

Riku Varis
Heikki Luomala

Kouvolan elastisten vaihteiden monitorointi



Riku Varis, Heikki Luomala

Kouvolan elastisten vaihteiden monitorointi

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 54/2017

Liikennevirasto
Helsinki 2017

Kannen kuva: Riku Varis

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-481-8

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Riku Varis ja Heikki Luomala: Kouvolan elastisten vaihteiden monitorointi. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 54/2017. 54 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-481-8.

Avainsanat: rautatiet, vaihteet, monitointi, Kouvola

Tiivistelmä

Tässä raportissa keskitytään Kouvolaan syksyllä 2014 asennettujen kahden elastisen vaihteen uusiin rakenneratkaisuihin ja siihen, kuinka vaihteet käyttäytyvät projektille asetetun noin 2 vuoden koejakson aikana. Työn päätavoitteena on tutkia radalla tehtävien mittausten avulla mahdollisimman kattavasti uuden elastisemmän vaihterakenteen käyttäytymistä osana ratarakennetta ja pystyä vertailemaan sitä nykyisen vaihterakenteen toimintaan sekä lyhyellä että pitkällä aikajänteellä.

Luvussa 2 käydään yksityiskohtaisesti läpi kaikkien monitoroitavien koeosien ominaisuudet ja elastisten rakenneratkaisujen erot verrattuna nykyiseen vallitsevaan vaihterakenteeseen Suomessa. Muutoksia on tehty niin kiinnitysosiin, pölkkyihin, vaihteenkääntölaitteisiin ja lukitukseen sekä vastakiskoalueelle.

Luvussa 3 esitellään rakenne-erojen vaikutusten havaitsemiseen käytetty mittausjärjestelmä. Mittaaminen keskittyi pääosin radan pystysuuntaisen painumakäyttämisen määrittämiseen, sillä uusilla elastisilla rakenneosilla on lähtökohtaisesti suurin vaikutus juuri pystysuuntaisen jouston ja pysyvän painuman määrään. Näitä asioita monitoroitiin sekä pistemäisillä että jatkuvilla mittausmenetelmillä.

Mittauks tulokset osoittavat, että vaihteet ovat toimineet 2 vuoden koejakson aikana todella hyvin ja merkittäviä ongelmia ei ole havaittu. Vaihteen palautuva painuma oli jokaisella 4 mittauskerralla hyvin hallittua. Vaihteen V055 kärkialueella ja vaihteen V059 kärjen edessä havaittiin jo ensimmäisellä mittauskerralla loppusyksystä 2014 hieman suurempaa vaihtelua palautuvan painuman tasoissa, mutta nämäkään painumat eivät ole kasvaneet ajan suhteen käytännössä lainkaan. Kuitenkin, tutkittaessa palautuvaa painumaa vaihtekomponentteittain, voitiin selkeästi huomata, että uusi elastinen rakenne aikaansaa sen, että merkittävä osa kiskon palautuvasta painumasta tapahtuu tässä rakenteessa kiskon ja pölkyn välissä, jolloin pölkyn ja sepelin välinen pystysuuntainen liike pienenee. Tämän voidaan suoraan olettaa pidentävän sepelin käyttöikä ja näin ollen koko vaihteen käyttöikä. Lyhyen testijakson aikana nämä eroavaisuudet eivät vielä näkyneet radan pysyvässä painumassa, vaan kaikki vaihteet painuivat kohtuullisen hallitusti ja tasaisesti noin 3–6 mm mittauskohdasta riippuen, jota voidaan pitää hyvin tyypillisenä arvona.

Pystysuuntaisen käyttäytymisen lisäksi projektissa tarkasteltiin ja monitoroitiin myös muita uusien komponenttien tuomia muutoksia. Elastisissa vaihteissa käytettävien onttojen toimilaitteepölkkyjen lämpötilamittauksessa kävi ilmi, että pölkky ei pysy kauttaaltaan lämmityksestä huolimatta sulana, vaan lämpötila laskee kovan pakkasen myötä nollan alapuolelle. Lämmitystehoa tulisi siis kasvattaa, jos halutaan varmistaa, ettei pölkyn sisään kerry pitkän talven aikana lunta ja jäätä.

Riku Varis och Heikki Luomala: Monitorering av elastiska växlar i Kouvola. Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2017. Trafikverkets undersökningar och utredningar 54/2017. 54 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-481-8.

Sammanfattning

Denna rapport fokuserar på de nya strukturella lösningarna i de två elastiska växlar som installerades i Kouvola hösten 2014 och på hur växlarna fungerar under den testperiod på cirka 2 år som ställdes upp för projektet. Huvudmålsättningen med arbetet är att genom mätningar av banan så omfattande som möjligt undersöka hur den nya mera elastiska växelkonstruktionen beter sig som en del av bankonstruktionen och jämföra den med den nuvarande växelkonstruktionens funktion på både kort och lång sikt.

I kapitel 2 går man detaljerat igenom egenskaperna hos alla testobjekt som monitoreras och jämför skillnaderna mellan de elastiska strukturella lösningarna och den växelkonstruktion som är dominerande i Finland i dag. Ändringar har gjorts på såväl fästelement, syllar, växeldrivare och förreglingen som motrölsområdet.

I kapitel 3 presenteras det mätsystem som använts för att studera effekterna av de strukturella skillnaderna. Mätningen fokuserade främst på att definiera den vertikala sättningen eftersom de nya elastiska strukturkomponenterna i princip har störst inverkan just på hur stor den vertikala fjädringen och permanenta sättningen blir. Dessa faktorer monitorerades med både punktformiga och kontinuerliga mätmetoder.

Mätresultaten visar att växlarna har fungerat mycket bra under den tvååriga testperioden och att inga signifikanta problem har noterats. Växelns återhämtbara sättning var väl behärskad vid alla fyra mätningarna. I spetsområdet på växel V055 och framför spetsen på växel V059 upptäcktes redan vid den första mätningen hösten 2014 en något större variation i de återhämtbara sättningsnivåerna, men inte heller dessa sättningar har i praktiken ökat alls med tiden. När den återhämtbara sättningen studerades per växelkomponent, kunde dock klart märkas att den nya elastiska strukturen åstadkommer det, att en betydande del av skenans återhämtbara sättning i denna struktur sker mellan skenan och syllen, varvid den vertikala rörelsen mellan syllen och makadamen minskar. Man kan anta att detta direkt förlänger makadamens livslängd och därmed hela växelns livslängd. Under den korta testperioden märktes dessa differenser inte ännu i banans permanenta sättning, utan sättningen i alla växlar var rikligt behärskad och jämn, cirka 3–6 mm beroende på mätpunkt, vilket kan anses vara ett typiskt värde.

Utöver den vertikala reaktionen kontrollerades och monitorerades i projektet även andra förändringar som de nya komponenterna för med sig. Temperaturmätningen med reglerapparat i de ihåliga syllarna, som används vid elastiska växlar, visade att syllen inte hålls ofrusen i sin helhet trots uppvärmning, utan att temperaturen sjunker under noll vid sträng kyla. Uppvärmningseffekten borde således ökas, för att säkerställa att snö och is inte anhopas inne i syllen under en lång vinter.

Riku Varis and Heikki Luomala: Monitoring of the new elastic turnouts in Kouvola. Finnish Transport Agency, Engineering and Environment. Helsinki 2017. Research reports of the Finnish Transport Agency 54/2017. 54 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-481-8.

Summary

This report concentrates on the basic structure and behaviour of two new elastic turnouts, which were installed in Kouvola in autumn 2014. The main goal of this work is to measure that behaviour as comprehensively as possible and compare that to the behaviour of the conventional turnout structure in the short but also in long time span.

Chapter 2 goes through all the new features of these elastic turnouts and explains the purpose of these changes compare to conventional structure, which is still mainly use in Finland. The changes has been made especially on the fastenings, bearers, point machines and locking systems.

Chapter 3 introduces the monitoring system, which consentrates mainly on measuring the vertical movements of these test turnouts. In principle, the new elastic components have the largest affect just on the vertical deflction and settlement of track so these things were measured on many single points but also with a continuous method.

The results shows that the elastic turnouts have been working really well in this test period, which lasted little bit over 2 years. The reversible deflection was measured 4 times in this period and all off those results were quite smooth and controlled. In the first measurements, few deflection changes were noticed in the tip of the the turnout V055 and infront of the turnout V059, but the later 3 measurements revealed that the reversible deflection has not decline, so they are not critical spots at least yet. Still, when the reversible deflection was studied more closely component by component, the behaviour of elastic turnouts was remarkably different. The new elastic structure causes significant deflection to happen in the new rail pads between rail and bearers, which means that the deflection between bearers and ballast is much smaller. This can be straight assumed to increase the operating life of ballast and so on the operating time of the complete turnout. The test period was so short that effects of this structural change does not show in the settlement yet. Settlement was about 3–6 mm in the whole test area, which is quite typical value in 2 years time span.

In addition to the vertical measurements also other things were monitored during these 2 years. One noticeable things was that the temperature inside the new hollow bearers decreased below 0°C in the cold winter conditions despite the heating elements, which were used inside the bearers. This means that the heating power must be increased in future to ensure that the snow and ice does not accumulate inside the bearer during long winter period.

Esipuhe

Tämä raportti liittyy Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laboratoriossa, Maa- ja pohjarakenteiden yksikössä tehtyyn tutkimukseen, jonka Liikennevirasto on tilannut osana rahoittamaansa Elinkaaritehokas rata -tutkimusohjelmaa.

Tutkimuksen vastuuhenkilöinä on yliopistolla ollut Riku Varis ja työtä on ohjannut Heikki Luomala. Liikenneviraston yhteyshenkilöinä asiaan liittyen ovat toimineet Tuomo Viitala, Tuija Myllymäki sekä Markku Nummelin.

Helsingissä marraskuussa 2017

Liikennevirasto
Ratatekninen yksikkö

Sisällysluettelo

1	PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITTEET	8
2	MONITOROINTIKOHTTEET	9
2.1	Kohteiden yleisesittely	9
2.2	Elastisen ja nykyisen vaihderakenteen erot	10
2.2.1	Välilevyt ja kiskonkiinnitys	10
2.2.2	Pölkkyt	12
2.2.3	Vaihteenkääntölaitteet ja vaihteen lukitus	14
2.2.4	Muut muutokset	15
3	MONITOROINTIJÄRJESTELYT KOEVAIHTEISSA	17
3.1	Radan palautuvan painuman mittaaminen	17
3.1.1	Jatkuva menetelmä	17
3.1.2	Pistemäinen menetelmä	19
3.2	Radan pysyvän painuman mittaaminen	22
3.3	Kiskojen ja risteysalueen kulumisen mittaaminen	23
3.4	Muu anturointi	25
4	MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI	26
4.1	Radan palautuva painuma	26
4.2	Radan pysyvä painuma	35
4.3	Radan sivuttaissiirtymät	38
4.4	Vaihteenkääntölaitteiden tankojen siirtymät	41
4.5	Onttojen pölkkyjen lämpötila	45
4.6	Kielien ja risteysten kuluminen	46
4.7	Muut havainnot koevaihteissa	51
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMET	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	
	Liite 1 Anturointisuunnitelma	

1 Projektin tausta ja tavoitteet

Suomen rataverkolla käytettävien vaihteiden rakenne on nykyisellään melko jäykkä. Elastisia komponentteja käytetään hyvin vähän, jotta pystytään varmistamaan vaihteen kielien liikeratojen pysyvyys ja vaativan geometrian, kuten esimerkiksi vaihteen kielen ja sitä vastaavan tukikiskon keskinäisen korkeusaseman, muuttumattomuus junan yliajon aikana. On kuitenkin huomattu, että tämä jäykkyys rasittaa vaihderakennetta ja varsinkin sen alla olevaa tukikerrosta. Vaihderakenteen liiallisen jäykkyyden ansiosta tukikerrokseen kohdistuu pölkkyjen kautta merkittävää dynaamista kuormitusta, joka pitkällä aikavälillä hienontaa sepeliä ja heikentää sen tukemiskykyä.

Näiden jäykkyysohjelmien takia Liikennevirasto aloitti yhteistyökumppaniensa kanssa uuden elastisemman vaihderakenteen suunnittelun syksyllä 2012. Uuden vaihderakenteen suunnittelussa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki Suomen nykyisessä 60E1-vaihteessa havaitut ongelmat, jotka liittyvät jäykkyyteen tai kuormituksen lisääntymiseen vaihdealueella. Näitä nykyisissä vaihteissa havaittuja ongelmia on käsitelty TTY:n toisessa projektissa (Varis et al. 2015). Näiden suunnitelmien pohjalta valmistettiin kaksi uutta prototyypivaihdetta, jotka asennettiin Kouvolan ratapihalle syksyn 2014 aikana.

Kumpikin prototyypivaihte sisältää lukuisia uusia komponentteja, joiden tarkoituksena on lisätä hallitusti vaihderakenteen pystysuuntaisen jouston määrää ja vähentää näin ollen ratarakenteeseen kohdistuvia ylimäärisiä iskukuormituksia. Uusia rakenneratkaisuja ovat esimerkiksi paksummat välilevyt, kallistusosalla varustetut vaihdepölkkyt sekä pölkyn sisäiset kääntölaitteet. Prototyypivaihteet eroavat kuitenkin rakenteeltaan hiukan toisistaan, sillä ainoastaan toinen uusista vaihteista on varustettu pölkyn alapintaan kiinnitettävillä pohjaimilla. Prototyypeissa käytetään myös eri valmistajien toimilaitteita. Näiden pienten erojen avulla on mahdollista saada laajempaa tietoa siitä, minkälainen vaihderakenne sopii parhaiten juuri Suomen rataverkolle.

Elastisissa vaihteissa käytettävät uudet komponentit perustuvat vahvasti muissa Euroopan maissa käytettyihin komponentteihin, joten kokemusta näiden yksittäisratkaisujen toimivuudesta on jonkin verran olemassa. Suomen sekaliikenne ja itäisen standardin mukainen kalusto aiheuttavat kuitenkin omat erityisehtonsa Suomen rataverkolle, joten näiden komponenttien toimivuutta on testattava myös Suomen rataverkolla ennen niiden laajempaa käyttöönottoa.

Työn päätavoitteena on tutkia radalla tehtävien mittausten avulla mahdollisimman kattavasti uuden elastisemman vaihderakenteen käyttäytymistä osana ratarakennetta ja pystyä vertailemaan sitä nykyisen vaihderakenteen toimintaan. Jotta tässä onnistutaan, vaihteiden käyttäytymistä pitää seurata sekä yksittäisen junan ylityksen aikana että pidemmällä aikajänteellä koko vaihteen elinkaari huomioiden.

Yksittäisen junan ylityksen aikana vaihteista mitataan pystysuuntaisen palautuva painuman määrää eri komponenttien välillä sekä toimilaitteiden voimatasojen ja kielien liikeratojen muutoksia. Vaihteen koko elinkaaren kannalta on vuorostaan hyvin tärkeää seurata, miten rakenteen lisääntynyt elastisuus vaikuttaa raidegeometrian pysyvyyteen sekä vaihdekomponenttien ja raidesepelin vaurioitumiseen.

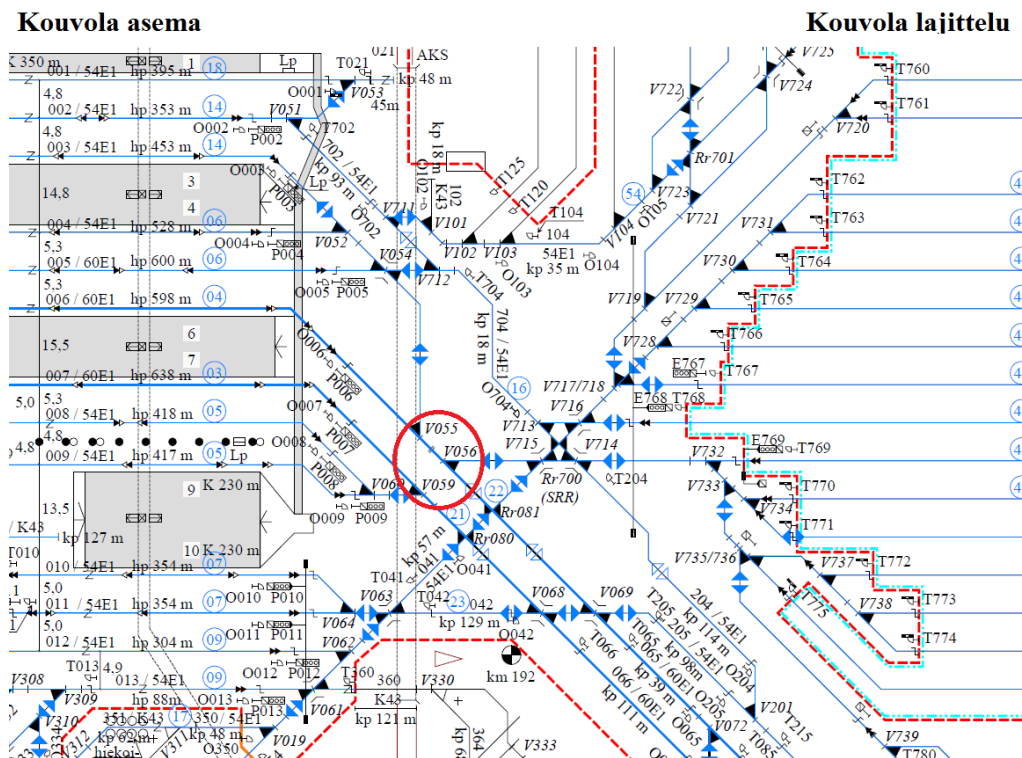
2 Monitorointikohteet

Kaikki tämän projektin aikana monitoroitavat vaihdekohteet sijaitsevat Kouvolan rata-
pihalla hieman henkilöasemalta itään päin. Elastisten prototyypivaihteiden asennus-
paikka päätettiin Liikenneviraston toimesta jo hyvissä ajoin suunnitteluprosessin ai-
kana. Testipaikan valinnassa lähdettiin siitä, että vaihteet tulisi sijoittaa riittävän vaa-
tivaan ympäristöön, jolloin testi tuo esille uusien komponenttiratkaisujen todellisen
toimintakyvyn. Vaativalla ympäristöllä tarkoitettiin runsasliikenteistä paikkaa, jossa
tulisi liikkua sekä kotimaista kalustoa että itäisen yhdysliikenteen kalustoa. Vaihteiden
asennuskohta tuli kuitenkin valita myös niin, että mahdollisten ongelmien ilmaantu-
essa kyseiset vaihteet on mahdollista kiertää ilman merkittävää liikennehaittaa.

2.1 Kohteiden yleisesittely

Edellä esitettyjen valintakriteerien perusteella elastisten prototyypivaihteiden asen-
nuspaikaksi valittiin vaihteet, joiden tunnuksia ovat KV V056 ja KV V059. Näiden ky-
seisten vaihteiden valintaan vaikutti suuresti myös se, että nämä vaihteet olivat melko
huonossa kunnossa ja ne olisi pitänyt vaihtaa joka tapauksessa.

Jotta uusien prototyypivaihteiden toiminnasta saataisiin mahdollisimman hyvä käsi-
tys, niitä on pystyttävä vertailemaan myös nykyisen vaihderakenteen kanssa. Tästä
syystä monitorointiin otettiin mukaan myös yksi nykyisellä rakenteella varustettu
vaihde, jonka tunnus on KV V055. Tämä vaihde on asennettu rataan alkuvuodesta 2014,
joten kaikkien monitoroitavien vaihteiden ikä vastaa käytännössä toisiaan. Vaihteiden
tarkka sijainti on esitetty alla olevassa Kouvolan aseman raiteistokaaviossa (Kuva 1).



Kuva 1. Kouvolan aseman raiteistokaavio. (Liikennevirasto 2014a)

Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, monitoroitavat vaihteet sijaitsevat kaikki vierekkäin Kouvolan aseman ja Kouvolan lajitteluratapihan välisellä alueella. Tämä on yksi Suomen suurimmista lajitteluratapihoista, joten vaihteiden yli liikkuu paljon vaihtoliikennettä. Kaikki monitorointivaihteet ovat lisäksi pääraidevaihteita.

Vaihteiden sijainti takaa, että niiden yli liikkuu paljon sekä henkilöliikennettä että tavaraliikennettä. Vaihteiden V055 ja V059 laitureille johtavat poikkeavat raiteet varmistavat lisäksi sen, että näitä vaihteita käytetään aktiivisesti kummassakin asennossaan. Luvussa 3 esiteltävän monitoroinnin avulla saatiin selville, että jokaisen testivaihteen yli kulkee noin 8 Mbrt liikennettä vuodessa.

Valitun asennuspaikan heikkona puolena voidaan kuitenkin mainita se, että asemalta lähtevien ja asemalle saapuvien junien nopeus on kyseisessä kohdassa hyvin alhainen ($V < 50$ km/h), jolloin vaihteisiin ei kohdistu käytännössä lainkaan suurien nopeuksien aiheuttamia iskukuormituksia. Kuvasta 1 nähdään, että vaihteet sijaitsevat pääraiteilla 006 ja 007, joiden suurin sallittu nopeus on 90 km/h. Tämä nopeus kuitenkin realisoituu ainoastaan tilanteissa, joissa tavarajuna ajaa pysähtymättä Kouvolan asemalaiturien läpi.

2.2 Elastisen ja nykyisen vaihderakenteen erot

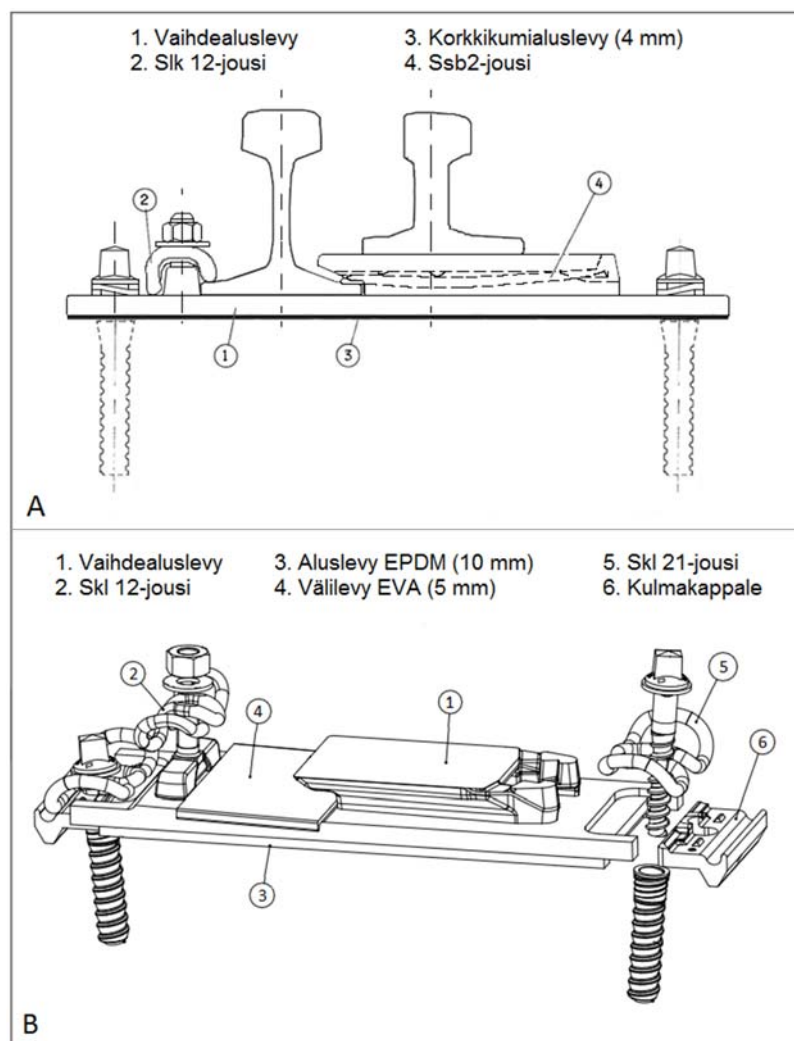
Tämän monitorointiprojektin pääkohteina olevat vaihteet V056 ja V059 ovat rakennettu uuden elastisemmän rakenteen mukaisesti ja vaihte V055 edustaa vanhaa rakennetta. Kummatkin näistä uusista vaihteista vastaa nykyistä lyhyttä YV60-300-1:9-V –tyypin vaihdetta ja ne ovat asennettu rataan syys-lokakuussa 2014 korvamaan radassa olleet YV54-200N-1:9-V tyypin puupölkyllyiset vaihteet. Eli jo pelkästään vaihdetyypin muutos aiheuttaa kyseiseen kohtaan tietynlaista käytettävyyden tason nousua kiskopainon ja kaarresäteen kasvaessa. Uusissa vaihteissa käytetään samoja teräsosia (kiskot ja kielet) kuin nykyisessäkin 60E1-vaihderakenteessa, joten ne ovat kokonaisuimitoiltaan ja toimilaitteiden kiinnitysreikien osalta täysin yhteneviä toistensa kanssa. Tämä yhdenmukaisuus oli suunnittelutyössä alusta asti tavoitteena, jotta nykyisiä teräsosia pystytään hyödyntämään myös tulevaisuudessa.

Muilla vaihderakenteen osa-alueilla muutoksia on vuorostaan tehty melko paljon. Seuraavissa kappaleissa käydään yksityiskohtaisesti läpi uuden vaihderakenteen erot suhteessa nykyiseen rakenteeseen.

2.2.1 Välilevyt ja kiskonkiinnitys

Suurin ero nykyiseen rakenteeseen on ilmiselvästi se, että kiskon ja pölkyn välisessä kiinnityksessä käytetään elastista välilevyä koko vaihteen matkalla. Nykyisessä rakenteessa elastista välilevyä ei käytetä lainkaan vaihteen kielisovitusalueella eikä risteysosassa. Nykyisellä ratkaisulla on yritetty ennen kaikkea hakea varmuutta kielisovituksen toimintaan, koska ilman elastista välilevyä kieli ja tukikisko pysyvät varsinkin pystysuunnassa jäykästi asemassaan ja niiden välinen korkeusero ei pääse muuttumaan. Tämä rakenne ei kuitenkaan ole optimaalinen, sillä ilman kiinnitysrakenteen elastisuutta junan aiheuttamat dynaamiset iskukuormitukset siirtyvät rasittamaan nykyisen rakenteen elastisinta komponenttia, eli sepeliä. Tämä johtaa suurempiin pysyviin muodonmuutoksiin sepelissä ja myös sepelin hienontumiseen, jolloin sen tukemiskyky heikkenee merkittävästi.

Kuvassa 2 on esitetty nykyisen ja uuden vaihderakenteen kiskon ja pölkyn välinen kiinnitys rakenne kielisovitukseen kohdalta. Kuvasta voidaan havaita, että uuteen rakenteeseen on lisätty kaksi uutta päällekkäistä elastista komponenttia. Rakenteen elastisuuden kannalta merkittävämpi komponentti on vaihdealuslevyn alle asennettu 10 mm paksuinen EPDM-aluslevy, joka korvaa nykyisen rakenteen korkkikumialuslevyn. EPDM-levyn jäykkyydeksi on määritetty $90 \pm 15\%$ kN/mm, joten se on huomattavasti korkkikumilevyä elastisempaa. International Union of Railways:n (1986) määritelmien mukaan korkkikumivälilevyn jäykkyys on noin 300 kN/mm.



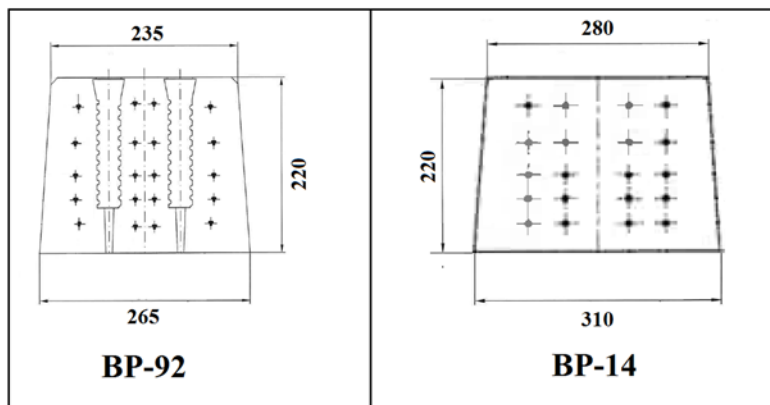
Kuva 2. (A) Pölkyn päällä olevat komponentit nykyisen vaihteen kielisovitusalueella. (B) Pölkyn päällä olevat komponentit uuden vaihteen kielisovitusalueella. Kuva lainattu muokattuna lähteistä (Liikennevirasto 2012, Schwihag 2013)

Uuteen rakenteeseen on lisätty myös 5 mm paksuinen EVA-välilevy kiskon ja vaihdealuslevyn väliin. Tämä komponentti on jäykkyydeltään noin 500 kN/mm, eli se on huomattavasti varsinaista välilevyä jäykempi, mutta silti muihin osiin verrattuna elastinen. Sen pääasiallinen tarkoitus onkin toimia välimateriaalina, jotta vältetään kiskon ja vaihdealuslevyn väliseltä suoralta jäykältä kontaktilta. Tällöin kiskon ja vaihdealuslevyn väliin ei muodostu suuria pistemäisiä jäykän kontaktin jännityshuippuja vaan jännitykset välittyvät välilevyn kautta tasaisemmin vaihdealuslevyyn.

Kolmantena merkittävänä muutoksena uudessa rakenteessa on vaihdealuslevyn ja pölkyn välinen Skl-jousikiinnitys kulmakappaleiden avulla. Tämä kiinnitystapa välittää vaihdealuslevyyn kohdistuvat poikittaiskuormat kulmakappaleeseen ja siitä suoraan pölkkyyn, jolloin raideruuvi ei joudu kuormitukselle. Nykyisen rakenteen pystysuorassa raideruuvikiinnityksessä poikittaiskuormat välittyvät raideruuville puhtaana leikkauskuormana. Salminen (2013) on tutkimuksissaan todennut, että nämä leikkausvoimat johtavat raideruuvien katkeamiseen.

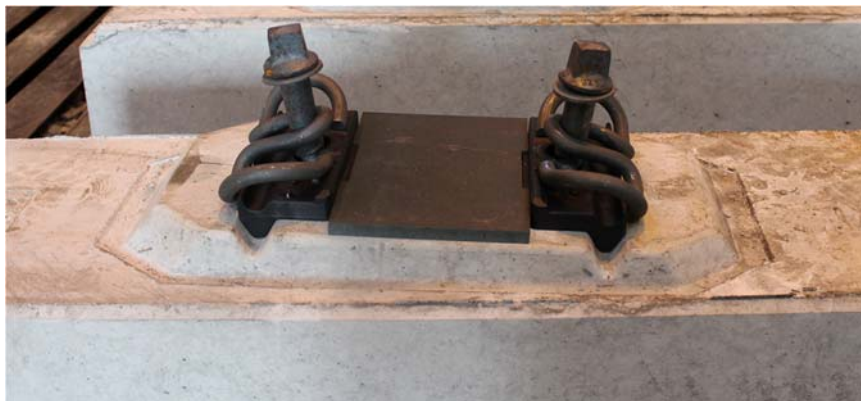
2.2.2 Pölkyt

Kulmakappaleita ei voida käyttää nykyisen BP92 betonivaihdepölkyn kanssa, koska siitä puuttuu kulmakappaleen vaatima vastinura. Tästä syystä uutta vaihdetta varten oli suunniteltava myös uusi pölkkytyyppi, johon on valuvaiheessa tehty urat kulmakappaleita varten. Uudessa pölkkytyypissä on luonnollisesti huomioitu myös se, että uusi vaihdealuslevy kiinnitetään vain kahdella raideruuvilla nykyisen 4 raideruuvien sijaan. Holkkien siirron takia myös pölkyn rauditus on suunniteltu uudelleen. Raudituksen muutos näkyy kuvassa 3, joka osoittaa myös sen, että pölkyn leveyttä on hieman kasvatettu.



Kuva 3. Nykyisen BP-92 pölkyn ja uuden BP-14 pölkyn mitat sekä rauditukset.

Kuva 3 esittää pölkkyjen poikkileikkausta kielisovitusalueella. Kielisovitusalueen ulkopuolella BP-14 pölkyn yläpinnan rakenne muuttuu vielä hieman. Kokonaisrakenteen yksinkertaistamiseksi kiskon kallistus on välikiskoalueella ja suurelta osin risteysalueella toteutettu kuvan 4 mukaisesti suoraan pölkkyssä, jolloin erillistä vaihdealuslevyä ei enää tarvita.



Kuva 4. BP-14 pölkky, jossa näkyy kiskon kallistuskorokkeet.

Risteyskärjen läheisyydessä suoran ja poikkeavan raiteen kiskot kulkevat sen verran lähellä toisiaan, ettei niitä voida kiinnittää erikseen kuvan 4 mukaisesti. Tällä alueella kiskot kiinnitetään pölkkyyn nykyiseen tapaan yhteisen vaihdealuslevyn avulla, jolloin vaihdepölkkyssä ei ole korokeosaa. Kuva 5 havainnollistaa kiskon kiinnitystapaa risteysalueen pölkkyissä. Kielisovitusalueen tapaan myös risteysalueen vaihdealuslevyn alla käytetään elastista 10 mm EPDM-välilevyä, jolloin risteysalueenkin elastisuutta saadaan lisättyä merkittävästi suhteessa nykyiseen rakenteeseen.

Uudet välilevyt varmistavat kuormitusten tasaisemman siirtymisen kiskosta pölkkyyn, mutta tämän lisäksi toisessa koevaihteessa V059 haluttiin testata myös pohjaimia, joiden tarkoituksena on välittää pölkkyyn kohdistuvat kuormitukset tasaisemmin tukikerrokseen. Pohjaimilla pystytään lisäämään pölkyn alapinnan ja sepelirakeiden välistä pinta-alaa parhaimmillaan jopa 35 % (Müller-Boruttau & Kleinert 2001), joten tällä komponentilla saattaa olla suuri merkitys koko rakenteen pystysuuntaiseen elastisuuteen varsinkin pitkällä aikajänteellä.



Kuva 5. Kiskon kiinnitys vaihdealuslevyn avulla risteyskärjen läheisyydessä, jossa kiskot kulkevat hyvin lähellä toisiaan.

Näiden muutosten lisäksi pölkkyrakennetta on muutettu myös vaihteenkääntölaitteen ja kääntöavustimen kohdalla. Nykyisissä vaihteissa nämä kaksi kohtaa ovat hyvin ongelmallisia, koska vaihteen kääntö- ja tarkastustangot kulkevat sepelin joukossa kahden pölkyn välissä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että näitä kyseisiä pölkkyjä ei voida tukea koneellisesti muiden vaihdepölkkyjen tapaan. Pölkkyjä voidaan tukea manuaalisesti tankoja varoen, mutta tällä tavalla ei päästä juuri koskaan samaan tulokseen koneellisen tuennan kanssa. Nämä kohdat pääsevät siis painumaan muuta rata-rakennetta enemmän ja synnyttävät rataa epäjatkuvuuskohtia.

Uusissa elastisissa vaihteissa kyseisiin tukemisiongelmiin on pyritty hakemaan ratkaisua niin sanotun onton pölkyn avulla, joka on esitetty kuvassa 6. Onttoa pölkkyä käytämällä vaihteenkääntölaitteen tangot sekä valvontakoskettimen tangot pystytään sijoittamaan pölkyn sisään, mikä mahdollistaa jatkuvan koneellisen tuennan koko vaihteen läpi. Se estää myös irtokivien osumisen kääntötankoihin, jolloin tangot säilyvät käyttökelpoisina pidempään.



Kuva 6. Vaihteenkääntölaitteen kohdalle asennettu ontto pölkky, jonka sisällä vaihteenkääntölaitteen tangot pääsevät kulkemaan vapaasti. Pölkystä on kuvaushetkellä poistettu kansirakenne.

Kuten kuvasta 6 näkyy, ontto pölkkyrakenne on varsinkin yläpinnastaan huomattavasti normaalia pölkkyä leveämpi. Ontto pölkky on valurakenne, joka on leveimmilään suoraan kiskon alla (454 mm), mutta tukemisalueelta se on hieman kapeampi (420 mm) (Schwihag 2014b). Tämä täyttää standardin EN16431 (2014) mukaisen vaatimuksen, joka määrittää, että pölkyn maksimileveys tukemisalueella pitää olla alle 425 mm. Tästä huolimatta Kouvolan vaihteiden asennuksen yhteydessä havaittiin, että Suomessa käytettävien vaihteentukemiskoneiden hakut ovat maksimileveydelle asetettunakin hyvin lähellä ontton pölkyn reunoja ja tukemisen aikana ne hieman osuvat pölkyn kylkiin. Pölkky saadaan siis tuettua, mutta se vaatii erityistä tarkkuutta tukemishakkujen asemoinnin suhteen. Ontton pölkyn suurempi leveys tulee huomioida myös vaihteen muuta pölkkytystä suunniteltaessa. Pölkkyväli mitoitetaan aina suunnittelu-vaiheessa pölkyn keskilinjalta keskilinjalle ja tämän etäisyyden täytyy ymmärrettävästi olla ontton vieressä suurempi, jotta tukemishakuille jää riittävästi työskentelytilaa ontton pölkyn kummallekin puolelle. Tukemishakut tarvitsevat työskentelytilaa tukemiskoneen kuljettajan kanssa käydyn keskustelun perusteella noin 180 mm, joten etäisyyden pölkyn keskilinjalta keskilinjalle tulee olla tämän perusteella ontton pölkyn kummallakin puolella vähintään 560 mm.

2.2.3 Vaihteenkääntölaitteet ja vaihteen lukitus

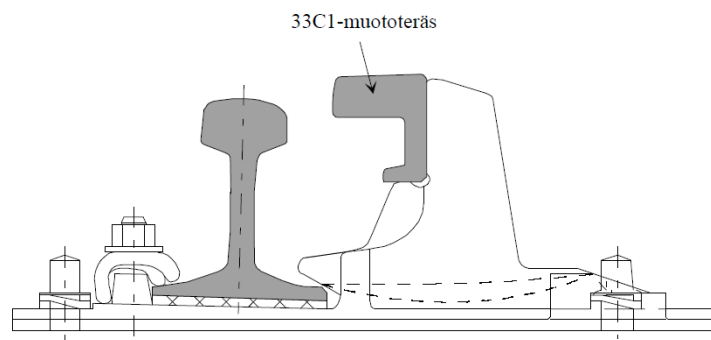
Ontton pölkyn asentamisen myötä vaihteissa käytetään vaihteen kielien ulkoista lukitusta. Ontton pölkyn toimittaja Schwihag on kehittänyt pölkyn ohella myös lukitusjärjestelmän (Schwihag 2016), jolla kielet lukitaan tukikiskoon mekaanisesti osana kääntötapahtumaa. Tämä on monimutkaisempi, mutta samalla myös turvallisempi ratkaisu kuin pelkkä vaihteenkääntölaitteen sisäinen lukko, jota käytetään nykyisissä sähköllä kääntyvissä vaihteissa. Pelkän sisäisen lukon heikkous on se, ettei se pysty valvomaan suoraan tukikiskon ja kielen välystä, vaan ainoastaan kääntölaitteen ja kielen välistä etäisyyttä (Nummelin 1994). Hyvin samantapaista mekaaniseen kiilalukkoon perustuvaa lukitusta käytetään Suomessa myös käsin asetettavissa vaihteissa (Liikennevirasto 2012).

Jotta tällaista onttoa pölkkyä ja siihen liitettyä lukitusjärjestelmää voidaan käyttää, täytyy luonnollisesti tehdä muutoksia myös vaihteenkääntölaitteeseen. Nykyinen kahden betonipölkyn väliin kiinnitettävä Siemensin Bsg. antr. 9 -vaihteenkääntölaite ei sovellu käytettäväksi lukitusjärjestelmän kanssa, koska se käyttää kielien kääntämiseen kahta erillistä kääntötankoa. Schwihagin lukitusjärjestelmä perustuu vuorostaan siihen, että kummatkin kielet käännetään yhdellä kääntötangolla. Monilta kääntölaitevalmistajilta

löytyy kuitenkin tällaisia yhden kääntötangon kääntölaitemalleja, joten koekäyttöön valittiin Siemensin S700K vaihteenkääntölaite, sekä Thalesin valmistama L826H vaihteenkääntölaite.

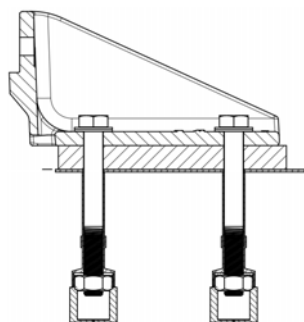
2.2.4 Muut muutokset

Uuteen rakenteeseen tehtiin myös muutoksia, jotka eivät suoranaisesti vaikuta rakenteen pystysuuntaiseen elastisuuteen edellisten tapaan. Ensinnäkin nykyisen vaihderakenteen vastakiskokiinnityksen on havaittu olevan ongelmallinen. Ongelmia aiheuttaa se, että vastakisko liitetään nykyisellään suoraan vaihdealuslevyyn kuvan 7 mukaisesti, jolloin sekä vastakisko että tukikisko ovat käytännössä samaa rakennetta. Tällöin yksittäisten osien vaihto on hankalaa ja vastakiskoon kohdistuvat kuormitukset saattavat vaikuttaa myös tukikiskon käyttäytymiseen.



Kuva 7. Vastakiskorakenne nykyisissä 60E1- ja 54E1-vaihteissa. (Liikennevirasto 2012)

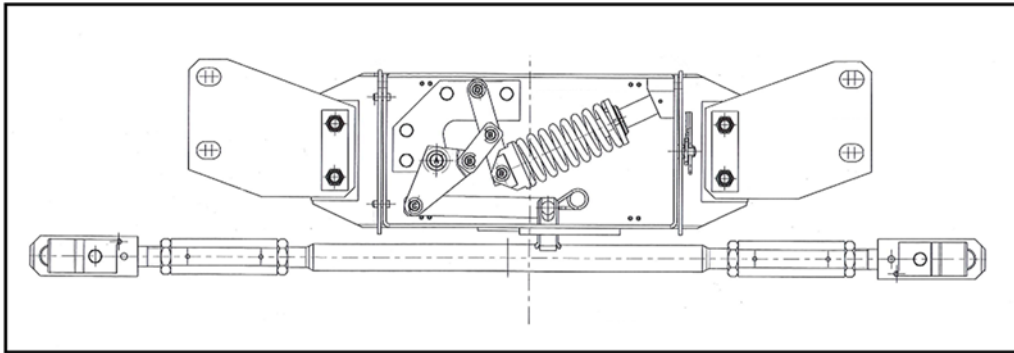
Uudessa rakenteessa vastakiskopukki on täysin erillinen osa, joka kiinnitetään pölkkyyn läpivetopulteilla kuvan 8 mukaisesti. Tällöin vastakiskoon kohdistuvat kuormitukset saadaan siirrettyä suoraan pölkkyyn, eivätkä ne häiritse varsinaisen tukikiskon toimintaa, joka voidaan kiinnittää pölkkyyn normaaleilla Skl-jousilla.



Kuva 8. Vastakiskopukki uudessa elastisessa vaihteessa. (Schwihag 2014a)

Läpivetopultin käyttö mahdollistaa normaalia suuremman vääntömomentin käytön vastakiskopukin kiinnityksessä. Tällaisen erillsrakenteen valmistaminen on myös huomattavasti yksinkertaisempaa, ja näin ollen edullisempää kuin nykyisen yhdistelmä-rakenteen.

Toinen elastiseen vaihteeseen tehty uudistus, joka ei vaikuta suoraan elastisuuden on koevaihteessa V059 testattava uusi Schwihagin valmistama kääntöavustin. Uusi kääntöavustin toimii nykyisin käytettävän Railex-kääntöavustimen tapaan jousivoimalla, eli se pyrkii laitteeseen asennetun jousen avulla kääntämään kieliä kohti jompaakumpaa pääteasemaa. Railexista poiketen uusi laite sisältää vain yhden jousen, jonka jousivoimaa voidaan portaattomasti säätää. Kuva 9 havainnollistaa uuden jousilaitteen rakennetta.



Kuva 9. Uudella jousimekanismilla varustettu kääntöavustin. (Schwihag 2015)

Pienempien ulkomittojensa vuoksi se soveltuu asennettavaksi kokonaisuudessaan uuden ontton pölkyn päälle ja näin ollen ontton pölkyn tukeminen helpottuu.

3 Monitorointijärjestelyt koevaihteissa

Uusien elastisempien vaihteiden vaikutuksia ratarakenteen toimintaan on tässä projektissa monitoroitu usealla eri tavalla. Monitoroinnin pääpaino on selkeästi radan pystysuuntaisen painumakäyttäytymisen selvittämisessä, joka nähtiin projektin alussa merkittävimmäksi muuttujaksi. Pystysuuntaisen painumakäyttäytymisen lisäksi vaihteista monitoroitiin myös kiskojen kulumista sekä vaihteenkääntölaitteiden ja kääntöavustimien tankojen liikeratoja ja voimatasoja, jotta pystytään varmistamaan uusien laitteiden turvallinen toiminta. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan yksityiskohtaisemmin näistä monitorointijärjestelyistä.

3.1 Radan palautuvan painuman mittaaminen

Yksi merkittävimmistä rakenteen jäykkyyden arviointikeinoista on radan palautuvan painuman mittaaminen. Radan palautuvalla painumalla tarkoitetaan radan pystysuuntaista liikettä kuormituksen alaisena, joka palautuu, kun kuorma on ylittänyt kyseisen mittauskohdan. Tällä niin sanotulla radan joustolla on suora yhteys radan jäykkyyteen ja jouston liiallinen kasvu vaihteen elinkaaren aikana indikoi näin ollen myös radan yleisen kunnon heikkenemistä. Tällä palautuvalla painumalla on hyvin suora yhteys myös radan pysyvään painumaan, jonka mittaamisesta kerrotaan lisää kappaleessa 3.2

Radan palautuvaa painumaa voidaan mitata sekä jatkuvalla että pistemäisellä menetelmällä. Koska ratarakenteen palautuvan painuman mittaaminen on hyvin olennainen asia radan jäykkyyden arvioinnissa, mittaus päätettiin toteuttaa kummallakin näistä menetelmistä.

3.1.1 Jatkuva menetelmä

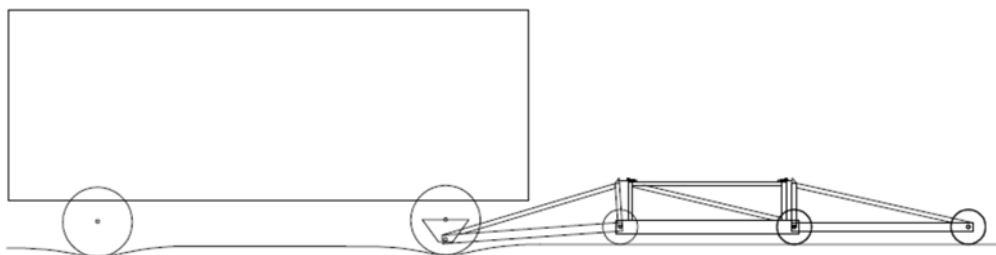
Radan palautuvan painuman jatkuva mittaaminen toteutettiin TTY:llä kehitellyn jäykkyydmittalaitteen avulla, joka on esitetty kuvassa 10. Tämä mittalaite on suunniteltu siten, että se pystytään etupäästään kiinnittämään suoraan Tka7- ratakuorma-auton akseliin, jolloin Tka7 toimii vaunun vetokalustona ja rataa kuormittavana kuormana mittauksessa.



Kuva 10. TTY:llä kehitetty radan palautuvaa painumaa mittaava laite.

Mittalaitteen toiminta perustuu radan pystysuuntaisen geometrian mittaamiseen sekä kuormittamattomasta että kuormitetusta radasta. Kuten kuvasta 10 voidaan nähdä, mittalaite koostuu kolmesta kevyestä akselista, jotka mittaavat radan pystysuuntaisen geometrian ensin TKA 7-ratakuorma-auton tuottaman akselikuorman (noin 14 tonnia) alaisena ja tämän jälkeen kuormittamattomana (mittalaitteen oma akselipaino noin 150 kg). Radan taipuma saadaan selville näiden kahden mittaustuloksen erotuksena, jonka avulla päästään kiinni radan kokonaisjäykkyyteen. Saman tyyppisiä jäykkyyden mittaamenetelmiä on käytetty myös esimerkiksi Sveitsissä (Berggren 2009).

Mittauslaitteen kaksi ensimmäistä akselia toimivat referenssipisteinä radan kuormitetun pystysuuntaista geometriaa määritettäessä. Kuormittamaton geometria määritetään vastaavasti mittalaitteen ensimmäisen akselin suhteen toisen ja kolmannen akselin toimiessa referenssipisteinä. Näin saadaan aikaiseksi kaksi suhteellista korkeusviivaa, jotka on mitattu akselivälin (3 m) pituuden verran eri kohdissa. Jotta näitä korkeusviivoja voidaan vertailla keskenään, mittaustulokset sidotaan tarkasti paikkaan. Tämä tehdään pyörän pyörimistä mittaavan pulssianturin avulla. Paikkaan sidottu kuormittamattoman geometrian signaali on helppo siirtää vakiomatkan verran eteenpäin siten, että eri korkeusviivojen lukuarvot edustavat samaa paikkaa. Kuva 11 havainnollistaa mittalaitteen eri osien toimintaa tilanteessa, jossa rataa aiheutuu palautuvaa painumaa vetokaluston raskaiden akselien vaikutuksesta.



Kuva 11. Periaatekuva jatkuvatoimisesta jäykkyyden mittalaitteesta.

Tämä jatkuvatoiminen jäykkyyden mittalaite on kehitetty osana radan kokonaisjäykkyyden mittaamista ja modifiointia käsittelevää projektia. Tämän projektin loppuraportissa on kerrottu yksityiskohtaisemmin laitteen ominaisuuksista ja radan painuman laskentatavoista. (Luomala et al. 2015)

Mittalaitteella tehtiin 4 mittausta, joista ensimmäinen toteutettiin melko pian elastisten vaihteiden asennuksen jälkeen 1.12.2014. Tämän mittauksen ideana oli saada selville koekohteiden alkutilanne painuman suhteen, johon jälkimmäisiä mittauksia voidaan tulevaisuudessa verrata. Toinen mittaus tehtiin 11.3.2015, jolloin tarkasteltiin koevaihteiden pystysuuntaista käyttäytymistä talviolosuhteissa, eli jäisellä tukikerroksella. Kolmas ja neljäs mittaus tehtiin kummatkin sulan maan aikana 3.11.2015 ja 11.5.2016.

3.1.2 Pistemäinen menetelmä

Jatkuvaan mittaukseen kykenevän mittalaitteen ohella radan palautuvaa painumaa mitattiin tässä projektissa myös pistemäisellä menetelmällä. Uusissa prototyypivaihteissa elastisia komponentteja on lisätty sekä kiskon että pölkyn alle, joten painumamuutoksia on mitattava erikseen kiskon ja pölkyn sekä pölkyn ja pohjamaan välistä. Kummatkin näistä mittauksista pystytään toteuttamaan siirtymäanturien avulla. Pohjamaan ja pölkyn välistä liikettä mitattaessa pölkkyyn kiinnitettävän anturin liikkeitä verrataan tiiviiseen pohjamaahan asti kairattavaan referenssitankoon. Riittävän pitkällä (noin 3 m) tangolla voidaan varmistaa, että referenssitaso ei pääse liikkumaan merkittävästi vaihteen käytön aikana. Kuva 12 havainnollistaa kairatangon sijaintia ja siirtymäanturin kiinnitystä pölkyn päähän. Anturilla on tarkoitus seurata pölkyn jousikäyttäytymistä mahdollisimman pitkään, joten pölkkyyn on kiinnitetty myös anturia ja kairatanko suojaava putki. Anturin ja sen vastinkappaleen asennuksen jälkeen putki suojataan vielä tiivistetyllä kannella.



Kuva 12. Pölkyn pystysuuntaista liikettä mittaavan anturin kiinnike ja sen referenssitasona toimiva kairatanko suojuksineen.

Tämän tyyppisiä antureita asennettiin jokaisessa koevaihteessa yhteensä kolmeen eri pölkkyyn, joista yksi on vaihteenkääntölaitteen pölkky, toinen välikiskoalueen pölkky ja kolmas risteysalueen pölkky. Vaihteenkääntölaitteen kohdalla ja välikiskoalueella anturit asennettiin aina pölkyn kumpaankin päähän. Risteysalueella anturit asennettiin vuorostaan siten, että toinen anturi sijaitsi suoran reitin puoleisessa pölkypäädyssä ja toinen anturi risteyskärjen alla, kuten kuvassa 13 on osoitettu. Ahtaan tilan vuoksi suoja putki jouduttiin kiinnittämään kulmaraudan avulla pölkyn yläpintaan.



Kuva 13. Risteysalueen siirtymäanturikiinnitys.

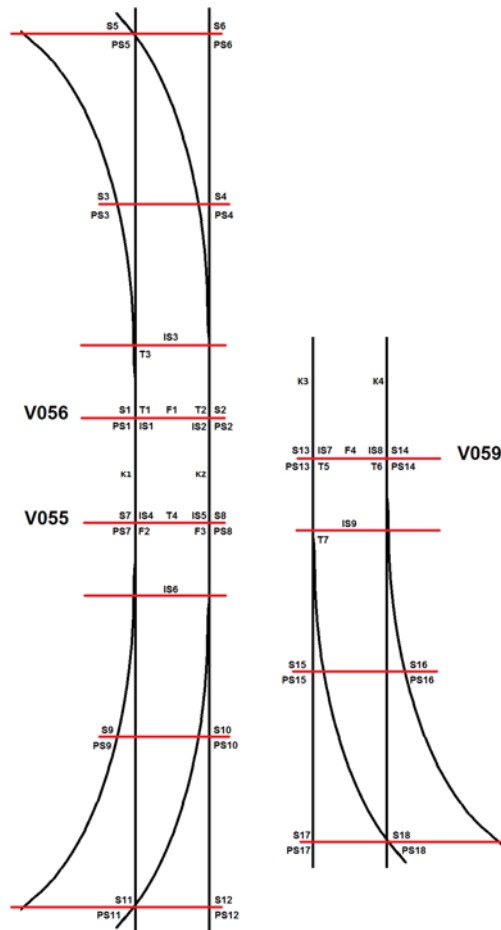
Pölkyn ja kiskon välisen liikkeen mittaamiseksi siirtymäanturien rungot kiinnitettiin suoraan pölkkyyn kiskon jalan läheisyyteen. Kiskon liikettä mittaavat anturit asennettiin samoihin pölkkyihin edellä kuvattujen pölkkyanturien kanssa, jolloin rakenteen kokonaisjousto saadaan määritettyä yksinkertaisesti näiden kahden anturityypin yhteenlasketulla siirtymällä. Kuvassa 14 on esitetty kiskon liikettä mittavat anturit sekä niiden kiinnitys pölkyn kylkeen.



Kuva 14. Kiskon ja pölkyn välisen liikkeen mittaava anturi risteysosan alla.

Näillä antureilla pystytään mittaamaan radan palautuva painuma yksittäisen junan yli-ajon aikana. Anturikiinnikkeet on suunniteltu niin, ettei niitä pureta lainkaan. Anturit pysyvät siis radassa koko seurantajakson ajan. Kiinteät anturit mahdollistavat siten myös radan pysyvän painuman mittaamiseen, johon keskitytään tarkemmin seuraavassa luvussa.

Radan pystysuuntaista käyttäytymistä mittaavia siirtymäantureita asennettiin siis yhteensä 36 kappaletta, joiden lopullinen sijainti näkyy kuvan 15 anturointisuunnitelmassa.



Kuva 15. Koevaihteiden anturointisuunnitelma.

Kuvassa 15 näkyvät S1 - S18 kuvaavat pölkyn ja pohjamaan välisiä siirtymäantureita ja PS1 - PS18 kiskon ja pölkyn välisiä antureita. Näiden kiinteiden anturien lisäksi palautuvaa painumaa mitattiin talvimittauksien (11.3.2015) yhteydessä myös kiihtyvyyssantureilla. Anturit kiinnitettiin muutaman junan ylityksen ajaksi kiskon jalkaan magneettien avulla, jolloin se saatiin helposti pystyasentoon. Tämä oli hyvin tärkeää, sillä kyseiset kiihtyvyyssanturit kykenevät mittaamaan kiihtyvyyttä ainoastaan yhdessä suunnassa. Kuva 16 havainnollistaa kiihtyvyyssanturien kiinnitystä vaihteen kielisovitusalueella.



Kuva 16. Kiihtyvyyssanturimittaus vaihteen kielisovitusalueella.

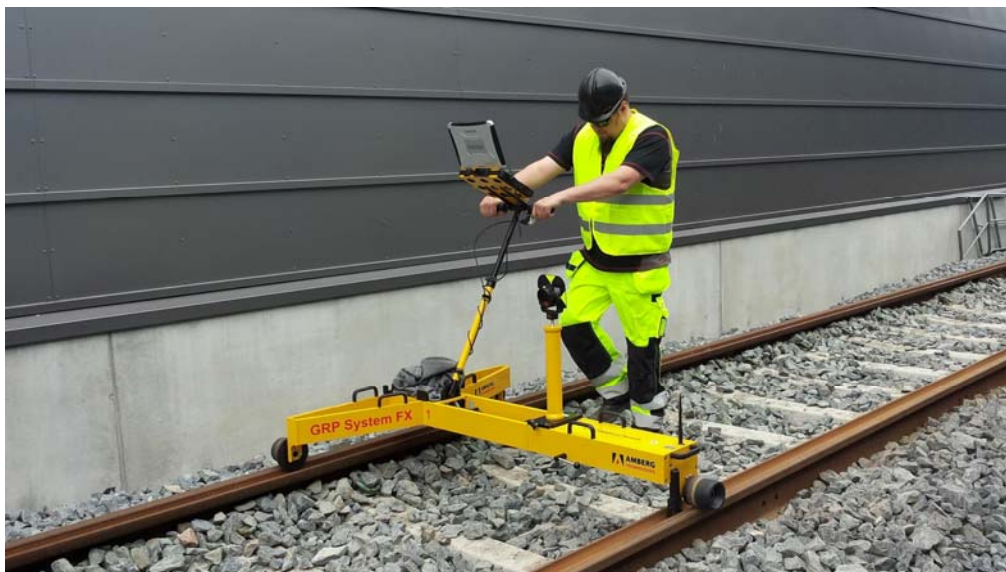
Mittaus toteutettiin joka vaihteessa yhteensä 15 anturilla, jotka asennettiin kuvan 16 mukaisesti järjestyksessä pölkkyjen 1 – 15 kohdalle. Tällainen pienen alueen järjestelmällinen pistemäinen mittaaminen auttaa todella paljon edellä esitetyn jatkuvaan mittaukseen kykenevän mittalaitteen antamien tulosten absoluuttitason määrittämisessä.

3.2 Radan pysyvän painuman mittaaminen

Uusien elastisten komponenttien vaikutusta vaihteiden käyttäytymiseen tulee tarkastella palautuvan painuman muutosten ohella myös pysyvän painuman kautta. Tämä tarkoittaa käytännössä radan absoluuttisen geometrian seuraamista ilman junakuormia. Absoluuttigeometria muuttuu normaalesti hyvin hitaasti, joten mittauksen on perustuttava pidemmän aikavälin seuraamiseen ja analysointiin.

Luvussa 3.1.1 esitelty mittalaite ei pysty määrittelemään pysyvää painumaa, koska sen mittaustekniikka ei perustu absoluuttisen geometrian mittaamiseen. Se mittaa ainoastaan kuormitetun ja kuormittamattoman radan suhteellista geometriaeroa. Koevaihteiden pysyvä painuma haluttiin kuitenkin saada mitattua jatkuvalla menetelmällä, koska etukäteen ei ollut täysin varmaa tietoa siitä, missä kohdassa pysyvää painumaa voisi syntyä eniten. Pysyvän painuman jatkuva mittaaminen oli siis toteutettava erillisellä mittausvaunulla, joka on suunniteltu nimenomaan tätä tarkoitusta varten.

Pysyvän painuman jatkuva mittaaminen toteutettiin kaikissa koevaihteissa Proacon Oy:n RAMI-WAGON:lla, joka on esitetty kuvassa 17. Se on takymetrin avulla toimiva mittausvaunu, joka tuottaa kartoitus- ja nuotitusdataa moninkertaisella nopeudella verrattuna perinteiseen pistemäiseen menetelmään (Proacon 2012). Laitteella on siis mahdollista mitata pystysuuntaisen painuman lisäksi myös muita radan tarkastusmittoja, kuten raiteen vaakasuuntainen asema, raideleveys ja kallistus.



Kuva 17. Proacon Oy:n kehittämä RAMI-WAGON mittausvaunu. (Proacon 2012)

Tällä mittausvaunulla tehtiin yhteensä viisi ajoa, joista kaksi ensimmäistä suoritettiin samoina ajankohtina jäykkyyksmittausten kanssa (2.12.2014 ja 10.3.2015). Tällä järjestelyllä pyrittiin siihen, että pysyvän ja palautuvan painuman muutokset olisivat suoraan keskenään vertailtavissa, jos niissä havaitaan merkittäviä poikkeamia.

Pysyvä painuma muuttuu normaalisti asennuksen jälkeisten alkupainumien jälkeen hyvin hitaasti (Esveld 2001). Väliraportin julkaisuhetken mennessä haluttiin kuitenkin saada mahdollisimman hyvä kuva pysyvästä painumasta, joten kolmaskin mittaus suoritettiin vielä ennen väliraportointia 29.4.2015. Näin ollen väliraportin jälkeisenä aikana tehtiin kaksi mittausa, joista ensimmäinen suoritettiin 2.12.2015 ja toinen ihan projektin loppupuolella 13.10.2016.

Kuten edellisessä luvussa mainittiin, pysyvää painumaa mitattiin vaunun ohella myös rataa asennettujen pistemäisten siirtymäanturien avulla. Näitä antureita asennettiin kuitenkin melko harvakseltaan, kuten kuva 15 osoittaa, joten niiden perusteella ei saada kovinkaan laajamittaista tietoa kokonaisen vaihderakenteen painumasta. Ne toimivat kuitenkin hyvänä lisäinfona ja tarkastuskeinona vaunumittauksista saaduille tuloksille, sillä niiden mittaustarkkuus on moninkertainen vaunumittauksiin verrattuna.

3.3 Kiskojen ja risteysalueen kulumisen mittaaminen

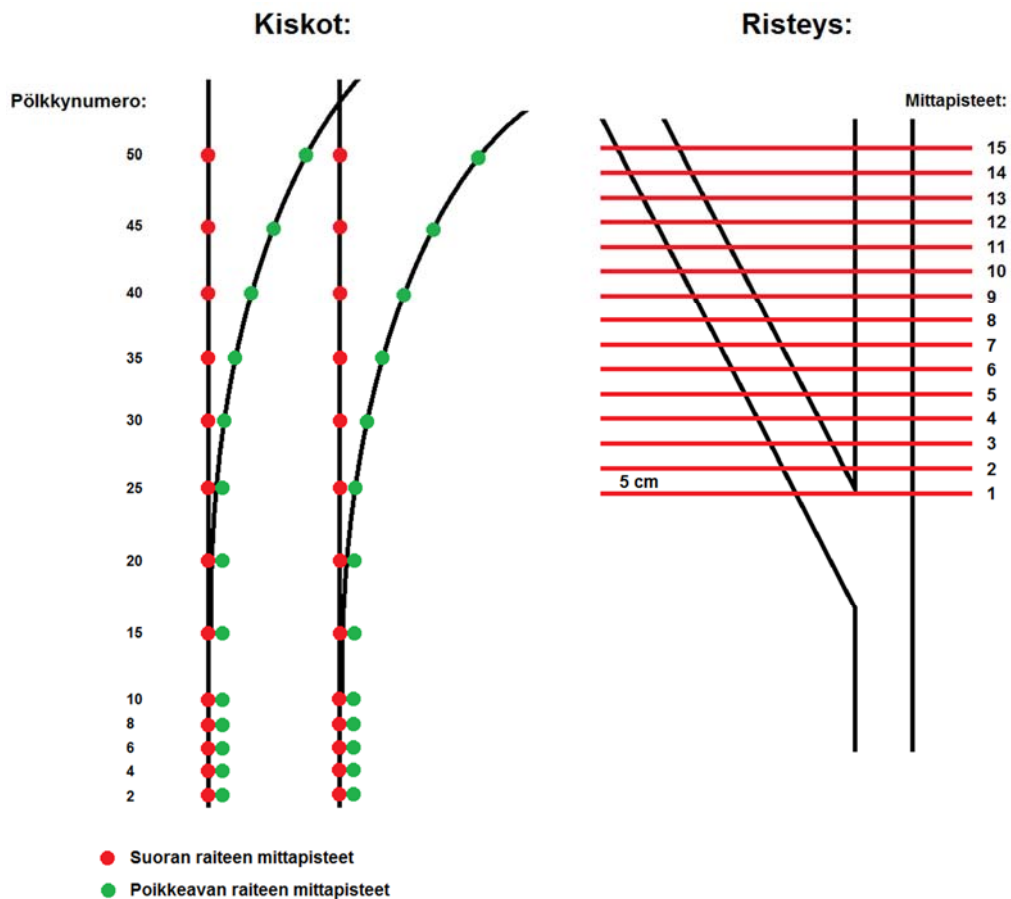
Siirtymien ja painumien ohella uusista elastisista vaihteista mitattiin tässä projektissa myös kiskojen, kielten ja risteyskärjen kulumista. Nykyisessä jäykemmässä vaihderakenteessa kulumisen on monesti muodostunut ongelmaksi varsinkin risteyskärjissä ja vaihteen käyrässä kielessä, jolloin niitä joudutaan hiomaan ja vaihtamaan ennenaikaisesti. Uusien elastisten välilevyjen on toivottu tasoittavan myös näitä kiskoihin kohdistuvia kuormituksia, jolloin kulumisen saattaa vähentyä.

Kiskojen, kielten ja risteysalueen kulumista mitattiin Greenwood Engineeringin kehittämän MiniProf -laitteen avulla. MiniProf laitteen avulla pystytään mittaamaan useiden eri komponenttien profiileja laitteessa olevan piirtomittapään avulla (Kuva 18). Mittauksen aikana laite tallentaa jatkuvasti mittapään kärjen tarkkaa asemaa, jolloin profiili muodostuu tallennetusta pistepilvijoukosta. Mittapäällä pystytään siihen liitetystä lisäosista riippuen mittaamaan kiskojen, pyörien tai esimerkiksi junan jarrulevyjen profiilin muotoa. Tämän projektin yhteydessä oli käytössä sekä normaalien kiskojen profiilin mittaamiseen käytettävä Miniprof Rail sekä vaihteiden risteyskärjen ja siipikiskon profiilin mittaamiseen käytettävä Miniprof Switch.



Kuva 18. *MiniProf Rail -mittalaite.*

Näiden laitteiden avulla saatiin kaikista koevaihteista mitattua kiskoprofiilit kuvan 19 mukaisista poikkileikkauksista suoralta ja poikkeavalta raiteelta sekä risteyskärjestä. Profiileja mitattiin näin ollen yhteensä 67 kappaletta per vaihde.



Kuva 19. Miniprof-mittauksen mittapisteet.

Kiskojen ja risteysten profiileja mitattiin projektin aikana 2 kertaa, joista ensimmäinen suoritettiin elastisten vaihteiden asennuksen jälkeen joulukuussa 2014 ja toinen marraskuussa 2015. Näitä tuloksia vertailemalla saadaan arvio kiskojen kulumisvauhdista eri vaihteissa.

3.4 Muu anturointi

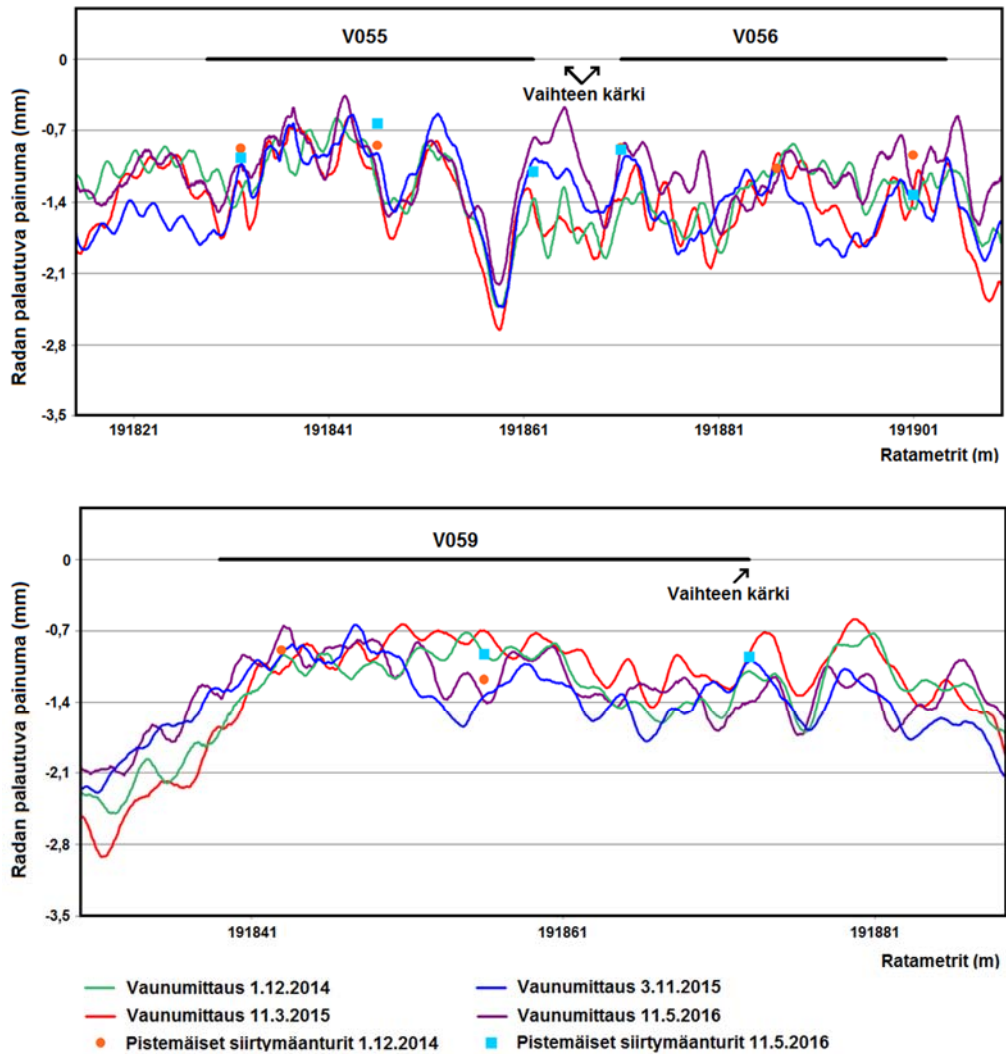
Kuvassa 15 on esitetty pystysuuntaisten siirtymäantureiden lisäksi vaihteiden kääntölaitteiden tarkastustankoihin ja kääntöavustimien tankoihin asennetut siirtymäanturit (IS1 – IS8) ja vaihteiden kääntötankoihin voima-anturit (F1 –F4), joiden avulla voitiin varmistaa laitteiden vakaa toiminta sekä kääntötilanteessa että junan ylityksen aikana. Suunnitteluvaiheessa lisäksi havaittiin, että onttoa teräspölkkyä käytettäessä lumi ja jää saattavat päästä pölkyn sisälle täyttämään pölkyn. Tämä johtaisi melko todennäköisesti vaihteenkääntölaitteiden ja kääntöavustimien toimintahäiriöihin, joten koevaihteissa päätettiin testata pölkyn sisäistä lämmitysjärjestelmää, jonka toimivuutta monitoroitiin lämpötila-antureilla (T1-T8). Koevaihteiden yli menevän liikenteen akselipainoja mitattiin kiskoihin kiinnitetyillä venymäliuskoilla (K1 – K4).

4 Mittaustulokset ja analysointi

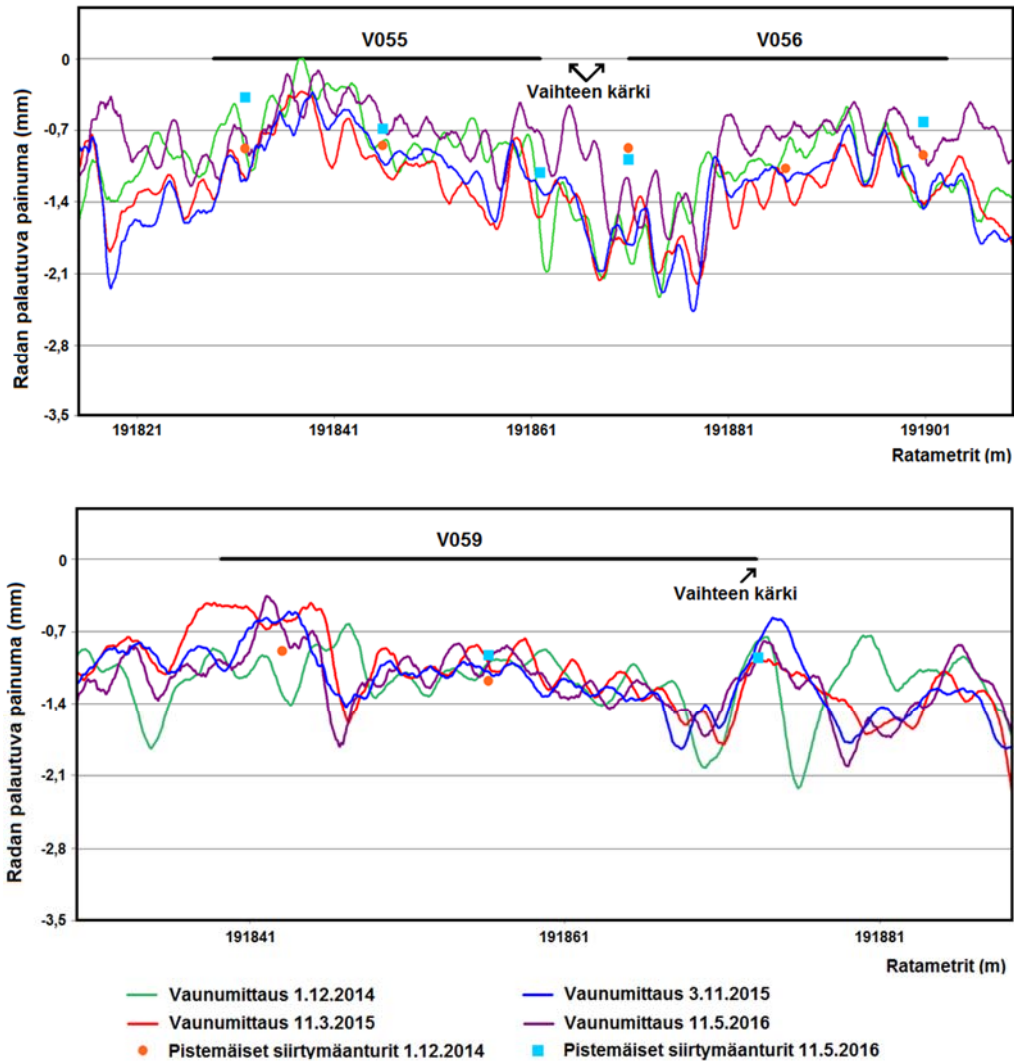
Loppuraportin kirjoitushetkellä (1/2017) elastiset vaihteet ovat olleet radassa noin reilu 2 vuotta. Tämä on vaihteiden suunnitellun käyttöiän kannalta hyvin lyhyt ajanjakso, mutta tälläkin ajanjaksolla on mahdollista tehdä jo tiettyjä havaintoja vaihteiden käyttäytymisestä. Kaikki mitatut koevaihteet ovat jo lähtökohtaisesti rakenteeltaan erilaisia, joten niiden elastisessa käyttäytymisessä voidaan nähdä eroja jo heti mittauksen alussa.

4.1 Radan palautuva painuma

Vaihteista mitattiin radan palautuvaa painumaa sekä jatkuvalla että pistemäisellä menetelmällä. Jatkuvan menetelmän mittauksia suoritettiin yhteensä 4 kertaa, jotka ajoituivat luvun 3.1.1 mukaisesti ajanjaksolle 12/2014 – 5/2016. Ensimmäisellä mittauksella pyrittiin selvittämään vaihteiden elastisuuden lähtötilanne, jota voidaan verrata kolmeen muuhun mittaukseen. Kuvissa 20 ja 21 on esitetty päällekkäin kaikkien 4 mittauksen tulokset eri vaihteissa sekä suoralla että poikkeavalla reitillä. Jatkuvan mittauksen tulosten rinnalla on esitetty myös pistemäisten siirtymäanturien mittaustulokset joulukuun 2014 ja toukokuun 2016 vaunuajoista.



Kuva 20. Elastisuusvaunulla mitatut radan palautuvan painuman arvot vaihteiden suoralta reitiltä välillä joulukuu 2014 – toukokuu 2016. Mustat viivat kuvaavat vaihdealuetta.



Kuva 21. Elastisuusvaunulla mitatut radan palautuvan painuman arvot vaihteiden poikkeavalta reitiltä välillä joulukuu 2014 – toukokuu 2016. Mustat viivat kuvaavat vaihtevaluetta.

Ensimmäinen huomio kuvista 20 ja 21 on se, että varsinkin vaihteissa V055 ja V056 suoran reitin ja poikkeavan reitin mittaussajojen tulokset eroavat jonkin verran toisistaan. Teoriassa mittaustulosten pitäisi näyttää vaihteen kielisovitusalueella samoilta, mutta lyhyiden vaihteiden poikkeavan reitin tiukka kaarresäde vaikuttaa jostain syystä hieman kuvan 21 tuloksiin. Kaarteen aiheuttamaa virhettä on yritetty poistaa palautuvan painuman mittaustuloksista monilla eri korjauskertoimilla. Se on kuitenkin hyvin hankalaa, koska vaihteen V059 tuloksista nähdään, ettei se aina vaikuta yhtä negatiivisesti tuloksiin. Mahdollisen kaarrevirheen takia radan palautuvan painuman suuruutta on tarkasteltava pääosin suoran reitin ajojen perusteella.

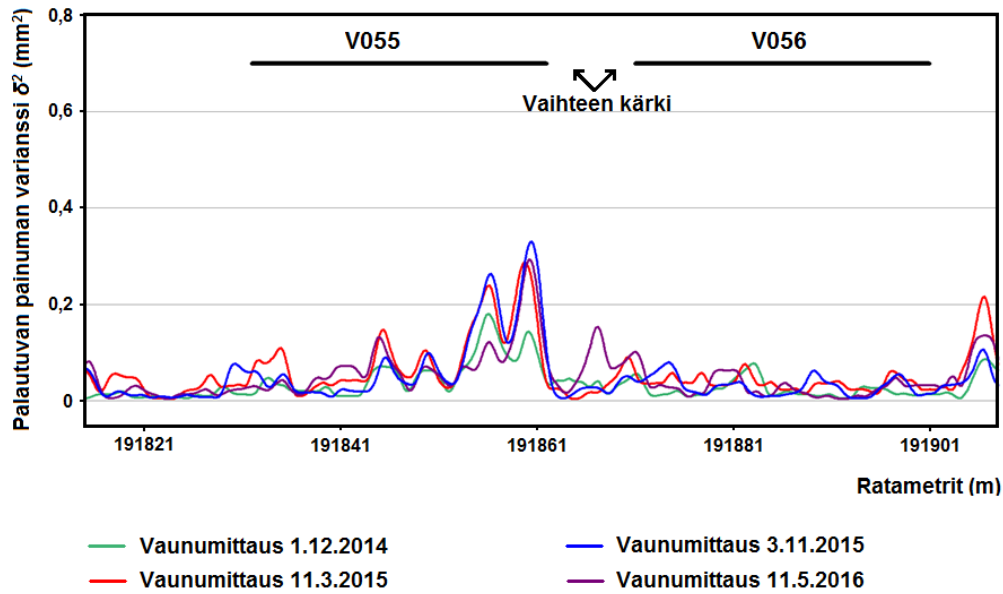
Näistä suoran reitin ajoista (kuva 20) nähdään, että radan palautuvan painuman absoluuttiarvot eivät ole monitorointiaikana kasvaneet kovinkaan merkittäviksi kolmen koevaihteen alueella, jos niitä verrataan RATO:n osassa 3 (Liikennevirasto 2014b) määriteltyihin palautuvan painuman raja-arvoihin. Niiden mukaan rata saa painua täyden mitoitusakselikuorman alla 4 mm. TKA 7:n akselikuorma ei kuitenkaan ole kuin 14 tonnia, joten asiaa on syytä tarkastella vielä pistemäisillä siirtymäantureilla suuremman akselikuorman (21 t) alaisena. Näitä painuman arvoja ovat esitetty myöhemmin tässä raportissa kuvissa 24 - 28.

Vaunumittauksessa absoluuttiarvoja kiinnostavampi tieto on palautuvan painuman vaihtelu radan pituussuunnassa. Kuten kuva 20 osoittaa, vaihteluväli on vaihteen V055 kärkialuetta lukuun ottamatta alle 1 mm luokkaa, mikä tarkoittaa, että radan jäykkyydessä ei ole havaittavissa merkittäviä epäjatkuvuuskohtia. Vaihteen V055 kärkialueelle on kuitenkin muodostunut jo ennen ensimmäistä mittauskertaa selkeä epäjatkuvuuskohta, jossa palautuva painuma muuttuu alle 10 metrin matkalla lähes 2 mm. Tämä on hyvin tyypillistä nykyiselle vaihderakenteelle, jossa kärkialuetta ei päästä kääntötankojen sijainnin takia koneellisesti tukemaan. Uusien prototyypivaihteiden kärkialueilla tätä epäjatkuvuutta ei ole päässyt syntymään, kun kääntötangot ovat onton teräspölkyn sisällä ja vaihde on asennuksen yhteydessä koneellisesti tuettu.

Neljä eri mittauskertaa yhteensä 1,5 vuoden aikana kertoo myös mahdollisesta ajan vaikutuksesta radan palautuvaan painumaan. Kuvasta 20 voidaan kuitenkin nähdä, että mittausaikana palautuvassa painumassa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia, joten radan jäykkyys on pysynyt hyvin niissä arvoissa, johon se vaihteiden asennuksen yhteydessä on saatu. Myöskään vaihteen V055 kärkialueella havaitussa epäjatkuvuuskohdassa radan jäykkyys ei ole ajan saatossa pahentunut. Tällaisessa epäjatkuvuuskohdassa riski jäykkyyden heikentymiseen ajan suhteen on suurempi, koska alkuperäinen jäykkyydenmuutos synnyttää dynaamisia kuormituspiikkejä, jota päällysrakenne ei välttämättä pysty kestävään.

Pelkkä palautuvan painuman lukuarvojen muuttuminenkaan ei kuitenkaan ole vielä riittävä keino ratarakenteen kunnon arvioimiseen. Ratarakenteen toiminnan ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta merkityksellistä on myös palautuvan painuman muutosnopeus. Palautuvan painuman arvot voivat siis pysyä hyvinkin RATO:ssa annettujen raja-arvojen sisällä, mutta tilanne voi silti olla kriittinen, jos arvot vaihtelevat hyvin nopeasti esimerkiksi nollan ja maksimiarvon 4 mm välillä. Tähän radan käytön aikaiseen palautuvan painuman muutosnopeuteen RATO ei ota kantaa millään tapaa.

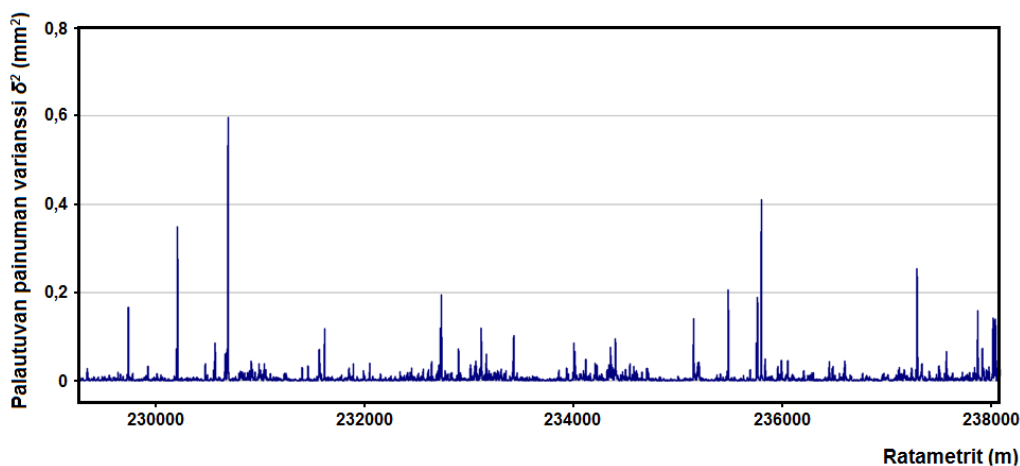
Kyseistä muutosnopeutta pystytään jollakin tasolla arvioimaan myös suoraan kuvista 20 ja 21, mutta se ei ole kovin yksikäsitteistä. Palautuvan painuman muutosnopeuteen päästään paremmin käsiksi määrittämällä painumasta liukuva varianssi δ^2 . Varianssi kuvaa neliöllisesti palautuvan painuman poikkeamaa keskiarvosta (keskihajonta δ), joka kertoo 5 metrin liukuvana arvona paremmin sen muutosnopeudesta. Alla on kuvassa 22 esitettynä vaihteiden V055 ja V056 suoran reitin ajoista laskettu 5 metrin liukuva varianssi, jos siis vastaa kuvan 20 painumatilannetta.



Kuva 22. *Elastisuusvaunulla mitatun radan palautuvan painuman 5 metrin liukuva varianssi vaihteiden suoralta reitiltä välillä joulukuu 2014 – toukokuu 2016. Mustat viivat kuvaavat vaihdealuetta.*

Varianssin avulla palautuvan painuman muutosta on yksikäsitteisempää analysoida, sillä varianssin perusarvo on hyvällä ja tasaisella radalla teoriassa aina nolla. Eri rataosilta tai eri vaihteista saatuja variansseja voidaan verrata suoraan keskenään ja varianssille pystytään luomaan tämän avulla yksikäsitteisiä raja-arvoja. Suoraan palautuvan painuman millimetrejä tulkitsemalla näiden raja-arvojen löytäminen on hankalampaa.

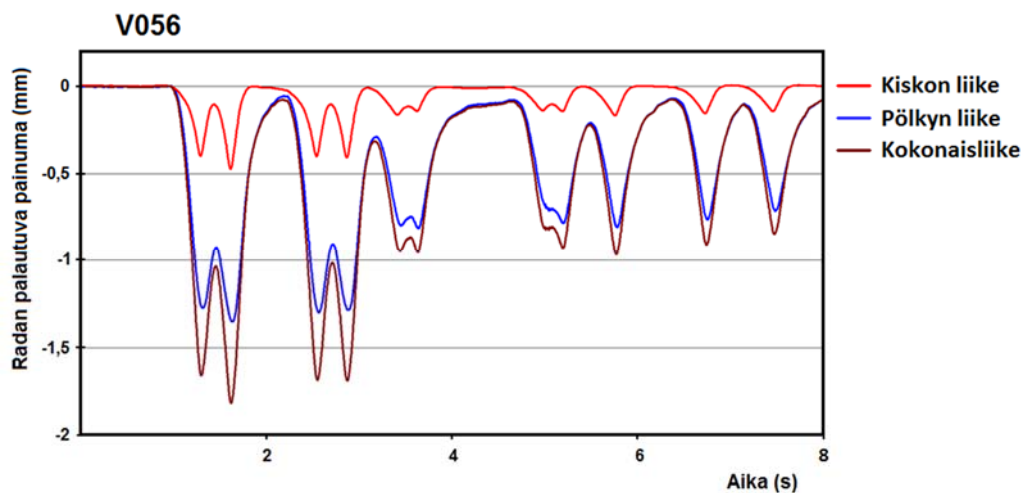
Jotta voidaan arvioida varianssin suuruutta, on vierelle tuotava vertailudataa vaihdealueen ulkopuolelta. Alla on esitetty kuvassa 23 välillä Kaipiainen – Taavetti syksyllä 2013 mitatun palautuvan painuman varianssia noin 8 kilometrin matkalla.



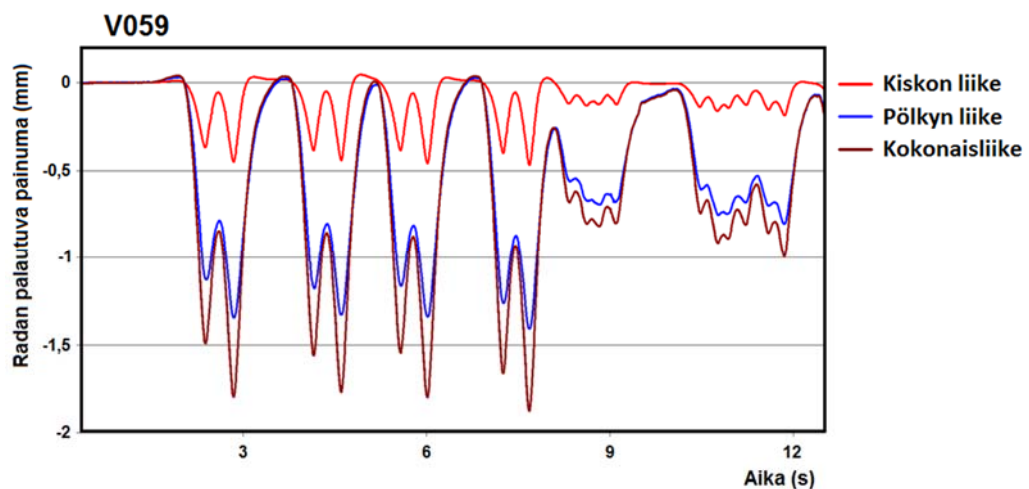
Kuva 23. *Elastisuusvaunulla mitatun radan palautuvan painuman 5 metrin liukuva varianssi väliltä Kaipiainen – Taavetti syksyllä 2013.*

Kuten kuvasta 23 voidaan nähdä, linjaosuuttakin tarkasteltaessa rata on muodostunut useita eri kohtia, jossa palautuvan painuman varianssi on kasvanut välille 0,2-0,6. Näihin tuloksiin pohjautuen voidaankin todeta, että vaihteen V055 kärkialueella esiintyvät suuremmat palautuvat painumat ovat muutosnopeudenkin kannalta hyvin tyypillisiä, eivätkä edusta koko rataverkon mittakaavassa vielä merkittäviä ongelmia.

Palautuvaa painumaa mitattiin vaunuajojen lisäksi siis myös kuvissa 12 - 14 esitetyillä siirtymäantureilla. Niiden avulla pystytään tarkastelemaan yksityiskohtaisemmin, mitkä osat rakenteessa aiheuttavat kuvan 20 mukaisen kokonaispainuman. Kuten jo aiemminkin todettiin, koevaihteiden rakenteelliset erot vaikuttavat radan palautuvaan painumaan, joten niissä on havaittavissa selkeitä eroja jo heti mittauksen alkuvaiheessa. Kuvien 24, 25 ja 26 suurimmat piikit esittävät jokaisen koevaihteen välikiskoalueelta valitun mittauspisteen arvoja Sr2 veturin (akselipaino 21 t) ylittäessä vaihdetta. Mittapisteen sijainnit on esitetty kuvassa 15.

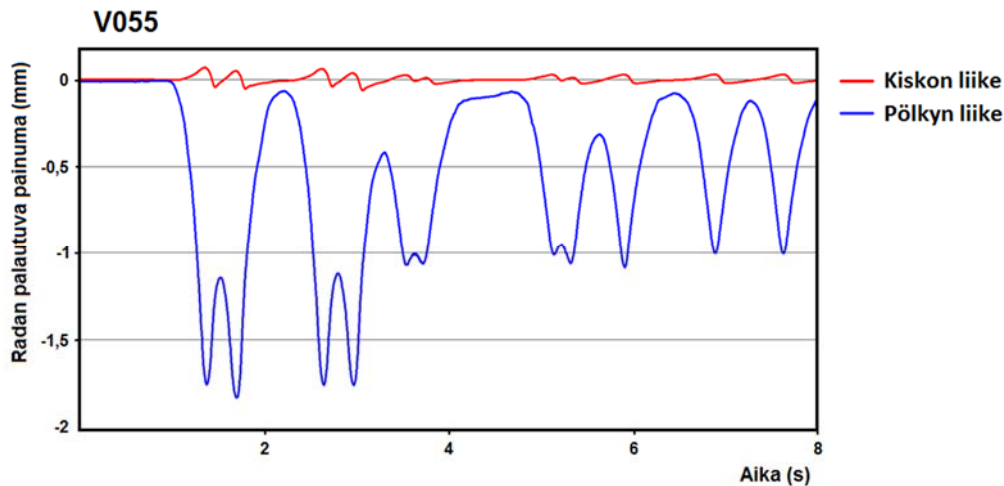


Kuva 24. Elastisten vaihteen V056 eri komponenttien palautuvat painumat sekä niiden yhteenlaskettu kokonaispainuma mittapisteessä 4 (pölkky 30) joulukuussa 2014.



Kuva 25. Elastisten vaihteen V059 eri komponenttien palautuvat painumat sekä niiden yhteenlaskettu kokonaispainuma mittapisteessä 15 (pölkky 30) joulukuussa 2014.

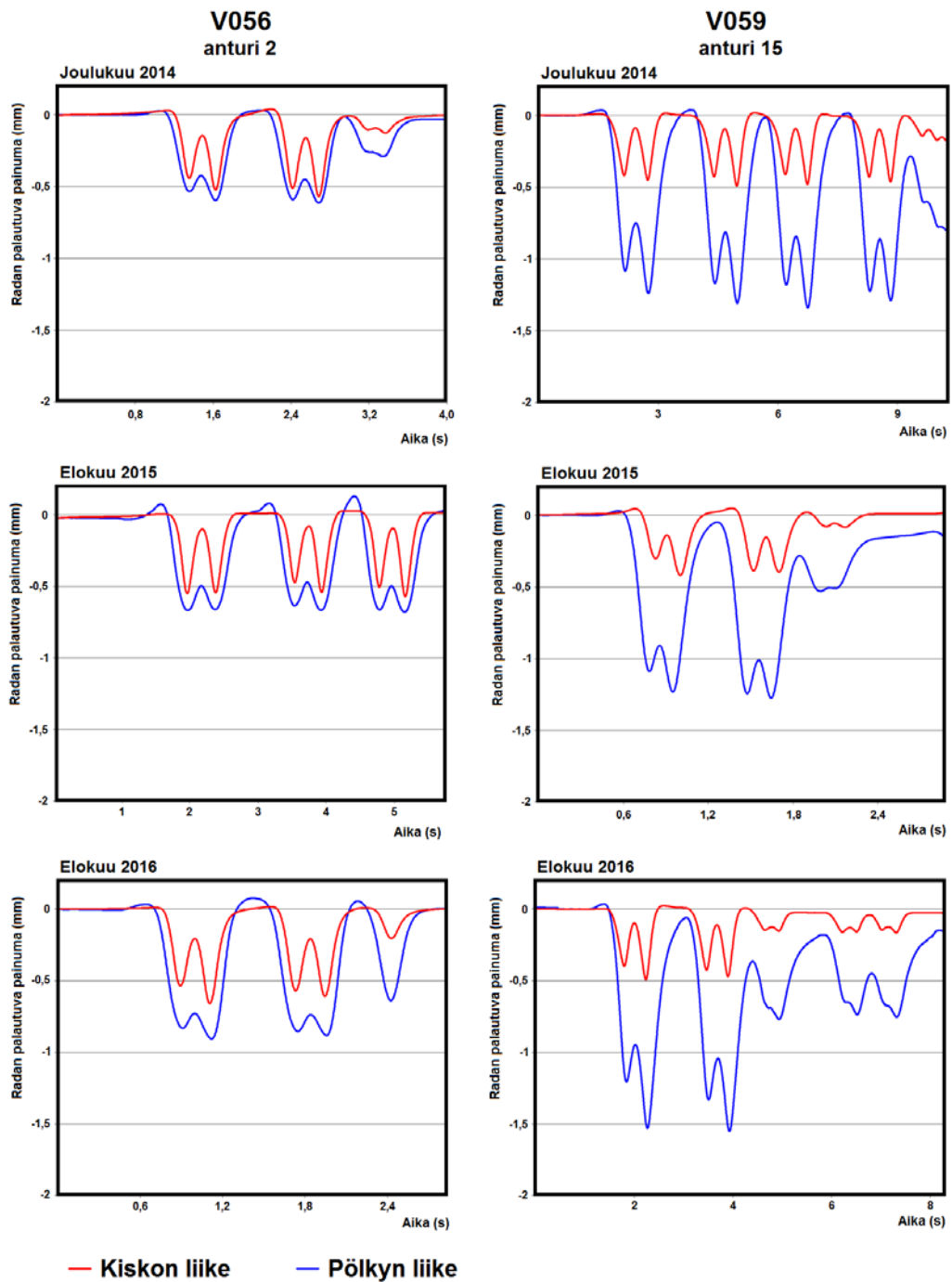
Kuten kuvista 24 ja 25 nähdään, rakenteen kokonaispainuma koostuu uudessa elastisessa vaihteessa selkeästi sekä välilevyn että pölkyn pystysuuntaisesta painumasta. Kummassakin vaihteessa pölkyn siirtymät ovat selkeästi suurempia kuin välilevyn, mutta välilevyllä on silti merkittävä vaikutus (noin 20 %) osana kokonaispainumaa. Tämän merkityksen voi havaita parhaiten vertailemalla näitä painumia referenssvaihteen V055 painumiin (Kuva 26), jossa vastaavaa välilevyä ei siis ole.



Kuva 26. Referenssvaihteen V055 eri komponenttien palautuvat painumat mittapisteessä 10 (pölkky 30).

Kuva 26 osoittaa, että kiskon ja pölkyn välillä ei tapahdu juuri lainkaan liikettä, jolloin pölkky vastaa käytännössä yksin vaihderakenteen palautuvasta painumasta. Pölkyn liike on referenssvaihteessa hyvin samalla tasolla kuin elastisten vaihteiden kokonaispainuma, joten kisko painuu junan alla kutakuinkin yhtä paljon kaikissa vaihteissa, eli noin 1,8 mm Sr2-veturin kuormittaessa rataa. Vaihteen elinkaaren kannalta on kuitenkin todella olennaista, että osa painumasta tapahtuu välilevyn avulla, sillä elastinen välilevy kestää toistuvaa puristuskuormitusta huomattavasti paremmin kuin sepeli, joka käytännössä vain tiivistyy ja muodostaa ajan myötä tyhjän tilan pölkyn alle. Tämän takia on hyvin oletettavaa, että jatkossa referenssvaihteen v055 painumat tulevat kasvamaan elastisia vaihteita suuremmiksi sepelin laadun heikentyessä. Sepelin heikentymisen takia elastisille vaihteille voidaan siis tämän perusteella ennustaa pidempää käyttöikä.

Vaihteiden elinkaaren kannalta seuranta-aikana toiminut kaksi vuotta on erittäin lyhyt aika, joten muutokset ovat normaalissa tilanteessa hyvin pieniä. Tämä aika antaa kuitenkin jo hyvän käsityksen uusien rakenteiden toiminnasta ja sen aikana pystytään havaitsemaan jo mahdollisten suunnittelu- tai asennusvirheiden vaikutukset. Uudet komponentit vaikuttavat pääosin vaihteen pystysuuntaiseen elastisuuteen, joten parhaiten nämä mahdolliset muutokset havaitaan radan palautuvassa painumassa. Kuva 27 esittää palautuvan painuman arvoja eri aikoina vaihteen V056 uuden ontton pölkyn kohdalta mittapisteessä 2 sekä vaihteen V059 välikiskoalueen pölkyn numero 30 kohdalta mittapisteessä 15. Kuvissa näkyvissä maksimipainumissa kuormittavana yksikkönä on kaikissa tapauksissa Sr2-veturi, jonka akselipaino on 21 tonnia.

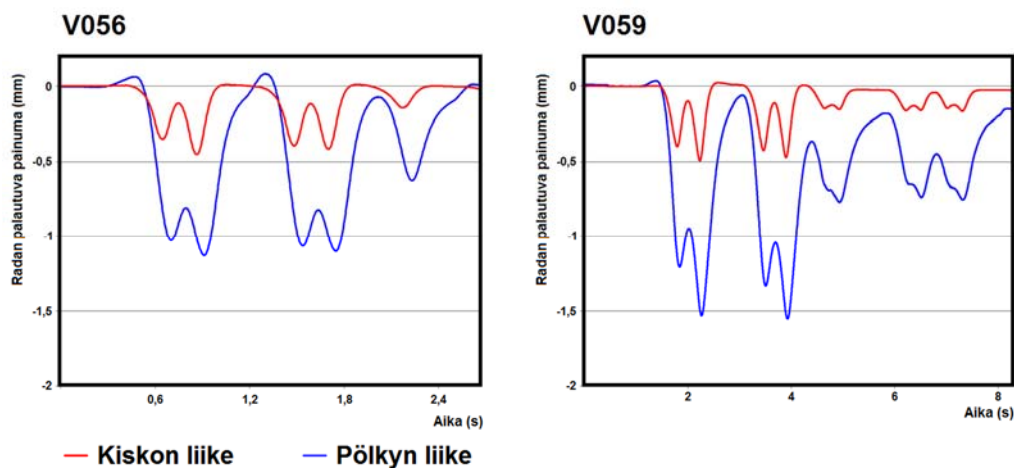


Kuva 27. Vaihteen V056 onton kääntölaitepölkyn (mittapiste 2) ja vaihteen V059 välikiskoalueen pölkyn (mittapiste 15) kohdalta mitattu palautuva painuma mittausjakson 3 eri hetkellä. Maksimipainumat vastaavat Sr2-veturin (21 t) aiheuttamaa kuormitusta.

Kuvan 27 avulla voidaan havaita, että radan palautuvassa painumassa on tapahtunut hyvin pieniä muutoksia kyseisellä 20 kuukauden ajanjaksolla. Kummassakin mittauspisteessä palautuva painuma on hiukan lisääntynyt kuluvan vuoden aikana, mutta ero on hyvin minimaalinen. Lisäksi painuma on molemmissa kohdissa vielä reilusti pienempää kuin Liikenneviraston määrittelemä raja-arvo 3 mm. Näiden tulosten valossa vaihderakenteen painumat ovat siis pysyneet hyvällä tasolla sekä kesällä että talvella.

Voidaan myös havaita, että onton teräspölkyn painumakäyttäytyminen eroaa melko paljon välikiskoalueen painumista. Väillevyn taipumat ovat samaa noin 0,5 mm luokkaa, mutta pölkyn painuma on huomattavasti vähäisempää. Tämä selittyy osittain onton teräspölkyn hieman suuremmalla pohjan leveydellä, joka on 350 mm. Normaalin vaihepölkyn leveys elastisissa vaihteissa on 310 mm, joten kontaktipinta-ala teräspölkyn ja sepelin välillä on noin 13 % suurempi kuin normaalissa tilanteessa. Kontaktipinta-alan lisääntyessä luonnollisesti myös kantavuus kasvaa, jolloin teräspölkky ei pääse painumaan normaalien pölkkyjen tapaan. Tämä on selkeästi yksi elastisien vaihteiden hyvistä puolista, kun niitä verrataan nykyisen rakenteen tilanteeseen, jossa kaapeamat pölkkyt painuvat, eikä niitä päästä edes tukemaan käntötankojen ollessa sepelin joukossa.

Kuten jo aiemmin raportissa todettiin, ainoastaan vaihteeseen V059 on asennettu pohjaimet ja muut koevaihteet ovat pohjaimettomia. Näiden pohjainten vaikutusta vaihteen toiminnalle on seurattu koko testijakson aikana ja se vaikutus näkyy kuvassa 28, jossa on esitetty vierekkäin kummankin elastisen vaihteen välikiskoalueelta (mittapisteen 4 ja 15) mitatut palautuvat painumat elokuussa 2016 Sr2-veturin ja sitä seuraavien vaunujen ylittäessä vaihdetta.



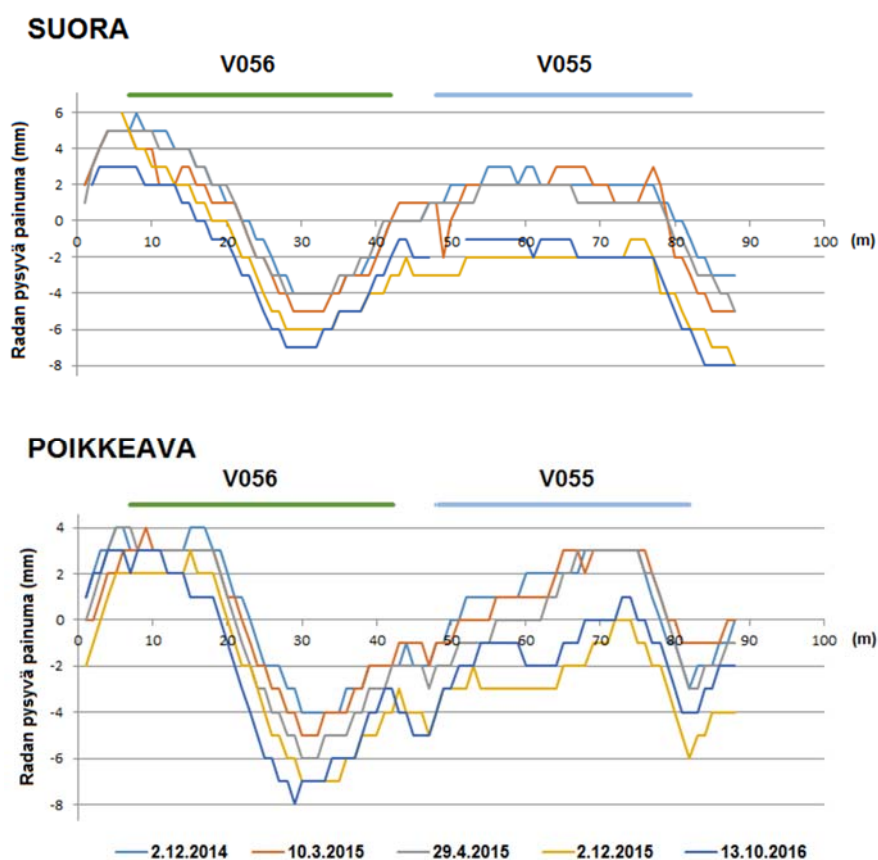
Kuva 28. Pohjaimettoman vaihteen V056 ja pohjaimellisen vaihteen V059 välikiskoalueen (mittapisteen 4 ja 15) palautuvat painumat elokuussa 2016. Maksimipainumat vastaavat Sr2- veturin (21 t) aiheuttamaa kuormitusta.

Kuten kuvasta 28 huomataan, pölkyn palautuva painuma on pohjaimellisessä vaihteessa V059 hieman suurempaa kuin pohjaimettomassa vaihteessa V056. Elastinen pohjainmateriaali joustaa siis hieman kuorman alla ja kokonaispainuma kasvaa. Hieman suurempi kokonaispainuma on kuitenkin tässä kohtaa hyväksyttävää, sillä joustavan pohjaimen ansiosta kuormitus jakaantuu huomattavasti tasaisemmin sepelille lisäten sepelin käyttöikä. Tilanteen voidaan siis olettaa stabiloituvan vaihteessa V059 näille painumatasoille, kun taas vaihteessa V056 sepeli saattaa pitkällä aikajänteellä jatkaa heikentymistään.

Nämä vaihteen V059 suuremmat painumat voivat tietenkin johtua monesta muustakin seikasta, koska vaihteet ovat todellisuudessa eri raiteilla ja näin ollen yliajava juna ei ole absoluuttisen sama. Kuva 28 antaa kuitenkin viitteitä siitä, että pohjaimella on merkitystä vaihteen toiminnalle. Pohjaimen todelliset hyödyt voidaan kuitenkin nähdä vasta vuosien päästä, kun sepelin oletettu käyttöikä alkaa olla loppuillaan.

4.2 Radan pysyvä painuma

Palauvan painuman ohella vaihderakenteesta on seurattu myös radan pysyvää painumaa. Tätä asiaa voidaan tarkastella pistemäisesti samoilla siirtymäantureilla kuin palautuvaakin painumaa, mutta kokonaiskuvan saaminen koko rakenteesta on näiden anturien avulla hieman vaikeampaa, koska pistemäistä painumaa mitataan vain kolmesta kohdasta joka vaihteessa. Tästä syystä pysyvää painumaa on mitattu luvussa 3.2 esitellyllä RAMI-WAGON:lla, joka perustuu jatkuvaan mittaamiseen. Mittauksia tehtiin alueella yhteensä 5 kappaletta ja vaihteiden V055 ja V056 pystysuuntaiset painuman tulokset kaikilta mittauskerroilta sekä suoralla että poikkeavalla reitillä on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. RAMI-WAGON:lla mitatut radan pysyvän painuman arvot vaihteiden V055 ja V056 suoralla ja poikkeavalla reitillä. Paksut vaakaviivat kuvaavat vaihdealuetta.

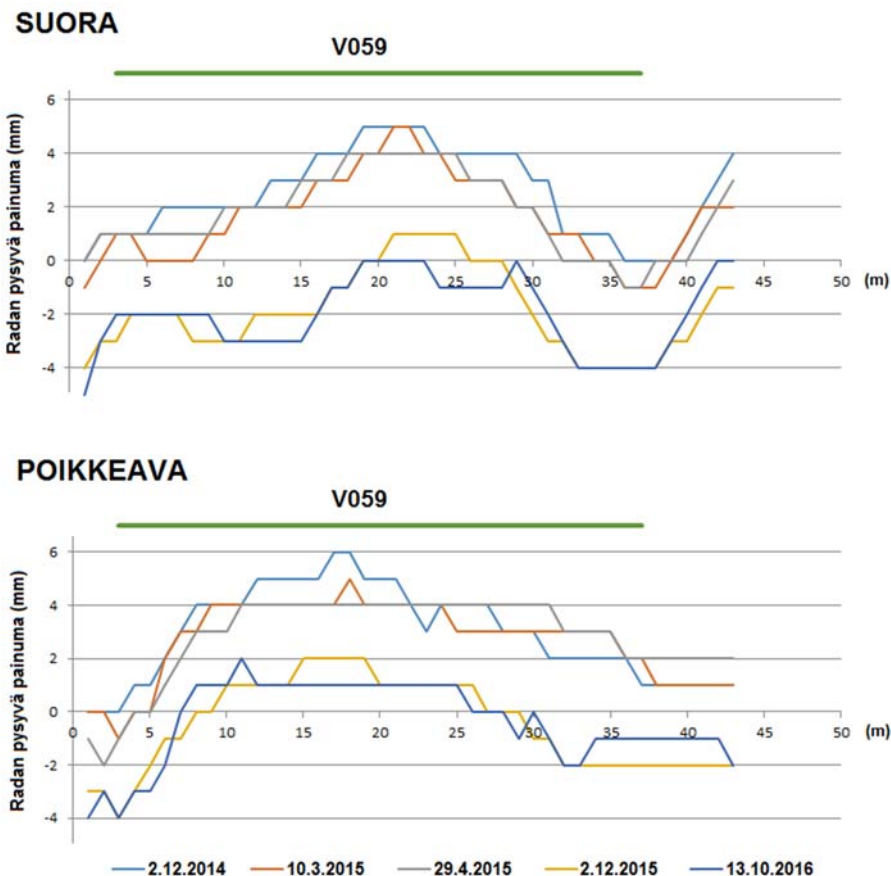
Radan pysyvän painuman mittaustuloksia on analysoinnissa verrattu täysin teoreettisen suoraan rataa, jonka korkeuspoikkeama on koko vaihteen matkalla tasan 0. Kuten kuvasta 29 voidaan havaita, yksikään koevaihte ei ole enää alkupainumien (2.12.2014) jälkeen vastannut teoreettista tilannetta, joka on täysin ymmärrettävää puhuttaessa todellisesta rakenteesta. Mittauksissa erot teoreettiseen tilanteeseen ovat pahimmillaankin vain noin 7 mm luokkaa ja poikkeaman muutosnopeus on hyvin maltillinen, joten tällä ei ole käytännössä suurtakaan merkitystä vaihteen toiminnalle.

Mittaustulosten keskinäisestä erosta vuorostaan havaitaan, että ensimmäisen kolmen mittauskerran aikana vaihteen suora reitti ei ole painunut käytännössä juuri lainkaan. Tämä havaittiin heti mittauksen jälkeen ja mittausväliä päätettiin hieman kasvattaa, jotta samaa yhden talven aikaista tilannetta ei mitattaisi useaan kertaan. Kuvassa 29 havaittavat pienet erot johtuvat pääosin mittaasepätkästä, joka on kyseiselle mittausvaunulle noin 3 mm luokkaa. Poikkeavan reitin painumassa on havaittavissa johdonmukaisempaa painumaa heti ensimmäisestä mittauksesta lähtien, mutta absoluuttiarvoiltaan sekään ei ole kuin noin 2 mm luokkaa, joten se ei ole tavallisesta poikkeavaa. Vaihteen V055 poikkeavan reitin kanta-alue erottuu kolmella ensimmäisellä mittauskerralla muita alueita pienemmällä painumalla. Tämä on selitettävissä sillä, että vaihteen kanta on rakennettu jäykän sillan kannen päälle, jolloin painumia ei pääse lyhyellä aikajänteellä syntymään.

Kaksi viimeisintä mittauskertaa eroavat selkeämmin aiemmista tuloksista. Aikaväli kolmannelle mittaukselle neljännestä ei ole merkittävästi suurempi kuin ensimmäisen ja kolmannen mittauksen väli, mutta eroja on silti syntynyt enemmän. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että radan alus- ja päällysrakenne on ollut ensimmäistä kertaa täysin sulana kolmannen ja neljännen mittauksen välissä. Vaihte V056 alueella muutos on vielä hyvin maltillista ajan suhteen tapahtuvaa tasaista painumista, joka on täysin normaalia maarakenteen käyttäytymistä kuorman alla. Vaihteen V055 alueella vuorostaan on havaittavissa, että rata on selkeästi muuttanut muotoaan kolmannen ja neljännen mittauksen välissä varsinkin vaihteen suoralla reitillä. Positiivisena asiana voidaan kuitenkin todeta se, että rakenne ei ole enää painunut merkittävästi lisää viidennelle mittaukselle mennessä. Vajaan kahden vuoden kuluessa vaihte on painunut 3-4 mm ja painuma on ollut tasaista koko mittausalueen matkalla.

Viidennen mittauksen tuloksissa suoralla reitillä näkyy vaihteen V055 kärjen kohdalla pieni katkos, koska mittauksessa sattuneen häiriön vuoksi tulokset eivät olleet luotettavia metreillä 46-51. Nämä mittausarvot on jouduttu poistamaan myös vaakageometrian tuloksista, jotka näkyvät kuvassa 32.

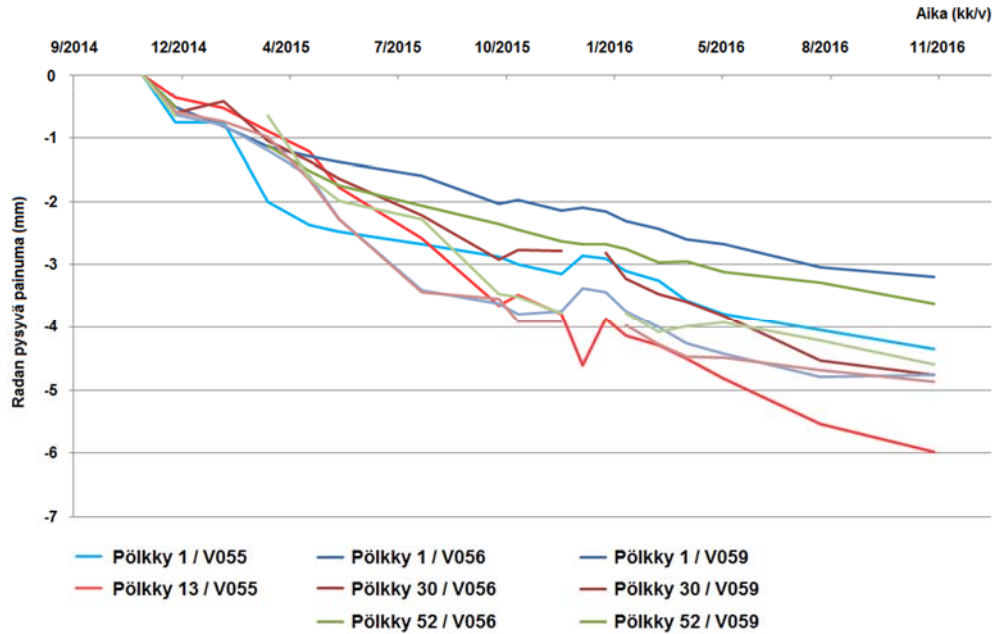
Samat mittaukset on tehty myös vaihteessa V059, jonka vastaavat tulokset on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. RAMI-WAGON:lla mitatut radan pysyvän painuman arvot vaihteen V059 suoralla ja poikkeavalla reitillä.

Vaihteen V059 painumissa näkyy sama asia kuin muissakin koevaihteissa, eli kolme ensimmäistä mittausta ovat antaneet käytännössä saman tuloksen. Kolmannen ja neljännen mittauksen välissä ratarakenne on selkeästi painunut, mutta käyttäytyminen näyttää hyvinkin tasaiselta. Pystygeometrian muoto on pysynyt hyvin samana ja vaihde on painunut kokonaisuutena hieman alemmas sekä suoalla että poikkeavalla reitillä. Absoluuttisesti painumat ovat edellisten vaihteiden tapaan noin 4-5 mm luokkaa, jota voidaan pitää maltillisena tuloksena, varsinkin kun viimeinen mittaus antaa viitteitä siitä, että rata ei ole painunut vuoden 2016 aikana juuri lainkaan.

Pysyvää painumaa tarkasteltiin vaunumittausten lisäksi myös pistemäisten siirtymäanturien arvojen avulla. Kuvaan 31 on koottu näiden siirtymäanturien absoluuttiarvoja ilman junakuormituksia koko mittausperiodin ajalta siten, että mittausperiodin alussa kaikkien anturien arvo on asetettu arvoon 0.

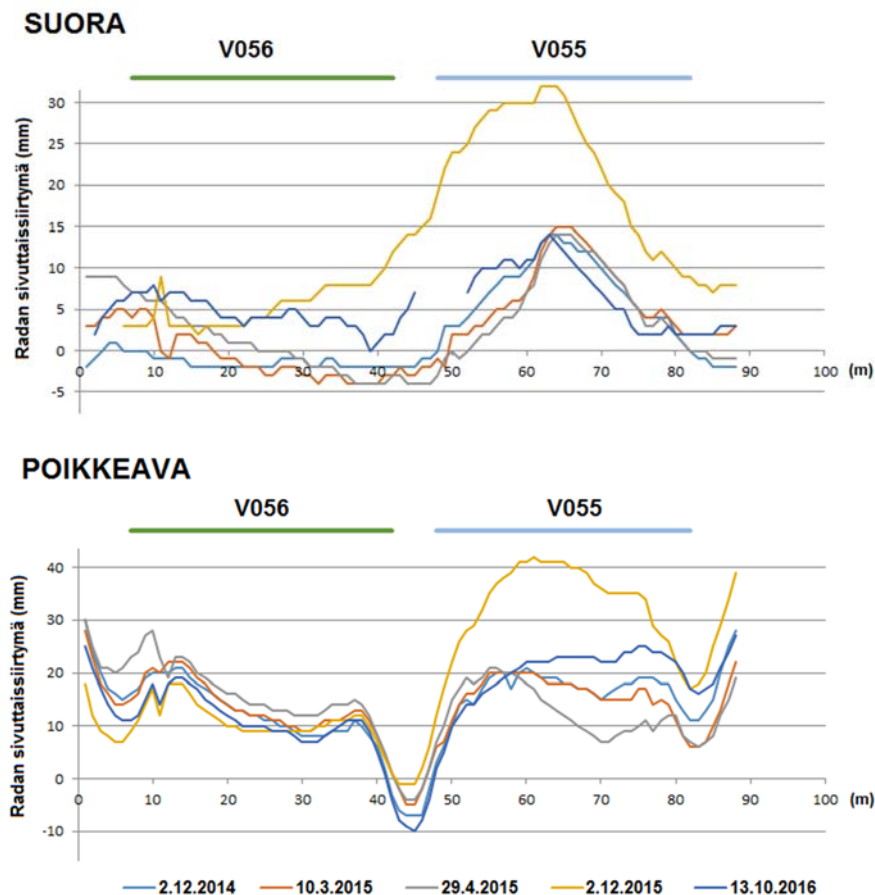


Kuva 31. Koevaihteiden pölkkyjen pitkäaikainen pysyvä painuma aikavälillä 12/2014 - 11/2016.

Kuva 31 osoittaa hyvinkin tarkkaan samoja painuman arvoja kuin kuvien 29 - 30 jatkuvat vaunumittaukset. Ratarakenne on painunut 2 vuoden mittausperiodin aikana kohdalaisen lineaarisesti noin 3 – 6 mm mittauskohdasta riippuen. Suurin painuma on vaihteen V055 välikiskoalueella, joka on todennäköisesti seurausta nykyisen vaihderakenteen jäykemmistä komponenteista, joiden takia junakuormat rasittavat enemmän sepeä ja saa siten aikaan nopeammin pysyvää painumaa. Nämä hieman suuremmat painumat ovat oikeastaan syntyneet vasta viimeisen puolen vuoden aikana, kun vaihteen V055 välikiskoalue on jatkanut lineaarista painumistaan muiden mittauspisteiden muutosnopeuden jo hieman tasaantuessa. Tämä antaa olettaa, että painumaerot elastisiin vaihteisiin verrattuna tulee kasvamaan tulevaisuudessa entistä enemmän. Lisäksi on otettava huomioon, että vaihte V055 on asennettu noin puoli vuotta aikaisemmin kuin muut koevaihteet, jolloin painuman voisi olettaa tasaantuvan ensimmäisenä tässä vaihteessa. Näin ei ole kuitenkaan käynyt ainakaan vaihteen välikiskoalueella.

4.3 Radan sivuttaissiirtymät

Projektin päätarkoituksena oli seurata radan pystysuuntaista jousto- ja painumakäyttäytymistä, mutta näiden asioiden mittaamiseen käytetty takymetrivaunu antaa mahdollisuuden samalla myös raiteen vaakageometrian tutkimiseen. Alla on esitetty kuvassa 32 vaihteiden V055 ja V056 vaakageometrian mittaustulokset seurantajakson aikana.



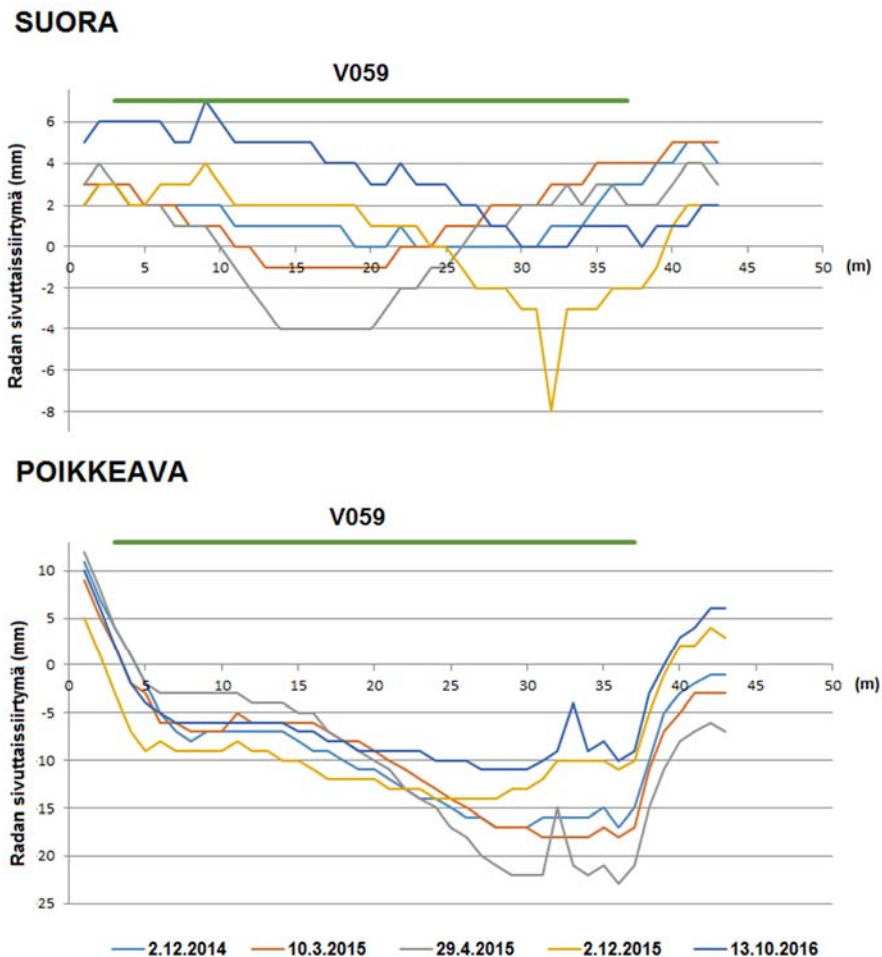
Kuva 32. RAMI-WAGON:lla mitatut raiteen sivuttaissiirtymän arvot vaihteiden V055 ja V056 suoralla ja poikkeavilla reitillä.

Vaihealueiden vaakageometriaa on verrattu kuvien 29 ja 30 tapaan teoreettiseen tilanteeseen, jossa vaihteen suora reitti on täysin suora ja poikkeava reitti noudattelee matemaattista R300-kaarretta. Poikkeaman positiiviset arvot kuvastavat raiteen liikettä oikealle lähtöpisteeltä katsottuna. Kuvasta 32 nousee ensimmäisenä havaintona se, että joulukuun 2015 mittaustulokset eroavat merkittävästi muista mittauksista varsinkin vaihteen V055 alueella. Joulukuun mittauksen perusteella koko vaihte V055 on siirtynyt kolmannen (29.4.2015) ja neljännen (2.12.2015) mittauksen välillä sivusuunnassa noin 20 mm, mutta palannut käytännössä takaisin viidenteen (13.10.2016) mittaukseen mennessä, vaikka alueella ei ole tehty minkäänlaisia tuentatöitä seurantajakson aikana. Joulukuun 2015 mittaustuloksia ei voida siis näiden syiden takia pitää luotettavina. Syytä tuloksien epäluotettavuudelle ei kuitenkaan täysin tiedetä.

Kuvasta 32 huomataan myös se, että vaakasuunnassa radan geometria poikkeaa teoreettisesti tilanteesta paljon enemmän kuin pystysuunnassa. Jo ensimmäisellä mittauksella ero teoreettiseen R300-kaarteeseen on poikkeavalla raiteella noin 10 - 20 mm. Tämä viittaa siihen, että vaihteiden poikkeavan puolen kaaret eivät todellisuudessa ala aivan samasta pisteestä kuin teoreettisessa tilanteessa. Kaaren alku- ja loppupisteiden epätarkkuus johtaa siihen, että todellinen kaarre on koko matkan hieman eri vaiheessa teoreettisen tilanteen kanssa. Kaarien päissä tämä ero teoreettisen ja todellisen tilanteen väliltä poistuu ja se näkyy selkeinä ”kuoppina” vaakageometriassa (metreillä 5, 45 ja 85). Tämän epäkohdan vuoksi vertailu teoreettiseen kaarteeseen ei ole tässä kohdassa kovinkaan relevanttia.

Absoluuttigeometriaa tärkeämpi seikka onkin tarkastella raiteen sivuttaissuuntaisen geometrian muutosta radan suunnassa, eli niin sanottuja nuolikorkeusvirheitä. Edellisessä kappaleessa esitetyt virheet huomioon ottaen vaihdealueella näkyy oikeastaan vain yksi todellinen nuolikorkeusvirhe suoran raiteen metreillä 50 – 80. Vaihteen V055 suoraa raidetta ei ole luultavasti asennuksen yhteydessäkään saatu täysin suoraksi ja geometriavirhe on todennäköisesti ollut vaihteessa uudesta asti. Tähän viittaa se, että geometriavirhe ei ole kasvanut käytännössä lainkaan seurantajakson aikana, eli kuorimituksella ei ole ollut vaikutusta geometriavirheeseen. EMMA-vaunun mittaustuloksissa nämä virheet eivät nouse esiin, koska nuolikorkeudelle ei ole virallisesti määritetty raja-arvoja vaihdealueella.

Erot mittauskertojen välillä on muillakin alueilla hyvin pieniä, joten kumpikin vaihde on pysynyt vaakasuunnassa hyvin asemassaan seurantajakson aikana. Sama vertailu voidaan tehdä myös toisella raiteella sijaitsevalle vaihteelle V059, jonka vaakasuuntaisen geometrian mittaustulokset on esitetty kuvassa 33. Vaihteen kärki sijaitsee kuvassa vasemmalla ja kanta oikealla.

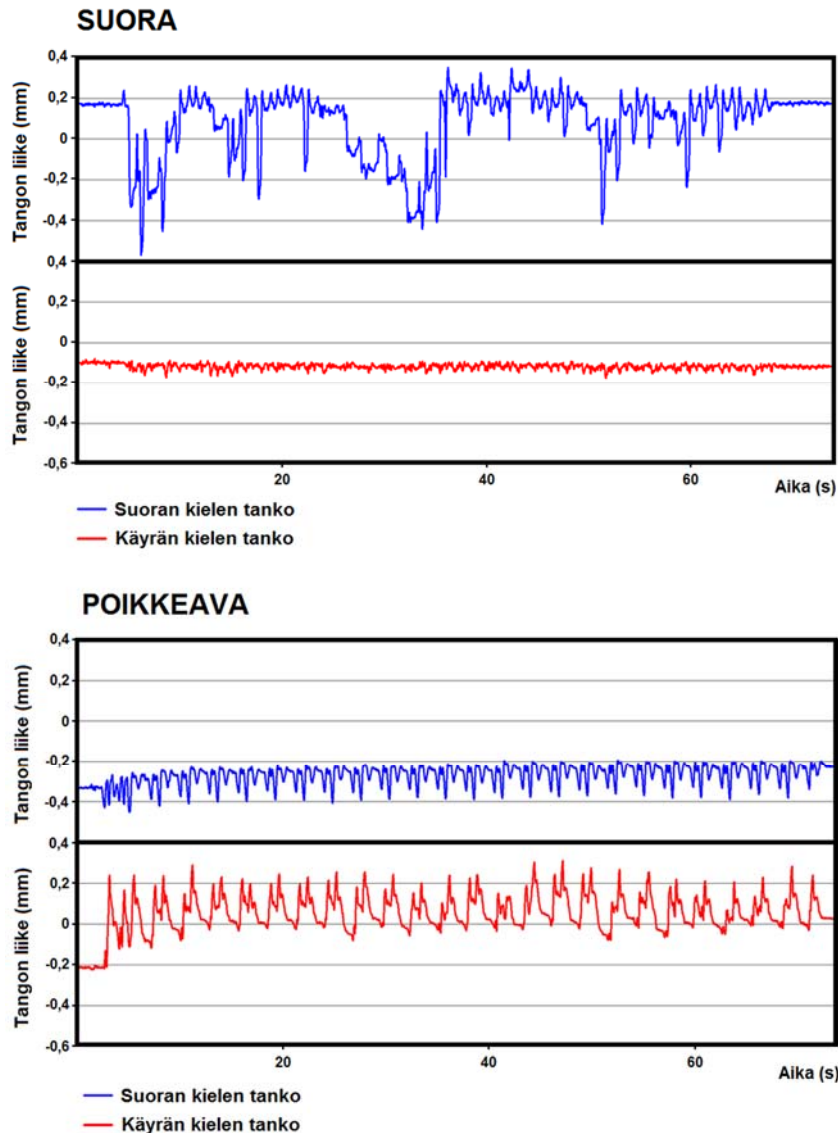


Kuva 33. RAMI-WAGON:lla mitatut raiteen sivuttaissiirtymän arvot vaihteen V059 suoralla ja poikkeavalla reitillä.

Vaihteen V059 alueella kaikki mittaustulokset ovat kuvan 33 mukaisesti hyvin linjassa keskenään. Pieniä poikkeamia on eri mittauskertojen välillä havaittavissa, mutta siirtymät eivät ole systemaattisesti edenneet mihinkään tiettyyn suuntaan, joten siirtymien vaikutus on hyvin merkityksetön. Sekä suoralla raiteella että poikkeavalla raiteella kuvaajissa näkyy muutamia teräviä piikkejä, jotka johtuvat risteysalueen epäjatkuvuuskohdan luomista mittausvirheistä.

4.4 Vaihteenkääntölaitteiden tankojen siirtymät

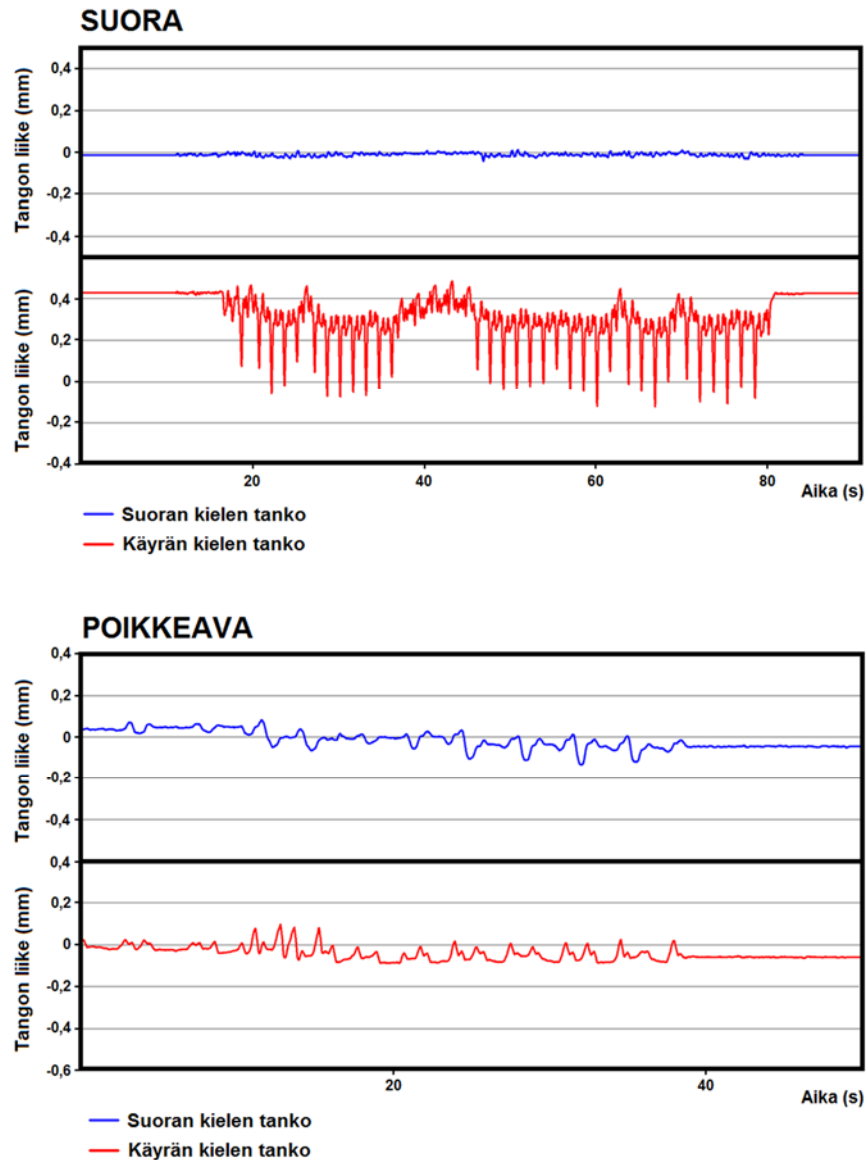
Kuten luvussa 3.4 todettiin, koevaihteiden kääntölaitteiden tarkastustankoihin asennettiin siirtymäanturit, joiden avulla pystyttiin seuraamaan ulkoisen lukitusjärjestelmän ja uusien Siemens S700K- ja Thales L826H- kääntölaitetyyppien toimintavarmuutta Suomen sekaliikenteessä ja sääolosuhteissa. Alla on kuvassa 34 havainnollistettu vaihteessa V055 käytetyn Siemens Bsg. antr. 9-kääntölaitteen tarkastustankojen siirtymiä junan ylittäessä vaihdetta suoralta raiteelta ja poikkeavalta raiteelta.



Kuva 34. Vaihteen V055 Siemens Bsg. antr. 9-vaihteenkääntölaitteen kääntötankojen siirtymät junan ylittäessä vaihdetta suoralla sekä poikkeavalla raidella.

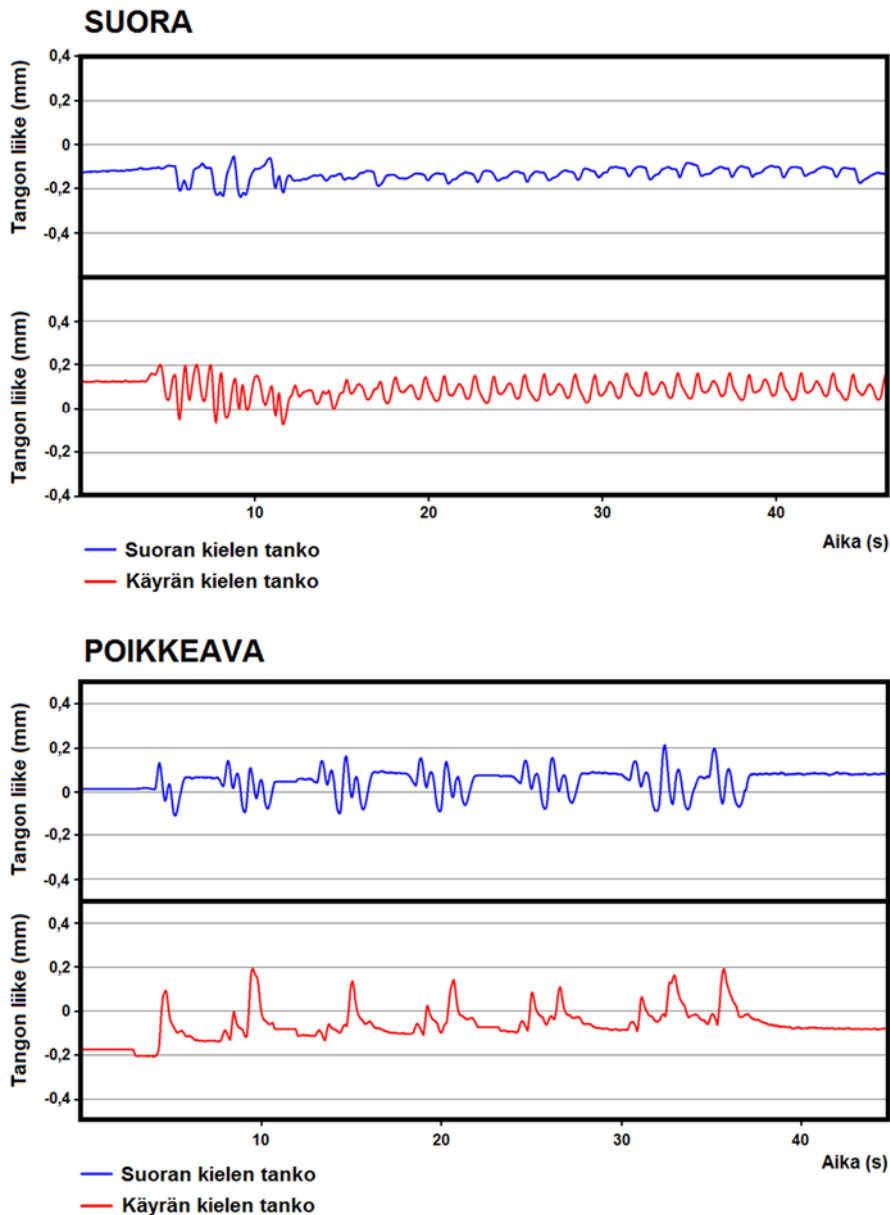
Kuvan 34 perusteella voidaan havaita, että tarkastustankoissa on havaittavissa hyvin pientä liikettä junan ylitysten aikana. Suoraa raidetta ajettaessa suoran kielen tangossa näkyy hieman kuormittavien pyöräkertojen vaikutus, mutta muissa tapauksissa tangot käytännössä vain värisevät paikoillaan ylityksen aikana. Suoran kielen tangossa liikkeen amplitudi on pahimmillaankin vain noin 0,7 mm, joten laite pysyy hyvin säätöarvojen sisäpuolella liikkeestä huolimatta.

Thales L826H-kääntölaitteella ja ulkoisella lukituksella varustetun vaihteen V056 kääntötankojen siirtymät junan ylitysten aikana on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Vaihteen V065 Thales L826H-vaihteenkääntölaitteen kääntötankojen siirtymät junan ylittäessä vaihdetta suoralla sekä poikkeavalla raiteella.

Vaihteen V056 tangoissa havaitaan mielenkiintoinen ilmiö junan ajaessa vaihteen suoraa reittiä. Käytettävä suora kieli pysyy käytännössä täysin paikallaan, mutta avoimessa kielessä näkyy junan akselin aiheuttamat liikkeet. Kääntötangosto on uudessa elastisessa vaihteessa ulkoisten lukkojen ja yhden kääntötangon takia yhtenäinen, joten värähtely kiinni olevalla puolella on siitä syystä periaatteessa mahdollinen. Asian laajemman tutkimisen kannalta täytyy siis katsoa myös vaihteen V059 värähtelytuloksia, jotka on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. Vaihteen V059 Siemens S700K-vaihteenkääntölaitteen kääntötankojen siirtymät junan ylittäessä vaihdetta suoralla sekä poikkeavalla raiteella.

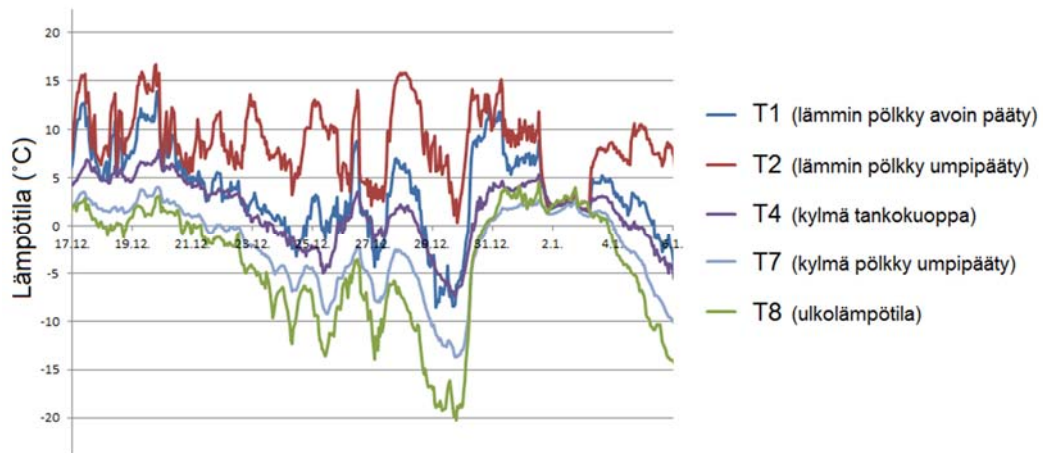
Vaihteessa V059 käytetään edellisestä vaihteesta V056 poiketen Siemens S700K-kääntölaitetta, jolla voi siis olla vaikutusta värähtelyjen muotoon ja suuruuteen. Kuvasta 36 nähdään, että suoralla raiteella tangoston käyttäytyminen on selkeästi erilaista kuin edellä, sillä vaihteessa V059 kummatkin kielet reagoi junan ylitykseen käytännössä samalla amplitudilla. Tangosto itsessään ei siis aiheuta automaattisesti mitään merkittävää riskiä värähtelyn siirtymisestä voimakkaasti poikkeavan kielen puolelle. On kuitenkin hyvä pitää mielessä, että se on yhtenäisellä kääntötangostolla mahdollista. Varsinaisten ongelmien muodostuminen vaatisi kuitenkin ulkoisten lukkojen aukeamista ja siitä tilanteesta ollaan kaukana näillä pienillä alle 1 mm suuruisilla värähtelyillä.

Poikkeavaa raidetta käytettäessä tangoston käyttäytyminen on vaihteessa V059 amplitudiltaan hieman voimakkaampaa, mutta käytännössä ero elastisten vaihteiden välillä on mitätön. Kuten jo kuvaa 34 analysoitaessa todettiin, kaikki värähtelyn amplitudit kaikissa vaihteissa ovat hyvin pieniä (alle 1 mm), eivätkä ne näin aiheuta merkittävää haittaa vaihteiden turvalliselle toiminnalle.

Kääntötankojen turvallisesta toiminnasta kertoo myös se, että kääntötankoihin asennetuissa voima-antureissa ei pystytty käytön aikana havaitsemaan voiman muutoksia. Vaihteen käännön aikana tankoihin kohdistui mitattavissa olevia voimia, joka kertoi anturien toimivan oikein. Mutta junan ylityksen aikana voiman muutokset jäivät niin pieniksi, ettei ne ollut luotettavasti havaittavissa venymäliuska-anturille ominaisen kohinan alta, joka oli tässä asennuksessa voimaksi muutettuna noin 200-500 N. Voiman muutokset olivat siis aina tätä pienempiä.

4.5 Onttojen pölkkyjen lämpötila

Uusien vaihdekomponenttien elastisten ominaisuuksien lisäksi koevaihteissa seurattiin myös onttojen teräspölkkyjen sisälämpötilaa ja vertailtiin niitä sekä ulkolämpötilaan että referenssvaihteen tankokuopassa vallitseviin lämpötiloihin. Kuva 37 esittää joulukuun 2014 lopulla vallinneen pakkasjakson aikaisia tuloksia osassa näistä antureista.



Kuva 37. Koealueelta mitattujen lämpötilojen arvot vuodenvaihteesta 2014 – 2015.

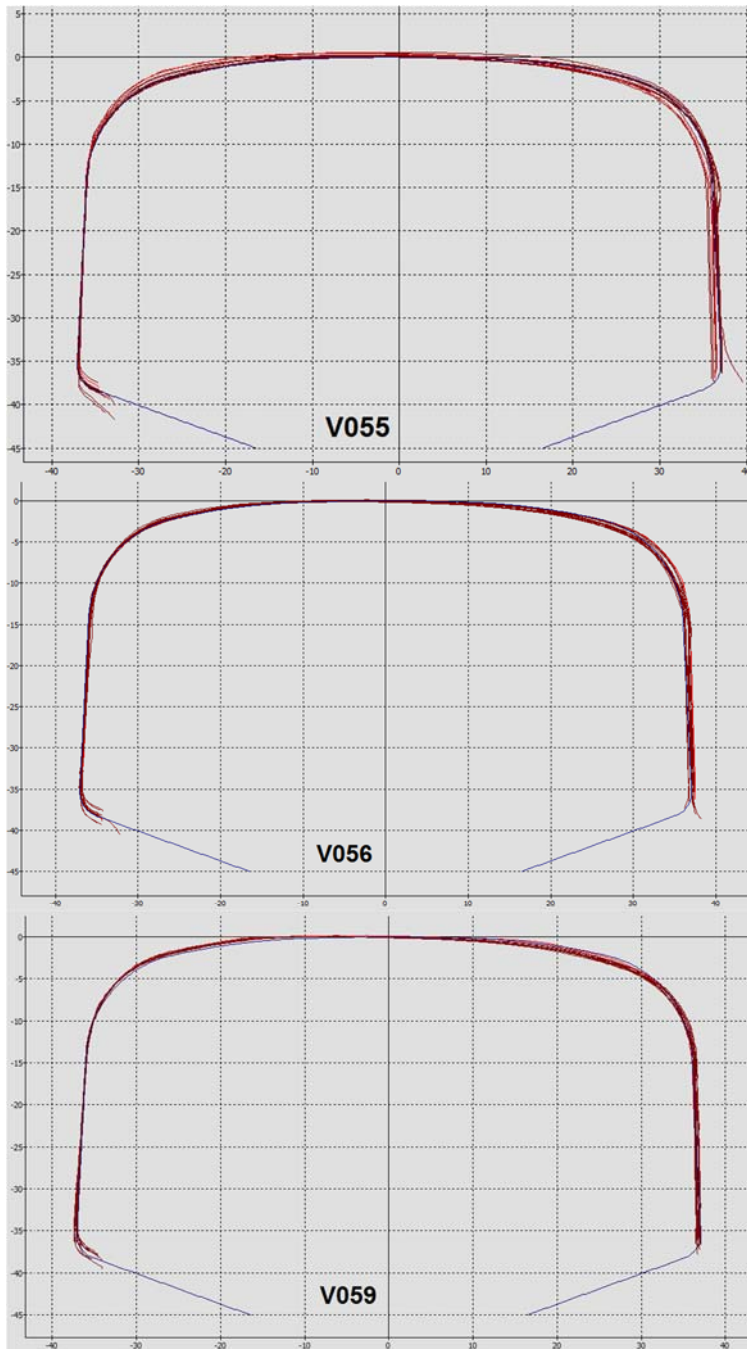
Lämmitysvastuksia asennettiin ainoastaan vaihteenkääntölaitteiden kohdalla käytettyihin pölkkyihin, joten kääntöavustimen alla olevat ontot teräspölkkyt ovat lämmittämättömiä. Näin ollen näiden kahden pölkyn sisälämpötiloja vertailemalla voidaan helposti määrittää, onko lämmitykselle tosiasiaa tarvetta. Kuvasta 37 nähdään, että lämmityksellä on todellakin merkitystä, sillä lämpötila vastuksettomassa pölkkyssä (T7) laskee ulkolämpötilan (T8) mukana reilusti pakkasen puolelle ja lämpötila on jopa alhaisempi kuin referenssvaihteen tankokuopassa (T4). Samaan aikaan vastuksellisen pölkyn lämpötila (T2) pysyy pölkyn umpinaisessa päässä koko ajan nollan yläpuolella. Lämmitetyssä pölkkyssä huomion arvoista on kuitenkin se, että kääntölaitteen puoleisessa päässä lämpötila (T1) menee pakkasen puolella ulkolämpötilan laskiessa -7 asteen alapuolelle. Lämmitysvastuksen tuoma energia pääsee siis karkaamaan pölkyn

avoimesta päästä, jolloin siitä ei ole yhtä paljon etua kuin umpinaisessa päässä. Antureita T3, T5 ja T6 ei ole esitetty kuvassa, koska niiden arvot ainoastaan toistivat edellä esitettyjen antureiden arvoja. °C

4.6 Kielien ja risteysten kuluminen

Rakenteen painuman ja pölkkyjen lämpötilojen ohella Kouvolan koevaihteista mitattiin myös kielien ja risteyskärjen kulumista. Näiden profiilien mittaamiseen käytettiin luvussa 3.3 esiteltyä Miniprof-mittalaitetta, jolla saatiin mitattua kuvan 19 mukaiset mittapisteet jokaisesta vaihteesta. Kuvaan 38 on koottu kaikista koevaihteista välikiskoalueelta mitatut tukikiskojen profiilit jälkimmäiseltä marraskuun 2015 mittauskerralta, joita voidaan suoraan verrata standardi 60E1-kiskoon (sininen käyrä).

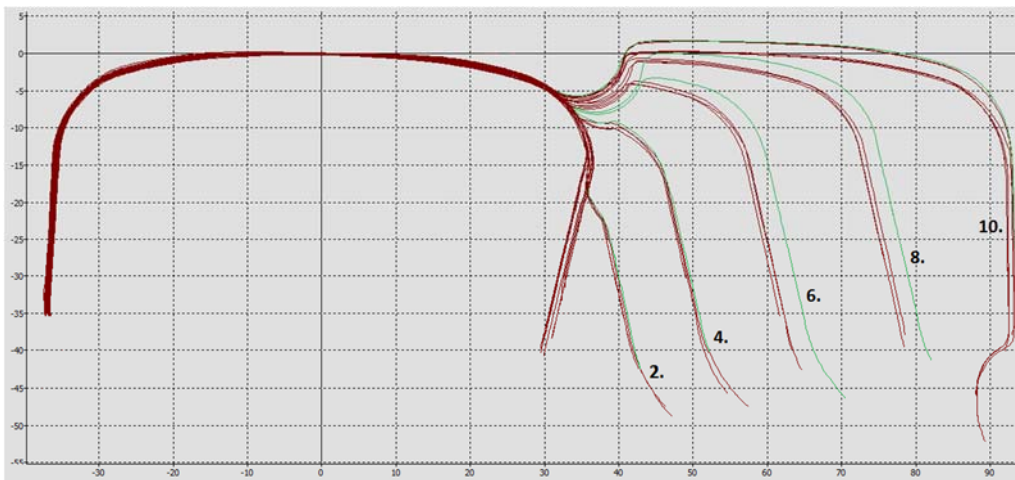
Kuvan 38 perusteella voidaan tulkita, että vanhan rakenteen mukaisessa vaihteessa V055 on havaittavissa pientä kiskoprofiilin muutosta suhteessa referenssinä toimivaan 60E1-kiskoon. Elastisissa vaihteissa V056 ja V059 muutokset referenssiin eivät ole niin merkittäviä. Tässä kohtaa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että vaihde V055 on asennettu rataan noin puoli vuotta aikaisemmin kuin elastiset vaihteet, jolloin se on altistunut isommalle kuormitukselle ikänsä puolesta. Kiskoilla on myös olemassa tietyt valmistustoleranssit, joiden takia kaikki kiskot eivät ole edes uutena täysin saman muotoisia.



Kuva 38. Koevaihteiden välikiskoalueelta mitatut kiskoprofiilit.

Kaikissa vaihteissa kuluman / poikkeaman arvot referenssistä ovat kuitenkin enimmäkseenkin alle 1 mm luokkaa, joka on reilusti Liikenneviraston määrittämää sallittua kuluneisuuden raja-arvoa pienempää. Ohjeissa (Liikennevirasto 2006) määritellään, että yhteenlaskettu korkeus- ja sivukuluneisuus saa olla 60E1-kiskolla 14-18 mm ja pelkkä sivukuluneisuuskin raiteen suunnittelunopeudesta riippuen 5-7 mm. Näin ollen välikiskoalueella ei ole havaittavissa merkittäviä kiskoprofiilin muutoksia.

Kielisovitusalueella mitatuille profiileille ei ollut etukäteen olemassa standardeista saatavaa referenssiarvoa, joten niitä pystyttiin vertailemaan ainoastaan suhteessa samasta pisteestä otettuun aikaisempaan mittaukseen tai toisen vaihteen vastaavaan pisteeseen. Mittaustuloksia oli pakko vertailla siis myös vaihteiden kesken, sillä ensimmäisellä mittauskerralla (marraskuu 2014) ainoastaan vaihteesta V059 saatiin luotettavia tuloksia mittalaitteessa havaittujen ongelmien takia. Profiilien mittapisteen on määritelty kuvan 19 mukaisesti pölkkynumerojen perusteella, joten vanhan ja uuden vaihderakenteen mukaiset profiilit eivät ole vertailtavissa suoraan keskenään pölkkytyksen ollessa erilainen. Tämän takia referenssivaihteen V055 profiileja on verrattu Asolan puolenvaihtopaikalta kesäkuussa 2015 mitattuihin profiileihin. Asolan vaihteet avattiin liikenteelle vasta heinäkuussa 2015, joten nämä kyseiset mittaustulokset edustavat hyvin vanhan vaihderakenteen mukaista kulumatonta vaihdetta. Alla on esitetty kuvassa 39 kielisovitusalueelta mitattujen profiilien erot suhteessa toisiinsa.



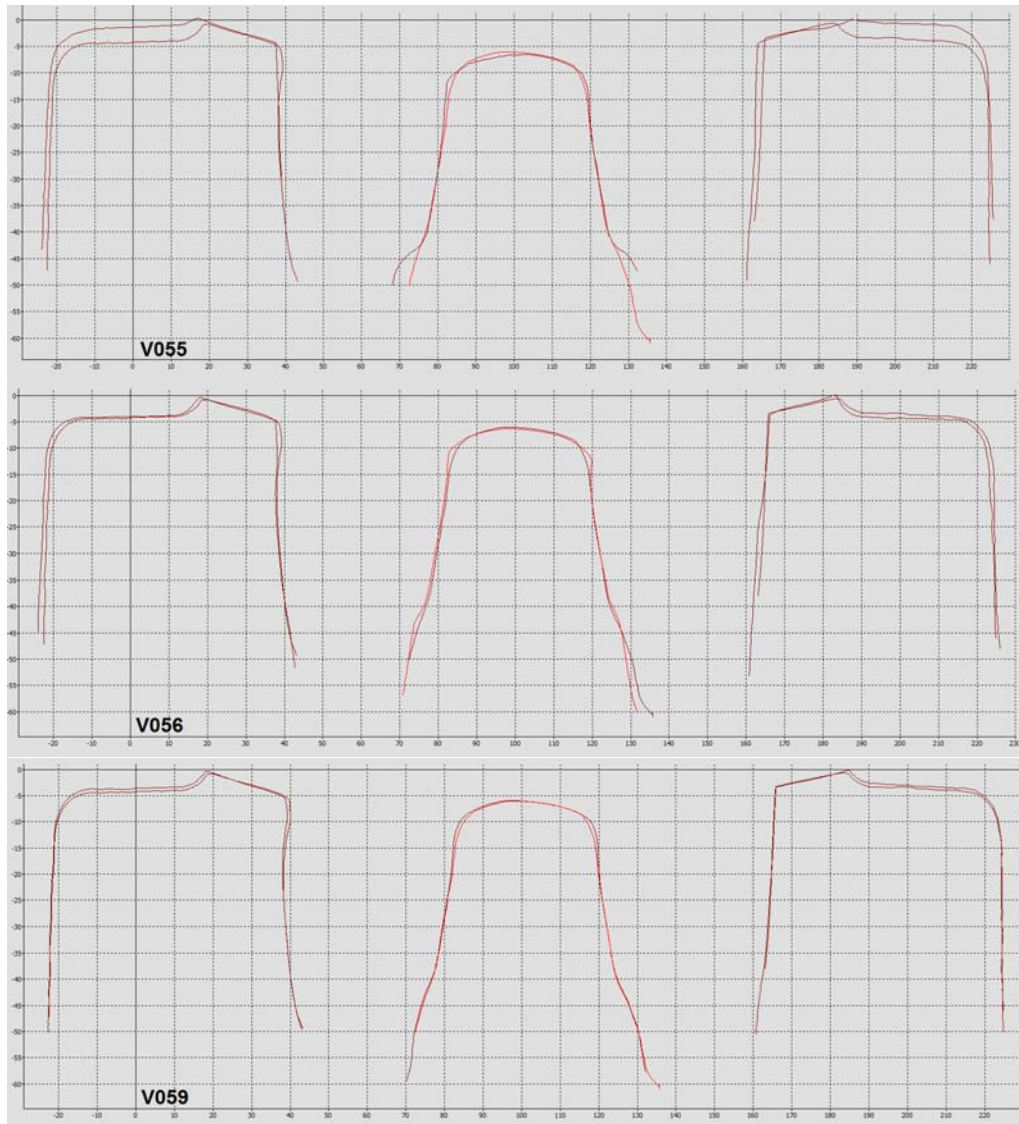
Kuva 39. *Kouvolan vaihteen V055 kielisovitusprofiilien vertailua Asolan puolenvaihtopaikalta mitattuihin kieliprofiileihin. Vihreät viivat edustavat vaihteen V055 kieliprofiileja ja punaiset viivat Asolan vaihteiden profiileja.*

Kuvan 39 profiilit osoittavat, että vaihteiden välillä on selkeästi eroa. Kaikki profiilit on asemoitu kuvaan siten, että tukikiskon hamaran ulkoreunat ovat päällekkäin. Tällä asemoinnilla vaihteen V055 kokonaisprofiilit (tukikisko + kielirakenne) eroavat huomattavasti Asolan vastaavista varsinkin pölkkyjen 6 ja 8 kohdalla (ks. kuva 19). Kyse ei ole kuitenkaan kiskon kulumisesta, vaan kielen väärästä asemasta suhteessa tukikiskoon. Kieliprofiilien leveys ja korkeus ovat kaikissa mittauksissa sama, mutta Kouvolan vaihteessa kielen ja tukikiskon välissä on jostain syystä hieman suurempi rako, jolloin kokonaisprofiilit eroavat toisistaan. Kuvan 39 perusteella voidaan havaita, että tällä pienellä raolla on suuri merkitys myös kiskon korkeusasemaan. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kieli jää osittain vaihdealuslevyissä käytettävien rullalaakereiden päälle. Rullalaakerit on mitoitettu vaihteissa siten, että kieli nousee heti käynnön alkaessa rullille noin 4 pölkyn välein ja tippuu pois rullalaakerin päältä vasta aivan kääntöliikkeen loppuun. Pienikin vajoaus kielen sivuttaisliikkeessä saattaa johtaa siihen, että kieli jää kontaktiin rullalaakerin kanssa, jolloin se ei asetu kunnolla liukulevyjen päälle. Tätä teoriaa tukee se, että kuvan mukaisissa lyhyissä vaihteissa rullalaakerialuslevyä käytetään juuri pölkyn 8 kohdalla, jossa ero eri mittausten välillä on suurin.

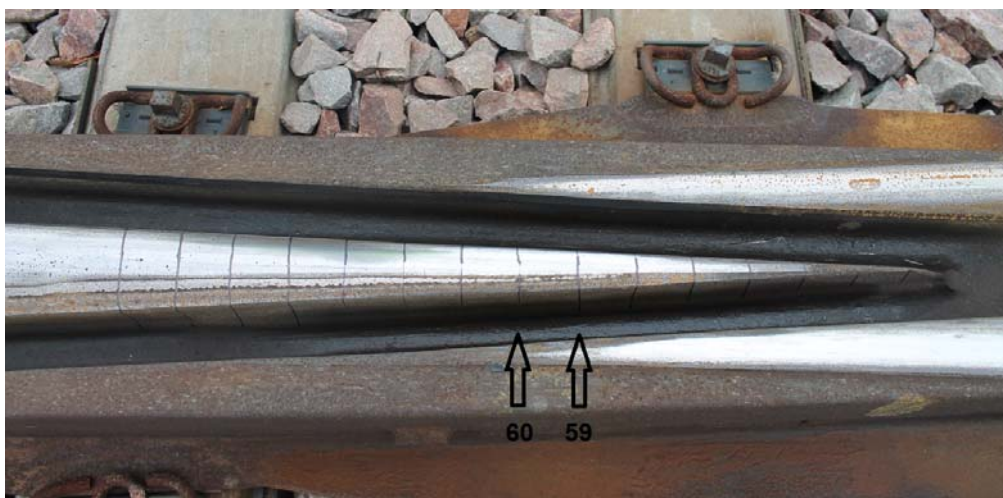
Suomen rataverkolla on havaittu juuri tämän tapaista kielen ja tukikiskon välistä korkeusongelmaa, joka on vahingoittanut kieliä ja kuluttanut niitä ennenaikaisesti loppuun. Tämä mittaus osoittaa, että vika ei välttämättä ole väärässä profiilissa vaan enemmänkin kielen väärässä poikkittaisasemassa, joka vaikuttaa rullalaakerien takia myös kielen pystyasemaan.

Kielisovitusalueen kulumisen lisäksi toinen kiinnostava kulumiskohde on vaihteen risteyskärki, johon saattaa kohdistua suuria dynaamisia kuormia pyörän liikkuessa risteuksen epäjatkuvuuskohdan ylitse. Risteuksen huono asennustarkkuus ja liian myöhään tehty alkuhionta saattaisivat pilata risteyskärjen ja siipikiskot hyvinkin nopeasti. Risteuksen kärkirakenteen profiilia mitattiin kuvan 19 mukaisesti yhteensä 15 kohdasta, joiden perusteella saatiin hyvä käsitys koko pyörän siirtymäalueen kulumatilanteesta sekä risteyksessä että siipikiskoissa. Kuten edellä todettiin, marraskuussa 2014 luotettavia kiskoprofiileja saatiin ainoastaan vaihteesta V059, joka toimii näin ollen yhteisenä referenssiarvona kesän 2015 kaikille risteysmittauksille. Profiilit mitattiin pituussuunnassa kaikista vaihteista täysin samasta kohdasta, joten vertailu näiden eri risteysten välillä on relevanttia.

Viiden senttimetrin välein mitattujen profiilien muodot ovat niin lähellä toisiaan, että niiden analysoiminen on helpointa yksitellen. Näissä yksittäisanalyyseissä pyrittiin löytämään jokaisesta risteyksestä kohta, jossa kuluminen on suurimmillaan. Kaikki risteykset olivat kauttaaltaan todella hyvässä kunnossa mittaushetkellä kesäkuussa 2015, joten merkittävää kulumaa ei risteyskärjissä havaittu. Havaittavimmat kuluman arvot löytyivät jokaisesta vaihteesta mittauspisteiden 59 ja 60 kohdalta. Nämä pisteet vastaavat aluetta, jossa silmämääräisten havaintojen perusteella pyörä siirtyy siipikiskolta lopullisesti risteyskärjelle kuvan 41 mukaisesti. Varsinaiset risteyskärjen kulumisarvot on esitetty kuvassa 40, jossa ovat allekkain jokaisen vaihteen mittauspisteen 59 tulokset kahden eri mittauskerran välillä.



Kuva 40. Koevaihteiden risteysalueen kiskoprofilit mittapisteessä 59.



Kuva 41. Risteysalueen Miniprof-mittauspisteet vaihteessa V055. Nuolet osoittavat mittapisteet 59 ja 60, joissa kuluminen on suurimmillaan.

Kuvan 40 vertailuista nähdään, että kuluminen on hyvin vähäistä kaikissa koevaihteissa. Vaihteen V055 siipikiskojen profiili on selkeästi erimuotoinen kuin referenssinä toimivan vaihteen V059 siipikiskot, mutta tämä ei ole kovinkaan merkittävää, sillä kulkupinnaltaan nämä kaksi risteystä ovat hyvin lähellä toisiaan. Kyse on siis siipikiskon käyttämättömän ulkoreunan valmistustoleranssista, eikä kulumisesta. Myös muut pienemmät erot vaihteessa V055 johtuvat todennäköisesti valmistustoleransseista.

Vaihteen V056 profiilit vastaavat lähtökohtaisesti paljon paremmin vaihteen V059 profiileja. Vaihteen risteyskärjessä on havaittavissa aivan pientä liikenteen aiheuttamaa muokkautumista, joka ilmenee risteyskärjen leviämisenä. Tämä on hyvin normaalia risteyksessä tapahtuvaa muokkautumista ja sitä voidaan hallita risteuksen hionnan avulla siinä vaiheessa, kun laippavälitys risteyskärjen ja siipikiskon välillä kapenee liikaa. Kuvan 40 muokkautuminen ei vielä vaadi hiontaa, mutta kulumista tulee seurata vaihteen tarkastusmittojen avulla. Vaihteessa V059 on havaittavissa myös aivan pientä risteyskärjen leviämistä, mutta sekään ei siis vielä vaadi toimenpiteitä.

4.7 Muut havainnot koevaihteissa

Varsinaisten mittausten ohella vaihteissa tehtiin jonkin verran myös silmämääräistä tarkastusta, jonka avulla seurattiin uusien vaihdekomponenttien kestävyyttä. Tähän tarkastukseen kuului kiinnitysosien, pölkyjen sekä vaihteenkääntölaitteiden kunnan seuranta. Omien havaintojen ohella tietoja vaihteiden kunnosta pyydettiin myös alueen kunnossapitäjältä.

Omien havaintojen sekä kunnossapitäjän kommenttien perusteella voidaan todeta, että pölkyissä tai kiinnitysosissa ei havaittu koejakson aikana ainuttakaan halkeamaa tai muutakaan ongelmaa. Kulmakappaleen käyttö vaihdealuslevyjen ja kiskon kiinnityksessä toimi ainakin koejakson aikana halutulla tavalla ja raideruuvien katkeamisilta vältyttiin.

Siemensin S700K-vaihteenkääntölaitteen ja ELP319-vaihteenkoskettimen kanssa havaittiin vaihteessa V059 ongelmia tammikuussa 2016. Kylmän pakkasjakson aikana näitä laitteita ei saatu kunnossapitäjän yrityksistä huolimatta toimimaan ja vaihde jouduttiin muutamana päivänä ajaksi poistamaan käytöstä, kun laitteet irrotettiin radasta ja korvattiin uusilla. Valmistajan tekemissä tutkimuksissa selvisi, että vaihteenkääntölaitteen kätsyys oli vaihdettu kokoonpanotehtaalla ja sen vaihdon yhteydessä laitteen vesitiiveys oli kärsinyt. Laitteeseen oli siis päässyt kosteutta ja kovalla pakkasella laite hajosi. Laite pystyttiin valmistajan tehtaalla korjaamaan ja palauttamaan toimintaan.

Vaihteenkoskettimen vika paikallistettiin jo heti kentältä siirron jälkeen kunnossapitäjän varastolla. Yksi koskettimen johdoista oli jostain syystä kuoriutunut ja se aiheutti koko laitteeseen oikosulun. Johtonipun vaihtamisen jälkeen kosketin oli jälleen toimintakuntoinen.

5 Johtopäätökset ja jatkotoimet

Edellisessä luvussa 4 on esitetty Kouvolaan asennetuista elastisista vaihteista saatuja mittaustuloksia vaihteen elinkaaren kahden ensimmäisen vuoden ajalta. Nämä tulokset osoittavat, että vaihteet ovat toimineet kyseisellä ajanjaksolla pääasiassa suunnitelmien mukaisesti. Radan palautuva painuma on junan ylityksen aikana hyvin minimaalista sekä stabiilia ja rakenteen elastisten välilevyjen ansiosta painuma ei tapahdu pelkästään pölkyn liikkeenä. Uusi välilevyratkaisu siis tasaa kuormitusta, jonka voidaan olettaa pidentävän vaihteen käyttöikä. Vanhan rakenteen mukaisen vaihteen V055 kärkialueella oli havaittavissa mittauksien perusteella hieman suurempaa palautuvaa painumaa kuin alueella yleisesti, joka viittaa kääntölaittepölkkyjen kohdan huonoon tukeutumistilanteeseen. Nämä painumaerot kuitenkin näkyivät jo ensimmäisellä mittauskerralla, eivätkä ne ole muuttuneet merkittävästi sen jälkeen, joten sepelin tukemiskyky on ainakin vielä riittävää myös tässä alueen heikoimmassa kohdassa.

Vaihteiden komponentti-erojen takia voidaan kuitenkin havaita, että elastisissa vaihteissa palautuva painuma jakutuu aivan eri tavalla vaihdekomponenteille. Elastisessa rakenteessa noin 20 prosenttia painumasta tapahtuu kiskon ja pölkyn välissä, jolloin pölkyn ja sepelin välinen liike jää pienemmäksi. Tämä tarkoittaa suoraan sitä, että niin sanottu pölkyn pumppaaminen vähenee ja se lisää sepelin odotettua käyttöikä. Elastisilla välilevymateriaaleilla voidaan toisin sanoen vaikuttaa ihan merkittävästi palautuvan painuman jakautumiseen päällysrakenteessa. Mittausjakso on kuitenkin niin lyhyt, että tämän kuormitusjakautumisen vaikutukset eivät vielä näy merkittävästi vaihteiden käyttäytymisessä, mutta se tulee vääjäämättä näkyviin ajan myötä, kun sepelin rasitus on erilaista eri vaihteissa.

Vaihteeseen V059 asennetut pohjaimet pyrkivät samalla tavalla tasaamaan junan synnyttämiä kuormituksia sepelirakenteessa. Mittaustulokset osoittivat, että palautuvat painumat tässä pohjaimellisessa vaihteessa ovat hieman suurempia kuin vaihteessa V056, koska rakenne sisältää enemmän elastista materiaalia. Elinkaaren alkuvaiheessa pohjain siis lisää palautuvia painumia, mutta tämä on hyväksyttävää, koska painumat eivät oletettavasti johdu heikentyvästä sepelistä, vaan ainoastaan muokkautuneesta pohjaimesta. Muualla maailmalla tehtyjen pohjainkokeiden perusteella voidaan olettaa, että pohjaimista on merkittävä hyöty, kun sepeli alkaa ikääntyä.

Mittausjakson aikana vaihteissa ei havaittu myöskään merkittävää pysyvää painumaa. Vaihdealueella on varmasti tapahtunut jonkin verran painumaa aivan vaihteiden asennuksen jälkeen, mutta näitä painumia ei pystytty mittaamaan, koska painumaa mittaavat anturit asennettiin vasta noin kuukausi varsinaisen vaihteiden asennusurakan jälkeen. Tämä oli kuitenkin täysin suunniteltua, sillä tämän projektin mittauksilla tähdätään pidempiaikaisen painuman seuraamiseen nopean alkupainumien sijaan.

Uusien kääntölaitetyyppien ja ulkoisen mekaanisen lukitusjärjestelmän toimintavarmuutta mitattaessa kävi ilmi, että kääntö- ja valvontatangot pysyvät junan ylityksen aikana hyvin paikallaan ja merkittäviä turvallisuusriskejä ei synny. Näitä laitteita ja lukitusta voidaan siis tulevaisuudessakin käyttää nykyisen kääntölaitetyypin rinnalla.

Koelueella tehdyistä lämpötilamittauksista kävi ilmi, että elastisiin vaihteisiin asennetut ontot teräspölkyt tarvitsevat erillisen lämmitysjärjestelmän, jos lämpötila niiden sisällä halutaan pitää 0 °C yläpuolella. Lämmityksessä tulisi lisäksi ottaa huomioon, että pölkyn avointa päätä tulisi kenties lämmittää hieman suuremmalla teholla, koska vastuksen synnyttämä lämpö pääsee pakenemaan pölkystä hyvin tehokkaasti.

Kiskon profiilimittaukset osoittivat, että koejakso on liian lyhyt varsinaisten kulumisilmäiden mittaamiseen. Kiskoissa on merkkejä alkavista muutoksista, mutta varsinaisia merkityksellisiä kulumia ei havaittu yhdessäkään poikkileikkauksessa. Kulumista tulisi seurata tässä kohteessa selkeästi pidemmällä aikajaksolla. Tämän asian mittaaminen oli kuitenkin hyvin tärkeää, sillä se osoitti, että uudet komponenttivalinnat ja vaihteen asennus eivät ole aiheuttaneet pyörä-kisko kontaktiin mitään erityisiä muutoksia, jotka saattaisivat syödä kiskot loppuun muutamassa kuukaudessa.

Yhteenvedon voidaan todeta, että kahden ensimmäisen vuoden aikana elastiset vaihteet ovat toimineet käytännössä moitteettomasti. Tulokset eivät myöskään anna syytä olettaa vaihteiden käyttäytymisen muuttuvan lähitulevaisuudessa, sillä varsinkin palautuvan painuman arvot ovat pysyneet hyvinkin tasaisina koko mittausjakson ajan. On silti muistettava, että raportissa käsiteltävä ajanjakso on hyvin lyhyt ja merkittävimmät muutokset rakenteessa tapahtuvat yleensä vasta käyttöä myöhemmässä vaiheessa. Tästä syystä luvussa 4 esitetyjä tuloksia voidaan pitää vasta suuntaa antavina.

Tämä projektin osalta ei ole suunniteltu tehtävän jatkomittauksia näissä vaihteissa. Pysyvää painumaa lukuun ottamatta kaikki tämän raportin tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia, jos mittauksia päätetään tulevaisuudessa tehdä lisää, joka näiden tulosten valossa on hyvin suotavaa. Mittausjärjestelmää ei ole vielä purettu Kouvolasta, joten mittausten jatkaminen on mahdollista hyvin pienin kuluin. Rakenteen palautuvien ja pysyvien painumien ja kiskojen kulumisen mittaaminen esimerkiksi 5 vuoden päästä antaisi varmasti valtavasti lisätietoa siitä, kuinka pitkää elinkaarta näille eri vaihterakenteille voidaan ennustaa.

Lähteet

Berggren, E. 2009. Railway Track Stiffness, Dynamic Measurements and Evaluation for Efficient Maintenance. Doctoral Thesis. KTH Engineering Sciences. 31 p.

International Union of Railways. 1986. UIC code 864-5. Technical specification for the supply of rail seat pads. 4th edition. 30 p.

EN16431. 2014. Railway applications - Track - Hollow sleepers and bearers. CEN, Bryssels. 28 p.

Liikennevirasto. 2004. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 13, Radan tarkastus. Helsinki. 51 s. + liitt.28 s.

Liikennevirasto. 2012. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4, Vaihteet. Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 22/2012. 47 s. + liitt.12 s.

Liikennevirasto. 2014a. Ratatiedon extranet, Kouvolaan raiteistokaavio. [WWW] [Viitattu 24.3.2015] Saatavilla:
<https://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/a17ec4952732bdc87b080524b2f4e89c/1427201454/application/pdf/2667242/Kouvola.pdf>

Liikennevirasto. 2014b. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne. Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 17/2014. 38 s. + liitt.42 s.

Luomala, H., Peltokangas, O. & Nurmikolu, A. 2015. Radan kokonaisjäykkyyden mittaaminen ja modifiointi. Helsinki, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2015. 112 s.

Müller-Boruttau, F.H., Kleinert, U. 2001. Sleepers with sole pads. Vortrag WCRR 2001. 6 p.

Nummelin, M. 1994. Rautatievaihteet Kehitys, rakenne ja kunnossapito. Mikkeli. VR-Pääkonttori, ratayksikkö. 144 s.

Salminen, E. 2013. Raideruuvivauriot lyhyissä vaihteissa. Helsinki, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2013. 81 s. + liitt. 9 s.

Schwihag. 2013. Slide baseplate URg 57 -40 FI. drawing no. P0022096.

Schwihag. 2014a. Check rail support – Check Rail UStp 11. drawing no. P0022133.

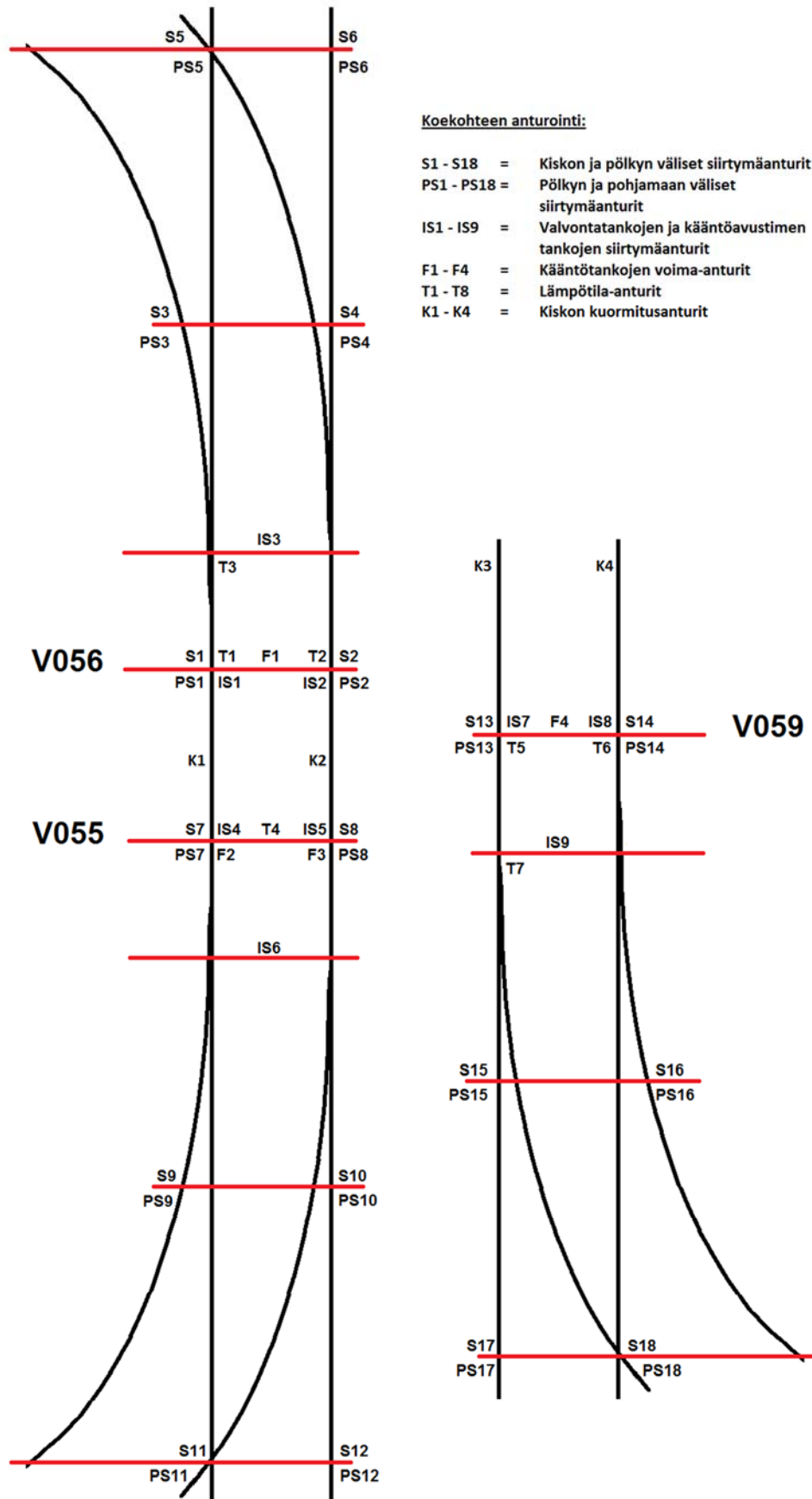
Schwihag. 2014b. Modular bearer Finland elastic bearing. drawing no. P0022040.

Schwihag. 2015. Federwippe 2, Zusammenstellungszeichnung.

Schwihag. 2016. Schwihag clamplock. [WWW] Viitattu 1.2.2016. Saatavilla:
<http://www.schwihag.com/en/products/switch-lockingsystem.html>

Varis, R. 2017. Vaihterakenteiden pystysuuntaiseen jäykkyyteen liittyvät ongelmat ja niiden ratkaisuvaihtoehdot. Helsinki, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2017. 79 s.

Antuointisuunnitelma



ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-481-8
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

