

JENNY KÄLVÄLÄ

Akuuttirajat rautatievaihteiden mittauksissa



Jenny Kälväla

Akuuttirajat rautatievaihteiden mittauksissa

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 29/2013

Liikennevirasto
Helsinki 2013

Kannen kuva: Simo Toikkanen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-342-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Jenny Kälvälä: Akuuttirajat rautatievaihteiden mittauksissa. Liikennevirasto, väylätekniikka-osasto. Helsinki 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 29/2013. 91 sivua ja 8 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-342-3.

Avainsanat: vaihteen mittaus, akuuttiraja, vaihteen kunnossapito

Tiivistelmä

Diplomityön tavoitteena oli selvittää vaihteen toiminnan kannalta kriittisimmät mitat ja syitä akuuttirajojen ylittymiseen. Kolmen kunnossapitoalueen mittauspöytäkirjojen avulla tutkittiin, missä vaihteen osissa mitat eivät ole pysyneet akuuttirajojen sisällä ja onko mitta-arvojen välillä riippuvuuksia. Tutkimus rajattiin vaihteisiin YV54–200–1:9, YV54–200N–1:9, YV60–300–1:9 ja KRV54–200–1:9. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin vaihteiden kunnossapitoa, kulumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä verrattiin Suomen ja neljän vertailumaan kunnossapitokäytäntöjä. Haastattelujen avulla selvitettiin empiiristä tietoa vaihteiden mittauksesta ja kunnossapidosta.

Ulkomaiset mittausohjeet poikkesivat Suomen käytännöistä niin mittausajankohdienten kuin mittauspisteiden osalta. Tarkastusvälin määrittämiseen käytettiin useimmissa maissa radan nopeutta ja kuljetettuja bruttotonneja. Mittauspisteistä yhtäläisyyksiä oli erityisesti raidelevyden mitoissa kielen kärjestä ja välikiskoalueelta sekä risteysten ohjausväliä. Eniten eroavaisuuksia oli KRV-vaihteen mittauspisteissä.

Tyypillisesti YV-vaihteen mittauspisteissä akuuttirajat ylittyivät lukuun ottamatta risteysten ohjausväliä (f-mitta) ja laippauraa (i-mitta), jossa ne useimmiten alittuivat. Akuuttirajojen ylitysten ja alitusten perusteella risteys-vastakiskosovitus on kriittisin vaihteen osa. Poikkeavalla raiteella oli selvästi suoraa raidetta enemmän kunnossapitotoleranssien ja akuuttirajojen ylityksiä. Vaihteen mittapoikkeamien yleisimpiä syitä ovat pölkkyjen huono kunto, kiskojen kuluneisuus ja runsas liikenne poikkeavalle raiteelle.

Osa haastatelluista toivoi akuuttirajojen väljentämistä ja liikenteen kulutuksen parempaa huomioon ottamista mittaustiheyden määrittämisessä. Tihennetyn tarkastusvälin käyttö tulisi olla nykyistä johdonmukaisempaa, jotta vaihde ei ehdi kulua vaarallisesti tarkastusten välissä. Ongelmana nähtiin myös, että kunnossapitotoleranssien ylityksiin ei usein puututa, vaan kunnostaminen aloitetaan vasta, kun akuuttiraja ylittyy. Liikenneviraston tulisikin ohjeistuksessaan määritellä selvemmin kunnossapitotoleranssien merkitys. Erityisesti KRV-vaihteen mittaus vaatii lisäohjeistusta, jotta mittauksen suoritustapa ei ole kunnossapitäjän tulkinnan varassa. Akuuttirajojen ylitys tulisi sanktioida, jotta vaihteen kunnostus aloitetaan ajoissa. Toisaalta voitaisiin myös palkita tarjouspyynnössä määriteltyä paremmasta kunnossapidosta.

Jenny Kälvälä: Akuta gränser vid mätning av järnvägsväxlar. Trafikverket, infrastrukturteknik. Helsingfors 2013. Trafikverkets undersökningar och utredningar 29/2013. 91 sidor och 8 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-342-3.

Sammanfattning

Målet med diplomarbetet var att utreda de för växelns funktion mest kritiska måtten och orsakerna till överskridning av akuta gränser. Med hjälp av mätprotokollen från tre underhållsområden undersöktes i vilka delar av växeln måtten inte hölls inom de akuta gränserna och huruvida det finns samband mellan mätvärdena. Undersökningen begränsades till följande växlar: YV54-200-1:9, YV54-200N-1:9, YV60-300-1:9 och KRV54-200-1:9. I litteraturundersökningen utreddes växlarnas underhåll, faktorer som inverkar på slitage samt jämfördes underhållspraxisen i Finland och fyra andra länder. Med hjälp av intervjuer utreddes empiriska data om mätning och underhåll av växlar.

De utländska mätanvisningarna avvek från den finländska praxisen både vad gäller tidpunkterna för mätning och mätpunkterna. I de flesta länder användes banans hastighet och transporterade bruttoton för fastställandet av syningsintervallet. I fråga om mätpunkterna fanns det likheter särskilt i spårviddsmåtten från växelungspetsen och mellanrälsområdet samt i moträlsavståndet för korsningar. Mest skillnader konstaterades i mätpunkterna på kopplingsväxlar.

I de flesta fall överskreds de akuta gränserna i mätpunkterna på en YV-växel med undantag för moträlsavståndet för korsningar (f-måttet) och flänsöppningen (i-måttet), där gränserna oftast underskreds. Utifrån överskridningarna och underskridningarna av de akuta gränserna är korsningens moträl den mest kritiska delen av växeln. Grenspår hade klart fler överskridningar av underhållstoleranserna och de akuta gränserna än raka spår. De vanligaste orsakerna till mätavvikelser i växeln var att sliprarna var i dåligt skick och rälerna slitna, och att grenspåret var livligt trafikerat.

En del av de intervjuade ökade mindre strikta akuta gränser och bättre beaktande av slitaget från trafiken vid fastställandet av mätningstätheten. En tillämpning av tätare syningsintervall borde vara mer logisk än i dag för att växeln inte slits ned till ett farligt skick mellan kontrollerna. Som ett problem nämndes också att man inte ingriper i överskridningar av underhållstoleranserna, utan att reparationerna startar först när den akuta gränsen överskrids. I sina instruktioner borde Trafikverket därför tydligare fastslå betydelsen av underhållstoleranser. Särskilt mätning av korsningsväxlar förutsätter ytterligare instruktioner för att sättet att utföra mätningarna inte ska lämna utrymme för tolkning av underhållsaktörerna. Överskridning av de akuta gränserna borde leda till sanktioner för att reparationer på växlar ska påbörjas i tid. Å andra sidan kunde man också belöna för bättre underhåll än vad som definierats i anbudsbegäran.

Jenny Kälvälä: Acute limits in the railway turnout measurements. Finnish Transport Agency, Infrastructure technology. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 29/2013. 91 pages and 8 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-342-3.

Summary

The goal for the master's thesis was to define the critical measures of a turnout and reasons for acute limit exceeding. With the measurement documents from three different maintenance areas were investigated in which parts of the turnout the measurements reached the acute limits and if there is a dependency between them. The study was limited to the turnout types YV54-200-1:9, YV54-200N-1:9, YV60-300-1:9 and KRV54-200-1:9. In the literature research was discovered information about maintenance and wear of rails. Moreover, the research compared maintenance procedures in Finland and four reference countries. In the interviews were enquired empirical knowledge of maintenance and measurements of the turnout.

Foreign maintenance guidelines varied in inspection intervals and points compared to Finland. The inspection intervals were mostly defined by speed and tonnages. In the measurement points, similarities were track gauge in switch and closure panel as well as distance between check-rail and frog. The major differences were in the measurement points of double crossing.

Typically in a standard turnout the measurement results exceeded the acute limits apart from the flangeway in the crossing panel where they were below the limits. According to the data, the most critical part of the turnout is the crossing panel. In the curving direction, there were more tolerance exceedings than in straight direction. The most common reasons for tolerance exceeding were poor condition of sleepers, wear of rails and heavy traffic in the curving direction.

Some of the interviewees considered easing the limits and taking traffic wear into account in the inspection intervals. Denser inspections should be more consistent that a turnout does not have time to wear dangerously between inspections. The problem was the overruns of the maintenance limits which did not initiate the maintenance. Therefore, the maintenance actions started only after acute limits were exceeded. The Finnish Transport Agency should define more clearly the importance of maintenance limits. In particular, the measurement of a double crossing requires further guidance in order that measurement method is not dependent on the interpretation of the inspector. The acute limit exceeding should be sanctioned in a way that the repair starts earlier. Secondly, there could be rewards for high quality maintenance.

Esipuhe

Tämän diplomityön on tehnyt Jenny Kälvälä Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulun liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmässä. Diplomityön rahoittajana oli Liikennevirasto.

Diplomityön ohjaajana toimi diplomi-insinööri Tuomo Viitala Liikennevirastosta ja dipl.ins. Ville-Pekka Liljaa Liikennevirastosta. Työn valvojana toimi professori Terhi Pellinen ja ohjauksesta vastasi tekn.toht. Nina Raitanen.

Helsingissä kesäkuussa 2013

Liikennevirasto
Väylätekniikkaosasto

Sisällysluettelo

KÄSITTEET JA LYHENTEET	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Taustaa	10
1.2 Tutkimusongelma.....	11
1.3 Tavoitteet ja rajaus	11
1.4 Tutkimusmenetelmät.....	11
2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS.....	13
2.1 Tutkittavat vaihdetyypit.....	13
2.2 Vaihteiden mitoittaminen	16
2.2.1 Lähtökohdat	16
2.2.2 Mitoitusnopeus ja akselipainot	17
2.2.3 Pyöräkerran kulun optimointi vaihteessa	18
2.2.4 Poikittaiskiihtyvyys ja nykäys.....	22
2.3 Vaihteiden geometriseen kuntoon vaikuttavat tekijät	24
2.3.1 Ennen käyttöönottoa	24
2.3.2 Käyttöönoton jälkeen	26
2.4 Kunnossapito, tarkastukset ja mittaukset	33
2.4.1 Yleistä 33	
2.4.2 Mittalaitteet.....	35
2.4.3 Mittauspisteet.....	37
3 MITTAUSKÄYTÄNNÖT ULKOMAILLA	39
3.1 Australia	39
3.2 Ruotsi.....	40
3.3 Norja	44
3.4 Sveitsi	46
4 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	50
4.1 Haastattelut.....	50
4.2 Mittauspöytäkirjat.....	50
4.3 Tilastollisen analyysin menetelmät	51
5 TUTKIMUSTULOKSET	54
5.1 Haastattelut.....	54
5.1.1 Asennuksen aikaiset mittavirheet.....	54
5.1.2 Akuuttirajojen ylittyminen ja alittuminen	55
5.1.3 Akuuttirajojen kehittäminen	56
5.1.4 Mittauspisteet ja mittaustekniikka	57
5.1.5 Kunnossapito	59
5.2 Mittauspöytäkirjojen tilastollinen tutkimus.....	60
5.2.1 Kunnossapitoalue 6.....	60
5.2.2 Kunnossapitoalueet 3 ja 9.....	62
6 TULOSTEN ANALYSOINTI	75
6.1 Ulkomaiden mittauskäytännöt.....	75
6.2 Mittauspöytäkirjat.....	76
6.3 Haastattelut.....	80
6.4 Luotettavuus.....	81

6.5	Jatkotutkimusaiheet.....	82
7	YHTEENVETO, PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET	83
	LÄHDELUETTELO	87

LIITTEET

Liite 1	Rataverkon kunnossapidon kilpailuttamisohjelma vuosille 2009–2018
Liite 2	Australian (ARTC) mittauspöytäkirja yksinkertaiselle vaihteelle
Liite 3	Australian (ARTC) mittauspöytäkirja raideristeykselle
Liite 4	Australian (ARTC) mittauspöytäkirja kääntyväkärkiselle vaihteelle
Liite 5	Vaihteen YV60–300–1:9 pylväsdiagrammit
Liite 6	Vaihteen YV54–200–1:9 pylväsdiagrammit
Liite 7	Vaihteen YV54–200N–1:9 pylväsdiagrammit
Liite 8	Vaihteen KRV54–200–1:9 pylväsdiagrammit

Käsitteet ja lyhenteet

Bov-vaunu	Vaihteen kuljetukseen käytettävä neliakselinen vaunu, jossa kallistuva kuormausteline
Etujatkosalue	Vaihteen etujatkoksen edessä oleva alue, jolla vaihteen kiskonkallistus tasataan raiteen kiskonkallistusta vastaavaksi
Kielisovitus	Kielikiskojen ja tukikiskojen muodostama kokonaisuus
Kierrätysvaihde	Vaihde, jonka jokin osa ei ole asennushetkellä uusi
KRV	Kaksipuolinen risteysvaihde
Lyhyt vaihde	Vaihde, jossa junan suurin sallittu nopeus poikkeavalla raiteella on 40 km/h, kaarresäde poikkeavalla raiteella on korkeintaan 300 m tai risteyssuhde korkeintaan 1:9
Pyöräkerta	Kahden junan pyörän ja niiden välisen akselin muodostama kokonaisuus
Takajatkosalue	Vaihteen takajatkoksen takana oleva alue, jolla vaihteen kiskonkallistus tasataan raiteen kiskonkallistusta vastaavaksi
Turvavaihde	Vaihde, jonka ainoa tehtävä on antaa sivusuoja.
TYV	Tasapuolinen yksinkertainen vaihde
UIC	International Union of Railways, kansainvälinen rautatieliitto
Vastakiskosovitus	Vastakiskon ja tukikiskon muodostama kokonaisuus
YRV	Yksipuolinen risteysvaihde
YTE	Yhteentoimivuuden tekniset eritelvät (eng. TSI, Technical Specifications for Interoperability)
YV	Yksinkertainen vaihde

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Rautatievaihteet ovat radan kriittisin osa matkustusmukavuuden ja turvallisuuden kannalta. Matkustajat havaitsevat vaihteiden ylitykset vaunujen kallisteluna. Viallinen vaihde voi puolestaan aiheuttaa junan suistumisen ja onnettomuuden. Vaihteiden avulla liikenne voidaan ohjata raiteelta toiselle tai muodostaa kahden tai useamman raiteen risteys. Ne sisältävät paljon liikkuvia osia ja tekniikkaa, joiden tulee toimia kaikissa sääoloissa vuosikymmenien ajan. Vaihteille on myös määrätty tarkat mittatoleranssit liikenneturvallisuuden varmistamiseksi, minkä vuoksi ne vaativat tiheitä tarkastuksia ja huolellista kunnossapitoa.

Valtion liikennöidyllä rataverkolla on 5 638 vaihdetta (tilanne 31.12.2010). Vuonna 2010 asennettiin 171 vaihdetta, joista 110 oli uusia ja 61 kierrätettyjä. (Liikennevirasto 2010b.) Jatkuvuuden kannalta noin 200 vaihteen uusiminen vuosittain olisi sopiva määrä, mutta tavoitteesta on jääty jo useana vuonna (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). Vaihteiden nykyarvo on noin 240 milj. euroa ja uushankinta-arvo noin 370 milj. euroa. Vanhimmat edelleen käytössä olevat vaihteet ovat peräisin 1920-luvulta, mutta suurin osa nykyisistä vaihteista on asennettu 1990- ja 2000-luvuilla. (Liikennevirasto 2010b.) Korjausvelan kertymisen lisäksi tulevaisuuden haasteena on akselipainojen korottaminen, mikä lisää vaihteiden kuormitusta ja kunnossapitotarvetta.

Vaihteiden elinkaari alkaa osien valmistuksesta ja niiden kokoonpanosta. Osia valmistetaan niin Suomessa kuin ulkomaillakin, mutta vaihteiden kokoonpano tehdään Suomessa vaihdetyypin mukaan joko Pieksämäen tai Kaipiaisten vaihdhalleilla. Vaihdhalleilta elementeiksi koottu vaihde kuljetetaan joko maanteitse tai rautateitä pitkin työmaalle, jossa se asennetaan liikennekatkon aikana paikalleen. Kunnossapito alkaa heti asennuksen vastaanottotarkastuksen jälkeen ja jatkuu vaihteen koko käyttöään ajan. Yleensä yksittäinen vaihde asennetaan elinkaarensa aikana useampaan kertaan, ensin vilkkaalle pääraiteelle, sitten vähemmän kuormitetulle rataverkolle, jolloin sen koko käyttöikä voidaan hyödyntää mahdollisimman kustannustehokkaasti. Kierrätettävät vaihteet yleensä kunnostetaan vaihdhalleissa ennen uudelleen-asennusta.

Vaihteisiin liittyvää tutkimusta on tehty Suomessa melko vähän. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on selvitetty muun muassa vaihteeseen syntyviä pysty- ja vaakasuuntaisia kuormituksia junaliikenteen alla, talvikunnossapitoa, laippavoitelua ja raideruuveja. Ulkomailla tehty tutkimus on keskittynyt viime vuosina kiskon ja pyörän välisen kontaktin ja voimien mallintamiseen sekä pyörän kulun optimoimiseen.

Tämän diplomityön tilaaja oli Liikennevirasto, joka omistaa ja hallinnoi valtion rataverkkoa. Liikennevirasto myös laatii ja ylläpitää teknisiä ohjeita ja määräyksiä, joista rautatietekniikan alalta tärkeimpiä ovat Ratatekniset ohjeet (RATO). Ratatekniset ohjeet on jaettu 21 osaan. Tämä diplomityö liittyy osaan RATO 14 *Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito* vaihteiden mittauksen osalta. Ohjeen liitteissä annetaan eri vaihdetyypeille työn vastaanotto- ja kunnossapitotoleranssit sekä akuuttirajat.

1.2 Tutkimusongelma

Suomessa käytettävä raideleveys on leveämpi kuin Euroopassa yleinen normaali-raideleveys. Lisäksi Suomen rataverkolla liikkuu sekä suomalaista että venäläistä matkustaja- ja tavaraliikennettä. Venäläiset pyöräkerrat ovat 5 mm kapeammat kuin suomalaiset pyöräkerrat. Sen tähden vaihteiden mitoituksessa on tehtävä kompromisseja, jotta liikennöinti olisi mahdollista kaikilla kalustumuodoilla turvallisesti ilman pyörän tai kiskon liiallista kulumista.

Vaihteiden osien tulee olla toiminnaltaan moitteettomia, jotta vaihdetta voidaan käyttää liikennöintiin. RATO 14 -ohjeessa määritetyt vaihteiden mittatoleranssit ovat tarkkuudeltaan millimetrejä, mikä asettaa suuret vaatimukset vaihteen käsittelylle ja kunnossapidolle. Mittauspisteiden määrä vaihtelee vaihdetyypeittäin 16–42 pisteen välillä. Ratateknisten ohjeiden mukaan liikenne on sallittua vain silloin, kun mittaus tulokset pysyvät ohjeessa määrättyjen akuuttirajojen sisäpuolella. Tarkastuksissa on kuitenkin ilmennyt, että joissakin vaihteissa mitat ovat ylittäneet akuuttirajoja, joten liikennöinti tulisi ohjeen mukaan välittömästi keskeyttää (haastattelu, Nummelin 15.10.2012).

Toisaalta kunnossapitourakoitsijat ovat esittäneet, että osa mittauspisteistä ei ole välttämättömiä ja akuuttirajojen väljentäminen olisi mahdollista liikenneturvallisuutta vaarantamatta. Esimerkiksi vaihteiden kokoonpanossa joudutaan usein optimoimaan vaihteen asentoa yhden millimetrin vuoksi, mistä aiheutuu ylimääräistä työtä ja kustannuksia. Lisäksi mittauksen toistettavuudesta ei ole tutkittua tietoa, mikä saattaa vaikuttaa mittaustuloksien luotettavuuteen.

1.3 Tavoitteet ja rajaus

Diplomityössä perehdyttiin vaihteiden geometriseen mitoittamiseen ja mittauksiin, joilla geometrinen kunto tarkastetaan. Tutkittaviksi valittiin kolme Suomessa tyypillistä vaihdetta, joissa akuuttirajojen ylityksiä oli tapahtunut. Tutkitut vaihteet olivat YV54–200–1:9, YV54–200N–1:9, YV60–300–1:9 ja KRV54–200–1:9. Tavoitteena oli selvittää vaihteen toiminnan kannalta kriittisimmät mitat ja syitä akuuttirajojen ylitymiseen. Lisäksi kunnossapitäjien mittauspöytäkirjojen avulla tutkittiin, missä vaihteen osissa mitat eivät pysyneet akuuttirajojen sisällä ja oliko mitta-arvojen välillä riippuvuuksia.

Työssä käsiteltiin tukikerroksellisia Liikenneviraston hallinnoimalle rataverkolle asennettuja vaihteita. Kunnossapidossa keskityttiin käsin tehtäviin mittauksiin, eikä raiteentarkastusvaunumittauksen tuloksia käsitelty.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, asiantuntijahaastatteluja sekä vaihteiden mittauspöytäkirjojen tilastollista analysointia ja tulkintaa. Työ aloitettiin kirjallisuustutkimuksella, jolla selvitettiin yleistietoa vaihteista, niiden kunnossapidosta sekä kulumiseen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi työssä tutkittiin ulkomailla käytettyjä kunnossapitotoleransseja ja verrattiin niitä suomalaisiin ohjearvoihin.

Haastattelut tehtiin teemahaastatteluina, joissa oli mukana vaihdealan asiantuntijoita tilaajan, kunnossapitäjien, alueisännöitsijöiden ja valvojan rooleissa. Lisäksi vierailtiin Kaipiaisten ja Pieksämäen vaihdehalleissa sekä perehdyttiin vaihteen mittaukseen kunnossapitäjien mukana. Vaihteiden akuuttirajojen analysoinnissa käytettiin aineistona kunnossapitotarkastusten yhteydessä tehtäviä vaihteiden mittauspöytäkirjoja. Mittauspöytäkirjoja oli käytössä kunnossapitoalueilta 3, 6 ja 9. Tutkimusmenetelmät valittiin käytettävissä olevien resurssien ja ajan perusteella, minkä vuoksi laajat empiiriset tutkimukset eivät olleet mahdollisia.

2 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen aluksi esitellään tutkittavat vaihdetyypit ja perehdytään vaihteiden mitoitusperiaatteeseen. Tämän jälkeen syvennytään vaihteiden mittavirheiden syntymiseen koko vaihteen elinkaaren aikana. Lisäksi esitellään vaihteiden kunnossapitotarkastukset ja erityisesti mittaustoleranssit, jotka ovat työn pääteemana. Lopuksi perehdytään ulkomaisiin kunnossapitokäytäntöihin ja mittatoleransseihin neljän esimerkkimaan avulla.

2.1 Tutkittavat vaihdetyypit

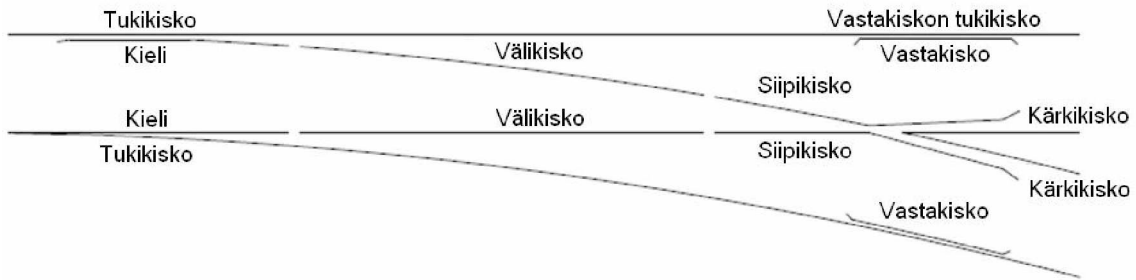
Työssä tutkitaan neljää vaihdetta, jotka ovat YV54–200–1:9, YV54–200N–1:9, YV60–300–1:9 ja KRV54–200–1:9. Tässä luvussa esitellään näiden vaihteiden perusrakenne, tärkeimmät osat sekä erityispiirteet. Yksityiskohtaisempaa tietoa vaihteista on muun muassa Ratateknisissä ohjeissa, erityisesti osassa 4 Vaihteet (Liikennevirasto 2012a).

2.1.1.1 YV54–200–1:9 / YV54–200N–1:9

YV54–200–1:9 on lyhyt yksinkertainen vaihde, jossa on suora raide ja poikkeava (kaartuva) raide. Vaihteen kiskopaino on 54,4 kg/m (54E1), kaarresäde 200 m ja risteyskulma 1:9. Vaihteen kaari päättyy ennen risteystä eli vaihteessa on suora risteys. (Liikennevirasto 2012a.) Suora risteys vähentää risteyskulman kulumista (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). Vaihteesta on olemassa kaksi eri versiota: raidelevyyden levityksellä ja ilman sitä. Nämä versiot erotetaan toisistaan vaihteen nimeen lisättävällä N-kirjaimella, joka merkitsee, että vaihteessa ei ole raidelevyyden levitystä. Uutena ei enää tilata raidelevyyden levityksellä varustettua muotoa, mutta rataverkolla niitä on vielä käytössä. Raidelevyyden levitys tehdään poikkeavaan raiteeseen. (Liikennevirasto 2012a.)

YV54–200–1:9 vaihde soveltuu vaihteen N-tyyppiin verrattuna paremmin transito-liikenteeseen. Kun poikkeavalla raiteella ei ole raidelevitystä, ohjaava kisko kuluu paljon nopeammin tiettyyn pisteeseen saakka, jolloin kuluminen tasoittuu. (Töyry 2012.) N-malli kuluu helpommin erityisesti kärjen alueelta, joka on hankala pitää toleranssin sisällä (haastattelu, Hasa & Tuulikangas 5.2.2013). N-malli on kehitetty, jotta vaihteen liittäminen raiteeseen helpottuisi. Siinä käytetään kahta etujatkospölkkyä, kun taas raidelevityksellisessä muodossa on kymmenen etujatkospölkkyä. Molemmissa takajatkospölkkyt ovat samanlaiset. (haastattelu, Töyry 30.10.2012.)

Vaihdetyypissä ei käytetä kiskonkallistusta eli kiskot ovat pystysuorassa ja kallistus muutetaan vastaamaan vaihteen ulkopuolista kiskojen kallistusta etu- ja takajatkosalueella. Kiinnitystyyppinä käytetään joko Skl-jousia tai K-kiinnitystä. Vaihteen kokonaispituus on 28,3 m. Vaihteessa käytetään joustokiskokantaista kielirakennetta, jossa kielikiskon pää on taottu normaalikiskon muotoon ja siihen on leimuhitsattu tavalinen ratakisko. Kielen jousto-osa tehdään kaventamalla jatkekiskon jalkaa hamaran levyiseksi. (Liikennevirasto 2012a.) Kuvaan 1 on merkitty yksinkertaiseen vaihteeseen kuuluvien kiskojen nimitykset.



Kuva 1 Yksinkertainen oikeakätinen vaihde ja sen osat (muokattu lähteestä Trafikverket 2011).

Jokaisella kiskolla on oma tehtävänsä vaihteessa

- Tukikiskot ovat pysyviä koneistettuja kiskoja, jotka varmistavat pyörän kulun aukiasentoisessa vaihteessa. Tukikiskon koneistettu osuus tukee kiinniasennossa olevaa kieltä. (SFS-EN 13232-5 2011.)
- Kielet ovat liikuteltavia koneistettuja kiskoja (SFS-EN 13232-1 2003). Ne voidaan liittää kiskoon kolmella tavalla, joiden mukaisesti kielet jaetaan nivelkantaisiin, joustokielisiin ja joustokiskokielisiin (Nummelin 1994).
- Käyrä kieli ja suora tukikisko muodostava kielisovituksen puolikkaan ja vastaavasti suora kieli ja käyrä tukikisko toisen puolikkaan. Tukikiskot ja kielet muodostavat yhdessä kielisovituksen. Kielisovituksen tehtävänä on varmistaa kulkutien jatkuvuus joko suoran tai poikkeavan raiteen suuntaan. (SFS-EN 13232-1 2003.)
- Vastakiskon ja sen tukikiskon tehtävänä on varmistaa pyöräkerran kulku risteyksessä ja ohjata pyörät oikeisiin laippauriin (Nummelin 1982).
- Siipikiskojen tehtävänä on ohjata ja kannatella pyörää, ennen kuin pyörä voi tukeutua risteuksen kärkeen (Nummelin 1982).

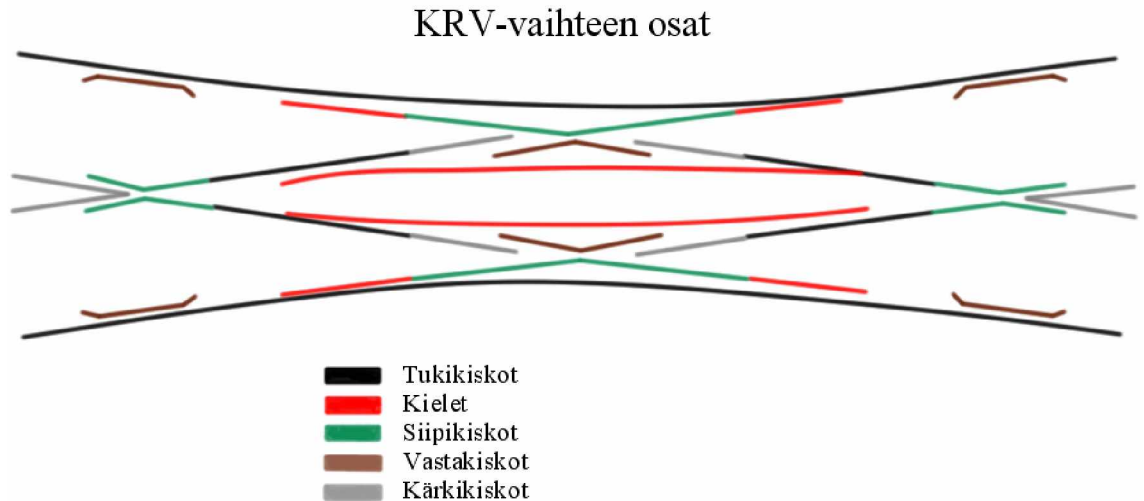
2.1.1.2 YV60–300–1:9

YV60–300–1:9 on yksinkertainen vaihde, jossa kaarresäde on 300 m. Kaarre jatkuu risteuksen läpi takajatkokseen asti. (Liikennevirasto 2012a.) Tällöin pyörät kuluttavat risteystä enemmän ja ne kulkevat vastakiskoa vasten. Toisaalta suurempi kaarresäde on dynaamisten voimien kannalta parempi ratkaisu. (Nummelin 2012.) Vaihteen kiskopaino on 60,2 kg/m (60E1) ja vuoden 1994 jälkeen rakennetuissa vaihteissa käytetään 1:40 kiskonkallistusta koko vaihtealueella. Tätä vanhemmat mallit ovat ilman kiskonkallistusta. Kiinnitystyyppinä käytetään Skl-jousia. Vaihteessa käytetään joustokantaisia kieliä, jotka ovat kokonaisuudessaan kielikiskoa. Joustavan osuuden jalkaa on kavennettu kääntämisen helpottamiseksi. Kielen kantaosa on taottu rataiskon profiilia vastaavaksi, jotta se voidaan liittää välikiskoon hitsaamalla tai sidekiskojatkoksella. Vaihteen kokonaispituus on 34,43 m. (Liikennevirasto 2012a.)

2.1.1.3 KRV54–200–1:9

Kaksipuolinen risteysvaihde koostuu neljästä kielisovitusparista (kuva 2). Niiden avulla saadaan kaksi poikkeavaa raideyhteyttä raideristeuksen risteävien raiteiden välille. Risteysvaihteen 1-kärkiset risteukset vastaavat yksinkertaisen vaihteen risteystä, mutta niiden lisäksi risteysvaihteessa on kaksi 2-kärkistä risteystä. Suomessa käytetään risteysvaihteita, joiden kaarresäde on 200 m. Suurempaa kaarresädettä ei voi käyttää ilman rakennetta, jossa kielisovitukset ovat risteysten ulkopuolella.

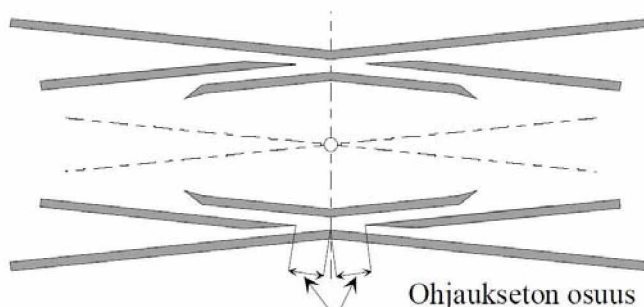
Risteyksen ulkopuoliset kielisovitukset vaativat 3-kärkiset risteykset, jotka ovat rakenteeltaan hyvin monimutkaisia. (Nummelin 1994.) Euroopassa tällaisia risteysvaihteita on muutamia. Pienen kaarresäteen vuoksi risteysvaihteeseen kohdistuu suuria poikittaisvoimia, jotka erityisesti betonipölkkyisissä vaihteissa aiheuttavat ruuvien katkeamista ja toleranssiarvojen ylittymistä. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)



Kuva 2 Kaksoisristeysvaihte ja sen osat (muokattu lähteestä Trafikverket 2011).

Risteysvaihteiden etu yksinkertaisiin vaihteisiin nähden on raideyhteyksien lyhyys ja suoruus. Vaihteet voidaan tällöin sijoittaa pienemmälle alalle. Niiden ongelmana on asentaminen ja kunnossapito, mitkä ovat monimutkaisempia kuin yksinkertaisissa vaihteissa. Kiskojen, kielisovitusten ja risteysten suuri määrä hankaloittaa koneellista tuentaa, mutta toisaalta tuennan pitäisi olla huolellista useiden kulkupinnan epäjatkuvuuskohtien vuoksi. (Nummelin 1994.)

Risteysvaihteen 2-kärkiset risteykset heikentävät vaihteen liikenneturvallisuutta, koska niiden kohdalla pyörän ohjauksessa on epäjatkuvuuskohta, jota kutsutaan ohjauksettomaksi osuudeksi (kuva 3). Ohjaukseton osuus vaikuttaa vain ajettaessa suorien raiteiden suuntaisesti. (Nummelin 1994.) Jos pyörään kohdistuu hyvin voimakas sivuttaisvoima ohjauksettoman osuuden kohdalla, voi pyöräkerta teoriassa ohjautua väärälle raiteelle ja suistua (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). Sivuttaisvoiman voi aiheuttaa pyörän tai telin vika, vaihteen huono geometria tai jarrutuksissa ja kiihdytyksissä syntyvä nykäys. Tutkimusten mukaan kaluston kulku risteysvaihteen yli on turvallista sivuttaisvoimista huolimatta, jos ohjauksettoman osuuden pituus on alle 60 mm. (Nummelin 1994.)



Kuva 3 Kaksikärkisen risteyksen ohjaukseton osuus (Liikennevirasto 2012a).

Ohjauksettoman osuuden pituuteen vaikuttavat risteyskulma, pyörän halkaisija ja laippojen korkeus, raideleveys, vastakiskon korotus sekä risteuksen kärjen madallus. Jotta saavutetaan mahdollisimman lyhyt ohjaukseton väli, tulee pyörän halkaisijan olla suuri ja risteyskulman jyrkkä. (Nummelin 1994.) Suurempi raideleveys pidentää ohjauksetonta osuutta, minkä vuoksi Suomessa vaaditaan esimerkiksi Keski-Eurooppaan verrattuna suuremmat pyörien halkaisijat. Ainoastaan ratatyökoneissa on mahdollista käyttää standardia pienempiä pyöräkertoja, mutta niillä ajetaan vaihteissa valvotusti ja pieniä nopeuksia käyttäen. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)

2.2 Vaihteiden mitoittaminen

2.2.1 Lähtökohdat

Vaihteiden mitoitus (design) ei ole merkittävästi muuttunut rautateiden alkuajoista, vaan uusia vaihdetyyppejä on kehitetty pääasiassa vanhoja tyyppiratkaisuja muokkaamalla (Zwanenburg 2009). Kehitystäkin on toki tapahtunut usealla alueella, kuten materiaaleissa, työmenetelmissä ja tekniikassa.

Vaihteen rakenteen perusvaatimuksena on, että juna kulkee vaihteessa kulkusuunnasta, nopeudesta ja akselipainosta riippumatta pehmeästi ja sysäyksettömästi eikä pieni virhe vaihteessa saa suistaa junaa radalta. Kielien asennon tulee olla tukeva ja niiden on liityttävä tiukasti tukikiskoon myös kuormituksen alaisina. Lisäksi vaihteen osien tulee olla kestäviä ja helposti kunnossapidettäviä. (Liikennevirasto 2012a.)

Vaihteen geometria esitetään linjakaaviossa, jossa yhtenäiset viivat vastaavat kiskojen kulkureunoja. Ratateknisissä ohjeissa on määritetty vaihteiden mitat ja tyypit uusina hankittaville ja muille rataverkolla käytössä oleville vaihteille (Liikennevirasto 2012a).

Yksinkertaisen vaihteen päämitat voidaan laskea kuvan 4 (Esveld 2001) mukaisesti, missä

α	risteyskulma,
β	tangenttiviivan kulma kielen kannan kohdalla,
s	raideleveys,
e	kielen kannan sijainti,
g	suoran osuuden pituus ennen teoreettista kärkipistettä G,
p	etäisyys etujatkoksesta kielen kärkeen (pisteeseen D),
q	etäisyys risteuksen kärjestä takajatkokseen,
t	kielen pituuden projektio tukikiskoa pitkin ja
R	kaarresäde.

Esveldin (2001) mukaan raideleveys s voidaan laskea kaavalla

$$s = e + R(\cos\beta - \cos\alpha) + gs\sin\alpha. \quad (1)$$

Edellisen yhtälön avulla voidaan määrittää kaarresäde R seuraavasti

$$s = e + R(\cos\beta - \cos\alpha) + gs\sin\alpha. \quad (2)$$

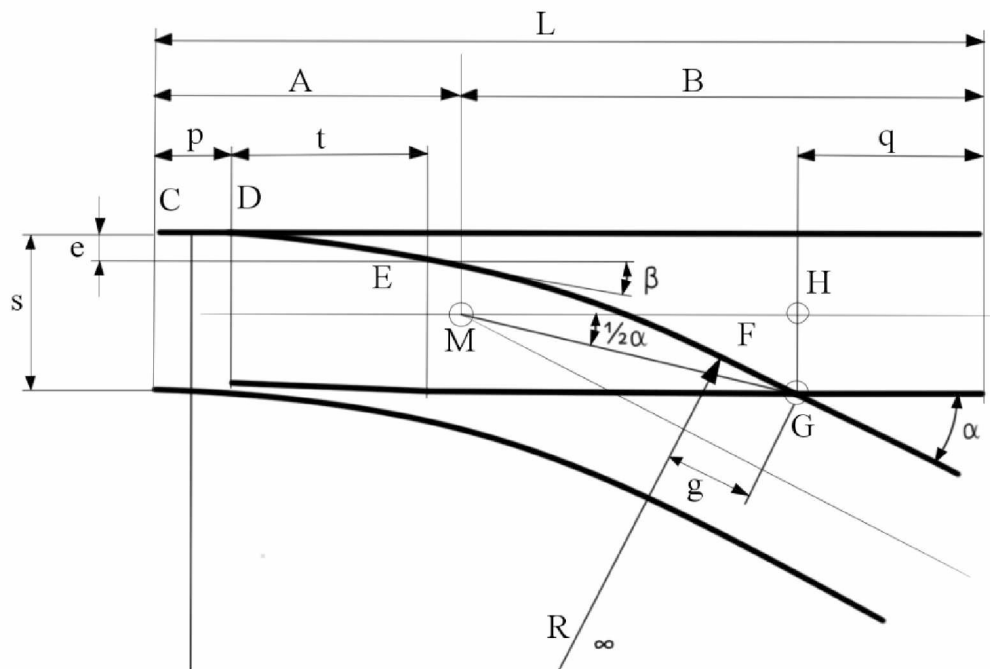
Koko vaihteen pituus L on

$$L = p + t + R(\sin\alpha - \sin\beta) + g\cos\alpha + q. \quad (3)$$

Tällöin matemaattisen keskipisteen (M) etäisyydeksi risteyksen kärjestä saadaan trigonometrian perusteella

$$MH = 1/2scot1/2\alpha. \quad (4)$$

Matemaattinen keskipiste on vaihteen suoran ja poikkeavan raiteen keskilinjojen leikkauspiste.



Kuva 4 Yksinkertaisen vaihteen päämittojen määrittäminen (muokattu lähteestä Esveld 2001).

2.2.2 Mitoitusnopeus ja akselipainot

Vaihteiden mitoituksen lähtökohtina ovat mitoitusnopeus ja akselipainot. Perusperiaatteena on, että juna voi ajaa turvallisesti vaihteen läpi ilman akselipainorajoitusta ja käyttää ainakin yhdellä vaihteen haaralla linjaraitteella sallittua nopeutta. Tavallisesti linjaraitteella sallittua nopeutta käytetään vaihteen suoralla raitteella, kun taas poikkeavalla raitteella kaarresäteen geometria määrää nopeuden. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.) Ratateknisten ohjeiden mukaan vaihteet tulee mitoittaa junan nopeuden (V) ja staattisen akselipainon mukaan seuraavasti (Liikennevirasto 2012a)

60E1-vaihteet:

- 300 (+10 %) kN, kun $V \leq 100$ km/h
- 250 (+10 %) kN, kun 100 km/h $< V \leq 120$ km/h
- 220 (+10 %) kN, kun $V > 120$ km/h

54E1-vaihteet:

- 250 (+10 %) kN, kun $V \leq 120$ km/h
- 220 (+10 %) kN, kun $V > 120$ km/h

Tutkittavat vaihdetyypit on mitoitettu suurimmalle sallitulle nopeudelle taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1 Tutkittavien vaihteiden suurimmat sallitut nopeudet suoralla ja poikkeavalla raiteella (Liikennevirasto 2012a).

Vaihde	Nopeus suoralla raiteella [km/h]	Nopeus poikkeavalla raiteella [km/h]
YV54-200-1:9	160	40
YV60-300-1:9	220	40
KRV54-200-1:9	90	40

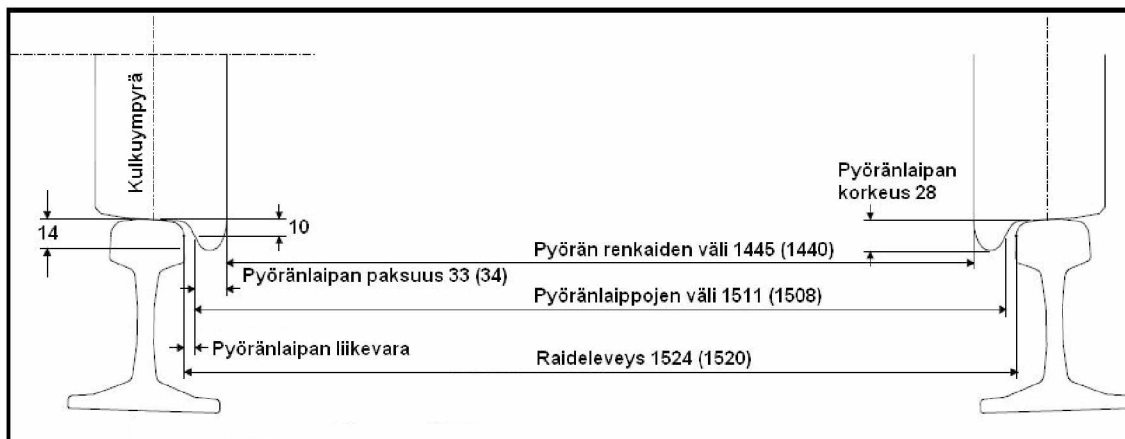
2.2.3 Pyöräkerran kulun optimointi vaihteessa

Kun vaihteen sallittu liikennöintinopeus ja akselipainot on päätetty, yksityiskohtainen geometria määritetään pyöräkerran kulun perusteella (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). Suomessa raidelevyden nimellisarvo on 1524 mm, joka mitataan kiskon kulkureunoista 14 mm kiskonselän alapuolelta. Myös vaihteissa suoran raiteen raideleveys on 1524 mm. Kuitenkin 60E1-vaihteet valmistettiin raidelevydelle 1522 mm vuoteen 1996 asti ja YV54-vaihteet raidelevydelle 1534 mm vuoteen 1986 asti. (Liikennevirasto 2012a.)

Ennen kaikissa vaihteissa, joissa oli 200 m kaarre, käytettiin raidelevyden levitystä höyryveturien pitkien pyörästöjen takia, jotta ne kulkisivat sujuvammin (Nummelin 1994). Uusissa vaihteissa levitystä käytetään enää TYV- ja KRV-vaihteiden käyrissä kielisovituksissa. Raidelevyden muutosnopeuden tulee olla korkeintaan 1 mm / 1 m. (Liikennevirasto 2012a.) Levitys tehdään tavallisesti sisäkaarten puolelle, jolloin se ei vaikuta ulompaan kieleen. Sisempään kieleen vaikutus on negatiivinen, koska kielien ja pyörän välisen iskun kulma kasvaa. (Nummelin 2004.)

Raidelevyden levitys vaikuttaa pyöräkerran kulkuominaisuuksiin. Kielisovitus siirtyy levityksen verran sivuun suoran kielen ja käyrän tukikiskon puolella, jolloin pyörien kulkuympyrä siirtyy kielisovituksen kohdalla sivusuunnassa ja kulkuympyrän säde pienenee pyörän kartiokkuuden vuoksi. Tällöin pyöräkerta pyrkii kääntymään vinoon. (Nummelin 1994.)

Suomen rataverkkoa käyttää suomalaisen kaluston lisäksi venäläinen kalusto, joka on suunniteltu Venäjän 1520 mm raidelevydelle (RHK 1995). Venäläisessä pyöräkerrassa pyörät ovat 5 mm lähempänä toisiaan (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). Erot suomalaisen ja venäläisen pyöräkerran ja raiteen nimellismittojen välillä on esitetty kuvassa 5. Suluissa olevat arvot vastaavat venäläisiä mittoja.



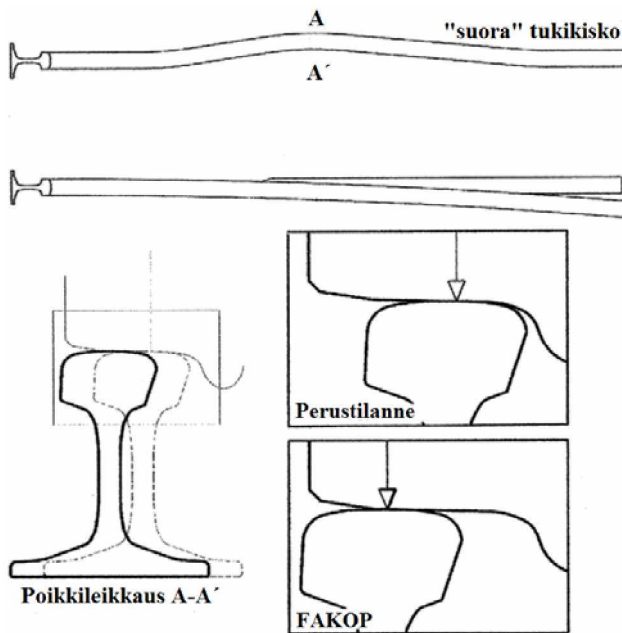
Kuva 5 Suomalaisen ja venäläisen pyöräkerran ja raiteen nimellismitat. Venäläisen standardin mukaiset mitat suluisissa. (RHK 1995.)

Venäläistä kalustoa on erityisesti tavaraliikenteessä, jossa arvioidaan noin kolmasosan liikenteestä olevan venäläistä. Vaihtelu maan sisällä on kuitenkin suurta, sillä venäläinen liikenne painottuu selvästi Itä-Suomeen ja Länsi-Suomessa se on hyvin vähäistä. Esimerkiksi Vainikkalassa liikenne koostuu lähes täysin venäläisistä vauunuista. Yleisesti arvioidaan, että rajan yli kulkee päivittäin noin 1000 venäläistä tavaravaunua. Ne ovat tyypillisesti raskaita öljyvaunuja, jotka kuormittavat paljon rataa. Sen vuoksi niiden huomioon ottaminen mitoituksessa on tärkeää. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)

Suomalaisten ja venäläisten pyöräkertojen erot aiheuttavat kompromisseja erityisesti suomalaisten vaihteiden risteys-vastakiskosovituksissa. Molempien pyöräkertojen tulee kulkea vaihteen läpi turvallisesti, minkä seurauksena kummankaan pyöräkerran kulku ei ole risteuksen kulumisen kannalta optimaalinen. (Nummelin 1994.) Leveälle suomalaiselle pyöräkerralle on haasteena suunnitella sujuva kulku risteuksen kohdalla. Vastakiskon tehtävänä on ohjata pyörät risteyskärjen ohi. Jos vastakisko on liian kaukana suomalaisen pyöräkerran takia, se alkaa kuluttaa sisäpuolelta kapeata venäläistä pyöräkertaa. Risteuksen suunnittelussa tulee ottaa lisäksi huomioon, että venäläinen pyöräkerta mahtuu siipi- ja vastakiskon välistä. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.) Siipikiskon puolella tulee olla enemmän tilaa, jotta venäläisten pyörien laipat mahtuvat välistä (haastattelu, Pollari 17.10.2012). Venäläiset pyörät kuluttavat erityisesti vastakiskoa ja sen tukikiskoa, kun taas suomalaiset pyörät kuluttavat erityisesti risteystä (Nummelin 1994).

Pyöräkertaan kohdistuu usein merkittäviä vaakasuuntaisia siirtymiä kielisovitusalueella, kun juna ajaa vaihteen suoran raiteen läpi. Tämä voi aiheuttaa laippakontaktin ja lisätä pyörän ja kiskon kulumista. Kuormituksen siirtyminen tukikiskon ja kielikiskon välillä tapahtuu muutaman metrin päässä tukikiskon kaartuvan osan alusta. Tämä tarkoittaa, että oikea pyörä seuraa poikkeavaa raidetta pari metriä ennen kuin hyppää takaisin suoralle raiteelle. Tähän kohtaan voidaan tehdä suoraan tukikiskoon keinotekoinen raidelevennys, jolloin pyöräkertojen pyörimissäteiden välille syntyy ero ja koko pyöräkerta siirtyy sivusuunnassa lähemmäs kielikiskoa. Kun kuormitus on siirtynyt kielikiskolle, raideleveys kavennetaan toiselta puolelta normaalileveyteen. (Innotrack 2009.)

Saksassa on kehitetty sovellus kyseisestä menetelmästä, ja sitä kutsutaan kinemaattiseksi optimoinniksi, tuotenimeltään FAKOP (Fahrkinematische Optimierung) (kuva 6). Menetelmässä kielisovituksen alueella suora tukikisko käyristetään, jolloin tukikiskojen välinen etäisyys kasvaa. Levennys on korkeintaan 15 mm sivusuunnassa. Levennys kasvattaa eroa pyörien säteiden välillä ja akseli ohjautuu oikeaan suuntaan. Samalla kielikisko voidaan jättää paksummaksi, mikä lisää sen käyttöikä. Vaihteessa ei ole tällöin lainkaan suoraa tukikisko. (Esveld 2001, Voestalpine BWG 2008.)

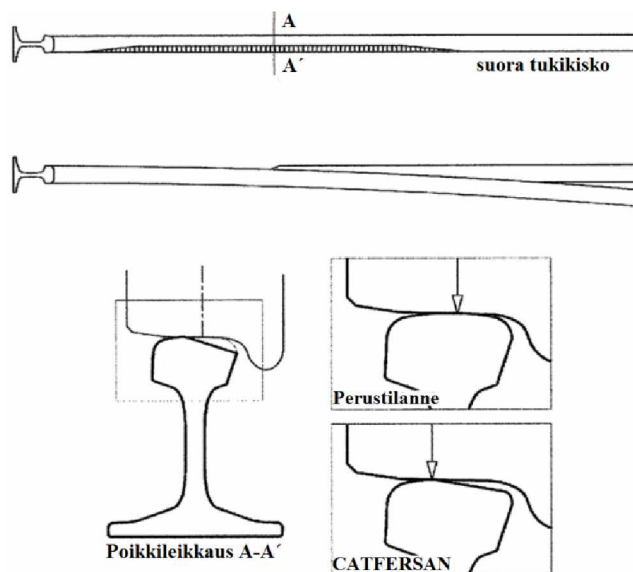


Kuva 6 Kinemaattinen optimointi. Kuvan mittasuhteita on muutettu, jotta tukikiskon käyristäminen erottuisi kuvassa. Käyrää kielikiskoa ei ole piirretty kuvaan. (muokattu lähteestä Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002.)

FAKOP-menetelmän heikkoutena on sen valmistus- ja asennusprosessin vaikeutuminen. Käyrän kielikiskon ja käyräksi muotoillun tukikiskon yhteensovittaminen on huomattavasti hankalampaa ja pölkkyjen kiinnityskohdat täytyy suunnitella uudelleen. Lisäksi vaihteen tukeminen on monimutkaisempaa, koska vaihteessa ei ole suoraa tukikisko ohjaamassa tukemiskonetta, minkä vuoksi kunnossapitotöiden aikana tukemisko-neelle täytyy tehdä erillinen ohjauslinja (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). (Bugarín et al. 2010.) FAKOP-menetelmää voidaan käytännössä käyttää vain uusien vaihteiden valmistuksessa, koska sen lisääminen olemassa oleviin vaihteisiin vaatisi sekä toisen kielisovituksen puolikkaan että pitkien vaihdepölkkyjen uusimista (Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002).

Toinen menetelmä pyörän kulun vakavoittamiseksi on ns. CATFERSAN-menetelmä (kuva 7). Menetelmässä suoran tukikiskon hamara on muotoiltu uudelleen tietyltä matkalta, jotta laippakontaktilta välttyään. (Bugarín et al. 2010.) Se perustuu alun perin Schöchin ja Koppin esittelemään epäsymmetriseen kiskoprofiiliin (Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002). Hamaran muotoilu vähentää erityisesti suoran kielisovituksen puolella poikittaisia voimia, mikä vähentää kiskoja ja pyörän laippoja kulumaa. Se ei vaadi pölkkyihin muutoksia eikä se vaikeuta vaihteen tukemista. (Bugarín et al. 2010.) Menetelmä heikentää junan dynamiikkaa poikkeavan raiteen suuntaan ajettaessa, mutta negatiivinen vaikutus on merkitykseltään pienempi, koska nopeudet ovat alhaisempia. Jos suurin osa liikenteestä käyttää poikkeavaa raidetta, voi-

daan CATFERSAN-menetelmää soveltaa poikkeavalle raiteelle ja siten parantaa ajodynamiikkaa. (Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002.)



Kuva 7 Catfersan-menetelmä (Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002).

Vaakasuntaiset siirtymät kielisovitusalueella lisääntyvät nopeuden kasvaessa, mikä vuoksi sekä FAKOP- että CATFERSAN – menetelmiä on käytetty lähinnä suurnopeusvaihteiden yhteydessä Euroopassa. Vastaavaa hyötyä ei saavuteta radoilla, joissa kaluston käyttämä nopeus on alhainen. (Bugarín & García Díaz-de-Villegas 2002.)

Suomessa kielisovituksen kulutusta on pyritty vähentämään kallistamalla kiskot myös vaihtealueella sisäänpäin, koska kartiokas pyörä kuormittaa ja kuluttaa pystyasentoista kiskoa epäkeskeisesti (Nummelin 1994). Kallistettujen kiskojen avulla siniliike jatkuu myös vaihteessa ja matkustusmukavuus kasvaa (haastattelu, Nummelin 15.10.2012). YV-60-vaihteissa on käytetty läpimenevää kiskojen kallistusta vuodesta 1994. Muut vaihteet ovat pystysuorassa. (Nummelin 1994.) Kallistetuissa kiskoissa kielen hamara koneistetaan samaan kaltevuuteen. Kielen jalan täytyy olla vaakatasossa, jotta vaihdetta voidaan kääntää. Nummelinin (2012) mukaan kiskojen kallistaminen on kunnossapidon kannalta yksinkertaisempaa kuin kinemaattinen optimointi. Sekä kinemaattisella optimoinnilla ja kiskojen kallistuksella on omat puoltajansa ja maailmalla käytetään molempia menetelmiä. Kinemaattinen optimointi erityisen suosittua Keski-Euroopassa, jossa se on kehitettykin.

Kansainvälisen rautatieliitto UIC:n Innotrack-tutkimusohjelmassa tutkittiin erilaisia risteysalueen geometrian muunnelmia, joilla pyrittiin minimoimaan pyörän pystysuuntainen liike sen siirtyessä siipikiskolta risteyskärjelle. Siten kärjen isku-kuormitus pienenee. Tutkimuksessa testattiin seuraavia risteysalueen geometrisia ratkaisuja

- Risteyskärjen ja siipikiskon välistä laippauraa pienennettiin, jotta pyörä siirtyisi siipikiskolta kärjelle kohdassa, jossa kärjen poikkileikkauksala on suurempi.
- Risteyskärjen kaltevaa kärkeä muutettiin suorasta kaltevuudesta käyräksi, jolloin pienennettiin pyörän pystysuuntaista liikettä risteyskärjelle siirtymisen jälkeen (vastavaihteen suuntaan ajettaessa).

- Siipikiskoa korotettiin ja muotoiltiin se uudestaan, jotta se toimii paremmin kuluneen pyörän tapauksessa.

Tutkimuksen mukaan risteuksen kärjen iskukuormitusta voitiin pienentää tehokkaimmin pölkyn ja kiskon väliin asennettavien joustavien mattojen avulla. Yksikään suunnitteluratkaisuista ei johtanut kuormituksen vähenemiseen kaikilla tutkituilla profiileilla. Toimivin suunnitteluratkaisuista oli siipikiskon korottaminen yhdessä joustavien mattojen kanssa. (Innotrack 2009.)

Suomessa risteys-vastakiskosovituksessa pyöränkulkua on optimoitu jo pitkään korottamalla siipikiskoa. Ulkomailla käytetympi menetelmä on kärjen madaltaminen ja siipikiskon pitäminen normaalin kulkupinnan tasossa. Tällöin kärki ei kestä yhtä hyvin, koska siitä on hiottu runsaasti materiaalia pois. Siipikiskoa korottamalla kulumisvaraa jää enemmän. Toisaalta korotetun siipikiskon kunnossapito on työläämpää, jotta se pysyy oikeassa muodossaan. Korotus on myös otettava erikseen huomioon tuentaa tehtäessä, muuten vaihde voi kallistua ja vaihdepölkyt taipua risteuksen kohdalla. Korotus tehdään takomalla ja mangaaniristeuksiin se on tehty valmiiksi jo valussa. Sitä käytetään vain lyhyissä vaihteissa, koska pitkissä vaihteissa nopeudet ovat suurempia ja pyörän nousu siipikiskon kohdalla vaikuttaisi jo pyörän kulkuun. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)

2.2.4 Poikittaiskiihtyvyys ja nykäys

Vaihteen käyrässä kielisovituksessa junaan vaikuttaa poikittaiskiihtyvyys ja nykäys. Linjaraitteella ne kompensoidaan kallistuksen ja siirtymäkaaren avulla. Vaihteissa kallistusta käytetään ainoastaan kaarrevaihteissa ja siirtymäkaaria vain suurnopeusvaihteissa. Kaikissa muissa vaihteissa poikittaiskiihtyvyys eli keskeisvoiman aiheuttama vaakasuuntainen kiihtyvyys lasketaan kaavalla (Liikennevirasto 2012a.)

$$a_q = \frac{v^2}{R} = \frac{V^2}{12,96R} \quad (5)$$

missä

v	on nopeus [m/s]
V	on nopeus [km/h]
R	on kaarresäde [m]

Vaihteissa suurin sallittu poikittaiskiihtyvyyden arvo on $0,65 \text{ m/s}^2$. Tällöin sallittu minimikaarresäde tietyllä nopeudella on (Liikennevirasto 2012a)

$$R_{min} = \frac{v^2}{0,424} \quad (6)$$

Kiihtyvyyden muutosta aikayksikössä kutsutaan nykäykseksi. Nykäys kuvaa matkustusmukavuutta ja sille on määritetty erikseen maksimiarvot linjaraitteella ja vaihteissa. Linjaraitteella maksiminykäys on kiskon hamaran tasosta mitattuna $0,45 \text{ m/s}^3$ ja vaihteissa $1,1 \text{ m/s}^3$. (Nummelin 1994.) Nykäys lasketaan kaavalla: (Liikennevirasto 2012a)

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q}{t} = \frac{a_q v}{L_t},$$

(7)

missä

da_q/dt on nykäys [m/s^3]

v on nopeus [m/s]

L_t on 17 m (telikeskiöväli)

Nykäys on merkittävä erityisesti pitkissä vaihteissa (Liikennevirasto 2012a). Kun nopeus poikkeavalla raiteella on alle 80 km/h, poikittaiskiihtyvyyttä ja nykäystä ei käytännössä oteta huomioon mitoituksessa, vaan olennaisinta on pyöräkerran sujuva kulku vaihteen läpi (haastattelu, Nummelin 15.10.2012).

Vaihteiden mitoitus lähtee siis tavoitenopeuksien ja akselipainojen määrittämisestä, minkä jälkeen varmistetaan pyöräkertojen sujuva kulku vaihteen läpi. Pitkissä vaihteissa myös poikittaiskiihtyvyys ja nykäys otetaan huomioon. Vaihdetyyppin valinnan määrää suunnitteluvaiheessa yleensä käytettävissä oleva tila. Jos suurin osa vaihteen läpi kulkevasta kalustosta ei voi hyödyntää suurempaa poikkeavan raiteen ajonopeutta esimerkiksi liikennepaikalle pysähtymisen vuoksi, lyhyiden vaihteiden käyttö on perusteltua riippumatta linjanopeudesta.

Vaihteiden mitoituksen nykyinen tutkimus keskittyy kansainvälisen rautatieliitto UIC:n Innotrack-tutkimusohjelman mukaan liiaksi stabiliteetin säilyttämiseen suurissa nopeuksissa, jolloin huomio ei keskity vaihteen vaurioiden minimoimiseen. Tulevaisuudessa vaihteiden suunnittelua tulisi tutkimusohjelman mukaan kohdistaa seuraaviin tutkimusalueisiin

- etsiä uudenlaisia ratkaisuja kisko-pyörävoimien minimoimiseksi ja uusia materiaaleja kulutuksen vähentämiseksi.
- luoda mallinnusohjeistus, jossa esitetään simuloinnissa käytettävät vakio-parametrit, jotta tutkimukset olisivat paremmin vertailukelpoisia.
- arvioida kielisovituksen ja välikiskoalueen geometria uudelleen siten, että akselien ja telien ohjautuvuus parantuvat ja kisko-pyörävoimat vähenevät.
- muotoilla risteyskärki uudelleen, jotta kiskon ja pyörän väliset iskuvoimat vähenevät.
- suunnitella helposti vaihdettavia osia, jotta kuluneiden osien vaihto olisi yksinkertaista
- kehittää automatisoituja kunnostusmenetelmiä, kuten vian havaitsemiseen soveltuvia algoritmeja. (Ekberg & Paulsson 2010.)

2.3 Vaihteiden geometriseen kuntoon vaikuttavat tekijät

Luku käsittelee tekijöitä, jotka vaikuttavat vaihteen geometriseen kuntoon. Luku on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäinen käsittelee ennen vaihteen liikenteelle avaamiseen liittyviä tekijöitä, tärkeimpänä vaihteen asennustyö. Jälkimmäisessä luvussa tutkitaan kaluston vaihteeseen aiheuttamaa kuormitusta ja siitä syntyviä voimia. Ne aiheuttavat kiskojen kulumista ja niiden siirtymistä toisiinsa nähden, minkä vuoksi vaihteen geometria ei enää vastaa alkuperäistä ja mittauksissa ilmenee poikkeamia perusarvoista.

2.3.1 Ennen käyttöönottoa

Ennen kuin yksikään juna on ajanut vaihteen yli, sen geometriaan on vaikuttanut moni työvaihe. Ensimmäisenä lähtökohtana on, että vaihteen osien tulee olla virheettömiä, jotta niistä koottu vaihde voi ylipäänsä saavuttaa mittatoleranssit. Tämän vuoksi vaihteen osille on teknisissä toimitusehdoissa määritetty valmistustoleranssit (Liikennevirasto 2010a). Vaihteiden kokoaminen komponenteista tehdään vaihdehalleilla ja samalla vaihteen geometrinen asema varmistetaan mittaamalla. Työ on tehtävä huolellisesti, jotta vaihteen mitat vastaavat nimellismittoja.

Tämän jälkeen vaihde kuormataan kuljetusvälineeseen, joka voi olla joko auto- tai junakuljetus. Kuljetuksessa vaarana on erityisesti vaihdepölkkyjen liikkuminen. Pölkkyjen sijainnin ja suoruuden tarkistamista helpottavat niiden kiskon jalan keskelle maalatut keltaiset merkit (RHK 1999). Vaihteiden kuljetuksessa juna on aikaisemmin ollut yleisin kuljetusmuoto, mutta nykyään suurin osa vaihteista kuljetetaan työmaille kuorma-autoilla. Autokuljetusten etuina ovat joustavuus ja nopeus, mutta huonona puolena junakuljetuksia kalliimpi hinta. Autokuljetus on myös aina erikoiskuljetus, mikä vaatii ylimääräisiä järjestelyjä ja saattaa rajoittaa reittiä tai kuljetusajankohtaa. Kuorma-autolla saa tällä hetkellä kuljettaa kaikkia muita paitsi pitkiä vaihteita. (Pollari 2012a.)

Junakuljetusten etuina ovat halvempi hinta ja se, että niillä voidaan kuljettaa kaikkia vaihteita eikä tarvita erikoiskuljetuksen vaatimia lisäjärjestelyitä. Lisäksi kuljetuksia varten on olemassa siihen suunniteltuja vaunuja, ns. Bov-vaunuja (kuva 8). Junakuljetusten ongelmana ovat kuitenkin vaikeampi aikataulut ja epävarmuus. Kuljetuksia ei myöskään saada aina toimitettua työmaalle asti. (Pollari 2012a.) Puupölkkyvaihteet voidaan toimittaa joko kiinteätelineisellä tai kallistettavalla kuljetuslavalla varustetuilla vaunuilla, kun taas betonipölkkyvaihteissa käytetään aina kallistettua kuljetuslavaa. (RHK 2004a.)



Kuva 8 KR-vaihteet lastattuna Bov-vaunuun (kuva: Juhana Hietaranta).

Vaihte-elementin asennukseen kuuluvat työvaiheet ovat

- vanhan massan poisto
- johtoteiden ja tukikerroksen alaosan rakentaminen
- uusien elementtien käsittely ja asennus
- sepelöinti ja
- tuenta (RHK 1999).

Vaihteiden asentamisessa tulee käyttää vaihteenasennuskonetta tai nostopalkkia (RHK 2004a). Nostolaitteen kapasiteetin tulee olla vähintään 15 % suurempi kuin kuorman epäedullisimmassa asennossaan (RHK 2007). Vaihte mitataan kuljetusvälineessä ennen nostoa (haastattelu, Hynninen 11.2.2013), minkä jälkeen vaihte asennetaan optimitasoon tasoitetun tukikerroksen alaosan päälle. Huolellinen pohjatyö on edellytys vaihteen oikean asennon säilymiselle sen koko elinkaaren ajan. (RHK 2004a.)

Vaihte-elementti nostetaan kaikista nostopisteistä yhtäaikaaisesti ja tasaisella voimalla. Nostopisteet on merkitty vaihte-elementteihin ja niitä on lyhyissä vaihteissa neljä ja pitkissä kahdeksan. (haastattelu, Pulliainen 23.10.2012.) Vaihte-elementin suurin sallittu taipuma noston aikana on $L/50$ mm, jossa L on vaihte-elementin pituus. Noston aikana pölkkyt eivät saa liikkua kiskoihin nähden. (RHK 2007.) Kun vaihte-elementit nostetaan kuljetuslavalta asennusalustalle, asennustarkkuuden tulee olla ± 25 mm. Lopulliseen asemaansa vaihte asetetaan lopuksi tukemiskoneella. (RHK 1999.) Vaihteen asennus tehdään katkon aikana, joka kestää yleensä maksimissaan 12 tuntia, mutta usein selvittää nopeamminkin (haastattelu, Pulliainen 23.10.2012). Asennustyötä valvovat Liikenneviraston tilaamat yritykset (haastattelu, Töyry 30.10.2012).

Vaihteiden asennuksessa on käytetty ainakin seuraavia menetelmiä

- TrackLayer
- raidenosturi
- autonosturi
- kuorma-auton nosturi
- pyöräkone
- kaivinkone (haastattelu, Hynninen 11.2.2013).

Kaivinkonetta ei saa enää nykyään käyttää. Ylivoimaisesti eniten käytettyjä asennusmuotoja ovat eri nosturiasennukset. TrackLayer mahdollistaa vaihteen hellävaraisen käsittelyn, mutta 35 tonnin nostokyky rajoittaa painavimpien elementtien nostoja. Kielielementtiä nostettaessa käytetään aina nostopuomia, muita osia voidaan nostaa ilman puomia työmenetelmän mukaan. (haastattelu, Hynninen 11.2.2013.)

Vaihte-elementtien välivarastoinnissa tulee ottaa huomioon, että niitä ei saa pinota päällekkäin, koska etenkin risteys- ja asetinpölkkyt ovat tällöin ns. tyhjän päällä ja taipuvat jo lyhyessäkin ajassa jopa 8-9 mm. Välivarastointia kannattaa sen vuoksi välttää mahdollisuuksien mukaan. (RHK 1999.) Lopuksi vaihte asennetaan paikalleen, sepelöidään ja tuetaan. Asennetun vaihteen tulee täyttää työn vastaanottotoleranssit.

Jo ennen käyttöönottoa vaihteen geometrinen asema on saattanut muuttua suunnittelusta. Myöhemmin luvussa 5.1.1 haastattelututkimuksen tulosten yhteydessä on asiantuntijoiden arvioita siitä, mitkä työvaiheet ovat mittatarkkuuden kannalta kriittisimmät ja mitä kehitettävää niissä on.

2.3.2 Käyttöönoton jälkeen

Käyttöönoton jälkeen vaihdetta on tarkkailtava, jotta jälkipainumat pysyvät sallituissa rajoissa teräsosien pysyvien muodonmuutosten ehkäisemiseksi ja vaihteen toimivuuden varmistamiseksi (RHK 1999). Lisäksi vaihteen risteystä on muotoiltava pian liikenteelle avaamisen jälkeen. Risteyksen kärki valmistetaan samanlaisella profiililla riippumatta siitä, mihin se rataverkolla sijoittuu. Kärjen muotoa optimoidaan hiomalla se liikenteen mukaiseksi, jotta pyörä ei iske kärkeen ja se ei kulu liian nopeasti. Kärjen kulumisen puolestaan vaikuttaa siipikiskoon ja ne alkavat yhdessä kulua nopeasti, jos hiomalla ei muuteta risteyksen muotoa. Mangaaniteräsristeykset ovat yleisimmin käytettyjä risteyksiä. Ne ovat kestäviä, mutta karkenevat lopulliseen koivuuteensa vasta liikenteen alla, jolloin niihin syntyy pursetta, joka on hiottava pois jo ensimmäisten viikkojen aikana. (haastattelu, Pollari 17.10.2012.)

Vaihteet kuormittuvat ja kuluvat ajan myötä linjaraitteiden tavoin, mutta niihin liittyy myös tiettyjä erityispiirteitä, jotka aiheuttavat ylimääräistä kuormitusta. Erityisesti lyhyissä vaihteissa näitä tekijöitä ovat

- junakuormat useammasta suunnasta
- jyrkkä kaarre ilman kallistusta, minkä vuoksi syntyy suuria poikittaissuuntaisia voimia
- suoran ja kaarteiden välillä ei ole siirtymäkaarta
- tietyt sisäiset epäjatkuvuuskohdat, joita ovat
 - o pölkkyt eivät ole tasapituksia, vaan pidempiä ja raskaampia, mikä muuttaa elastisuutta
 - o koneistetut ja muotoillut kiskot ja muut metalliosat

- o osa vaihteista on pystysuorassa eikä niissä ole käytetty linjaraiteiden 1:40 kiskonkallistusta
- o ajettaessa vaihteeseen kontaktipiste vaihtuu nopeasti kielisovituksessa tukikiskolta kielelle tai risteyksessä siipikiskoilta risteyksen kärkeen (Zwanenberg 2009).

Juna aiheuttaa rataa sekä pysty- että vaakasuuntaisia staattisia ja dynaamisia voimia. Pystysuora staattinen voima aiheutuu junan painosta ja se siirtyy noin kolikon kokoisen pinta-alan kautta kiskoon, josta se pölkkyjen välityksellä jakautuu tukikerrokseen ja alempiin rakennekerroksiin. Vaakasuuntaisia staattisia voimia esiintyy vain, kun juna on kallistetussa kaarteessa pysähtyneenä tai siihen vaikuttaa hyvin voimakas sivutuuli. Käytännössä vaakasuuntaiset staattiset voimat ovat mitättömiä dynaamisiin voimiin nähden. (Zwanenburg 2009.)

Dynaamisten voimien suuruuteen vaikuttaa staattisen pystysuuntaisen voiman suuruus. Pienikin epäjatkuvuus radassa voi aiheuttaa pystysuuntaista kiihtyvyyttä eli dynaamisia kuormia, jotka vaikuttavat komponenttien kulumiseen ja geometrian heikkenemiseen. Vaakasuuntaiset dynaamiset voimat aiheutuvat pääosin junan pakko-ohjautumisesta laippakontaktin vuoksi vaihteissa ja pienissä kaarteissa. (Zwanenburg 2009.)

Zwanenberg (2009) esittelee väitöskirjassaan suuren määrän tekijöitä, jotka vaikuttavat geometrisen kunnan heikkenemiseen. Ne voidaan jakaa kolmeen luokkaan: kalustosta, radasta ja liikennöinnistä johtuviin tekijöihin (taulukko 2).

Taulukko 2 Vaihteen geometrisen kuntoon vaikuttavat tekijät (Zwanenberg 2009).

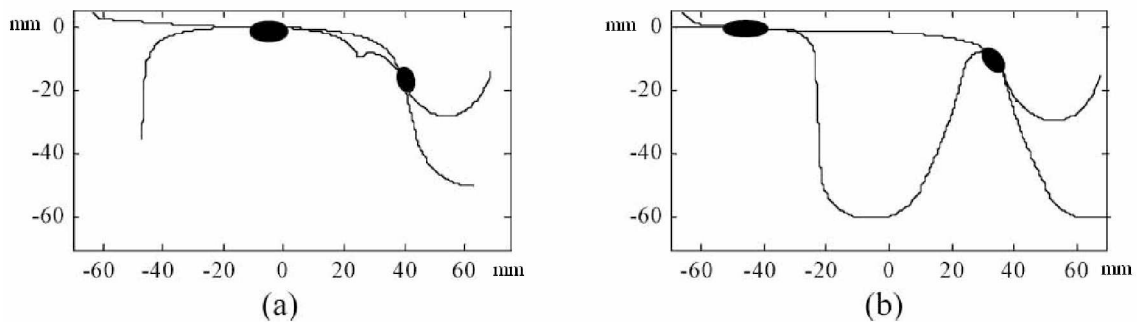
Vaihteen geometrisen kuntoon vaikuttavat tekijät		
Kalustoparametrit	Vaihteen parametrit	Liikennöintiparametrit
<ul style="list-style-type: none"> - Akselipaino - Akselien määrä - Kokonaistonnit - Nopeus - Painopiste - Kaluston kunnossapito 	<ul style="list-style-type: none"> - Risteyskärjen kunto - Kiinnitysosien kunto - Pölkkyjen materiaali - Tukikerroksen laatu - Maaperän laatu - Asennus - Nykyinen geometria - Kunnossapito ja osien vaihdon käytäntö 	<ul style="list-style-type: none"> - Nopeus - Poikkeavan raiteen käyttö suhteessa suoraan raiteeseen - Ajo vasta- tai myötävaihteeseen - Jarrutus tai kiihdytys vaihdealueella

Kassa ja Nielsen (2008b) ovat tutkineet tarkemmin vaihteen kunnan heikkenemiseen johtavien tekijöiden keskinäistä merkitystä ja niiden vaikutusta toisiinsa. Heidän tarkoituksenaan oli selvittää tärkeimmät tekijät vaihteen vikaantumiseen ja tekijöiden riippuvuus toisistaan.

Tutkimuksen aluksi valittiin 14 vaihteen kuntoon vaikuttavaa tekijää, joille annettiin sekä perusarvo että huonoa tilannetta kuvaava arvo. Näistä tekijöistä muodostettiin erilaisia yhdistelmiä ja simuloitiin pyörien ajamista kielisovituksen yli. Tutkimuksen

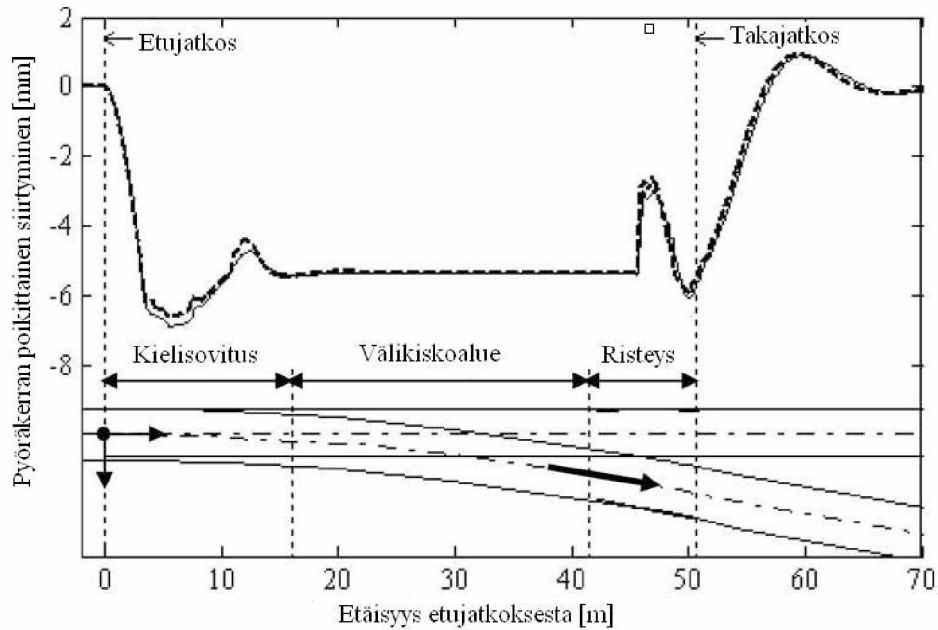
mukaan vaihteen kuntoon vaikuttavista parametreista tärkeimmät olivat akselipaino, kitkakerroin ja pyörän profiili. Suurin kuluma vaihteeseen aiheutui odotusten mukaisesti näiden parametrien yhdistelmästä, johon kuuluivat kulunut pyöräkerta, korkea akselipaino ja suuri kitkakerroin. Kielikiskoista verrattiin kulunutta, kiskoprofiililtaan plastisesti deformatunutta ja alkuperäistä profiilia. Näistä plastinen muodonmuutos aiheutti suurimman kulumisindeksin yhdistettynä muihin parametreihin. (Kassa & Nielsen 2008b.)

Vaihteen aiheuttama epäjatkuvuuskohta radassa häiritsee pyöräkertojen siniliikettä. Suoralla raiteella kiskon ja pyörän välissä on tavallisesti vain yksi kosketuspiste, jos kiskot tai pyörät eivät ole merkittävästi kuluneet. Vaihteissa myös laipat osallistuvat pyörien kulun ohjaamiseen ja kontakti pyörän ja kiskon välillä syntyy useampaan pisteeseen. Kielisovituksessa kontaktipisteet syntyvät samaan aikaan tuki- ja kielikiskoon sekä risteyksessä siipikiskoon ja risteyksen kärkeen (kuva 9). Suurimmat dynaamiset kuormitukset syntyvät kahden eri kiskon liitoksessa, kun pyörät siirtyvät tukikiskolta kielikiskolle tai kärjeltä siipikiskolle.



Kuva 9 Kaksipistekontakti vaihteessa (a) kielisovituksessa kieli- ja tukikiskossa sekä (b) risteys-vastakiskosovituksessa risteyksen kärjessä ja siipikiskossa (Kassa et al. 2006).

Kassa et al. (2006) tutkivat pyörän ja raiteen välistä dynaamista vuorovaikutusta kahdella simulointiohjelmalla. Simuloinnissa tutkittiin teliä, jossa oli kaksi pyöräkertaa ja telinrunko oli kytketty molempiin pyöräkertoihin lineaarisella jousi-vaimennin-elementillä. Raide mallinnettiin jäykkänä kappaleena. Tutkittavana vaihteena oli UIC60–760–1:15 raidelevydeillä 1435 mm ilman kiskonkallistusta. Junan nopeus oli 60 km/h. Kuvassa 10 näkyy pyöräkerran poikittaissuuntainen siirtymä. Negatiivinen siirtymä tarkoittaa kuvassa siirtymää kohti ulkokiskoa. Äkilliset muutokset radan kaarevuudessa vaihteen etu- ja takajatkoksessa aiheuttivat poikittaissuuntaisia siirtymiä, joiden maksimi saavutettiin noin kahdeksan metriä etujatkoksen jälkeen. Poikittaissuuntaista liikettä rajoittavat kielisovituksessa kosketuspiste ulomman pyörän ja kielikiskon välillä sekä risteysalueella kosketuspiste sisemmän pyörän ja vastakiskon välillä. Nämä näkyvät kuvaajassa äkillisinä poikittaissuuntaisen siirtymän vähenemisinä kielisovituksen ja risteyksen alueella. Kuvasta 10 nähdään, että pyöräkertojen äkillinen poikittainen siirtymä on voimakkainta kielisovituksessa ja risteysalueella, minkä vuoksi kuluminen on myös voimakkainta näissä kohdissa vaihdetta.

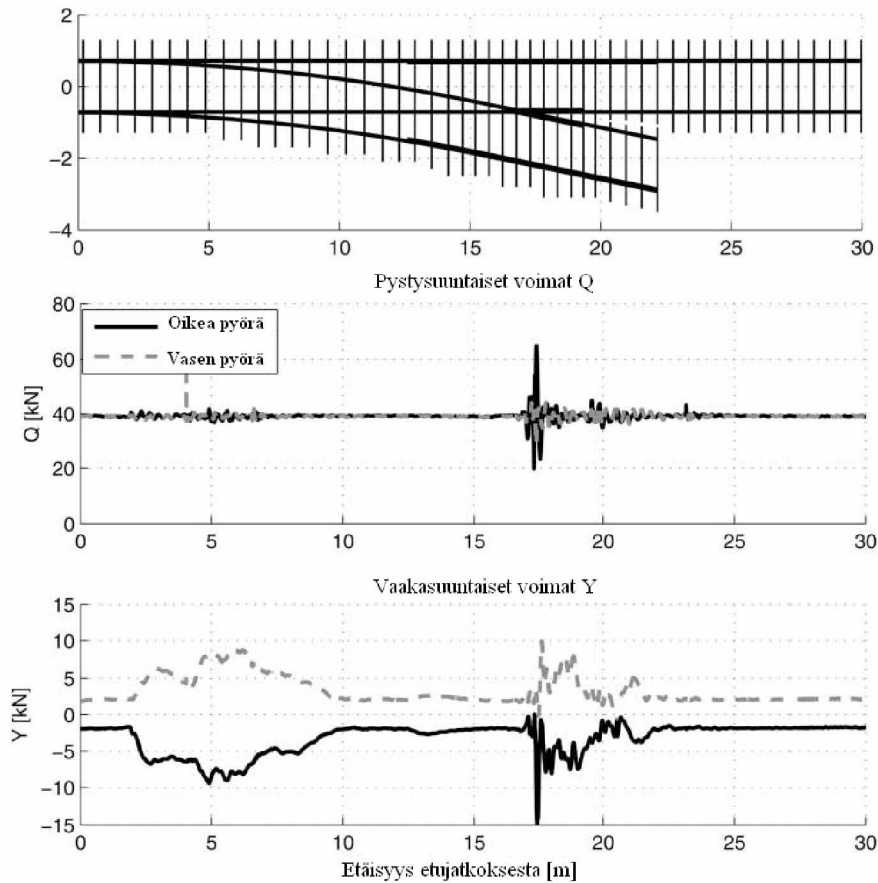


Kuva 10 Pyöräkerran poikittaissuuntainen siirtymä ajettaessa vaihteen poikkeavalle raiteelle (muokattu lähteestä Kassa et al. 2006).

Toisessa tutkimuksessa Kassa & Nielsen (2008a) tutkivat ajosuunnan ja nopeuden vaikutusta kiskon ja pyörän välisiin kontaktivoimiin. Kenttätutkimusten ja simulointien tuloksena saatiin, että ajosuunta vaikutti selvästi poikittaissuuntaiseen voimaan. Suurin poikittaisvoima syntyi junan ajaessa vastavaihteen suuntaan poikkeavalle raiteelle. Ajosuunnalla ei ollut juurikaan merkitystä pystysuuntaisiin voimiin. Niihin vaikutti merkittävästi se, käytettiinkö poikkeavaa vai suoraa raidetta. Poikkeavalla raiteella pystysuuntaiset voimat olivat selvästi suurempia kuin suoralla raiteella. Nopeuden nostaminen kasvatti kontaktivoimia erityisesti poikkeavalle raiteelle ajtaessa.

Alfi ja Bruni (2009) pyrkivät omassa tutkimuksessaan luomaan matemaattisen mallin, jolla voidaan mallintaa junan ja vaihteen vuorovaikutusta. Mallin luomisessa käytettiin simulointia sekä kenttämittauksia. Pääraiteelle mallinnus tehtiin nopeudelle 15 m/s (54 km/h) ja poikkeavalle raiteelle 5,6 m/s (20 km/h). Vaihteen geometria, pyörät ja kiskoprofiili oletettiin ideaaliseksi. Kuvasta 11 näkyvät vaihtealueella vaikuttavat pysty- ja vaakasuuntaiset voimat ajettaessa suoran raiteen suuntaan. Vastavasti poikkeavan raiteen suuntaan ajettaessa voimat ovat kuvan 12 mukaiset.

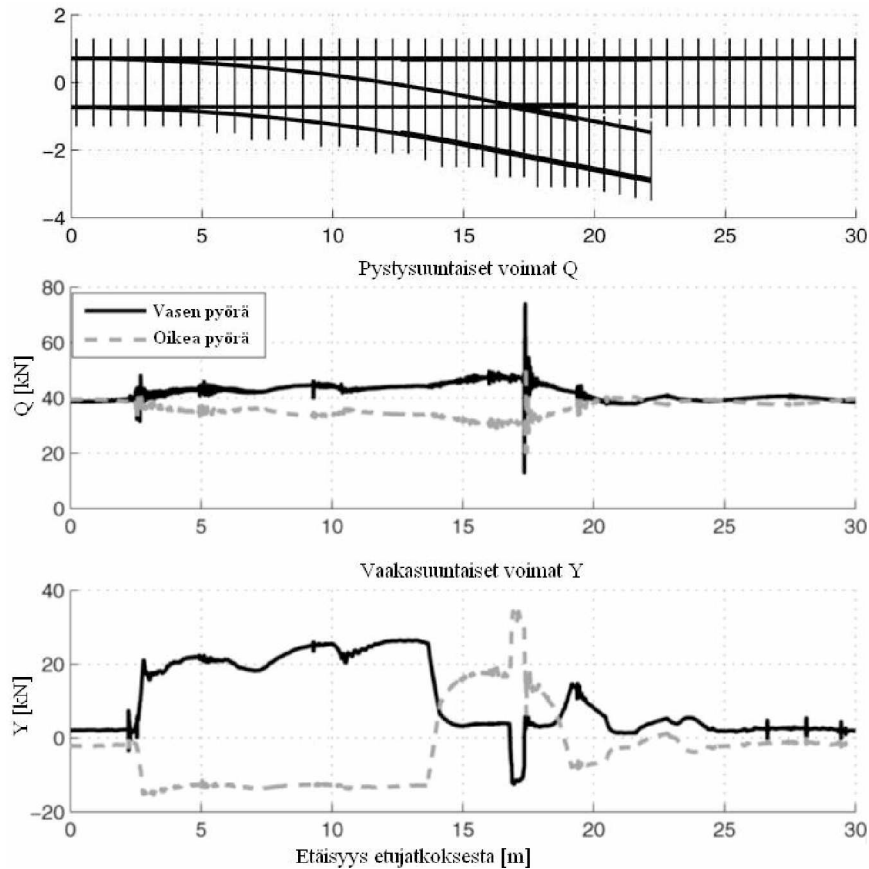
Kuvasta 11 nähdään, että suoraan ajettaessa pystysuuntaiset voimat eivät juuri kasva kielisovitusalueella. Risteysalueella näkyy voimakas piikki pystysuuntaisissa voimissa, mutta se tasoittuu nopeasti risteyskärjen jälkeen. Vaakasuuntaiset voimat kasvavat kielisovitusalueella, mutta laskevat taas lähes linjaraitteissa vaikuttavien voimien tasolle väliskiskoalueella. Risteysalueella myös vaakasuuntaiset voimat saavuttavat maksiminsa ja voimat kasvavat pystysuuntaisten voimien tapaan terävänä piikkinä. Oikeanpuoleisen pyörän piikki on selvästi vasemman pyörän vastaavaa suurempi, koska oikea pyörä ajaa risteyskärjen kautta. Vaakasuuntaiset voimat eivät heikkene yhtä nopeasti alkuperäiselle tasolle risteyskärjen ylityksen jälkeen, vaan ne pysyvät korkeampina noin viisi metriä risteyskärjen jälkeen.



Kuva 11 Pysty- ja vaakasuuntaiset voimat ajettaessa vaihteen suoran raiteen suuntaan (muokattu lähteestä Alfi & Bruni 2009).

Poikkeavan raiteen suuntaan pystysuuntaiset voimat kasvavat jo kielien kärjistä alkaen, mutta varsinainen terävä piikki tulee vasta risteysalueella. Sen jälkeen voimat tasoittuvat muutaman metrin matkalla alkuperäiseen tasoonsa. Oikealle haarautuvassa vaihteessa risteyskärjen puolelta kulkeva vasen pyörä aiheuttaa oikeaa pyörää suuremman pystysuuntaisen kuormituksen.

Vaakasuunnassa poikkeavalla raiteella pyöriin vaikuttaa raiteiden kaartumisen vuoksi ylimääräinen poikittaissuuntainen kuormitus heti kielien kärjistä alkaen, kun vasen pyörä siirtyy tukikiskolta kielikiskolle. Suurin vaakasuuntainen kuormitus tapahtuu taas risteysalueella vasemman pyörän kulkiessa siipikiskolta kärkikiskolle ja oikean pyörän kulkiessa vastakiskolla.



Kuva 12 Pysty- ja vaakasuuntaiset voimat ajettaessa vaihteen poikkeavan raiteen suuntaan (muokattu lähteestä Alfi & Bruni 2009).

Alfi ja Bruni (2009) tutkivat kuormituksia myös kuluneen pyörän ja raiteen tapauksissa sekä pieniä geometrisiä virheitä sisältävässä vaihteessa risteysalueella (taulukko 3). Taulukosta nähdään, että pystysuuntainen maksimivoima risteuksen kärjessä kasvaa lähes kaksinkertaiseksi, kun pyörä ja kiskoprofiili ovat kuluneet. Pienet geometriavirheet eivät kasvata pystysuuntaisia maksimivoimia pääraiteen suuntaan lainkaan, mutta poikkeavalla raiteella ne kasvavat noin 16 %. Pystysuuntainen kiihtyvyyden kasvu kasvaa selvästi ideaalitapaukseen nähden, sillä geometriavirheet kasvattavat sen jo noin kaksinkertaiseksi ja kuluneet pyörät ja kulunut kiskoprofiili lisäävät kiihtyvyyttä entisestään. Kiihtyvyys kasvaa enemmän suoran kuin poikkeavan raiteen suuntaan, mikä johtuu pääosin nopeuserosta, sillä kiihtyvyys on verrannollinen nopeuden neliöön. Minimi pystysuuntainen voima laskee tapauksessa c nolleen, mikä tarkoittaa, että pyörän ja kiskon välillä ei ole ollut jollakin hetkellä lainkaan kontaktia.

Taulukko 3 Pystysuuntaisen voimien vertailu risteyksen kärjessä kolmessa eri tapauksessa pääraiteen ja poikkeavan raiteen suuntaan (muokattu lähteestä Alfi & Bruni 2009).

Pääraide			
Tapaus	Maksimi pystysuuntainen voima Q [kN]	Minimi pystysuuntainen voima Q [kN]	Pystysuuntainen kiihtyvyys kiskon tasolla [m/s ²]
a	63,9	18,9	9,44
b	61,1	17,7	22,72
c	118,3	0	47,25
Poikkeava raide			
Tapaus	Maksimi pystysuuntainen voima Q [kN]	Minimi pystysuuntainen voima Q [kN]	Pystysuuntainen kiihtyvyys kiskon tasolla [m/s ²]
a	74,3	14,7	3,6
b	86,5	15,6	6,2
c	125,4	0	9,1

a = Uusi pyörä ja kiskoprofiili ja geometrialtaan virheetön vaihde
 b = Uusi pyörä ja kiskoprofiili, geometriassa pieniä virheitä
 c = Kulunut pyörä ja kiskoprofiili, geometriassa pieniä virheitä

Tavallisimmat syyt vaihteen osien kunnossapito- ja vaihtotarpeeseen ovat kuluminen, plastinen muodonmuutos ja väsymismurto, jossa kontaktivoima ylittää kiskon väsymiskuorman (eng. rolling contact fatigue, RCF) (Kassa et al. 2006). Lisäksi puupölkkyt alkavat ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta lahota ja betonipölkkyt saattavat halkeilla jatkuvien iskukuormitusten seurauksena (Zwanenberg 2009). Suoralle raiteelle ajo kuluttaa vaihdetta lähinnä pystysuunnassa ja jonkin verran risteyksen kärjestä. Poikkeavan raiteen liikenne ratkaisee hyvin pitkälle koko vaihteen elinkaaren. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)

Vaihteeseen kohdistuu edellä esitettyjen tutkimusten mukaan suurimmat kuormitukset kielisovituksessa ja risteys-vastakiskosovituksessa. Teoreettista havaintoa tukevat asiantuntijoiden käsitykset vaihteen kulumisesta. Kuormituksesta aiheutuu erityyppistä kulumista ja siirtymiä, jotka puolestaan näkyvät mittauksissa poikkeamina perusarvoista. Dynaamiset voimat ovat erityisen merkittäviä kahden eri kiskon liitoksessa, kun pyörät siirtyvät tukikiskolta kielikiskolle tai siipikiskolta kärjelle. Pyöräkerran vaakasuuntainen liike kasvaa erityisesti kielisovituksen alussa ja risteysalueella. Kiskoa kuluttaa eniten kuluneen pyöräkerran, korkean akselipainon ja suuren kitkakertoimen yhdistelmä. Oikea-aikaisella kunnossapidolla poikkeamat eivät pääse kasvamaan toleranssien ylityksiksi. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin kunnossapitoa ja mittauksia.

2.4 Kunnossapito, tarkastukset ja mittaukset

2.4.1 Yleistä

Vaihteet vaativat keskimäärin enemmän kunnossapitoa kuin linjaraiteet yksinkertaisesti siitä syystä, että niissä on enemmän osia, joiden on mahdollista kulua ja rikkoutua (Zwanenburg 2009). Kunnossapidon tarkoitus on liikenneturvallisuuden ylläpito ja vaihteen elinkaaren pidentäminen Ratateknisten ohjeiden vaatimukset huomioon ottaen. Kunnossapito jaetaan perus- ja erilliskunnossapitoon. Peruskunnossapitoon kuuluvat vaihteiden osien yleis- ja talvikunnossapito. Erilliskunnossapitoon kuuluvat laajemmat toimenpiteet, kuten vaihteiden uusiminen tai routasuojaus, joista kunnossapitäjä neuvottelee erikseen Liikenneviraston kanssa. Ennen kunnossapitotöiden aloittamista tehdään aina paikan päällä tarkastus, jossa määritetään tarvittavat toimenpiteet. (Liikennevirasto 2013.)

Suomen rataverkko on jaettu 12 kunnossapitoalueeseen, jotka Liikennevirasto kilpailuttaa erikseen viideksi vuodeksi kerrallaan (kuva 13) (Liikennevirasto 2012b). VR Track vastaa kahden kolmasosan rataverkon kunnossapidosta ja Destia Rail yhden kolmasosan kunnossapidosta. Destia Rail kunnossapitää tällä hetkellä (tilanne 17.10.2012) alueita 4,7,8 ja 10 ja loput kuuluvat VR Trackin kunnossapitourakkaan. (haastattelu, Pollari 17.10.2012.) Lisäksi rataverkko on jaettu neljään isännöintialueeseen, joihin on nimetty rataisännöitsijät (kuva 13). Rataisännöitsijät valvovat kunnossapito- ja ratatöitä sekä huolehtivat rataverkon hallintaan liittyvistä lupa-asioista, maankäyttöasioista ja töiden kilpailutusten valmistelemisesta. (Liikennevirasto 2012c.) Liitteessä 1 on esitetty kunnossapidon kilpailutuksen aikataulu vuosille 2009–2018.

Kunnossapitoalueet

- Alue 1: Uusimaa
- Alue 2: Lounaisrannikko
- Alue 3: (Riihimäki)–Seinäjoki
- Alue 4: Rauma–(Pieksämäki)
- Alue 5: Haapamäen tähti
- Alue 6: Savon rata
- Alue 7: Karjalan rata
- Alue 8: Ylä-Savo
- Alue 9: Pohjanmaan rata
- Alue 10: Keski-Suomi
- Alue 11: Kainuu–(Oulu)
- Alue 12: (Oulu)–Lappi



Kuva 13 Liikenneviraston 12 kunnossapitoaluetta ja isännöintialueet Etelä-, Itä-, Länsi- ja Pohjois-Suomi (Liikennevirasto 2012b).

Tässä työssä materiaalina käytetyt vaihteenmittauspöytäkirjat saatiin kunnossapitoalueilta 3 (Riihimäki–Seinäjoki), 6 (Savon rata) sekä 9 (Pohjanmaan rata). Näillä alueilla kunnossapitäjänä toimii tällä hetkellä VR Track Oy.

Vaihteiden tarkastuksilla varmistetaan vaihteiden liikenneturvallisuus ja radan käytettävyys. Lisäksi huolehditaan radan liikenteellisen palvelutason säilymisestä ja radanpidon taloudellisuudesta. (RHK 2004b.) Tarkastukseen kuuluu koko vaihteen eli vaihteen etu- ja takajatkoksista $V_{max}/2$ pituinen rataosuus (vähintään 50 metriä), jossa V_{max} on suurin sallittu nopeus (km/h). Tarkastustiheyteen vaikuttavat suurin sallittu nopeus suoralla raiteella ja vaihteen sijainti. Pääraiteilla, joilla suurin sallittu nopeus on yli 120 km/h, vaihteet tulee tarkastaa ohjeen mukaan neljä kertaa vuodessa. Muissa pääraiteissa tarkastuksia tehdään kaksi kertaa vuodessa ja sivuraiteilla joka toinen vuosi. Lisäksi Liikennevirasto voi määrätä tarvittaessa tavallista suuremmalla rasituksella oleville vaihteille tiheimmän tarkastusvälin. (Liikennevirasto 2013.) Kun-

nossapitotarkastusten lisäksi vaihteella käydään jopa viikoittain rasvaamassa liuku-
aluslevyjä vaihteen kääntämisen helpottamiseksi. Lisäksi talvisin vaihteista voidaan
joutua poistamaan lunta päivittäin. (haastattelu, Väätäinen 24.1.2013.)

Kun rataa asennetaan uusi vaihde, tulee geometria tarkastaa silmämääräisesti 1-3
viikon kuluessa liikenteelle avaamisesta. Varsinainen ensimmäinen tarkastus tehdään
pääraidevaihteelle 2-4 kuukauden kuluttua ja sivuraidevaihteelle 3-6 kuukauden ku-
luttua liikenteelle avaamisesta. (Liikennevirasto 2013.)

Kunnossapidon toteutumista seurataan kunnossapitäjän laatu järjestelmän, vaihteen-
tarkastuspöytäkirjojen ja raiteenmittaustulosten perusteella. Vaihteiden asennuksista
tehdään lisäksi vastaanottopöytäkirjat. (Liikennevirasto 2013.) Toleranssien ylittyes-
sä yleisimpiä korjaustapoja ovat kavennukset, pölkynvaihdot, hionnat, hitsaukset,
vastakiskon säädöt ja tarvittaessa osien vaihdot (haastattelu, Jurmu 4.4.2013).

Kansainvälisen rautatieliitto UIC:n Innotrack-tutkimusohjelmassa selvitettiin kun-
nossapidon kustannusten jakautuminen Saksassa ja Ruotsissa. Tulosten mukaan
Saksassa noin 50 % kustannuksista syntyy tarkastuksista, mittauksista ja huollosta.
Vaihteen osien vaihto muodostaa 32,5 % kustannuksista ja loput 17,5 % koostuvat
muusta kunnossapidosta, kuten hitsauksesta, pienistä korjauksista ja tukemisestä.
(Innotrack 2008.)

Ruotsissa tarkastusten jälkeen tehdyt välittömät korjaavat toimenpiteet vastasivat
30 % kustannuksista. Niihin kuuluivat pääosin säädöt, hitsaukset ja muut pienet kor-
jaukset. Tarkastusten jälkeen tehdyt toimenpidesuunnitelmat vastasivat puolestaan
26 % kokonaiskustannuksista. Näihin kuuluivat risteyksen kärjen, kielikiskojen ja vas-
takiskojen uusiminen. Tarkastukset ja ennaltasuunnitellut kunnossapitotoimenpiteet
vastasivat 17 % kustannuksista. Loput 27 % kustannuksista koostui mm. hitsauksista
ja tukemisistä. (Innotrack 2008.)

2.4.2 Mittalaitteet

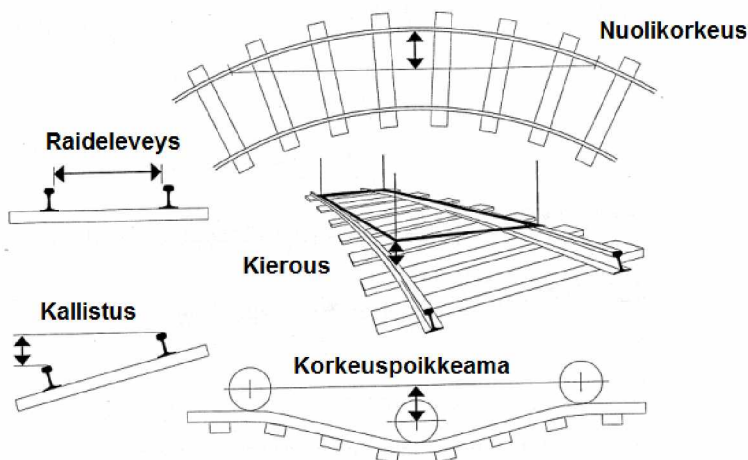
Vaihteen tarkastuksen hoitaa kunnossapitoalueesta vastaava urakoitsija. Vaihteiden
mittauksia tehdään sekä raiteentarkastusvaunulla että mittaamalla käsin. Käsin-
mittausta tarvitaan täydentämään tarkastusvaunumittauksilla saatua tietoa, koska
tarkastusvaunut eivät kykene mittaamaan kaikkia tarvittavia kohtia vaihteesta. (haas-
tattelu, Nummelin 15.10.2012.) Käsinmittauksessa käytettäviä laitteita on erilaisia,
eikä Liikennevirasto ole antanut erikseen määräyksiä käytettävistä laitteista. Vaati-
muksena on, että mittauksella voidaan varmistua vaihteen turvallisesta liikennöinnis-
tä. Mittalaitteet ovat tavallisesti kytketty maastotallentimeen, johon voidaan tallentaa
tiedot useasta vaihteesta ja siirtää myöhemmin tietokoneelle (kuva 14). Koska mitta-
laitteiden paino on mitätön junakuormiin nähden, vaihteen voidaan sanoa olevan
kuormittamattomassa tilassa mittauksen aikana.



Kuva 14 Etualalla tyypillinen moderni kenttätietokoneellinen digitaalinen mittauslaite, takana vanhempi manuaalinen malli.

Mittausten lisäksi vaihteen teräsosien, tukikerroksen ja pölkkyjen kunto tarkastetaan silmämääräisesti. Mittaustulokset täytetään vaihteentarkastuspöytäkirjoihin. (Liikennevirasto 2013.) Jokaisesta vaihteesta on tehty valmistus- ja asennusmittaus sekä niiden lisäksi ohjeen mukainen määrä kunnossapitomittauksia (haastattelu, Pulliainen 23.10.2012.) Tarkastuksissa mitatut arvot eivät saa ylittää Radanpidon teknisissä ohjeissa määrättyjä akuuttirajoja. Akuuttirajojen ylittyessä tulisi Ratateknisten ohjeiden mukaan liikenne keskeyttää. (Liikennevirasto 2013.)

Tarkastusmittausten lisäksi vaihteen kuntoa valvotaan pääraiteilla tarkastusvaunumittauksilla, joissa mitataan raiteen geometrista kuntoa ja ajolangan suhteellista asemaa raiteeseen nähden. Mittaustilanteessa vaihde on kuormitetussa tilassa. Linjaraiteella tarkastusvaunu mittaa raidelevyyttä, kallistusta, kieroutta, korkeuspoikkeamaa ja nuolikorkeutta (kuva 15). Kun raiteentarkastustuloksia tulkitaan vaihteen kohdalla, vastakiskosta aiheutuvaa raidelevyyden kapenemapiikkiä ei oteta huomioon. Vastakiskon alueella mittausakselin ohjauslevy vetää mitta-akselia kapeammalle estäen törmäyksen risteyksen kärkeen, mistä aiheutuu virhe. Mitta-akselin pakko-ohjautuminen vääristää myös nuolikorkeuksia, joita ei sen vuoksi oteta vaihteiden arvostelussa huomioon. (RHK 2005). Tässä tutkimuksessa keskitytään käsin tehtäviin mittauksiin eikä tarkastusvaunumittauksia käsitellä tarkemmin.

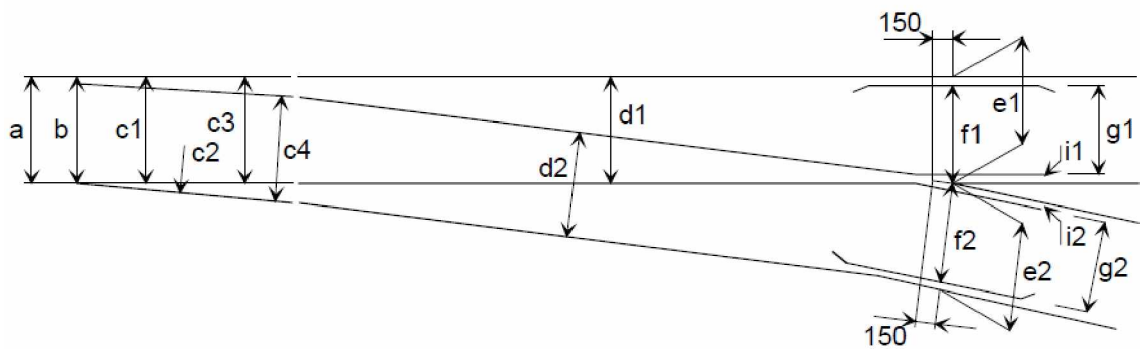


Kuva 15 Raiteentarkastusvaunun mittaukset (muokattu lähteestä Zwanenburg 2009).

2.4.3 Mittauspisteet

RATO 14 -ohjeen mukaan mittauspisteet ovat yksinkertaisissa vaihteissa (kuva 16)

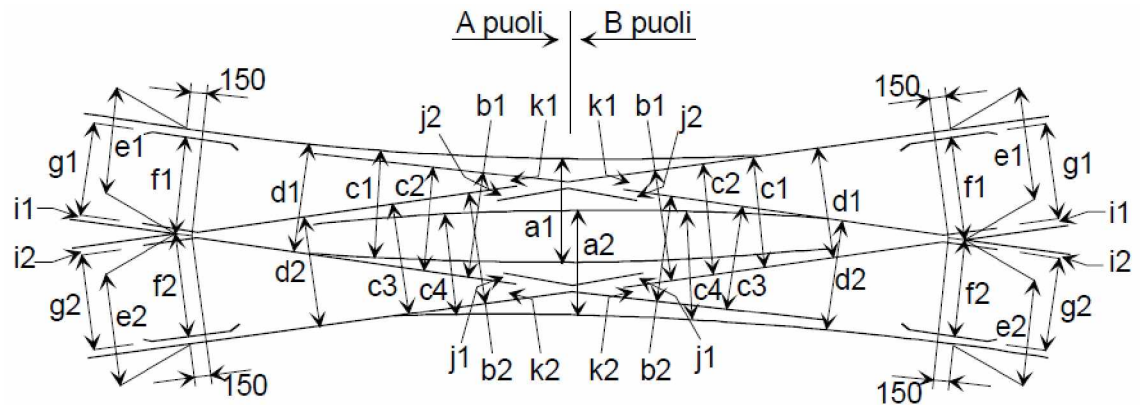
- vaihteen etujatkoksen kohdalla (a)
- välittömästi kielen kärjen edessä (b)
- kielen keskikohdalla (c_1, c_2)
- jousto- ja joustokiskokielisillä vaihteilla jousto-osan jälkeisen ensimmäisen ratapölkyn kohdalla, missä kieli on kiinteä, ja nivelkantaisissa vaihteissa kantanelven takana (c_3, c_4)
- välikiskojen keskikohdalla (d)
- 150 mm päässä risteyksen kärjestä (f, e, i, g).



Kuva 16 Mittauspisteet yksinkertaisessa vaihteessa (Liikennevirasto 2013).

Mittauspisteet eivät ole varsinaisesti pisteitä, vaan tarkoituksena on hakea kohta, jossa mitta on suurimmillaan. Välikiskoalueen ja poikkeavan raiteen raidelevyyden mittauksessa haetaan suurin poikkeama perusarvosta ja merkitään se mittauspöytäkirjaan. (Liikennevirasto 2013.)

Ohjeen mukaan muille vaihdetyypeille sovelletaan yksinkertaisen vaihteen mittausohjetta. Kaksipuolisen risteysvaihteen mittauspisteet on esitetty kuvassa 17. Suurnopeusvaihteille YV60–5000/2500–1:26 tai 1:28 on määritetty omat mittauspisteet (Liikennevirasto 2013).



Kuva 17 Mittauspisteet kaksipuolisessa risteysvaihteessa (Liikennevirasto 2013).

Suomalaisia vaihteiden mittatoleransseja suunniteltaessa on mukailtu pitkälti Saksassa käytettyjä toleransseja, koska Saksa on ollut pitkään edelläkävijä vaihdetekniikassa. Saksalaisten ja suomalaisten toleranssien välillä ei ole kovin suuria eroja, mutta Suomessa venäläisen ja suomalaisen pyöräkerran erot vaikuttavat jonkin verran risteys-vastakiskosovituksen toleransseihin. Myös SFS-EN -standardit ja piakkoin myös YTEt antavat vaihteisiin liittyviä määräyksiä, mutta ne ovat yleisiä määräyksiä, joista kansalliset arvot voivat poiketa. Suomessa määräykset ovat astetta tiukempia kuin standardit. Risteysvaihteissa vaaditaan tiukat toleranssit erityisesti kaksikärryksessä risteyksessä, jotta ohjaukseton osuus ei aiheuta suistumisvaaraa. (haastattelu, Nummelin 15.10.2012.)

3 Mittauskäytännöt ulkomailla

Ulkomaisten mittauskäytäntöjen vertailuun otettiin Australia, Ruotsi, Norja ja Sveitsi. Pohjoismaiden ja Sveitsin rautatiejärjestelmät sekä olosuhteet ovat hyvin samankaltaiset. Lisäksi Australia valittiin Euroopan ulkopuoliseksi kohteeksi. Valintaa rajoitti se, että useissa maissa kunnossapidossa käytetyt mittausohjeet eivät ole julkisesti saatavilla, eikä niitä voitu siksi tässä tutkimuksessa käyttää. Ohjeita on verrattu erityisesti tarkastustiheyden ja mittauspisteiden määrän ja sijainnin kannalta. Varsinaisia mitta-arvoja ei käsitellä, koska maiden välillä on suuria eroja niin vaihteiden geometriassa, mittauspisteissä kuin raideleveydessäkin, mikä tekee vertailun hankalaksi ja epäluotettavaksi.

3.1 Australia

Australiassa on ollut käytössä peräti kolme eri raideleveyttä historiallisten syiden vuoksi. Nykyään normaaliraideleveys 1435 mm on asetettu standardiksi. Osavaltiot ovat rautateiden alkuajoista lähtien hallinneet omaa rataverkkoaan, mutta vuonna 1998 Australian hallitus perusti Australian Rail Track Corporation Ltd:n (ARTC) hallinnoimaan ja yhtenäistämään maan sisäistä rataverkkoa. ARTC on valtion omistama yhtiö. (Australian Government 2012.) ARTC julkaisee kunnossapito-ohjeita, jotka koskevat joko koko rataverkkoa tai tiettyjä osavaltioita.

Australiassa tarkastuksissa käytetään valmiita kaavakkeita, joihin mittaustulokset täytetään. Kaavakkeita on kolmea eri tyyppiä ja vaihteet jaetaan niiden mukaan kääntyväkärkisiin risteyksiin, raideristeyksiin ja yksinkertaisiin vaihteisiin (liitteet 2, 3 ja 4). YRV- ja KRV -vaihteiden tulee täyttää raideristeykselle asetetut vaatimukset. YRV- ja KRV -vaihteita ei kuitenkaan suositella käytettäväksi ja olemassa olevatkin tulisi australialaisten suositusten mukaan muuttaa raideristeyksen ja yksinkertaisen vaihteen yhdistelmiksi, jos se on mahdollista toteuttaa. (ARTC 2011b.)

Tarkastukset on jaettu kolmeen ryhmään: valvontakierrokset (patrol) sekä yleiset ja yksityiskohtaiset tarkastukset. Yleiset tarkastukset tehdään pääosin silmämääräisesti, mutta ne voivat sisältää myös mittauksia. Niiden tarkoituksena on kirjata ylös muutokset edelliseen tarkastukseen nähden ja määritellä tarve yksityiskohtaiselle tarkastukselle ja tiheämmälle tarkastusvälille. Yleinen tarkastus tehdään 3, 6 tai 12 kuukauden välein liikennemuodon ja kuljetettujen bruttotonnien mukaan. Yksityiskohtaisissa tarkastuksissa määritetään korjaustarve ja korjaustoimenpiteet visuaalisten havaintojen, mittauksen, testien ja arvioinnin avulla. Yksityiskohtainen tarkastus tehdään 6, 12 tai 24 kuukauden välein. (ARTC 2011a.)

Verrattuna Suomen mittatoleransseihin Australiassa niitä ei ole määritelty jokaiselle vaihdetyypille erikseen, vaan erilliset toleranssit ovat ainoastaan raideristeyksille ja kääntyväkärkisille risteyksille ja yksinkertaisille vaihteille. Toimenpiteet määräytyvät mittausten tai silmämääräisten havaintojen perusteella ja ne on jaettu seitsemään kategoriaan (taulukko 4). Junille asetetaan vian suuruuden mukaan nopeusrajoituksia, jotka vaihtelevat 10–90 km/h välillä.

Taulukko 4 Australian ohjeiden mukainen toimenpiteiden luokitus (ARTC 2011b).

Kategoria	Toimenpide
A1	Tilapäinen nopeusrajoitus 10 km/h ja testiajo tai korjaus ennen seuraavan junan ylitystä.
A2	Tilapäinen nopeusrajoitus 20 km/h tai korjaus ennen seuraavan junan ylitystä.
A3	Tilapäinen nopeusrajoitus 40 km/h tai korjaus ennen seuraavan junan ylitystä.
A4	Tilapäinen nopeusrajoitus 60/65 km/h (tavara-/henkilöliikenne) tai korjaus ennen seuraavan junan ylitystä.
A5	Tilapäinen nopeusrajoitus 80/90 km/h (tavara-/henkilöliikenne) tai korjaus ennen seuraavan junan ylitystä.
A6	Tarkkailun lisääminen ja jatkotoimenpiteet, kun niihin tarvetta.
A7	Ohjelman mukainen tarkastus.

3.2 Ruotsi

Ruotsissa valtion rautateistä vastaa Trafikverket. Rataverkosta pääosa on normaali-raideleveyttä 1435 mm. Vuonna 2010 kunnossapidosta oli kilpailutettu 87 % ja urakoita hoiti viisi eri kunnossapitourakoitsijaa. Trafikverket käyttää suoritteeseen perustuvia sopimuksia uusissa kunnossapidon kilpailutuksissa. Radan kunto arvioidaan ennen sopimuksen laatimista ja urakoitsija voi saada joko bonuksia tai sanktioita, jos radan kunto paranee tai heikkenee lähtötilanteeseen nähden. Sopimuskaudet ovat viisivuotisia, kuten Suomessakin, ja lisäksi niissä on optio kahdesta lisävuodesta. (Stenström 2012.)

Ruotsissa vaihteiden tarkastusten määrään vaikuttavat nopeus ja kuormitus taulukon 5 mukaisesti. Tarkastuksia on vähintään kerran vuodessa ja korkeintaan kuusi kertaa vuodessa.

Taulukko 5 Tarkastusluokka ja tarkastusten tiheys nopeuden ja kuormituksen perusteella (Trafikverket 2012).

Tarkastusluokka	Kohteet	Tarkastusten lkm / vuosi
B1	Nopeus \leq 40 km/h	1
B2	Nopeus \leq 80 km/h Kuormitus \leq 8 milj. brt/raide/vuosi	3
B3	Nopeus \leq 80 km/h Kuormitus \geq 8 milj. brt/raide/vuosi Nopeus \leq 140 km/h Kuormitus \leq 8 milj. brt/raide/vuosi	4
B4	Nopeus \leq 140 km/h Kuormitus \geq 8 milj. brt/raide/vuosi Nopeus \geq 140 km/h Kuormitus \leq 8 milj. brt/raide/vuosi	6
B5	Nopeus \geq 140 km/h Kuormitus \geq 8 milj. brt/raide/vuosi	6

Ruotsissa on määritetty mittatoleranssit erikseen kaikille vaihdetyypeille. Mittaukset tehdään pistemäisesti Suomen tapaan, mutta mittauspisteet eroavat osittain toisistaan (taulukko 6 ja 7). Mittauspisteet on määritetty Trafikverketin ohjeessa BVS 1523.004: Spårväxel, Normalvärden och toleranser (Trafikverket 2010).

Ruotsissa mitataan yksinkertaisessa vaihteessa kielisovitusalueella Suomessa käytettyjen mittauspisteiden lisäksi avonaisen kielen ja tukikiskon välinen pienin laippaura (x). Välikiskoalueella Ruotsissa mitataan kolme eri mittaa kääntölaitteen ja vastakiskon väliseltä alueelta (r, t, u), kun taas Suomessa mitataan välikiskoalueelta yksi mita. Risteysalueella Ruotsissa mitataan

- raideleveys vastakiskon edessä (d,d₁)
- vastakiskon ja sen tukikiskon välinen pienin laippaura (h,h₁)
- kärki- ja siipikiskon välinen pienin laippaura (g,g₁)
- vasta- ja kärkikiskon väli (i,i₁)
- takajatkos (e) (Trafikverket 2010).

Ruotsissa käytetään etäisyytenä risteuksen kärjestä 200 mm, kun taas Suomessa vastaava arvo on 150 mm. Vaikka mittauspisteet risteysalueella ovat erilaisia Suomessa ja Ruotsissa, käytännössä erot eivät ole merkittäviä. Mittauksia tehdään samoista kohdista vaihdetta, mutta mitataan eri kiskojen etäisyyttä toisistaan verrattuna Suomeen. Kyseessä on siis lähinnä määrittelyero.

Taulukko 6 Suomen ja Ruotsin mittauspisteiden vertailu YV-vaihteessa (Trafikverket 2010 ja Liikennevirasto 2013).

Suomen ja Ruotsin mittauspisteet YV-vaihteessa

Ruotsi	Suomi	Mitataan Ruot- sissa	Mitataan Suomessa
KIELISOVITUKSET			
a	a	x	x
b	b	x	x
y,y ₁ *	c ₁ ,c ₂	x	x
x,x ₁	-	x	-
c,c ₁	c ₃ ,c ₄	x	x
VÄLIKISKOT			
r,r ₁	-	x	-
t,t ₁	d ₁ ,d ₂	x	x
u,u ₁	-	x	-
RISTEYS-VASTAKISKOSOVITUS			
d,d ₁	-	x	-
i,i ₁	f ₁ ,f ₂ **	x	x
g,g ₁	i ₁ ,i ₂ **	x	x
h,h ₁	-	x	-
e	-	x	-
-	e ₁ ,e ₂	-	x
-	g ₁ ,g ₂	-	x

* Jos kielten pituus > 11 m

** Suomessa 150 mm risteuksen kärjestä, Ruotsissa 200 mm

Myös KRV-vaihteen mittauspisteiden väliltä löytyy eroja (taulukko 7), mutta niihin pätee sama syy kuin YV-vaihteen tapauksessa. Mittaus tehdään siis käytännössä samasta kohdasta vaihdetta, mutta mitataan eri kiskoja. Ruotsissa ei kuitenkaan mitata matemaattisen keskipisteen kohdalta, kuten Suomessa (a-mitat). Toisaalta Ruotsissa mitataan raidelevyydet takajatkoksissa (e-mitat), jotka eivät kuulu suomalaisiin mittauspisteisiin.

Taulukko 7 Suomen ja Ruotsin mittauspisteiden vertailu KRV-vaihteessa (Trafikverket 2010 ja Liikennevirasto 2013).

Suomen ja Ruotsin mittauspisteet KRV-vaihteessa

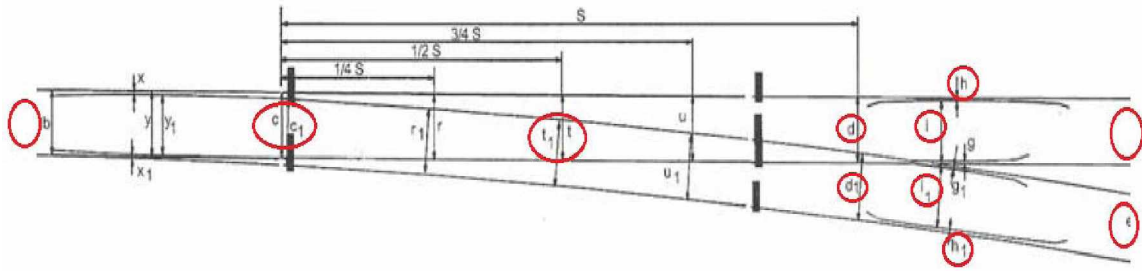
Ruotsi	Suomi	Mitataan Ruotsissa	Mitataan Suomessa
b-b ₃	d ₁ ,d ₂	X	X
h,h ₁ ,h ₆ ,h ₇	-	X	-
h ₂ -h ₅	j ₁ ,j ₂	X	X
i-i ₃ *	f ₁ ,f ₂ *	X	X
g-g ₃ *	i ₁ ,i ₂ *	X	X
e-e ₃	-	X	-
x-x ₃	-	X	-
c-c ₇	c ₁ -c ₄	X	X
k,k ₃	-	X	-
k ₁ , k ₂	-	X	-
-	e ₁ ,e ₂	-	X
-	g ₁ ,g ₂	-	X
-	k ₁ , k ₂	-	X
-	a ₁ , a ₂	-	X
-	b ₁ , b ₂	-	X

* Suomessa 150 mm risteyksen kärjestä, Ruotsissa 200 mm

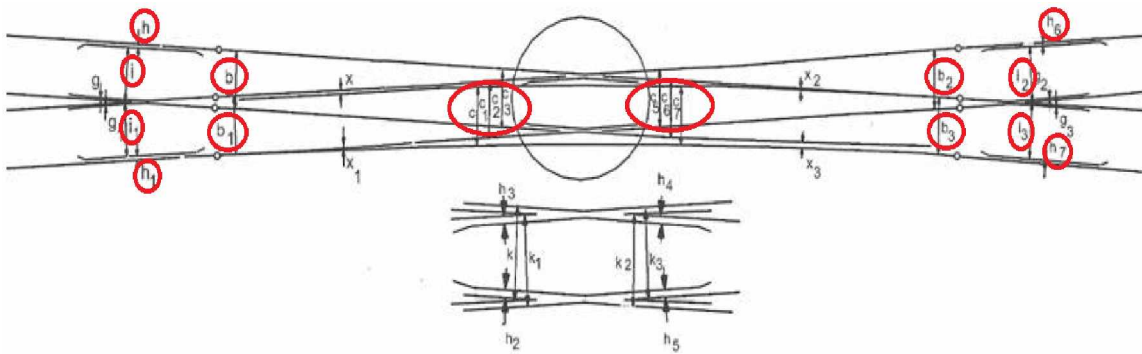
Ruotsissa on määritetty erikseen

- uusien vaihteiden asennustoleranssit
- kunnossapitotoleranssit
- kunnostustoleranssit
- turvallisuustoleranssit (Trafikverket 2010).

Ruotsissa akuuttirajojen tilalla ovat ns. turvallisuustoleranssit (säkerhetstoleranser). Turvallisuustoleranssit on määritetty vain osaan vaihteen mittauspisteistä (kuva 18 ja kuva 19). Yksinkertaisessa vaihteessa on turvallisuustoleranssi määritetty kaikkiaan 24 mittauspisteestä 13 pisteeseen eli noin puoleen mittauspisteistä. Kaksoisristeysvaihteessa turvallisuustoleranssi on vastaavasti annettu 20 pisteeseen kaikkiaan 40 mittauspisteestä. Lisäksi turvallisuustoleranssit on määritetty erikseen tarkastusluokille 1–2 ja 3–5. Turvallisuustoleransseissa on painotettu erityisesti risteysalueen mittoja. Ruotsissa on siis hieman enemmän mittauspisteitä, mutta toisaalta turvallisuustoleransseja ei ole määritetty kaikkiin mittauspisteisiin, mikä tasaa eroa maiden välillä. Käytännössä Suomessa on useammassa pisteessä akuuttirajat, mutta mittauspisteitä on vähemmän.



Kuva 18 Punaisella ympyröityihin mittauspisteisiin annettu turvallisuustoleranssi yksinkertaisen vaihteen tapauksessa. Etu- ja takajatkoksista puuttuu mittauspisteen merkintä. (Trafikverket 2010.)



Kuva 19 Punaisella ympyröityihin mittauspisteisiin annettu turvallisuustoleranssi kaksipuolisen risteysvaihteen tapauksessa (Trafikverket 2010).

3.3 Norja

Norjassa rautateistä vastaa Jernbaneverket. Tarkastusvälit määräytyvät laatuluokan (K0-K5) mukaan, joista K0 vastaa parasta laatuluokkaa. Lisäksi tarkastusvälit on määritelty erikseen seuraavan jaon mukaan (taulukko 8)

- puupölkkyinen yksinkertainen vaihde, kaarresäde alle 600 m
- puupölkkyinen yksinkertainen vaihde, kaarresäde yli 600 m tai suora risteys
- betonipölkkyinen yksinkertainen vaihde, kaarresäde alle 600 m
- betonipölkkyinen yksinkertainen vaihde, kaarresäde yli 600 m tai suora risteys
- risteysvaihteet ja raideristeykset
- kaksoisvaihteet (Jernbaneverket 2005).

Taulukko 8 Tarkastusvälin pituus Norjassa vaihdetyypin ja laatuluokan mukaan jaoteltuna (Jernbaneverket 2005).

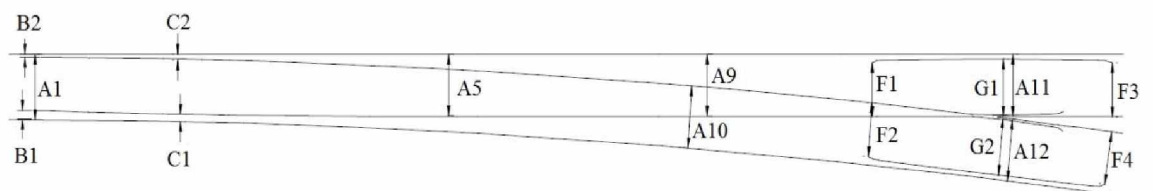
Vaihde	Tarkastusväli (kk)					
	Laatuluokat					
	K0	K1	K2	K3	K4	K5
YK puu R < 600 m	-	-	-	6	9	15
YK puu R > 600 m	-	6	6	9	12	24
YK betoni R < 600 m	-	-	-	6	12	24
YK betoni R > 600 m	2	6	6	9	12	24
Risteysvaihde / raideristeys	-	-	-	12	12	24
Kaksoisvaihde	-	-	-	12	12	24

Laatuluokat määräytyvät nopeuden mukaan seuraavasti

- K0, kun nopeus on vähintään 145 km/h
- K1, kun nopeus on 125–140 km/h
- K2, kun nopeus on 105–120 km/h
- K3, kun nopeus on 75–100 km/h
- K4, kun nopeus on 45–70 km/h
- K5, kun nopeus on vähemmän kuin 40 km/h (Jernbaneverket 2012).

Kuvassa 20 näkyvät Norjassa käytetyt yksinkertaisen vaihteen mittauspisteet. Norjan ja Suomen mittauspisteistä seuraavat ovat samoja

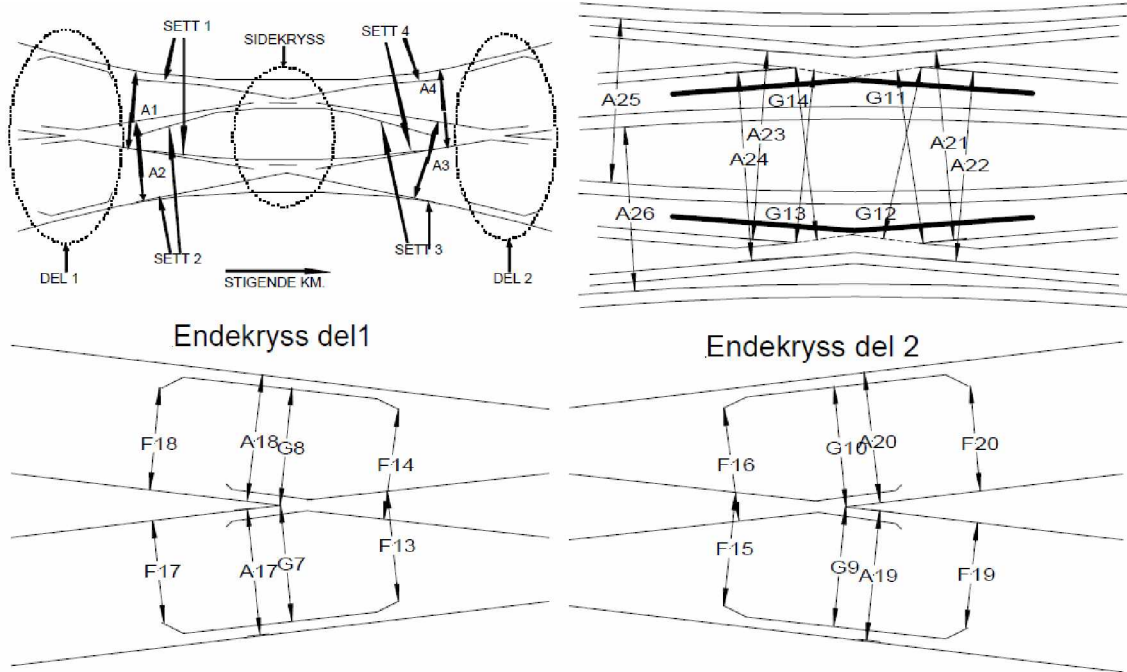
- piste A1 kielin kärjissä, Suomessa piste b
- pisteet A11 ja A12 risteyksessä, Suomessa e₁ ja e₂
- pisteet G1 ja G2 risteyksessä, Suomessa f₁ ja f₂.



Kuva 20 Yksinkertaisen vaihteen mittauspisteet Norjassa (Jernbaneverket 2001).

Mitta A5 kielisovitusalueella tulee mitata kolmesta eri kohdasta ja merkitä ylös perusarvosta eniten poikkeava tulos. Vastaavalla tavalla mitataan pisteet A9 ja A10 välikiskoalueelta. Risteysalueen mitat mitataan 30 mm risteyksen kärjestä. (Jernbaneverket 2001.)

Norjalaisessa KRV-vaihteessa 2-kärkisen risteyksen A-mitat vastaavat Suomen KRV-vaihteen b-, c₁- ja c₄-mittoja (kuva 21). Mitat A25 ja A26 tulee mitata kolmesta kohdasta ja kirjata eniten perusarvosta poikkeava tulos. Kaksikärkisen risteyksen kärjen mitat, eli A21–A24, mitataan 30 mm risteyksen teoreettisesta kärjestä.



Kuva 21 KRV:n mittauspisteet Norjassa (Jernbanelverket 2005).

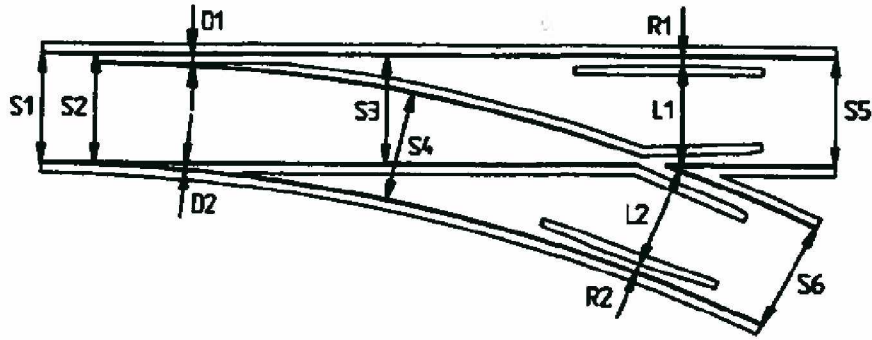
3.4 Sveitsi

Sveitsissä vaihteiden tarkastusväli määräytyy pääosin akselipainojen ja liikennöinti-nopeuksien perusteella. Tarkastusryhmiä on neljä (J_1 , J_2 , J_4 ja J_6) ja niille on määritetty maksimitarkastusvälit

- J_1 vähintään kerran vuodessa
- J_2 vähintään joka 2. vuosi
- J_4 vähintään joka 4. vuosi
- J_6 vähintään joka 6. vuosi (SBB 1981).

Tarkastusväli on selvästi väljempi kuin muissa tutkituissa maissa. Mittausten lisäksi vaihteissa tehdään kuitenkin myös ultraäänitarkastuksia, yleisiä päällysrakenteen kunnan arviointeja ja kunnossapitotoimenpiteitä, joten todellisuudessa vaihteet tarkastetaan määrättyä maksimiväliä useammin. Mittauspisteitä on hieman vähemmän kuin Suomessa. Kaikille vaihdetyypeille on annettu mittojen perusarvot sekä maksimi- ja minimiarvot. Sveitsissä yksinkertaisen vaihteen mittauspisteet ovat (kuva 22)

- etujatkos (S1)
- kielten kärki (S2)
- tukikiskon ja avonaisen kielen välinen pienin laippaura (D1, D2)
- välikiskojen keskellä (S3, S4)
- ohjausväli n. 300 mm risteyksen kärjestä mitattuna (L1, L2)
- vasta- ja tukikiskon välinen laippaura n. 300 mm risteyksen kärjestä (R1, R2)
- takajatkos (S5, S6) (SBB 1981).



Kuva 22 Yksinkertaisen vaihteen mittauspisteet Sveitsin ohjeiden mukaan (SBB 1981).

Taulukossa 9 on vertailtu Suomen ja Sveitsin mittauspisteitä YV-vaihteessa.

Taulukko 9 Suomen ja Sveitsin mittauspisteiden vertailu YV-vaihteessa (SBB 1981 ja Liikennevirasto 2013).

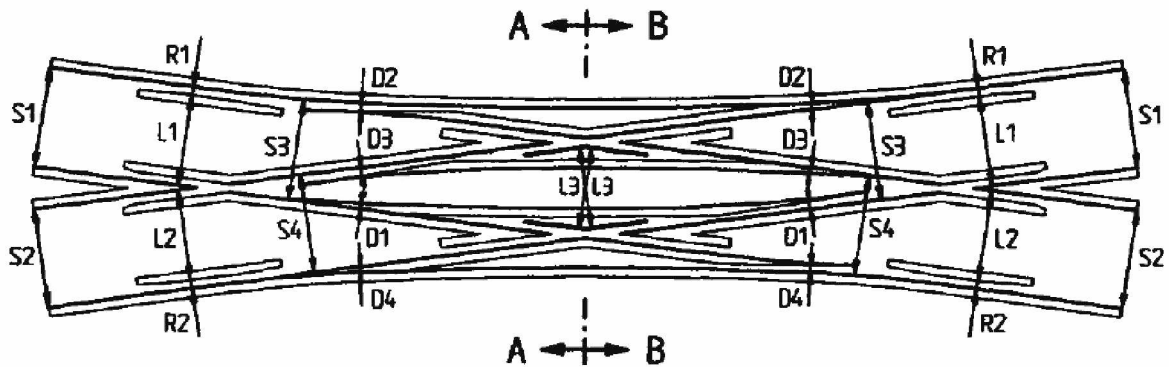
Suomen ja Sveitsin mittauspisteet YV-vaihteessa

Sveitsi	Suomi	Mitataan Sveitsissä	Mitataan Suomessa
KIELISOVITUKSET			
S1	a	x	x
S2	b	x	x
D1,D2	-	x	-
-	C ₁ ,C ₂	-	x
-	C ₃ ,C ₄	-	x
VÄLIKISKOT			
S3,S4	d ₁ ,d ₂	x	x
RISTEYS-VASTAKISKOSOVITUS			
L1,L2	f ₁ ,f ₂ *	x	x
R1,R2	-	x	-
S5,S6	-	x	-
-	i ₁ ,i ₂	-	x
-	e ₁ ,e ₂	-	x
-	g ₁ ,g ₂	-	x

* Suomessa 150 mm risteyksen kärjestä, Sveitsissä 300 mm

Sveitsissä KRV-vaihteen mittauspisteitä ovat (kuva 23)

- vaihteen etu- ja takajatkokset (S1, S2)
- kielten kärki (S3, S4)
- ohjausväli 1-kärkisessä risteyksessä n. 300 mm risteyksen kärjestä mitattuna (L1, L2)
- vasta- ja tukikiskon välinen laippaura 1-kärkisessä risteyksessä n. 300 mm risteyksen kärjestä (R1, R2)
- pienin laippaura tukikiskon ja kielen välissä (D1-D4)
- vastakiskojen välinen etäisyys 2-kärkisessä risteyksessä (L3) (SBB 1981).



Kuva 23 KRV-vaihteen mittauspisteet Sveitsissä (SBB 1981).

Taulukossa 10 on verrattu Suomen ja Sveitsin mittauspisteitä KRV-vaihteessa.

Taulukko 10 Suomen ja Sveitsin mittauspisteiden vertailu KRV-vaihteessa (SBB 1981 ja Liikennevirasto 2013).

Suomen ja Sveitsin mittauspisteet KRV-vaihteessa

Sveitsi	Suomi	Mitataan Sveitsissä	Mitataan Suomessa
S1, S2	-	x	-
L1, L2	f_1, f_2^*	x	x
R1, R2	-	x	-
S3, S4	d_1, d_2	x	x
D1-D4	-	x	-
L3	-	x	-
-	j_1, j_2	-	x
-	i_1, i_2	-	x
-	c_1-c_4	-	x
-	e_1, e_2	-	x
-	g_1, g_2	-	x
-	k_1, k_2	-	x
-	a_1, a_2	-	x
-	b_1, b_2	-	x

* Suomessa 150 mm risteyksen kärjestä, Sveitsissä 300 mm

Sveitsiläisen KRV-vaihteen mittauspisteissä on selvä ero verrattuna Suomeen ja muihin tutkittuihin maihin. Mittauspisteitä on selvästi vähemmän ja erityisesti 2-kärkisen risteyksen alueella mittauksia tehdään hyvin vähän muihin maihin verrattuna. Sveitissä mitataan risteyksen keskeltä mitta L3, kuten Suomessa mitta a, jota Ruotsissa ja Norjassa ei mitata lainkaan. Selityksenä voi olla se, että kyseinen mittauspiste on ollut alun perin saksalaisissa ohjeissa, mistä se on siirretty myös suomalaisiin ja sveitsiläisiin ohjeisiin. Yhteistä Suomen ja Sveitsin välillä on myös KRV-vaihteen jakaminen A- ja B-puoliin.

Tutkituissa maissa mittauspisteet määritellään hieman eri tavoin, mikä vaikeuttaa niiden vertailua. YV-vaihteessa mitataan raideleveys kielien kärjistä ja välikiskoalueelta sekä ohjausväli risteyksessä kaikissa tutkituissa maissa. Muita tyypillisiä mittoja ovat raideleveys etujatkoksessa ja kielien keskellä. Risteysalueen mittojen määrittelyssä on eri mailla eniten omia tulkintoja. Kuitenkin suurimmat erot liittyvät siihen, mitataanko raideleveyksiä tai laippauria ja miten vastakiskon paikka määritetään. KRV-vaihteessa on enemmän maakohtaisia eroja YV-vaihteeseen nähden eikä kaikkia maita yhdessä vertailtaessa ollut nähtävissä selvää yhtenäistä linjaa.

4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

4.1 Haastattelut

Haastattelujen avulla selvitettiin vaihteiden geometriaan ja mittaamiseen liittyvää empiiristä tietoa. Haastateltavat asiantuntijat työskentelevät rautatiealalla tilaajan, kunnossapitourakoitsijan, alueisännöitsijän ja valvojan rooleissa sekä vaihdetuotannossa. Haastateltavat valittiin niin, että he edustavat alaa mahdollisimman monipuolisesti ja kysymykset kohdistettiin kunkin erityisosaamiseen.

Tilaaajaorganisaatiosta eli Liikennevirastosta haastateltiin teknistä johtajaa Markku Nummelinia. Haastattelussa keskityttiin erityisesti suomalaisten vaihteiden mitoitusessa ilmeneviin erityispiirteisiin. Toisena haastateltavana oli kunnossapitourakoitsija ja VR Trackin palveluksessa tuotantopäällikkönä työskentelevä Jari Pollari, joka vastaa myös molempien vaihdehallien toiminnasta. Hänen haastattelussaan keskityttiin erityisesti nykyisten mittatoleranssien ongelmiin, toleranssien ylitysten syihin ja kunnossapitokäytäntöihin.

Kunnossapitoalueelta 1 haastateltiin VR Track Oy:n vastaavaa työnjohtajaa Kalevi Väätäistä. Kunnossapitoalueelta 3 haastateltiin VR Track Oy:n työnjohdosta Veikko Hasaa ja Reijo Tuulikangasta. Heidän mukanaan tutustuttiin YV- ja KRV-vaihteen mittaamiseen radalla ja haastatteluosiossa keskusteltiin kunnossapidosta ja akuuttirajojen kehittämisestä. Pöyry CM Oy:stä haastateltiin aluepäällikköä Matti Hynnistä, joka mm. valvoo vaihteiden asennuksia. Hänen haastattelunsa keskittyi vaihteiden asennuksessa käytettäviin työmenetelmiin ja niiden vaikutuksiin vaihteen mittoihin. Liikenneviraston rataisännöitsijöistä haastateltiin Pöyry CM Oy:stä Janne Sorsaa ja RR Management Oy:stä Tuomo Suutaria. Destia Rail Oy:stä haastateltiin etumies Mikko Keskitaloa ja työpäällikkö Marko Jurmua.

Työn aikana vierailtiin myös Pieksämäen ja Kaipiaisten vaihdehalleissa, jotka vastaavat Suomen rataverkolle asennettavien vaihteiden kokoonpanosta, kuljetuksesta sekä kierrätettävien vaihteiden kunnostuksesta. Pieksämäellä esittelykierrroksesta vastasi tuotantopäällikkö Pertti Pulliainen ja Kaipiaisissa tuotantopäällikkö Erkki Töyry.

4.2 Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirjat saatiin kunnossapitoalueilta 3, 6 ja 9. Lisäksi kunnossapitoalueiden 3 ja 9 vaihteista saatiin Käytetyn vaihteen kuntoarvio – ja Vaihteen tarkastuksen lisäpöytäkirja –lomakkeita käyttöön. Ensiksi mainittua käytetään vaihteiden kunnossapidon ja kierrätyksen suunnittelussa ja jälkimmäistä vaihteiden vuosittaisen hankintojen arviointiin (Liikennevirasto 2013). Mittauspöytäkirjat tilattiin liikennepaikoilta, jotka ovat erityisesti tavaraliikenteen kannalta keskeisiä ja joissa liikenteen vuotuinen kuormitus on suuri.

Kunnossapitoalueen 6 aineisto koostui kolmen vaihteen (YV60–300–1:9, YV54–200N–1:9 ja KRV54–200–1:9) neljästä mittauksesta yhden vuoden ajalta. Kunnossapitoalueiden 3 ja 9 aineistossa oli yhteensä 532 mittausta, joista kaikki eri vaihteista. Yhteenveto aineiston koosta on taulukossa 11.

Taulukko 11 Kunnossapitoalueiden 3 ja 9 mittausaineiston määrä ja osuus kaikista Liikenneviraston rataverkolla sijaitsevista vaihteista.

Vaihdetyyppi	Alue 3	Alue 6	Alue 9	Alueet yhteensä	Osuus Suomen Vaihteista [%]
YV60-300-1:9	91	4	28	123	17
YV54-200N-1:9	135	4	55	194	13
YV54-200-1:9	140	0	50	190	16
KRV54-200-1:9	13	4	8	25	11

Mittaustulosten analysoinnissa käytettiin työkaluina Statistix 9 -tilastollisen analyysin ohjelmistoa sekä Excel-tilastokalkulaattoria.

4.3 Tilastollisen analyysin menetelmät

Tilastollisessa testauksessa tehdään kolme oletusta testausasetelmasta. Yleinen hypoteesi (H) sisältää testausasetelman perusoletukset ja nollahypoteesi (H_0) kertoo testattavan oletuksen. Jos se hylätään, astuu voimaan vaihtoehtoinen hypoteesi (H_1). Testisuurella mitataan havaintojen ja nollahypoteesin yhteensopivuutta. Nollahypoteesin hyväksyminen ja hylkäys perustuvat testin p-arvoon, joka kertoo havaintojen todennäköisyyden sillä ehdolla, että H_0 pätee. Testin p-arvon raja-arvoina eli testin merkitsevyytensä tyyppisimpiä ovat 0,05, 0,01 ja 0,001. (Laininen 2000.)

Kahden riippumattoman otoksen t-testillä tutkitaan kahden otoksen aritmeettisten keskiarvojen tilastollista etäisyyttä. Testistä on olemassa versiot erisuurten ja yhtäsuurten varianssien tapauksille. Nollahypoteesi ei päde, jos testisuure saa suuria arvoja ja p-arvo on pieni. (Mellin 2006.)

$$t_A = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad t_B = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_P \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (8)$$

jossa

t_A	testisuure erisuurten varianssien tapauksessa
t_B	testisuure yhtäsuurten varianssien tapauksessa
\bar{X}_1, \bar{X}_2	otoksien aritmeettiset keskiarvot
n_1, n_2	otoskoot
s_1^2, s_2^2	varianssit
s_P^2	yhdistetty varianssi. (Mellin 2006.)

Wilcoxonin järjestyslukutesti (eng. Wilcoxon rank sum test) vastaa kahden riippumattoman otoksen t-testiä, mutta siinä ei tehdä oletuksia perusjoukon jakauman muodosta (Laininen 2000). Testin suomenkielinen nimi on ISI:n (International Statistical Institut) hyväksymä (ISI 2011). Testisuurena käytetään (Laininen 2000)

$$T_1 = \sum_{i=1}^n R(X_i) \quad (9)$$

jossa

$R(X_i)$ havainnon X_i järjestysnumero eli ranki yhdistetyssä otoksessa.

Nollahypoteesi ei päde, jos standardoidun testisuureen arvot ovat itseisarvoltaan suuria ja p-arvo on pieni (Laininen 2000).

Wilkin ja Shapiroin testillä voidaan tutkia, onko aineisto normaalijakautunut. Testisuurena on ns. Rankit Plot -kuvion pisteistä $(E(Y_i), Z_i)$ lasketun otoskorrelaatiokerroimen neliö. Nollahypoteesi ei päde, jos testisuureen arvot ovat pieniä ja p-arvo on pieni. (Laininen 2000.)

Tilastollista riippuvuutta kutsutaan korrelaatioksi ja sen voimakkuutta mittaavat korrelaatiokerroimet. Pearsonin otoskorrelaatiokerroin on havaintoarvojen (x ja y) lineaarisen tilastollisen riippuvuuden voimakkuuden mittari. Se voidaan määrittää kaavalla (Laininen 2000)

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

jossa

s_{xy} otoskovarianssi
 s_x, s_y keskihajonnat
 \bar{x}, \bar{y} aritmeettiset keskiarvot.

Jos r_{xy} on itseisarvoltaan yksi, havaintojen välillä on funktionaalinen lineaarinen riippuvuus. Jos se saa arvon nolla, havaintojen välillä ei ole eksaktia tai tilastollista lineaarista riippuvuutta. (Laininen 2000.)

Regressioanalyysissä muodostetaan malli selitettävän muuttujan tilastollisesta riippuvuudesta selittävistä muuttujista. Tavoitteena on selittää selitettävän muuttujan havaintujen arvojen vaihtelu selittävien muuttujien havaintujen arvojen vaihtelulla.

Usean selittäjän lineaarisen regressiomallin yleinen lause on muotoa

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \beta_2 x_{j2} + \dots + \beta_k x_{jk} + \varepsilon_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

jossa

y_j selitettävän y satunnainen ja havaittu arvo havaintoyksikössä j
 x_{ji} selittäjän x_i ei-satunnainen ja havaittu arvo havaintoyksikössä j , $i=1, \dots, k$
 ε_j jäännös- eli virhetermin ε satunnainen ja ei-havaittu arvo havaintoyksikössä j
 β_0 vakioselittäjän regressiokerroin, ei-satunnainen ja tuntematon vakio
 β_i selittäjän x_i regressiokerroin, $i=1, \dots, k$, ei-satunnainen ja tuntematon vakio (Laininen 2000.)

Hyvässä regressiomallissa on korkea selitysaste ja kaikki selittäjät ovat tilastollisesti merkitseviä. Ongelmana on, että minkä tahansa selittäjän lisääminen tavallisesti parantaa selitystä ja toisaalta minkä tahansa selittäjän poistaminen tai lisääminen muuttaa malliin jäävien selittäjien tilastollista merkitsevyyttä. Siksi selittäjien valitsemiseksi on kehitetty mallinvalintatestejä ja -kriteerejä. Mallinvalintatesteillä pyritään valitsemaan tiettyä testausstrategiaa käyttäen kaikki tilastollisesti merkitsevät selittäjät. Mallinvalintakriteerillä puolestaan valitaan selittäjiksi kaikkien selittäjien joukosta osajoukko, joka optimoi kriteerifunktion arvon. (Laininen 2000.)

Mallinvalintatesteihin on kehitetty erilaisia askellustrategioita, joista tässä työssä käytetään ns. alaspäin askellusta ja askeltavaa regressiota Statistix-ohjelmiston avulla. Alaspäin askelluksessa otetaan lähtömalliin kaikki selittäjät, estimoidaan malli kaikilla selittäjillä ja testataan selittäjien tilastollista merkitsevyyttä. Jos kaikki ovat merkitseviä, malli on valmis. Jos kaikki selittäjät eivät ole merkitseviä, poistetaan se, jonka p-arvo on suurin ja aloitetaan askellus alusta, kunnes malli on valmis. (Laininen 2000.)

Askeltavassa regressiossa valitaan lähtömalli, jossa osa selittäjistä on mukana ja osa ei. Malli estimoidaan valituilla selittäjillä sekä testataan yksitellen mallin ulkopuolella ja sisäpuolella olevien selittäjäkandidaattien tilastollista merkitsevyyttä. Jos löydetään tilastollisesti merkitseviä selittäjiä mallin ulkopuolelta, lisätään pienintä p-arvoa vastaava selittäjä. Jos taas mallissa on ei-merkitseviä selittäjiä, niistä poistetaan suurinta p-arvoa vastaava selittäjä. Kun malliin ei voida liittää tai poistaa selittäjiä, malli on valmis. (Laininen 2000.)

Mallinvalintakriteerien ideana on laskea ns. sakkofunktio, joka kasvattaa kriteerifunktion arvoa, elleivät malliin lisätyt selittäjät pienennä jäännösneliösummaa tarpeeksi. Mallinvalinnassa määrätään kriteerifunktion arvo kaikille mahdollisille selittäjäkandidaattien yhdistelmille ja valitaan se, joka maksimoi tai minimoi kriteerifunktion. (Laininen 2000.) Tässä työssä käytettiin kahta kriteerifunktiota, joita ovat Korjattu selitysaste ja Mallowsin C_p -kriteeri.

5 Tutkimustulokset

5.1 Haastattelut

5.1.1 Asennuksen aikaiset mittavirheet

Jari Pollarin (2012b) mukaan vaihteiden asennuksen kriittisimpiä työvaiheita ovat kuormaus ja purku mittojen muuttumisen kannalta. Lisäksi vaihteen paikalleen-asennuksessa voi mitoituksessa tapahtua muutoksia. Kuljetukset eivät ole merkittävä tekijä mittavirheiden synnyssä, eikä kuljetusasennolla (kallistettu/lappeellaan) ole juuri merkitystä. Kaiken kaikkiaan asennukset onnistuvat Pollarin mukaan todella hyvin, koska merkittäviä mittaongelmia ei ole tullut ja asennusvirheet ovat olleet muutaman millimetrin verran.

Vaihde-elementteihin on merkitty painopiste ja nostokohdat. Vaihdehallsissa vaihteet nostetaan siltanostureilla, joilla voidaan nostaa suoraan ylöspäin eikä vaihteeseen tule vetoa. (Pollari 2012b.) Vaihdehallsissa lyhyet vaihteet nostetaan neljästä määrätyistä pisteestä ja pitkät vaihteet kahdeksasta pisteestä (Pulliainen 2012). Matti Hynnisen (2013) mukaan vaihdehallin merkitsemät nostopisteet on usein havaittu ongelmallisiksi työmaaoiloissa. Nostopisteet ovat usein liian kaukana toisistaan, jolloin nostopuomiin kohdistuu vetoa sivusuunnassa ja pölkkyt voivat siirtyä. Lisäksi merkityssä pölkkyvälissä on usein lämmityskaapeleita. Usein nostokohtaa päätetään kaventaa 1-2 pölkkyvälillä. Jos nostopisteitä päätetään siirtää, on otettava huomioon elementin taipuma noston yhteydessä. Parhaillaan nostotekniikkaa ollaan miettimässä uudestaan ja mahdollisesti tulevaisuudessa käytetään nostopisteiden sijasta nostoaluetta (Pollari 2012b).

Jos pölkkyt ovat liikkuneet noston aikana, ne siirretään takaisin paikoilleen ennen sepelöintiä. Jos vaihdetta joudutaan kokonaisuudessaan siirtämään useita senttejä pituus- tai sivusuunnassa, asennus tulee lähtökohtaisesti uusiksi. Pieni sivusiirto on mahdollista tehdä tukemiskoneella tuennan yhteydessä. Määräysten mukaan vaihdetta ei saa liikuttaa maassa, mutta sen täydellinen noudattaminen on työmaaoiloissa vaikeaa ja jopa mahdotonta. Liikuttamista tulisi kuitenkin välttää. (Hynninen 2013.)

Pulliainen (2012) korosti myös pohjatöiden merkitystä ennen vaihteen asentamista. Jos asennuspohja ei ole kunnossa, pölkkyt pääsevät taipumaan ja vaihteen mitat muuttuvat. Hynnisen (2013) mukaan pohjatöiden laadussa esiintyy liian usein ongelmia, jotka aiheutuvat yleensä kiirehtimisestä, koska vaihteen asennukselle on yleensä varattu hyvin tiukka työrajo. Hänen mukaan yleisimpiä ongelmia ovat

- Kun kaivetaan alituksia esimerkiksi kaapeleille, jää kaivu-uran täytön tiivistys vaillinaiseksi ja raiteissa havaitaan painumia kaivun kohdalla.
- Välikerroksen yläpinta tai pohjasepeli tasataan huonosti, jolloin se voi olla aaltoileva tai kallistunut pituus- tai poikkisuunnassa. Siitä aiheutuu turhaa tuentatarvetta.
- Pohjasepelin päällä liikutaan kalustolla, mikä aiheuttaa urat pölkyn päiden alueella ja pölkky jää kantamaan keskeltä. Siitä voi aiheutua pahimmillaan betonipölkkyjen hiusmurtumia tai jopa katkeamisia.

Hynnisen (2013) mukaan vaihteiden osien välivarastointi työmaalla ei aiheuta vaihteen osiin mittavirheitä, jos välivarastointi on tehty oikein ja se on mahdollisimman lyhytaikainen. Ongelmia voi aiheutua epätasaisesta alustasta tai jos asennusalue on ahdas eikä lähietäisyydeltä löydy sopivaa varastointipaikkaa. Sen tähden turhaa välivarastointia pyritään välttämään ja asennukset tehdään mahdollisuuksien mukaan suoraan kuljetusvälineestä.

5.1.2 Akuuttirajojen ylittyminen ja alittuminen

Markku Nummelinin (2012) mukaan mitta-arvot eivät valitettavan usein pysy akuuttirajojen sisällä ja osaa ylityksistä on katsottu läpi sormien. Nummelinin käsityksen mukaan akuuttirajojen ylitysten ja alitusten määrä on lisääntynyt viime vuosina, mihin syynä saattaa olla lisääntynyt kilpailutus, koska urakoitsijat pyrkivät tekemään työn mahdollisimman pienin kustannuksin.

Jurmun (2013) mukaan vaihteen vikaantumiseen vaikuttaa lähinnä liikenteen määrä, kuljetetut tonnit ja vaihteen ikä. Vaihteissa, joissa pölkkytys on huonossa kunnossa ja metalliosat hyvin kuluneet, ilmenee useimmiten akuuttirajojen ylityksiä. Väätäisen (2013) mukaan uusissa KRV-vaihteissa on tosin ollut valmistusteknisiä ongelmia i-, j- ja k-mitoissa, mutta niistä on informoitu valmistajaa.

Vanhoissa puupölkkyvaihteissa, joissa on runsaasti liikennettä poikkeavalle raiteelle, ilmenee raidelevyden levenemistä risteyksessä, välikiskoissa erityisesti alkupäässä ja kielisovituksen kantajatkolla (Keskitalo 2013). Tiheästi liikennöidyissä vaihteissa tulisi käyttää betonipölkkyjä (Väätäinen 2013).

Yksinkertaisissa vaihteissa akuuttirajojen ylityksiä tapahtuu useimmiten f-mitoissa, kun vastakisko on kulunut. Lisäksi joissakin leveysmitoissa, kuten a, tulee joskus ylityksiä varsinkin Helsingin ratapihalla, jossa on paikoin lähes mahdotonta vaihtaa yksittäisiä pölkkyjä, jotta raide voitaisiin kaventaa toleranssien mukaiseksi. Tällöin kavennus voidaan tehdä esimerkiksi vaihtamalla kielisovitus. (Väätäinen 2013.) Ratapihoilla, joissa vaihtotyö tehdään aina samalle raiteelle vaihteen poikkeavan raiteen kautta, kuluvat erityisesti käyrät kiskot ja poikkeavan raiteen vastakiskot, eli mitat c_4 , d_2 , f_2 ja g_2 (Sorsa 2013).

YV-vaihteen etujatkoksessa toleranssien ylitykset voivat aiheutua kiskon siirtymisestä sivusuunnassa, mikä vaikuttaa kiskon kulumiseen, jos sitä ei kunnosteta. Lisäksi tukikisko kuuluu epätasaisesti ja kielen kärki kuuluu. Osasyynä on kääntölaitteen pölkkyjen tuentatyö, minkä takia pitkät pölkkyt on tuettava vaihteen tuennan yhteydessä. (Suutari 2013.) Raskaasti liikennöidyissä pääraidevaihteissa risteyksen kärki ja siipikisko lävistyvät, mikä näkyy risteysalueen mitoissa (Keskitalo 2013).

Akuuttirajojen ylityksiä esiintyy myös turvavaihteissa, joita ei normaalitilanteessa edes käytetä. Ne kootaan usein huonokuntoisemmista osista, koska niitä ei ole tarkoitus käyttää kuin hätätilanteissa. Nykyaikaisten turvalaitteiden vuoksi turvavaihteille ei ole enää vastaavaa tarvetta kuin ennen. (Hasa & Tuulikangas 2013.)

KRV-vaihteissa ongelmina ovat 2-kärkiset risteykset ja erityisesti niiden j- ja k-mitat. Niissä on lähes jokaisessa vaihteessa virheitä. Betonipölkkyvaihteissa on lähes mahdoton saada mittoja pysymään kunnossapitotoleransseissa, jotka ovat j- ja k-mitoissa -1 ja +2 mm. Myös a-mitat aiheuttavat KRV-vaihteissa usein toleranssien ylityksiä

nopean kulumisen vuoksi, jos poikkeavalla raiteella on runsaasti liikennettä. (Sorsa 2013.)

5.1.3 Akuuttirajojen kehittäminen

Nummelinin (2012) mukaan akuuttirajat saattavat olla joissakin pisteissä turhan tiukoja, mutta esimerkiksi risteysvaihteissa ei hänen mielestään ole varaa kasvattaa toleransseja lainkaan. Hänen mielestään akuuttirajojen tulisi olla sellaiset, että vaihde on akuuttirajan ylityksen jälkeen korjattava heti tai liikenne on pysäytettävä, kuten on ohjeistettu. Jos kunnossapitotoleranssi ylitetään, tulisi urakoitsijan reagoida jo silloin eikä päästää vaihdetta sellaiseen kuntoon, että akuuttiraja ylittyy. Sorsan (2013) mukaan kunnossapitäjä seuraa käytännössä kunnossapitotoleranssien ylittymisiä, mutta ei tee kunnostustoimia ennen kuin akuuttiraja on ylittymässä tai jo ylittynyt. Keskitalo (2013) toivoisi keskittyttävän enemmän kunnossapitotoleransseihin ja vaihteen korjaukseen aikaisemmassa vaiheessa kuin akuuttirajojen väljentämiseen. Liikenneviraston tulisi selvemmin ohjeistaa kunnossapitotoleransseissa pysymisen merkitys.

Nummelinin (2012) mielestä olisi mahdollista, että akuuttirajat olisivat erilaiset eri puolilla Suomea kaluston erilaisuuden vuoksi. Pollari (2012b) ei puolestaan usko, että akuuttirajoja kannattaisi jakaa alueellisesti Suomessa erityyppisen liikenteen mukaan, koska alueiden rajoissa tulee helposti epäselvyyksiä ja liikenteen ennustaminen vuosikymmeniksi eteenpäin on vaikeaa. Hänen mielestään jako sivu- ja pääraiteisiin on riittävä.

Pollarin (2012b) mielestä tärkeimmät mitat yksinkertaisissa vaihteissa ovat f-mitta eli ohjausväli, e-mitta ja raidelevyden d-mitta. Mitä kapeampi ohjausväli on, sitä ahtaampi pyöräparin on mennä läpi risteyksestä. Vastaavasti raidelevydessä ei voida merkittävää kaventumista sallia, mutta leventyminen ei ole yhtä kriittistä, koska pyörä on leveä. Risteysalueen muihin mittoihin, g- ja i-mittoihin, ei tarvita akuuttirajoja sen vuoksi, että kaikki risteuksen mitat ovat kiinni toisistaan. Jos risteys ei ole kunnossa, f- ja e-mitat indikoivat sen. Mitta f on erityisen tärkeä, koska se ennustaa myös e-mittaa. Risteyskappale tulee valmiina tehtaalta ja i-mittaa ei voi enää kokoonpanovaiheessa muuttaa. Myös Pulliainen ja Töyry (2012) pitävät e- ja f- mittoja risteyksessä tärkeimpinä.

Pollarin (2012b) mukaan vaihdehalleista lähteneissä kierrätysvaihteissa, joissa mitat eivät ole täyttäneet kaikkia toleransseja, on ollut suurimmaksi osaksi kyse g-mitan alittumisesta. Parin kuukauden liikennöinnin jälkeen se on palautunut kulumalla toleranssien sisälle. Töyryn (2012) mukaan viimeisen millimetrin tarkkuuden hakeminen vaihdehallilla vaatii paljon työtä ja rahaa. Hän kyseenalaistaakin tarpeen saada jokainen mitta millimetrilleen kohdalleen. Tulevaisuudessa uhkana on, että kierrätysvaihteita ei voida käyttää, sillä niiden tekeminen tulee liian kalliiksi. (Pollari 2012b.)

Pollarin (2012b) mielestä yksittäisen mitan akuuttirajan ylitys ei yleensä ole vielä kriittistä, eikä kukaan voi kokemusperäisesti sanoa, minkä suuruinen tietty mitta voi todellisuudessa olla turvallisuuden vaarantumatta. Ongelmat syntyvät yleensä monen tekijän yhdistelmästä. Esimerkiksi geometrialtaan huonossa kunnossa olevasta vaihteesta saattaa ajaa juna, jonka pyöräkerrat ovat kuluneet ja joka ajaa lisäksi ylinopeutta. Yksittäisistä mitoista voidaan poiketa huomattavasti ilman vahinkoja, jos kaikki muu on ideaalia.

Veikko Hasa ja Reijo Tuulikangas (2013) pitivät yksinkertaisissa vaihteissa olennaisimpana asiana, että a- ja b-mittojen sekä suoran raiteen mittojen akuuttirajojen ylärajaa nostettaisiin 1535 mm:stä 1540 mm:in asti. Akuuttirajan alarajana käytetty 1520 mm voitaisiin laskea 1518 mm asti. Lisäksi c_2 ja c_4 mittojen yläraja, 1547 mm, voisi olla hieman korkeampi.

YV-54-200N-1:9 vaihteessa tulisi Töyryn (2012) mukaan olla laajemmat kunnossapidon ylätoleranssit mitoissa, joiden nimellisarvo on 1524 mm. Hänen mukaansa esimerkiksi 10 mm kasvu mitoissa ei vaarantaisi liikennettä vielä lainkaan. Tällöin mitta olisi vasta YV54-200-1:9 vaihteen nimellismitta poikkeavalla raiteella. Myös Hasan ja Tuulikankaan (2013) mukaan N-mallin akuuttirajoja voitaisiin kasvattaa. Hasa kuitenkin huomauttaa, että esimerkiksi a-mitan perusarvo on N-mallissa 1524 mm, jolloin kisko on vaihteen YV-54-200-1:9 akuuttirajan ylittäessään jo hyvin kulunut.

Risteysvaihteissa kriittisimpiä alueita ovat Töyryn (2012) mukaan kaksikärkiset risteykset. Risteysvaihteiden yksikärkiset risteykset vastaavat täysin yksinkertaisten vaihteiden risteyskärsiä ja ongelmatkin ovat vastaavanlaiset. Pollarin (2012b) mukaan risteysvaihteissa on ollut mittavirheitä j-mitassa, joka on mitta vastakiskon kärjestä kärkikiskoon. Sen perusarvo on ollut 45 mm. Ratateknisten ohjeiden mukaan mittaus tehdään 150 mm kärjestä, mutta väli levenee kärjestä pois päin, minkä vuoksi se on luonnollisesti yli 45 mm oikeassa mittauspisteessä. Uudessa RATO 14 -ohjeessa j-mitan perusarvo on 50 mm.

Hasan ja Tuulikankaan (2013) mukaan KRV-vaihteessa a-mitan akuuttirajaa voitaisiin kasvattaa 1545 mm:stä 1550 mm:in. Kyseinen mitta on erityisen hankala korjata KRV-vaihteessa, koska koko risteys liikkuu helposti korjattaessa. Se voi vaatia aluslevyjen katkaisun, kavennuksen ja niiden uudelleen yhteenhitsauksen. Myös KRV-vaihteen e-mitan akuuttirajan ylärajaa voisi nostaa nykyisestä 1527 mm:stä 1530 mm:in. Akuuttirajan alaraja on sopiva jo nykyisenäkin. Myöskään f-mitan akuuttirajan alarajaa ei ole varaa alentaa, koska junan pyörä painaisi risteuksen kärkeä.

Osa haastatelluista piti nykyisiä akuuttirajoja sopivina (Jurmu, Keskitalo, Sorsa, Suutari 2013). Suutarin (2013) mielestä kuitenkin ratapihoilla, joissa liikutaan vaihtotyönopeudella, voisi akuuttirajojen tulkintaa hieman lieventää.

5.1.4 Mittauspisteet ja mittaustekniikka

Sorsan ja Suutarin (2013) mielestä mittauspisteitä on sopiva määrä ja mittausten perusteella voidaan seurata vaihteen yleiskuntoa. Sorsan mielestä KRV-vaihteessa mittauspisteitä on kuitenkin niin paljon, että se vaatii mittaajalta ammattitaitoa, jotta mittaustulokset ovat oikeita.

Kunnossapitäjät ovat kritisoineet mittaussväliä vaihteissa, jotka mitataan neljä kertaa vuodessa. Kun mittaus tehdään tasaisin väliajoin 3 kuukauden välein, osuu yksi mittaus talvikaudelle. Lumi voi sotkea mittauksen, jos sitä ei huolellisesti poisteta. (Suutari 2013.) Erityisesti risteysalueen mittoihin tulee helposti virheitä, jos vaihdetta ei ole puhdistettu huolellisesti lumesta ja jäästä (Sorsa 2013). Sorsan (2013) mukaan mittausten aikataulu on vaihdellut paljon, sillä kolmen kuukauden mittausskierto on voinut venyä yli viiteen kuukauteen. Joskus mittauksiin on ryhdytty vasta alueisännöitsijöiden pyytäessä vaihdemittaustietoja.

Sorsan (2013) mukaan yleensä kolmen kuukauden väli päätievaihteissa ja kuuden kuukauden väli ratapihan vaihteissa on sopiva mittaussväli. Kuitenkin raskaalla kuormituksella esimerkiksi Vainikkalassa jotkin sivutien vaihteet kuluvat jo lähelle akuuttirajaa kolmessa kuukaudessa. Näissä kohteissa olisi tarvetta tihentää mittauskertoja. Keskitalon (2013) mielestä sivuraiteen vaihteille yleensä riittää mittaus joka toinen vuosi, mutta vanhojen ja kuluneiden vaihteiden tapauksessa yhden vuoden tarkastusväli olisi parempi.

Mittalaitteet ovat Nummelinin (2012) mukaan varsin kehittyneitä ja hän ei näe ongelmaa mittauksen suorittamisessa. Ongelmia on ollut lähinnä datan säilyttämisessä ja analysoinnissa, joka on jäänyt urakoitsijoilta vaillinaiseksi.

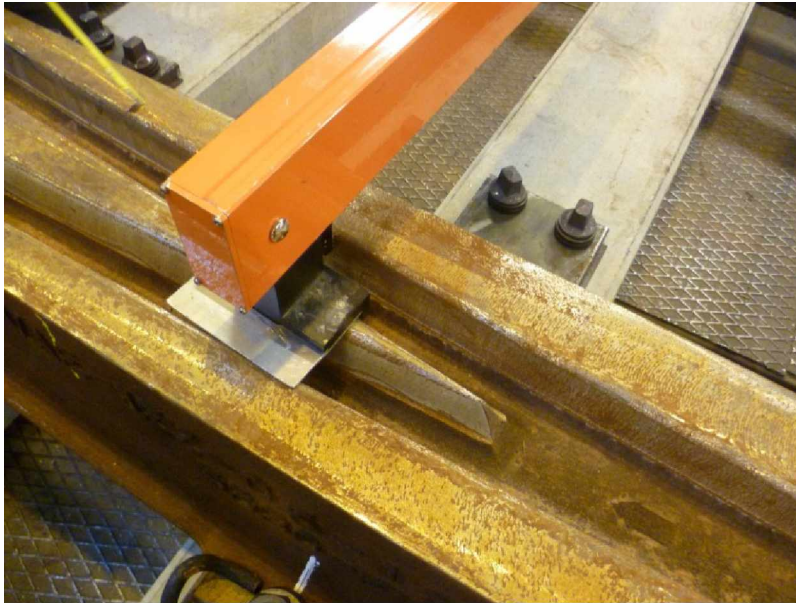
Pollarin (2012b) mukaan mittaustekniikka on tärkeä, jotta mitattuihin tuloksiin voidaan luottaa. Joissakin tapauksissa mittaukset ovat indikoineet vaihteen olevan viallinen, mutta todellisuudessa mittalaitteen kalibroinnissa tai mittauksessa on ollut ongelmia. Mittalaitte on saatava kohtisuoraan kiskoa vastaan oikeaan kohtaan ja esimerkiksi talvella kiskon ja mittalaitteen väliin voi jäädä lunta tai jäätä, mikä heti näkyy mittaustuloksissa. Väätäisen (2013) mukaan kalibrointi tarkastetaan ennen mittauksia vakiomittatangolla ja mittaa säädetään tarvittaessa. Kerran vuodessa laite lähetetään valmistajalle huoltoon ja viralliseen kalibrointiin.

Ennen kilpailutusta koko rataverkolla käytettiin samanlaisia mittalaitteita, mutta nykyään urakoitsijoilla on erilaisia laitteita ja pöytäkirjoja. Mittalaitteita on sekä automaattisesti tulokset tallentavia malleja että manuaalisia, joista mitta luetaan joko digitaaliselta näytöltä tai mittanauhalla. (Pollari 2012b.) Pulliaisen (2012) mielestä olisi hyödyllistä vertailla eri mittalaitteilla saatuja tuloksia.

Mittaus tehdään kuormittamattomassa tilassa, sillä mittalaitte painaa vain muutaman kilogramman. Mittaajan pitää arvioida vaihte myös silmämääräisesti, jotta voidaan päätellä vaihteen liikennekelpoisuus. Kuntoa arvioitaessa tarkastetaan esimerkiksi puupölkkyjen kuluneisuus ja aluslevyjen painuminen pölkkyjen sisään. Nykyisten laitteiden lisäksi testauksessa on ollut mittalaitteita, jotka perustuvat jatkuvaan mittaukseen. Mittalaitte on työnnettävä vaunu, joka mittaa pisteitä 50 mm välein. Ongelmana jatkuvassa mittauksessa on, että mittalaitte painaa noin 25 kg ja se on liian hidas käyttää vilkasliikenteisillä radoilla. (Väätäinen 2013.)

Jurmun (2013) mukaan KRV-vaihteiden mittauksessa haasteena on löytää oikea mittauskohde erityisesti kielisovitusalueilla ja 2-kärkisen risteyksen alueella. KRV-vaihteen mittapisteiden sijaintia on hankala määrittää RATO 14-ohjeen kuvan sekavuuden vuoksi, minkä takia mittaus vaatii erityistä huolellisuutta. Keskitalo (2013) toivoisi KRV-vaihteen mittauksen ohjeistusta tarkemmaksi ja loogisemmaksi.

Pulliaisen (2012) mielestä mittauspiste risteyksen kärjen kohdalla ei ole riittävän tarkasti ja yksiselitteisesti määritetty Ratateknisissä ohjeissa. Ohjeen mukaan mittaus tehdään 150 mm päästä risteyksen kärjestä, mutta kärki on viistetty, minkä vuoksi tulokset ovat riippuvaisia mittauskohdasta (kuva 24). Mittauskohtaa ei myöskään ole määritetty korkeussuunnassa Ratateknisissä ohjeissa.



Kuva 24 Mittauspiste 150 mm päässä risteyksen kärjestä.

Toisaalta KRV-vaihteen 2-kärkisessä risteyksessä kärjet ovat harvoin täysin samalla kohdalla, minkä vuoksi mittaa ei voi asettaa molemmista kärjistä 150 mm päähän, kun mitta on ohjeiden mukaisesti suorassa kulmassa kiskoa vasten. Käytännössä mitta asetetaan toiselta puolelta 150 mm päähän kärjestä suoraan kulmaan, jolloin se asettuu toisella puolella suunnilleen samaan etäisyyteen kärjestä suorassa kulmassa. (Hasa & Tuulikangas 2013.) Haastateltujen kunnossapitäjien mukaan 150 mm etäisyys perustuu mittaajan arvioon ja kokemukseen, eikä sitä erikseen tarkasteta ennen mittauksia.

5.1.5 Kunnossapito

Pollari (2012b) toivoisi hionnan kunnostustoimenpiteenä lisääntyvän huomattavasti nykyisestä, koska se on halpaa hitsaukseen verrattuna ja hionnalla hitsauskunnossapidon ja vaihteen vaihtamisen tarve siirtyy myöhemmäksi. Hänen mielestään sopiva hiontaväli olisi noin pari kuukautta. Nykyisin hionnan käyttö riippuu kunnossapitäjästä, koska hän päättää itse sen, kuinka vaihde hoidetaan, kunhan se pysyy liikennöitävänä. Kilpailutuksen myötä materiaalit saadaan Liikennevirastolta ja työ kilpailutetaan. Tämä johtaa kunnossapidossa helposti siihen, että kunnossapitäjät päätyvät vaihtamaan osia kunnossapidon sijaan.

Vaihdetalleissa kunnostettavissa vaihteissa käytetään pääosin hitsausta ja hiontaa työmenetelminä. Jos osa on pahasti kulunut, se vaihdetaan. Useimmiten joudutaan vaihtamaan kieliä ja risteyksiä, joita ei voi enää kunnostaa. (Pulliainen 2012.) Kie-lisovitukset joudutaan usein vaihtamaan kiskoista ensimmäisinä, koska poikkeavalle raiteelle ajava juna kuluttaa niitä eniten. Junan pyörä ikään kuin leikkaa siivun kiskosta ajaessaan poikkeavalle raiteelle. (Väätäinen 2013.) Kuluneita kiskoja täytehita-taan, jotta päästään toleranssien sisälle. Vastakiskoon voidaan kiinnittää vastakisko-levyjä korjaamaan raidelevyden leventymää vastakiskon kulumisen takia. Jos levyjä on lisätty yli 10 mm paksuudelta, tulisi vastakisko vaihtaa. Vastakiskolevyillä voidaan vaikuttaa f- ja g-mittoihin. (Hasa & Tuulikangas 2013.)

Betonipölkkyisissä vaihteissa voi ongelmia aiheutua raideruuvien runsaasta katkeilusta, koska ruuvit eivät katkettuaan enää pidä kiskoa paikoillaan luotettavasti. Puupölkkyt voivat puolestaan joustaa huomattavasti liikenteen alla. Azobe-puupölkkyisissä YV60–300–1:9 vaihteissa on käytetty 1522 mm raidelevyyttä. Azobe-pölkkyt vääntyvät helposti, jolloin normaalia kapeampi raideleveys kapenee entisestään. Raidelevyden kavennus, kun mitta ylittää akuuttirajan, on monesti vaikea toteuttaa. Hankalia ovat esimerkiksi kavennukset jäisiin puupölkkyihin talvisin. Pölkystä irrotetaan ensin raideruuvit ja tilalle laitetaan tapit. Sen jälkeen reiät siirretään, mutta ruuvit hakeutuvat helposti vanhoihin reikiin takaisin. Puupölkkyissä vaarana on halkeaminen. (Hasa & Tuulikangas 2013.) KRV-vaihteissa risteysmittojen säätäminen on hankalaa, jos tietty osa kuluu paljon, koska kaikki mitat vaikuttavat toisiinsa (Suutari 2013).

Pollarin (2012b) mukaan KRV-vaihteen raidelevyden levityksessä on ristiriita Rata-tekniisiin ohjeisiin nähden, sillä muutos tehdään käytännössä kahden pölkyn matkalla, kun se ohjeen mukaan pitäisi tehdä 1 mm/m eli 10 m matkalla. Vaihdepiirustusten mukaan muutos pitäisi tehdä 1 mm/pölkkyväli pituisella matkalla, mikä 600 mm pölkkyvälillä on 6 m. Risteysvaihteissa maksiminopeus on 90 km/h, minkä vuoksi ristiriita ei Pollarin mukaan aiheuta käytännössä ongelmia.

5.2 Mittauspöytäkirjojen tilastollinen tutkimus

Vaihteiden mittaamisessa dataa kerätään passiivisesti muuttamatta olosuhteita. Tällaista tutkimusta kutsutaan havaitsevaksi tutkimukseksi. Toinen mahdollisuus on käyttää koepohjaista tutkimusta, jossa muutetaan etukäteen suunniteltuja tekijöitä ja muut tekijät pidetään vakioina. Molemmilla tavoilla kerättyyn tietoon voidaan soveltaa samoja tilastollisia menetelmiä. Havaitsevassa tutkimuksessa on suurempi riski virheellisiin tulkintoihin, koska tulos voi olla seurausta jostakin muusta ilmiöön vaikuttavasta tekijästä kuin tutkimuksessa on oletettu. (Laininen 2013.)

Aikasarja-analyysissä havaintoaineisto kerätään tietyin aikavälein tutkittavasta suureesta. Analyysissä pyritään ymmärtämään aikasarjassa esiintyvän vaihtelun syitä ja ennustamaan tuleva käyttäytyminen viimeisen havainnointiajankohdan jälkeen. (Laininen 2013.)

Mittaustuloksia voidaan pitää suhteasteikollisena muuttujana. Mittaustulos muuttujana on diskreetti, koska se voi saada vain äärellisen määrän erillisiä arvoja. Mittalaite antaa mitan millimetreissä kokonaislukuna.

5.2.1 Kunnossapitoalue 6

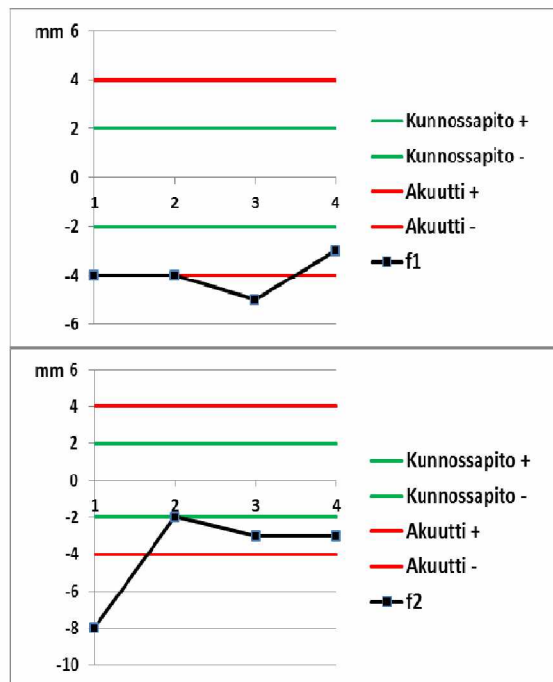
Kunnossapitoalueelta 6 mittauspöytäkirjoja oli käytössä kolmesta vaihteesta, jotka oli kukin mitattu neljä kertaa vuoden 2012 aikana eli jokaisesta vaihteen mittauspisteestä oli neljä mittaustulosta. Vaihteet olivat tyypiltään

- YV–54–200N–1:9 sivuraiteelta,
- YV60–300–1:9 pääraiteelta ja
- KRV54–200–1:9 pääraiteelta.

Koska mittaukset oli tehty samoista vaihteista vuoden aikana, mittauksista voitiin rakentaa lyhyt aikasarja analysointia varten. Vaihteessa YV–54–200N–1:9 ei ollut ta-

pahtunut akuuttirajojen tai kunnossapitotoleranssien ylityksiä tai alituksia tutkitulla ajanjaksolla.

Sen sijaan vaihteessa YV60–300–1:9 akuuttirajat olivat alittuneet kerran sekä f_1 - että f_2 -mitoissa. Mitta f_1 oli alle akuuttirajan yhden millimetrin verran ja f_2 neljä millimetriä (kuva 25). Seuraavassa mittauksessa molemmat mitat olivat jälleen toleranssien sisällä eli ne oli korjattu jossakin vaiheessa akuuttirajan ylityksen jälkeen. Vaihde oli asennettu uutena vuonna 2003.



Kuva 25 Neljän mittauksen tulokset vaihteessa YV60–300–1:9 mittauspisteissä f_1 ja f_2 , joissa akuuttirajat ylittyivät. Millimetrit ovat erotuksia nimellisarvosta.

Akuuttirajojen ylitysten lisäksi vaihteessa YV60–300–1:9 kunnossapitotoleranssit olivat ylittyneet pisteissä

- c_2 (ylitys),
- f_1 (alitus),
- f_2 (alitus),
- g_2 (alitus),
- i_1 (alitus) ja
- i_2 (alitus).

Vaihteessa KRV54–200–1:9 akuuttirajojen ylityksiä ja alituksia tapahtui vuoden aikana kuudessa eri mittauspisteessä, f_1, f_2, c_2, j_1, b_1 ja b_2 , yhteensä 20. Osa ylityksistä toistui mittauksesta toiseen samassa pisteessä. Taulukkoon 12 on koottu vaihteessa tapahtuneet akuuttirajojen ylitykset mittauspisteissä mittausajankohdan mukaisesti jaoteltuina. Merkintä OK tarkoittaa, että mittausarvo on pysynyt akuuttirajojen sisäpuolella. Akuuttirajojen ylitykset tai alitukset on merkitty punaisella ja sulussa oleva numero kertoo, kuinka monta millimetriä akuuttiraja on ylittynyt tai alittunut. Keltainen väri

kertoo, että mitta on pysynyt akuuttirajojen sisällä, mutta ylittänyt kunnossapito-toleranssin.

Taulukko 12 Kunnossapitoalueen 6 yhden KRV-vaihteen akuuttirajojen ylitykset vuoden aikana.

Mittauksen ajankohta	Akuuttiarvon ylitys/alitus (mm)									
	f ₁		f ₂		c ₂		b ₁		b ₂	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
helmikuu	ALI (1)	ALI (1)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	ALI (1)	OK
kesäkuu	ALI (2)	ALI (1)	OK	OK	OK	OK	OK	ALI (1)	ALI (1)	OK
syyskuu	ALI (1)	OK	OK	ALI (1)	OK	OK	ALI (1)	OK	ALI (1)	OK
marraskuu	OK	ALI (1)	OK	OK	YLI (1)	OK	ALI (1)	ALI (2)	ALI (2)	OK

Akuuttirajojen ylitysten määrän perusteella kunnossapitoalueen 6 KRV-vaihte oli hyvin kulunut. Vaihte oli asennettu uutena vuonna 2007. Huomionarvoista on se, että kaikkia akuuttirajojen ylityksiä ei ollut selvästikään korjattu niiden havaitsemisen jälkeen, koska ylitykset toistuivat mittauksesta toiseen.

5.2.2 Kunnossapitoalueet 3 ja 9

Kunnossapitoalueilta 3 ja 9 oli käytössä vuosien 2012–2013 välillä tehtyjä mittauksia. Kustakin vaihteesta oli Excel-taulukossa yksi mittaustulos. Aineistosta karsittiin muut kuin tutkittavat vaihdetyypit pois, jolloin analysoitavia mittaustuloksia saatiin

- vaihteista YV60–300–1:9 119 tulosta,
- vaihteista YV–54–200N–1:9 190 tulosta,
- vaihteista YV–54–200–1:9 190 tulosta ja
- vaihteista KRV54–200–1:9 21 tulosta.

5.2.2.1 Vaihteet YV60–300–1:9

Koska aineisto koostui kahden eri kunnossapitoalueen mittauksista, aluksi tutkittiin kahden riippumattoman otoksen t-testillä, poikkeavatko mittaustulokset tilastollisesti merkittävästi toisistaan kahden kunnossapitoalueen välillä.

Testin nollahypoteesina on, että kunkin mittauspisteen mittaustuloksen odotusarvo ei poikkea kunnossapitoalueiden välillä. Tilastotieteessä yleisesti käytetyllä 1 % merkitsevyystasolla nollahypoteesi voitiin hyväksyä jokaisessa mittauspisteessä. Jos halutaan pienentää hyväksymisvirheen mahdollisuutta, voidaan valita suurempi riskitaso. Esimerkiksi 5 % riskitasolla mittauspisteessä a nollahypoteesi hylätään ja 10 % riskitasolla pisteissä a ja f₁. Näissä pisteissä mittaustulokset olivat pysyneet akuuttirajojen sisällä. Koska nollahypoteesi kunnossapitoalueiden mittaustulosten yhtenevyydestä voidaan hyväksyä 1 % merkitsevyystasolla, aineistoa käsiteltiin kokonaisuutena. Akuuttirajat ylittäneitä vaihteita oli niin vähän, että niiden tilastollinen analysointi erikseen ei ollut mahdollinen. Tilastollinen analyysi tehtiin siis koko aineistosta, jolloin otoskoko oli riittävän suuri.

Vaihteita YV60–300–1:9 oli tutkimusaineistossa yhteensä 119, joista 89 sijaitsi pääraiteella ja 30 sivuraiteella. Vaihteista 91 oli kunnossapitoalueelta 3 ja 28 alueelta 9.

Akuuttirajojen ylityksiä oli tapahtunut yhteensä 6 eri vaihteessa eli noin 5 % vaihteista oli ylittänyt akuuttirajan jossakin mittauspisteessä. Näistä vaihteista viisi sijaitsi kunnossapitoalueella 3 ja yksi kunnossapitoalueella 9. Jokainen kuudesta vaihteesta sijaitsi pääraiteella. Ylitykset sijaitsivat vaihteittain pisteissä

- g_2 ja i_2 (3 mm ylitys, 4 mm alitus)
- e_2 (3 mm ylitys)
- c_4 (11 mm alitus)
- c_{4,g_2} (2 mm alitus, 1 mm ylitys)
- e_2 (2 mm ylitys)
- i_2 (1 mm alitus).

Luettelossa viimeisenä mainittu sijaitsi alueella 9 ja muut alueella 3. Kaikki ylitykset sijaitsivat täten poikkeavan raiteen puolella pisteissä c_4 , e_2 , g_2 ja i_2 , ja kaikissa näissä pisteissä oli akuuttiraja ylittynyt kaksi kertaa. Koska mittaustuloksia ei ollut useampaa samasta vaihteesta, niistä ei voitu päätellä, onko virhe korjattu mittauksen jälkeen.

Kunnossapitoalueen 3 vaihteet, jotka eivät pysyneet akuuttirajojen sisällä, olivat kaikki ns. turvavaihteita. Turvavaihteen ainoana tehtävänä on antaa sivusuoja eli estää junien pääsy varatulle raiteelle. Kunnossapitoalueella 9 vaihde, joka ei ollut pysynyt akuuttirajojen sisällä, oli ensimmäinen pääraidevaihde liikennepaikalle tultaessa. Vaihteissa YV60–300–1:9 kunnossapitotoleranssit olivat ylittyneet yli 90 % vaihteista jossakin mittauspisteessä, sillä 119 vaihteesta vain kymmenessä mikään mitta ei ylittänyt kunnossapitotoleranssia. Kunnossapitoalueella 3 toleranssien ylityksiä oli 92 %:ssa vaihteista ja alueella 9 89 %:ssa vaihteista.

Kunnossapitotoleranssien ylityksiä tapahtui erityisesti poikkeavan raiteen mitoissa ja risteysalueella pääraiteella sijaitsevilla vaihteissa (taulukko 13). Vaihteista 89 sijaitsi pääraiteella ja 30 sivuraiteella. Sivuraiteella ylityksiä tapahtui lähes pelkästään risteysalueen mitoissa. Sivuraiteella ylitysten määrän prosentuaalinen osuus on luonnollisesti pienempi, koska suurin osa vaihteista sijaitsi pääraiteella.

Taulukko 13 Kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin YV60–300–1:9 vaihteissa.

Mittauspiste	a	b	c_1	c_2	c_3	c_4	d_1	d_2
Ylitysten määrä	7	4	3	22	2	2	0	7
Pääraiteessa [%]	100	100	100	95	100	100	0	100
Sivuraiteessa [%]	0	0	0	5	0	0	0	0
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	6	3	3	18	2	2	0	6

Mittauspiste	e_1	e_2	f_1	f_2	g_1	g_2	i_1	i_2
Ylitysten määrä	6	8	31	31	15	48	14	72
Pääraiteessa [%]	83	88	71	58	93	85	79	74
Sivuraiteessa [%]	17	13	29	42	7	15	21	26
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	5	7	26	26	13	40	12	61

Akuuttirajojen ylitykset olivat tapahtuneet pisteissä c_4 , e_2 , g_2 ja i_2 , joista pisteissä g_2 ja i_2 on myös suurin suhteellinen osuus kunnossapitotoleranssien ylityksistä. Toisaalta pisteissä c_4 ja e_2 kunnossapitotoleranssien ylityksiä tapahtui vain 2 % ja 7 % kaikista vaihteista.

Diskreettien muuttujien arvojen jakautumista voidaan kuvata frekvenssijakaumalla ja sitä vastaavalla graafisella esityksellä pylväsdiagrammilla. Mittaustuloksista piirretyt pylväsdiagrammit ovat liitteessä 5. Pylväsdiagrammit on piirretty koko aineistosta ja erikseen molemmista kunnossapitoalueista. Pylväsdiagrammeista nähdään, kuinka mittaustulokset ovat jakautuneet akuuttirajojen sisällä. Niissä mittauspisteissä, joissa on tapahtunut akuuttirajojen ylityksiä, on diagrammin minimi- tai maksimiarvoa kasvatettu niin, että ylittynyt tulos on myös näkyvissä.

Vaihteissa YV60–300–1:9 tutkittiin myös risteysalueen mittauspisteiden arvojen korrelaatiota, jotta voitiin nähdä, kuinka ne riippuvat tilastollisesti toisistaan. Risteysalueella mitataan samasta kohdasta neljä eri mittausta. Haastatteluiden perusteella kaikki kunnossapitäjät eivät pitäneet tarpeellisena kaikkien niiden mittaamista tai ainakaan akuuttirajojen määrittelyä kaikkiin pisteisiin. Mittauspisteitä e ja f pidettiin tärkeinä ja pisteitä g ja i toisarvoisina. Jos jokin mittaustulos on selvästi ennustettavissa muista mittauksista, voidaan mittauspisteen tarpeellisuus kyseenalaistaa. Mitta f on teoriassa sama kuin g - ja i -mittojen summa, mutta mittalaite pyöristää tuloksen tasalukuun (millimetriä), minkä vuoksi summa ei aina päde. Sen vuoksi alla olevissa laskelmissa mitat eivät korreloi täysin keskenään.

Mittaustuloksista laskettiin Pearsonin otoskorrelaatiokerroin, joka on havaintoarvojen lineaarisen tilastollisen riippuvuuden voimakkuuden mittari (taulukko 14).

Taulukko 14 Vaihteen YV60–300–1:9 Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet suoran ja poikkeavan raiteen risteysalueen mitoille

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet			Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet			
	e_1	f_1	g_1	e_2	f_2	g_2
f_1	0,3053			f_2	0,4529	
g_1	0,1126	0,6359		g_2	0,1306	0,6149
i_1	0,2478	0,2008	-0,5493	i_2	0,2970	0,0812
						-0,5610

Otoskorrelaatiokertoimet ovat melko samansuuruisia sekä suoran että poikkeavan raiteen mitoissa, mutta yksikään kertoimista ei viittaa voimakkaaseen lineaariseen tilastolliseen riippuvuuteen. Parhaiten korreloivat keskenään f - ja g -mitat sekä g - ja i -mitat. Mittojen g ja i välinen negatiivinen korrelaation syy on se, että g -mitta on siipikiskon ja vastakiskon välinen etäisyys ja i -mitta puolestaan siipikiskon ja kärkikiskon välinen etäisyys. Tavallisesti siis g -mitan kasvaessa i -mitta kapenee tai pysyy samana.

Korrelaatiokertoimien lisäksi risteysalueen pisteitä tutkittiin regressioanalyysin avulla, jotta nähtäisiin, kuinka hyvin muut risteysalueen mittauspisteet selittävät kutakin mittauspistettä eri kombinaatioina. Regressioanalyysia varten tehtiin mallin valinta eli selvitetiin, minkälainen yhdistelmä selittäviä muuttujia tuottaa parhaimman selityksasteen. Regressiomallin selittäjien valikointiin käytettiin sekä alaspäin askellus-että askeltava valikointi-strategioita, jotka tuottivat samat selittäjät tämän aineiston kohdalla. Selittäjien valinnassa käytettiin 5 % merkitsevyytasoa.

Lopuksi tutkittiin parasta selittäjien yhdistelmää vertaamalla kaikkia mahdollisia mallivaihtoehtoja toisiinsa. Mallinvalintakriteerinä käytettiin kahta Statistix 9-ohjelmistoon koodattua kriteeriä, jotka ovat Mallowsin C_p -kriteerin minimointi ja korjatun selitystasteen maksimointi (Adjusted R Square). Malliksi valittiin se, joka oli kriteerifunktion kannalta optimaalinen. Eri mallinvalintakriteereillä saadut korjatut selitystasteet poikkesivat toisistaan korkeintaan parin prosentin verran, eli mallin valinta ei vaikuttanut lopputulokseen merkittävästi.

Optimoidun mallin avulla saadut korjatut selitystasteet ja niitä vastaavat regressioyhtälöt ovat taulukossa 15. Pisteessä e selitystaste jäi erityisen alhaiseksi, mikä tarkoittaa sitä, että pisteestä mitattuja tuloksia ei voi selittää muiden mittaustulosten avulla luotettavasti. Suoran raiteen mittojen selitystasteet ovat e-mittaa lukuun ottamatta jonkin verran poikkeavaa raidetta parempia.

Taulukko 15 Vaihteen YV60–300–1:9 regressioanalyysissä saadut selitystasteet ja regressioyhtälöt.

Suora raide	Selitystaste	Regressioyhtälö
	e_1 0,13	$e_1 = 1007,10 + 0,34g_1 + 0,55i_1$
	f_1 0,83	$f_1 = 252,78 + 0,83g_1 + 0,79i_1$
	g_1 0,88	$g_1 = -65,84 + 0,06e_1 + 0,98f_1 - 0,93i_1$
	i_1 0,81	$i_1 = -137,33 + 0,08e_1 + 0,88f_1 - 0,87g_1$
Poikkeava raide	Selitystaste	Regressioyhtälö
	e_2 0,26	$e_2 = 782,92 + 0,49f_2 + 0,32i_2$
	f_2 0,66	$f_2 = 290,64 + 0,16e_2 + 0,64g_2 + 0,56i_2$
	g_2 0,75	$g_2 = 118,86 + 0,92f_2 - 0,91i_2$
	i_2 0,61	$i_2 = -47,06 + 0,12e_2 + 0,55f_2 - 0,64g_2$

5.2.2.2 Vaihteet YV54–200–1:9

Myös vaihteiden YV54–200–1:9 mittaustulosten analyysi aloitettiin tutkimalla kahden riippumattoman otoksen t-testillä, poikkeavatko mittaustulokset kunnossapitoalueiden välillä tilastollisesti merkittävästi. Nollahypoteesi mittaustulosten odotusarvojen yhtäsuuruudesta voitiin hyväksyä 10 % riskitasolla 12 pisteessä ja neljässä se hylättiin. Nämä neljä pistettä olivat c_1 , c_2 , g_2 ja i_2 . Pisteessä c_2 nollahypoteesi voitiin hyväksyä 5 % merkitsevyystasolla, joten sen pisteen tulokset katsottiin yhdistämiskelpoisiksi. Jäljelle jääneissä kolmessa pisteessä nollahypoteesia ei voitu hyväksyä millään tavallisella merkitsevyystasolla, joten niitä käsiteltiin erillisinä aineistoina tilastollisessa analyysissä.

Vaihteita YV54–200–1:9 oli tutkimusaineistossa yhteensä 190, joista ainoastaan yksi sijaitsi pääraiteella kunnossapitoalueella 3. Vaihteista 140 sijaitsi kunnossapitoalueella 3 ja 50 alueella 9. Pääraiteella sijainneissa vaihteissa ei ollut akuuttirajojen tai kunnossapitotoleranssien ylityksiä. Akuuttirajojen ylityksiä oli tapahtunut 11 eri vaihteissa eli noin 6 % tutkituista vaihteista oli ylittänyt akuuttirajat. Näistä vaihteista

seitsemän sijaitti kunnossapitoalueella 3 ja neljä alueella 9 (taulukko 16). Taulukossa vaihteet on numeroitu juoksevasti eikä numero liity vaihdetunnukseen.

Taulukko 16 Vaihteissa YV54–200–1:9 tapahtuneet akuuttirajojen ylitykset vaihteittain.

Kunnossapitoalue 3 akuuttiarvon ylitys / alitus (mm)

Mittauspisteet	Vaihteet						
	1	2	3	4	5	6	7
c ₁	YLI (2)						
c ₂		YLI (1)	YLI (2)	YLI (2)	YLI (1)	YLI (1)	
c ₄			YLI (1)	YLI (2)		YLI (3)	YLI (2)
d ₂				YLI (2)		YLI (1)	YLI (8)
f ₂							ALI (1)

Kunnossapitoalue 9 akuuttiarvon ylitys / alitus (mm)

Mittauspisteet	Vaihteet			
	1	2	3	4
c ₂	YLI (1)			
e ₂	YLI (2)			
f ₁	ALI (3)			
f ₂		ALI (2)		
g ₁	ALI (4)		YLI (1)	
g ₂				YLI (2)

Taulukosta nähdään, että samassa vaihteessa akuuttirajojen ylityksiä on ollut enimmillään neljässä eri mittauspisteessä. Kaikki vaihteet sijaitsivat sivuraiteella. Kunnossapitoalueella 3 ylitykset sijoittuvat lähinnä vaihteen kielisovitukseen ja välikiskoihin, kun taas alueella 9 suurin osa ylityksistä on risteysalueen mitoissa. Eniten ylityksiä oli tapahtunut mitassa c₂. Mitassa g₁ oli tapahtunut sekä akuuttirajan ylitys että alitus, kun taas muissa pisteissä akuuttirajat oli vain joko ylitetty tai alitettu.

Kunnossapitoalueen 3 akuuttirajan ylittäneistä vaihteista kaksi oli turvavaihteita ja yksi oli Liikenneviraston omistaman raiteen ja yksityisen raiteen rajalla, mutta kuitenkin Liikenneviraston raiteiden puolella. Kunnossapitoalueen 9 akuuttirajat ylittäneistä vaihteista kaksi oli varikolle johtavia vaihteita.

Kaikista YV54–200–1:9 vaihteista noin 22 % ei ylittänyt missään mittauspisteessä kunnossapitotoleransseja. Kunnossapitoalueella 3 sellaisten vaihteiden osuus oli noin 21 % ja alueella 9 osuus oli 24 %. Taulukossa 17 on eritelty kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin ja ilmoitettu osuus kaikista vaihteista. Jälleen risteysalueella oli prosentuaalisesti eniten toleranssien ylityksiä, mutta ero kielisovitusalueen toleranssien ylityksiin ei ollut kovin suuri.

Taulukko 17 Kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin YV54–200–1:9 vaihteissa.

Mittauspiste	a	b	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁	d ₂
Ylitysten määrä	25	20	26	15	4	17	2	4
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	13	11	14	8	2	9	1	2

Mittauspiste	e ₁	e ₂	f ₁	f ₂	g ₁	g ₂	i ₁	i ₂
Ylitysten määrä	7	13	43	46	26	30	32	44
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	4	7	23	24	14	16	17	23

Verrattaessa akuuttirajojen ylityksiä kunnossapitotoleranssien ylityksiin huomataan, että niissä pisteissä, joissa akuuttirajat ovat ylittyneet, on ollut myös useimmissa kunnossapitotoleranssien ylityksiä hieman keskiarvoa enemmän. Toisaalta muuttamalla pisteessä, esimerkiksi i-mitoissa ei ollut akuuttirajojen ylityksiä, mutta kunnossapitotoleranssien ylityksiä oli melko paljon muihin pisteisiin nähden. Myös vaihteen YV54–200–1:9 mittaustuloksista piirrettiin pylväsdigrammit (liite 6), jotka kuvaavat mittaustulosten hajontaa.

Seuraavaksi tutkittiin risteysalueen mittaustulosten korrelaatiota vaihteen YV54–200–1:9 aineiston perusteella. Suoran raitteen risteysmitoille lasketut Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet on laskettu taulukkoon 18.

Taulukko 18 Vaihteen YV54–200–1:9 Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet suoran raitteen risteysalueen mitoille.

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet

	e ₁	f ₁	g ₁
f ₁	0,3306		
g ₁	0,1097	0,5658	
i ₁	0,1403	0,0717	-0,7423

Poikkeavalla raitteella pisteissä g₂ ja i₂ aineistoa ei voitu yhdistää t-testin perusteella, joten ne käsiteltiin erikseen (taulukko 19). Korrelaatiokertoimet laskettiin kuitenkin myös koko aineistolle, jotta voitiin verrata sitä, vaikuttaako aineiston jakaminen korrelaatiokertoimiin.

Taulukko 19 Vaihteen YV54–200–1:9 Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet poikkeavan raiteen risteysalueen mitoille.

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet kp 9

	e_2	f_2	g_2
f_2	0,3211		
g_2	0,1240	0,5664	
i_2	0,2854	0,2452	-0,6042

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet kp 3

	e_2	f_2	g_2
f_2	0,4069		
g_2	0,1156	0,5574	
i_2	0,2352	0,2723	-0,6032

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet
molemmat alueet yhdessä

	e_2	f_2	g_2
f_2	0,3815		
g_2	0,1353	0,5583	
i_2	0,2252	0,2478	-0,6190

Taulukosta nähdään, että molempien alueiden yhdistetyt korrelaatiokertoimet ovat lähes samansuuruisia verrattuna kunnossapitoalueittain laskettuihin korrelaatiokertoimiin. Koska alueelta 3 on mittausdataa enemmän, yhdistetyt korrelaatiokertoimet ovat arvoltaan lähempänä niitä. Ottaen huomioon sekä suoran ja poikkeavan raiteen paras korrelaatio saadaan jälleen mittojen f ja g sekä g ja i välille.

Risteysalueen mittauspisteiden regressioanalyysi tehtiin vastaavalla tavalla kuin aikaisemmin vaihteen YV60–300–1:9 tapauksessa. Optimoidun mallin selitysasteet on taulukoitu alla (taulukko 20).

Taulukko 20 Vaihteen YV54–200–1:9 regressioanalyysissä saadut selitysasteet suoralle raiteelle.

Selitysaste	Regressioyhtälö
e_1 0,11	$e_1 = 994,10 + 0,36f_1 + 0,10i_1$
f_1 0,86	$f_1 = 222,10 + 0,85g_1 + 0,84i_1$
g_1 0,94	$g_1 = -14,10 + 1,01f_1 - 0,98i_1$
i_1 0,90	$i_1 = -21,71 + 0,94f_1 - 0,92g_1$

Poikkeavalla raiteella aineistoa ei voinut t-testin mukaan yhdistää, joten se on käsitelty erikseen. Lisäksi vertailun avuksi on laskettu selitysasteet myös yhdistetylle aineistolle (taulukko 21).

Taulukko 21 Vaihteen YV54–200–1:9 regressioanalyysissä saadut selityksasteet poikkeavalle raiteelle kunnossapitoalueittain.

Kunnossapitoalue	Selityksaste	Regressioyhtälö	
3	e_2	0,16	$e_2 = 850,45 + 0,46f_2$
	f_2	0,89	$f_2 = 103,60 + 0,05e_2 + 0,87g_2 + 0,89i_2$
	g_2	0,93	$g_2 = 14,51 + 0,99f_2 - 0,99i_2$
	i_2	0,90	$i_2 = -26,87 + 0,92f_2 - 0,90g_2$
9	e_2	0,19	$e_2 = 901,08 + 0,41g_2 + 0,69i_2$
	f_2	0,86	$f_2 = 195,81 + 0,86g_2 + 0,98i_2$
	g_2	0,91	$g_2 = -129,39 + 0,14e_2 + 0,95f_2 - 1,12i_2$
	i_2	0,88	$i_2 = -157,86 + 0,13e_2 + 0,76f_2 - 0,79g_2$
yhteensä	e_2	0,16	$e_2 = 945,90 + 0,39f_2 + 0,55i_2$
	f_2	0,88	$f_2 = 171,86 + 0,88g_2 + 0,94i_2$
	g_2	0,92	$g_2 = 13,88 + 0,99f_2 - 1,03i_2$
	i_2	0,89	$i_2 = -69,77 + 0,05e_2 + 0,86f_2 - 0,86g_2$

Myös vaihteen YV54–200–1:9 tapauksessa pisteen e selityksaste on selvästi heikoin. Muut yltävät kohtalaisen hyvin selityksasteisiin ja g-mitat yltävät hieman yli 90 % selityksasteeseen. Kaikilla tutkituilla mallinvalintakriteereillä korjattu selityksaste oli kahden desimaalin tarkkuudella sama.

5.2.2.3 Vaihteet YV54–200N–1:9

Myös vaihteen YV54–200N–1:9 mittausdatan analyysi aloitettiin tutkimalla kahden riippumattoman otoksen t-testillä, poikkeavatko mittaustulokset kunnossapitoalueiden välillä tilastollisesti merkitsevästi. Nollahypoteesi mittaustulosten odotusarvojen yhtäsuuruudesta voitiin hyväksyä 10 % riskitasolla 9 pisteessä ja seitsemässä se hylättiin. Ne pisteet olivat a, c_1 , c_2 , c_3 , d_1 , e_1 ja g_2 . Merkitsevyydellä 5 % voitiin hyväksyä pisteet c_1 , e_1 ja g_2 ja merkitsevyydellä 1 % vielä lisäksi piste a. Millään tavanomaisella merkitsevyydellä ei siis voitu hyväksyä nollahypoteesia pisteissä c_2 ja d_1 . Niiden aineisto käsiteltiin erillisenä tilastollisessa analyysissä.

Vaihteita YV54–200N–1:9 oli tutkimusaineistossa yhteensä 190, joista 157 sijaitsi pääraiteella ja 33 sivuraiteella. Vaihteista 135 sijaitsi kunnossapitoalueella 3 ja 55 alueella 9. Akuuttirajojen ylityksiä oli tapahtunut ainoastaan yhdessä vaihteessa ja yhdessä mittauspisteessä kunnossapitoalueella 9. Vaihte sijaitsi pääraiteella ja sen mitta f_1 oli alittanut akuuttirajan yhden millimetrin verran. Mittaustulosten tarkempi jakautuminen toleranssien sisään näkyy pylvädiagrammeissa, jotka ovat liitteessä 7.

Kaikista YV54–200N–1:9 vaihteista noin 35 % ei ylittänyt missään mittauspisteessä kunnossapitotoleransseja. Kunnossapitoalueella 3 sellaisten vaihteiden osuus oli noin 37 % ja alueella 9 osuus oli noin 31 %. Taulukossa 22 on eritelty kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin ja ilmoitettu osuus kaikista vaihteista.

Taulukko 22 Kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin YV54–200N–1:9 vaihteissa.

Mittauspiste	a	b	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁	d ₂
Ylitysten määrä	31	7	30	11	12	2	1	2
Pääraiteessa [%]	45	57	43	45	58	50	0	50
Sivuraiteessa [%]	55	43	57	55	42	50	0	50
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	16	4	16	6	6	1	1	1

Mittauspiste	e ₁	e ₂	f ₁	f ₂	g ₁	g ₂	i ₁	i ₂
Ylitysten määrä	9	23	26	32	8	15	30	33
Pääraiteessa [%]	22	13	27	25	25	40	37	45
Sivuraiteessa [%]	78	87	73	75	75	60	63	55
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	5	12	14	17	4	8	16	17

Kunnossapitotoleranssien ylitykset ovat keskittyneet erityisesti risteysalueen f- ja i-mittoihin sekä kielisovituksen a- ja c₁-mittoihin. Poikkeamien osuus kaikissa mittauspisteissä on kuitenkin alle 20 %, mikä on muihin tutkittuihin vaihteisiin nähden vähiten.

Taulukkoon 23 on laskettu vaihteen YV54–200N–1:9 risteysalueen mitoille Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet. Jälleen paras korrelaatio saadaan mittojen f ja g sekä g ja i välille.

Taulukko 23 Vaihteen YV54–200N–1:9 Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet suoran ja poikkeavan raiteen risteysalueen mitoille.

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet

	e ₁	f ₁	g ₁
f ₁	0,5239		
g ₁	0,3536	0,7568	
i ₁	0,1248	0,0195	-0,5527

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet

	e ₂	f ₂	g ₂
f ₂	0,4946		
g ₂	0,2863	0,6598	
i ₂	0,2115	0,1759	-0,5350

Risteysalueen mittauspisteiden regressioanalyysissä saadut korjatut selitysasteet optimoiduille malleille ovat taulukossa 24. Selitysasteet jäävät 90 % alapuolelle. Pisteesä e selitysaste on jälleen muihin pisteisiin nähden hyvin matala.

Taulukko 24 Vaihteen YV54–200N–1:9 regressioanalyysissä saadut selitysasteet suoralle ja poikkeavalle raiteelle.

Suora raide	Selitysaste	Regressioyhtälö
	e_1 0,28	$e_1 = 725,46 + 0,53f_1 + 0,16i_1$
	f_1 0,85	$f_1 = 129,44 + 0,07e_1 + 0,84g_1 + 0,79i_1$
	g_1 0,89	$g_1 = 42,34 + 0,97f_1 - 0,95i_1$
	i_1 0,75	$i_1 = 39,41 + 0,77f_1 - 0,79g_1$
Poikkeava raide	Selitysaste	Regressioyhtälö
	e_2 0,26	$e_2 = 853,95 + 0,45g_2 + 0,64i_2$
	f_2 0,83	$f_2 = 221,33 + 0,85g_2 + 0,93i_2$
	g_2 0,87	$g_2 = 48,23 + 0,97f_2 - 1,05i_2$
	i_2 0,79	$i_2 = -68,51 + 0,08e_2 + 0,70f_2 - 0,73g_2$

5.2.2.4 Vaihteet KRV54–200–1:9

Vaihteita KRV54–200–1:9 oli tutkimusaineistossa yhteensä 21, joista 3 sijaitsi pääraiteella ja loput 18 sivuraiteella. Vaihteista 13 sijaitsi kunnossapitoalueella 3 ja kahdeksan alueella 9. Näissä vaihteissa ei ollut tapahtunut lainkaan akuuttirajojen ylityksiä.

Uudessa RATO 14-ohjeessa on muutettu j-mittojen nimellisarvo 45 mm:stä 50 mm:iin ja samalla akuuttirajoja on muutettu niin, että alaraja on nykyään 46 mm ja yläraja 55 mm. Tutkittu aineisto on mitattu ennen uuden ohjeen voimaantuloa, joten tutkimuksessa akuuttirajoina on käytetty mittaushetkellä voimassa olleita arvoja. Jos aineistoon kuitenkin sovellettaisiin uusia j-mitan akuuttirajoja, kaikki mittaukset eivät olisi pysyneet akuuttirajojen sisällä. Uuden ohjeen mukaisilla raja-arvoilla j_1 -mitta olisi alittanut akuuttirajan viidessä mittauksessa ja j_2 -mitta kolmessa mittauksessa, vaikka vanhoilla akuuttirajoilla mittaukset olivat pysyneet j-pisteessä rajojen sisällä.

Kunnossapitotoleranssien ylityksiä oli tapahtunut jokaisessa vaihteessa jossakin mitauspisteessä (taulukko 25). Keskimäärin ylityksiä oli lähes yhtä paljon A- ja B-puolella.

Taulukko 25 Kunnossapitotoleranssien ylitykset mittauspisteittäin KRV54–200N–1:9 vaihteissa.

Mittauspiste	a ₁₊₂	b ₁	b ₂	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁	d ₂	j ₁	j ₂
Ylitysten määrä	6	21	19	6	2	4	11	2	4	25	27
A-puolella	2	10	10	2	1	2	7	1	2	12	12
B-puolella	4	11	9	4	1	2	4	1	2	13	15
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	29	50	45	14	5	10	26	5	10	60	64

Mittauspiste	k ₁	k ₂	e ₁	e ₂	f ₁	f ₂	g ₁	g ₂	i ₁	i ₂
Ylitysten määrä	6	7	5	9	6	8	6	4	6	7
A-puolella	4	1	4	4	1	5	5	2	1	5
B-puolella	2	6	1	5	5	3	1	2	5	2
Ylitysten osuus kaikista vaihteista [%]	14	17	12	21	14	19	14	10	14	17

KRV54–200–1:9 vaihteesta oli myös käytössä kahden eri kunnossapitoalueen aineistoa. Lisäksi KRV-vaihteesta koostuu kahdesta puolikkaasta (A- ja B-puoli), jotka ovat peilikuvia toisilleen. T-testillä haluttiin siis selvittää, voiko A- ja B-puolien aineistoja käyttää yhdessä ja voiko eri kunnossapitoalueitten aineistoa yhdistää. Aineiston koko oli kuitenkin hyvin pieni, mikä asettaa rajoituksia t-testin käytölle. Kahden otoksen t-testin yleisen hypoteesin mukaan havainnot ovat molemmissa otoksissa normaalijakautuneita. Testi ei ole kuitenkaan herkkä poikkeamille normaalisuudesta, jos otoskoot ovat riittävän suuria. Testiä on melko turvallista käyttää jopa selvästi vinoille havaintojen jakaumille, jos molempien otosten koko on yli 40. Jos jakaumat eivät ole kovin vinoja ja otosten koot eivät eroa toisistaan kovin paljon, testiä on melko turvallista käyttää, kun otoskoko on 15. (Mellin 2006.)

KRV54–200–1:9 vaihteiden pylväsdiagrammit (liite 8) eivät anna viitteitä siitä, että mittaustulosten jakaumat olisivat lähellä normaalijakaumaa. Normaalioletusta testattiin Shapiro-Wilk-testillä, minkä tuloksena normaalisuusoletus jouduttiin hylkäämään useammassa mittauspisteessä joko toisella puolella tai molemmilla puolilla vaihdetta.

Mannin ja Whitneyyn testi on kahden riippumattoman otoksen t-testin ei-parametrinen vastine. Siinä ei tehdä mitään oletuksia perusjoukon jakaumasta. Mellinin (2006) mukaan Mannin ja Whitneyyn testi on varteenotettava vaihtoehto kahden riippumattoman otoksen t-testille, jos otoskoot eivät ole kovin isoja ja perusjoukot eivät ole normaalijakautuneita. Statistix 9-ohjelmassa ei ole suoraan Mannin ja Whitneyyn testiä, mutta ohjelmassa käytetty Wilcoxonin järjestyslukutesti (eng. Wilcoxon rank sum test) on ekvivalentti Mannin ja Whitneyyn testin kanssa (Mellin 2006).

Wilcoxonin järjestyslukutestillä testattiin ensin, voiko eri kunnossapitoalueiden tuloksia yhdistää. Nollahypoteesina oli, että eri alueiden tulokset noudattavat samaa jakaumaa. Merkitsevyystasolla 10 % nollahypoteesi hylättiin seitsemässä pisteessä, kun mittauspisteiden kokonaismäärä on 42. Nämä pisteet olivat c_1 , c_2 ja c_3 A-puolella sekä c_2 , j_2 , k_2 ja e_2 B-puolella. Merkitsevyystasolla 1 % nollahypoteesi hyväksyttiin kaikissa muissa pisteissä, paitsi pisteessä c_2 B-puolella. Aineistoa käsiteltiin sen perusteella eri kunnossapitoalueiden suhteen yhtenäisenä kaikissa muissa pisteissä.

Wilcoxonin järjestyslukutestillä tarkistettiin myös, voidaanko A- ja B-puolien mittaus-tulokset yhdistää ja käyttäytyvätkö ne tilastollisesti samalla tavoin. Merkitsevyys-tasolla 10 % ainoastaan pisteessä f_1 P-arvo jäi juuri alle vaaditun 0,1. Koska tavan-omaisilla riskitasoilla siinäkin pisteessä voitiin nollahypoteesi hyväksyä, aineistoa käsiteltiin kokonaisuudessaan yhtenäisenä A- ja B-puolien suhteen eli puolien välillä ei ollut tilastollista eroa.

KRV-vaihteissa tutkittiin myös YV-vaihteiden tapaan, miten 1-kärkisen risteyksen mit-tauspisteet korreloivat ja selittävät toisiaan. Aineisto oli YV-vaihteita pienempi, mutta testeillä haluttiin selvittää, saadaanko KRV-vaihteissa samansuuntaisia tuloksia kuin YV-vaihteista, koska käytännössä 1-kärkiset risteykset ovat molemmissa samanlaisia.

Taulukkoon 26 on laskettu aineistosta Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet.

Taulukko 26 Vaihteiden KRV54–200–1:9 Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet.

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet

	e_1	f_1	g_1
f_1	0,3661		
g_1	0,3390	0,7597	
i_1	-0,1038	-0,0381	-0,6292

Pearsonin otoskorrelaatiokertoimet

	e_2	f_2	g_2
f_2	0,3540		
g_2	0,3009	0,7792	
i_2	-0,0173	0,0217	-0,5876

Risteysalueen mittauspisteiden regressioanalyysi tehtiin vastaavalla tavalla kuin YV-vaihteiden tapauksissa. Optimoidun mallin selityksasteet on taulukoitu alla (taulukko 27).

Taulukko 27 Vaihteiden KRV54–200–1:9 regressioanalyysissä saadut selitysasteet.

Selitysaste	Regressioyhtälö
e ₁ 0,11	$e_1 = 771,86 + 0,51f_1$
f ₁ 0,89	$f_1 = 177,89 + 0,88g_1 + 0,80i_1$
g ₁ 0,93	$g_1 = -29,01 + 1,02f_1 - 0,92i_1$
i ₁ 0,85	$i_1 = -12,84 + 0,94f_1 - 0,93g_1$
Selitysaste	Regressioyhtälö
e ₂ 0,08	$e_2 = 802,73 + 0,49g_2 + 0,43i_2$
f ₂ 0,96	$f_2 = 46,71 + 0,97g_2 + 0,94i_2$
g ₂ 0,97	$g_2 = 15,29 + 0,99f_2 - 0,96i_2$
i ₂ 0,93	$i_2 = 16,18 + 0,96f_2 - 0,97g_2$

Selitysasteet ovat siis samansuuntaisia kuin YV-vaihteissakin. Pisteessä e selitysaste on vielä YV-vaihteitakin alhaisempi, mutta toisaalta muissa pisteissä selitysasteet nousevat hieman YV-vaihteissa saatuja suuremmiksikin. Pisteissä g on molemmissa tapauksissa yli 90 % selitysaste.

6 Tulosten analysointi

6.1 Ulkomaiden mittauskäytännöt

Eri maiden vaihteiden kunnossapito-ohjeita tutkittaessa huomattiin, että eroja on niin mittausväleissä kuin mittauspisteissäkin. Erot eivät kuitenkaan olleet kovin suuria ja oletettavasti eri maissa onkin otettu mallia naapurimaista ja muista rautatietekniikassa pitkälle kehittyneistä maista. Varsinkin Euroopan mailla näyttää olevan hyvin samantapaiset käytännöt vaihteiden tarkastuksissa. Tutkituista maista Ruotsi, Norja ja Sveitsi vastaavat olosuhteiltaan hyvin paljon Suomea. Australia otettiin Euroopan ulkopuoliseksi esimerkkikohteeksi, mutta ohjeistuksen erojen vuoksi varsinaisia mitattoleransseja ei voitu verrata.

Australiassa mittauksia tehdään joko kaksi kertaa vuodessa, kerran vuodessa tai kerran kahdessa vuodessa. Tarkastusväliin vaikuttavat liikennöintimuoto (henkilö/tavara) ja kuljetetut bruttotonnit. Ruotsissa tarkastusten määrään vaikuttavat radan nopeus sekä bruttotonnien määrä vuodessa. Tarkastuksia on 1-6 kertaa vuodessa. Norjassa puolestaan tarkastusväli määräytyy radan sallitun nopeuden, pölkkyateriaalin, vaihdetyypin ja vaihteen kaarresäteen perusteella. Tarkastuksia on 2–24 kuukauden välein. Sveitsissä tarkastusväli määräytyy akselipainojen ja liikennöinti-nopeuksien perusteella. Tarkastuksia tulee tehdä eri vaihteille vähintään kerran vuodessa, joka 2., joka 4. tai joka 6. vuosi. Ohjeissa määritetty tarkastusväli on selvästi väljempi kuin muissa tutkituissa maissa, mutta se ei välttämättä kerro koko totuutta. Käytännössä tarkastuksiin ei lasketa ultraäänitarkastuksia, vaihteen yleisiä päällysrakenteen kunnonarviointeja tai kunnossapitotoimenpiteitä. Suomessa tarkastusväliin vaikuttavat rataosuuden luokitus sivu- tai pääraiteeksi sekä pääraiteella suurin sallittu nopeus. Tarkastuksia on enimmillään neljä kertaa vuodessa ja vähintään joka toinen vuosi.

Suomessa tarkastusajankohtia on hieman harvemmin Ruotsiin ja Norjaan nähden, joissa tarkastuksia voi olla jopa kahden kuukauden välein. Toisaalta Liikennevirasto voi määrätä tiettyihin vaihteisiin tarvittaessa tihennetyn tarkastusvälin. Tällaisia vaihteita ovat laskumäkivaihteet, kallistetut kaarrevaihteet sekä pääraidevaihteet, joissa ajetaan lähinnä vain poikkeavan raiteen kautta (Liikennevirasto 2013).

Tarkastusväli määräytyy eri maissa erilaisin perustein, mutta tyypillisesti siihen vaikuttavat radan nopeus ja kuljetusmäärät. Suomessakin voisi olla perusteltua suunnitella tarkastusväliä niin, että radan kuormitus ottaa paremmin huomioon. Kuormitus kuitenkin ratkaisee hyvin pitkälle, kuinka nopeasti vaihde kuluu. Akselipainot eivät välttämättä kuvaa riittävän hyvin vaihteen kuormitusta, sillä vaihteen kokonaiskuormitus ja käyttömäärät ovat ratkaisevampia. Kuljetetut bruttotonnit Ruotsin tapaan voisivat olla mukana tarkastusvälin määräytymisessä. Koko tarkastusvälin määrittämistä ei ole tarpeen muuttaa, mutta tihennettyjä tarkastusvälejä voitaisiin määrätä tietyn kuljetetun bruttotonnimäärän mukaan. Ruotsissa on käytetty kunnossapitoluokkien rajana 8 milj. bruttotonnia vuodessa. Vastaavan suuruinen raja voisi toimia Suomessakin ainakin vuoden 2011 bruttotonnien määrän perusteella. Silloin kuormitetuimmilla rataosilla kuljetettiin yli 20 milj. bruttotonnia vuodessa, kun taas vähiten kuormitetuilla rataosilla jäätiin alle yhteen miljoonaan bruttotonniin (Liikennevirasto 2012d).

Mittauspisteissä on varsinkin Pohjoismaiden välillä melko vähän eroja. Tyypillisesti erot johtuivat siitä, että muissa maissa mitattiin enemmän laippaurien leveyksiä, kun taas Suomessa suurin osa mitoista on raideleveyksiä. KRV-vaihteen tapauksessa Sveitsi erottui selvästi vähäisemmällä mittauspisteiden määrällä muihin tutkittuihin maihin nähden.

Haastatteluissa kyseenalaistettiin tarvetta akuuttirajoille kaikissa risteysalueen mittauspisteissä eli lähinnä g- ja i-mitoissa. Ruotsissa risteysalueella ei ollut määritetty siipi- ja kärkikiskon väliselle laippauralle, eli Suomessa i-mitalle, akuuttirajaa. Muissa risteysalueen mittauspisteissä akuuttiraja oli annettu. Uudessa RATO 14-ohjeessa on ohjeistusta muutettu niin, että g- ja i-mitat voidaan jättää mittaamatta, jos f- ja e-mitat täyttävät toleranssivaatimukset (Liikennevirasto 2013).

Tutkituissa maissa on käytetty eri etäisyyksiä risteyskärjen mittaukseen, mikä onkin lähinnä määrittelykysymys. Suomessa ohjeen mukainen etäisyys on 150 mm, Ruotsissa se on 200 mm, Norjassa 30 mm ja Sveitsissä 300 mm. Ainakin Suomessa 150 mm etäisyys perustuu mittaajan omaan arvioon, minkä vuoksi todellinen mittaushetki voi inhimillisistä syistä erota ohjeen mukaisesta. Käytännössä oikean kohdan mittaaminen erillisellä mitalla jokaisen risteyskärjen kohdalla hidastaisi työtä. Jos halutaan, että mittaukset ovat juuri oikealta etäisyydeltä risteyskärjestä, pitäisi itse vaihdemittaan saada 150 mm ohjain, josta oikean kohdan voisi tarkistaa. Toinen vaihtoehto on merkitä oikea etäisyys esimerkiksi kiskon jalkaan vaihdehallissa ennen asennusta. Kärjen kuluminen vaikuttaa lisäksi mitan asettamiseen, mikä vaikeuttaa oikean kohdan löytymistä.

6.2 Mittauspöytäkirjat

Tilastollisen tutkimuksen tuloksissa käsiteltiin mittauspöytäkirjoja kolmelta kunnossapitoalueelta. Tutkittuja vaihteita oli

- YV60–300–1:9 120 vaihdetta ja 123 mittausta
- YV54–200–1:9 190 vaihdetta ja mittausta
- YV54–200N–1:9 191 vaihdetta ja 194 mittausta
- KRV54–200–1:9 22 vaihdetta ja 25 mittausta

Yhteensä tutkittujen vaihteiden määrä oli siis 523 ja niistä oli 532 mittausta. Ero selittyy sillä, että kolmesta vaihteesta oli käytössä neljä mittausta, kun taas lopuista vaihteista oli vain yksi mittausta joka vaihteesta.

Kunnossapitoalueen 6 vaihteista oli käytössä neljä eri mittausta, minkä vuoksi tutkittiin myös mittaustulosten vaihtelua vuoden aikana. Mittauskertojen ja mitattujen vaihteiden määrä oli kuitenkin niin pieni, että tuloksista ei voida tehdä tilastollisesti luotettavia päätelmiä. Jos aineistoa olisi ollut huomattavasti enemmän ja pidemmältä ajanjaksolta, olisi aikasarjojen avulla voinut tutkia mittaustulosten pitkän ajan kehitystä.

Koko aineistossa noin 6 % mittauksista ei pysynyt akuuttirajojen sisällä vaihteissa YV60–300–1:9 ja YV54–200–1:9. Vaihteista YV54–200N–1:9 ja KRV54–200–1:9 vain yksi vaihde ei pysynyt akuuttirajojen sisällä. Aineiston perusteella akuuttirajojen kanssa ongelmia oli siis eniten vaihteissa YV60–300–1:9 ja YV54–200–1:9. Taulukon 28 on kerätty yhteenvetona kaikki akuuttirajojen ylitykset ja alitukset tutkituissa

vaihteissa mittauspisteittäin. Vaihteissa KRV54–200–1:9 akuuttirajojen ulkopuolelle jääneet tulokset olivat kaikki samassa vaihteessa.

Taulukko 28 Akuuttirajojen ylitykset ja alitukset vaihteittain ja mittauspisteittäin.

Mittauspisteet YV / KRV	Vaihteet			
	YV60–300–1:9	YV54–200–1:9	YV54–200N–1:9	KRV54–200–1:9
a				
b				
c ₁		ylitys		
c ₂		ylitys		ylitys
c ₃				
c ₄	alitus	ylitys		
d ₁				
d ₂		ylitys		
e ₁				
e ₂	ylitys	ylitys		
f ₁	alitus	alitus	alitus	alitus
f ₂	alitus	alitus		alitus
g ₁		alitus / ylitys		
g ₂	ylitys	ylitys		
i ₁				
i ₂	alitus			
Vain KRV:ssä				
a ₁				
a ₂				
b ₁				alitus
b ₂				alitus
j ₁				
j ₂				
k ₁				
k ₂				
Vaihteesta ei mitata kyseisiä mittoja				

Taulukossa 29 on eroteltu akuuttirajojen ylitykset ja alitukset mittauspisteittäin sekä niiden kokonaismäärä. Kahdessa mittauspisteessä, c₄ ja g₁, oli tapahtunut sekä ylityksiä että alituksia. Pisteessä g₁ toinen mittauksista oli ylittänyt ja toinen alittanut akuuttirajan. Pisteessä c₄ akuuttiraja oli alittanut kaksi kertaa vaihteessa YV60–300–1:9 ja ylittänyt neljä kertaa vaihteissa YV54–200–1:9. Tuloksista voidaan havaita, että vaihteissa YV60–300–1:9 raideleveys kapenee kielen kannan alueella ja puolestaan vaihteissa YV54–200–1:9 levenee. Viimeksi mainituissa vaihdetyypissä käytetään poikkeavalla raiteella raideleveyden levennystä, joka voi selittää vaihtelun.

Kaikista vaihteista vähiten akuuttirajojen sisällä oli pysynyt mitta f_1 , mutta kaikkiaan yhdeksästä alituksesta kuusi sijaitti samassa KRV54–200–1:9-vaihteessa, joka oli mitattu neljä kertaa, mutta virhettä ei ollut korjattu näiden kertojen välillä. Tässä huomataan aineiston koon rajoitteet. Koska akuuttirajojen ylittäviä vaihteita oli vähän, vaikuttaa yhdenkin hyvin huonokuntoisen vaihteen tulos merkittävästi lopputulokseen. Jos f_1 -pisteestä vähennetään kyseisen KRV-vaihteen toleranssien alitukset, jäljelle jää enää kolme alitusta. Siinä tapauksessa c_2 ja c_4 -pisteissä olisi tapahtunut eniten akuuttirajojen ylityksiä. Taulukosta nähdään, että poikkeavan raiteen mitat ovat ylittyneet selvästi enemmän kuin suoran raiteen. Poikkeamia akuuttirajoista on tapahtunut niin kielisovituksessa, välikiskoalueella kuin risteys-vastakiskosovituksessakin, jossa poikkeamia on eniten.

Taulukko 29 Akuuttirajojen ylitysten ja alitusten kokonaismäärä mittauspisteittäin.

Mittaus- piste	Ylitys	Alitus	Ylitys ja alitus	Ylityksiä / alituksia yhteensä
c_1	x			1
c_2	x			7
c_4			x	6
d_2	x			3
e_2	x			3
f_1		x		9*
f_2		x		4
g_1			x	2
g_2	x			3
i_2		x		2
Vain KRV				
b_1		x		4
b_2		x		4

* Akuuttirajojen alituksista kuusi sijaitti samassa KRV-vaihteessa

Kunnossapitotoleranssien poikkeamat osoittivat myös vastaavia tuloksia. Niissä oli niin ylityksiä kuin alituksiakin, mutta suurimmassa osassa mittauspisteitä kunnossapitotoleranssit ylittyivät useammin kuin alittuivat. Toleranssien alituksia oli f- ja i-pisteissä, kuten akuuttirajojenkin kohdalla. Pisteiden d_1 tulokset olivat lähes aina kaikkien toleranssien sisällä. Pisteessä oli vain muutama kunnossapitotoleranssien alitus, kun otetaan huomioon kaikki tutkitut vaihteet.

Kahden riippumattoman otoksen t-testin mukaan vaihteen YV60–300–1:9 mittaustuloksissa ei ollut tilastollista eroa kunnossapitoalueiden välillä, mikä oli myös alkuperäinen oletus. Kaikki mittaustulokset voitiin hyväksyä jollakin tavanomaisella riskitasolla. Puolestaan vaihteen YV54–200–1:9 mittaustuloksissa oli t-testin mukaan tilastollista eroa kunnossapitoalueiden välillä pisteissä c_1 , g_2 ja i_2 , kun taas vaihteen YV54–200N–1:9 mittaustuloksissa oli tilastollista eroa pisteissä c_2 , c_3 ja d_1 . Kyseessä olivat siis eri mittauspisteet eri vaihdetyypeissä eivätkä akuuttirajojen ylityksetkään

selittäneet ilmiötä. Akuuttirajojen ylityksiä sisältäneistä tuloksista saatiin sekä suuria että pieniä P-arvoja. Aineisto ei ollut kovin hyvin normaalijakaumaa muistuttava pylväsdiagrammien (liitteet 5, 6, 7 ja 8) perusteella, mutta pylväsdiagrammit eivät olleet t-testin hylkäämissä pisteissä selvästi muista mittauspisteistä poikkeavia.

KRV-vaihteissa kunnossapitoalueiden eroja tutkittiin aineiston pienen koon vuoksi eri menetelmällä kuin YV-vaihteita. Niiden tutkimiseen käytettiin Wilcoxonin järjestyslukutestiä. Sen perusteella kunnossapitoalueiden välillä oli eroa vain pisteessä c_2 , kun muut pisteet voitiin hyväksyä jollakin tavanomaisella riskitasolla. Vaihteen A- ja B-puolien mittaustulosten välillä ei havaittu testin perusteella tilastollista eroa. Aineiston perusteella siis A- ja B-puolet näyttävät kuluvan samalla tavalla.

Suurempi otoskoko olisi vähentänyt yksittäisten mittausten painoarvoa ja parantanut testien luotettavuutta. Molemmissa kunnossapitoalueissa oli vaihteita mitannut useampi henkilö ja myös niissä vaihteissa, joissa akuuttirajojen ylityksiä oli, mittaajana oli eri henkilöitä. Systemaattisesta mittaajasta johtuvasta virheestä ei siis todennäköisesti ollut kyse. Mittaukset ovat kuitenkin herkkiä olosuhteille ja esimerkiksi talvela lumi ja jää voivat muuttaa mittaustulosta, jos vaihdetta ei ole puhdistettu kunnolla. Akuuttirajojen ylityksiä oli tapahtunut sekä talvi- että kesämittauksissa.

Mittalaitteet ovat nykyään pääosin kenttätietokoneella varustettuja digitaalisia mittareita, jotka kirjaavat tulokset automaattisesti. Mittaajan ei silloin tarvitse lukea tulosasteikolta ja kirjata sitä itse, jolloin inhimillisten virheiden riski tiedonsiirrossa vähenee. Tarkkaa tietoa käytetyistä mittalaitteista ei ole, mutta mittaukset olivat saman yrityksen tekemiä ja käytetyt laitteet olivat samantyyppisiä digitaalisia mittalaitteita. Koska mittaustulokset olivat suurimmassa osassa mittauspisteitä tilastollisesti yhteneviä kunnossapitoalueiden välillä, ei voida sen perusteella sanoa, että erot yksittäisissä pisteissä voisivat olla mittalaitteista johtuvia.

Yksi selitys eroille mittaustuloksissa on myös, että toisella alueella vaihteet saattavat olla keskimäärin vanhempia tai kuormitetumpia ja siten kuluneempia kuin toisella alueella. Liikenneviraston vaihteiden hallintaraportin (2010b) mukaan kunnossapitoalueella 9 on selvästi suurempi vaihteiden vaihtotarve. Alueen 3 vaihteista suurin osa on asennettu vuoden 1990 jälkeen, kun taas alueella 9 on huomattavan paljon 1970-luvulla tai sitä ennen asennettuja vaihteita. Akuuttirajan ylittäneistä vaihteista yksikään ei ollut raportissa merkitty vuosien 2010–2015 välisenä aikana vaihdettavaksi. Vaihtotarve perustuu kunnossapitäjän vaihteelle antamiin virhepisteisiin.

Kaikille 60E1-vaihteille oli raportissa annettu asennusvuosi ja arvioitu vaihtovuosi. Luettelosta voitiin nähdä tutkittujen YV60–300–1:9 vaihteiden arvioidut vaihtovuodet. Akuuttirajan ylittäneissä vaihteissa arvioidut vaihtovuodet olivat välillä 2021–2026, joten näiden vaihteiden akuuttirajan ylityksissä ei ollut kyse koko vaihteen loppuun kulumisesta. Vanhin niistä oli asennettu 1992 ja uusin vasta 2009. Vaihteet olivat sepelitukikerroksellisia ja betonipölkkyisiä kahta vaihdetta lukuun ottamatta, joissa oli käytetty kovapuupölkkyjä.

Akuuttirajat ylittäneet vaihteet YV54–200–1:9 oli asennettu vuosina 1975–2004. Suurin osa niistä oli asennettu 1990-luvulla. Kaikki vaihteista oli asennettu kierrätettyinä nykyisille paikoilleen ja pölkkyinä oli käytetty puupölkkyjä ja K-kiinnitystä. Tuki-kerrosmaterinaalina oli sekä sepeliä että soraa.

Yksinkertaisissa vaihteissa akuuttirajojen ylitykset jakautuivat kunnossapitoalueella 3 melko tasan vaihteen eri osille, kuitenkin ne painottuivat hieman risteysalueelle. Kunnossapitoalueella 9 yhtä akuuttirajan ylitystä (piste c_2) lukuun ottamatta kaikki ylitykset olivat risteysalueella. Akuuttirajojen ylityksiä tai alituksia oli yhteensä yhdeksän, seitsemässä eri mittauspisteessä (c_2 , e_2 , f_1 , f_2 , g_1 , g_2 ja i_2) ja kuudessa eri vaihteessa. Määrä on melko vähäinen, mutta aineiston perusteella näyttää siltä, että kunnossapitoalueella 9 vaihteiden ongelmat keskittyvät risteykseen. Syynä voivat olla vaihteiden ikä ja kova kuormitus tai erilaiset kunnossapitokäytännöt.

Aineistosta tutkittiin myös regressioanalyysin ja otoskorrelaation avulla, kuinka hyvin 1-kärkisen risteuksen neljä mittaa (e, f, g ja i) selittävät toisiaan tilastollisesti ja voisiko tällä perusteella esittää, että kaikkia pisteitä ei olisi tarpeen mitata tai määrittää akuuttirajaa niille. Mitta f on teoriassa sama kuin g- ja i-mittojen summa, mutta mitalaite pyöristää tuloksen tasalukuun, minkä vuoksi summa ei aina päde. Siksi korrelaatiot ja selitysasteet eivät olleet kovin korkeita, vaikka käytännössä niiden tulisi olla. Parhaiten keskenään korreloivat pisteet f ja g sekä g ja i keskenään. Pisteiden f ja i välille ei sen vuoksi saada hyvää korrelaatiota, koska i-mitassa eivät näy vastakiskossa tapahtuneet muutokset, joita taas f- mitta indikoi.

Käytännössä kolmen mitan avulla voidaan mitata koko risteysalue. Mitta e on tärkeä mitattava, koska se on ainoa mitoista, joka mittaa vastakiskon tukikiskon sijaintia. Yhdessä mitat f ja e eivät kerro siipikiskon kuluneisuutta, minkä vuoksi pitäisi mitata myös mitta i. Toisaalta jos mitataan e ja i, voidaan valita kolmanneksi mitaksi joko f tai g, koska ne molemmat mittaavat vastakiskon sijaintia, mitä muut mitat eivät kerro.

Nykyisen RATO 14-ohjeen mukaan pisteitä g ja i ei tarvitse mitata, jos e ja f pysyvät akuuttirajojen sisällä. Jos kuitenkin g- ja i-mitoissa havaitaan silmämääräisesti poikkeama, ne tulee mitata. (Liikennevirasto 2013.) Akuuttirajat poikkeavat risteysalueen mittauspisteiden välillä eli nimellisarvon ja akuuttiarvon erotus eri pisteissä on erisuuruinen. Sen vuoksi on mahdollista, että e- ja f-mitat pysyvät juuri akuuttirajan sisällä, mutta g- tai i-mitta ylittää akuuttirajan. Toisaalta kovin suuresta ylityksestä ei voi olla kyse tai muuten se näkyisi jo e- tai f-mitassa.

6.3 Haastattelut

Vaihteiden asennuksessa pohjatyöt on tehtävä huolellisesti, jotta vaihde ei painu epätasaisesti ja geometria säilyy muuttumattomana. Erityisesti tasaus- ja tiivistystyö vaatii huolellisuutta. Asennuksessa kriittisimpiä työvaiheita ovat kuormaus ja purku, joissa vaihteiden mitoissa voi tapahtua muutoksia. Nostotekniikkaa ja kalustoa tulisi kehittää tulevaisuudessa, jotta mittavirheitä vältetään.

Akuuttirajojen ylitykset ovat lisääntyneet viime vuosina mahdollisesti kunnossapidon kilpailutuksen myötä. Tavallisesti toleranssien ylitykset johtuvat vaihteen kulumisesta. Muutamassa tapauksessa on ollut kyse myös valmistusvirheestä. Liikennekuormitus kasvattaa selvästi toleranssien ylitysten määrää varsinkin puupölkkyisillä vaihteilla, minkä vuoksi tiheästi liikennöidyillä rataosilla tulisi käyttää betonipölkkyjä. Risteuksen kärki ja vastakiskot kuluvat helposti, mikä vaikuttaa jokaiseen neljään risteysmittaan. Rungas poikkeavan raiteen liikenne kuluttaa vaihdetta enemmän kuin suoraan ajava, mikä näkyy poikkeamina poikkeavan raiteen mitoissa. Akuuttirajojen yli-

tyksiä on esiintynyt myös turvavaihteissa, joiden poikkeavia raiteita ei käytetä normaaliliikenteessä.

Akuuttirajojen muuttaminen jakoi mielipiteitä haastateltavien keskuudessa. Kukaan haastateltavista ei nähnyt tarvetta tiukentaa rajoja, mutta osa piti niitä sopivana nykyisellään ja osa olisi valmis rajoja hieman väljentämään. Ongelmana nähtiin se, että kunnossapitäjät eivät vielä puuttuneet kunnossapitotoleranssien ylitykseen vaan toimenpiteet aloitettiin vasta sitten, kun akuuttiraja ylittyi. Kunnossapitotoleranssien ohjeistukseen toivottiin tarkennuksia. Toisaalta kunnossapitäjät myös korostivat ammattitaitoaan arvioida vaihteen kuntoa ja sen liikennöitävyyttä turvallisesti.

Suurin osa haastateltavista piti mittauspisteiden määrää sopivana, mutta joidenkin mielestä 1-kärkisessä risteyksessä g- ja i-mittojen mittaaminen ei ollut olennaista. KRV-vaihteiden mittauspisteiden määrän takia haastava mitattava. Risteyksen kärjen mittauspisteen ohjeistusta pidettiin epätarkkana, koska ohjeissa ei mainita, mistä kohtaa viistetty kärkeä mitataan. Toisaalta mitan arvioiminen perustuu muutenkin silmämääräisyyteen, minkä vuoksi kohta vaihtelee hieman mittauksesta toiseen.

Mittausväliin toivottiin enimmäispituutta, jotta mittaukset jakautuisivat tasaisemmin koko vuodelle, mutta muuten mittausstiheyteen oltiin melko tyytyväisiä. Talvella mitaus on lumen ja jään vuoksi haastavaa, mutta vaihteiden kuntoa on seurattava siitä huolimatta myös talvikuukausina. Alueisännöitsijä toivoi tiheämpää mittausväliä vaihteisiin, joiden poikkeavat raiteet ovat hyvin raskaasti kuormitetut ja vaihteet voivat kulua lähelle akuuttirajoja jo ennen seuraavaa tarkastusta.

6.4 Luotettavuus

Kirjallisuustutkimuksessa käytettiin sekä kansainvälisesti julkaistuja tieteellisiä artikkeleita, oppikirjoja sekä Liikenneviraston ja ulkomailla rautateitä hallinnoivien yritysten ohjeita ja määräyksiä. Tutkimusten tulokset täsmäsivät keskenään ja haastatteluissa ilmennyt empiirinen tieto tuki myös tuloksia. Suomalaisia vaihtealan julkaisuja on hyvin vähän, minkä vuoksi suomalainen kirjallisuutta ei voitu käyttää enempää. Haastatteluilla voitiin kuitenkin täydentää puuttuvaa tietoa suomalaisesta vaihdetekniikasta.

Asiantuntijahaastatteluissa saatiin perustietoa vaihteiden kunnossapidosta, mikä täydensi kirjallisuustutkimusta osaltaan. Toisaalta haastatteluisten tuloksista suurin osa perustuu haastateltavien henkilökohtaisiin näkemyksiin, joihin ei ole olemassa varsinaista totuutta. Haastateltavat henkilöt valittiin mahdollisimman laaja-alaisesti, jotta eri näkökulmat tulevat esille.

Aineiston koko jäi kaikilla vaihdetyypeillä alle viidennekseen koko Suomen rataverkon vaihteiden määrästä. Akuuttirajojen ylityksiä tai alituksia oli enintään noin viidessä prosentissa tutkituista vaihteista, minkä vuoksi lähtöaineisto tilastolliseen analyysiin ei ollut kovin kattava. Aineiston koko täytti kuitenkin tilastollisen testauksen laatu-kriteerit, mutta kattavampi otoskoko parantaisi tulosten luotettavuutta ja vähentäisi satunnaisvaihtelun vaikutusta.

6.5 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimuksessa voitaisiin vertailla eri urakoitsijoiden mittauksia isommasta aineistosta, jotta nähtäisiin, onko mittalaitteissa selviä eroja. Samalla selviäsi, onko tarpeen määrätä tarkemmin mittalaitteiden vaatimuksista vai annetaanko urakoitsijoiden jatkossakin valita itse, minkälaisia laitteita he mittauksissaan käyttävät.

Tutkimusta voitaisiin hyvin myös jatkaa laajemmalla aineistolla, joka koostuisi kaikista kunnossapitoalueista ja vaihteista olisi tuloksia useammasta mittauksesta. Lisäksi voitaisiin tutkia myös muita vaihdetyyppejä, jotka on jätetty tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Analyysiä voitaisiin laajentaa myös ottamalla huomioon myös vaihteeseen tehdyt kunnossapitotoimenpiteet, liikennemäärät, kuormitus sekä vaihteen ikä. Näin saataisiin alueelliset erot paremmin esiin ja nähtäisiin, miten kunnossapitoa kannattaisi edelleen kehittää, jotta vaihteiden kunto säilyisi niin turvallisuuden kuin taloudellisuuden kannalta hyvänä. Tässä tutkimuksessa ei saatu selville, kuinka paljon tapahtuu sellaista, että akuuttiraja ylittyy mittauksesta toiseen. Aineistolla, joka koostuu useista peräkkäisistä mittauksista, voitaisiin sitäkin tutkia.

Koko maan kattavasta aineistosta voitaisiin rakentaa tilastollinen työkalu vaihteen kunnan kehittymisen seurantaan. Työkalun avulla voitaisiin seurata kootusti koko Suomen vaihteiden kehitystä ja tehostaa valvontaa tarvittaessa alueellisesti. Muuttujina työkalussa tulisi ottaa huomioon alueelliset erot liikenteessä ja kuormituksessa.

7 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset

Diplomityössä tutkittiin vaihteen mittaamista ja akuuttirajoja. Tarkasteltaviksi valittiin Suomessa tyypillisesti käytetyt vaihteet YV54–200–1:9, YV54–200N–1:9, YV60–300–1:9 ja KRV54–200–1:9. Tavoitteena oli selvittää vaihteen toiminnan kannalta kriittisimmät mitat ja syitä akuuttirajojen ylittymiseen. Lisäksi kunnossapitäjien mittauspöytäkirjojen avulla tutkittiin, missä vaihteen osissa mitat eivät pysyneet akuuttirajojen sisällä ja onko mitta-arvojen välillä riippuvuuksia. Mittausaineisto koostui kunnossapitotarkastusten yhteydessä tehdyistä kuormittamattoman tilan mittauksista, jotka on tehty käsikäyttöisillä mittalaitteilla. Raiteentarkastusvaunun mittaus tulokset rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimusmenetelmiä olivat kirjallisuustutkimus, asiantuntijahaastattelut sekä mittauspöytäkirjojen tilastollinen analysointi ja tulkinta. Kirjallisuustutkimuksella saatiin yleistietoa tutkituista vaihdetyypeistä, vaihteiden tarkastuksista ja kunnossapidosta sekä kansainvälistä tutkimustietoa vaihteiden kulumiseen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi verrattiin neljän eri maan kunnossapitokäytäntöjä ja selvitettiin, kuinka usein ja missä mittauspisteissä ulkomailla vaihteita mitataan. Mittausdataa oli käytössä kolmelta eri kunnossapitoalueelta yhteensä 532 mittausta.

Akuuttirajat on määritetty erikseen jokaiselle vaihdetyypille ja mittauspisteelle. Lähtökohtaisesti mittausten tulisi pysyä akuuttirajojen sisällä. Jos kuitenkin jokin mitta ylittää akuuttirajan, liikenne tulee määräysten mukaan keskeyttää. Akuuttirajojen ylityksiä tapahtuu, kun kalusto kuormittaa vaihdetta riittävän kauan, mikä aiheuttaa kulumista ja siirtymiä. Ne näkyvät puolestaan mittauksissa poikkeamina perusarvoista. Vaihteen kuntoon vaikuttavat pääosin

- raskaan liikenteen määrä erityisesti poikkeavalle raiteelle,
- kaluston pyörien kunto ja liikennöintinopeus,
- tukikerroksen materiaalin ja asennuspohjan laatu,
- pölkkyjen materiaali ja kunto,
- kiinnitystapa ja kiinnitysosien kunto sekä
- kunnossapidon toimenpiteet.

Akuuttirajojen ylitykset kertovat kuluneista vaihteista, jotka vaativat pikaista kunnostusta, osien vaihtoa tai jopa koko vaihteen vaihtamista. Mittaustulosten perusteella ei voida sanoa, missä kunnossapito on onnistunut parhaiten, sillä hyvät mittaustulokset voivat johtua hyvän kunnossapidon lisäksi siitä, että vaihteet ovat uusia tai niitä ei kuluta liikenne paljon, jolloin niiden mittaukset antavat todennäköisemmin parempia tuloksia.

Akuuttirajojen ja kunnossapitotoleranssien ylityksiä ja alituksia tutkittaessa havaittiin, että yksinkertaisessa vaihteessa suurimmassa osassa mittauspisteistä toleranssit ylittyivät eli raideleveys pyrki levenemään. Raideleveyden leventyminen ei ole yleensä yhtä kriittistä kuin kaventuminen, koska junan pyörät ovat itsessään melko leveät. Kaventuminen aiheuttaa laippakosketuksia ja voimakasta kulumista kiskoon ja junan pyöriin. Täytyy kuitenkin muistaa, että toleranssit ovat laajemmat ylärajaltaan eli raideleveys saa leventyä selvästi enemmän kuin kaventua ennen kuin se katsotaan toleranssin ylitykseksi. Mitoista f ja i tyypillisesti alittivat toleranssin, kun taas muissa mitoissa oli enemmän ylityksiä kuin alituksia. Tutkitussa aineistossa d₁-mitta pysyi parhaiten toleranssien sisällä. Muita varsin hyvin toleranssien sisällä pysyneitä mitto-

ja olivat d_2 ja e_1 , joissa mitat olivat pysyneet kunnossapitotoleranssien sisällä yli 95 % mittauksista.

KRV-vaihteissa mittauspisteitä on YV-vaihteita enemmän ja tutkimuksessa aineistokoko oli hyvin pieni YV-vaihteisiin nähden. KRV-vaihteissa akuuttirajoissa oli tapahtunut yksi ylitys pisteessä c_2 sekä pisteissä f_1 , f_2 , b_1 ja b_2 akuuttirajan alitus. Kaikki poikkeamat akuuttirajoista olivat tapahtuneet samassa vaihteessa. KRV-vaihteissa analysoinnin ongelmana olikin aineiston pieni koko. Kunnossapitotoleranssit olivat ylittyneet eniten mittauspisteissä j ja b molemmin puolin vaihdetta ja vähiten pisteissä c_2 ja d_1 .

Akuuttirajojen ja kunnossapitotoleranssien poikkeamien perusteella voidaan poikkeavan raiteen mittoja pitää vaihteen kriittisimpinä mittoina. Vaihteen osista kriittisin on risteysalue akuuttirajojen ylitysten perusteella.

Yksinkertaisen vaihteen 1-kärkisessä risteyksessä pisteet f ja g sekä g ja i korreloivat parhaiten keskenään. Toisaalta mitta e ei korreloinut hyvin minkään muun mitan kanssa. Käytännössä koko risteysalue voidaan mitata kolmen mitan avulla. Nämä mitat ovat e ja i sekä f tai g , koska f ja g molemmat mittaavat vastakiskon sijaintia. Sen vuoksi niistä molempia ei välttämättä tarvitse mitata. Nykyisen ohjeistuksen mukaan pisteitä g ja i ei tarvitse mitata, jos e ja f pysyvät akuuttirajojen sisällä. Silloin on periaatteessa mahdollista, että e - ja f -mitat pysyvät akuuttirajan sisällä, mutta g - tai i -mitta ylittää oman akuuttirajansa. Kyse on silloin korkeintaan muutamasta millimetristä, minkä vuoksi riski ei ole kovin merkittävä.

Joskus tulevaisuudessa siirrytään mahdollisesti automaattiseen vianhallintajärjestelmään, jossa monitorein seurataan vaihteen kuntoa. UIC:n Innotrack-tutkimusohjelmassa on jo tutkittu mahdollisuuksia vian automaattista tunnistusta, mutta siitä tuskin tulee vallitseva käytäntö pitkään aikaan. Tarkastusväli on nykyään määritelty konservatiivisen näkemyksen mukaan, kuinka pitkäksi aikaa vaihteen voi jättää tarkastamatta. Silloin mukana on aina myös ”turhia” tarkastuksia. Lisäksi työntekijät altistuvat radalla työskennellessään riskille tapaturmista, joita voitaisiin vähentää menemällä radalle vain tarpeen vaatiessa.

Haastatteluiden perusteella tarkastusväli kaipaasi tarkentamista niin, että välille määrättäisiin maksimipituus. Uudessa RATO 14 -ohjeessa ongelmaan onkin puututtu ja tarkastusväleille on määrätty maksimipituus.

Sekä haastatteluissa että varsinaisessa mittauspöytäkirjojen analysoinnissa kävi ilmi, että mittauspöytäkirjat ovat nykyisin kunnossapitäjän hallussa. Ongelmia voi aiheutua esimerkiksi silloin, jos kunnossapitourakoitsija vaihtuu eikä uudella urakoitsijalla ole käytössään vanhoja mittauksia. Selkeintä olisi, jos kaikki urakoitsijat tallentaisivat mittaustulokset samaan tietokantaan, johon myös Liikennevirastolla ja alueisännöitsijöillä olisi käyttöoikeus. Kunnossapitäjän vaihtuessa uusi urakoitsija saisi oikeudet aikaisempiin mittaustuloksiin. Uuteen ohjeeseen on lisätty määräys, että kunnossapitosopimuksen päättyessä vaihteentarkastuspöytäkirjat tulee toimittaa Liikennevirastolle (Liikennevirasto 2013).

Aikaisemman ohjeen mukaan kunnossapitäjän tuli säilyttää mittaustuloksia vähintään neljän viimeisen tarkastuksen ajalta. Tarkastustiheys voi kuitenkin olla neljäkin kertaa vuodessa, mikä tarkoittaa, että mittauksia saattaa olla vain yhden vuoden ajalta. Koska tutkimuksessakin kävi ilmi, että joissakin vaihteissa poikkeamaa akuutti-

rajasta ei ollut korjattu näiden neljän mittauksen aikana, olisi tarpeen nähdä myös mittauksia pidemmältä aikaväliltä. Uudessa ohjeessa säilytysvelvollisuutta on pidentetty kahteen vuoteen ja sivuraidevaihteissa edelliseen mittaukseen, vaikka siitä olisi kulunut yli kaksi vuotta (Liikennevirasto 2013).

Liikenneviraston tulisi ohjeistuksessaan määritellä selvemmin kunnossapitotoleranssien merkitys, jotta kunnossapitäjät panostaisivat vaihteen korjaukseen aiemmin. Nykyisin vikoihin puututaan monesti vasta siinä vaiheessa, kun mitta on lähellä akuuttirajaa tai jo sen ylittänyt.

Haastatteluissa kävi ilmi, että monet mittaajat ovat hyvin kokeneita, mutta monet ovat myös jo jääneet tai jäämässä lähivuosina eläkkeelle. Urakoitsijoiden kannattaisikin kiinnittää erityistä huomiota siihen, että nuoret kunnossapitäjät pääsevät oppimaan mittaustyötä asiantuntijoiden opastuksella ennen kuin tietotaito katoaa eläköitymisen vuoksi. Kunnossapitourakoitsijoiden kannattaa järjestelmällisesti kehittää ja ylläpitää perehdytys- ja koulutusjärjestelmäänsä. Myös Liikennevirasto voisi tukea sisäistä kouluttamista antamalla lisäpisteitä siitä tarjouspyynnöissä esimerkiksi laatu- ja järjestelmän osana.

Vaihteen välikiskoalueella ja poikkeavan raiteen raidelevyden mittauksessa leveys mitataan ohjeen mukaan useasta mittauspisteestä ja suurin poikkeama kirjataan. Koko vaihteen mittaus onnistuisi jatkuvamittauslaitteella, joka mittaa 5 mm välein. Haastatteluissa kävi ilmi, että sitä on jo kokeiltukin vaihteiden mittauksissa, mutta sen käyttö on liian hidasta kaikkein vilkkaimmin liikennöidyissä vaihteissa. Mittalaitteen avulla saataisiin vaihteesta raiteentarkastusvaunumittausten tapaan jatkuvaa dataa pistemäisen sijaan. Jatkuvamittauslaite voisi olla toimiva joillakin rataosuuksilla, joissa riittävä työrajo mahdollistaisi sen käytön.

Liikenneviraston julkaisussa Technical specifications for 54E1 and 60E1 railway turnouts sanotaan, että kaikki vaihteen vaakamitat määritetään raidelevyden referenssisitasosta, eli 14 +/- 1 mm kulkupinnan alapuolella, ellei linjakuviossa toisin esitetä (Liikennevirasto 2010a). Saman määräyksen voisi lisätä myös RATO 14 -ohjeeseen, jotta epäselvyyttä mittauspisteen korkeusasemasta ei synny.

Haastattelujen perusteella vaihteiden nostotavoissa olisi vielä parannettavaa, jotta mittavirheiltä asennustyön aikana välttyttäisiin. Vaihde-elementtien nosto ja siirto -ohjetta (RHK 2007) tulisi päivittää ainakin nostopisteiden osalta, jotta vaihdehallissa merkityt nostopisteet palvelisivat asennustyötä parhaalla mahdollisella tavalla.

Tihennettyä tarkastusväliä voitaisiin soveltaa ohjeen mukaisten erikoiskohteiden lisäksi tietyn bruttotonnimäärän ylittäneisiin vaihteisiin. Silloin tihennetty tarkastusväli olisi järjestelmällisemmin sidottu vaihteen kuormitukseen ja riskialttiuteen.

Käytännössä akuuttirajoihin voidaan soveltaa useampaa toimintatapaa

- Akuuttirajojen määrittelyssä voitaisiin harkita haastatteluissa esitettyjä muutoksia.
- Pitäytyä nykyisissä rajoissa, mutta määrätä kunnossapitäjille sanktioita, jos akuuttirajat ylittyvät. Kunnossapidossa tulisi puuttua kulumiseen jo kunnossapitotoleranssien ylityksessä, jotta sanktioilta välttytään.

- Kannustaa vaihteiden korjaamiseen aikaisemmassa vaiheessa palkitse-
malla, kun viat korjataan jo ennen kunnossapitotoleranssien ylitystä.
Kunnossapitotoleranssien merkitys kaippaa tarkennusta nykyohjeiseen.
- Ratapihoilla voitaisiin harkita lievempää tulkintaa akuuttirajojen suhteen,
jos akuuttirajan ylitys on esimerkiksi alle 3 mm ja kunnossapidosta vas-
taava työnjohtaja katsoo, että turvallisuus ei vaihteessa vaarannu. Pölk-
kyjen ja kiinnitysosien pitää kuitenkin olla kunnossa eikä muissa mitta-
uspisteissä saa olla merkittäviä poikkeamia.

Akuuttirajat on määritetty junaliikenteen turvallisuuden vuoksi. Niiden tulee palvella tarkoitustaan, muttei toisaalta hankaloittaa kunnossapitoa tarpeettomasti. Oikea-
aikaisella kunnossapidolla toleranssipoikkeamat eivät pääse kehittymään akuuttirajo-
jen ylityksiksi.

Lähdeluettelo

Alfi, S. & Bruni, S. 2009. Mathematical modeling of train-turnout interaction. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. Vol. 47:5. S. 551-574. [Viitattu 2.1.2013]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/00423110802245015>. ISSN 0042-3114 (painettu) ISSN 1744-5159 (sähköinen).

ARTC (Australian Rail Track Corporation Ltd). 2011a. Civil technical maintenance plan ETE-00-03, discipline: Engineering (track & civil), category: standard. [Viitattu 17.12.2012]. Saatavissa: http://extranet.artc.com.au/eng_track-civil_procedure.html

ARTC (Australian Rail Track Corporation Ltd). 2011b. Points & Crossings, Section 3, discipline: Engineering (track & civil), category: code of practice. [Viitattu 17.12.2012]. Saatavissa: http://extranet.artc.com.au/eng_track-civil_procedure.html

Bugarín, M. R., Orro, A., Novales, M. 2010. High speed turnouts' geometry. [Viitattu 31.12.2012]. Saatavissa: <ftp://ftp.hsra.unc.edu/pub/TRB2011/data/papers/11-1146.pdf>

Bugarín M. R & García Díaz-de-Villegas J-M. 2002. Improvements in railway switches. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* July 1, 2002 216: 275-286. DOI: 10.1243/095440902321029226. [Viitattu 15.2.2013]. Saatavilla: <http://pif.sagepub.com/content/216/4/275>

Ekberg A. & Paulsson B. 2010. *Innotrack: Concluding technical report*. ISBN: 978-2-7461-1850-8.

Esveld, C. 2001. *Modern railway track*. 2. painos. MRT-Productions. 654 S. ISBN 90-8004-324-3-3.

Innotrack. 2009. D3.1.4 Summary of results from simulations and optimization of switches. [Viitattu 15.2.2013]. Saatavilla: http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d314-f3p-summary_of_results_from_simulations_and_optimisation_of_switches.pdf

Innotrack. 2008. D3.1.2 Report on cost drivers for goal-directed innovation. [Viitattu 14.2.2013]. Saatavilla: <http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d311.pdf>

ISI 2011. *The ISI Glossary of Statistical Terms*. International Statistical Institute. [Viitattu 10.4.2013]. Saatavissa <http://isi.cbs.nl/glossary/index.htm>.

Jernbaneverket. 2012. *Overbygning, Prosjektering, Generelle tekniske krav*. [Viitattu 4.3.2013]. Saatavilla: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Generelle_tekniske_krav

Jernbaneverket. 2010. *Overbygning, Regler for vedlikehold. Inspeksjon av kryssveksel*. [Viitattu 3.3.2013]. Saatavilla: <https://trv.jbv.no/PDF/Overbygning/532/Vedlegg/T3211c02.pdf>

Jernbaneverket. 2005. *Overbygning, Regler for vedlikehold. Generiske arbeidsrutiner. Generelle tekniske krav*. [Viitattu 3.3.2013]. Saatavilla: <http://trv.jbv.no/tidligereutgaver/Gammel%20oversjon%20JD5xx%200102%202005/Overbygning/532/Vedlegg/T3204b01.pdf>

Jernbaneverket. 2001. Overbygning. Regler for vedlikehold. Inspeksjon av enkel sporveksel. [Viitattu 3.3.2013]. Saatavilla: <https://trv.jbv.no/PDF/Overbygning/532/Vedlegg/T3211B02.pdf>

Kassa, E. & Andersson, C. & Nielsen, J.C.O. 2006. Simulation of dynamic interaction between train and railway turnout. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. Vol. 44:3. S. 247-258. [Viitattu 1.10.2012]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/00423110500233487>. ISSN 0042-3114 (painettu) ISSN 1744-5159 (sähköinen).

Kassa, E. & Nielsen, J.C.O. 2008a. Dynamic interaction between train and railway turnout: full-scale field test and validation of simulation models. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. Vol. 46. S. 521-534. [Viitattu 1.10.2012]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/00423110801993144>. ISSN 0042-3114 (painettu) ISSN 1744-5159 (sähköinen).

Kassa, E. & Nielsen, J.C.O. 2008b. Stochastic analysis of dynamic interaction between train and railway turnout. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. Vol. 46:5. S. 429-449. [Viitattu 1.10.2012]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/00423110701452829>. ISSN 0042-3114 (painettu) ISSN 1744-5159 (sähköinen).

Laininen, P. 2013. Ympäristötilastotiede. TKK/Systeemianalyysin laboratorio. Luentomoniste.

Laininen, P. 2000. Tilastollisen analyysin perusteet. Helsinki: Otatieto. ISBN 9516723012.

Liikennevirasto. 2013. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 14 Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 7/2013. Helsinki 2013. Kuopio: Kopijyvä Oy. ISBN 978-952-255-253-2.

Liikennevirasto. 2012a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4 Vaihteet. Liikenneviraston ohjeita 22/2012. Kuopio: Kopijyvä Oy. ISBN 978-952-255-209-9.

Liikennevirasto 2012d. Suomen rautatietilasto 2012. Liikenneviraston tilastoja 4/2012. [Viitattu 11.10.2012]. Saatavilla: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2012-04_suomen_rautatietilasto_web.pdf

Liikennevirasto. 2010a. Technical specifications for 54E1 and 60E1 railway turnouts. [Viitattu 15.10.2012]. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/54e1_60e1_railway_turnouts_techspec_web.pdf

Liikennevirasto. 2010b. Vaihteiden hallintaraportti 2010. VR Track.

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät: tilastolliset testit. TKK. Opetusmoniste.

Nummelin, M. 2004. Railway Turnouts. Ratahallintokeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 116 s. ISBN 952-445-096-8

Nummelin, M. 1994. Rautatievaihteet. VR-pääkonttori, ratayksikkö. Mikkeli: Länsi-Savo Oy. 144 s. ISBN 951-47-8649-1

Nummelin, M. 1982. Vaihteen muodon ja asennon tarkistukset ja korjaukset. Diplomi-työ. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööriosasto. Espoo. 80 s.

Pollari, J. 2012a. Vaihdekuuljetukset. Luentoesitys Vaihdepäivät-koulutuksessa 14.11.2012.

Ratahallintokeskus. 2005. Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta. [Viitattu 19.10.2012]. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_radantarkastusohjeita_raiteentarkastustulokset.pdf

Ratahallintokeskus (RHK). 2007. Vaihde-elementtien nosto ja siirto. Ratahallintokeskuksen ohje 1002/611/2007. Helsinki. [Viitattu 3.10.2012]. Saatavilla:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_vaihdeelementtien_nosto_siirto.pdf

Ratahallintokeskus (RHK). 2004a. Päällysrakennetöiden yleinen työselitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja D16. Helsinki. ISBN 952-445-104-2. [Viitattu 6.11.2012]. Saatavilla:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d16_paallysrakennetoiden_yleinen_tyoselitys.pdf

Ratahallintokeskus (RHK). 2004b. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 13 Radan tarkastus.

Ratahallintokeskus (RHK). 1999. Päällysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset (PYL) osa 3 vaihdetyöt. Ratahallintokeskuksen julkaisuja D5. Helsinki. ISBN 952-445-018-6. [Viitattu 3.10.2012]. Saatavilla:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d5_pyl3_vaihdyot.pdf

Ratahallintokeskus (RHK). 1995. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1 Yleiset perusteet.

SBB. 1981. Reglement über den Einbau, die Kontrollen und den Unterhalt der Weichen.

SFS-EN 13232-5. 2011. Railway applications. Track. Switches and crossings. Part 5: Switches. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 34 s.

SFS-EN 13232-1. 2003. Railway applications. Track. Switches and crossings. Part 1: Definitions. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 56 s.

Stenström, C. 2012. Maintenance performance measurement of railway infrastructure with focus on the Swedish network. Technical report. Luleå University of Technology, Sweden. ISBN: 978-91-7439-460-3. [Viitattu 29.12.2012]. Saatavilla:
http://pure.ltu.se/portal/files/36836951/MPM_of_Railway_Infrastructure.pdf

Trafikverket. 2012. BVF 807.2: Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar. [Viitattu 31.12.2012]. Saatavissa:
http://ida2004.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=770ce4d4-8ega-4a37-85dd-f8aa205c1468

Trafikverket. 2011. BVS 1523.005: Spårväxel, definitioner och förkortningar. [Viitattu 18.12.2012]. Saatavissa:
http://ida81ext.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=ac8c59e1-1b92-46ed-803d-40313f3527b5

Trafikverket. 2010. BVS 1523.004: Spårväxel, Normalvärden och toleranser. [Viitattu 14.12.2012]. Saatavissa:
http://ida81ext.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=69c65df5-31f8-4fd5-a795-770e67fe460f

Voestalpine BWG GmbH & Co KG. 2008. Fakop: Fahrkinematische Optimierung. Esite. [Viitattu 31.12.2012]. Saatavissa:
http://www.voestalpine.com/bwg/de/downloadbereich/broschueren/deutsch/produkte_und_leistungen.ContentPar.46886.File.tmp/FAKOP_Fahrkinematische_Optimierung.pdf

Zwanenburg, W-J. 2009. Modelling degradation processes of switches & crossings for maintenance & renewal planning on the Swiss railway network. Väitöskirja. Delft University of Technology. Delft, Alankomaat. 136 s. Saatavissa:
<http://library.epfl.ch/theses/?nr=4176>

Internet-sivut

Australian Government, Department of infrastructure and transport. 2012. History of rail in Australia. [Viitattu 17.12.2012]. Saatavissa:
<http://www.infrastructure.gov.au/rail/trains/history.aspx>

Liikennevirasto. 2012b. Rataverkon kunnossapidon kilpailutus. [Viitattu 21.11.2012] Saatavissa:
http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/investointien_kilpailutukset/rataverkon_kunnossapidon_kilpailutus

Liikennevirasto. 2012c. Ratojen kunnossapidon työnjako. [Viitattu 21.11.2012] Saatavissa:
http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/rataverkon_kunnossapito/ratojen_kunnossapidon_tyonjako

Haastattelut

Hasa, V. 2013. Työnjohtaja. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 5.2.2013.

Hynninen, M. 2013. Aluepäällikkö. Pöyry CM Oy. Jaakonkatu 3, 01620 Vantaa. Sähköpostihaastattelu 11.2.2013.

Jurmu, M. 2013. Työpäällikkö. Destia Rail Oy. Heidehofintie 2, PL 206 01301 Vantaa. Sähköpostihaastattelu 4.4.2013.

Keskitalo, M. 2013. Etumies. Destia Rail Oy. Heidehofintie 2, PL 206 01301 Vantaa. Sähköpostihaastattelu 3.4.2013.

Nummelin, M. 2012. Tekninen johtaja. Liikennevirasto. PL 33, 00521 Helsinki. Haastattelu 15.10.2012.

Pollari, J. 2012b. Tuotantopäällikkö. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 17.10.2012.

Pulliainen, P. 2012. Tuotepäällikkö. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 23.10.2012.

Sorsa, J. 2013. Liikenneviraston rataisännöitsijä. Pöyry CM Oy. Jaakonkatu 3, 01620 Vantaa. Sähköpostihaastattelu 7.3.2013.

Suutari, T. 2013. Liikenneviraston rataisännöitsijä. RR Management Oy. Oulunkyläntori 2 a, 00640 Helsinki. Sähköpostihaastattelu 6.3.2013.

Tuulikangas, R. 2013. Työnjohtaja. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 5.2.2013.

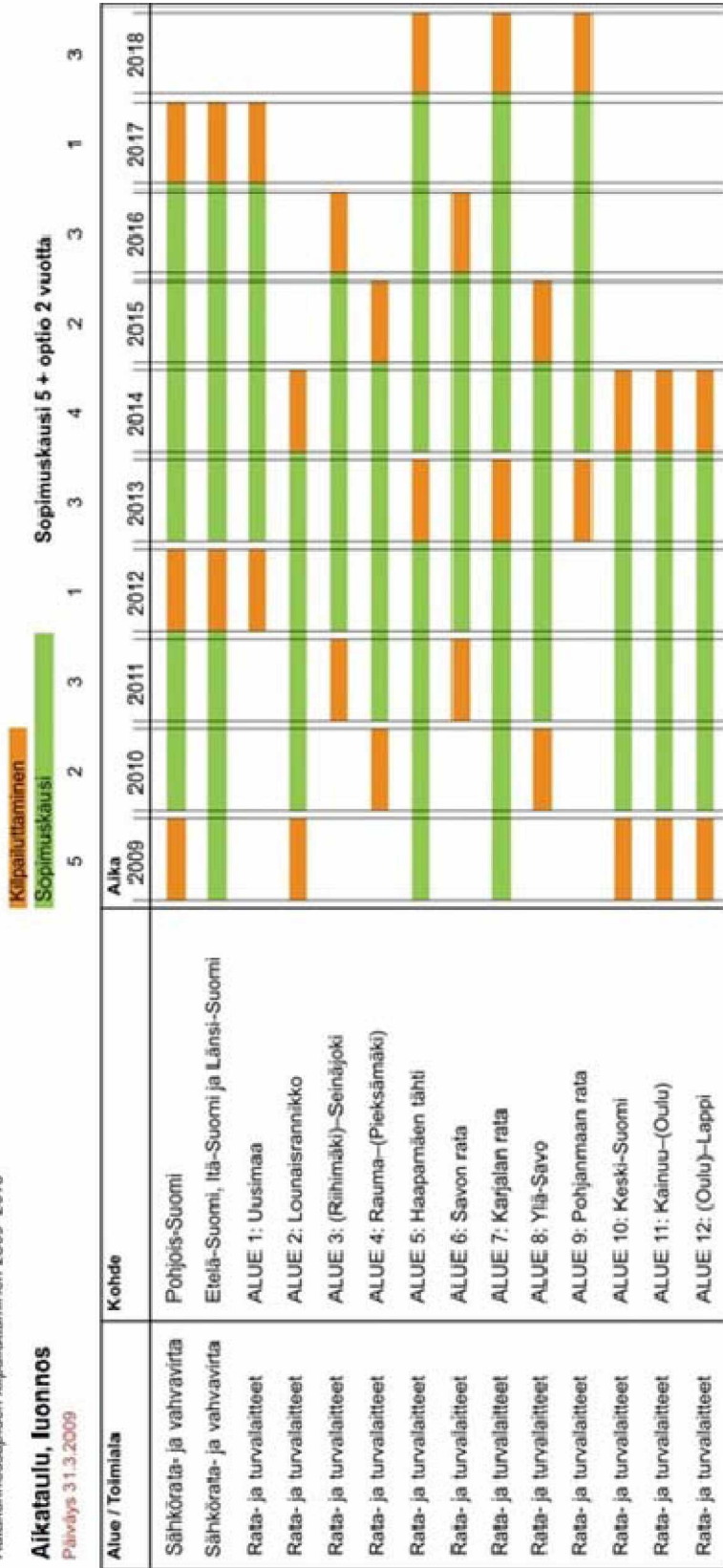
Töyry, E. 2012. Tuotepäällikkö. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 30.10.2012.

Väätäinen, K. 2013. Vastaava työnjohtaja. VR Track Oy. PL 488, 00101 Helsinki. Haastattelu 24.1.2013.

Rata-kunnossapidon kilpailuttaminen 2009–2018

Aikataulu, luonnos

Päiväys 31.3.2009



Kilpailuttaminen aikataulutetaan pääosin niin, että operatiiviset kunnossapitotyöt alkavat vuosittain maaliskuu- tai lokakuussa (sähköteknikka voi alkaa muulloinkin)

Maaliskuu-malli



Lokakuu-malli



TURNOUT INSPECTION – GENERAL OR DETAILED**Location:****Track:****I.D. No.:****Length:****Date:****Signature:**General Inspection – Show OK / Not OK (or tick) [Job No. P08001](#)

All measurements in mm

Detailed Inspection – Show measurements [Job No. P08001](#)

All speeds in km/h

POINTS	OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
GAUGE		>1455 See plain track responses A4: 1429 to 1427 speed 60/65 and monitor A2: 1426 to 1425 speed 20/20 and monitor A1: <1425 speed 10/10 and pilot trains	
Switch Open Throw	Left	A6: 94 to 85 monitor A2: 84 to 80 speed 20/20 and monitor	
	Right	A1: <80 speed 10/10 and pilot trains	
Closed Switch Blade Gap	Left	1 to 3 record as defect, program adjustment	
	Right	>3 record as defect, urgent attention	
Open Switch Throat	Left	A3: 39 to 35 speed 40/40 and monitor A1: <35 speed 10/10 and pilot trains	
	Right		
Heel Blocks	Left	A5: Cracked 23 tonne axle load speed 80/90, A4: cracked 25 tonne speed 60/65, A3: cracked 30 tonne speed 40/40.	
	Right	A3: Broken but effective – 40/40 speed and monitor. A1: Missing/Broken ineffective – speed 10/10 and pilot trains	
Rail Brace/Chair	Left	A6: Cracked/Loose – monitor	
	Right	Broken/Ineffective: 1 only – A6: monitor except for 60/65 speed 25 tonne (A4), 40/40 speed 30 tonne (A3) axle load areas. 2 consecutive – A4: speed 60/65 except for 40/40 speed in 25/30 tonne (A3) axle load areas. A1: >2 consecutive - speed 10/10 and pilot trains	
Switch Bearing Stops	Left		
	Right		
Ineffective Bearers/Fasteners (In critical area)		A6: 1 only – monitor A3: 2 consecutive – speed 40/40 and monitor A1: >2 consecutive - speed 10/10 and pilot trains	
Bolts		Loose/Broken/Missing – record as defect and prioritise	
Spreader Bar		A1: Missing/Broken - speed 10/10 and pilot trains	
Switch Blade Damage (Excl. Undercut Switch)	Left	Damage deeper than 19mm from running surface A6: 100 to 199 long – monitor	
	Right	A1: ≥200 long - speed 10/10 and pilot trains	
Switch Width at Tip (As presented to the wheel)	Left	A6: 4 to 6 – monitor A2: 7 to 8 – speed 20/20 and monitor	
	Right	A1: >8 - speed 10/10 and pilot trains	
Switch Height at Tip	Left		
	Right		
Switch Angle at Tip	Left		
	Right		
Lever Effectiveness (Manual Points)		Insufficient tension to keep switch closed under traffic Report as defect and prioritise.	
Switch/Wheel contact area		Report if switch/stock needs grinding and prioritise.	
HOUSED POINTS – Response to be determined by competent person.			
"A" Housing flangeway		Design 44, record actual	
"B" Top of housing above stockrail		Design 25, record actual	
"C" Underside of housing to top of open switch.		Design 3, record actual	
"D" Switch travel		Design 114, record actual	
"E" Width of housing		Design 152, record actual	
"F" Housing and checkrail flare		Design 102, record actual	
"G" Checkrail flangeway		Design 44, record actual	

CROSSING		OK / mm	RESPONSE	COMMENTS								
Gauge (At crossing nose)	Mainline		A2: ≥1443 - speed 20/20 and monitor A4: 1442 to 1441 - speed 60/65 and monitor A6: 1440 to 1439 - monitor									
	Turnout		A6: 1430 to 1428 - monitor A4: 1427 to 1426 - speed 60/65 and monitor A2: ≤1425 - speed 20/20 and monitor									
Check Rail Effectiveness	Mainline		A1: ≥1400 - speed 10/10 and pilot trains A3: 1399 to 1398 - speed 40/40 and monitor A4: 1397 to 1396 - speed 60/65 and monitor A6: 1388 to 1386 - monitor									
	Turnout		A4: 1385 to 1384 - speed 60/65 and monitor A3: 1383 to 1382 - speed 40/40 and monitor A1: <1382 - speed 10/10 and pilot trains									
Check Rail Flangeway Width	Mainline		A4: >49 - speed 60/65 and monitor A6: 49 to 48 - monitor									
	Turnout		A6: 39 to 38 - monitor A4: <38 - speed 60/65 and monitor									
Crossing Nose Vertical Wear			A6: 5 to 10 - monitor									
Wing Rail Vertical Wear			A3: >10 - speed 40/40 and monitor									
Crossing Nose Break width (Within transfer length)			A6: 15 to 20 - monitor A3: 21 to 25 - speed 40/40 and monitor A1: >25 - speed 10/10 and pilot trains									
Ineffective Bearers/Fasteners (In critical area)			A6: 1 only - monitor A3: 2 consecutive - speed 40/40 and monitor A1: >2 consecutive - speed 10/10 and pilot trains									
Cracks in Cast Crossings			A6: Critical - Monitor A4: Fully (not affecting running surface) - speed 60/65 and monitor A1: Fully (affecting running surface) - speed 10/10 and pilot trains									
Spacer Blocks			A6: Broken/cracked - monitor									
Check Rail Bolts (Each Check Rail)			A6: Loose - monitor Missing/Ineffective: <2 - A6: monitor except for 60/65 speed 25 tonne (A4), 40/40 speed 30 tonne (A3) axle load traffic areas 3 - A4: speed 60/65 except for 40/40 speed in 25/30 tonne (A3) axle load areas. >3 - A2: speed 20/20 and monitor									
Crossing Bolts			Loose/Missing/Ineffective - record as defect and prioritise									
GENERAL	OK/Not OK	COMMENTS	OK/NOK	COMMENTS								
Response assessment by competent person												
Drainage			Stockrails									
Bearers/Fasteners			Check Rails									
Ballast			Other Rails									
Alignment			Anchors									
CATCHPOINTS	OK/Not OK	COMMENTS	OK/Not OK	COMMENTS								
In addition to Points and General sections above												
Throw Off Rail			Derail Block									
TIMBERS REQUIRED (optional)												
2.8m	3.0m	3.2m	3.4m	3.6m	3.8m	4.0m	4.2m	4.4m	4.6m	4.8m	5.0m	6.0m

Notes: * "Monitor" means at an appropriate increased frequency compared to the current inspection

* Responses are default actions pending appropriate repair / renewal action

* If the cause of a defect is known, and it is known that it will not deteriorate into an unsafe condition an alternate response to that shown is permitted with appropriate documentation

DIAMOND INSPECTION – GENERAL OR DETAILED

Location: **Track:** **I.D. No.:**

Length: **Date:** **Signature:**

General Inspection – Show OK / Not OK (or tick)

All measurements in mm

Detailed Inspection – Show measurements

All speeds in km/h

V1 Crossing – Least kilometrage
K1 Crossing – Left facing increasing kilometrage

V2 Crossing – Greatest kilometrage
K2 Crossing – Right facing increasing kilometrage

Refer to ETE-03-01 Figure 4 for K crossing measurement naming convention

V CROSSINGS		OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Gauge (At crossing nose)	V1 Mainline		A2: ≥1443 - speed 20/20 and monitor A4: 1442 to 1441 - speed 60/65 and monitor A6: 1440 to 1439 - monitor A6: 1430 to 1428 – monitor A4: 1427 to 1426 – speed 60/65 and monitor A2: ≤1425 – speed 20/20 and monitor	
	V1 Sec Line			
	V2 Mainline			
	V2 Sec Line			
Check Rail Effectiveness	V1 Mainline		A1: ≥1400 - speed 10/10 and pilot trains A3: 1399 to 1398 - speed 40/40 and monitor A4: 1397 to 1396 - speed 60/65 and monitor A6: 1388 to 1386 – monitor A4: 1385 to 1384 – speed 60/65 and monitor A3: 1383 to 1382 – speed 40/40 and monitor A1: <1382 – speed 10/10 and pilot trains	
	V1 Sec Line			
	V2 Mainline			
	V2 Sec Line			
Check Rail Flangeway Width	V1 Mainline		A4: >49 - speed 60/65 and monitor A6: 49 to 48 – monitor A6: 39 to 38 – monitor A4: <38 - speed 60/65 and monitor	
	V1 Sec Line			
	V2 Mainline			
	V2 Sec Line			
Crossing Nose Vertical Wear	V1		A6: 5 to 10 – monitor A3: >10 – speed 40/40 and monitor	
	V2			
Wing Rail Vertical Wear	V1		A6: 15 to 20 – monitor A3: 21 to 25 – speed 40/40 and monitor A1: >25 – speed 10/10 and pilot trains	
	V2			
Nose Break width (Within transfer length)	V1		A6: 15 to 20 – monitor A3: 21 to 25 – speed 40/40 and monitor A1: >25 – speed 10/10 and pilot trains	
	V2			

K CROSSINGS		OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Gauge	K1(a)		A2: ≥1443 - speed 20/20 and monitor A4: 1442 to 1441 - speed 60/65 and monitor A6: 1440 to 1439 - monitor A6: 1430 to 1428 - monitor A4: 1427 to 1426 - speed 60/65 and monitor A2: ≤1425 - speed 20/20 and monitor	
	K1(b)			
	K2(c)			
	K2(d)			
Check Rail Effectiveness	Qa		A1: ≥1400 - speed 10/10 and pilot trains A3: 1399 to 1398 - speed 40/40 and monitor A4: 1397 to 1396 - speed 60/65 and monitor A6: 1388 to 1386 - monitor A4: 1385 to 1384 - speed 60/65 and monitor A3: 1383 to 1382 - speed 40/40 and monitor A1: <1382 - speed 10/10 and pilot trains	
	Qb			
	Qc			
	Qd			
Check Rail Flangeway Width	Ra		A4: >49 - speed 60/65 and monitor A6: 49 to 48 - monitor A6: 39 to 38 - monitor A4: <38 - speed 60/65 and monitor	
	Rb			
	Rc			
	Rd			
Crossing Nose Vertical Wear	a		A6: 5 to 10 - monitor A3: >10 - speed 40/40 and monitor	
	b			
	c			
	d			
Wing Rail Vertical Wear	a		A6: 5 to 10 - monitor A3: >10 - speed 40/40 and monitor	
	b			
	c			
	d			
Crossing Nose Break width (Within transfer length)	a		A6: 15 to 20 - monitor A3: 21 to 25 - speed 40/40 and monitor A1: >25 - speed 10/10 and pilot trains	
	b			
	c			
	d			
V & K CROSSINGS		OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Ineffective Bearers/Fasteners (In critical area)			A6: 1 only - monitor A3: 2 consecutive - speed 40/40 and monitor A1: >2 consecutive - speed 10/10 and pilot trains	
Cracks in Cast Crossings			A6: Monitor A4: Fully (not affecting running surface) - speed 60/65 and monitor A1: Fully (affecting running surface) - speed 10/10 and pilot trains	
Spacer Blocks			A6: Broken/cracked - monitor	
Check Rail Bolts (Each Check Rail)			A6: Loose - monitor Missing/Ineffective: <2 - A6: monitor except for 60/65 speed 25 tonne (A4), 40/40 speed 30 tonne (A3) axle load traffic areas 3 - A4: speed 60/65 except for 40/40 speed in 25/30 tonne (A3) axle load areas. >3 - A2: speed 20/20 and monitor	
Crossing Bolts			Loose/Missing/Ineffective - record as defect and prioritise	
GENERAL	OK/Not OK	COMMENTS	OK/Not OK	COMMENTS
Response assessment by competent person				
Drainage			Check Rails	
Ballast			Other Rails	
Alignment			Anchors	

Notes:

- * "Monitor" means at an appropriate increased frequency compared to the current inspection
- * Responses are default actions pending appropriate repair / renewal action
- * If the cause of a defect is known, and it is known that it will not deteriorate into an unsafe condition an alternate response to that shown is permitted with appropriate documentation

SWINGNOSE CROSSING INSPECTION – GENERAL OR DETAILED

Location:

I.D. No.:

Track:

Length:

Signature:

Date:

General Inspection – Show OK / Not OK (or tick)

All measurements in mm

Detailed Inspection – Show measurements

All speeds in km/h

This form is to be completed for turnouts with swingnose crossings in addition to ETE0301F-01 Turnout Inspection – General or Detailed

General	OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Swingnose Width at Tip (As presented to the wheel)		A6: 4 to 6 – monitor A2: 7 to 8 – speed 20/20 and monitor A1: >8 – speed 10/10 and pilot trains	
Swingnose Height at Tip		For Detailed Inspection only use Go/No Go switch nose profile gauge, and report No Go dimension.	
Swingnose Angle at Tip		Response to be determined by a competent person.	
Swingnose/Wheel contact area		Report if point rail/wing rail needs grinding and prioritise.	
Swingnose free of built up ballast and other materials		Remove obstructions	
Point rail or splice rail (tongue rail in PRE) bearing on the switch plates.		To be determined by a competent person	
Bolts, clips, nuts, split pins, tight and effective in wing rail, crossing frame, point rail, tongue rail, and splice rail		To be determined by a competent person	
Excessive wear on the rail head running surface and gauge face on point rail, splice rail and wing rail.		To be determined by a competent person	
Rolling contact fatigue defects (surface checking/cracks, spalls, scale or squats) on point rail, splice rail, or wing rail.		To be determined by a competent person	
Fit of point rail and splice rail against the crossing frame rail stops, in the normal and reverse position.		To be determined by a competent person	
Rail head overflow on wing rail/point rail gauge face adjacent to the point rail.		To be determined by a competent person	
PRE only	OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Condition of huck bolts at all chocks and heel blocks, crossing plates, rail brace to rail stops		To be determined by a competent person	
Condition of crossing plates		To be determined by a competent person	
Fit of swingnose against the switch stops in the normal and reverse positions.		To be determined by a competent person	
VAE only	OK/mm	RESPONSE	COMMENTS
Fit of splice rail to point rail switch stops		To be determined by a competent person	
Crossing frame condition		To be determined by a competent person	
Point rail/splice rail sliding joint fasteners, castle nuts, split pins, safety clamps fitted and tight		To be determined by a competent person	
Condition of anti-creep brackets		To be determined by a competent person	
Condition of heel block/anti-creep block huck bolts.		To be determined by a competent person	
Condition of point rail/splice rail to crossing frame rail stop brackets		To be determined by a competent person	
Condition of point rail to splice rail switch stops		To be determined by a competent person	

Additional Inspection Notes:

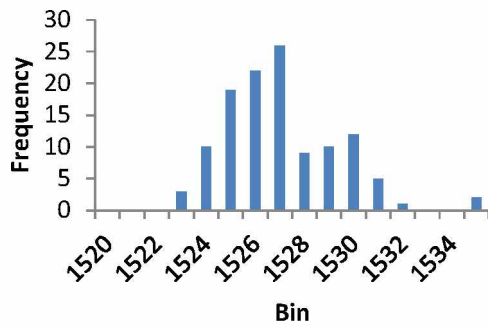
Notes:

** "Monitor" means at an appropriate increased frequency compared to the current inspection*

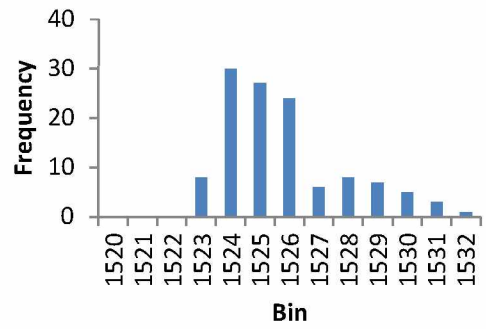
** Responses are default actions pending appropriate repair / renewal action*

** If the cause of a defect is known, and it is known that it will not deteriorate into an unsafe condition an alternate response to that shown is permitted with appropriate documentation*

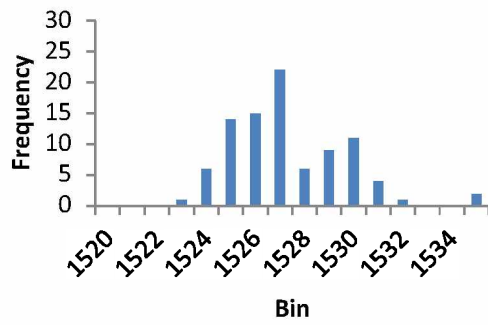
YV60-300-1:9 piste a



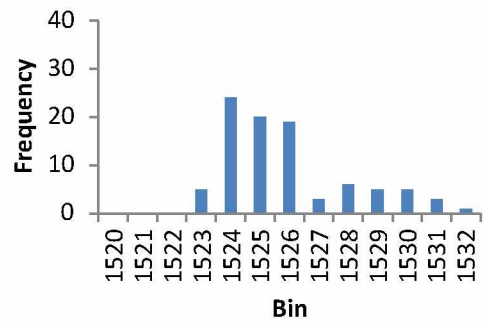
YV60-300-1:9 piste b



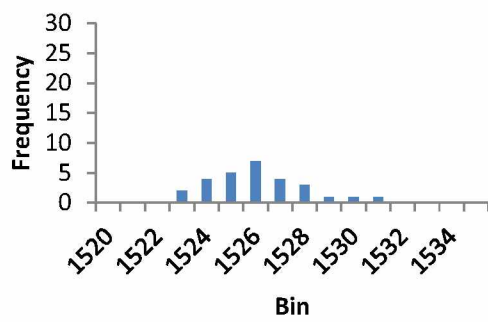
Piste a kp 3



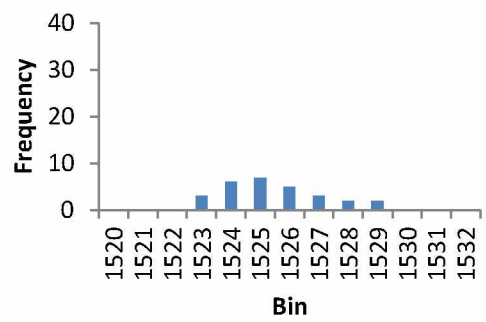
Piste b kp 3

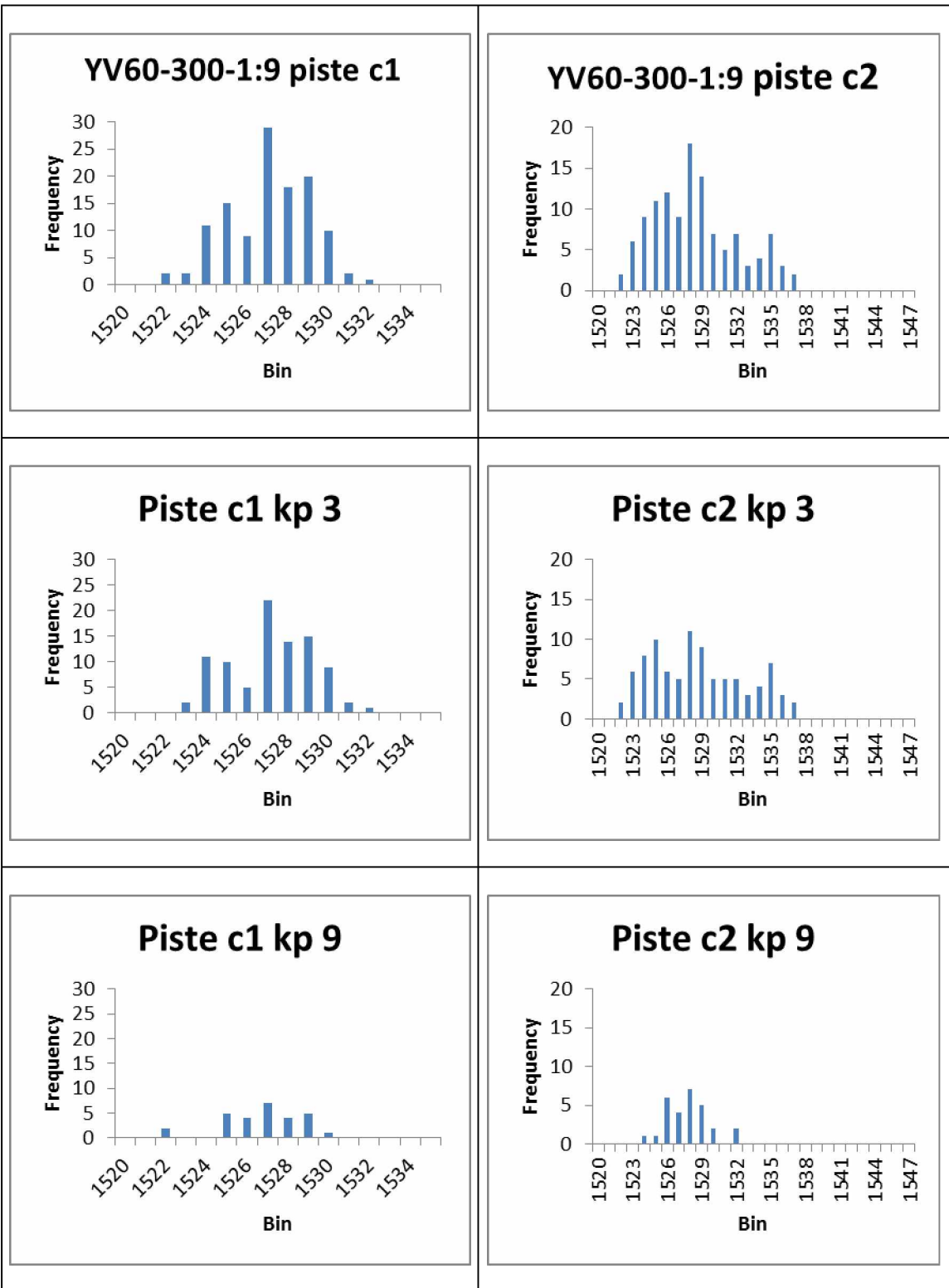


Piste a kp 9

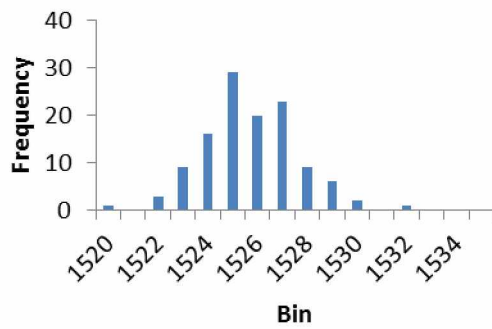


Piste b kp 9

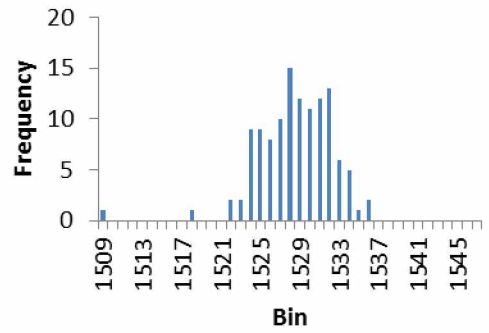




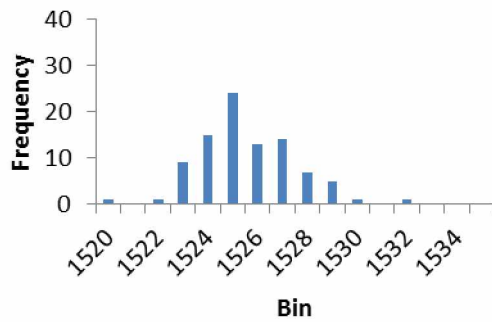
YV60-300-1:9 piste c3



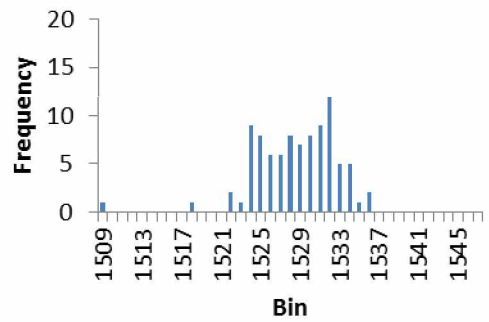
YV60-300-1:9 piste c4



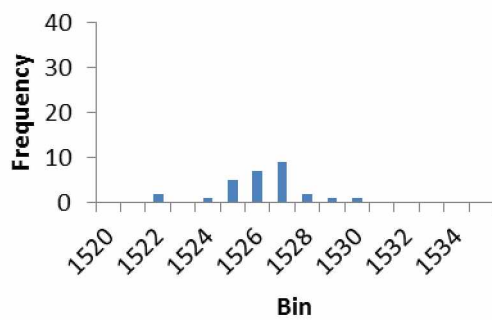
Piste c3 kp 3



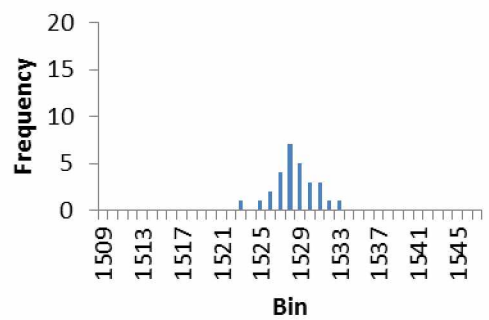
Piste c4 kp 3

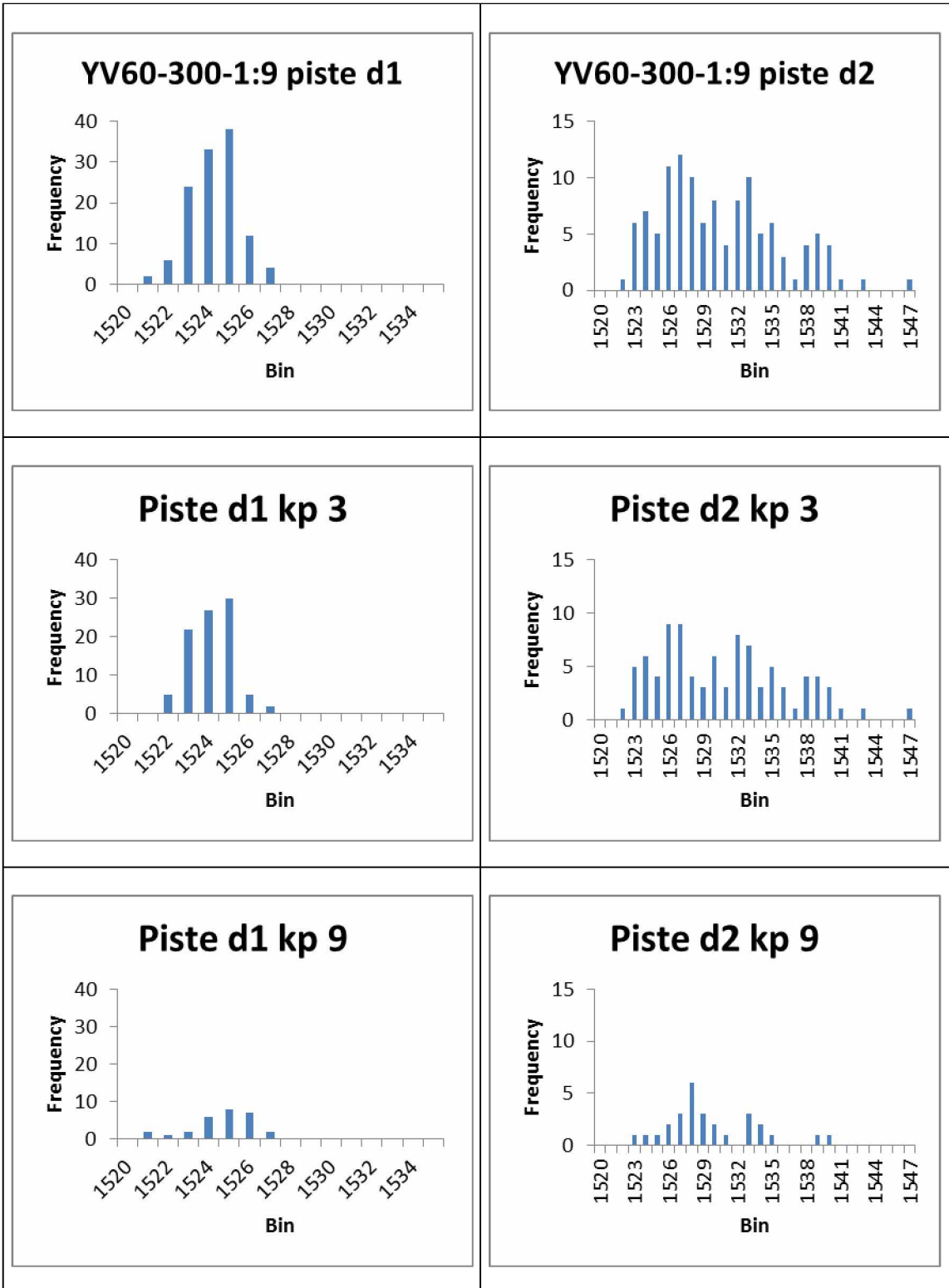


Piste c3 kp 9

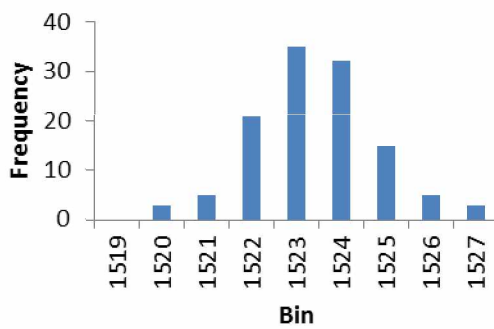


Piste c4 kp 9

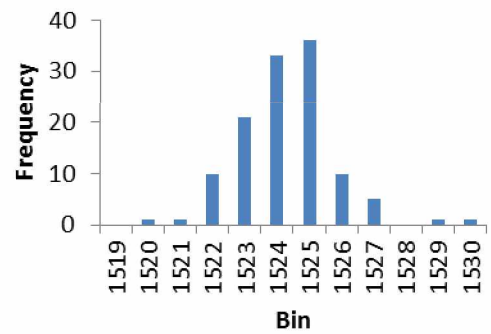




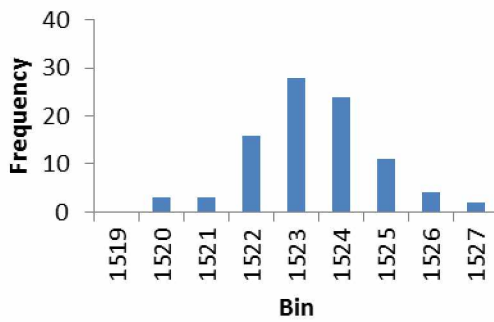
YV60-300-1:9 piste e1



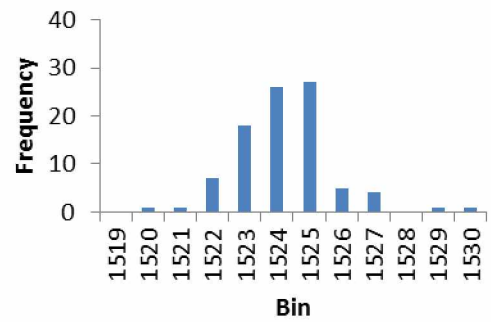
YV60-300-1:9 piste e2



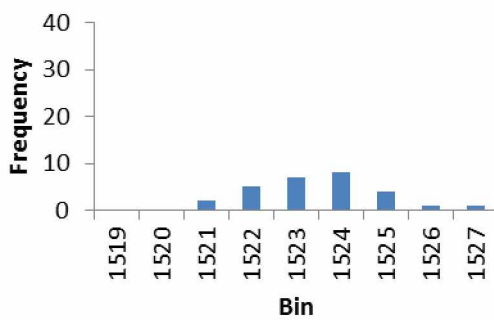
Piste e1 kp 3



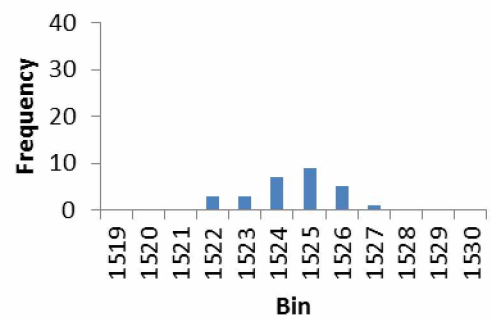
Piste e2 kp 3



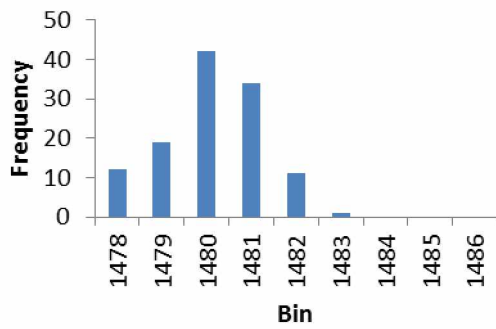
Piste e1 kp 9



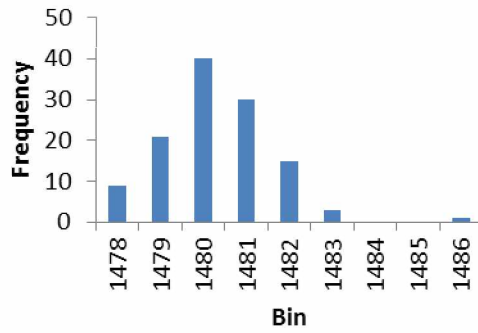
Piste e2 kp 9



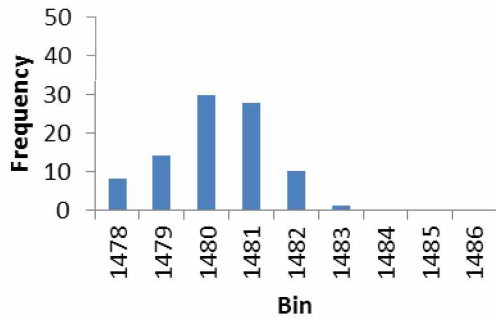
YV60-300-1:9 piste f1



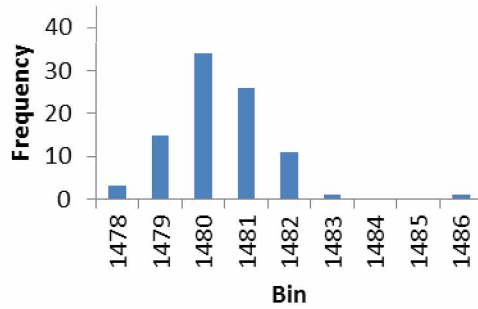
YV60-300-1:9 piste f2



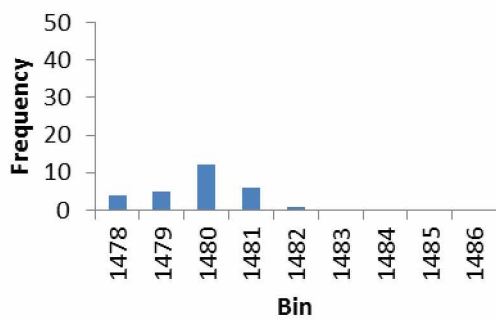
Piste f1 kp 3



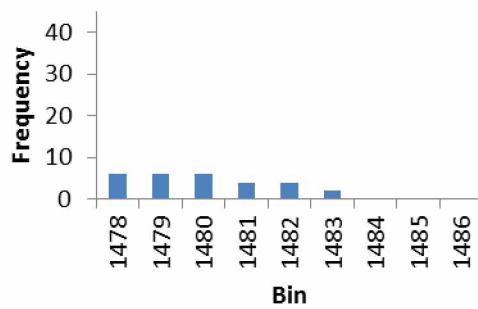
Piste f2 kp 3

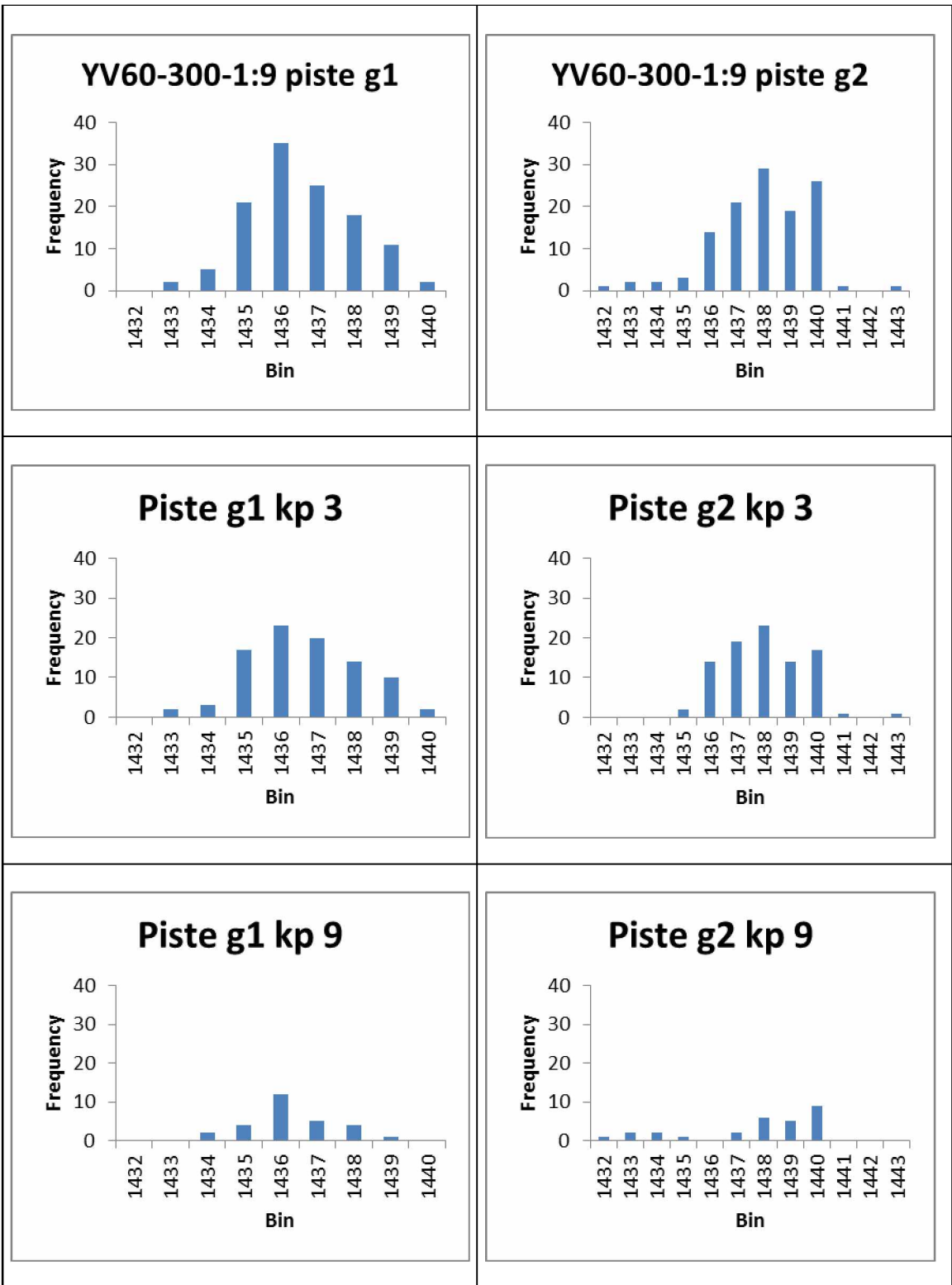


Piste f1 kp 9

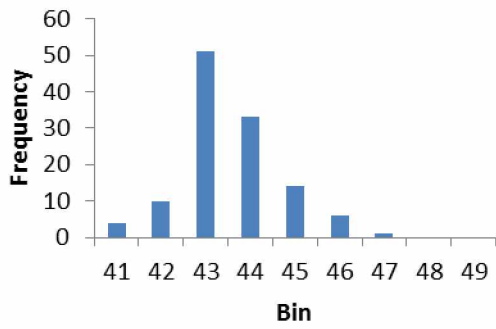


Piste f2 kp 9

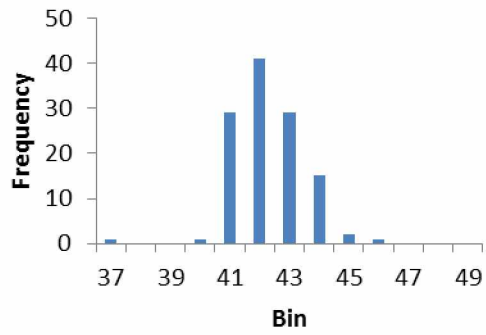




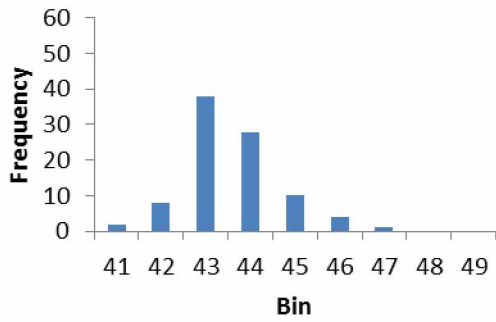
YV60-300-1:9 piste i1



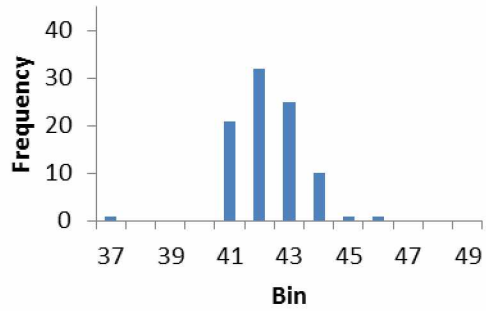
YV60-300-1:9 piste i2



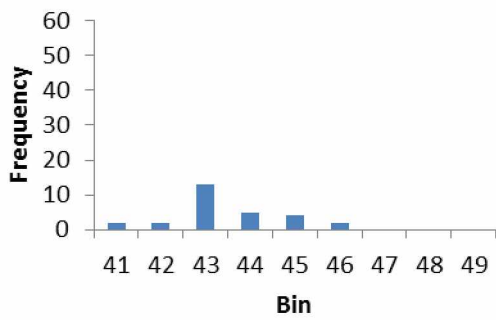
Piste i1 kp 3



Piste i2 kp 3



Piste i1 kp 9



Piste i2 kp 9

