	1	181,9	115	3 251	238	13,7	9	2 920	9 373	8	30,5
JNS-NRM	1	160,0	45	800	57	14,0	8	1 460	1 757	4	1,4
KV-KTS	1	54,4	120	495	75	6,6	5	4 380	2 055	12	1,0
KV-VNA	1	91,3	1 230	1 065	162	6,6	5	2 190	90 986	6	96,9

RATAOSILLA ESIINTYNEET VIISI MERKITTÄVINTÄ HÄIRIÖIDEN AIHEUTTAJAA VUONNA 2007

HKI-TKL			TKL-RI			RI-HL		
syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl
L2	30 %	34 %	L2	59 %	69 %	J5	15 %	20 %
L3	22 %	20 %	P1	8 %	4 %	K5	12 %	18 %
M6	9 %	16 %	O1	7 %	1 %	L2	21 %	16 %
L4	6 %	9 %	P3	3 %	2 %	R1	11 %	16 %
M1	3 %	5 %	V2	2 %	1 %	R3	8 %	11 %
n=	6151	1565	n=	9065	1563	n=	8830	2868

HL-TL			TKU-LM			LM-TL		
syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl
L2	26 %	17 %	L2	43 %	37 %	L2	64 %	57 %
K5	22 %	35 %	R3	25 %	32 %	R3	11 %	16 %
J5	17 %	25 %	P1	11 %	6 %	R1	8 %	12 %
P1	6 %	4 %	R1	9 %	13 %	P1	7 %	3 %
K7	4 %	4 %	O1	2 %	0 %	L3	1 %	1 %
n=	7603	2399	n=	2433	450	n=	2823	474

HKI-EPO			EPO-KKN			KKN-KR		
syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl	syykoodi	min	kpl
L2	43 %	42 %	P1	35 %	18 %	L2	36 %	38 %
L1	22 %	18 %	L2	30 %	48 %	P1	29 %	10 %
L3	8 %	10 %	I4	13 %	5 %	J5	10 %	17 %
O1	8 %	1 %	O1	7 %	3 %	O2	4 %	0 %
M6	4 %	10 %	I3	2 %	3 %	K7	4 %	6 %
n=	2584	546	n=	928	154	n=	8143	1168

KR-HNK			KR-SLO			SLO-TKU		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
P1	42 %	29 %	L2	52 %	45 %	L2	53 %	46 %
L2	37 %	49 %	J5	12 %	21 %	P1	12 %	3 %
K7	6 %	3 %	P1	6 %	2 %	J5	7 %	11 %
L1	4 %	3 %	K5	4 %	7 %	M6	7 %	17 %
M1	4 %	3 %	V2	4 %	1 %	R1	3 %	8 %
n=	1012	131	n=	2529	586	n=	5111	1082

TL-TPE			TPE-PRI			TPE-JÄS		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	18 %	15 %	L2	51 %	54 %	L2	48 %	41 %
K5	14 %	21 %	P1	14 %	8 %	K5	23 %	26 %
J5	12 %	15 %	M6	3 %	6 %	R3	7 %	12 %
R3	10 %	16 %	L3	3 %	5 %	J5	4 %	4 %
P1	7 %	3 %	L4	2 %	4 %	P1	2 %	2 %
n=	13 737	4170	n=	1860	183	n=	14 216	2613

**RATAOSILLA ESIINTYNEET VIIISI MERKITTÄVINTÄ HÄIRIÖIDEN
AIHEUTTAJAA VUONNA 2007**

JÄS-JY			TPE-HPK			HPK-SK		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	76 %	77 %	L2	21 %	27 %	L2	42 %	36 %
P1	7 %	4 %	R1	7 %	11 %	R3	8 %	12 %
K7	3 %	2 %	M1	4 %	9 %	M1	6 %	10 %
I4	2 %	3 %	P1	11 %	9 %	M6	5 %	9 %
R2	2 %	0 %	K7	10 %	7 %	R1	4 %	9 %
n=	3870	721	n=	878	105	n=	4020	489
TPE-PKO			PKO-SK			SK-VS		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	58 %	66 %	R3	25 %	32 %	L2	67 %	65 %
P1	15 %	8 %	R1	17 %	24 %	R3	6 %	15 %
J5	1 %	3 %	L2	28 %	23 %	V2	12 %	4 %
L3	4 %	3 %	J5	5 %	6 %	P1	7 %	4 %
I1	2 %	3 %	I1	2 %	2 %	L4	1 %	2 %
n=	2994	619	n=	8334	1792	n=	3569	380
SK-KOK			KOK-YV			YV-OL		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	57 %	59 %	R1	31 %	42 %	L2	67 %	66 %
P1	11 %	8 %	L2	35 %	26 %	R1	8 %	14 %
R1	5 %	8 %	R3	18 %	22 %	M6	3 %	5 %
R3	5 %	7 %	P1	7 %	4 %	P1	3 %	2 %
L4	2 %	3 %	M6	1 %	1 %	V2	3 %	1 %
n=	8529	1282	n=	10 744	2072	n=	11 644	1836
OL-KEM			KEM-KLI			KEM-ROI		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	31 %	64 %	L2	14 %	29 %	L2	40 %	38 %
O4	30 %	1 %	I1	8 %	9 %	R3	20 %	26 %
L3	7 %	11 %	I4	7 %	7 %	R1	14 %	20 %
P1	6 %	2 %	O2	12 %	7 %	I1	2 %	3 %
V2	4 %	2 %	P1	24 %	7 %	P1	8 %	3 %
n=	5252	411	n=	836	69	n=	7074	948
ROI-KJÄ			YV-ILM			OL-KON		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
V2	43 %	6 %	P1	30 %	26 %	L2	61 %	52 %
L3	11 %	23 %	K7	18 %	16 %	R1	12 %	21 %
J5	11 %	8 %	L2	4 %	13 %	P1	9 %	3 %
P1	10 %	10 %	K1	13 %	5 %	M6	6 %	10 %
L2	8 %	6 %	O4	5 %	5 %	L4	2 %	4 %
n=	697	52	n=	540	38	n=	10 284	1276

RATAOSILLA ESIINTYNEET VIISI MERKITTÄVINTÄ HÄIRIÖIDEN AIHEUTTAJAA VUONNA 2007

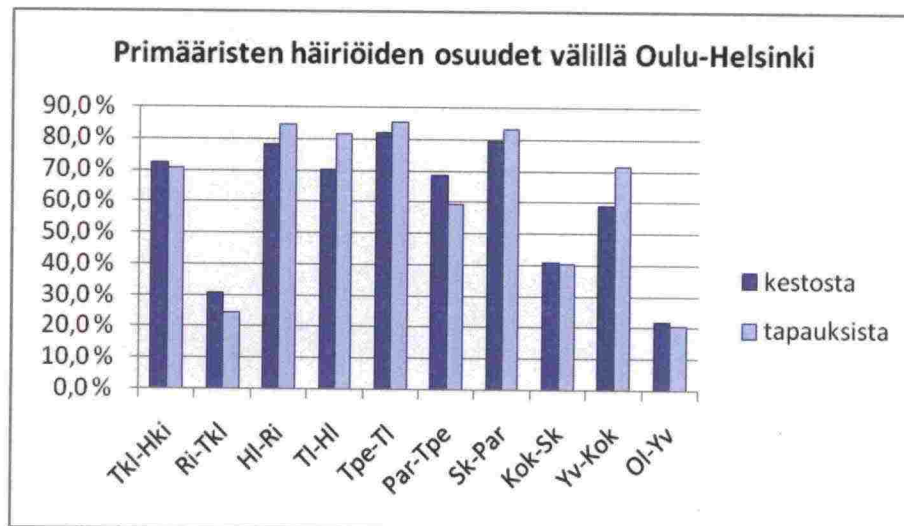
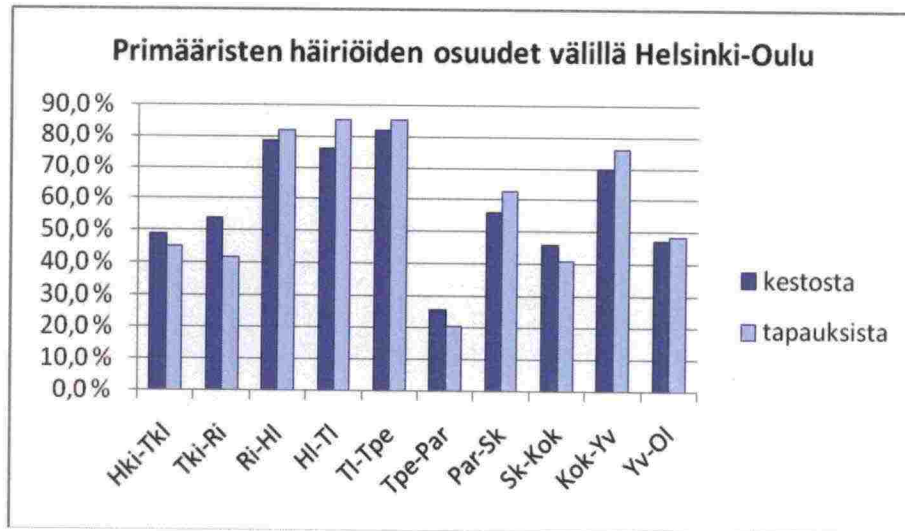
KON-KAJ			KAJ-ILM			RI-LH		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
R1	26 %	49 %	R1	52 %	71 %	P1	37 %	18 %
L2	34 %	29 %	L2	17 %	10 %	L2	10 %	13 %
L4	7 %	7 %	P1	14 %	4 %	L4	7 %	13 %
L3	5 %	5 %	M6	3 %	5 %	I4	9 %	12 %
P1	12 %	3 %	P7	3 %	1 %	K7	7 %	6 %
n=	644	216	n=	6342	1356	n=	1225	205
TKL-LH			LH-KV			KV-KTS		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
P1	30 %	18 %	L2	27 %	31 %	L2	18 %	19 %
J5	8 %	11 %	P1	19 %	12 %	P1	22 %	19 %
I4	5 %	6 %	R3	7 %	9 %	R3	8 %	11 %
L4	2 %	3 %	P2	6 %	9 %	K7	7 %	7 %
P2	2 %	2 %	I4	4 %	6 %	L4	5 %	7 %
n=	7415	1184	n=	4600	590	n=	495	75
KV-VNA			KV-LPR			LPR-IMR		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	35 %	32 %	L2	29 %	33 %	L2	50 %	54 %
P1	26 %	15 %	P1	31 %	18 %	P1	27 %	13 %
R1	5 %	7 %	P2	10 %	11 %	R1	6 %	11 %
V3	4 %	7 %	I1	4 %	8 %	M6	2 %	6 %
L4	5 %	7 %	I4	5 %	7 %	I4	2 %	3 %
n=	1065	162	n=	1925	300	n=	2153	449
IMR-PAR			PAR-SL			KV-MI		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	35 %	43 %	P1	50 %	51 %	L2	53 %	69 %
M6	4 %	13 %	L4	5 %	13 %	P1	32 %	11 %
P1	23 %	13 %	K7	17 %	8 %	J5	3 %	4 %
I1	3 %	7 %	L2	5 %	6 %	I4	1 %	2 %
I4	1 %	4 %	P3	3 %	4 %	P2	2 %	2 %
n=	3382	464	n=	717	71	n=	6076	869
MI-PM			PM-KUO			KUO-ILM		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	34 %	49 %	L2	57 %	66 %	L2	74 %	64 %
P1	40 %	25 %	P1	14 %	12 %	M6	7 %	15 %
L3	2 %	4 %	L4	1 %	3 %	M1	3 %	5 %
P2	3 %	4 %	P4	1 %	2 %	P1	6 %	4 %
J5	2 %	3 %	V2	6 %	2 %	R3	2 %	3 %
n=	1529	201	n=	2568	340	n=	5289	841

**RATAOSILLA ESIINTYNEET VIISI MERKITTÄVINTÄ HÄIRIÖIDEN
AIHEUTTAJAA VUONNA 2007**

PM-JNS			PAR-JNS			JNS-NRM		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	46 %	59 %	L2	32 %	46 %	L2	11 %	28 %
P1	29 %	16 %	P1	32 %	17 %	K7	23 %	23 %
K7	9 %	8 %	I1	4 %	6 %	P1	35 %	21 %
R3	2 %	2 %	R1	2 %	4 %	P4	4 %	7 %
V2	7 %	2 %	M6	2 %	4 %	I4	8 %	4 %
n=	3251	238	n=	1774	224	n=	800	57

PM-JY			HPK-JY		
syykoodi	min %	kpl %	syykoodi	min %	kpl %
L2	53 %	60 %	P1	29 %	9 %
P1	30 %	14 %	I1	10 %	11 %
R1	3 %	5 %	L4	10 %	21 %
M6	1 %	3 %	I4	8 %	11 %
R3	2 %	3 %	O1	8 %	1 %
n=	3643	492	n=	748	112

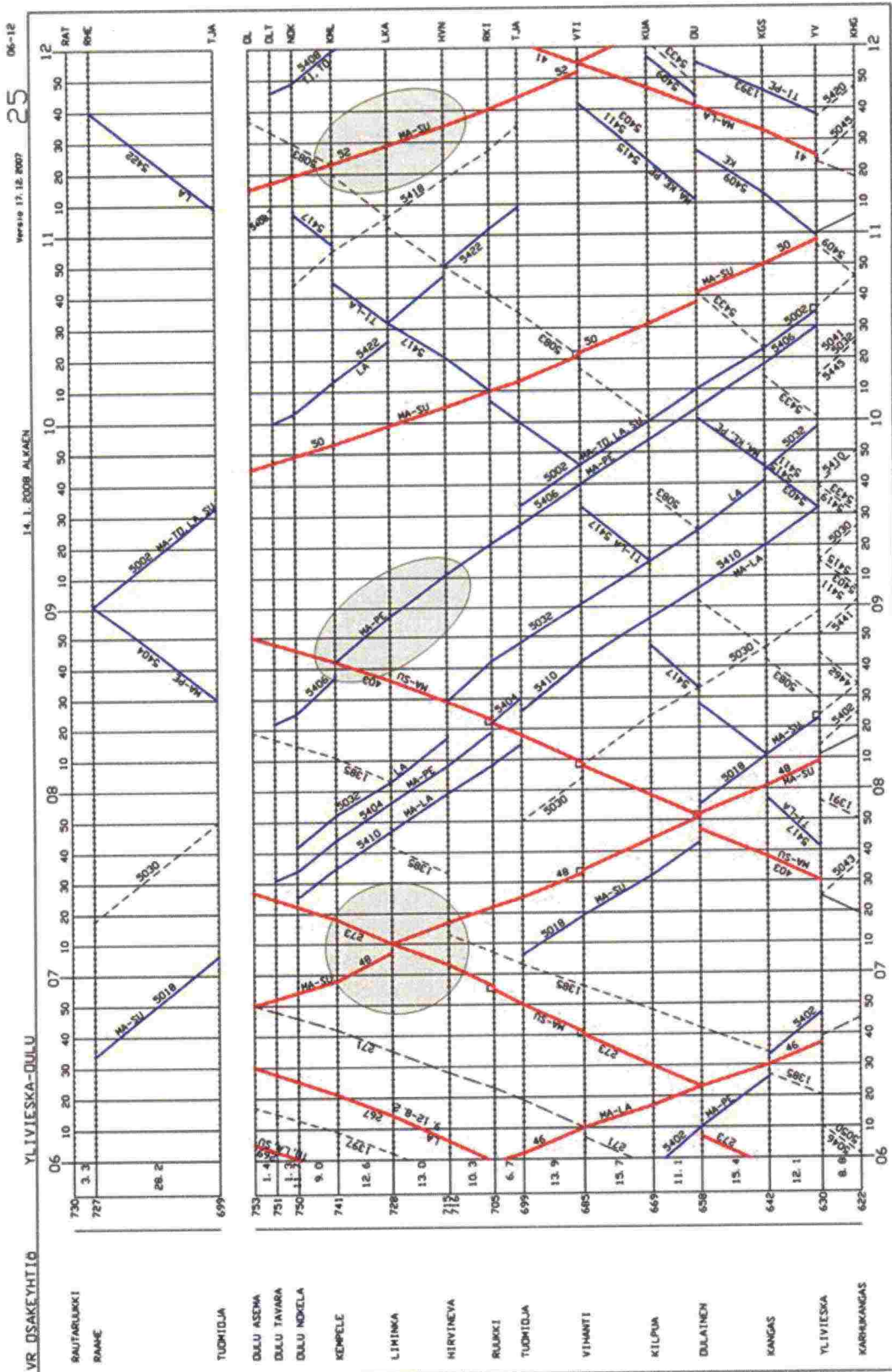
**PRIMÄÄRISTEN HÄIRIÖIDEN OSUDET KAIKISTA HÄIRIÖISTÄ
HELSINKI-OU LU VÄLISILLÄ RATAOSILLA SUUNNITTAIN**



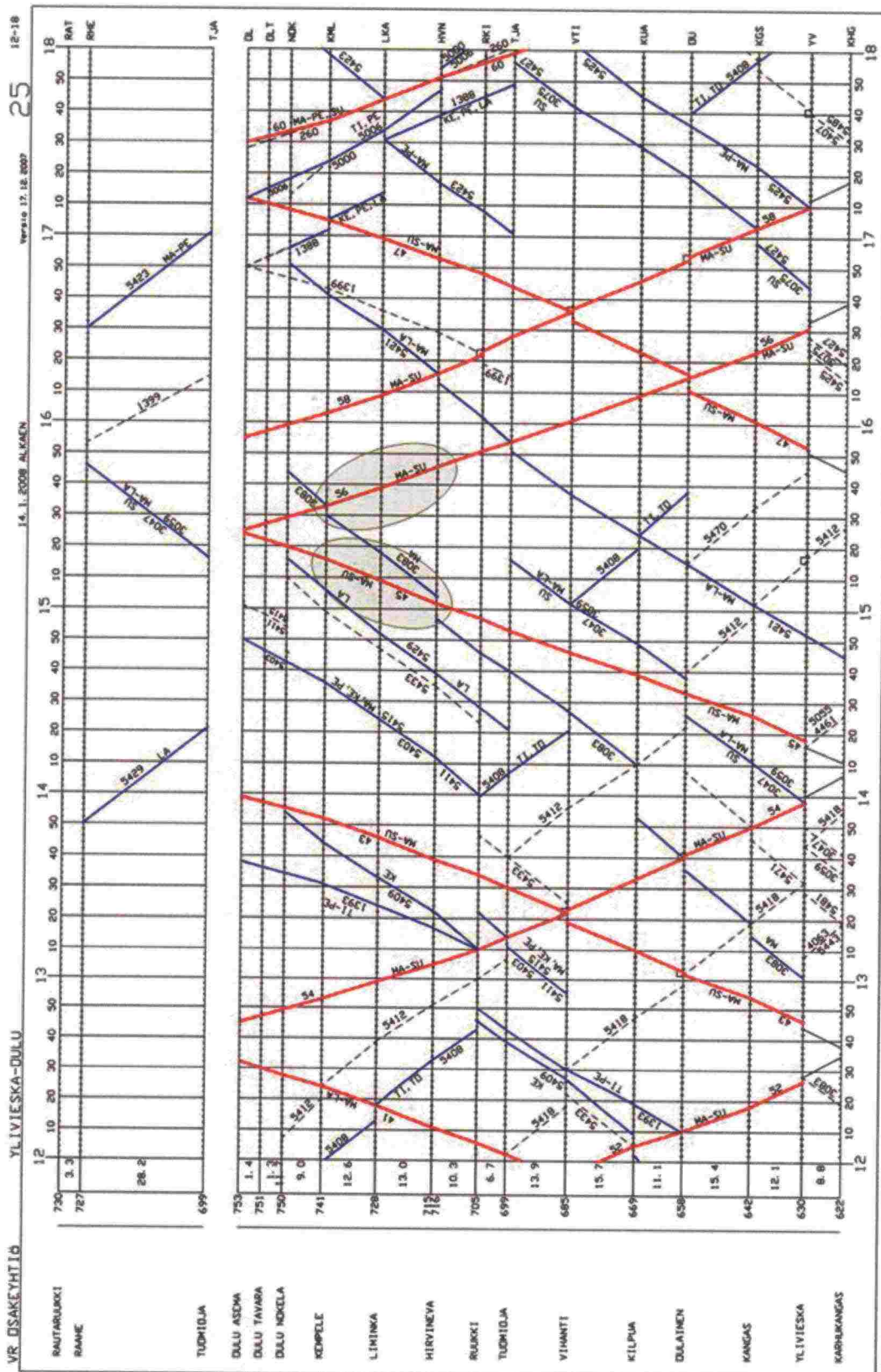
RATAOSIEN MYÖHÄSTYMISTEN KESTOT JAETTUNA PERSENTILEIHIN

Rataosa	Persentiilit					n
	10.	25.	50.	75.	90.	
Hki-Tkl	1	2	3	4	7	1565
Tkl-Ri	1	3	4	7	10	1563
Tkl-Lh	2	3	5	7	11,5	1184
Lh-Kv	1	2	4	8	17	590
Ri-HI	1	2	2	3	5	2868
Ri-Lh	2	3	4	6	9	205
HI-TI	1	2	2	3	5	2399
TI-Tpe	1	2	2	4	6	4170
Lm-TI	2	3	5	8	11	474
Tku-Lm	2	3	4	6	9,9	450
Hki-Epo	1	3	4	7	10	1563
Epo-Kkr	1	2	3	5	9,5	154
Kkn-Kr	2	4	5	7	13	1168
Kr-Hnk	3,2	4	6	9	14,6	131
Kr-Slo	1	2	3	5	8	586
Slo-Tku	1	2	4	6	9	1082
Tpe-Pri	3	4	6	10	23,6	183
Hpk-Sk	2	4	6	9	15	489
Tpe-Hpk	3	4,5	7	9,5	16,4	105
Hpk-Jy	2	2	3	7	13,4	112
Tpe-Jäs	2	3	5	7	10	2613
Jäs-Jy	2	3	5	7	10	721
Tpe-Pko	1	2	4	6	9	619
Pko-Sk	1	2	4	6	8	1792
Sk-Vs	3,1	5	7	11	17	380
Sk-Kok	2	3	5	8	12	1282
Kok-Yv	1	2	4	7	10	2072
Yv-Ilm	4	5	13,5	18	25,1	38
Kaj-Ilm	1	2	4	5	9	1356
Ol-Kon	2	3	6	10	17	1276
Kon-Kaj	1	1	2	4	5	216
Yv-Ol	2	3	5	8	11	1836
Ol-Kem	2	3	5	9	16	411
Kem-Kli	2	3,5	7	15	32	69
Kem-Roi	3	4	6	9	13	948
Roi-Kjä	3	4	6	10,75	22,7	52
Pm-Jy	2	3	5	9	15	492
Par-Jns	2	4	5	10	18	224
Par-SI	4	5	8	12	17	71
Lpr-Imr	1	2	4	5	10	449
Imr-Par	1	2	4	7	11,5	464
Kv-Lpr	1	3	4	7	15	300
Kv-Mi	2	3	5	8	13	869
Mi-Pm	1	2	4	8	17	201
Pm-Kuo	2	4	5	9	14	340
Kuo-Ilm	2	3	5	8	11	841
Pm-Jns	4	6	9	16	25,1	238
Jns-Nrm	4	5	8	20	32,6	57
Kv-Kts	2	4	5	9	12,4	75
Kv-Vna	2	3	5	8	14,4	162

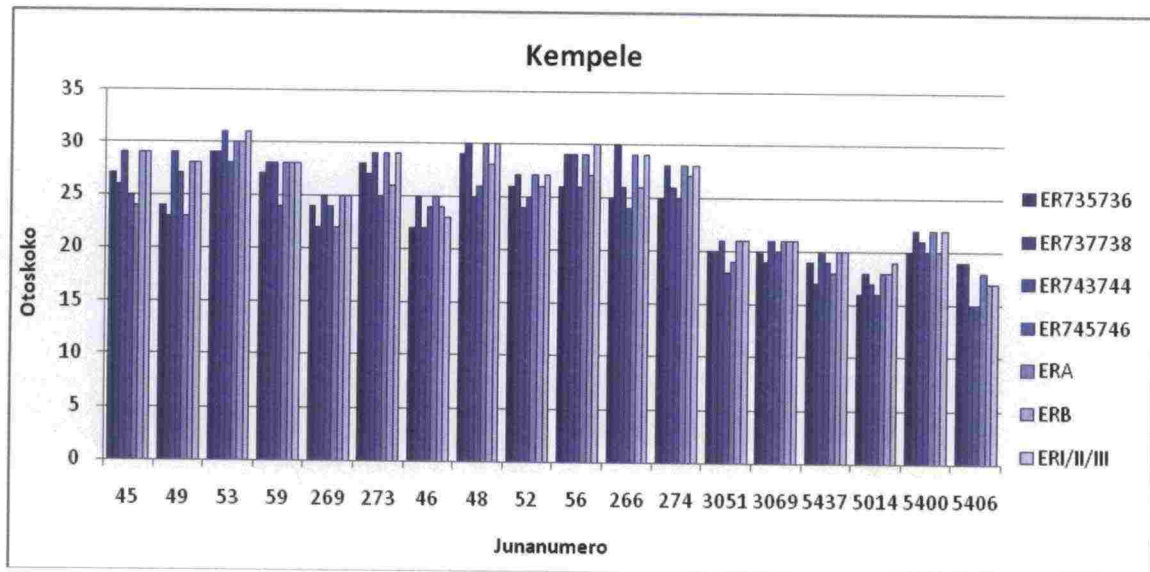
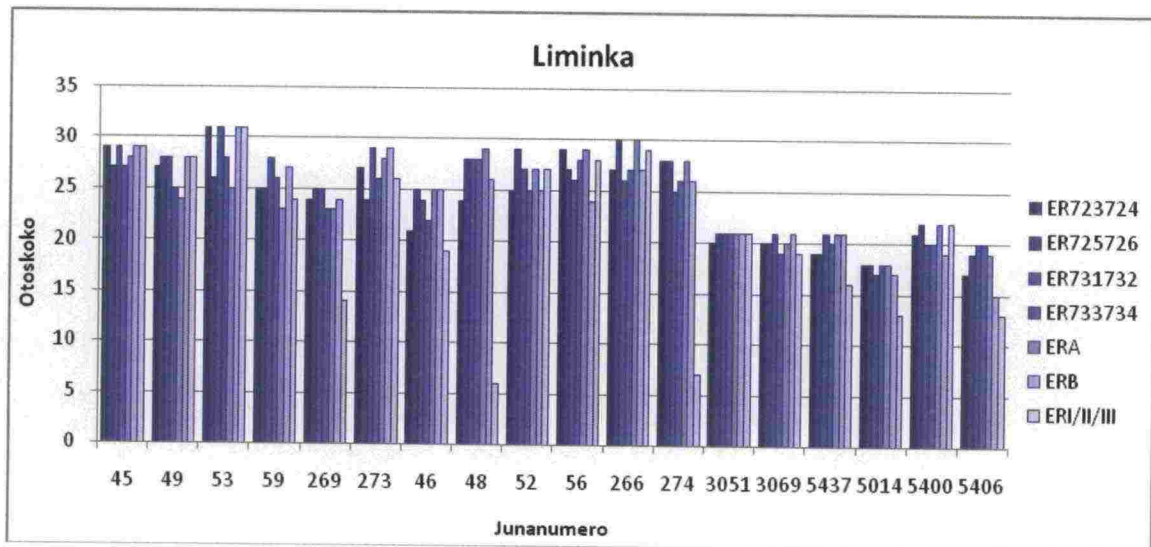
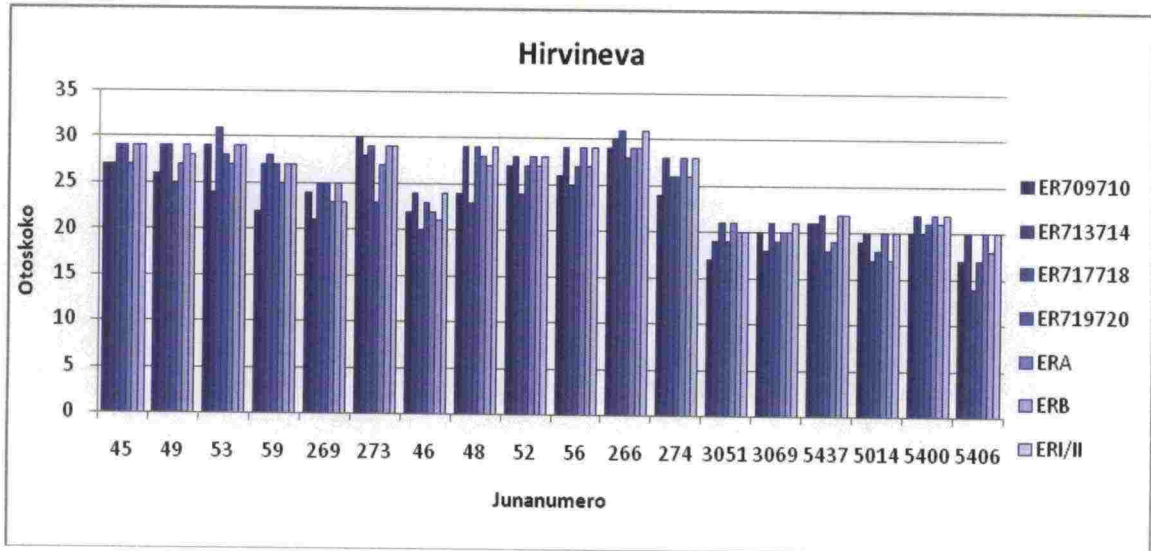
GRAAFINEN AIKATAULU TARKASTELUN ALLA OLEVISTA JUNISTA



GRAAFINEN AIKATAULU TARKASTELUN ALLA OLEVISTA JUNISTA



TUTKIMUSALUEEN OPASTINVÄLIEN VAPAUTUMISTEN
KIRJAUTUMISISTA TEHDYT FREKVENSSEIKUVAAJAT



RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 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 Ratarakenteissa 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
- 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
- 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnon valvonta runkoverkolla
- 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
- 5/2008 Perussolmuratapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
- 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
- 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys
- 8/2008 Kolarin seudun kaivoshankkeet
- 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
- 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen



**RATAHALLINTOKESKUS
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

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

ISBN 978-952-445-239-7
ISSN 1455-2604