



Markku Nurmentie

Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietojen seurannan kehittäminen

Markku Nurmentie

Rautateiden liikkuvan kaluston pyörän- laakereiden kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietojen seurannan kehittäminen

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Simo Toikkanen ja Markku Nurmentie

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-519-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelinvaihte 020 637 373

Markku Nurmentie: Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietojen seurannan kehittäminen. Liikennevirasto, rautatieosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2010. 123 sivua ja 4 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-519-9

Asiasanat: rautateiden liikkuva kalusto, kuumakäynti-ilmaisimien, pyöräkerta

TIIVISTELMÄ

Diplomityössä tutkitaan rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden lämpötiloja mittaavan kuumakäynti-ilmaisimen toimintaa takautuvien lämpötilamittaustietojen pohjalta. Kuumakäyntihälytyksiä aiheuttaneiden laakeripesien lämpötiloista laaditaan lämpötilakuvaajat kuljetun matkan aikana. Kuvaajista tutkitaan muun muassa mahdollisuutta tunnistaa alkava laakerin yllämpö nykyistä aiemmin.

Työn teoriaosassa osassa käsitellään laakeritekniikan kannalta tribologian keskeisimmät käsitteet, tutkimuksen kohteena olevan liikkuvan kaluston rakenteet, olennaisimmat laakerivauriotyypit ja kuumakäyntivalvonnan keskeisimmät tekijät.

Työn tutkimusosassa tutkitaan kuumakäynti-ilmaisimien ja liikkuvan kaluston välistä vuorovaikutusta sekä tarkastellaan tutkimustulosten havaintoja ja ongelmia. Tutkimuksen mukaan kuumakäyntijärjestelmä tunnistaa tehokkaasti vaaralliset laakerilämpötilat aiheuttaen samalla myös paljon aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä. Kuumakäyntivalvontajärjestelmässä vaarallisten kuumakäyntien tunnistus on säilyttävä nykyisellään, mutta kuumakäynti-ilmaisimien hälytysherkkyyttä tulisi kuitenkin vähentää.

Työn jatkokehittämissuosiossa esitetään kuumakäyntivalvonnan kehittämissuunnitelmat, jotka koskevat sekä radankäyttäjää että radanpitäjää.

Markku Nurmentie: Utvecklande av övervakningen av varmgångsdetektorernas mätresultat i hjullagren i järnvägens rullande materiel. Trafikverket, järnvägsavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 9/2010. 123 sidor och 4 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-519-9

Nyckelord: rullande materiel, varmgångsdetektor, hjulpars

SAMMANDRAG

I det här diplomarbetet undersöks funktionen av den varmgångsdetektor som mäter hjullagrens temperatur i järnvägens rullande materiel, på basen av regressiva temperaturmätresultat. En temperaturgraf över temperaturerna i de axelboxar som orsakat varmgångslarm görs upp under resan. Med hjälp av graferna undersöks bland annat möjligheten att i ett tidigare skede än idag kunna identifiera en begynnande övertemperatur i lagret.

I arbetets teoridel behandlas de ur lagerteknikens synvinkel mest centrala begreppen inom tribologin, den undersökta rullande materielens strukturer, de väsentligaste typerna av skador på lagren och de centrala faktorerna i varmgångsövervakningen.

I arbetets forskningsdel undersöks växelverkan mellan varmgångsdetektorerna och den rullande materielen och granskas de iakttagelser och problem som framträdde i forskningsresultaten. Enligt forskningen identifierar varmgångssystemet effektivt farliga lagertemperaturer men orsakar samtidigt många obefogade varmgångslarm. Identifieringen av farlig varmgång i varmgångsövervakningssystemet måste bevaras på nuvarande nivå medan varmgångsdetektorernas larmsensitivitet borde minskas.

I den delen av arbetet där den fortsatta utvecklingen behandlas presenteras sådana utvecklingsplaner för varmgångsövervakningen som berör både användaren och banhållaren

Markku Nurmentie: Development of measurement data monitoring for the axle bearings' hot box detectors of rolling stock. Finnish Transport Agency, Railway Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 9/2010. 123 pages and 4 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-519-9

Keywords: rolling stock, hot box detector, wheelset

ABSTRACT

In this Master`s thesis the temperatures of rolling stock axle bearings with hot box detectors are examined. The research material is based on retrospective temperature measurement data. The temperatures of axle-boxes fitted with hot box alarms are recorded with temperature graphs during the driving distance. The possibility of detecting incipient axle bearing overheating earlier than before is examined through the graphs.

In the theoretical part of this study the main tribological concepts such as the structures of the rolling stock, the main types of bearing damage and the key factors of the hot box detection system are examined.

In the empirical part of this research the interaction between the hot box detectors and the rolling stock is examined. In addition, observations and problems that emerged from the research results are discussed. According to the findings of this research, the hot box detection system effectively recognizes dangerous temperatures of axle bearings but also causes a lot of needless hot box alarms.

The alarm threshold for dangerous temperatures in hot box recognition must be kept at the current level. However, the alarm sensitivity of hot box detectors should be reduced.

In the further developments section of this study development plans are presented for the hot box detection system which concern both the user and the rail infrastructure manager.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön on tehnyt tekniikan ylioppilas Markku Nurmentie Ratahallintokeskuksen (nykyinen Liikennevirasto) tilauksesta Oulun yliopiston konetekniikan osastolla Auto- ja työkonetekniikan opintosuunnalla.

Työn ohjaajina ovat toimineet dosentti, TkT Mauri Haataja ja työn tilaajan puolelta ylitarkastaja, dipl.ins. Seppo Mäkitupa.

Helsingissä huhtikuussa 2010

Liikennevirasto
Rautatieosasto

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	10
2	TRIBOLOGIA.....	11
2.1	Kitka.....	11
2.2	Kuluminen	11
2.3	Vierintälaakereiden voitelu	14
2.3.1	Rajavoitelu	15
2.3.2	Sekavoitelu.....	15
2.3.3	Nestevoitelu.....	15
2.3.4	Rasvavoitelu.....	16
3	RAUTATEIDEN LIIKKUVA KALUSTO JA KUNNOSSAPITO.....	18
3.1	Rekkavaunut.....	18
3.1.1	Rekkavaunujen telit.....	20
3.2	Sähkömoottorijuna Sm ₃	22
3.3	Vaunukaluston kunnossapito.....	24
3.3.1	Korjausohjelma	25
4	RAUTATEIDEN LIIKKUVAN KALUSTON RAKENNE	27
4.1	Teli	27
4.2	Pyöräkerta	28
4.2.1	Pyörän ja raiteen välinen kontakti	29
4.3	Laakerointi.....	32
4.4	Jarrujärjestelmät	37
4.4.1	Tönkkäjarrut.....	37
4.4.2	Levyjarrut.....	38
5	LAAKERIVAURIOIDEN TYYPIT JA SYYT	39
5.1	Lovipyörä	39
5.2	Laakerivauriomekanismeja	41
5.3	Akselin katkeamiseen johtaneita laakerivaurioita	44
6	KUUMAKÄYNTIVALVONTA.....	47
6.1	Kuumakäyntivalvonnan kehittyminen Suomessa	47
6.2	Kuumakäyntivalvonnan kansainväliset määräykset.....	49
6.3	Kansalliset viranomaismääräykset ja -ohjeistukset kuumakäyntivalvonnalle ..	53
6.4	Kuumakäynti-ilmaisimen anturitekniikka	53
6.5	Lämpötilanmittaus kuumakäynti-ilmaisimella.....	55
6.5.1	Kuumakäyntihälytys ja menettelyohjeet	57
6.6	Muita laakerivaurion tunnistusmenetelmiä	59
7	KUUMAKÄYNTIMITTAUKSET	61
7.1	Mittausvirheistä ja jarrujen laahaamisesta johtuvat kuumakäyntihälytykset...	62
7.2	Kuumakäyntien jakautuminen kalustotyypeittäin.....	68
7.3	Kuumakäyntien jakautuminen aikakausittain	71
7.4	Sdggnqss-w rekkavaunun kuumakäynti	72
7.4.1	Jään ja lumen mahdollinen vaikutus mittaustuloksiin	77
7.5	Akselin oikean ja vasemman puolen laakerilämpötilojen vertailua	80
7.6	Sm ₃ :n takautuvia mittaustuloksia kuumakäynneistä	90

7.7	Laakerivauriosta johtuneet kuumakäynnit	103
7.7.1	Venäläisen vaunun kuumakäynti	103
7.7.2	Ed-vaunun kuumakäynti	105
8	KUUMAKÄYNTIVALVONNAN KEHITTÄMINEN	108
8.1	Mittaustietojen ketjuttaminen	108
8.2	Lämpötilamittauksen alarajan muuttaminen.....	109
8.3	Menettely kuumakäyntihälytyksessä.....	112
8.4	Kuumakäyntivalvonnan hallinnointi	115
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	117

LIITTEET

Liite 1	Kuumakäynti-ilmaisimien ja keskusyksiköiden sijainnit rataverkolla
Liite 2	Turvallisuuden merkittävästi vaikuttavat rautateiden liikkuvan kaluston järjestelmät ja komponentit
Liite 3	Vuosina 2004–2009 kuumakäyntihälyttäneet henkilö- ja tavaravaunut, lukumäärät ja akselimassat
Liite 4	VAE HOA 400DS -kuumakäynti-ilmaisimien nykyiset hälytysrajat

LYHENNELUETTELO

ABS	Absoluuttinen
ERA	Euroopan rautatievirasto (European Railway Agency)
HV	Henkilövaunu
LIMO	Liikkuvan kaluston tekniset määräykset ja ohjeet
OTK	Onnettomuustutkintakeskus
RATO	Ratatekniset ohjeet
RHK	Ratahallintokeskus
RVI	Rautatievirasto
Sm3	Sähkömoottorijuna
TV	Tavaravaunu
UIC	Rautateiden kansainvälinen yhdistys (Union Internationale des Chemins de fer)
VR	VR-Yhtymä Oy
YTE	Yhteentoimivuuden tekninen eritelmä (Technical Specifications for Interoperability)

1 JOHDANTO

Suomen rautatieliikenteen volyymi kasvaa vuosi vuodelta. Rataverkoston uudistamisen myötä liikkuvan kaluston liikennenopeuksia sekä kuljetettavien massojen määrää on mahdollista kasvattaa entisestään. Rautatieliikenteen volyymin kasvaminen edellyttää myös turvalaitteilta jatkuvaa kehittämistä ja uudistamista. Diplomityössä tutkitaan rautateiden liikkuvan kaluston kuumakäyntivalvonnan mittaustietojen seurannan kehittämismahdollisuuksia.

Diplomityön on tilannut Ratahallintokeskus (RHK) (nykyinen Liikennevirasto) ja tutkimusaineisto perustuu VR-Engineeringin tilastoimiin kuumakäynti-ilmaisimien takautuviin mittaustietoihin. Laakerin lämpötiloja mittaavat Liikenneviraston kuumakäynti-ilmaisimet sijaitsevat radanvarrella. Kuumakäynti kuvaa rautatieliikenteessä junan pyöränlaakerin ylälämpöä. Laakerin kuumakäynnin myöhäisen tunnistamisen vaarana on laakerin ennenaikainen vaurioituminen. Laakerin ylälämpenemisen takia, mahdollinen laakerivaurio voi johtaa pahimmassa tapauksessa yhden tai useamman vaunuyksikön raiteelta suistumiseen. Raiteelta suistumisen aineellisten vahinkojen lisäksi vaarana ovat myös henkilövahingot.

Työn teoriaosassa esitellään tribologian peruskäsitteet, liikkuvan kaluston ja kuumakäyntivalvonnan tekniikkaa, kunnossapitoa ja lainsäädäntöä sekä olennaisimmat laakerivauriotyypit. Tutkimuksessa selvitetään muun muassa, voidaanko saada luotettavampaa tietoa alkavasta laakerin ylälämpenemisestä nykyistä aiemmin. Lisäksi tutkitaan kuumakäyntihälytysten syitä ja niiden esiintyneisyyttä liikkuvalla kalustolla. Tutkimuksessa keskitytään myös kuumakäyntivalvontaan liittyviin ongelma-kohtiin ja esitetään uusia kehittämismahdollisuuksia.

2 TRIBOLOGIA

Tutkittaessa laakereiden kulumista ja lämpötilakäyttäytymistä on tribologian tuntemus välttämätöntä. Tribologia on yksi konetekniikan keskeisimmistä osa-alueista, joka kuvaa kosketuspintojen kitkaan, voiteluun ja kulumiseen liittyviä ilmiöitä.

Tässä kappaleessa käydään läpi tribologian keskeisimmät peruskäsitteet sekä vierintälaakereiden toiminnan kannalta olennaisimmat asiat kitkan, kulumisen ja voitelu suhteen.

2.1 Kitka

Kitka on kahden kappaleen välisen liikkeen aiheuttama liikevastus, jonka voittamiseen on tehtävä työtä. Työn tuloksena kappaleeseen varastoituu energiaa, joka muuttuu energian eri muodoiksi kuten lämmöksi. Lämpöenergia puolestaan aiheuttaa yhtenä osatekijänä materiaalille kulumista, jonka seurauksena on materiaalin väsyminen ja lopulta tuhoutuminen. Kitkaa pienentämällä voidaan säästää merkittävästi energiaa sekä vähentää materiaalivaurioita.

Adheesiivisen kitkateorian mukaan kitkasta aiheutuvan energian kulumiseen vaikuttaa elastisen muodonmuutoksen hystereesi, plastinen muodonmuutos ja kosketuspintojen uusien murtopintojen muodostusenergia. /1/

2.2 Kuluminen

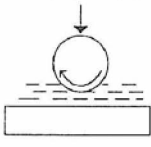
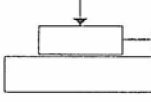
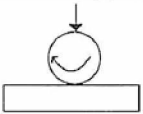
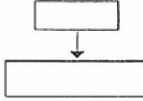
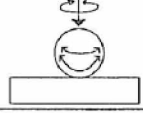
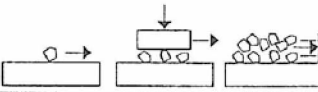
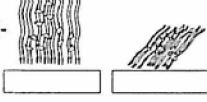

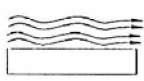
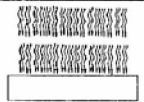

Toisiaan vasten liikkuvien pintojen vuorovaikutuksesta seuraa kulumisilmiö, jonka aiheuttaa kappaleiden välinen kitka. Vaikuttavina tekijöinä kulumiseen ovat vallitsevan ympäristön olosuhteet ja lämpötila, kuormituksen suuruus ja sen tyyppi, kosketuspintojen rakenteet ja erityisesti pintakerroksen koostumus, liukumisnopeus ja materiaalien liukoisuus toisiinsa. Kulumistyyppit voidaan luokitella kahteen seuraavaan päätyyppiin. /1/

- Kulumista aiheutuvan suhteellisen liikkeen pohjalta, jotka erotellaan seuraaviin eri tapauksiin kuten vierintä, liukuminen, värähtely, iskukuormitus, nestevirtaus, nestevirtaus kiinteillä partikkeleilla sekä lisäksi lujuusopillisesti tarkasteltuna veto- puristus- taivutus- ja vääntökuormitus.
- Kulumista aiheutuvan kulumismekanismin pohjalta, joita ovat adheesio, abraasio, pinnan väsyminen ja tribokemiallinen kuluminen ja tuhoutumismekanismi esimerkiksi haurasmurtuma.

Adhesiivisella kulumisella tarkoitetaan kosketuspintojen välistä kulumista, jolloin pintojen epätasaisuudet hitsautuvat toisiinsa aiheuttaen syntyvien liitosten murtumista ja materiaalin siirtymistä kosketuspintojen välillä. Adhesiivinen kuluminen johtuu yleensä puutteellisesta voitelusta. Adhesiivisen kulumisen edetessä tarpeeksi pitkälle voi tilanne muuttua abrasiiviseksi kulumiseksi kulumisjätteiden kasvamisen vaikutuksesta tai pintojen välisistä kovuseroista johtuen.

Abrasiivisella kulumisella tarkoitetaan kahden kosketuspinnan välissä olevien hiovien partikkeleiden kulumisvaikutusta. Abrasiivinen kuluminen johtuu yleensä voiteluaineiden epäpuhtaudesta. Pinnan väsymisellä tarkoitetaan puristus- ja taivutusjännityksen aikaan saamien säröjen aiheuttamaa kosketuspinnan lohkeilua.

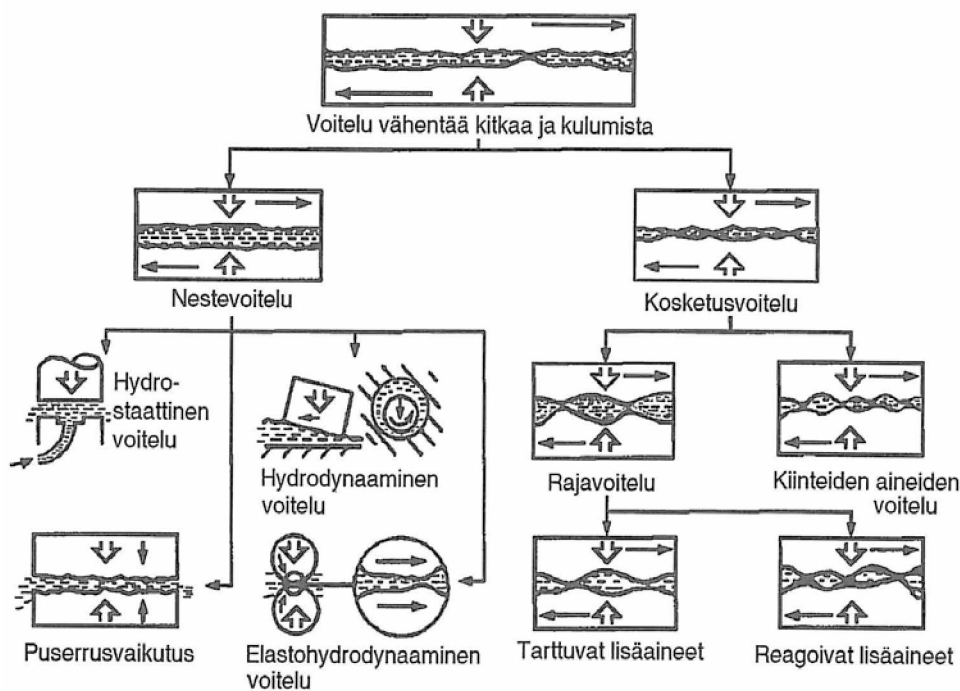
Tribokemiallisessa kulumisessa kuluminen tapahtuu pääasiassa hapettumakerrosten ja korroosiotuotteiden vaikutuksesta. Tribokemiallisen korroosion syitä ovat muun muassa tiivisteiden pettäminen, sopimaton voiteluaine ja suuret lämpötilan vaihtelut aiheuttaen kosteutta. Korroosiotuotteet saattavat edesauttaa abrasiivisen kulumisen syntymistä. Kuvassa 1 on esitelty käsitellyt kulumismekanismit eri kulumistyypeillä.
/1/

Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasitustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abraasio	Pinnanväsyminen	Tribo-kemiallinen
Kiinteiden pintojen välissä voiteluaine	Liukuminen Vierintä Isku Sysäykset 				X	X
Kiinteät pinnat toisiaan vasten	Liukuminen 	Liukumis-kuluminen	X	X	X	X
	Vierintä 	Vierintä-kuluminen	X	X	X	X
	Iskukuormitus 	Isku-kuluminen	X	X	X	X
	Värähtely 	Värähtely-kuluminen	X	X	X	X
Kiinteät pinnat ja kulumispartikkeli	Hionta 			X		
Kiinteät pinnat ja partikkelit	Partikkeli-suihku 	Eroosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-eroosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-eroosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeita	Virtaus 	Eroosio		X	X	
		Korroosio-eroosio		X	X	X

Kuva 1. Kulumismekanismit eri kulumistyypeillä. /1/

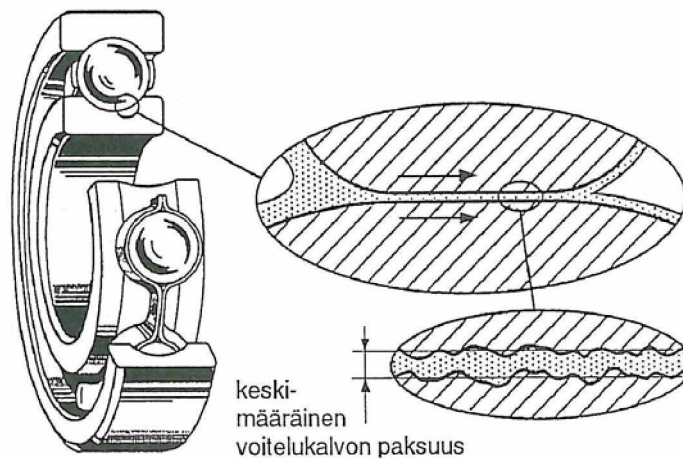
2.3 Vierintälaakereiden voitelu

Laakereiden voitelun tavoitteena on vähentää liikkuvien kappaleiden kosketuspintojen välistä kitkaa pienentäen kappaleiden välistä kulumista. Laakereiden voitelussa tärkeimpinä tavoitteina ovat lisäksi pintojen erottaminen toisistaan, kosketuspintojen jäädyttäminen, epäpuhtauksilta välttyminen, epäpuhtauksien ja kulumishiukkasten poistaminen, värähtelyn vaimentaminen ja korroosiolta suojaaminen. Voitelutilanteet jaetaan karkeasti kuvan 2 mukaisiin voitelumekanismeihin. /1/



Kuva 2. Voitelumekanismit. /2/

Voiteluaineina käytetään yleensä joko kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia aineita. Voitelualueet voidaan jaotella rajavoiteluun, sekavoiteluun ja nestevoiteluun. Eri voitelualueet luokitellaan kosketuspintojen etäisyyden mukaan suhteutettuna molempien kosketuspintojen yhdistettyyn pinnankarheuteen (kuva 3). Pintojen välisen kosketuksen kokonaiskitkakerroin muuttuu voitelukalvon paksuuden muuttuessa, jolloin pinnankarheushuippujen kantama kuorma ja kitka vähenevät voitelukalvon paksuuden kasvaessa. Toisaalta ohut voitelukalvo leikkautuu helpommin alentaen kitkakerrointa esimerkiksi rajavoitelualueella. /1/



Kuva 3. Laakerin voiteluaineen paksuuden kuvaus. /1/

2.3.1 Rajavoitelu

Rajavoitelussa voitelukalvon ominaispaksuus suhteessa molempien kosketuspintojen yhdistettyyn pinnankarheuteen on oltava yksi tai sitä pienempi, jotta rajavoitelussa tapahtuu selvästi pinnankarheushuippujen kosketuksia. /1/

Jotta voiteluominaisuudet säilyvät hyvinä rajavoitelutilanteessa, pintakalvojen tarttuvuuden, stabiilisuuden ja muodostumisnopeuden on oltava riittävät kosketuskohdassa. Rajavoitelussa merkittäväksi asiaksi nousee myös valitun materiaalin tribologiset ominaisuudet. /3/

2.3.2 Sekavoitelu

Sekavoitelussa voitelukalvon ominaispaksuus suhteessa molempien kosketuspintojen yhdistettyyn pinnankarheuden korkeuteen on noin 1–4-kertainen. Sekavoitelutilanteessa yhdistyy raja- ja nestevoitelun yhdistelmä, jossa pienikitkainen voitelukalvo ja pinnankarheushuiput kantavat kuorman. /1/

Pienikin olosuhdemuutos, esimerkiksi lämpötilassa saattaa vaikuttaa laakerin voiteluominaisuuksiin, jolloin pahimmassa tapauksessa sekavoitelutilanne voi muuttua rajavoitelutilanteeksi. /3/

2.3.3 Nestevoitelu

Nestevoitelun ja sekavoitelun erottaa siitä, että nestevoitelussa öljykalvo erottaa kosketuspinnat paremmin toisistaan kuin sekavoitelussa. Nestevoitelussa kitka ja kuluminen ovat alhaisempaa kuin sekavoitelussa. Nestevoitelussa merkittävää on materiaaliparin paineensietokyky ja voiteluaineen tarttuvuus. Nestevoitelu jaetaan hydrodynamisiin, elastohydrodynamisiin ja hydrostaattisiin voitelumekanismeihin. /3/

Hydrodynaamisessa voitelussa kuorman kantava hydrodynaaminen paine synnytetään kahdella eri tavalla. Neste ohjataan kapenevaan kiilamaiseen rakoon rajapintojen liikkua toisiinsa nähden tangentialisesti. Suppenevaan voitelukalvoon muodostuu ylipaine joka tasaa kiilaan sisään ja ulos virtaavan voiteluaineen määrän

kantaen samalla laakeriin kohdistuvan kuormituksen. Toisella menetelmällä kuorman kantava paine synnytetään puserusvaikutuksella, jossa toisiaan vasten kohtisuoraan lähestyvät pinnat aiheuttavat liukukosketuksen painejakauman. Voitelukohteina hydrodynaamisessa voitelussa ovat muun muassa säteislaakerit ja edestakaisin liikkuvien mekanismien laakeroinnit. /1,3/

Elastohydrodynaamisessa voitelussa korkeat kosketuspaineet aiheuttavat kosketuspintojen välillä elastista muodonmuutosta sekä voiteluaineen viskositeetin voimakasta kasvua. Kimmoisen muodonmuutosten seurauksena voitelukalvo säilyy kosketuspinta-alan kasvun vaikutuksesta sekä paineen vaikutuksesta jäykäksi muuttuneen voiteluaineen ansiosta. Voitelukohteina ovat muun muassa suuria kuormia pienen kosketuspinta-alan kautta välittävät vierintälaakerit ja hammaspyörät. /3/

Hydrostaattisessa voitelussa liukupinnat erotetaan toisistaan pumpun paineen avulla, jossa voiteluaine tuodaan liukupintojen välissä olevaan voiteluainetaskuun. Voitelukohteena ovat muun muassa nopeakäyntiset koneet. /1/

2.3.4 Rasvavoitelu

Rasvavoitelu on yleisesti eniten käytetty voitelumenetelmä vierintälaakereissa ja se kuuluu pääasiassa sekavoitelualueeseen. Rasvavoitelun etuina verrattuna nestevoiteluun ovat muun muassa pitkäkestoinen voiteluaineen pysyvyys laakerissa ja hyvä tiivistys, joka estää veden ja likapartikkeleiden pääsyä laakerin vierintäelimille öljyä tehokkaammin. Rasvavoitelun huonoina puolina ovat puolestaan heikko lämmön poistuminen voitelukohteesta ja tarkempi nopeus kuormitusalue nestevoiteluun verrattuna. Yhtenä ongelmana on myös liian poistaminen rasvavoidellusta laakerista. /3/

Voitelurasvaan on sisällytetty perusöljyä yleensä 70–95 % -saenninta ja vanhene-
misen- ja ruostumisenestoaineita 5–30 %. Saennin vaikuttaa erityisesti rasvan kuumavoiteluominaisuuksiin ja sen tehtävänä on sitoa juokseva öljy itseensä. Rasvan kylmävoiteluominaisuuksiin vaikuttaa suuresti perusöljy, jonka viskositeetti vaikuttaa suoraan voitelukalvon paksuuteen. Voitelurasvojen ominaisuuksia voidaan parantaa myös lisäaineiden käytöllä kuten korroosion-, hapettumisen- ja kulumisenestoaine sekä kiinnitarttuvuuslisäaine. Voitelun toiminnan kannalta voidaan laakerissa erottaa kolme hallitsevaa mekanismia, joita ovat perusöljyn erottuminen sideaineesta, rasvan kulkeutuminen vierintäelimien avulla kosketuskohtaan ja tärinästä aiheutuva rasvan liike laakerissa. /3/

Laakeria voideltaessa täytetään laakeri kokonaan rasvalla kuitenkin siten, että laakeripesän täyttöasteeksi jäisi 30–50 % pesän tilavuudesta, jotta lämpölaajenemiselle jäisi riittävästi tilaa. Myös laakeria käynnistettäessä laakeripesässä tulee olla tilaa, koska laakerin vierintäelimet työntävät rasvaa laakerin ympärille, joka aiheuttaa käynnin alkuvaiheessa lämpötilan ja kitkan nousua. /3/

Hallitsevaksi voitelumekanismiksi tulee perusöljyn erottuminen rasvasta sen jälkeen kun suurin osa rasvasta on käytön alussa ajautunut laakerin ympärillä olevaan tilaan, kuten myös rasvan siirtyminen vierintäelinten kosketuskohtaan. Käyntilämpötila ja käynnin jaksollisuus vaikuttavat eniten perusöljyn sekoittumiseen, missä korkea lämpötila alentaa öljyn viskositeettiä parantaen erottumista sekä laakerin käyttökatkot, jotka myös erottavat perusöljyä rasvasta. Yleisesti voidaan todeta että mitä

heikompaa on öljyn erottuminen voitelurasvasta, sitä heikompaa on öljyn suorittama voitelun tehokkuus laakerin vierintäelimillä. Rasvan kestoajan lopussa öljyn erottuminen rasvasta loppuu, jolloin rasvassa oleva öljymäärä on vähentynyt yli puolet alkuperäisestä öljymäärästä. /3/

Tärinän suuruudella on myös merkitystä laakerien voiteluominaisuuksiin. Liian alhaisella tärinätasolla rasvan liikkuminen laakerissa on liian hidasta, jolloin kosketuskohtaan ei tule uutta rasvaa ja voitelutilanne muuttuu näin ollen heikommaksi. Tilannetta voidaan parantaa lisäämällä rasvauskertoja. Liian korkea tärinätaso vastaavasti heikentää voiteluominaisuuksia aiheuttaen rasvassa voimakasta kiertokulkua, mistä on vaarana rasvan pehmeneminen ja perusöljyn liiallinen erottuminen, jolloin rasva menettää voiteluominaisuudet kokonaan. Rasvatyyppi on valittava tarkasti käyttötarkoituksen mukaan ja huomioitava rasvan mekaaniset ominaisuudet, kuten rasvan kiinteys. /3/

Käytetyn rasvan väri kertoo paljon myös laakerin kunnosta. Harmaa rasvan väri ilmaisee rasvan suuresta vesipitoisuudesta. Tummat värit kuten ruskea tai musta ilmaisevat, että laakeri on käynyt liian kuumana, jolloin rasva on hapettunut.

Korkeissa lämpötiloissa voitelurasvat menettävät voiteluominaisuuksia muun muassa seuraavista tekijöistä kuten rasvan hapettuminen, saentimen ja perusöljyn krakkautuminen, öljyhiilen muodostuminen, saentimen hajoaminen, konsistentin muutos ja rasvan komponenttien ja laakerimetallien väliset reaktiot. /3/

Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakeroinnin voiteluna käytetään pääasiassa rasvavoitelua. Suomen olosuhteissa voitelurasvoilta vaaditaan kykyä toimia sekä lämpimissä että kylmissä olosuhteissa. Voitelurasvalta vaadittava lämpötilan kesto voi olla pahimmillaan välillä -30...+60°C.

3 RAUTATEIDEN LIIKKUVA KALUSTO JA KUNNOSSAPITO

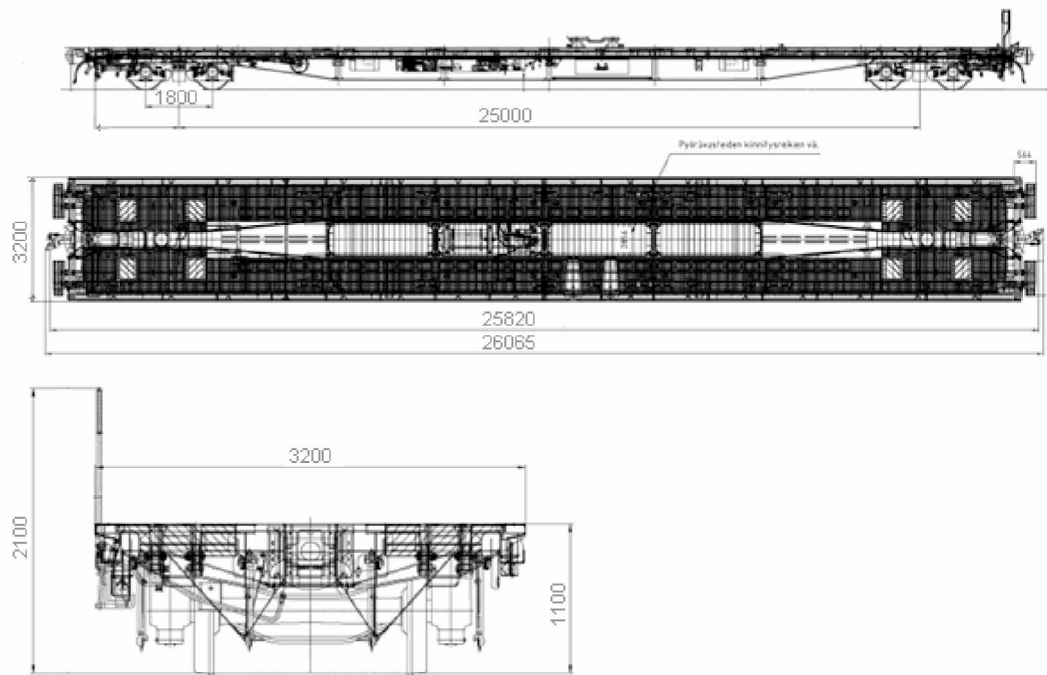
Suomen rautatieliikenteessä liikkuvien kalustotyyppien lukumäärän runsauden vuoksi tutkimus rajoittuu pääasiassa rekkavaunujen ja Sm₃-sähkömoottorijunien kuumakäyntien tutkimiseen. Kalustotyyppien valinta on tehty luotettavien tutkimustuloksien saatavuuden, sekä kaluston nykyaikaisuuden perusteella. Tutkittaessa pyöränlaakereiden lämpötilojen kehittymistä junan kulkemalla reitillä, luotettavien tutkimustuloksien saamiseksi kalustotyyppien valinnassa vaikuttavat muun muassa seuraavat asiat:

- Junan pysyminen vaunujen osalta yhtenäisenä tutkitulla matkalla
- Väliasemille pysähtymisien vähyys junan kulkemalla tutkitulla matkalla
- Kalustotyyppi- ja lämpötilamittaustietojen riittävä saatavuus tutkitusta kalustosta.

Rekkavaunujen osalta tutkimuskohteen valintaan vaikuttaa rekkavaunujen kulkeman reitin yhdenmukaisuus, sekä väliasemille pysähtymisien vähyys. Myös vaunujen lukumäärä pysyy yleensä samana koko matkan aikana. Sm₃:n osalta valintaan vaikuttaa rekkavaunujen valintakriteerien lisäksi myös lämpötilamittaustietojen tarkastelun mielekkyys, koska Sm₃:ssa vaunujen määrä pysyy kokoajan vakiona. Myös väliasemien määrä on muita henkilöjunareittejä vähäisempi. Sm₃-junat ovat myös tasaisemmin kuormattuja ainakin tavaravaunuihin nähden, joka lisää myös lämpötilamittauksien tarkastelujen luotettavuutta.

3.1 Rekkavaunut

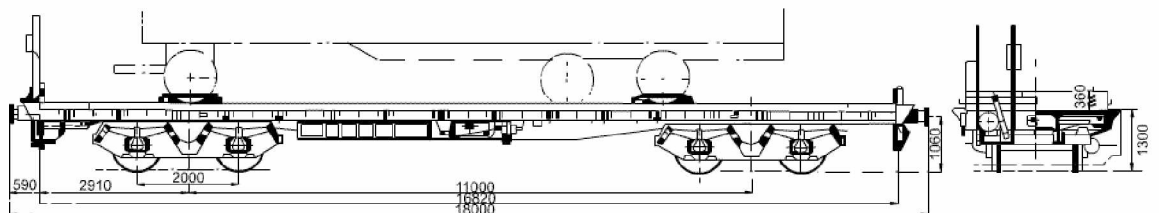
Rekkavaunujen osalta tutkimus rajoittuu pääasiassa kuvan 4 rekkavaunuihin Sdggqss-w ja Sdggqss-w. Muut rekkavaunutyypit ovat Rbqss, Rbnqss, Rbnqss-y, Rbnqss-v ja Sdm (kuvat 5 ja 6). Rekkavaunut on suunniteltu ajoneuvojen ja perävaunujen kuljetukseen. Maksimikorkeus kuljetettavalle kalustolle on 4,2 metriä. Taulukossa 1 on esitelty rekkavaunujen Sdggqss-w ja Sdggqss-w tekniset tiedot. /4/



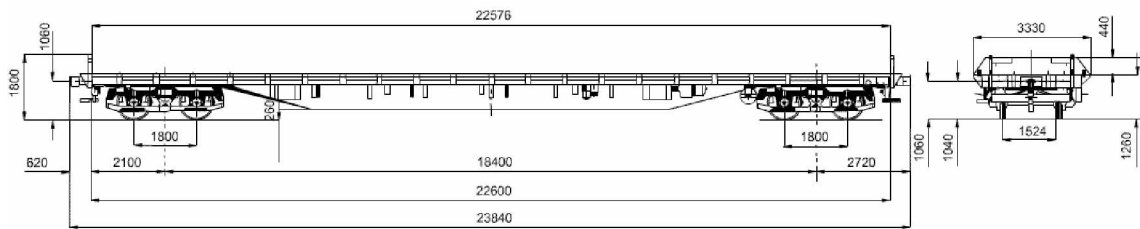
Kuva 4. VR:n rekkavaunut Sdggqss-w ja Sdggqss-w./4/

Taulukko 1. VR:n rekkavaunun Sdggqss-w ja Sdggqss-w tekniset tiedot. /4/

Mittatiedot	Sdggqss-w	Sdggqss-w
Taara [t]	31,2	36,3
Kuorma [t]	58,5/68,5	53,5/63,5
Kuormausala:		
pituus [m]	24,88	24,88
leveys [m]	3,2	3,2
Pinta-ala [m]	78,5	78,5



Kuva 5. VR:n Sdm -rekkavaunu. /4/



Kuva 6. VR:n Rbqss, Rbnqss, Rbnqss-y, Rbnqss-v -rekkavaunut. /4/

3.1.1 Rekkavaunujen telit

VR:n tavaravaunujen yleisimmät telityypit ovat K14, K16 ja K17. Rekkavaunujen telityyppinä käytetään Sdggqss-w ja Sdggqss-w:ssa K17 teliä, Rbqss, Rbnqss, Rbnqss-y ja Rbnqss-v:ssä K16 ja Sdm:ssä K14-teliä. /4/

AM3-teli (kuva 7), joka Suomessa tunnetaan paremmin nimellä K17-teli (kuva 8), on uusiin Suomen tavaravaunukaluston käytössä oleva teli tällä hetkellä. Teliä on valmistettu vuodesta 1998 ja sen suunnittelusta ja kehitystyöstä vastaa Brittiläinen Axiom Rail. Teli on suunniteltu täyttämään TSI standardit sekä UIC:n ja UK Rail Groupin määrittämät vaatimukset. Telin maksiminopeus kuormaamattomana on 140 km/h ja akselipaino 30 tonnia. Suomen rautateillä maksimi akselipainona on mahdollista käyttää 25 tonnia, joka sallitaan vain tietyillä rataosuuksilla. Jousituksen K17 telissä käytetään K14- ja K16-teleistä poiketen progressiivisia kierrejousia. /5/

Telin parhaita ominaisuuksia valmistajan mukaan ovat telin vaimennusominaisuudet, joustamaton runkokehys ja aksiaalinen ohjautuvuus, joiden ansiosta raiteen ja pyörän kuluminen, melutaso, pystysuuntaiset voimat ja kunnossapitokustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat, kuin vanhemmissa telikonstruktioissa. K17-teli on suunniteltu siten, että rataan kohdistuva kuormitus on akselikuormaan nähden suhteessa pienempi verrattuna K14 ja K16 teleihin. VR:n käyttökokemuksien mukaan telin huonoimpina puolina ovat olleet pyörien kulumisherkkyys, sekä lumen ja jään pakkautumisilmiö etenkin jousituksen ja laakeripesän ympärille. /5,6/



Kuva 7. Axiom Railin suunnittelema AM3-teli. /5/



Kuva 8. VR:n omistama K17-teli (AM3-teli), jota käytetään muun muassa Sdggqss-w ja Sdggqss-w rekkavaunussa.

K16-teli, joka on esitelty kuvassa 9, perustuu Linke Hoffmannin suunnittelemaan teliin. Suomessa K16-teliä on käytetty vuodesta 1982 lähtien ja telin suurin sallittu akselipaino on 22,5 tonnia ja akseliväli 1800 mm. /7/



Kuva 9. K16-teli Pieksämäen konepajalla.

Pasilan konepajan valmistaman K14-telin (kuva 10) valmistus alkoi vuonna 1961 ja päättyi 1985, jolloin teijä oli valmistettu yhteensä 11 950 kappaletta. Teli on koottu kokonaan hitsaamalla ja siinä on vapaa akselisovitus, joka antaa mahdollisuuden pyörälle joustaa sivuttaissuunnassa 20 mm, sekä pitkittäissuunnassa 6 mm molempiin suuntiin. K14-telin suurin sallittu akselipaino on 20 tonnia ja akseliväli 2000 mm. /7/



Kuva 10. K14-teli Pieksämäen konepajalla.

3.2 Sähkömoottorijuna Sm3

Toisena tutkimuskohteena diplomityössä on kuvan 11 Sm3 sähkömoottorijunia. Nopeakulkuiset junat yleistyivät Suomen rautateillä vuonna 1996 kun VR hankki Fiat Ferroviarialta Fiat Pendolino S220 -merkkisiä junia, jotka nimettiin Suomessa Sm3-juniksi. Tällä hetkellä VR:llä on käytössä 18 Sm3-junayksikköä. Sm3 junien bruttokilometriosuus koko henkilöliikenteen junista vuonna 2008 oli 16,3 %./8,9/



Kuva 11. Sähkömoottorijuna Sm3. /10/

Sm3-junan korin suunnittelussa on painotettu lujuuden lisäksi myös keveyttä, ja korin itsekantavuus vähentää raiteeseen kohdistuvia voimia. Junan teleissä on kallistusmekanismi, jonka avulla junan koria voidaan kallistaa kaarteissa maksimissaan 8 °, jolloin junan sivuttaiskiikkyvyys alenee. Kallistuvan korin ansiosta junalla voidaan ajaa kaarreaajossa 35 % nopeampaa verrattuna esimerkiksi tavalliseen InterCity-junaan matkustusmukavuuden säilyessä nopeudesta huolimatta vaaditulla tasolla. Sm3:n suurin hyväksytty nopeus matkustajaliikenteessä on 220 km/h. Sm3-junan telin jousitus on toteutettu aktiivijousituksella, jossa tietokoneohjattu hydraulisyylinteri ohjaa sylinterin painetta pitäen telin optimiasennossa. Näin teli ei pääse pohjaamaan. Ajomoottorit ovat kiinnitetty junan koreihin, jolloin vaimennusominaisuuksien osalta jousittamaton massa on saatu mahdollisimman pieneksi. Ajomoottoreista saatava maksimiteho on 4000 kW. /9, 11/

Junayksikkö koostuu kuudesta vaunusta, jotka ovat jaettu kahteen eri vetoyksikköön. Moottorivaunuja on yhteensä neljä kappaletta joista kaksi junan molemmissa päissä sekä ohjaamot. Jokaisessa vaunussa on kaksi kuvan 12 mukaista teliä. Moottorivaunujen vetävät akselit ovat molempien telien takimmaisat akselit. Suurin akselimassa on 14,3 tonnia. Junaa voidaan ajaa molempiin suuntiin, jolloin aikaa kuluttavilta veturin vaihdoilta vältytään. /9/



Kuva 12. Sm3:n teli.

3.3 Vaunukaluston kunnossapito

Rautateiden liikkuvan kaluston kunnossapidolla tarkoitetaan huoltoa ja korjausta, sekä niihin liittyvää teknistä tarkastusta. Rautatieviraston hallinnoivan liikkuvan kaluston teknisten määräysten ja ohjeiden (LIMO) mukaan kaluston kunnossapito on järjestettävä siten, että riittävä turvallisuus- ja luotettavuustaso säilyy kaluston koko käyttöajan. Radankäyttäjän liikkuvan kaluston kunnossapitajällä tulee olla Rautatieviraston hyväksymä turvallisuuden merkittävästi vaikuttavilta osiltaan oleva kunnossapitojärjestelmä. Turvallisuuden merkittävästi vaikuttavista järjestelmistä tulee kunnossapitajällä olla kalustokohtaiset luettelot järjestelmistä ja komponenteista. Kunnossapitojärjestelmien on tuotettava luotettavaa tilastotietoa liikkuvan kaluston käyttövarmuudesta, turvallisuuden merkittävästi vaikuttavien kohteiden kulumisesta ja vaurioitumisesta, niissä esiintyneistä vioista ja puutteista liikkuvan kaluston luotettavuuden sekä kunnossapito-ohjelmien ja -järjestelmien kehittämiseksi. Liitteessä 2 on luettelo turvallisuuden merkittävästi vaikuttavista kohteista. /12/

Vaunukaluston liikennekelpoisuutta ylläpidetään rautatieyrityksen antamien vaununtarkastusohjeiden mukaisesti. Tarkastusohjeissa olevien vaatimusten täyttyminen edellyttää vaunukaluston olevan teknisesti siinä kunnossa, mihin käyttötarkoitukseen vaunu on rakennettu. Tämä edellyttää vaunuissa olevien laitteiden toimintakunnon, sekä työ- että liikenneturvallisuus vaatimuksien täyttymistä. Tässä kappaleessa esitellään tavaravaunukaluston kunnossapitoa, joka perustuu muun muassa VR:n antamaan ehdotukseen vaununtarkastusohjeesta vuodelta 1995 ja 15.-16.6.2009 Pieksämäen konepajalla suoritettuun tutustumiskäyntiin. /13/

VR:llä oli vuonna 2008 korjausohjelman alaisuudessa olevia kaupallisen liikenteen henkilö- ja tavaravaunuja yhteensä 11 969 kappaletta. Tavaravaunujen osuus oli 10 934, joista neliakselisten vaunujen osuus 6095 kpl ja kaksiakselisten vaunujen osuus 4838 kpl, sekä yksi 32 akselinen erikoiskuljetuksiin tarkoitettu syväkuormausvaunu Osg. /11, 14/

Kunnossapito voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, joita ovat korjaava kunnossapito, ehkäisevä kunnossapito ja parantava kunnossapito. Vaunun tarkastus kuuluu ehkäisevään kunnossapitoon, jolla pyritään löytämään vaunuihin tulleet viat, sekä ehkäisemään uusien vikojen syntyminen. Varsinaiset korjaustoimenpiteet tehdään määräväleihin tapahtuvassa korjauksessa ja huolloissa, joiden ajankohdat määräytyvät joko aikavälin tai vaunun kilometrien mukaan siten, että ensimmäisenä saavutettu raja-arvo johtaa vaunun kunnossapitoon. Vaunujen ajokilometrikohmainen seuranta on aloitettu VR:llä vuonna 1991. /13/

Vaunukaluston huolto- ja korjausajankohtaa seurataan lähes reaaliaikaisesti vaunun ajokilometrimäärän mukaan, jolloin huollon tai korjausvälin täytyessä kuljetustuotannon ohjausjärjestelmän välityksellä vaunu voidaan paikantaa ja ohjata lähimpänä olevalle korjaamolle. /13/

Kunnossapidon kannalta vaunujen kriittisimmät osa-alueet ovat pyöräkerrat, jarrujärjestelmä ja jousitus. Tavaravaunujen pyöräkertojen täyskorjausväli on maksimissaan 6 vuotta. Pyöristä pidetään huoltoon liittyen erillistä rekisteriä.

Tavaravaunujen pyöräkertojen täyshuoltoon kuuluu lyhyesti seuraavat toimenpiteet: /15/

- pyöräkerran pesu
- akselin ultraäänitarkastus
- pyörän kulkukehän optinen tarkastus ja sorvaus tai pyörän vaihto tarvittaessa
- laakerihuolto jossa kuntotarkastus, pesu, rasvaus ja vaihto tarvittaessa.

Pyöräkerran huoltovälin määrää yleensä pyörien kulkukehien kuluneisuus, jolloin pyöräkerta toimitetaan huoltoon yleensä jo aiemmin keskimäärin neljän vuoden välein. /15/

Optisella tarkastuksella voidaan pyöräkerrasta tunnistaa muun muassa seuraavat asiat: /15/

- kulkukehän kuluneisuus ja epätasaisuus
- kulkukehän profiilin muoto ja sijainti
- kulkukehällä olevat lovet ja heitot
- akselin suoruus
- pyörien sisäpintojen väli

Ultraäänitarkastuksella suoritetaan pyöräkerran akselin kunnan tarkastus, jolla voidaan havaita mahdolliset säröt. Laakeripesän huollossa suoritetaan silmämääräinen tarkastus pääasiassa vierintäpinnoille ja rullapitimille. Laakerihuoltoon kuuluu laakerin puhdistus ja uudelleen rasvaus sekä laakerityypistä riippuen myös pesu sekä laakerin vaihto kuluneisuuden perusteella. Laakerit irrotetaan akselilta pumppaamalla hydraulioöljyä akselinavan pinnan ja laakerin sisärenkaan väliin, jolloin pintojen väliin tunkeutuvan öljykalvon välityksellä voidaan laakeri vetää hitaasti pois akselilta. Öljyn viskositeetti tulee olla oikea ja akselinapa puhdistettu huolellisesti epäpuhtauksilta. Mikäli öljyn sekaan sekoittuu öljykalvon paksuutta suurempia epäpuhtauksia tai öljykalvon paksuus ei ole riittävä, saattaa akselin pinnalle muodostua pitkittäissuuntaisia naarmuja, jolloin seuraavan kerran laakeria irrotettaessa öljy pääsee tunkeutumaan ulos pintojen välistä ja laakereiden irrotus epäonnistuu. /15/

Pyöräkerran välikorjauksessa toisin kuin täyskorjauksessa, laakeripesää ei huolleta vaan pesän tulppa irrotetaan, jotta voidaan tarkastaa laakerin kunto kuuntelutarkastuksella. Laakerin vaihto suoritetaan joka tapauksessa, mikäli käyttöikä ylittää 18 vuotta. /15/

3.3.1 Korjausohjelma

VR:llä on käytössä vaunukorjausohjelma, joka koostuu määrävälein tehtävästä täyskorjauksesta, välikorjauksesta, huollosta ja pikakorjauksesta. Ohjelma perustuu vuoden 1995 tilanteeseen. /13/

Määrävälein suoritettavassa täyskorjauksessa vaunu käydään läpi perusteellisesti, jolloin vaihdetaan määrätyt kulutusosat, ja suoritetaan vaunulle pintakäsittely. Täyskorjauksen tuloksena vaunu vastaa lähes uuden vaunun kuntoa. /13/

Välikorjaus suoritetaan myös määrävälein, jolloin suoritetaan samat toimenpiteet kuin täyskorjauksessa lukuun ottamatta vaunun pyörien vaihtoa ja pintakäsittelyä, mikäli se ei ole aivan välttämätöntä suorittaa. /13/

Huollossa tarkastetaan pyörien, laakereiden, jarrujen ja vetolaitteiden kunto, sekä vaunun varusteet ja yleinen tarkastus käyttöä haittaavissa tilanteissa. /13/

Pikakorjauksessa korjataan satunnaisesti ilmenneet viat, jotka ovat johtaneet vaunun väliaikaiseen käytöstä poistoon. /13/

Rautateiden liikkuvan kaluston pääkorjauspaikkoina toimivat Pieksämäen ja Hyvinkään konepajat, joiden alaisuudessa toimii muut pienemmät varikot, jotka sijaitsevat liikenteellisesti merkittävimmillä paikkakunnilla, joita ovat Oulu, Kokkola, Iisalmi, Tampere, Joensuu Kouvola, Turku ja Helsinki. Pieksämäen konepajan toimintaan kuuluu erityisesti tavaravaunujen kunnossapito. Tämän lisäksi tavara-vaunujen pienimuotoisempaa huoltotoiminta suoritetaan myös muilla paikkakunnilla, joko omana varikkona tai huoltoauton välityksellä.

4 RAUTATEIDEN LIIKKUVAN KALUSTON RAKENNE

Liikkuvan kaluston rakenteen osalta tutkimus painottuu pääasiassa vaunukaluston rakennekonstruktiioihin. Jotta kuumakäyntitapauksia voidaan tutkia tehokkaasti, äärimmäisen tärkeää on tuntea ja ymmärtää tutkimuksen kohteena olevan kaluston rakennekonstruktiot sekä niiden toimintaperiaatteet.

Rautateiden liikkuvan kaluston merkittävimmät osa-alueet painottuvat myös kuuma-käyntitapausten tutkimisen osalta käytössä oleviin eri vaunukalustojen teliakselikonstruktiioihin, joihin kuuluvat pyöräkerta, laakerointi, jousitus ja vaimennus sekä jarrujärjestelmä. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty yleisesti käytettyjä vaunujen rakennekonstruktiota.

4.1 Teli

Vaunukaluston akselikonstruktiot on toteutettu etenkin raskaalla kalustolla erityyppisillä teliakselistoilla. Teliakselikokonaisuuteen kuuluvat jousitus, vaimennus, vähintään kaksi pyöräkertaa sekä jarrurakenne. Telin pyöräkertaan kuuluu myös jarrumekanismi, joka on tyypiltään, joko tönkkäjarrullinen tai levyjarrullinen mekanismi.

Teliin kohdistuvat vaunun massasta aiheutuvat staattiset kuormitukset ja radalta sekä jarrutuksista aiheutuvat dynaamiset kuormitukset, jotka siirtyvät laakeripesän laakereiden kannettavaksi. Eri kuormitusten aiheuttamien voimien vaimentamiseen teliakseleilla käytetään monentyyppisiä jousia, kuten lehti- ja kierrejousia, erityyppisiä kumielementtejä, hydraulisia heilahtelujen vaimentimia sekä kallistuksenvakaajia. Vaimennustyyppinä hydraulisilla vaimentimilla käytetään joko lineaarista, progressiivista tai degressiivistä vaimennusta. /16/

Telin joustovaralla on suuri merkitys junan ajomukavuuteen. Joustovaran loppuessa äkillisesti aiheuttaa tilanne melua, tärinää sekä sivuttaisheilunnan kasvua. Vaarana on myös resonanssivärähtelyiden kasvaminen. Etenkin nopeiden junien teleissä pyörän liikkeet on vaimennettava joka suuntaan. Vaimennettavista liikkeistä haastavain on junan sivuttaisheilunnan minimoiminen. Pendolinossa telin jousitus on toteutettu aktiivijousituksella, jossa tietokoneohjattu hydraulisylinteri ohjaa sylinterin painetta pitäen telin optimiasennossa, jolloin teli ei pääse pohjaamaan. /11/

Telikeskiön jäykkyydellä ja kunnolla on myös erittäin suuri merkitys telin ja radan kulumiseen etenkin kääntyvässä liikkeessä. Kääntyvässä liikkeessä kiskoon syntyy tukireaktio telin kääntymistä vastustavasta kitkavoimasta, jolloin kiskoon vaikuttava sivuttaisvoima pyrkii kallistamaan kiskoa ja samalla vaurioittaen kiskon kiinnityksiä. Mikäli telikeskiön rasvaus on puutteellinen, telin kääntöjäykkyys kasvaa kääntymistä vastustavan kitkavoiman suurenemisen seurauksena. Tiukoissa käänöksissä ongelmia aiheutuu varsinkin pitkällä ja raskailla vaunuilla. Nykyaikaisessa telien suunnittelussa on otettu huomioon telien liian suurien kääntöjäykkyyksien eliminoiminen. Telikeskiön huonokuntoisuutta esittää kuva 13. /11/

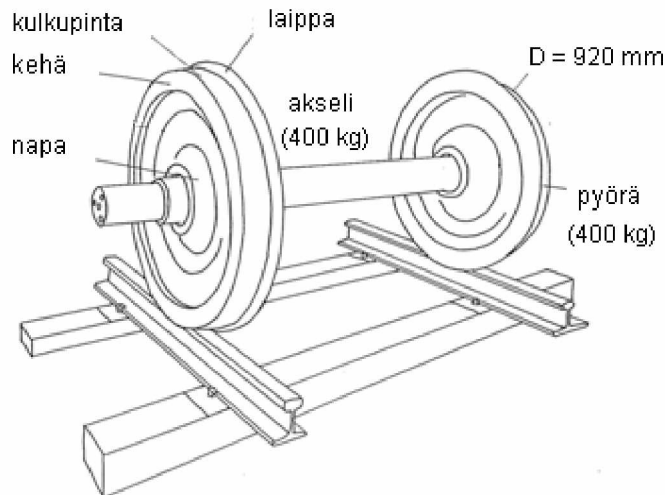


Kuva 13. Venäläisen vaunun puutteellisesti voideltu telikeskiö. /17/

Viimeisin merkittävä kehitysaskel telien suunnittelussa on passiivisen kääntymismekanismien korvaaminen aktiivisella kääntymismekanismeilla. Telin akselien kääntymisen säteensuuntaisesti toteutetaan sähkömoottorin avulla. Aktiivisesta teli-ohjauksesta on hyötyä etenkin suorilla rataosuuksilla, missä teli voidaan jäykistää, jolloin kulkuominaisuudet paranevat ja nopeuden lisääminen on näin ollen mahdollista. Aktiivista teliä on kehitetty muun muassa yhteistyössä Bombardierin ja Ruotsin kuninkaallisen teknisen korkeakoulun toimesta. /18/

4.2 Pyöräkerta

Pyöräkerta (kuva 14) koostuu umpinaisesta akselista, puristusliitoksella akselille sovitetuista kahdesta pyörästä sekä kahdesta akselin päissä olevista laakeripesistä. Pyöräkertaan asennettavista jarruista tönkkäjarrut on asennettu pyörän vierintäpinnalle ja levyjarrut kiinteästi akselille pyörien väliin. Keskimääräinen paino pyöräkerralla on laakerointi mukaan lukien 1500 kg. Pyörän halkaisija käyttörajalle kuluneena saa olla vähintään 790 mm ja leveys 135 mm ± 1,0 mm. Pyörien tulee olla yhtenäisiä teräspyöriä lukuun ottamatta vaihtovetureita, joissa sallitaan rengastetut pyörät. Pyörän profiilin tulee olla uutena UIC 510-2 määrälehdien mukainen (UIC/ORE S1002-profiili). /12/



Kuva 14. Junan vaunun pyöräkerta, jonka akselimassa 30 tonnia. /19/

Pyöräkerran aihio viimeistellään sorvaamalla ja hionnalla vaadittavan pinnan-
karheuden aikaansaamiseksi. Laakeroinnin vaikutuksesta pyöräkerran akselinavoille
syntyy suurin väsytkuormitus, jolloin väsymislujuutta ja momentinsiirtokykyä
parannetaan hiomalla pinnankarheus riittävän alhaiseksi yleensä alle 1,6 μm .
Pyöräkerran mitoituksessa, laakerin valinnassa sekä laakerivälyksissä on otettava
huomioon myös akselin taipuma. /15/

Pyöräkerroille on tapahtunut vuosiansaatossa myös teknistä kehitystä, jota parhaiten
kuvaava saksalainen pyöräkertavalmistaja RAFIL, joka valmistaa muun muassa kuvassa
15 olevaa muuttuvalla raidelevyydellä varustettuja pyöräkertoja.



Kuva 15. RAFIL:n valmistama pyöräkerta jonka raidelevyettä voidaan muuttaa. /18/

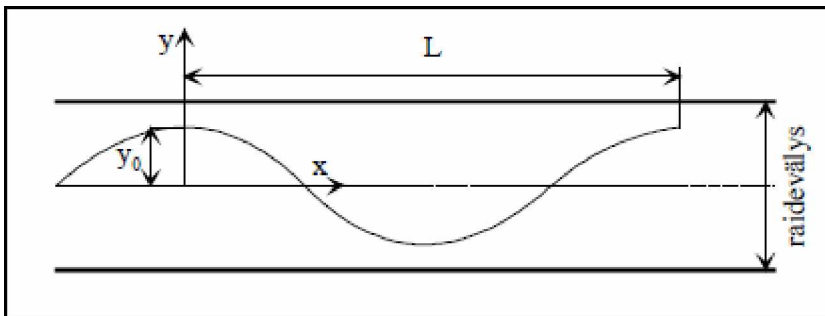
4.2.1 Pyörän ja raiteen välinen kontakti

Pyörän ja raiteen välisessä kontaktissa pyöräkerran painopiste pyrkii asettumaan
raiteen keskilinjalle kiskojen kallistuksen ja pyörien kartiomaisen muodon vaiku-
tuksesta. Koska raidetta ei voida saada täysin suoraksi ja virheettömäksi ja pyöriä
täysin identtisiksi ja symmetrisiksi, kulkee pyöräkerta raiteella painopisteen
siirtymän johdosta vaeltaen sivusuunnassa.

YTE:n säädöksen 2006/861/EY mukaan junan vaunun kulun vakautta dynaamisen käyttäytymisen osalta määräävät seuraavat seikat: /20/

- suurin nopeus
- radan staattiset ominaisuudet (suoruus, raideleveys, raiteen kallistus sekä erilliset ja jaksottaiset virheet)
- radan dynaamiset ominaisuudet (radan poikittais- ja pystysuuntainen jäykkyys ja vaimennus)
- pyörän ja kiskon kosketuksen parametrit (pyörän ja kiskon profiili, raideleveys)
- pyörien viat (lovet, epäpyöreys)
- vaunun rungon, telien ja pyöräkertojen massa ja hitausmomentti
- vaunujen jousituksen ominaisuudet
- hyötykuorman jakauma

Sivuttaistuulella on lisäksi oleellinen vaikutus sivuttaissiirtymän suuruuteen. Pyöräkerran vaeltelua kutsutaan aaltomaisen muodon vuoksi siniliikkeeksi, joka on havainnollistettu kuvassa 16. /21/



Kuva 16. Pyöräkerran muodostaman siniliikkeen kuvaus raiteella. /21/

Pyöräkerran tasaiseen kulkuun etenkin suurilla nopeuksilla vaikuttaa muun muassa pyörän ja kiskon kosketuskulman suuruus ja pyöräkerran ekvivalenttinen kartiokkuus. Ekvivalenttisella kartiokkuudella tarkoitetaan pyöräkerran ja raiteen todellisista mitoista ja keskinäisistä asennoista määriteltyä laskennallista kartiokkuutta, jolla päädytään samaan poikittaisliikkeen aallonpituuteen pyöräkerran todellisen poikittaisliikkeen aallonpituuden kanssa. Pyörän ja kiskon väliseen kosketuskohtaan ja kosketuskulman suuruuteen vaikuttavat pyörien kulkupintojen profiili, pyöräkerran raideleveys, raiteen raideleveys ja kiskon kallistus toleransseineen. Pyöräkerran ja raiteen mittoja on esitelty kuvassa 17. /21/

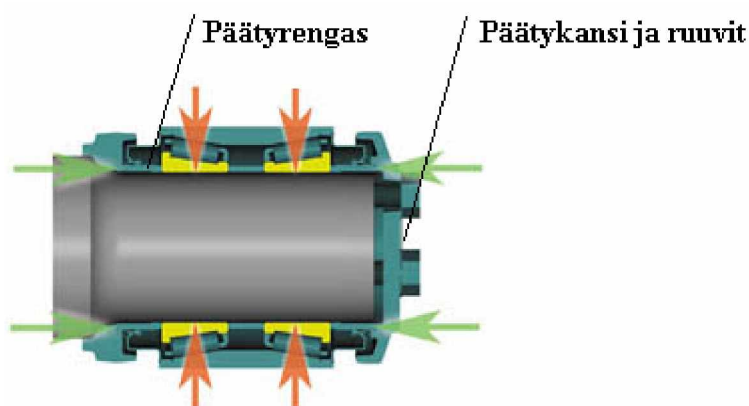
Kaarreaajossa junaan kohdistuu keskipakokiihtyvyys, jonka seurauksena junan nopeuden kaksinkertaistuessa, ulkokaarteeseen suuntaan vaikuttava sivuttaisvoima (poikittaiskiihtyvyys) nelinkertaistuu. Kaarreaajon kompensoinnilla tarkoitetaan kaarteessa junaan syntyvän poikittaiskiihtyvyyden pienentämistä. Kompensointi suoritetaan kallistamalla raidetta. Suomessa raiteen kallistuksen maksimiarvo sepeliraiteella on 150 mm ja soraraitteella 120 mm. Kallistuskulma ei saa olla liian suuri, koska hitailla junilla suuri kallistuskulma koetaan epämukavaksi. Mikäli juna joutuu pysähtymään kaarteeseen, pyörä saattaa jäädä lepäämään laippojen varaan kallistuskulman ja kitkan vaikutuksesta. Tällöin ongelmia muodostuu liikkeellelähden kanssa ja pahimmassa tapauksessa vaarana on myös vaunun putoaminen kiskoilta. Suomen rautateillä suurin sallittu poikittaiskiihtyvyyden arvo sepeliraiteilla on $0,65 \text{ m/s}^2$ ja soraraitteilla $0,45 \text{ m/s}^2$. 60E1 -tyypin päällysrakenteella poikittaiskiihtyvyyden maksimiarvona matkustajavaunuille voidaan käyttää kuitenkin arvoa $0,80 \text{ m/s}^2$. Poikittaiskiihtyvyyden raja-arvot johtuvat etenkin matkustusmukavuudesta kuin junan ja radan kestävydestä. UIC:n määritelmien mukaan $5,0 \text{ m/s}^2$ oleva poikittaiskiihtyvyyden arvo johtaa varmuudella junan radalta suistumiseen. Keskipakovoimaa voidaan kompensoida myös kallistamalla junan koria kuten Pendolino-junissa. /21/

4.3 Laakerointi

Rautateiden liikkuvan kaluston pyöräkertojen laakerointi voidaan toteuttaa joko vierintä- tai liukulaakeroinnilla. Nykyisin liukulaakeroinnin sijaan on alettu käyttää pääasiassa vierintälaakerointia. Liikkuvan kaluston tekniset määräykset ja ohjeet (LIMO) mukaan pyörän laakerointi on toteutettava vierintälaakereilla. Junakaluston vierintälaakerointi on toteutettu pääsääntöisesti kuvan 18 mukaisella laakeripesällä, jotka ovat sijoitettu yleensä pyörien ulkopuolelle akselin päihin. Laakeripesän tehtävänä on jakaa pitkittäis-, poikittais- ja pystysuuntaiset laakerikuormat tasaisesti laakerin kuormituskohdille. Laakerointi toteutetaan yleensä rullalaakereilla tai kuula- ja rullalaakereiden yhdistelmillä. /12/

Akselia molemmin puolin tulee olla aina kaksi laakeria, joista toinen laakeri käyttäytyy ohjaavana ja toinen vapaana laakerina. Ohjaavan laakerin tehtävänä on kantaa kuormaa säteis- ja aksiaalisuunnassa sekä ohjata kuormaa aksiaalisesti molemmissa suunnissa. Ohjaavina laakereina, jotka pystyvät kantamaan yhdistettyjä kuormia käytetään junan vaunujen laakeroinnissa eniten kartio-, pallomaista tai lieriörullalaakeria. Vapaan laakerin tehtävänä on ohjata vain säteittäisesti ja sen on pystyttävä liikkumaan akselin suuntaisesti. Aksiaalisiirtymä voidaan sallia joko laakerissa, tai yhden laakerirenkaan ja akselin tai pesän välillä. Laakerivalinnat perustuvat yleensä kuorman suuruuteen ja aikaisempiin käyttökokemuksiin. Vaunukaluston laakeripesissä käytetään käyttökokemusten perusteella yleensä sekä ohjaavana että vapaana laakerina samoja laakereita kahdessa rivissä. Joissakin harvinaisemmissa tapauksissa junan pyörän laakerointi on toteutettu myös pyöräkerran pyörien sisäpuolelle. /16/

Laakerin ulkokehän ja pesän välissä on liukusovite, jolloin aksiaalisten voimien välittyminen akselista laakeripesään tapahtuu laakeripesän päätykannen ja sisäpuolisen päätyrenkaan välityksellä. Päätykansi vastaanottaa ulospäin vaikuttavan aksiaalivoiman ja päätyrenkas vastaavasti ottaa vastaa sisäänpäin suuntautuvan aksiaalivoiman. Kuvassa 18 on esitetty yleisesti tyypillinen vaunun laakeripesän laakerointi sekä kuormitustilanteet, jossa vihreät nuolet kuvaavat aksiaali- ja punaiset nuolet radiaalivoimia. Keltaisella värillä on merkitty laakeripesässä aiheutuva suurin kuormitus laakerin sisärenkaille akselin ja vierintäelinten puristuksessa. /22/

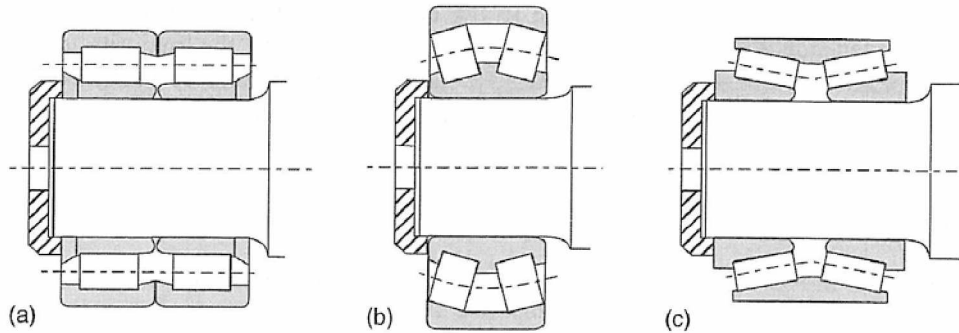


Kuva 18. Tyypillinen junan vaunun laakeripesän laakerointi ja kuormitustilanteet. /22/

Yleisimmät junan vaunujen vierintälaakerityypit ovat kuvan 19 mukaisesti kaksirivinen lieriömäinen rullalaakeri, kaksirivinen pallomainen rullalaakeri ja kaksirivinen kartiorullalaakeri. Lieriölaakerit kestävät hyvin säteisvoimia, mutta heikosti aksiaalisia voimia. Kartiomaisen vierintäpinnan omaavat laakerit kestävät lieriölaakereita paremmin aksiaalista kuormitusta. Aksiaalinen kuormitus kulkee vierintäelimen pinnalta akselille, jolloin laakerivältykset ja sovitukset tulee olla tiukemmat kuin lieriörullalaakereilla, koska lieriörullalaakerit kestävät heikosti aksiaalisia siirtymiä. Kartio- ja pallomaiset rullalaakerit kestävät lieriörullalaakereita paremmin myös yhdistettyä kuormitusta. /16/

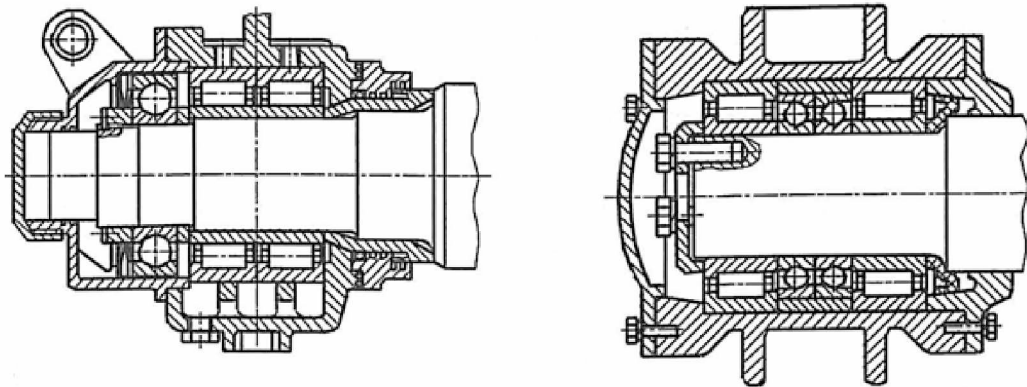
Pallomaiset rullalaakerit ovat aina kaksirivisiä ja niiden omat vierintäradat ovat viistossa akselin ja laakerin välillä. Laakerin itseohjautuvuuden ansiosta laakerin ja

akselipesän välillä sallitaan pieni yhdensuuntaisuusero, joka voi syntyä yleensä akselin taipuman tai asennusvaiheen yhteydessä. Näin ollen pallomaiset rullalaakerit sallivat parhaiten akselin taipumia verrattuna muihin junan pyöränlaakeroinnissa käytettäviin laakereihin ja ne pystyvät myös jakamaan parhaiten kuormituksia vierintäelintensä välillä. Pallomaisten rullalaakerien käyttöä saattaa rajoittaa jonkin verran niiden kalleus. /16/



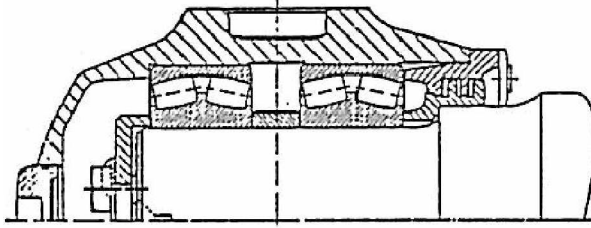
Kuva 19. Junan vaunujen pyöränlaakeroinnissa käytetyt yleisimmät laakerityypit: a) kaksirivinen lieriörullalaakeri, b) itseohjautuva kaksirivinen pallomainen rullalaakeri ja c) kaksirivinen kartiorullalaakeri. /16/

Erittäin nopeiden junanvaunujen pyöränlaakerointi voidaan toteuttaa myös kuvan 20 mukaisella tavalla, jossa radiaalivoimien kantamiseen käytetään kahta lieriörullalaakeria ja aksiaalivoimien kantamiseen yhtä kuulalaakeria. Kyseisiä laakerointiratkaisuja käytetään muun muassa Japanin ja Ranskan high-speed junissa. /16/

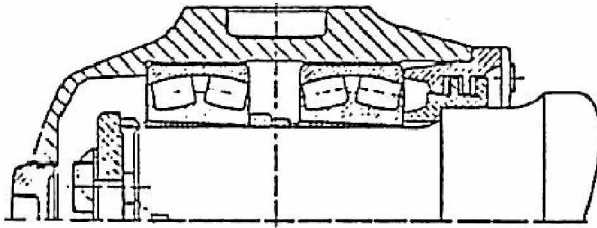


Kuva 20. High-speed junien pyöränlaakerointi. /16/

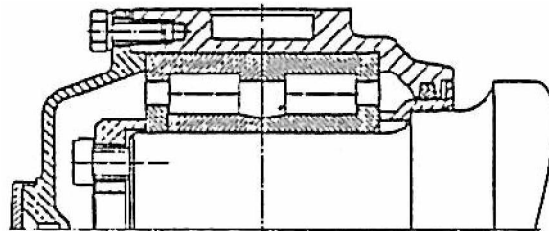
Seuraavissa kuvissa 21–25 on esitelty VR:n tavaravaunuissa käytettyjä SKF:n laakerityyppejä vuonna 1983. Kuva 26 esittää laakereiden kestoikää kestoikäkokeessa ja käytössä vaikuttavia tekijöitä.



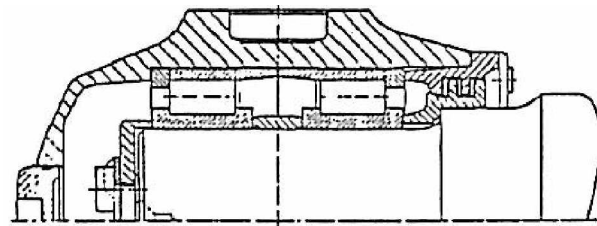
Kuva 21. UIC-telilaakeripesä, jossa kaksi lieriöreikäistä pallomaista rullalaakeria.
/23/



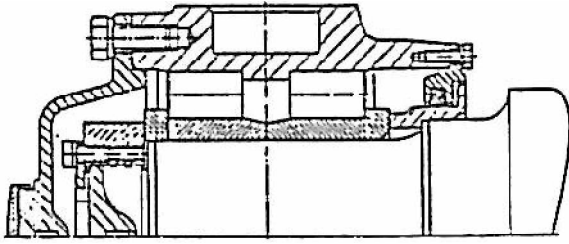
Kuva 22. UIC-telilaakeripesä, jossa kaksi kartioreikäistä pallomaista rullalaakeria.
/23/



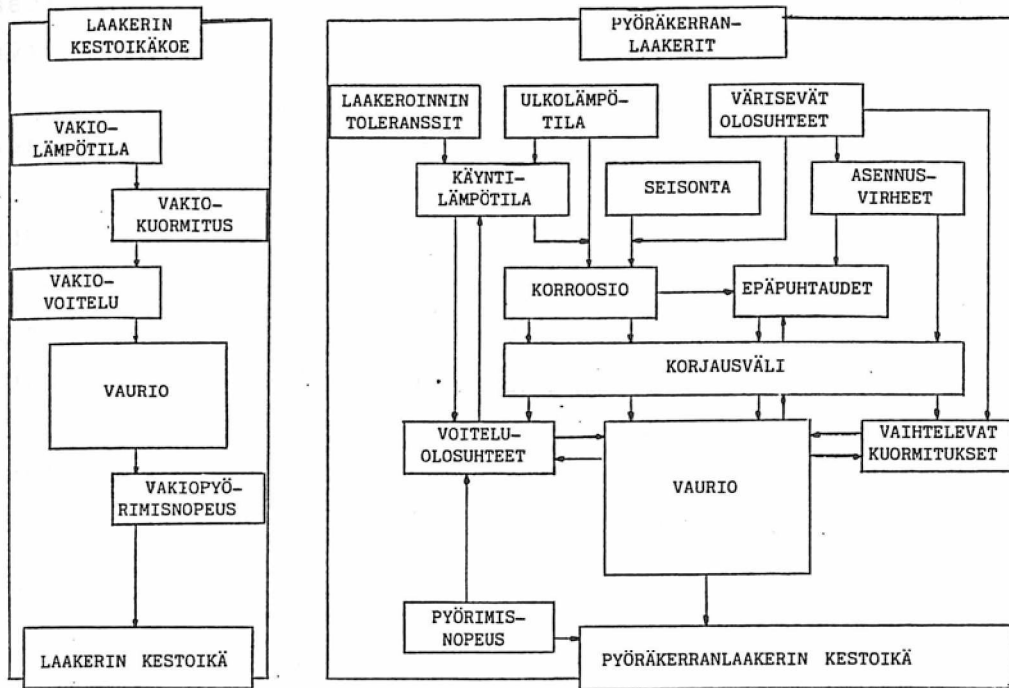
Kuva 23. UIC-telirullalaakerointi, jossa lieriörullalaakeria. /23/



Kuva 24. Telilaakeripesä, jossa kaksi lieriörullalaakeria. /23/



Kuva 25. Ulkorenkaaton telilaakerointi, jossa kaksi lieriörullalaakeria. /23/



Kuva 26. Laakereiden kestoikään kestoikäkokeessa ja käytössä vaikuttavat tekijät. /23/

4.4 Jarrujärjestelmät

Rautatievirasto on antanut jarruja koskevan määräyksen RVI/363/412/2008, joka käsittelee junan jarrutuskykyä sekä jarrujen tarkastusta ja koetteluja. Määräykset perustuvat jarrujärjestelmän asetuksia ja määräyksiä koskeviin UIC 540–547 -normeihin. Jokaiselle liikkuvan kaluston kulkuneuvolle tulee määrittää jarrupainoprosentti. Jarrupainoprosentti on suure, joka kertoo junan jarrupainon prosentuaalisen osuuden junan kokonaispainosta. Jarrupaino ilmaisee jarruvoimaa ja se määräytyy jarrulajiasettimen asennon mukaan. /24/

Tavarajunan jarrujen tarkastus ja koettelu on suoritettava lähtöpaikalla ja tarvittavin osin myös silloin kun junan kokoonpano muuttuu. Matkustajajunan jarrujen tarkastus sekä täydellinen koettelu tulee suorittaa junarungon muodostamisen jälkeen ja vähintään kerran vuorokaudessa. Jarrujen tarkastus ja koettelu on suoritettava kävellen, jossa koetus tehdään suorittamalla koejarrutus ja -irrotus edellä mainitun RVI:n määräyksen mukaisesti. /24/

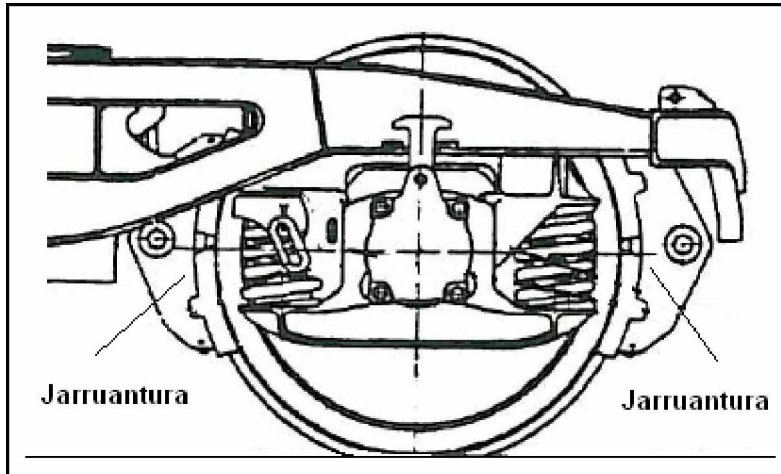
Vaunukalustossa käytetään nykyään yleisesti paineilmatomista jarrujärjestelmää. Jarrujärjestelmänä käytetään joko perinteistä tönkkäjarrumekanismia tai levyjarrumekanismia. Kaikissa Suomen raideliikenteen junissa käytetään nykyään itsetoimivia paineilmajarruja. Mikäli jarrupaine jarrujohdossa alenee joko jarrujohdon katkeamisesta, paine-ilmalaitteiden rikkoutumisesta tai muista jarrupaineen vuotoa aiheuttavista syistä, kytkeytyvät jarrut automaattisesti päälle. /25/

4.4.1 Tönkkäjarrut

Tönkkäjarrujen jarruanturat sijaitsevat pyörän vierintäpinnalla (kuva 27) ja niitä voi olla, joko yksi tai kaksi kappaletta pyörää kohden. Tönkkäjarruja käytetään pääasiassa hidaskulkuisissa vetureissa ja vaunuissa, koska suurilla nopeuksilla tönkkäjarruista aiheutuva lämpötila on suuri. Tönkkäjarrujen jarrutusmukavuus kärsii myös suurilla nopeuksilla. Tönkkäjarrujen käyttöä suositaan etenkin tavaravaunukalustossa.

Tönkkäjarrujen toimintamekanismi on toteutettu, joko vipukäyttöisesti tai jarruyksikkökäyttöiseksi. Jarruyksikkökäyttöisessä ratkaisussa jarrusyylinteri on asennettu jarrukengän yhteyteen, jolloin vipukäyttöiseen mekanismiin nähden säästetään enemmän tilaan, sekä vähennetään liikkuvien osien käyttöä. /25/

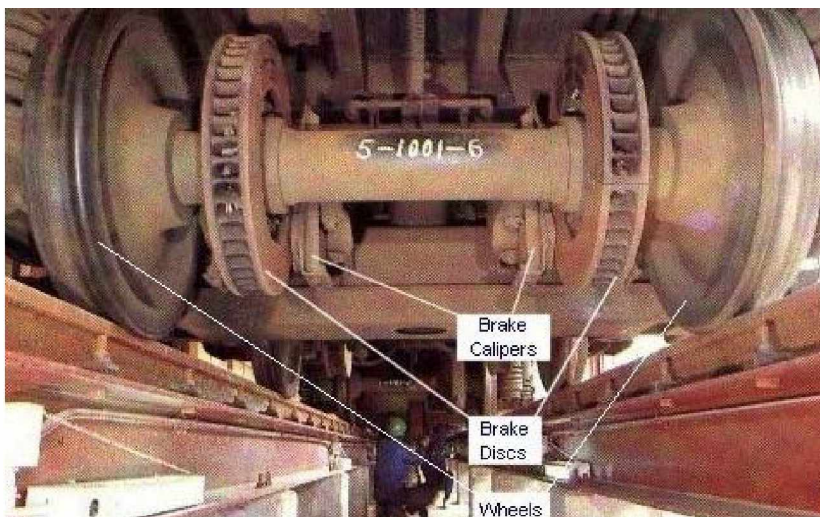
Kuormajarruilla varustetuissa vaunuissa kuten rekkavaunut, jarruvoimaa säädetään akselikohtaisen kuormituksen mukaan, jonka tarkoituksena on estää jarrujen lukkiutuminen eri kuormitustilanteissa.



Kuva 27. Pyörän vierintäpinnalle asennetut jarruanturat. /26/

4.4.2 Levyjarrut

Levyjarrujen suosio etenkin nopeakulkuisissa junissa perustuu jarrutusmukavuuteen, sekä jarrutuksessa syntyvän lämpökuormituksen vähäiseen siirtymiseen jarrulevystä muihin rakenteisiin. Jarrukiekkojen sijainti on kuvan 28 mukaisesti pyöräkerran akselissa pyörien välillä. Näin ollen jarrutustilanteessa sekä jarrujen laahatessa on levyjarruista siirtyvän lämpöenergian määrä esimerkiksi pyörän laakereille tönkkäjarruja vähäisempää. Erittäin nopeissa junan vaunuissa sekä vetureissa voidaan käyttää samalla akselilla useita jarrukiekoja.



Kuva 28. Pyöräkerran levyjarrut. /28/

5 LAAKERIVAURIOIDEN TYYPIT JA SYYT

Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden vaurioitumiseen liittyy monia erilaisia syitä ja tapauksia, joita tarkastellaan tässä kappaleessa. Junien suistumisen yksi mahdollinen aiheuttaja voi olla laakerivauriosta johtuva akselin katkeaminen, jolloin vaarana on aina henkilövahinkojen sattuminen sekä aineellisten vahinkojen tuottaminen.

5.1 Lovipyörä

Yksi merkittävimmistä tekijöistä pyöränlaakereiden rikkoutumiselle on lovipyörä, joka kuvaa pyörän kulkupinnalle syntyviä lovia, jolloin pyörä muuttuu epäpyöreäksi aiheuttaen kulumista ja vaurioita sekä liikkuvalla kalustolla että rautatielle. Yleisin syy lovipyörän syntymiselle on pyörän kulkeminen lukkiintuneena ajon aikana. Pyörän kulkupinnalle syntynyt lovi muuttuu ajan mittaan rosoiseksi, josta irtoaa myös murentumia. Loven reunat yleensä pyöristyvät matkan edetessä, mistä voidaan päätellä myös junan kulkemista matkoja lovien syntymisen jälkeen. /27/

Kuva 29 on Pieksämäen konepajalta, jossa on esitetty lovipyörästä aiheutunut laakerivaurio. Myös laakeripesä on haljennut lovesta aiheutuneen pystysuuntaisen iskumaisen kuormituksen vaikutuksesta. Pyörässä oleva lovi voidaan havaita pyörän vierintäpinnalla laakeripesän vasemmalla puolella.



Kuva 29. Laakerivaurio joka on aiheutunut pyörän vierintäpinnalla olevasta lovesta.

Lovipyörät ovat tunnistettavissa myös junan sisältä etenkin matkustajavaunuissa junan henkilökunnan välityksellä. Pyörän vierintäpinnalle syntyneestä lovesta alkaa kuulua kolketta junan sisällä. Mikäli kolke muuttuu jyrynän ja tärinän omaiseksi ääneksi on lovivaurio edennyt pinnaksi, jossa on havaittavissa myös rakkulamodostelmaksi kutsuttuja rosoja ja murentumia (kuva 30). Rakkulamodostelmien

kasvaessa tilanne johtaa suurella todennäköisyydellä aina laakerivaurioon. Junahenkilökunnan havaitessa junassa olevia epämääräisiä ääniä on erityisen tärkeää puuttua niihin välittömästi. Junan koriin kohdistuvia värinöitä aiheuttaa talvisin myös jousituksen jäätyminen, jolloin jousituksen komponentit jumiutuvat tai rikkoutuvat. Parhaiten tilanne pystytään selvittämään pysäyttämällä juna joko välittömästi radan varrelle tai ensimmäiselle mahdolliselle asemalle, jossa tarkastetaan tilanne. Onnettomuustutkintakeskuksen mukaan VR on valmistanut vuonna 2002 opetusvideon lovipyörien ja laakerivaurioiden havaitsemisen tehostamiseksi sekä alkanut kannustamaan henkilökuntaa tarkkaavaisuuteen ja valppauteen. /30/



Kuva 30. Pyörän kulkupinnalla olevat rosot eli rakkalamuodostelmat ovat aiheuttaneet laakerivaurion.

Suomen rautatieliikenteessä suoritetaan satunnaisesti myös kuuntelutarkastuksia junan saapuessa asemalle, missä tarkastaja kuuntelee junasta kuuluvia ääniä pyrkien tunnistamaan pyörissä olevia mahdollisia lovia, laakerivaurioita, jarrujen toimintakuntoa sekä muita poikkeavia ääniä aiheuttavia vikoja.

Kuvissa 31 ja 32 on havainnollistettu pyörän lovesta aiheutunut laakerivaurio säiliövaunulla. Lovesta aiheutunut voimakas pystysuuntainen väsytkuormitus on aiheuttanut sekä laakeripesän että vierintälaakereiden rikkoutumisen.



Kuva 31. Laakerivaurioon johtanut lovi pyörän vierintäpinnalla (loven pituus 310 mm). /31/



Kuva 32. Lovipyörästä aiheutunut laakerivaurio. /31/

5.2 Laakerivauriomekanismeja

Raideliikenteessä liikkuvan kaluston pyöränlaakereihin kohdistuu jatkuvasti pyörän ja kiskon kosketuspinnan välisiä suuria pystysuuntaisia voimia. Pyörävoimat voivat olla pahimmillaan jopa kolminkertaisia omaan akselipainoon nähden. Laakerit mitoitetaan yleensä staattisen ja dynaamisen kantokyvyn mukaan. Pystysuuntaisten voimien vuoksi on myös laakerin staattisella kantokyvyllä erittäin tärkeä merkitys laakerin kestävyteen. Laakerin laskennallinen kestoikä määritetään yleensä laakerille kohdistuvasta kuormituksesta ja pyörimisnopeudesta. Laakerin ennenaikaiseen vaurioitumiseen on useita syitä kuten laakerin epätasainen ja voimakas kuluminen vierintäpintojen eri kohdissa, josta aiheutuu voimakkaita jännityshuippuja.

Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakeroinnin vauriomekanismit voidaan jakaa tarkemmin seuraaviin vaurioilanteisiin: /23/

- akselinavan vauriot
- laakeripesän vauriot
- vierintälaakerivauriot

Akselin navalle voi syntyä mekaanisia vaurioita laakerin asennus ja irrotusvaiheissa, mikäli käytetään väärä työmenetelmiä. Seurauksena akselin pinnalle saattaa syntyä naarmuja, jotka vähentävät väsymislujuutta. Myös sovitekorroosiota saattaa ilmetä laakerin sisärenkaan ja akselinavan välissä, mikäli akselinavan muoto on virheellinen, voitelu puutteellinen tai sovitte liian löysä, joka aiheuttaa osien liikkumista toistensa suhteen kuormituksen alaisena. Sovitekorroosiossa syntyy musta tai punaruskea oksidikerros. Harvinaisimmissa tapauksissa laakerin sisärenkas saattaa irrota liian löysästä sovitteesta tai loppuun kulumisesta aiheuttaen akselin tuhoutumisen. /23/

Laakeripesän kulumista saattaa aiheuttaa laakerin ulkokehän liikkeet laakeripesän seinämällä, jolloin pesän muodon muuttuminen heikentää laakeripesän kykyä jakaa laakerikuorma tasaisesti. Vaarana on näin ollen laakeripesän aiheuttamien liian suurten jännityshuippujen (pintapaineiden) muodostuminen laakeripesän vierintäpintojen kohdalle. Myös laakerin ulkorengkaan ulkopinnalla ja pesän kontaktipinnalla saattaa esiintyä sovitekorroosiota, koska laakerin ulkokehän asettumislakeiksiin laakeripesässä vaikuttaa muun muassa lämpötilavaihtelut ja käytettävä vierintälaakerityyppi. /23/

Vierintälaakereiden yleisiä vaurioitumisen syitä ovat puutteellinen voitelu, vesi/kosteus/korroosio, muu epäpuhtaus, tiivisterikko, väärä voiteluaine, asennusvirhe, korkea lämpötila, saippuoitunut rasva, laakerin valmistus- tai suunnitteluvirhe, ylikuormitus tai akselin liiallinen taipuminen. /32/

Laakerivaurion lopullisena aiheuttajana on yleensä laakerin väsyminen, joka voidaan jakaa pinna alla syntyviin ja pinnasta alkaviin vaurioihin. Vaurioitumassa olevan laakerin normaali käyntilämpötila kohoaa ja saa aikaan lopulta laakerin tuhoutumisen. Laakerin normaali käyntilämpötila pysyy vakiona kun lämmön syntyminen ja poistuminen pysyvät tasapainossa, jolloin kyseessä on laakerin tasapainolämpötila. Vaurioitumassa olevan laakeri lämpötila kohoaa kitkan kasvamisesta, jolloin lämmön syntyminen ja poistumien ovat epätasapainossa. /32/

Vierintälaakerivaurioille ominaista on abrasiivinen kuluminen, jonka aiheuttajina voivat olla joko voiteluaineen omat hioutumista aiheuttavat partikkelit, adhesiivisen mekanismin välityksellä aiheutuneista muokkauslujittuneista hiukkasista sopimattoman voiteluaineen käytössä tai vieraiden aineiden tunkeutuminen laakeriin. Abrasiivisen kulumisen edetessä tarpeeksi pitkälle, aiheuttaa muodostunut laakerivälitys lopulta laakerin vaurioitumisen. Kuluminen on yleensä tasaista, ellei vierintäpinnoille joudu suhteessa muihin partikkeleihin kookkaampia tai kovempia partikkeleita. Paikallaan olevaan laakeriin saattaa abrasiivisen mekanismin vaikutuksesta kulua vierintäelinten kohdalle painaumat, mikäli laakeriin kohdistuu suuria staattisia tai iskumaisia kuormituksia tai ympäristön värähtelyä. Tällöin laakerivauriota nopeuttavat kasvaneet jännityshuiput, jotka saavat aikaan laakerin väsymislujuuden heikkenemisen. /23/

Toinen tyypillinen vierintälaakereiden kulumista aiheuttava ilmiö on korrosio. Laakerin seisoessa pitkään värähtelevässä ympäristössä, syntyy vierintäelimen ja -radan kosketuskohtiin tummia oksidikerroksen peittämiä kulumisjälkiä, jotka johtuvat voitelukalvon pettämisestä kyseisillä kohdilla aiheuttaen paikallisen hitsautumisen (tahmaantumisen). Paikallisen tahmaantumisen vaikutuksesta laakerille aiheutuu suuria kitkakertoimia ja siten voimakasta kulumista. Tahmaantumiskohtina ovat yleensä rullien ja rullanpitimien välit, sekä vierintäpinnalla olevat kuormitusalueen rajakohdat. Tahmaantumista ilmenee etenkin silloin kun vierintäpinnat pääsevät liukumaan toisiinsa nähden, joka johtuu yleensä liian suurista välyksistä tai ylimitoitetusta laakerista laakerille kohdistuvan kuormituksen suhteen tai liikkeelle lähdön yhteydessä erittäin kylmissä olosuhteissa. Lisäksi myös väärät laakerin asennusmenetelmät voivat johtaa laakerin tahmaantumiseen. /23/

Pinnan tummuminen johtuu voitelukalvon pettämisestä aiheutuvan paljaan metallipinnan oksidoitumisesta. Laakerin kulumista korroosiotilanteissa kiihdyttää voiteluaineen ominaisuuksien heikkeneminen johtuen syntyvistä edellä mainituista korrosioaineista. Korrosiovaurioita laakerissa aiheuttaa myös laakeriin päässyt vesi tai kosteus. Vedestä aiheutuvaan korrosioon sekä sen nopeuteen vaikuttaa paljon voitelurasvan laatu sekä kemialliset ominaisuudet. Laakeripesään muodostuneeseen veteen on monia syitä, kuten liian suureksi kuluneet laakerivälykset, tiivisteiden pettäminen sekä vähäisestä rasvamäärästä aiheutuva kondenssiveden muodostuminen laakeripesään. /23/

Rautateiden liikkuvan kaluston maadoitus on toteutettu laakeripesän kautta raiteeseen, jolloin edellä mainittujen laakerivauriomekanismien lisäksi laakerivaurioita aiheutuu myös sähkövirran vaikutuksesta, jossa laakerin ja akselin välille indusoituu jännite. Yleisin syy sähkövirran aiheuttamille laakerivaurioille on jokin oikosulku sähköistetyillä radoilla. Sähkövirran aiheuttama laakerivaurio on esitetty kuvassa 33, jossa havaitaan vierintäradalla olevia tumman harmaita hitsautumia sekä isompi pistesyöpymä. Mikroskoopilla voidaan havaita tarkemmin vierintäelimen ja -radan pinnalla lisäksi pienempiä pistesyöpymiä. /15/



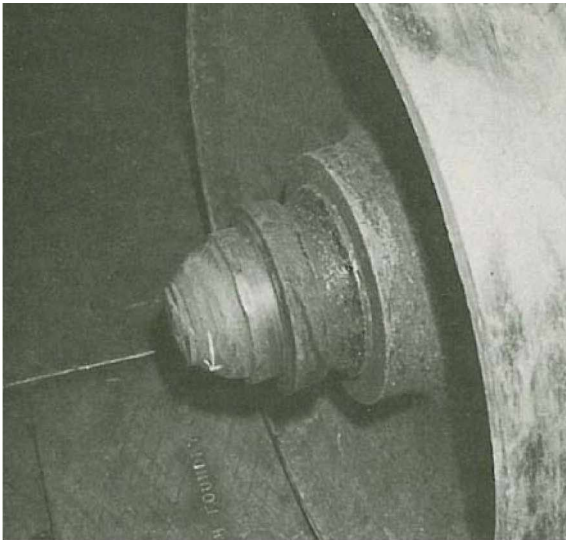
Kuva 33. Sähkövirran läpikulun aiheuttamat vauriot. /15/

5.3 Akselin katkeamiseen johtaneita laakerivaurioita

Laakerivaurioita ovat aiheuttaneet muun muassa laakeripesässä akseliin päässä olevien laakerin kiinnittävän päätylaipan ruuvien löystyminen ja lopulta irtoaminen, josta seuraa hankautumista laakeripesän päätykannen ja ruuvien välillä. Lopulta myös muut kiinnityslaipan ruuvit katkeavat tuhoten laakerin lopullisesti. Ruuvien hankautumisen seurauksena irtoavat metallinkappaleet joutuvat laakerin voiteluun, mikä myös nopeuttaa laakerivaurion syntymistä. Lopulta ylikuumentunut laakeripesä syttyy palamaan, mitä edesauttaa myös laakerin voitelurasva. Ruuvien löystymisen aiheuttajina ovat yleensä huolimaton laakerin kasaus tai pyörän ja raiteen välille syntyvät normaalia suuremmat värähtelyt esimerkiksi lovipyörän vaikutuksesta. Kiinnitysruuvien auki kiertymisen ehkäisemistä on kehitetty muun muassa VR:llä, jossa käytetään laakerinkiinnityspulttien kaksoisvarmistusmenetelmää. /33/

Vaunun akselilaakeroinnin pettämiseen sekä akselin katkeamiseen johtanutta tilannetta on testattu ja tutkittu muun muassa Yhdysvalloissa. Testeissä vaunun pyöränlaakereita on kuormitettu siihen asti, kunnes voitelun pettäessä rikkoutuneet laakerit palavat kiinni akselille aiheuttaen akselin jumittumisen sekä lopulta katkeamisen. Yhdysvalloissa suoritettujen testien mukaan mittauksissa voitelemattoman laakerin jumittuminen vaati ajoajaksi vain 18 minuuttia ja lämpötilaksi noin 300 °C, jonka jälkeen laakeri vaurioitui lopullisesti jumittaen akselin. Lämpötilamittaus suoritettiin laakeripesän ja laakerin ulkokehän väliltä. Vaunun akselikohtaisena massana kyseisillä mittauksilla on käytetty 59 tonnia. /34/

Erään toisen Yhdysvalloissa suoritettujen testien mukaan suoritettiin laakerivauriosta aiheutuva akselin katkeamistilanne. Laakeroinnin vaurioituessa laakerin sisärengas irtoaa akselilta, jolloin akseli hioutuu laakerin vierintäpinnan rikkoutumisen vaikutuksesta. Lopulta vaurioitunut laakeri ja vierintäpinnoista epätasaisesti kulunut akseli leikkautuvat yhteen jumittaen akselin sekä samalla myös molemmat pyörät. Seurauksena on lopulta akselin kuroutuminen ja katkeaminen. Akselille kohdistuva suurin kuormitus, josta akseli yleensä katkeaa, on pyörän ulkosyrjän ja akselin laakeripesän sisemmän laakerin sisäreunan vierintäpinnan välinen matka akselilla (kuva 34). /34/



Kuva 34. Pyöräkerran katkennut akselinpää. /34/

Erityyppisillä rullapitimillä varustetut laakerit poikkeavat kestävyydeltään suuresti toisistaan. Messinkiset kampamallin rullapitimet ovat osoittautuneet heikoiksi rautatiekaluston pyöränlaakeroinneissa. Nykyään muun muassa VR:llä käytetään kuvan 35 mukaisia ikkunamallin rullapitimillä varustettuja laakereita. Rullapitimen materiaalina käytetään paljon myös muovia. Erittäin korkeissa lämpötiloissa rullapitimet ovat monissa tapauksessa sulaneet yhteen vaurioituneen laakerin akselille. Rullapitimet ovat erityisen alttiita vaurioille myös huolimattomien asennusten, ylisuurten värähtelyiden, puutteellisen voitelun ja voiteluaineen epäpuhtauden yhteydessä. /35/



Kuva 35. Kaksi kaksirivistä pallomaista lieriörullalaakerit kampa- sekä ikkuna-
pitimillä. /36/

6 KUUMAKÄYNTIVALVONTA

Rautateiden liikkuvan kaluston kunnonvalvontaan kuuluu olennaisena osana kuumakäynti-ilmaisverkosto, jonka tarkoituksena on mitata pyöränlaakereille syntyviä lämpötiloja. Ilmaisimien sijoituspaikkoina ovat radanvarsille asennetut kuumakäyntiasemat. Junan ohittaessa mittausaseman, kuumakäynti-ilmaisin mittaa junan pyöränlaakereiden lämpötilat ja tallentaa tiedot kuumakäyntiasemalle, josta valmis mittausinformaatio lähetetään radankäyttäjän käytettäväksi. Kuvassa 36 on Kuljun kuumakäyntiaseman kaksi VAE:n valmistamaa kuumakäynti-ilmaisinta rinnakkain.



Kuva 36. Kuljun kuumakäyntimittausasema, jossa rinnakkain kaksi VAE-merkkistä kuumakäynti-ilmaisinta.

6.1 Kuumakäyntivalvonnan kehittyminen Suomessa

Kuumakäyntivalvonta aloitettiin Suomen rautatieverkolla 1990-luvun alussa. Ensimmäisenä hankitut kuumakäynti-ilmaisimet olivat Ruotsalaisvalmisteisia Frontec-kuumakäynti-ilmaisimia. Tämän jälkeen kuumakäynti-ilmaisimien määrä on kasvanut tasaisesti sekä niiden tekniikka kehittynyt tarpeiden vaatimusten mukaisesti. Vuoden 2002 alusta kuumakäynti-ilmaisin verkostoa on täydennetty tähän päivään asti Itävaltalaisilla VAE GmbH:n valmistamilla kuumakäynti-ilmaisimilla. Suomen rautatieverkosto kattaa tällä hetkellä yhteensä 71 kuumakäyntimittausasemaa, joissa on asennettuna 87 kuumakäynti-ilmaisinta. Ruotsalaisvalmisteisia Frontec-kuumakäynti-ilmaisimia on käytössä vielä muutamia ja ne

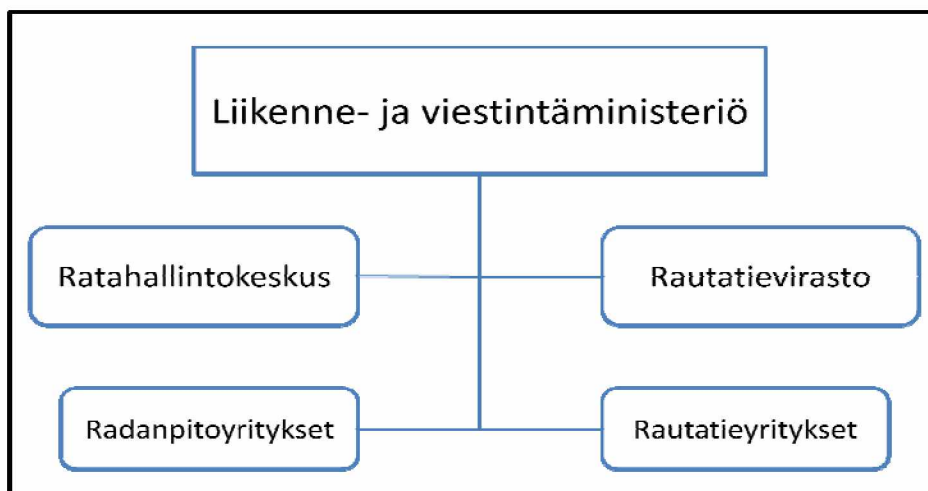
sijaitsevat Pohjois- ja Itä-Suomen rataverkolla. Liitteessä 1 on kuumakäynti-ilmaisimien ja keskusyksiköiden sijainnit rataverkolla. /37/

Onnettomuustutkintakeskus on suosittanut vuonna 2002 vuosina 1997, 1999 ja 2002 tapahtuneiden laakerivauriosta johtuneiden junien suistumisien jälkeen, että laakerin kuumakäyntivalvontaa tulisi kehittää nykyistä paremmaksi. /31/

Kuumakäynti-ilmaisinverkoston laajentuessa viime vuosina lähes koko Suomen rata-verkon kattavaksi, on laakerivauriosta johtuneilta junan suistumisilta vältytty vuoden 2003 jälkeen. Onnettomuustutkintakeskuksen mukaan viimeisin laakerin kuumakäynnistä johtunut radalta suistuminen tapahtui toukokuussa vuonna 2003, jossa tavarajunan viimeinen vaunu suistui kiskoilta aiheuttaen yhteensä noin 220 000 euron aineelliset vahingot. Kyseisen onnettomuuden tutkinnassa OTK totesi muun muassa, että kuumakäyntivalvonnassa on tapahtunut positiivista kehitystä ja kehotti kuumakäyntilaitteiden lisäämistä sen hetkistä nopeutetummalla aikataululla. Tämän jälkeen laakerivaurioista johtuvia junan suistumisia ei ole tapahtunut. /36/

Kuumakäyntiasemat kuuluivat vielä ennen vuotta 2000 VR-Yhtymä Oy:lle, mutta vuonna 2000 tehtiin päätös, jolloin kaikki kuumakäyntiasemat siirtyivät Ratahallintokeskuksen alaisuuteen. Kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietojen jälkikäsitteystä huolehtii vielä kuitenkin VR Engineering.

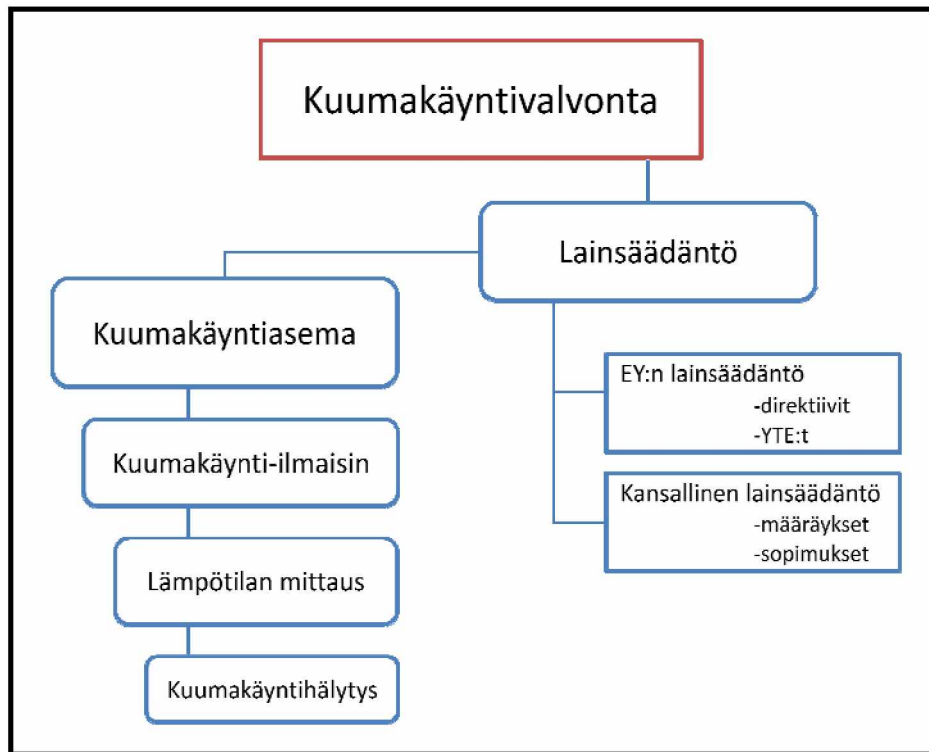
Kuvassa 37 on esitelty Suomen rautatie-sektoreiden toimijat. Kuvasta nähdään myös Ratahallintokeskuksen rooli radanpitäjänä.



Kuva 37. Rautatiealan toimijat Suomessa vuoden 2009 loppuun.

Vuonna 1995 perustetun Ratahallintokeskuksen (RHK) ja Rautatieviraston (RVI) erona on se, että RHK vastaa Suomen rataverkosta suunnittelun, rakentamisen, kunnossapidon ja radan liikenteenohjauksella osalta. Vuonna 2006 perustetun RVI:n vastuuna on puolestaan yleinen rautatieliikenteen turvallisuus, virastolle säädetyt tai osoitetut viranomaistehtävät, alan kansainvälinen yhteistyö sekä turvallisuuden noudattaminen rautatiejärjestelmässä. Vuoden 2010 alussa aloittaa uusi Liikennevirasto, johon yhdistetään kaikki kuljetusmuodot. Ratahallintokeskuksen toiminnot tulevat olemaan osa Liikennevirastoa, johon tulevat kuulumaan myös Tiehallinnon ja Merenkulkulaitoksen väylätoiminnot. Lisäksi perustetaan erillinen turvallisuutta valvova viranomainen, johon siirtyvät Rautatieviraston tehtävät. /38, 39/

Kuvassa 38 on esitetty kuumakäyntivalvonnan toimintakaavio, josta nähdään kuumakäyntivalvonnan jakautuminen eri osa-alueisiin.



Kuva 38. Kuumakäyntivalvontaa esittävä kaavio.

6.2 Kuumakäyntivalvonnan kansainväliset määräykset

Rautateiden turvallisuuden ja yhteentoimivuuden vahvistamista kaikissa Euroopan maissa hallinnoi Euroopan rautatievirasto (ERA), joka on perustettu Euroopan Unionin alaisuuteen vuonna 2004 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella (EY) N:o 881/2004. Euroopan yhteisöön kuuluvien Euroopan komission, Euroopan parlamentin ja Euroopan rautatieviraston tavoitteena on antaa säädöksiä, jotka koskevat muun muassa rautatiekaluston yhdenmukaistamista Euroopassa eri maiden välillä. Säädökset on nimetty yhteentoimivuuden teknisiksi eritelmiksi (YTE). ERA:n pääasiallisena tehtävänä on hallinnoida YTE:n säädösten valmistelua. /40/

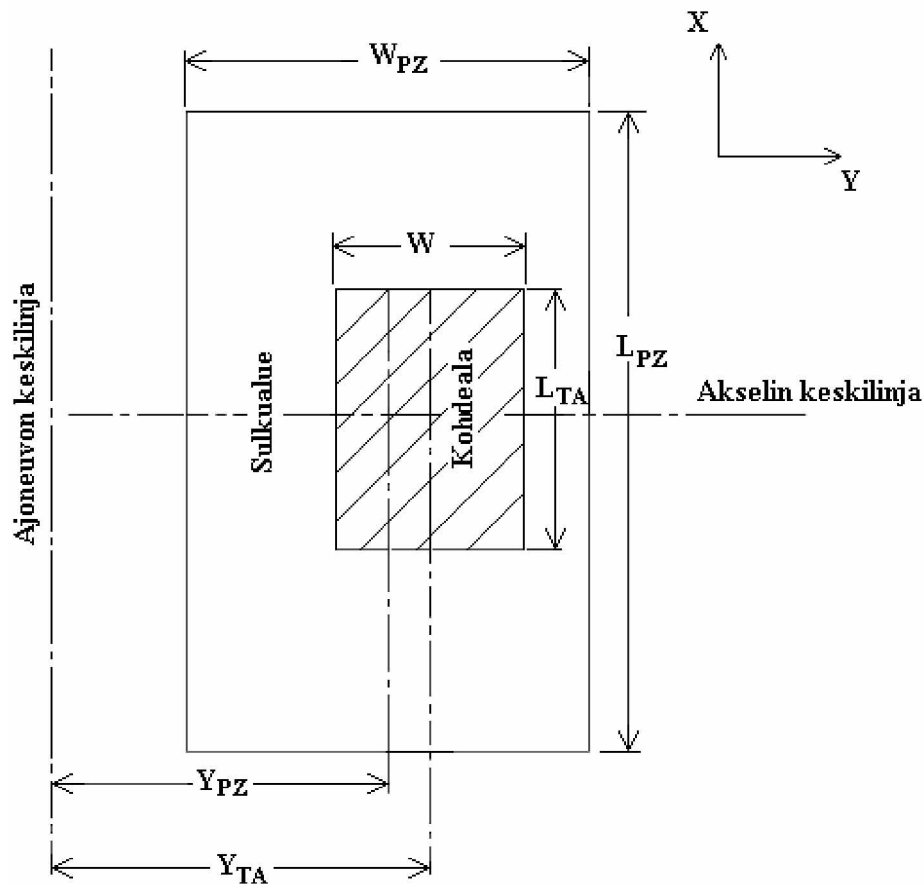
Euroopan komissio on antanut YTE:n säädöksen 2006/861/EY, jonka liitteessä LL käsitellään kuumakäynti-ilmaisimien käyttöön liittyviä vaatimuksia. Kuumakäynti-ilmaisimen käyttöön liittyen on liikkuvalla kalustolla määritetty kolme eri toiminta-aluevaatimusta, joita ovat kohdealue, kohdeala ja sulkualaue. /41/

Kohdealue on akselin laakeripesän alaosan pinta, jonka lämpötilaa valvotaan kuumakäynti-ilmaisimella. Kohdealue muodostaa suorakulmaisen alueen ja pystysuuntaisella ulottuvuudeltaan myös kuutiomaisen tilan. Kohdealueen ja kuumakäynti-ilmaisimen välillä ei saa olla esteitä, jotka haittaavat lämpötilamittauksen tuotta-

mista. Laakeripesän suunnittelussa on pyrittävä lämpötilan tasaiseen jakautumiseen kohdealueella. /41/

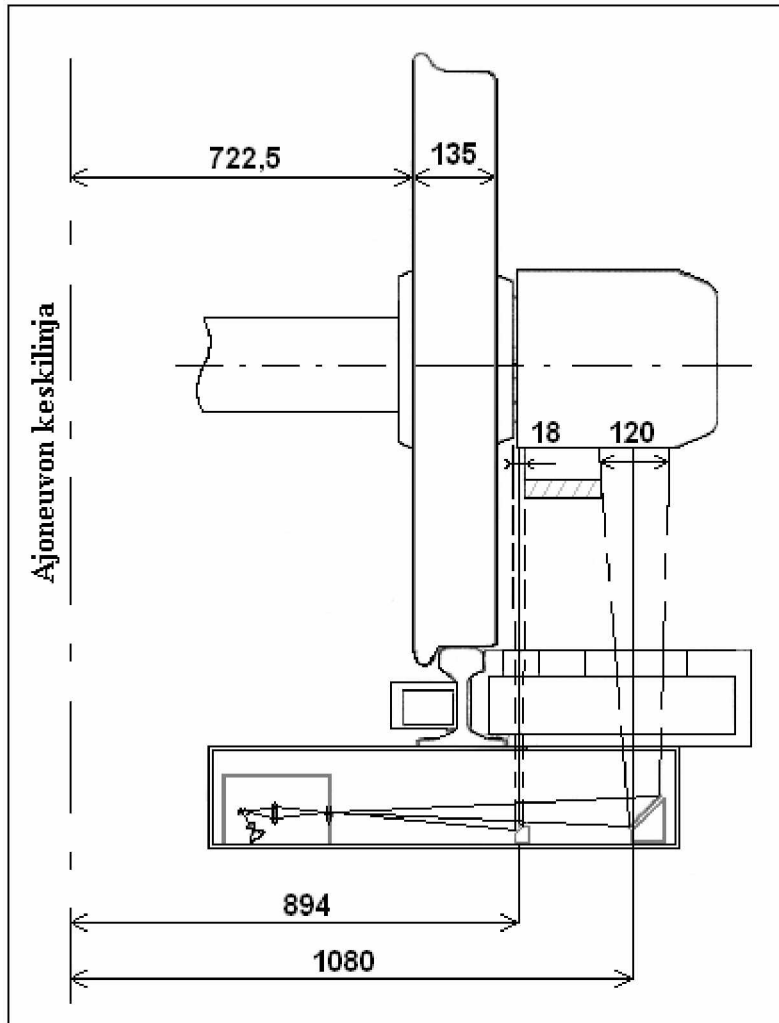
Kuvassa 39 havainnollistetussa kohdealassa kohdealueen mitat projisoidaan XY-tasossa suhteessa pyöräkerran akselin mittoihin, jonka mukaisilla raja-alueilla laakeripesän lämpötiloja valvotaan. Kohdealan sivusuuntainen leveys (WTA) pitää olla vähintään 50 mm ja pituussuuntainen pituus (LTA) vähintään 100 mm. Kohdealan sivusuuntainen keskipisteen etäisyys (YTA) ottaen huomioon mekaaniset toleranssit saa olla ajoneuvon keskilinjasta vähintään 1065 mm ja enintään 1095 mm. Kohdealan pituussuuntainen keskipisteen paikka määräytyy akselin keskilinjan mukaan. /41/

Sulkualue muodostaa kuvassa 39. kohdealueen tavoin suorakulmaisen alueen sekä pystysuuntaisella ulottuvuudella myös kuutiomaisen tilan. Sulkualueen sivusuuntainen leveys (WPZ) saa olla vähintään 100 mm ja pituussuuntainen pituus (LPZ) vähintään 500 mm, kun otetaan huomioon mekaaniset toleranssit. Pystysuuntainen korkeus (HPZ) alkaa heti kuumakäynti-ilmaisimen yläpuolelta XY-tasosta ja päättyy joko ajoneuvon ylimmässä kohdassa tai kohdealan tai lämpökilven yläreunassa. Sulkualueen keskipisteen paikka sivusuunnassa on $1080 \pm 5,0$ mm, joka mitataan suhteessa akselin keskipisteeseen tai pyöräparin keskipisteen suhteen sijaitsevassa samassa pituussuuntaisessa asemassa. Sulkualueen pituussuuntainen keskipisteen etäisyys määräytyy akselin keskilinjan mukaan toleranssilla $\pm 5,0$ mm. Sulkualueen sisällä ei saa olla kuumakäynti-ilmaisimen toimintaan haittaavasti vaikuttavia lämmönlähteitä, kuten pakoputkia tai lämmintä lastia. Ylimääräistä lämpösäteilyä aiheuttavat komponentit tulisi lämpöeristää, ellei niitä voida kokonaan poistaa sulkualueelta. Sulkualue on voitava toteuttaa kaikentyyppisillä laakerikonstruktiolla. /41/



Kuva 39. Sulkualueen ja kohdealan mahdollinen sijainti mitoituksineen, laakeripesän alapäin katsottuna. /41/

Kuvassa 40 on havainnollistettu Suomen rataverkolla käytössä olevan VAE-merkkisen kuumakäynti-ilmaisimen toimintaperiaate. Kuvasta havaitaan että ilmaisimen mittausalueen kohdealan keskipiste on 1080 mm, mikä täyttää YTE:ssä määritetyn kohdealan sivusuuntaisen keskipisteen sallitut rajat (1065 mm – 1095 mm). Ilmaisimen leveämmän kohdealan mitat ovat 120 mm × 120 mm, jolloin myös kohdealan mitat täyttävät YTE:n vaatimat minimimitat ($W_{TA} = 50$ mm, $L_{TA} = 100$ mm). Toinen kapeampi mittausala (18 mm × 18 mm) on tarkoitettu tunnistamaan pääasiassa jarrujen laahauksesta aiheutuvia lämpötiloja. /42/



Kuva 40. VAE GmbH:n valmistaman ilmaisimen tuottaman kahden infrapunasäteen optiikat. /42/

Yhtäaikainen kahden eri pinnan mittaus suoritetaan poikkeuttamalla ilmaisinta mekaanisesti siten, että poikkeutussäde pyyhkäisee molempien mittausalueen peilien yli, jotka ovat sijoitettu 45° kulmaan. Poikkeutustaajuutena käytetään 2,4 kHz, jolloin saadaan useita pyyhkäisyjä jokaista akselin ohitusta kohden. Lämpötilanäytteitä suodatetaan digitaalisesti 100 kappaletta, joista 80 näytettä kohdistuu leveämmälle ja 20 näytettä kapeammalle lämpötilamittausalueelle. /42/

YTE:n 2009/163/EY luvussa 4.2.4.1 on annettu rautatietunneleiden turvallisuutta koskeva määräys jonka mukaan radalla, jossa on rautatietunneli, on kuumakäynti pystyttävä havaitsemaan ja yksikkö pysäyttämään ennen tunneliin menoa. Lisäksi määräyksessä mainitaan, että radanpitäjän on merkittävä infrastruktuurirekisteriin kuumakäynti-ilmaisimet ja niiden sijainnit. Rautatieyrityksen on sisällytettävä kuumakäynti-ilmaisimien sijainnit omaan reittikirjaan. /43/

6.3 Kansalliset viranomaismääräykset ja -ohjeistukset kuumakäyntivalvonnalle

Ratahallintokeskus on antanut kuumakäynti-ilmaisimia koskevat ohjeistukset ohjekokoelmassa: Ratatekniset ohjeet osa 6 Turvalaitteet (RATO) ja Liikkuvan kaluston tekniset määräykset ja ohjeet (LIMO). Seuraavassa tarkastellaan Suomessa käytettävän kuumakäynti-ilmaisimen määräyksiä ja ohjeistuksia perustuen edellä mainittuun LIMOn ja RATO:n ohjeisiin

Laakeripesien kuumakäyntivalvonta tulee olla radoilla joiden suurin ajonopeus ylittää 160 km/h, jolloin valvonta tulee suorittaa 50 km:n välein. Kuumakäyntivalvonta on järjestettävä joko radassa olevilla kiinteillä ilmaisimilla tai laakeripesiin asennetuilla ilmaisimilla. Kiinteiden kuumakäyntiasemien on pystyttävä mittaamaan kaikki radalla kulkeva kalusto, joten laakeripesän mittauskohdasta tulee olla vapaa näkyvyys ilmaisimeen. Pyörien sisäpuolella olevan laakeroinnin kuumakäynnin valvonta on hyväksyttävä Liikennevirastolla. Mittaussuunta on antureiden lukumäärästä riippuen joko yhteen tai kahteen suuntaan. Nykyään kaikki Suomen rautateillä olevat kuumakäyntiasemat ovat molempiin suuntiin mittaavia. /44/

Uusille järjestelmille on suoritettava aina Liikenneviraston käyttöönottolupa, jonka vaatimuksena on noin yhden vuoden mittainen koekäyttö normaaleissa käyttöolosuhteissa. Koekäytön aikana mittausaseman tuottamia laakerilämpötiloja verrataan muun muassa manuaalisesti mitattuihin arvoihin, mittaamalla laakerilämpötilat käsimittalaitteella pysäytetystä junasta tai käyttämällä liikkeessä olevassa junassa säteileviä lämpölevyjä laakeripesän alapuolella. /42/

6.4 Kuumakäynti-ilmaisimen anturitekniikka

Mittausanturointina käytetään infrapunatekniikkaa, jota käytetään tunnetusti myös lämpökameroissa. Infrapunamittari mittaa mitattavan kohteen lähettämää lämpösäteilyä (sähkömagneettinen säteily) infrapunasäteilylle herkän anturin avulla. Infrapunamittarilla pystytään mittaamaan ainoastaan kiinteän aineen lähettämää lämpösäteilyä. Infrapunamenetelmällä lämpötilamittauksesta voidaan muodostaa kuva mitattavan kohteen pinnasta, josta näkee lämpötilan jakautumisen samoin kuin valokuvauskamera muodostaa kuvan näkyvän valon perusteella.

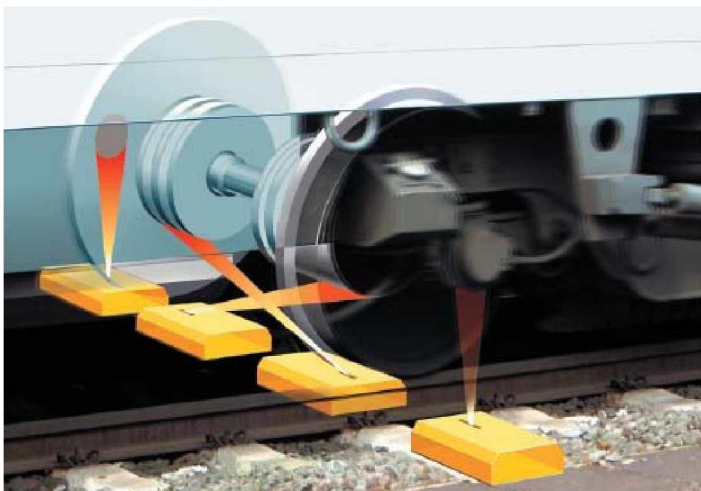
Lämpötilan mittaukseen infrapunatekniikalla vaikuttaa myös mitattavan kohteen pinta, koska lämmönsiirto eri materiaaleilla ympäristöön vaihtelee. Mittauspinta tulee olla himmeä ja mitattavan kohteen pintamaalina liikkuvan kaluston pyöränlaakeripesillä tulee käyttää tummaa mattakiiltoista maalia, jonka suora heijastuvuus saa olla enintään 5 %. Tällä maksimoidaan mitattavan alueen säteilykyky ja vähennetään hajasäteilyä. /59/

Junan pyöränlaakereiden lämpötilojen mittauksessa infrapunatekniikalla on mahdollista mitata ainoastaan laakeripesän ulkopinnan lämpötilaa. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttaa paljon myös mittauksen kohdistamien juuri oikealle kohtaa laakeripesää. Raiteessa olevan infrapunamittarin kiinteän asennuksen vaikutuksesta mittauksen kohdistaminen millimetrien tarkkuudella halutulle pinnalle voi olla

vaikeaa, koska kyseessä on liikkuvan kohteen mittaaminen, jolloin junan sivuttaisliike aiheuttaa aina jonkin verran sivuttaisheittoa mittaukseen. Sivuttaisheiton suuruuteen vaikuttaa pyörän kuluneisuus ja pyöränlaippojen liikevara eli raidevälitys (13 mm). Pyörän laippojen käyttörajamitta tulee olla välillä 1487–1514. Raiteen raidelevyden nimellismitta on 1524 mm. Uusille ja uudistetuille raiteille kunnossapitotasolla 1AA sallitaan raidelevyden maksimi kapenemaksi 1521 mm ja maksimi levenemäksi 1527 mm, jolloin pyöräkerran minimisivuttaisliikevaraksi tulee $\pm 3,5$ mm ja maksimisivuttaisliikevaraksi ± 20 mm. /12,45/

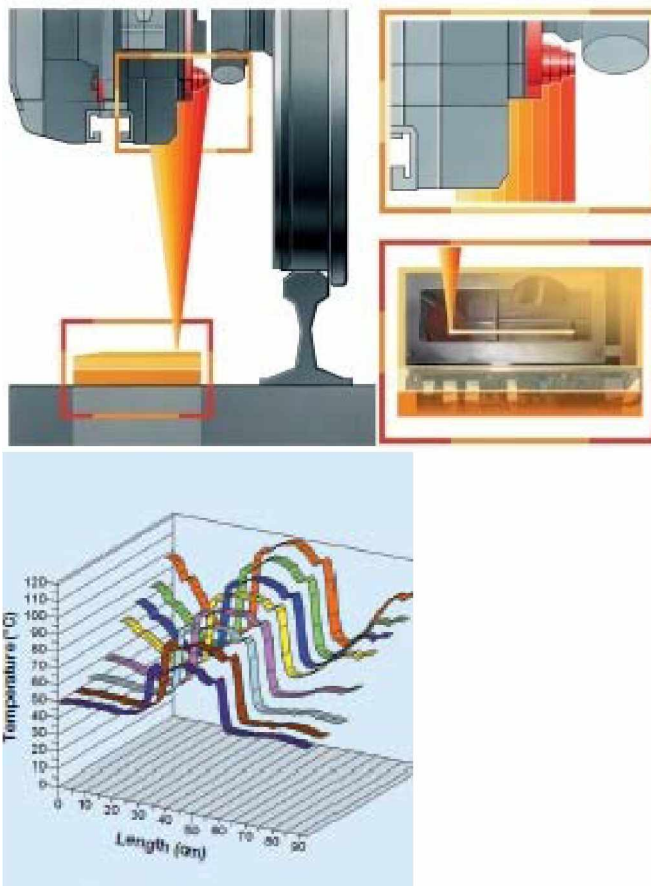
Mittauksen luotettavuuteen kyseisellä liikevaralla on merkitystä VAE:n ilmaisimen kapeammalla 18 mm:n mittausalueella (kuva 40). Jarrujen laahaamisesta aiheutunut lämpötilan kasvu ei välttämättä käy ilmi mikäli mittaus osuu liian etäälle pyörästä laakeripesän suuntaan. /12/

Mittauslaitteilla voidaan hyödyntää myös jarrujen lämpötilamittausta. Mikäli kyseessä on levyjarrurakenne, jolloin jarrut ovat yleensä pyörän sisäpuolella, voidaan infrapuna-anturit asentaa kuvan 41 mukaan kiskojen sisäpuolelle. Mikäli kyseessä on tönkkäjarrut, jolloin jarruanturat sijaitsevat pyörän vierintäpinnalla, voidaan infrapunasäde kohdistaa edellä kuvatulla tavalla kahdessa osassa, jossa toinen osa osuu laakeripesään ja toinen osa pyörän vierintäkehälle tai sen läheisyyteen.



Kuva 41. Infrapunasäteen jakautuminen levyjarrujen ja laakeripesien pintaan. /46/

Mitä leveämpi infrapunamittarin lähettämä säde on, sitä tarkemmin ja luotettavammin voidaan mitata junan pyöränlaakereiden lämpötiloja. Kuvassa 42 on VAE:n kehittämä infrapunamittari, joka pystyy tuottamaan kahdeksan eri mittauspisteen arvoa 120 mm leveydeltä. Infrapunasäteen leveyteen vaikuttaa juovataajuuden (poikkeutustaajuus) suuruus, josta suodatetaan digitaalisesti juovataajuuden suuruuden mukainen määrä lämpötilanäytteitä, joista voidaan määrittää mittauskohdan lämpötilajakauma. Lämpötilajakaumat voidaan tulostaa diagrammiksi, jonka perusteella voidaan arvioida muun muassa lämpötilan jakautumista itse laakerissa laakeripesän sisällä, kun tiedetään tarkka mitta esimerkiksi infrapunasäteen ja rataiskon välillä. /46/



Kuva 42. Infrapunasäteen jakautumien laakeripesän pintaan, infrapunamittarin optiikka ja mittaustuloksien diagrammiesitys. /46/

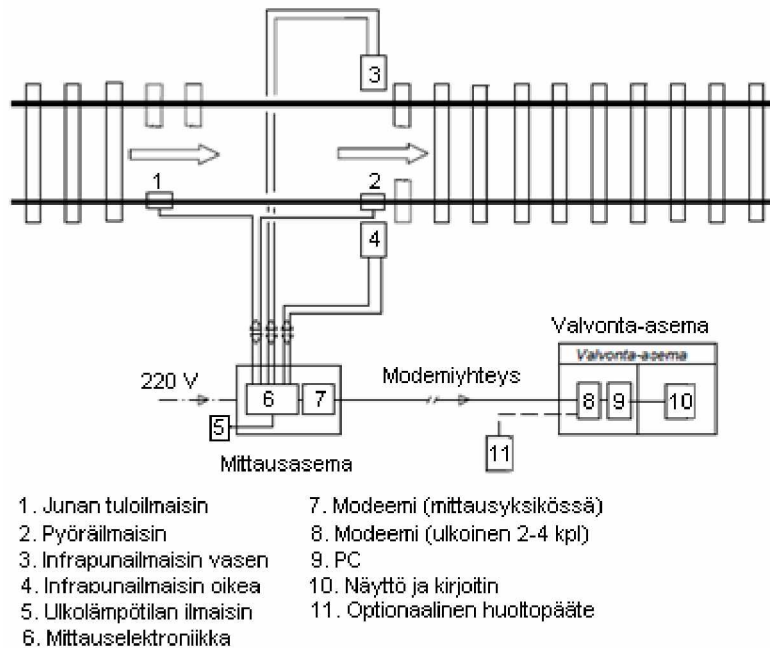
6.5 Lämpötilanmittaus kuumakäynti-ilmaisimella

Kuumakäynti-ilmaisimen suorittama lämpötilamittaus on nopea ja tuloksia voidaan seurata lähes reaaliajassa, mikä onkin välttämätöntä mittauksesta saatavan informaation hyödyntämisen kannalta. Junan lähestyessä mittausasemaa, aktivoituu kuumakäyntiasema junan ohittaessa noin 50 metrin etäisyydellä asemasta olevan raiteeseen kiinnitetyn sähköisen junan tuloilmaisimen. Tuloilmaisimella mitataan myös junan nopeuden. Akselin tunnistamiseen ja nopeuden mittaamiseen käytetään induktiivista anturia. /46/

Junan saapuessa mittausaseman kohdalle, suorittaa kuumakäynti-ilmaisimella mittaus-tapahtuman akselikohtaisesti molemmilta laakeripesiltä. Akselivälien tarkka etäisyys saadaan määritettyä junan nopeudesta ja seuraavan akselin ohittamiseen kuluneesta ajasta. Kalustotyyppien tunnistaminen tapahtuu vertaamalla mitattujen akselien etäisyyksiä tyypikohtaisiin asetusarvoihin. /42/

Kuvassa 43 on havainnollistettu kuumakäynti-ilmaisinjärjestelmään kuuluvat komponentit sekä mittaustiedon syntyminen ja käsittely. Mittaustapahtuman anturitiedot siirtyvät ilmaisimelta kuumakäyntiasemalla sijaitsevalle tiedonhallintajärjestelmälle (kuvassa mittausasema), josta syntyneet mittaustulokset lähetetään

modeemiyhteydellä kuumakäynti-ilmaisimien keskusyksiköille (kuvassa valvonta-asema), jotka sijaitsevat Hangossa, Helsingissä, Kouvolassa, Tampereella, Pieksämäellä, Seinäjoella, Iisalmissa ja Oulussa. Kaikki hälytykset otetaan vastaa liikenteenohjauksessa, jossa kauko-ohjaaja kuittaa saapuneet hälytykset ja lähettää ne hälyttäneen junan kuljettajalle. /44/



Kuva 43. Kuumakäynti- ja valvonta-asema. /44/

Mittausyksikkö testaa järjestelmää säännöllisin väliajoin, millä toimintaa haittaava häiriö junan ohittaessa kuumakäynti-ilmaisimen, tekee järjestelmä hälytyksen puutteellisista mittausarvoista. Tämän jälkeen junan vauhti ei saa ylittää 160 km/h olevaa nopeutta siihen asti kunnes juna on ohittanut seuraavan toimintakuntoisen kuumakäyntiaseman. /44/

Kuumakäynti-ilmaisimen mittatarkkuus paranee sitä mukaan, mitä korkeampia lämpötiloja mitataan. Alhaisillakin lämpötiloilla (0–20 °C) päästään karkeasti noin ± 5 °C tarkkuuksiin. VAE:n kuumakäynti-ilmaisimissa on automaattinen kalibrointi, joka on toteutettu ilmaisimen sisällä olevan lämpösäteilijän avulla. Vanhemmilla kuumakäynti-ilmaisimilla (Frontec) kalibrointi suoritetaan manuaalisesti asettamalla erillinen lämpösäteilijä ilmaisimen päälle. /47/

Keskus- ja mittausasemien määräaikaishuollon tarve VAE:n ilmaisimilla on kerran vuodessa ja Frontecin ilmaisimilla kolme kertaa vuodessa. Määräaikaishuollossa suoritetaan muun muassa manuaalinen kalibrointi, peilien puhdistus ja tarkistetaan raiteen värinästä johtuvan järjestelmän kiinnitysten pitävyys. Peilien puhtaus aiheuttaa eniten kunnossapidollisia toimenpiteitä johtuen etenkin tavaravaunu-kaluston mukanaan tuomasta liasta. /47/

Nykyaikaisella teknologialla kuten esimerkiksi VAE GmbH:n valmistamalla kuumakäynti-ilmaisimella on mahdollista tuottaa ohiajavasta junasta 450 lämpötilamittauspistettä aina 500 km/h. Näin junan ei tarvitse hidastaa vauhtia ohittaessa kuuma-

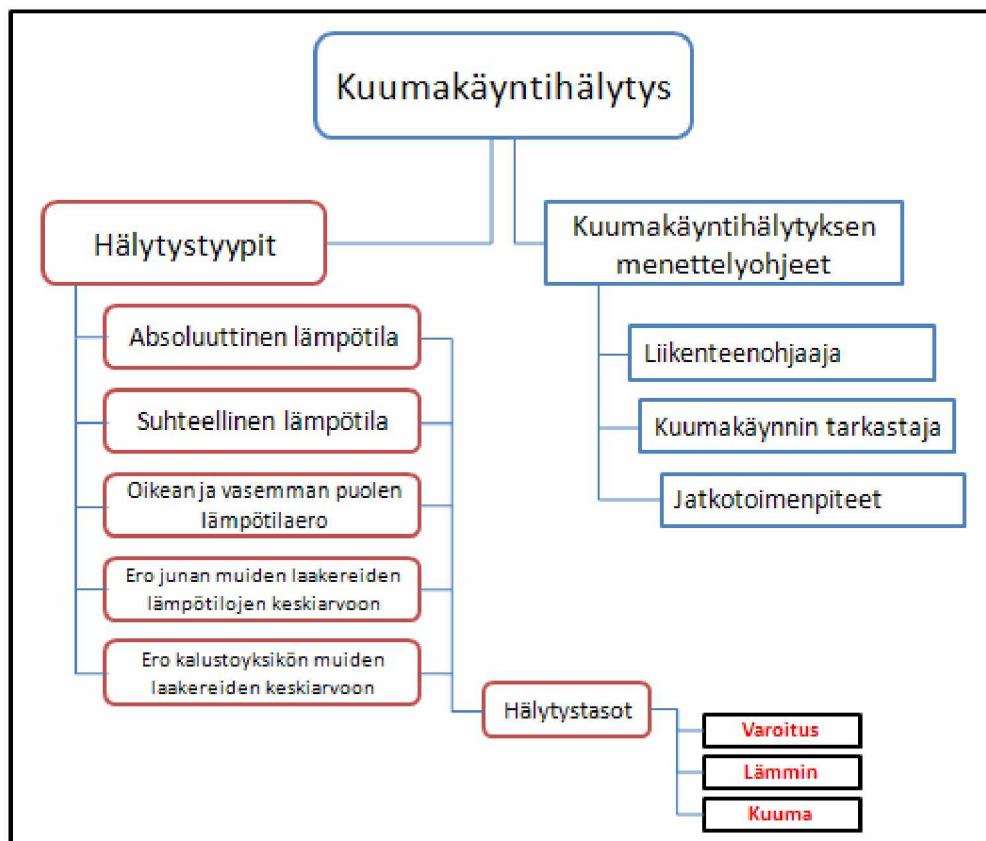
käyntiaseman. VAE:n valmistamilla ilmaisimilla on mahdollista mitata myös jarrujen lämpötiloja. Talviolosuhteiden huomioimiseen voidaan ilmaisimiin asentaa lämpövastukset, jotka pitävät mittauskohdan sulana päälle satavasta lumesta huolimatta (kuva 44). Muita kuumakäynti-ilmaisimien valmistajia ovat Ansaldo STS, Alstom ja GE Transportation, Servo ja SCIIL AB. /46/



Kuva 44. VAE-HOA 400 -kuumakäynti-ilmaisimen lumen ja jään sulatustehon vaikutus /27/

6.5.1 Kuumakäyntihälytys ja menettelyohjeet

Kuvassa 45 on havainnollistettu kuumakäyntihälytyksen menettelyä hälytystyyppien ja menettelyohjeiden mukaan.



Kuva 45. Kuumakäyntihälytyksen toimintakaavio.

Kuumakäynti-ilmaisimen mittausasemassa on viisi seuraavaa eri lämpötilojen hälytysperustetta, joiden mukaan hälytys on mahdollista antaa kuvan 45 kolmena eri lämpötilatasoina. /48/

1. Laakeripesän absoluuttinen lämpötila
2. Laakeripesän suhteellinen lämpötila (absoluuttisen lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen erotus)
3. Laakeripesän ja saman pyöräkerran toisen puolen laakeripesän lämpötilojen erotus
4. Laakeripesän lämpötilaero junan muiden laakeripesien lämpötilojen keskiarvoon
5. Laakeripesän lämpötilaero saman kalustoyksikön muiden laakeripesien lämpötilojen keskiarvoon

Liitteen 4 taulukossa on havainnollistettu RVI:n määräyksen 331/303/2007 -mukaiset hälytystyypit eri lämpötilojen hälytystasoilla. Absoluuttisella lämpötilalla tarkoitetaan kuumakäynti-ilmaisimen mittaamaa todellista laakeripesän pintalämpötilaa. Järjestelmä antaa hälytyksen, mikäli jokin edellä mainituista mittaus- tai laskentatarvoista on jonkin viiden kyseisen hälytysperusteen lämpötilan raja-arvoa suurempi. Lämpötilarajojen raja-arvoja voidaan tarvittaessa joko nostaa tai laskea. Haluttuihin muutoksiin vaikuttaa olennaisesti eri kalustotyyppien suuri määrä. Lämpötilarajoja voidaan joutua nostamaan, mikäli jollakin kalustotyypillä esiintyy liian paljon aiheettomia hälytyksiä. Joillakin junakalustoilla saattaa toisaalta olla myös tiukemmat lämpötilarajan seurantavaatimukset, jolloin lämpötilan hälytysrajaa ei aina välttämättä pysty nostamaan. Hälytysrajojen muutokset perustuvat aikaisempiin käyttökokemuksiin ja ne ovat muunneltavissa valvonta-asemalla.

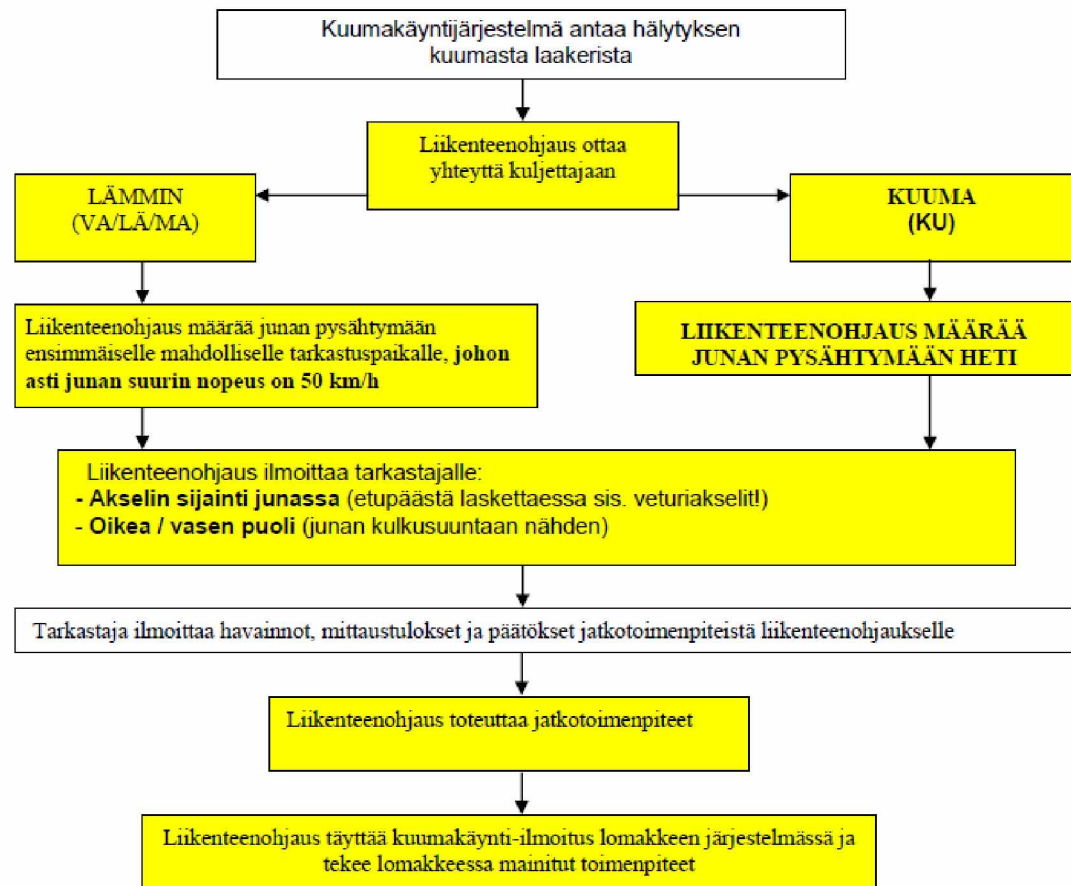
Järjestelmällä on mahdollista tunnistaa mittausprosessin aikana useita kymmeniä eri kalustotyyppiä ja jokaiselle voidaan asettaa omat hälytysrajat. Tästä on hyötyä erityisesti saman junan veto- ja vaunukaluston laakereiden lämpötilojen seurannassa, koska kyseisten kalustotyyppien laakerilämpötilojen käyttäytyminen poikkeaa luonnollisesti toisistaan. Kalustotyypin tunnistus vähentää myös aiheettomien hälytysten määrää. /42/

Laakerin kuumakäynnistä annettava hälytys on mahdollista jakaa kolmeen eri lämpötilan hälytystasoon. Lämpötilojen hälytystasot voidaan määrittää kalustokohtaisesti. Seuraavassa on esitelty VAE -kuumakäynti-ilmaisimen hälytystasot. /48/

1. "Varoitus" ilmoittaa, että kyseessä voi olla kehittyvä laakerin kuumakäynti.
2. "Lämmin" ilmoittaa että kuumakäyntitilanne voi johtaa laakerivaurioon myöhemmin.
3. "Kuuma" edellyttää että toimenpiteisiin on ryhdyttävä välittömästi laakerivaurion ehkäisemiseksi.

Tällä hetkellä kuumakäyntivalvonnassa käytetään varoitustasoja lämmin ja kuuma. Mikäli kuumakäyntihälytys annetaan hälytystasolla kuuma, junan matkanteko joudutaan keskeyttämään välittömästi radan varteen kuumakäynnin tarkastamista varten. Mikäli kuumakäyntihälytys annetaan hälytystasolla lämmin, juna voidaan ajaa ensimmäiselle mahdolliselle tarkastusasemalle, jolloin junan nopeus ei saa ylittää 50 km/h. Kuumakäynnin tarkastuksen suorittaa yleensä veturin kuljettaja, joka mittaa hälyttäneen akselin laakeripesien lämpötilat, joko lämpötilamittarilla tai käsin tunnustelemalla sekä tarkastaa silmämääräisesti hälyttäneen laakeripesän ja pyörän

kunnon. Pyörä tarkastetaan mahdollisten lovien varalta. Tarkastajan suorittaman mittauksen jälkeen mahdolliseen korjaustoimenpiteeseen johtaneen laakerivaurion seurauksena, vaurioitunut kalusto poistetaan liikenteestä liikenteenohjauksen toteutuksesta kunnossapidon hallintaan. Liikenteestä poisto suoritetaan aina tapauskohtaisesti riippuen tilanteen kriittisyydestä. Jarrujen laahaamisesta johtuva kuumakäyntihälytys voidaan estää monissa tapauksissa vapauttamalla jarrut kyseiseltä akselilta, jolloin matka voi jatkua. Kuva 46 esittää liikenteenohjauksen toimintaa kuumakäyntihälytyksessä. /48, 49/

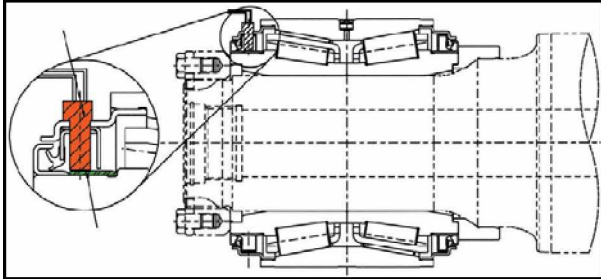


Kuva 46. Liikenteenohjauksen toimintakaavio kuumakäyntihälytyksessä. /49/

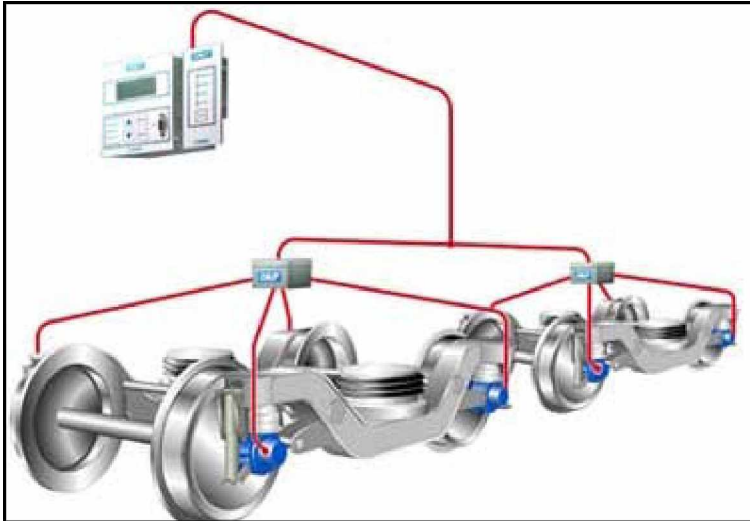
6.6 Muita laakerivaurion tunnistusmenetelmiä

Lyhytkestoisilla tai väliaikaisilla tutkimuksilla laakereiden kuumakäyntiä voidaan mitata myös niin sanotulla lämpötilateipillä, joka asennetaan laakeripesän kylkeen. Teipissä on asteikko joka ilmoittaa lämpömittarin tapaan korkeimman mitatun lämpötilan. Kyseisellä tavalla on mahdollista vertailla muun muassa kuumakäynti-ilmaisimen mittaustietojen paikkaansa pitävyyttä tai tutkia tarkemmin jonkin tietyn laakeripesän lämpenemistä.

Nykyaikaisissa nopeissa junissa kuten suurnopeusjunat (luotijunat), laakereiden lämpötiloja mitataan laakeripesän sisälle integroidulla kuvien 47 ja 48 -mukaisella erillisellä lämpötila-anturilla. Anturin toimintoihin voidaan lisätä muun muassa pyörimisnopeuden ja värähtelytason mittaaminen. /50/



Kuva 47. Suurnopeusjunan laakeripesään integroitu lämpötila-anturi. /50/

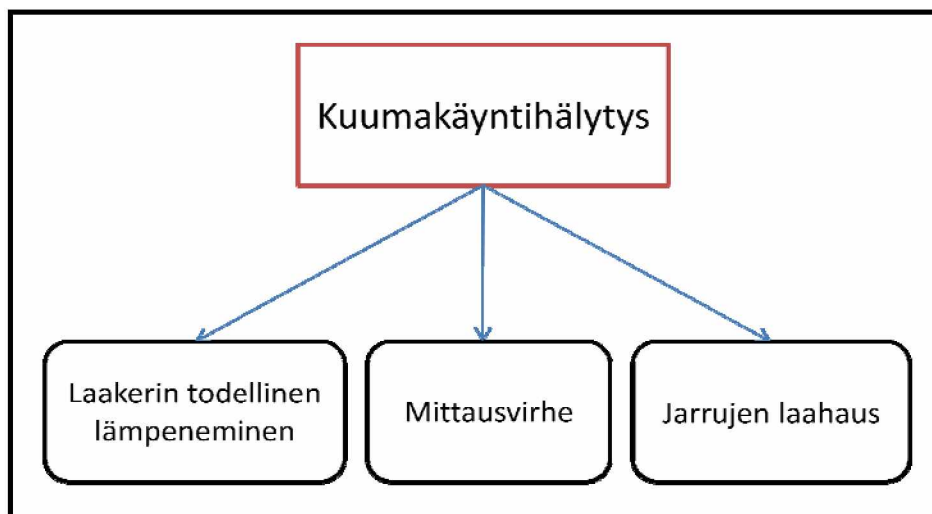


Kuva 48. SKF:n kehittämän pyörän laakeroinnin anturointijärjestelmä. /51/

7 KUUMAKÄYNTIMITTAUKSET

Tässä kappaleessa käsitellään VR Engineeringin tilastoimia kuumakäynti-ilmaisimien mittaamia pyöränlaakereiden laakeripesien lämpötiloja. VR Engineeringiltä on saatu tutkimusta varten aineisto, joka sisältää vuosien 2004–2009 (marraskuuhun saakka) kaikki kalustotyyppikohtaiset kuumakäyntihälytykset. Aineiston pohjalta tutkitaan kuumakäynti-ilmaisimen toimintaa sekä liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden lämpötilakäyttäytymistä. Rautatieliikennekalustossa laakerin lämpenemisen kannalta on huomioitava ulkoilman lämpötila, auringonpaiste, epätasaisesti jakautunut junan massa, junan kulkema matka ja nopeus.

Kuumakäyntihälytyksen jälkeisessä hälytystietojen kasaamisvaiheessa lämpötilatiedot jaetaan VR Engineeringillä kolmeen eri kategoriaan hälytyksen aiheuttajan mukaan. Hälytysten aiheuttajina ovat joko todellinen laakerin lämpeneminen, jarrujen laahaaminen tai laitevika. Harvinaisemmassa tapauksessa kuumakäyntihälytyksen syy voi jäädä kokonaan selvittämättä. Tutkimuksessa olen käsitellyt laitevika nimellä mittausvirhe, koska se antaa tarkemman kuvan kyseisestä kuumakäyntihälytyksen syystä. Kuva 49 esittää kuumakäyntihälytysten käsittelyvaiheen jaottelua. /6/



Kuva 49. Kuumakäyntihälytysten syiden tunnistaminen hälytyksen jälkeisessä käsittelyvaiheessa.

Kuvan 49 kuumakäyntihälytyksen mittausvirhe tarkoittaa pääasiassa ulkoisten tekijöiden aiheuttamia häiriöitä, jotka haittaavat laakeripesän luotettavaa lämpötilan mittaamista. Mittalaitteesta johtuvat rakenteelliset viat ovat puolestaan harvinaisempia eikä niiden esiintymisistä ole merkittävää haittaa lämpötilamittauksen luotettavuudelle, koska järjestelmä testaa mittalaitteen toimintaa säännöllisin väliajoin ja ilmoittaa vikatilasta aina välittömästi liikenteenohjaukselle. Vikatila-ilmoitus voi syntyä myös, kun ilmaisimien on likaantunut eikä lämpötilamittaus onnistu.

Jarrujen laahaus voidaan tunnistaa muun muassa kuumakäynti-ilmaisimen laakeripesän sisemmän lämpötilamittaus tietojen perusteella, erityisesti tönkkäjarruilla varustetusta kalustosta. Kun kuumakäyntihälytyksen syynä ei ole mittausrvirhe tai jarrujen laahaus, hälytys johtuu laakerin todellisesta lämpenemisestä.

7.1 Mittausvirheistä ja jarrujen laahaamisesta johtuvat kuumakäyntihälytykset

Tutkimustyön edetessä on monissa yhteyksissä ilmennyt kuumakäynti-ilmaisimen antamat hälytykset, jotka eivät johdu laakerin yllämpenemisestä. Tässä tutkimuksessa käsitellään myös aiheettomien hälytysten määrää ja niiden syitä.

Mittausvirheistä aiheutuvat hälytykset ovat usein vaikeita tunnistaa. Nämä hälytykset vaativat mittaustietojen käsittelijältä vankkaa ammattitaitoa ja työkokemusta kyseiseltä alalta. Mittausvirhe kuvaa tässä yhteydessä tilannetta, jossa kuumakäyntihälytys on aiheeton eikä anna luotettavaa tulosta lämpötilamittauksesta, jolla voitaisiin osoittaa laakerista tai vastaavasti jarrujen laahaamisesta aiheutunut kuumakäyntihälytys.

Ympäristössä vallitsevat olosuhteet ja niiden muutokset vaikuttavat myös kuumakäynti-ilmaisimien toimintaan ja niiden mittaustietojen luotettavuuteen. Ulkoilman lämpötilalla on myös merkitystä laakerin normaaliin käyttölämpötilaan, koska ilman virtaus jäädyttää laakeria. Etenkin talvisin auringon lämmittäessä vain junan toisen puolen laakeripesiä, saattaa toisen puolen laakeripesät olla huomattavasti kylmempinä. Infrapunamittauksen luotettavuus heikkenee merkittävästi, mikäli infrapunasäteen kohdalle kantautuu esimerkiksi junan nostattaman ilmanvirtauksen mukana pölyä, roskaa, vettä tai lunta. Tutkimuksen kannalta huomioitavaa mittauksen luotettavuudelle on talvisin laakeripesän pinnalle kertyvän lumen ja jään mahdollinen esiintyminen tietyllä kalustotyypillä. Myös ilmaisimen päälle saattaa kertyä yhdellä kertaa niin paljon lunta ettei ilmaisimen lämpövastuksen sulatusteho ole aina välttämättä riittävän tehokas. Lunta voi kertyä myös ilmaisimien päälle esimerkiksi lumen aurauksen yhteydessä. Kuumakäynti-ilmaisimien antaa kuitenkin välittömästi hälytyksen, mikäli ilmaisimen peileille kantautuu niin paljon likaa tai muuta estettä, että ilmaisimen automaattinen kalibrointi ei onnistu. Seuraavassa on esitelty yleisimpiä syitä mittausvirheille. /6/

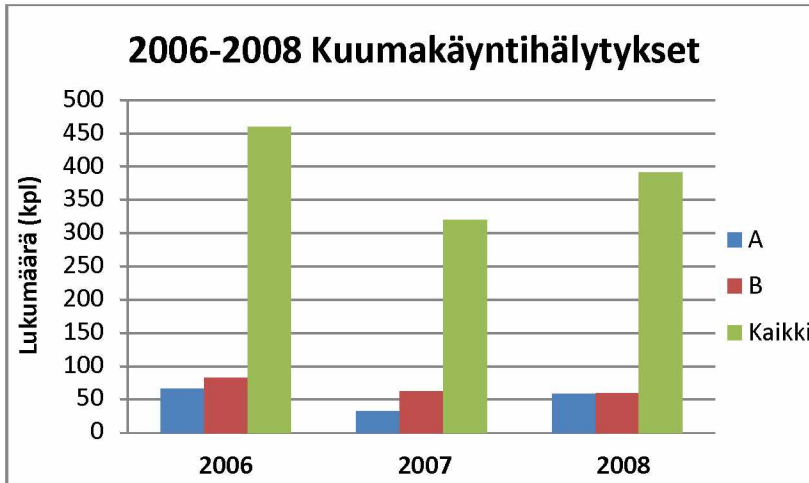
1. Lämpötilamittaus jää hetkellisen häiriön vuoksi kokonaan suorittamatta.
2. Sama lämpötilamittauksen arvo kopioituu myös muille laakereille.
3. Epätodellisen suuri yksittäinen lämpötilan arvo
4. Epätodellisen suuri lämpötilaero saman akselin vasemman ja oikean puolen laakereilla
5. Kalustotyypin tunnistus on virheellinen

Taulukkoon 2 on koottu kaikki vuodesta 2005–2009 heinäkuuhun mennessä raportoidut tavaravaunujen mittausvirheet, joista on aiheutunut kuumakäyntihälytyksiä. Taulukosta voidaan havaita edellä mainittuja mittausvirheistä johtuvia virheellisiä mittaustuloksia, esimerkiksi 28.7.2006, 1.9.2008, 27.4.2007 ja 22.5.2008 ilmenneissä kuumakäynteissä.

Taulukko 2. Laitevioista aiheutuneet kuumakäyntihälytykset tavaravaunuilla vuosina 2005–2009. /6/

Littera	Viesti	M.asema	Pvm	Tarkastajan havainnot					Huom!	Npous [km/h]	Kuumakäynti-ilmaisimien mittaustuloksia					
				Suht.	Vas.	Oik.	Käsin	Toim.			Lämpötilat absol.					
											Vu	Vs	Os	Ou	V	O
Hkba	Frontec	Seelanti	4.1.05					korj?	A						48	103
	Frontec	Sikaneva	16.2.05						A						41	
	Frontec	Sikaneva	28.2.05					norm	A							48
Occ	Frontec	Sikaneva	28.2.05					norm	A							48
	Frontec	Sikaneva	1.3.05						A							39
	Frontec	Sikaneva	1.3.05						A						39	
	Frontec	Sikaneva	1.3.05						A						35	
	Frontec	Sikaneva	1.3.05						A							28
	Frontec	Naarajärvi	9.3.05						A							39
	Frontec	Naarajärvi	9.3.05						A						46	
Kbp	9024746	Kulju	15.4.05					norm	A	83	6	6	6	74	6	
	1,7E+07	Haukka	22.8.05						A	78	-22	0	0	0	73	
Gbln	1,3E+07	Vahojärvi	24.9.05					norm	A	67	11	27	19	71	40	
	Frontec	Holstinharju	16.11.05					norm	A							75
	Frontec	Kuopio	3.12.05						A							103
	Frontec	Madekoski	4.2.06						A							90
Sim	8186517	Hiekkaharju 1	27.2.06						A	81	-9	120	120	1	5	
Gbln	2,4E+07	Vuolinko	14.5.06		44	43			A	73	-13	58	35	35	67	
	Frontec	SK itäinen	30.5.06						A							72
Gbln	2,6E+07	Vuolinko	5.7.06					norm	A	68	-30	53	43	36	45	
Sim	2,6E+07	Vuolinko	16.7.06					norm	A	91	-30	42	33	37	46	
Sp	2,6E+07	Vuolinko	17.7.06					norm	A	78	-30	53	37	36	52	
	Frontec	Tupos	28.7.06						A							
Gbln	2E+07	Ylöjärvi	3.8.06						A	98	13	0	0	38	94	
Gbln-t	2E+07	Ylöjärvi	16.8.06	30					A	98	14	0	0	44	85	
Boppy	2,2E+07	Kulju	16.10.06					norm	A	72	10	112	109	15	26	
Gbln-t	2,2E+07	Kulju	16.10.06					norm	A	51	12	112	111	23	29	
Sgm	2,2E+07	Kulju	16.10.06					norm	A	76	10	113	109	23	33	
Tad	2,2E+07	Kulju	16.10.06					norm	A	69	10	11	109	21	31	
	Frontec	Seinäjäoki	30.11.06						A							78
Zacns	2,5E+07	Loimaa	27.4.07		38	40			A	72	14	130	37	26	32	
Gbln-t	1,5E+07	Hiekkaharju 1	20.7.07						A	100	14	70	41	34	18	
Gbln-t	1,5E+07	Hiekkaharju 1	21.7.07					norm	A	75	12	64	38	22	13	
Gbln	Frontec	Kruunupyy	22.11.07	24					A							100
Spa	4E+07	Kausala	10.12.07						A	93	3	53	32	3	3	
	4,3E+07	Tommla	6.3.08						A	74	-2	0	0	71	71	
Gbln	Frontec	Tupos	7.4.08	10		12			A							72
Sp	4,5E+07	Haukka	14.5.08					norm	A	71	-2	124	123	110	112	
Sp	4,5E+07	Haukka	14.5.08					norm	A	84	6	145	144	113	114	
LaaIs	4,5E+07	Haukka	21.5.08	23					A	78	8	76	74	10	10	
Occ	4,5E+07	Haukka	22.5.08		30	30			A	76	13	13	13	124	128	
Lgin	Frontec	Holstinharju	20.8.08					norm	A							102
	Frontec	Tupos	25.8.08					norm	A							82
Sim	3,7E+07	Louko	1.9.08	18					A	83	14	11	111	24	26	
Sim	"	Louko	1.9.08	21					A	83	14	112	111	25	30	
Sim	"	Louko	1.9.08	20					A	83	14	111	111	21	22	
Sim	"	Louko	1.9.08	21					A	83	14	112	111	24	25	
	Frontec	Tupos	4.9.08					norm	A							90
	Frontec	Tupos	5.9.08						A							69
Sp	Frontec	Holstinharju	11.9.08					norm	A							
Sim-u	3,9E+07	Louko	25.10.08	11					Ax3	80	10	16	15	110	110	
Hccmqqr	Frontec	Kontiomäki	26.10.08						Ax5							68
Gbln-t	Frontec	Kuopio	28.10.08					norm	A							84
Ocpp	Frontec	Lammaskoski	5.11.08					norm	A							87
Sp	Frontec	Lammaskoski	15.11.08	16					A							80
Sp	Frontec	Kontiomäki	3.12.08	0					A							103
	Frontec	Lammaskoski	10.12.08					norm	A							81
	Frontec	Lammaskoski	10.12.08					norm	A							121
	Frontec	Parikkala	18.12.08					norm	A							94
Hkb	Frontec	Parikkala	21.12.08						A							91
Shmmn	Frontec	Sikaneva	10.1.09					norm	A							74
	Frontec	Seelanti	9.7.09						A							77
	Frontec	Seelanti	10.7.09						A							52

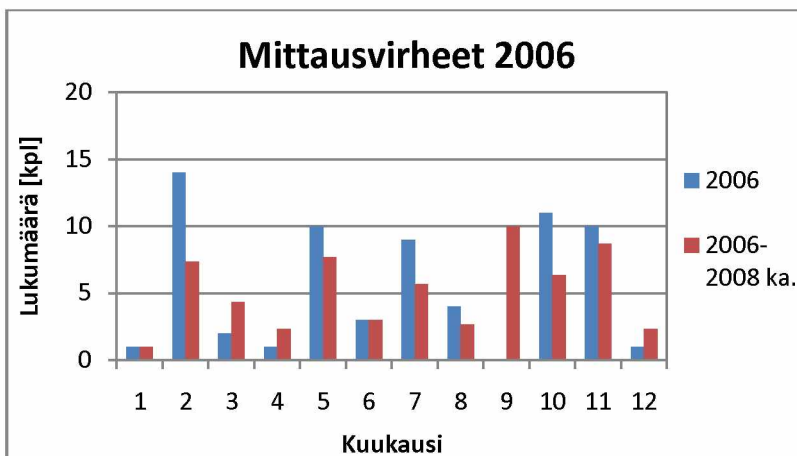
Kuvaan 50 on kerätty kaikki kuumakäynti-ilmaisimen antamat hälytykset, jotka ovat aiheutuneet mittausvirheistä sekä jarrujen laahaamisista. Kuvasta nähdään myös kaikki hälytykset yhteensä. Kalustotyyppit ovat rajattu Sm3-sähkömoottorijuniin, henkilö- ja tavaraliikennevaunuihin sekä venäläisiin vaunuihin.



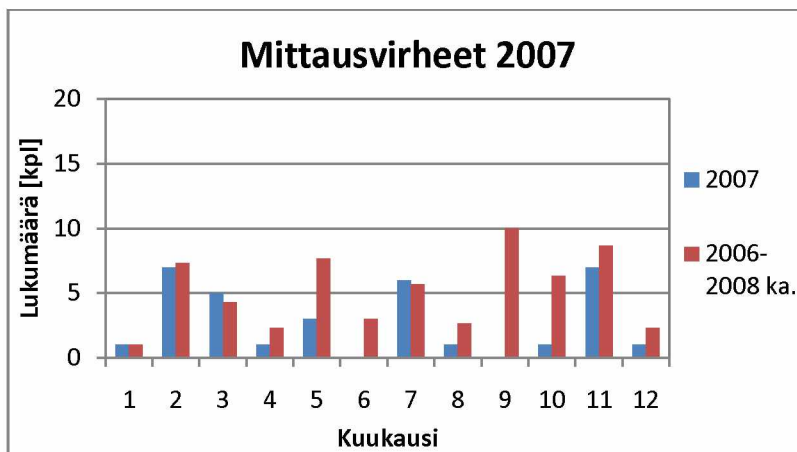
Kuva 50. Vuosien 2006–2008 kuumakäyntihälytykset jotka ovat aiheutuneet mittausvirheistä (A) ja jarrujen laahaamisesta (B) sekä kaikki hälytykset yhteensä Sm3 -junilla, henkilö- ja tavaraliikennevaunuilla ja venäläisillä vaunuilla.

Kuvasta 50 havaitaan, että mittausvirheistä ja jarrujen laahaamisista aiheutuneet aiheettomat hälytykset, jotka eivät johdu pääasiassa laakerin lämpenemistä ovat huomattavaa suuruusluokkaa. Vuonna 2007 pelkästään jarrujen laahaamisesta aiheutuneiden hälytyksien osuus kaikilla edellä mainituilla kalustoilla oli 20 %. Vuonna 2008 mittausvirheiden ja jarrujen laahausten osuus oli yhteensä noin 30 %.

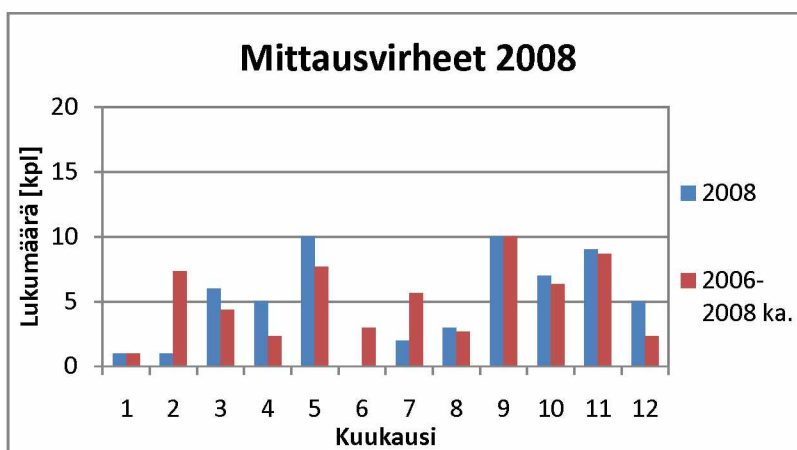
Kuvissa 51–54 on Sm3 -junien, henkilö- ja tavaraliikennevaunujen sekä venäläisten vaunujen mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset kuukausittain vuosina 2006–2008. Tarkoituksena on selvittää, onko vuodenajalla merkitystä mittausvirheiden esiintymisiin.



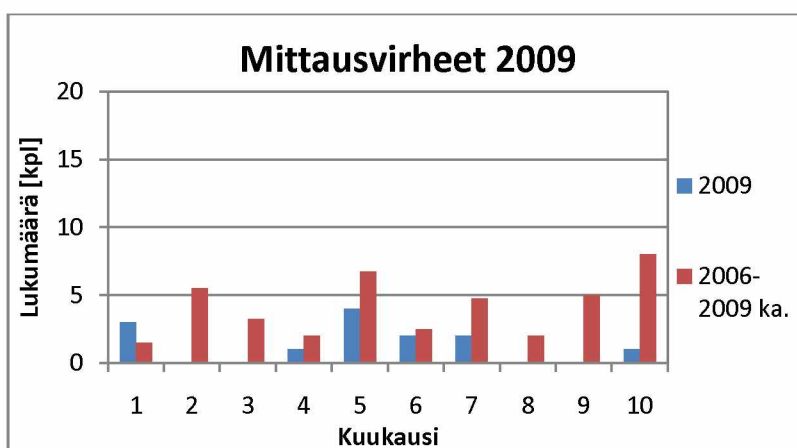
Kuva 51. Vuonna 2006 mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



Kuva 52. Vuonna 2007 mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



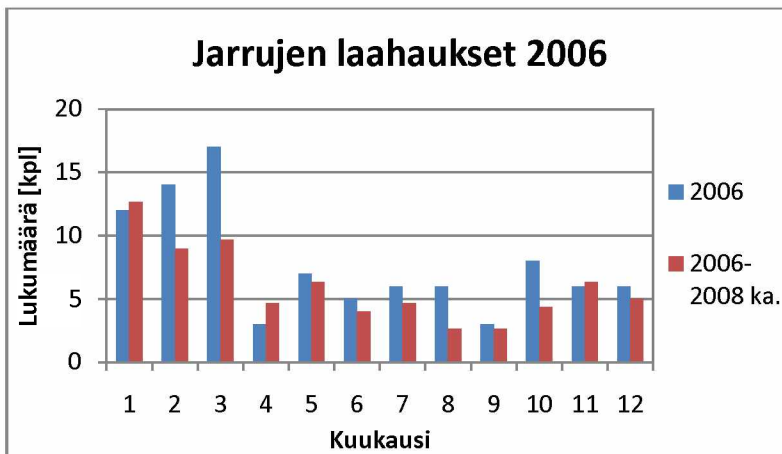
Kuva 53. Vuonna 2008 mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



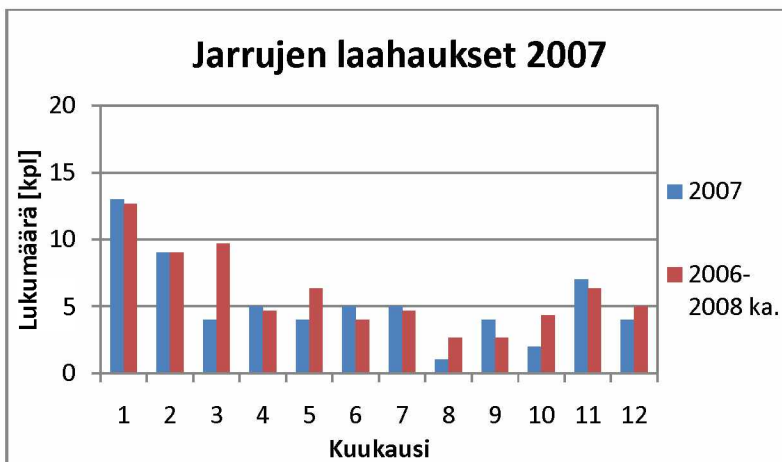
Kuva 54. Vuonna 2009 tammi-lokakuussa mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.

Kuvien 51–54 perusteella mittausvirheet eivät osoita kovin suurta riippuvuutta eri vuodenaajoista. Kuvista huomataan kuitenkin, että mittausvirheet vähenevät joka vuosi kevääseen mennessä ja kasvavat jälleen kesän aikana. Vuoden loppupuolella on havaittavissa tutkitulla ajanjaksolla joka vuosi jonkin verran mittausvirheiden kasvua. Vuoden vaihteiden molemmilla puolilla mittausvirheet ovat aina laskeneet tutkitulla ajanjaksolla.

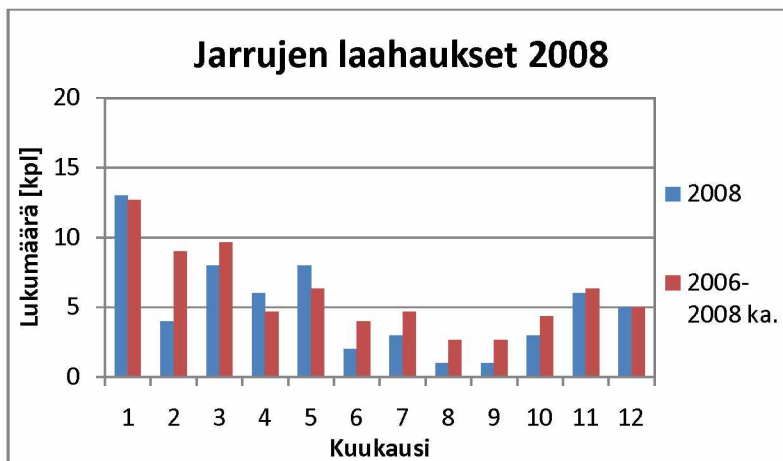
Kuvissa 55–58 on Sm₃-junien, henkilö- ja tavaraliikennevaunujen sekä venäläisten vaunujen jarrujen laahaamisesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset vuosina 2006–2008 eri kuukausina. Tarkoituksen on selvittää, onko vuodenaajalla merkitystä jarrujen laahauksien esiintymisiin.



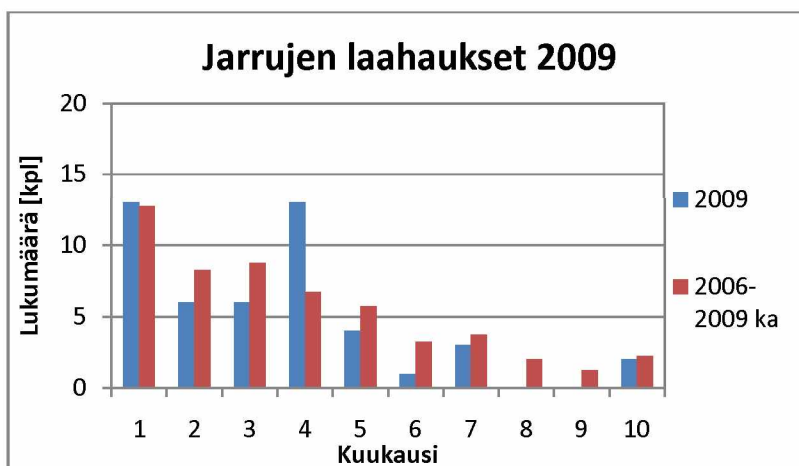
Kuva 55. Vuonna 2006 jarrujen laahauksesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



Kuva 56. Vuonna 2007 jarrujen laahauksesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



Kuva 57. Vuonna 2008 jarrujen laahauksesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



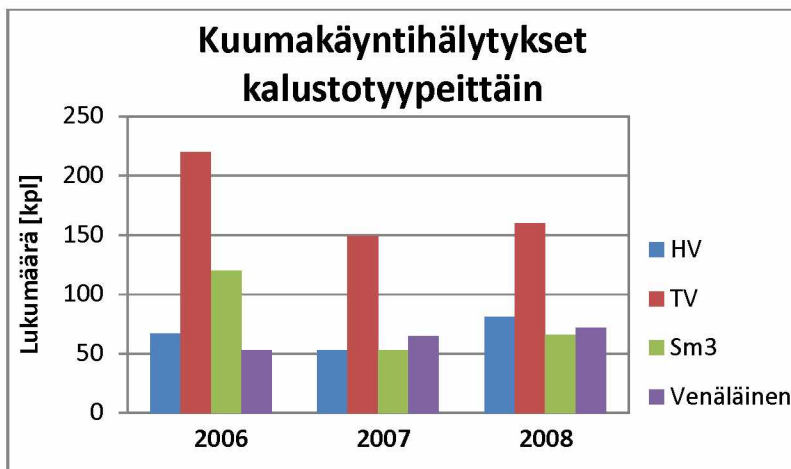
Kuva 58. Vuonna 2009 tammi-lokakuussa jarrujen laahauksesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.

Kuvien 55–58 perusteella jarrujen laahauksessa huomataan selvää riippuvuutta vuodenajoista. Vuoden alussa jarrujen laahauksia tapahtuu tutkitulla aikavälillä keskimäärin eniten. Jarrujen laahaukset vähenevät lähestyttäessä kohti kesää ja vuoden loppua kohden alkaa laahaus jälleen kasvaa. Jarruista johtuvia kuumakäyntejä aiheuttaa jonkin verran myös voimakas jarruttamien kuumakäynti-ilmaisimen kohdalla johtuen liikenteellisistä syistä. Kuumakäyntiaseman sijaitessa lähellä liikennepaikkaa saattaa junan jarruttaminen alkaa satunnaisesti juuri kuumakäynti-ilmaisimen kohdalla. Voimakkaan jarruttamisen johdosta aiheutuvia kuumakäyntejä sattuu vuositasolla kuitenkin niin vähän, ettei niistä aiheudu merkittävä haittaa kuumakäyntivalvontaan.

Jarrujen lukkiutumiseen vaikuttaa muun muassa jarrujen jäätyminen talvella. Voimakkaat jarrutukset saattavat jumiuttaa huonokuntoiseksi päässeen jarrumekanismen etenkin vanhanaikaisissa tavaravaunujen tönkkäjarruissa. Kiskon ja pyörän vierintäpinnan välisen kitkakertoimen aleneminen jopa arvoon 0,1 esimerkiksi syksyllä puissa olevien kosteiden lehtien pudotessa kiskoille. Talvisin nopeista lämpötilamuutoksista johtuvat jään muodostumiset kiskon pinnalle aiheuttavat myös pyörien lukkiutumista. Jarrujen lukkiutumiseen voi vaikuttaa myös jarrujohdon vajaa täytyminen, jarrujen säätäminen liian kireälle, akselikohtaisen kuorman tuntevan jarrupaineen säätimen epäkunto, ylikuorma tai epätasapainoinen kuormaus.

7.2 Kuumakäyntien jakautuminen kalustotyypeittäin

Kuvassa 59 on esitetty kaikki kuumakäyntihälytykset kalustolajeittain henkilö- ja tavaravaunuilla, Sm3-junilla ja venäläisillä vaunuilla vuosina 2006–2008. Henkilövaunukaluston hälytyksien lukumääriin kuuluvat kaikki henkilövaunut (HV) pois lukien Sm1-4 ja kaikki lähiliikennevaunut. Taulukossa 3 on esitelty kaikki Suomen rautatieliikenteen henkilö- ja tavaravaunujen akselikilometrit vuosina 2005–2008. Taulukosta nähdään myös kuumakäyntihälytystiheys akselikilometreinä jokaisella kalustolajilla vuonna 2008.



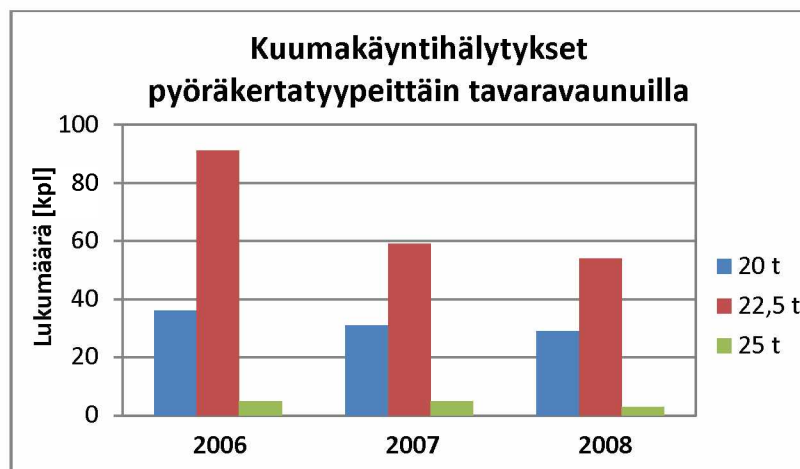
Kuva 59. Kaikki kuumakäyntihälytykset kalustotyypeittäin vuosina 2006–2008.

Taulukko 3. Kaikki Suomen rautatieliikenteen henkilö- ja tavaravaunukaluston akselikilometrit vuosina 2005–2008 ja hälytystiheydet vuonna 2008. /8/

Vaunuakselikilometrit [milj.km]					
Vuosi	2005	2006	2007	2008	Hälytystiheys [milj.km/hälytys]
Henkilövaunut (Matkustaja-, sähköm.- ja muut vaunut, ei Sm3 ja venäläisiä vaunuja)	640,1	663	653,7	654,2	8,07 milj. km/hälytys
Tavaravaunut (ei IVY:n tavaravaunuja)	1065,4	1166,6	1162,2	1160,6	7,25 milj. km/hälytys
Sm3	76,7	110	136,6	139,3	2,11 milj. km/hälytys
Venäläiset henkilövaunut	13,9	14,2	16,7	18,2	6,0-6,3 milj.km/hälytys
IVY:n tavaravaunut *)	455,4	517,9	410,3	459,2	
*) Venäläisten tavaravaunujen osuus IVY:n tavaravaunuista arvioidaan olevan noin 90-95 %					

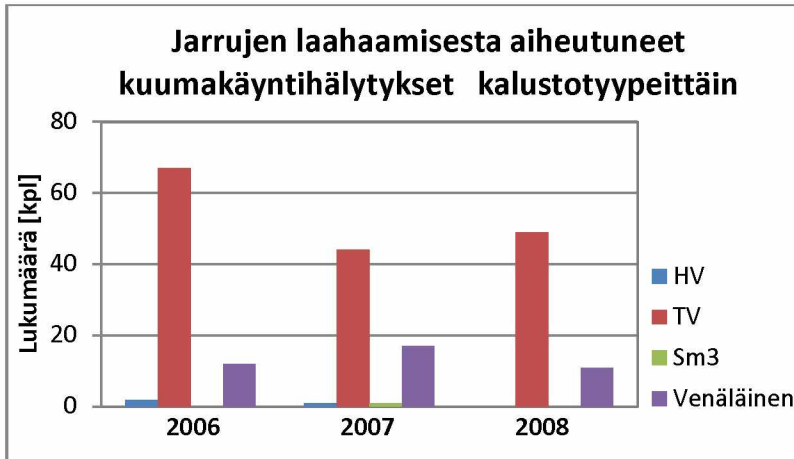
Taulukosta 3 havaitaan, että tavaravaunukalustolle kertyy noin kaksinkertainen määrä akselikohtaisia ajokilometrejä verrattuna henkilövaunukalustoon. Tavaravaunuista aiheutuu vuosittain kuvan 59. mukaan myös huomattavasti enemmän hälytyksiä kuin muille kalustoille. Hälytystiheyden mukaan Sm3:sta aiheutuu eniten kuumakäyntihälytyksiä suhteessa kuljettuun matkaan. Vuonna 2008 Sm3 on aiheuttanut kuumakäyntihälytyksen 2,11 miljoonan akselikilometrin välein. Henkilövaunuista aiheutuu kuumakäyntihälytyksiä suhteessa akselikilometreihin vähinten verrattuna muihin taulukossa oleviin kalustolajeihin.

Kuvassa 60 on esitelty suomalaisten tavaravaunujen kuumakäyntihälytykset pyöräkertatyypeittäin vuosina 2006–2008, lukuun ottamatta jarrujen laahauksista ja mittausvirheistä johtuvia kuumakäyntejä.



Kuva 60. Suomalaisten tavaravaunujen kuumakäyntihälytykset pyöräkertatyypeittäin vuosina 2006–2008 pois lukien jarrujen laahaukset ja mittausvirheet.

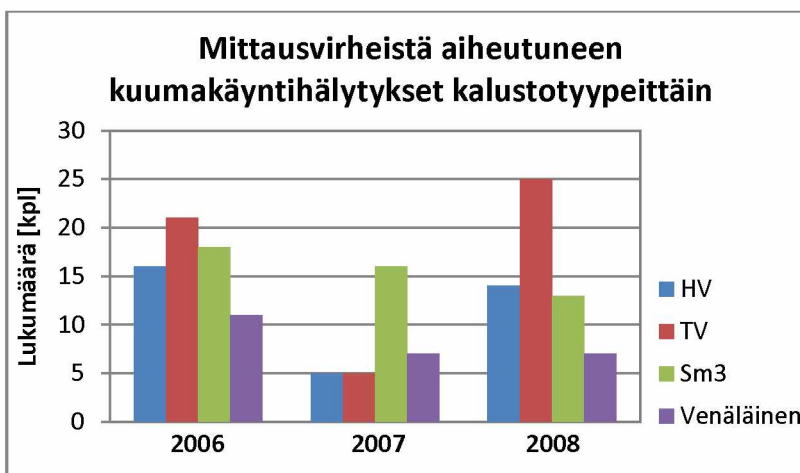
Kuumakäyntien vertailua pyöräkertatyypeittäin on vaikeaa tarkastella, ellei tiedossa ole myös eri pyöräkertojen vuosittaisia akselikilometrejä. Liitteessä 3 on esitetty henkilö- ja tavaravaunujen pyöräkerrat ja niiden lukumäärät kalustotyypeittäin. Kuvassa 61 on esitetty jarrujen laahaamisesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset kyseisille kalustotyypeille.



Kuva 61. Jarrujen laahaamisesta aiheutuneet hälytykset kalustotyypeittäin vuosina 2006–2008.

Kuvan perusteella voidaan todeta, että kuumakäyntihälytyksiä aiheutuu jarrujen laahaamisen vuoksi lähes poikkeuksetta tavaravaunukalustoilla pääasiassa tönkkäjarrujen käytön takia. Henkilövaunujen jarrujen laahaaminen on vähäisempää kuin tavaravaunuilla muun muassa levyjarrujen käytön takia. Myös venäläiset vaunut aiheuttavat kuvan tutkimuksen mukaan useita kuumakäyntihälytyksiä vuodessa jarrujen laahaamisen vuoksi.

Kuvassa 62 on esitelty mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäyntihälytykset eri kalustotyypeillä vuosina 2006–2008.



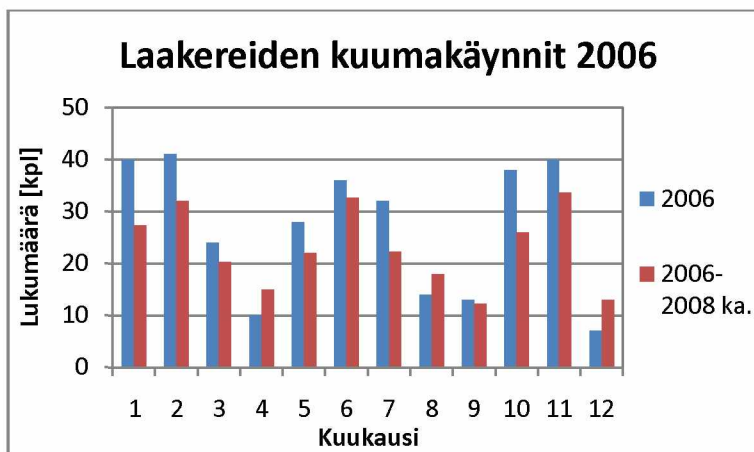
Kuva 62. Mittausvirheistä aiheutuneet hälytykset kalustotyypeittäin vuosina 2006–2008.

Kuvan tutkimuksesta havaitaan, että vuonna 2008 Sm3:t ovat aiheuttaneet mittausvirheistä johtuvia hälytyksiä saman verran kuin koko Suomen tavaravaunukalustolla yhteensä. Edellä mainittuun tilanteeseen on huomioitava myös Sm3:n akseli-

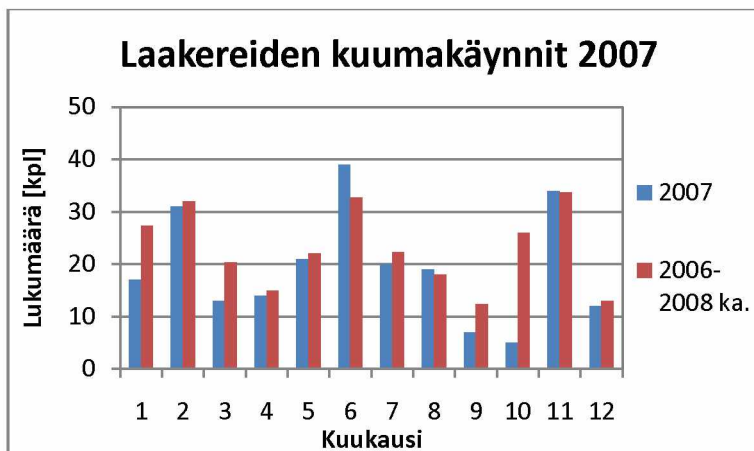
kohtainen kilometrimäärä, joka vuonna 2008 oli vain 21,7 % koko henkilövaunun kaluston akselikilometrimäärästä. Tilanteesta voidaan päätellä, että kuumakäynti-ilmaisimet antavat herkemmin kuumakäyntihälytyksiä Sm3:lle kuin koko henkilövaunun kalusto yhteensä. /8/

7.3 Kuumakäyntien jakautuminen aikakaussittain

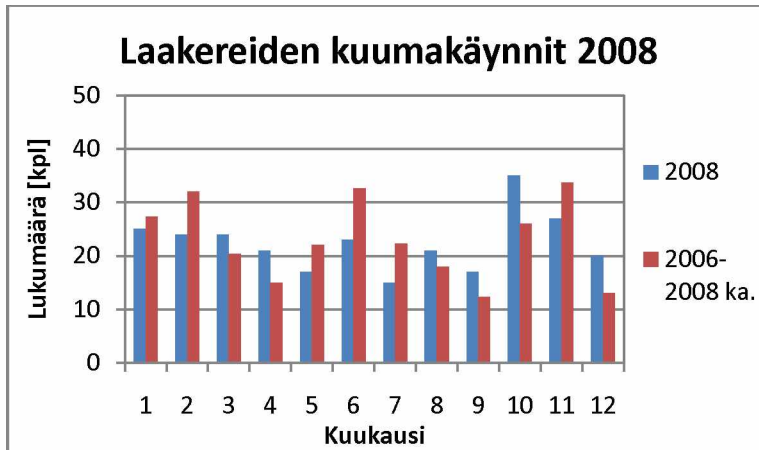
Kuviin 63–66 on koottu laakereiden todelliset kuumakäynnit kuukausittain Sm3:lla, henkilö- ja tavaravaunulla sekä venäläisillä vaunuilla vuosina 2006–2009 kesäkuuhun lukuun ottamatta jarrujen laahauksesta ja mittausvirheistä aiheutuvia kuumakäyntejä. Tarkoituksena on selvittää vuodenajan vaikutus laakerin todelliseen kuumakäyntiin.



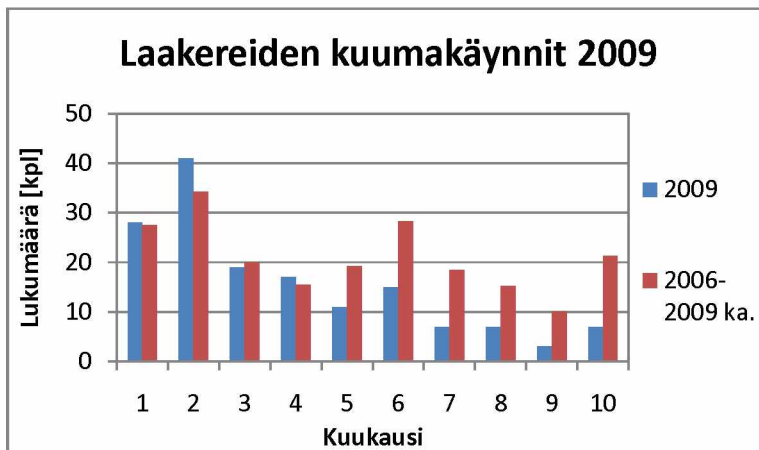
Kuva 63. Laakereiden todelliset kuumakäynnit vuonna 2006 Sm3, henkilö-, ja tavaravaunuilla sekä venäläisillä vaunuilla pois lukien jarrujen laahaamisesta ja mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäynnit.



Kuva 64. Laakereiden todelliset kuumakäynnit vuonna 2007 Sm3, henkilö-, ja tavaravaunuilla sekä venäläisillä vaunuilla pois lukien jarrujen laahaamisista ja mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäynnit.



Kuva 65. Laakereiden todelliset kuumakäynnit vuonna 2008 Sm3, henkilö-, ja tavaravaunuilla sekä venäläisillä vaunuilla pois lukien jarrujen laahaamisista ja mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäynnit.



Kuva 66. Laakereiden todelliset kuumakäynnit vuonna 2009 (tammi-lokakuu) Sm3, henkilö-, ja tavaravaunuilla sekä venäläisillä vaunuilla pois lukien jarrujen laahaamisista ja mittausvirheistä aiheutuneet kuumakäynnit.

Laakereiden todellisista kuumakäynneistä huomataan niiden jakautuvan kuvien perusteella selvästi vuodenaikojen mukaan. Kuumakäyntejä aiheutuu keskimäärin eniten keskitalvella ja keskikesällä sekä loppusyksystä. Tilanteesta voidaan päätellä muun muassa, että kuumakäyntihälytyksiä tulee selvästi enemmän sekä kylmällä että lämpimällä kelillä.

7.4 Sdggngqss-w rekkavaunun kuumakäynti

Ensimmäisenä tutkimuskohteena ovat Sdggngqss-w rekkavaunut, jotka kulkevat pääsääntöisesti pysähtymättä rataosuudella Helsingin ja Oulun välillä. Tarkasteluvälinä käytetään Helsinki–Tampere–Seinäjoki-väliä, joka on rekkavaunuliikenteen kannalta vilkkain rataosuus. Kyseisellä välillä sijaitsee yhdeksän VAE:n valmistamaa kuumakäyntiasemaa, joiden välimatkataulukko on esitetty taulukossa 4. VAE:n kuumakäynti-ilmaisimien lämpötilamittausalue on välillä 0–150 °C ja ne ovat asennettu teräksisten ratapölyjen sisään.

Mikäli kuumakäynti on aiheuttanut kalustolle korjaustoimenpiteitä, voidaan se merkitä hälytysraporttiin. Raportti ei kerro, onko kyseessä ollut laakerivauriosta johtuva todellinen kuumakäynti, koska hälyttäneen kaluston huoltoon ohjaaminen ja mahdollisten korjaustoimenpiteiden suorittaminen vie luonnollisesti aikaa muutaman viikon. Kuumakäynnistä tehtävä raportti valmistuu yleensä välittömästi kuumakäyntihälytyksen jälkeen. VR pitää kuitenkin kirjata kuumakäyntihälytyksien vuoksi kunnossapitoon ohjatusta kalustosta.

Kuvissa 67–70 on havainnollistettu rekkavaunun Sdgnqss-w kuumakäyntitilannetta. Kyseinen juna on kulkenut Helsingistä Seinäjoelle ja ohittanut matkalla yhdeksän kuumakäyntiasemaa, joista kahdella asemalla (kuvissa numerot 4 ja 7) junan saman akselin laakerista on ilmennyt kuumakäyntihälytys. Kuumakäyntihälytys on aiheutunut vasemman ja oikean ulomman puolen laakereiden välisestä liian suuresta lämpötilaerosta, joka mittauspisteessä 4 (Toijala) on 54 °C ja mittauspisteessä 7 (Vahojärvi) 52 °C. Vallitseva ulkoilman lämpötila molemmilla hälytyshetkillä oli -5 °C. Hälytyksien jälkeen juna on ajettu VR:n menettelyohjeiden mukaisesti ensimmäiselle mahdolliselle tarkastuspaikalle, jossa tarkastaja on suorittanut lämpötilamittaukset lämpötilamittarilla molemmilla hälytyskerroilla taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 4. Helsinki–Tampere–Seinäjoki-välisen rataosuuden kuumakäynti-ilmaisimien välimatkataulukko. /52/

Mittausasemat	Matka [km]
Helsinki	0
1. Hiekkaharju	18
2. Hyvinkää	62
3. Harviala	99
4. Toijala	141
5. Kulju	175
6. Ylöjärvi	198
7. Vahojärvi	247
8. Ratikylä	285
9. Louko	328

Taulukko 5. Kuumakäynti-ilmaisimen ja tarkastajan havainnot laakerin kuumakäyntihälytyksen jälkeen. /6/

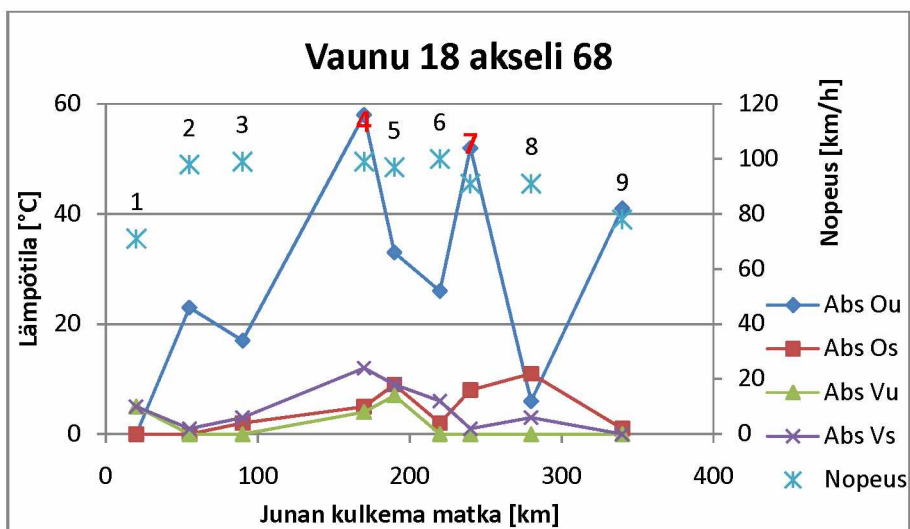
Paikka	Aika	Kuumakäynti-ilmaisimien mittaustuloksia						Tarkastajan havainnot		
		Nop [km/h]	Ilma	Vu	Vs	Os	Ou	Vasen	Oikea	Ero
4. Toijala	20.2.2009	98	-5	4	12	5	58	23	26	3
7. Vahojärvi	21.2.2009	89	-5	0	1	8	52	40	35	5

Tarkastajan mittaamissa lämpötiloissa on selvästi eroa mittausaseman 4 (Toijala) osalta. Tarkastajan mukaan vasemman puoleisen laakerin lämpötilaksi on saatu 23 °C kuumakäynti-ilmaisimen antamaa 4 °C (Vu) vastaan. Oikean puolen laakerin lämpötilaksi on saatu 26 °C kuumakäynti-ilmaisimen antamaa 58 °C (Ou) vastaan, josta hälytys on aiheutunut. Tarkastajan mittaamista laakerilämpötila-arvoista (vasen ja oikea) huomataan, että ne ovat myös keskenään lähes tasoittuneet samoihin

arvoin. Tarkastajan mittaama lämpötila (Vu) junan pysäyttämisen jälkeen on 19 °C korkeampi kuin mitä kuumakäynti-ilmaisimen mittaama tulos.

Hälytyksen antaneen mittausaseman 7 (Vahojärvi) osalta erot tarkastajan ja ilmaisimen antamien tulosten välillä näkyvät myös tuloksista. Tässä tapauksessa tarkastaja on mitannut vasemman puolen laakeripesän lämpötilaksi 40 °C kuumakäynti-ilmaisimen antamaa 0 °C (Vu) vastaan ja oikean puolen eli hälyttäneen puolen lämpötilaksi 35 °C kuumakäynti-ilmaisimen antamaa 52 °C (Ou) vastaan. Ristiriitaista Vahojärven kuumakäyntihälytyksissä on tarkastajan mittauksen mukaan, että ei-hälyttäneen puolen (vasen) laakeripesän lepolämpötila on 5 °C suurempi kuin hälyttäneen puolen (oikea) laakeripesän lepolämpötilalla. Vahojärven kuumakäyntihälytyksessä tarkastajan havaintojen mukaan kuumimmaksi laakeriksi osoittautuikin vasemman puolen ei-hälyttänyt laakeripesä (40 °C), vaikka kuumakäynti-ilmaisimen on mitannut kyseiselle laakeripesälle vain 0 °C (Vu).

Liikenteen ohjauksen käsikirjan mukaan kuumakäyntihälytyksen jälkeen junan nopeus saa olla enintään 50 km/h ensimmäiselle mahdolliselle tarkastuspaikalle. Tämä selittää osaltaan laakereiden lämpötilan alenemisen kuumakäyntihälytyksen ja junan pysäytyksen jälkeisellä ajalla. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen välimatkaa tarkastuspaikalle, johon juna on pysäytetty, on vaikea arvioida takautuvasti. Junan pysäytyksen ja tarkastajan suorittaman mittauksen välistä aikaa on myös vaikea arvioida takautuvasti, koska tutkimukseen ei ollut mahdollista saada kuumakäyntihälytyksien hälytysraportteja.



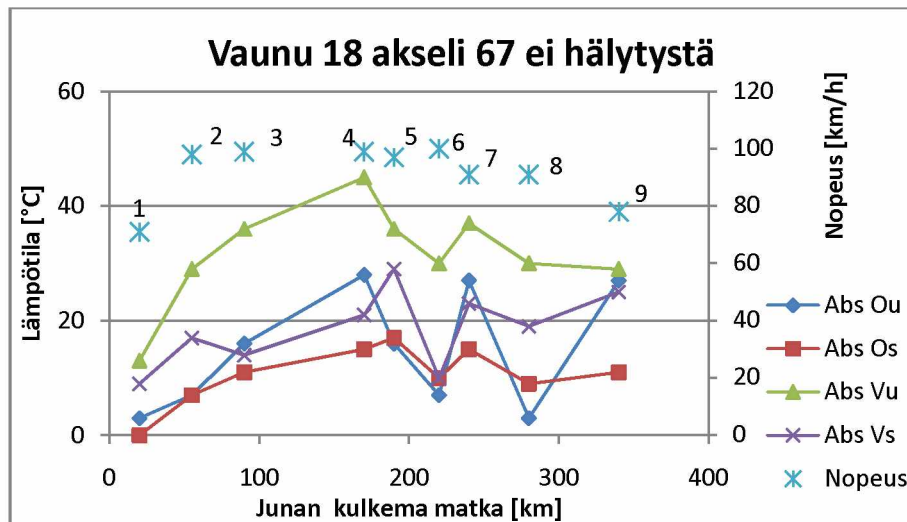
Kuva 67. Junan rekkavaunun hälytyksen aiheuttaneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona.

Kuvasta 67 havaitaan, että akselin oikeanpuoleisen laakerin ulomman mittausalueen lämpötila on mittausasemaa 8 lukuun ottamatta jokaisella mittausasemalla muita mittausalueita selvästi suurempi. Mielenkiintoista olisi tietää, mitä asemien 4 ja 7 välillä on tapahtunut, koska niiden välillä lämpötila putoaa puoleen verrattuna hälytyksen antamiin asemiin. Siitä huolimatta lämpötilat ovat selvästi muita mittausalueita korkeammalla mittausasemilla 5 ja 6. Mittausaseman 7 hälytyksen jälkeen lämpötila on saatu vasta normaalille tasolle, jonka jälkeen lämpötila on lähtenyt jälleen kohoamaan mittausasemassa 9.

Mielenkiintoista olisi myös selvittää, miten lämpötila on kehittynyt tämän jälkeen Seinäjoen ja Oulun välillä, mutta kyseiseltä väliltä olevia mittaustietoja ei ole mahdollista saada vanhanmallisien kuumakäynti-ilmaisimien ja mittaustietojen huonon saatavuuden takia.

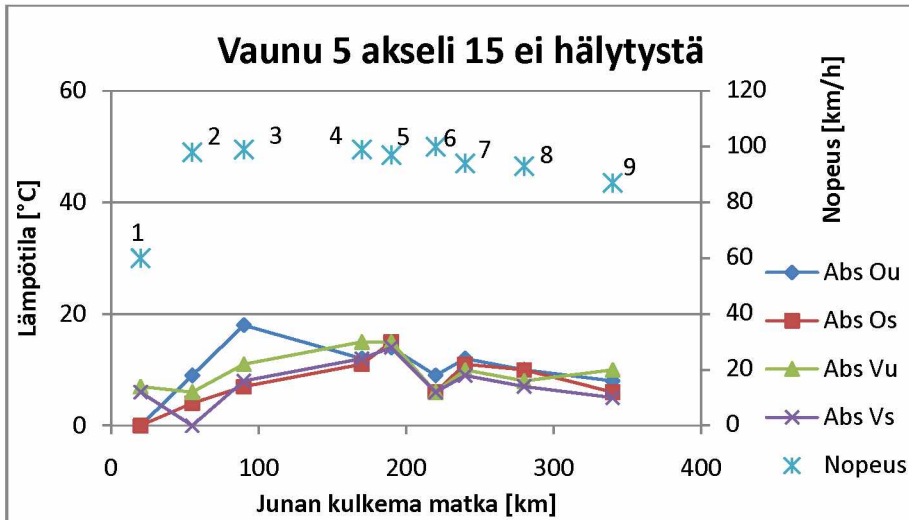
Kuvasta 67 nähdään lisäksi, että vasemman puolen laakeripesän ulomman mittauskohdan (Abs Vu kuvaaja) lämpötilat ovat selvästi muita laakereita alhaisemmat koko tarkasteluvälillä. Tästä johtuen vasemman ja oikean puolen laakeripesillä on ollut liian suuri lämpötila ero, josta myös hälytys on aiheutunut. Viitteitä mahdollisesta alkavasta laakerivauriosta on myös olemassa, koska 58 °C ja 52 °C -laakerilämpötilat poikkeavat huomattavan paljon kyseisen junan kaikkien muiden laakereiden lämpötiloista.

Kuvassa 68 on havainnollistettu vertailun vuoksia myös hälyttäneen telin etummainen ei-hälyttänyt akseli. Kuvasta huomataan, että vasemman puolen laakeripesän lämpötila on selvästi muita kuvan mittauskohtia korkeammalla. Tässä tapauksessa lämpötilajakauma on tasaisempi ja lähes kokoajan 30 °C...40 °C välillä.

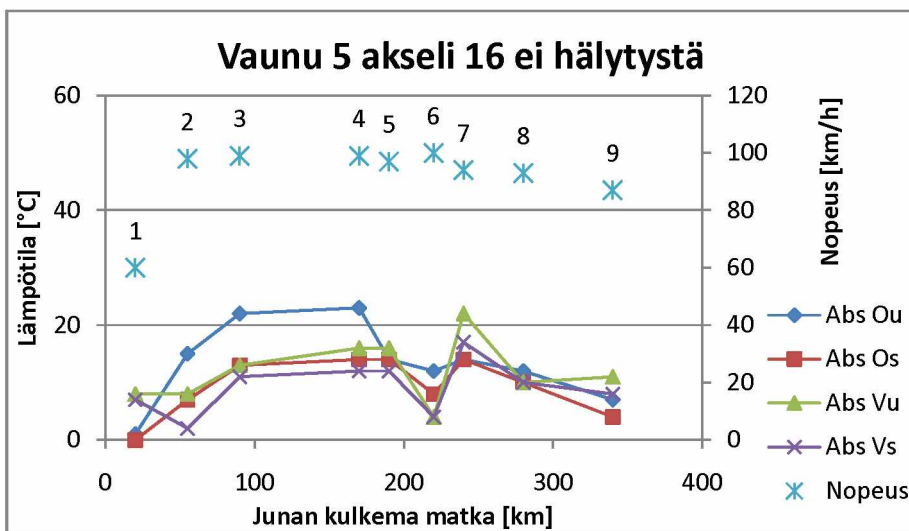


Kuva 68. Junan rekkavaunun etutelin etummaisen akselilaakeroinnin ei hälyttäneet lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona.

Vertailun vuoksi tarkasteluun on otettu kuvissa 69 ja 70 saman junan edempänä oleva vaunu, jolloin lämpötilan jakautumista ja siihen vaikuttavia osatekijöitä voidaan analysoida luotettavammin.



Kuva 69. Junan rekkavaunun etutelin takimmaisen akselilaakeroinnin ei hälyttäneet lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona.



Kuva 70. Junan rekkavaunun etutelin takimmaisen akselilaakeroinnin ei hälyttäneet lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona.

Kuvista 67–70 havaitaan, että junan kulkemalla matkalla laakereiden lämpötilakäyttäytyminen on tasaisempaa ei-hälyttäneen telin akseleilla 15 ja 16, kuin hälyttäneen telin akseleilla 67 ja 68.

Yhtenä osatekijänä kyseisille kuumakäyntihälytyksille on saattanut olla lumen ja jään kertyminen hälyttäneen vaunun akselin vasemman laakeripesän alapuolelle. Tärkeätä laakerilämpötilojen seurannassa olisi huomioida keliolosuhteet, kuten ilman lämpötila, tuulen voimakkuus ja suunta sekä lumisateet. Myös kalustokohtaiset erot kuumakäyntimittauksissa eivät voi olla vaikuttamatta mittaustuloksien luotettavuuteen. Tutkimuksessa olevan rekkavaunun telityypillä K17 on taipumus kerätä lunta ja jäätä laakeripesän ympärille. Eri kalustojen laakeripesän rakenne, muoto ja koko poikkeavat usein toisistaan. Kuvassa 71 on esitelty uudentyypinen kuumakäynti-ilmaisimien koekäytössä, joka mittaa laakeripesän alapinnan lisäksi myös laakeripesän päädyn lämpötilan. Kuumakäynti-ilmaisimen tarkoituksena on mitata lämpötilaan paikasta, jossa lumi, jää tai muu lika ei häiritse mittaustuloksia.



Kuva 71. Laakeripesän lämpötilaa alta ja päädyistä mittaava kuumakäynti-ilmaisimien Kannuksen kuumakäyntiasemalla. /53/

7.4.1 Jään ja lumen mahdollinen vaikutus mittaustuloksiin

Junan nostattamalla lumipölyllä on merkitystä infrapunamittauksella mitattujen lämpötilojen luotettavuuteen. Kuvien 72–73 mukaiset lumipölyt arvioidaan eristävän kuumakäynti-ilmaisimen lämpötilamittaustuloksia noin 10 °C, joka tarkoittaa sitä että kuumakäynti-ilmaisimen mittaama lämpötila jää todellista laakeripesän lämpötilaan alhaisemmaksi. Myös lumen kasaantuminen ja jäätyminen akselipesän ympärille vääristää lämpötilamittaustuloksia. Kuvassa 74 on havainnollistettu matkustajavaunun luminen teli. /47/



Kuva 72. Junan nostattamaa lumipölyä. /54/



Kuva 73. Junan nostattamaa lumipölyä. /55/



Kuva 74. Kuvassa Eipt-matkustajavaunun luminen Minden-Deutz-teli. /56/

Taulukkoon 6 on kerätty edellä mainitussa kappaleessa olevan hälyttäneen rekka-vaunun nro 18 ja kahden muun ei-hälyttäneen vaunun (10 ja 11) lämpötilatiedot. Punaisella merkityt lämpötilat ovat mitattu hälyttäneeltä akselilta. Taulukosta on

tarkoitus arvioida mahdollisen jään ja lumen esiintyminen laakeripesän mittausalueen pinnalla. Taulukkoon on merkattu tummalla numerolla niiden akselilaakeripesien lämpötilat, jotka ovat selvästi laakerin normaalia käyttilämpötilaa alhaisemat koko reitin varrella.

Taulukko 6. Kolmen rekkavaunujen (Sdggngss-w) akselilaakeroinnin ulomman mittauskohdan lämpötilatiedot. /6/

VNo	Aks	Hiekkaharju		Hyvinkää		Harviala		Toijala		Kulju		Ylöjärvi		Vahojärvi		Ratikylä		Louko	
		Abs	ve	Abs	oi	Abs	ve	Abs	oi	Abs	ve	Abs	oi	Abs	ve	Abs	oi	Abs	ve
10	35	6	1	5	20	12	23	25	31	20	18	16	20	33	23	18	17	18	18
10	36	7	0	12	5	16	17	29	24	21	15	12	18	23	25	17	12	17	18
10	37	9	0	14	11	18	18	25	28	21	18	15	17	16	21	16	15	13	17
10	38	5	1	0	18	0	20	5	32	8	24	0	20	0	27	0	24	2	23
11	39	5	3	0	18	1	19	5	31	12	16	0	17	0	29	0	7	0	20
11	40	5	3	0	24	7	18	11	40	16	26	0	23	0	35	0	11	0	29
11	41	6	0	0	0	3	17	11	3	16	3	10	4	9	4	9	2	11	2
11	42	7	1	11	10	19	17	33	18	21	14	16	16	27	28	18	13	20	26
18	67	13	3	29	7	36	16	45	28	36	16	30	7	37	27	30	3	29	27
18	68	5	0	0	23	0	17	4	58	7	33	0	26	0	52	0	6	0	41
18	69	8	0	12	2	20	15	25	4	17	6	9	4	6	4	5	2	5	4
18	70	5	0	1	0	2	17	14	4	12	6	4	3	9	6	6	2	6	3
Nopeus		64-71		98		99		99		97		100		91		91		82-78	
Ulkoilma		-3		-5		-4		-5		-4		-4		-5		-6		-4	

Taulukosta huomataan, että Hiekkaharjun kohdalla lämpötilat eivät ole vielä nousseet kovin korkealle millään laakeripesillä. Tilanteeseen vaikuttaa todennäköisesti -3 °C:ssa oleva ulkoilman lämpötila, jolloin laakerit eivät ole vielä ehtineet lämmentä normaaliin käyttölämpötilaan, koska ajomatkaa on kertynyt vain 18 km. Junan nopeus tässä kohtaa on nousussa ja vain 64–71 km/h.

Tarkastelussa otetaan esille ei-hälyttänyt akselinumero 40, jonka vasemmanpuoleisen laakeripesän lämpötila on noussut ainoastaan 5 °C:sta 16 °C:een 175 km:n matkalla pois lukien Hyvinkään mittausasema, jossa lämpötilaksi on mitattu 0 °C. Tämän jälkeen on mitattu saman laakeripesän lämpötilaksi jokaisella seuraavilla mittausasemalla 0 °C. Tilanteesta voidaan arvioida lumen ja jään mahdollisesti pakkautuneen lopullisesti laakeripesän mittausalueelle, jolloin laakerin lämmitysteho ei ole riittänyt sulattamaan tarpeeksi jäätä. Kyseessä voi olla myös junan nostattama lumipöly ilmaisuuden ja laakeripesän välillä. Ulkoilman lämpötila on pysynyt koko matkan aikana välillä -3...-6 °C.

Vastaavanlaista lämpötilakäyttäytymistä taulukon mukaan on myös akseleiden 38, 39, 41 ja 68 laakereilla. Akselilla 41 mahdollinen lumen ja jään pakkautumisilmiö on aiheutunut puolestaan akselin oikeanpuoleiselle laakeripesälle. Lumen ja jään mahdollisesta pakkautumisilmiöstä on haittana liian suureksi kasvava oikean ja vasemman puolen lämpötilaero aiheuttaen aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä, mikä haittaa myös raideliikenteen sujuvaa liikennöintiä.

7.5 Akselin oikean ja vasemman puolen laakerilämpötilojen vertailua

Taulukkoon 7 on kerätty kaikki tavaravaunujen kuumakäynnit vuosina 2005–2009, joissa havaitaan kuumakäyntien hälytysrajojen mukaan liian suuria lämpötilaeroja oikean ja vasemman puolen laakereilla. Oikean ja vasemman puolen lämpötilaerohälytyksien lisäksi monissa tapauksissa hälytysrajat ovat ylittyneet myös muilla lämpötilamittauksen hälytystyypeillä, esimerkiksi absoluuttisella tai suhteellisella hälytystyypillä. Tavara- ja henkilövaunuilla oikean ja vasemman puolen lämpötilaeron hälytysraja on 50 °C hälytystasolla lämmin. Taulukkoon on koottu lähinnä kaikki ne kuumakäyntihälytykset, joista on selvästi havaittavissa laakerin normaalia käyttölämpötilaan alhaisempi lämpötila joko oikealla tai vasemmalla puolen akselia.

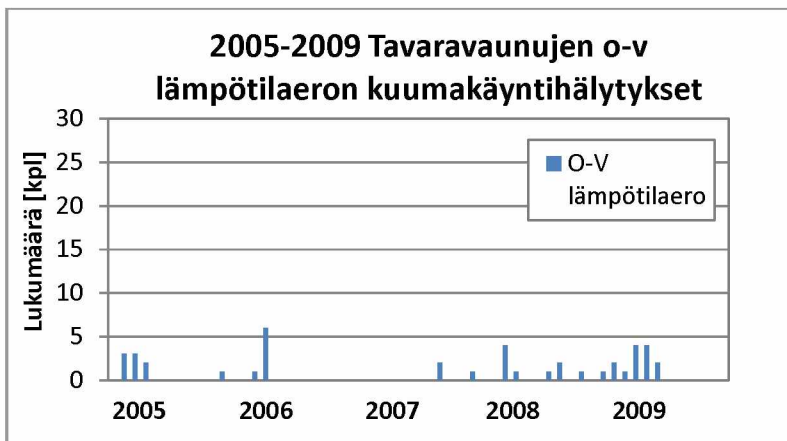
Tässä osiossa tutkimus on rajattu ainoastaan VAE:n kuumakäynti-ilmaisimille, koska Frontecin -kuumakäynti-ilmaisimien hälytystyyppiä ei voida tunnistaa.

Taulukko 7. Tavaravaunujen kuumakäynnit, joissa havaitaan hälytysrajojen mukaan liian suuria lämpötilaeroja oikean ja vasemman puolen laakereilla vuosina 2005–2009. /6/

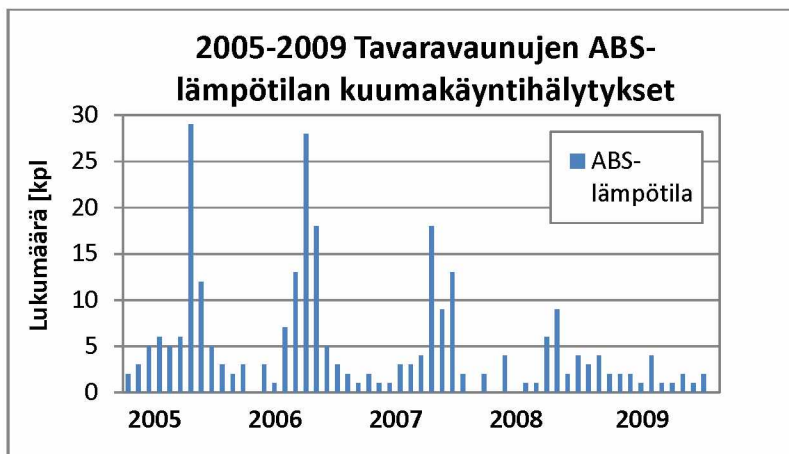
Littera	M.asema	Pvm	Tarkastajan havainnot						Huom!	Noeus [km/h]	Ilma	Lämpötilat absol.			
			Suht	V	O	Ero	Käsi	Toim				Vu	Vs	Os	Ou
Simn-t	Kausala	5.2.05	29						80	-4	0	0	67	5	
	Harju	22.2.05					norm		78	-7	56	4	0	0	
	Taavetti	22.2.05					norm		71	-15	67	16	2	9	
Sim	Myllykoski	5.3.05		17	21	4			61	-4	10	4	59	24	
Gbln-t	Jämsä	6.3.05		28	28	0			80	-18	17	12	16	67	
Gbly	Kulju	6.3.05					norm		72	-9	59	4	3	6	
	Kulju	13.3.05		6	12	6			60	-11	64	4	3	5	
Gbln	Myllykoski	20.3.05					norm		77	-2	7	1	91	3	
Hkb	Hämeenlinna	22.3.05		21	2	19			80	-9	56	18	0	0	
Sgm	Hämeenlinna	5.4.05		25	15	10			76	2	53	24	3	3	
Sim	Hämeenlinna	6.4.05		37	10	27			96	-1	62	32	8	12	
	Kulju	9.11.05					norm		68	9	13	9	59	10	
	Raippo	17.12.05					norm		66	-6	0	0	4	132	
Simn-t	Talviainen	17.12.05	-13						87	-15	0	2	8	150	
Hkb	Ratikylä	4.2.06		5	10	5			78	-24	4	6	21	54	
Sonk	Kulju	5.2.06					norm		84	-21	107	0	0	0	
Tad	Harju	10.3.06							74	-6	56	9	0	0	
Tad	Harju	10.3.06							74	-6	50	9	0	0	
Laais	Kulju	11.3.06					norm		67	-7	111	0	0	0	
Hkb	Harju	14.3.06					norm		83	-15	0	0	25	51	
Laais	Kulju	17.3.06		40	21	19			69	1	69	5	3	14	
Simn-t	Talviainen	22.3.06		35	18	17			92	-17	53	26	27	2	
Sim	Toijala	14.2.07					norm		77	-9	39	56	4	27	
Gbln-t	Kulju	19.7.07		23	23	0			69	15	81	21	19	22	
Occ	Hiekkaharju 1	21.7.07					norm		96	15	65	37	35	15	
Bsoek	Kausala	20.10.07	25						79	4	82	14	10	30	
Fat	Kausala	3.1.08					norm		86	-8	34	52	2	21	
Simn-t	Kokemäki	4.1.08	10						74	-6	38	65	8	2	
	Hiekkaharju 1	5.1.08							91	-4	0	0	0	56	
Simn-t	Utti	25.1.08					norm		54	2	51	60	7	8	
Zan-v	Jämsä	28.2.08					norm		82	1	27	19	24	81	
Spa	Taviainen	1.3.08					norm		81	-3	36	20	70	32	
Laais	Kulju	30.5.08		35	37	2			68	18	38	74	24	33	
Shimmn	Harviala	15.6.08					norm		73	17	35	22	71	33	
Gbln-t	Kulju	18.6.08					norm		64	13	67	15	15	16	
Shimmn	Harviala	10.8.08	30						76	21	35	24	82	32	
Gbln-t	Kulju	20.10.08					norm		82	10	62	20	10	10	
Sp	Kausala	27.11.08							87	-3	1	51	0	2	
Laais	vahojärvi	3.12.08		40	40				91	3	75	61	8	38	
Simn-t	Jämsä	11.1.09		37	37				68	0	38	68	18	20	
Simn-t	Kangasala	11.1.09					kuuma	korj	50	1	16	14	79	45	
Habbin	Myllykoski	12.1.09		6	69		kuuma		79	6	6	7	69	27	
Hkb	Harviala	29.1.09		10	10	0			89	-3	54	21	2	4	
Koev	Ratikylä	3.2.09	0				norm		88	-5	50	16	3	0	
	Hiekkaharju 1	14.2.09							53	-8	62	8	12	0	
Shmmn	Kulju	20.2.09		20	24	4			86	-5	28	16	78	33	
Sdggngqss	Toijala	20.2.09		23	26	3			98	-5	4	12	5	58	
Sdggngqss	Vahojärvi	21.2.09		40	35	5			89	-5	0	1	8	52	
Simn-t	Utti	21.2.09		281	10			korj	62	-7	42	71	13	33	
Sob	Hyvinkää	14.3.09	65				norm		69	4	11	7	16	65	
Laais	Kulju	26.3.09					norm		70	-8	70	6	8	11	

Taulukkoon 7 on merkitty tarkastajan mitaamat tavaravaunujen laakeripesien lämpötilat, jotka ovat mitattu joko käsin kokeilemalla tai oikealla lämpötilamittarilla kuumakäyntihälytyksen jälkeen. Juna on pysäytetty joko välittömästi radanvarrelle tai ensimmäiselle mahdolliselle tarkastuspaikalle riippuen hälyttäneen laakerin lämpötilan suuruudesta. Tarkastajan mitaamista tuloksista havaitaan taulukon 7 mukaan, että kaikista 51 hälytyksestä vain kolmessa laakeripesässä on havaittu huoltoon oikeuttava todellinen laakeripesän yilämpö. Näin ollen vuodesta 2005 vuoteen 2009 kesäkuuhun mennessä on tavaravaunukalustolla tapahtunut 48 aiheetonta oikean ja vasemman puolen lämpötilaeroista johtuvaa kuumakäyntitapausta, jotka ovat hidastaneet rautatieliikenteen liikennöintiä. Lähes kaikki edellä olevassa taulukossa olevat hälytykset ovat tapahtuneet talviaikaan, jolloin lämpötila-arvoiksi on mitattu useasti 0 °C tai 0 °C:een tuntumassa olevia lämpötiloja.

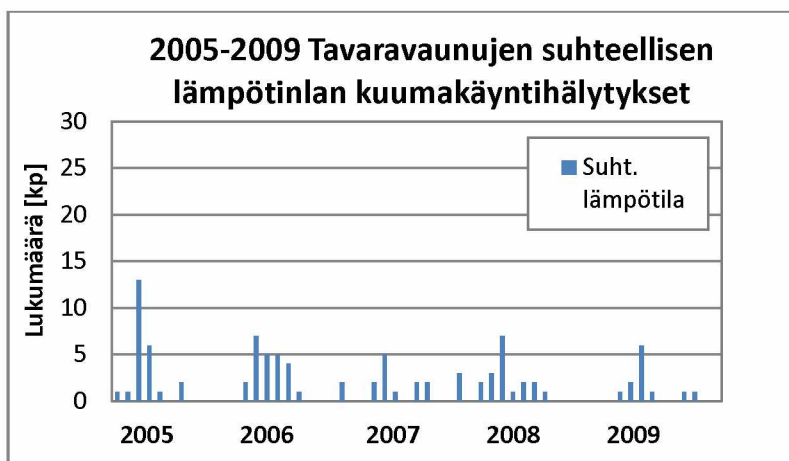
Kuvissa 75–77 on havainnollistettu tavaravaunujen kuumakäyntien hälytystyyppit VAE:n kuumakäynti-ilmaisimilla vuodenajan mukaan. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa erilaisten lämpötilamittauksen - oikean ja vasemman puolen, absoluuttisen sekä suhteellisen lämpötilahälytystyyppien esiintymiset vuodenajan mukaan.



Kuva 75. 2005–2009 syyskuuhun tavaravaunujen oikean ja vasemman puolen lämpötilaeron kuumakäyntihälytykset kuukausittain.



Kuva 76. 2005–2009 syyskuuhun tavaravaunujen ABS-lämpötilan kuumakäyntihälytykset kuukausittain.



Kuva 77. 2005–2009 syyskuuhun tavaravaunujen suhteellisen lämpötilan kuumakäyntihälytykset kuukausittain.

Kuvista 75–77 huomataan, että tavaravaunuilla oikean ja vasemman puolen sekä suhteellisen lämpötilamittauksen kuumakäyntihälytyksiä ilmenee eniten alku ja loppuvuodesta. Absoluuttisen lämpötilan kuumakäyntejä ilmenee tavaravaunuilla yleisesti eniten ja niiden suurin esiintyneisyys on kesäaikaan.

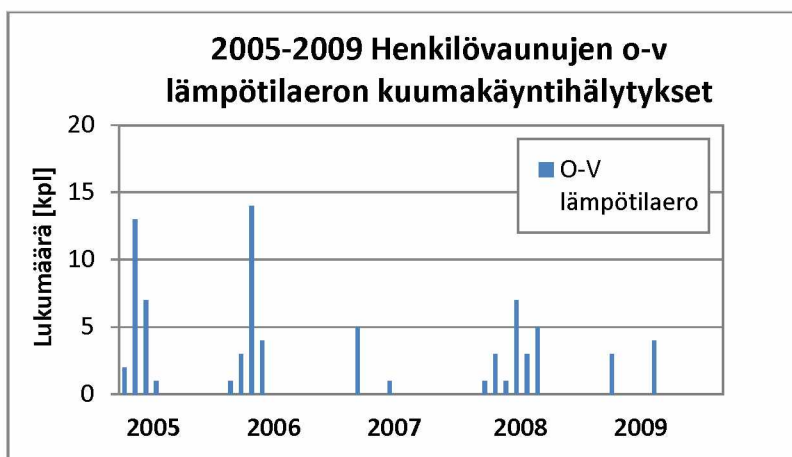
Taulukkoon 8 on kerätty kaikki henkilövaunujen kuumakäynnit vuosina 2005–2009 syyskuuhun edellisen tavaravaunutaulukon mukaisesti, joissa havaitaan kuumakäyntien hälytysrajojen mukaan liian suuria lämpötilaeroja oikean ja vasemman puolen laakereilla.

Taulukko 8. Henkilövaunujen kuumakäynnit, joissa havaitaan hälytysrajojen mukaan liian suuria lämpötilaeroja oikean ja vasemman puolen laakereilla vuosina 2005–2009. /6/

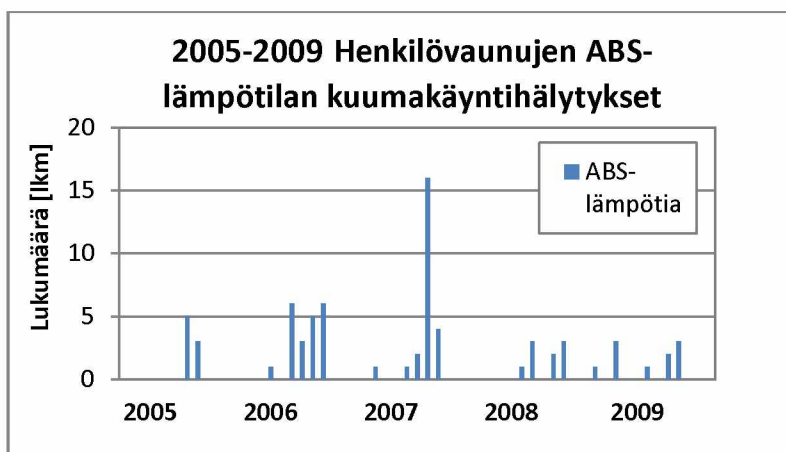
Littera	Kalust. num.	Masema	Pvm	Tarkastajan havainnot				Nopeus [km/h]	Ilma	Lämpötilat absol.						
				Suht.	V	O	Ero			Kasi	Toim	Huomi	Vu	Vs	Os	Ou
Ed	23233	Toijala	11.1.05					norm			158	3	54	32	3	4
Ein	23253	Kulju	22.1.05		54	67	13				135	-2	3	5	53	80
Ex	26217	Ratikylä	31.1.05					kuuma	korj		144	-3	13	13	106	150
Ex	26301	Kulju	16.2.05		5	44	39				138	-12	0	5	29	52
Ex	26301	Toijala	16.2.05					lämm			159	-12	1	8	13	54
Ed	28004	Hämeenlinna	17.2.05					norm			134	-7	61	34	0	0
Ed	28004	Rauha	18.2.05					norm			132	-2	54	18	7	4
Ed	28004	Taavetti	18.2.05					norm			137	-1	57	23	3	1
Ed	28004	Utti	18.2.05					norm			138	-1	57	25	2	0
Ed	28004	Vuolinko	18.2.05		42				korj		126	-5	74	33	4	3
Ed	28004	Hämeenlinna	20.2.05		7	0	7				127	-1	58	35	0	0
Ed	28048	Hämeenlinna	20.2.05					norm			156	-5	52	32	2	2
Ed	28048	Hiekkaharju 1	21.2.05					norm			131	-4	59	33	3	2
Ed	28048	Hämeenlinna	21.2.05		40	35	5				148	-8	50	24	0	0
Edb	28401	Toijala	25.2.05		32	17	15				161	0	51	36	0	0
Ed	28049	Toijala	25.2.05		10	4	6				160	-8	50	30	0	0
Ed	28032	Ylöjärvi	3.3.05		32	12	20				159	-6	58	34	3	3
Edfs	28306	Toijala	9.3.05		23	13	10				159	-5	50	21	0	0
Ed	28054	Toijala	9.3.05					norm			160	-9	50	16	0	0
Edfs	25032	Toijala	11.3.05					norm			160	-7	50	19	0	0
Ed	28054	Hämeenlinna	12.3.05					norm			151	-6	58	28	7	7
Ed	28054	Toijala	12.3.05		33	13	20				161	-5	52	24	0	0
Ed	28054	Toijala	13.3.05		10	3	7				158	-3	53	23	0	0
IC2	28402	Hiekkaharju 1	11.4.05		20			norm			38	4	62	40	14	12
Cx	26113	Hyvinkää	26.11.05					norm			158	1	58	50	16	5
Ed	28040	Vahojärvi	4.12.05								155	-4	55	30	8	5
Ed	28040	Hiekkaharju 1	14.12.05		14						80	-1	6	3	35	57
Ed	28047	Toijala	1.1.06					norm			140	-1	53	34	3	2
Ed	28040	Hiekkaharju 1	4.1.06					norm			139	-2	1	2	36	60
Ed	28008	Hiekkaharju 1	9.1.06		7						126	-1	9	3	26	61
Eds	28209	Ylöjärvi	9.1.06		35	42	7				155	-6	59	33	5	5
Eds	28209	Ylöjärvi	15.1.06		68	54	14				156	-2	68	36	13	16
Rk	27814	Taavetti	17.1.06					norm			139	-18	3	23	34	57
Eds	28205	Haukka	20.1.					norm			138	-21	1	4	21	52
	V30986	Hiekkaharju 1	20.1.					norm			59	-17	0	0	3	64
Edfs	28304	Hyvinkää	30.1.								155	0	11	13	41	69
Edfs	28304	Hyvinkää	30.1.			50					118	-2	9	17	36	60
Edfs	28304	Hämeenlinna	30.1.				68				135	-2	17	17	52	82
Edfs	28304	Kulju	30.1.		18	58	40				157	-2	12	10	63	66
Eds	28209	Toijala	31.1.		7						147	-2	58	58	8	8
Ed	28001	Ratikylä	16.2.06		13				kiskoj. Alhaalla		146	-7	0	64	12	3
Ed	28047	Hiekkaharju 1	20.2.06					norm			59	-1	8	6	33	59
Edfs	28302	Hiekkaharju 1	22.2.06					lämm	korj		103	-4	1	5	29	53
Effiti	23659	Muurame	23.2.06		10	10	0				54	-2	4	25	30	54
Effiti	23535	Hiekkaharju 1	27.2.06		57						114	-6	57	37	5	0
Ei	27017	Loukko	7.11.06					norm			120	3	7	13	33	58
Edb	28424	Hiekkaharju 1	8.11.06								102	-2	2	5	35	54
Edb	28424	Hiekkaharju 1	9.11.06					norm			109	-5	1	2	28	51
Edb	28424	Hiekkaharju 1	17.11.06					norm			112	4	5	5	34	56
Ed	28016	Hiekkaharju 1	22.11.06								145	9	16	13	45	67
Eds	28204	Hiekkaharju 1	19.2.07								80	-9	55	25	5	5
Edb	28402	Toijala	28.11.07					norm			155	-5	52	11	4	2
	28301	Toijala	3.12.07					norm			150	2	64	15	13	13
	28301	Toijala	3.12.07					norm			159	1	63	19	10	9
	28301	Toijala	3.12.07					norm			159	0	58	22	7	4
Edfs	28307	Toijala	5.1.08					norm			162	-10	53	26	1	0
Ed	28055	Harviala	4.2.08		6	6	0				159	1	6	12	37	56
Edfs	28307	Toijala	14.2.08		17	25	8				158	-3	55	27	6	4
Edfs	28307	Toijala	14.2.08					norm			159	-5	55	27	7	4
Edfs	28307	Toijala	15.2.08		17	17	0				150	-7	53	24	4	3
Edfs	28307	Toijala	15.2.08					norm			158	-6	56	28	6	3
Edb	28404	Toijala	15.2.08					lämm			151	-8	55	30	4	3
Edfs	28307	Toijala	2.3.08					norm			154	-1	61	37	9	7
Edfs	28055	Tommola	5.3.08					norm			158	-5	8	8	32	58
Ed	28007	Harviala	9.3.08		32	31	1				161	3	13	12	40	63
Edb	28411	Uusikylä	10.4.08					norm			140	1	4	5	44	55
Edb	28411	Tommola	11.4.08					norm			160	-1	62	36	5	5
Edb	28411	Mäntsälä	11.4.08					norm			160	-1	66	48	7	7
Edb	28411	Hiekkaharju 1	11.4.08					norm			48	1	77	60	3	4
	28307	Toijala	14.4.08		44	28	16				161	2	61	35	12	10
Expt	26404	Vahojärvi	23.11.08		17						154	-5	71	68	11	13
Expt	26415	Vahojärvi	23.11.08					norm			141	-4	4	6	40	71
Ex	26226	Vahojärvi	27.11.08		8	18					155	-4	62	55	6	7
Eil	25047	Hiekkaharju 1	15.12.08		0			norm			95	1	120	10	9	9
	V14690	Hiekkaharju 1	29.12.08		0						84	1	3	2	113	5
Ex	26227	Vahojärvi	3.3.09		19	19			lovet pri		154	-2	11	13	58	72
Ed	28012	Toijala	12.3.09		12	12					156	-1	12	12	41	62
Ed	28012	Hyvinkää	13.3.09		57			lämm			159	2	8	8	39	59
Ed	28012	Toijala	13.3.09		25	28	3				159	0	15	12	45	67

Taulukkoon 8 on merkitty tarkastajan mittaamat henkilövaunujen laakeripesien lämpötilat, jotka ovat mitattu joko käsin kokeilemalla tai oikealla lämpötilamittarilla kuumakäyntihälytyksen jälkeen. Juna on pysäytetty joko välittömästi radanvarrelle tai ensimmäiselle mahdolliselle tarkastuspaikalle riippuen hälyttäneen laakerin lämpötilan suuruudesta. Tarkastajan mittaamista tuloksista havaitaan, että kaikista 79 hälytyksestä vain yhdeksässä laakeripesässä on havaittu huoltoon oikeuttava laakeripesän ylitämpö. Näin ollen vuodesta 2005 vuoteen 2009 syyskuuhun mennessä on henkilövaunukalustolla tapahtunut 70 aiheetonta oikean ja vasemman puolen lämpötilaeroista johtuvaa kuumakäyntitapausta, jotka ovat hidastaneet rautatieliikenteen liikennöintiä. Aiemmin käsitellyn tavaravaunukaluston ohella myös henkilövaunuilla lähes kaikki kuumakäyntihälytykset ovat tapahtuneet talviaikaan, jolloin lämpötila-arvoiksi on mitattu useasti 0 °C tai 0 °C:een tuntumassa olevia lämpötiloja.

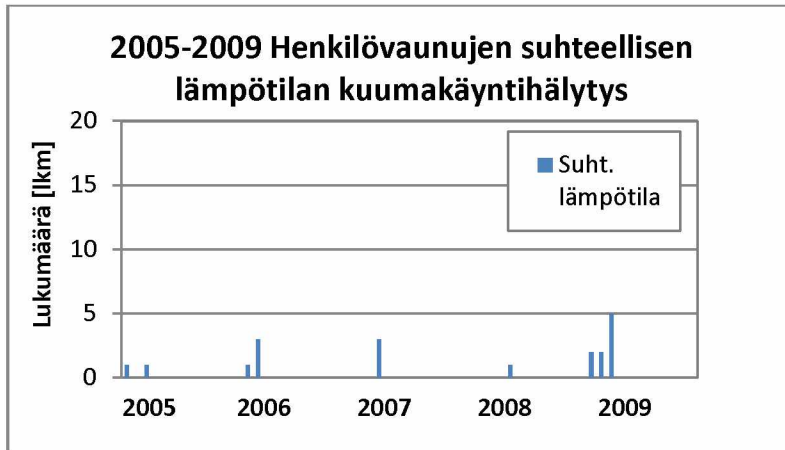
Seuraavissa kuvissa 78–80 on havainnollistettu henkilövaunujen kuumakäyntien hälytystyypit VAE:n kuumakäynti-ilmaisimilla vuodenajan mukaan. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa oikean ja vasemman puolen, absoluuttisen sekä suhteellisen lämpötilahälytystyyppien esiintymiset vuodenajan mukaan.



Kuva 78. Vuosina 2005–2009 syyskuuhun havaitut henkilövaunujen oikean ja vasemman puolen lämpötilaeron kuumakäyntihälytykset kuukausittain.



Kuva 79. Vuosina 2005–2009 syyskuuhun havaitut henkilövaunujen ABS-lämpötilan kuumakäyntihälytykset kuukausittain.



Kuva 80. Vuosina 2005–2009 syyskuuhun havaitut henkilövaunujen suhteellisen lämpötilan kuumakäyntihälytykset kuukausittain.

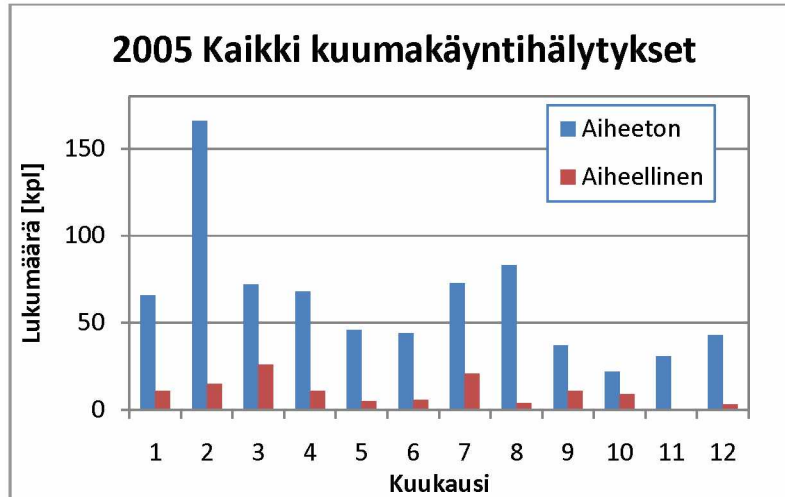
Kuvista 78–80 huomataan, että henkilövaunuilla oikean ja vasemman puolen sekä suhteellisen lämpötilan kuumakäyntihälytyksiä ilmenee eniten alku- ja loppuvuodesta. Absoluuttisen lämpötilan kuumakäyntejä ilmenee henkilövaunuilla yleisesti eniten ja niiden suurin esiintyneisyys on kesäaikaan. Vertailtaessa henkilö- ja tavaravaunuja huomataan, että henkilövaunuilla oikean ja vasemman puolen lämpötilaeroista johtuvia kuumakäyntihälytyksiä on aiheutunut talviaikaan huomattavasti enemmän, vaikka tavaravaunujen vuosittainen akselikilometrimäärä on noin kaksinkertainen henkilövaunuihin verrattuna. Syynä saattaa olla henkilövaunujen kuumakäyntihälytysherkkyys talvikelillä muun muassa erityyppisten laakeripesä-rakenteiden ja mittojen takia.

Taulukoiden 7 ja 8 mittaustuloksista voidaan tehdä vain arvioita ja johtopäätelmiä lumen ja jään tai muiden seikkojen vaikutuksesta tilanteeseen. Ongelmaa voitaisiin tutkia tehokkaimmin talviaikaan suoritettavilla käytännön tutkimuksilla, jolloin saataisiin luotettavampia tuloksia ja ratkaisuja edellä mainittuun ongelmaan. Yhtenä tekijänä kyseiseen ongelmaan voidaan arvioida myös auringon lämmittävää vaikutusta toisella puolella junan laakeripesiä etenkin kevättalvella.

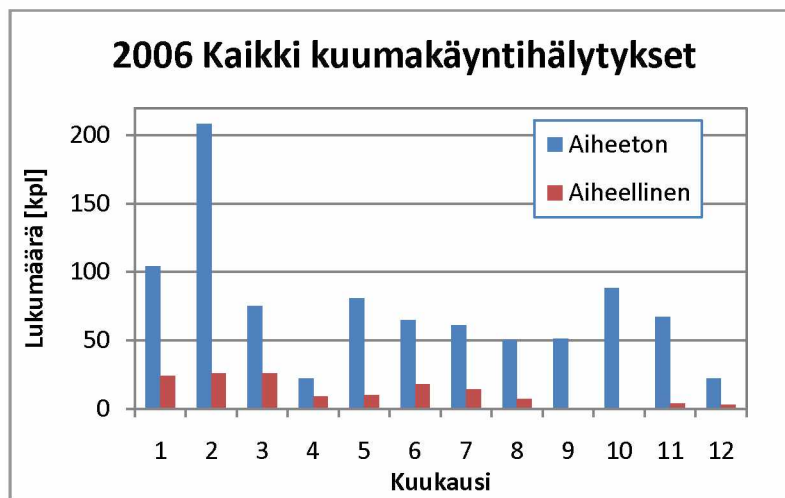
Auringonpaisteen mahdollista vaikutusta mittaustuloksiin voitaisiin kompensoida kahdella ulkoilman lämpötilamittarilla, jotka asennettaisiin radassa olevalle kuumakäynti-ilmaisimen molemmille puolille esimerkiksi laakeripesän tasolle tai kuumakäyntiasemarakennuksen vastakkaisille seinille radan suuntaisesti. Näin voitaisiin ehkäistä junan vasemman ja oikean puolen liian suuri lämpötilaero, joka johtuu ulkoilman vaikutuksista. Ulkolämpömittarin vasemman ja oikean puolen lämpötilaeroa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kuumakäynti-ilmaisimen oikean ja vasemman puolen lämpötilaeron lämpötilamittaustuloksiin. Tuulen suunta ja voimakkuus etenkin kovalla pakkasella voitaisiin näin myös huomioida lämpötilamittaustuloksissa.

Kuvissa 81–86 on havainnollistettu kaikki rautateiden liikkuvan kaluston kuumakäynnit ajan mukaan vuoden 2005 tammikuusta vuoden 2009 syyskuuhun. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa sellaisten hälytyksien määrä, joista on aiheutunut jatkotoimenpiteitä kaluston kunnossapidolle. Mikäli tarkastajan mittaukset eivät edellytä kaluston ohjaamista huoltoon, on tilanteesta aiheutunut turha toimenpide, joka haittaa yleensä rautatieliikenteen sujuvaa liikennöintiä. Kuvissa pylväs aiheeton kuvaa niitä kuumakäyntihälytyksiä, joista ei ole aiheutunut jatkotoimenpiteitä

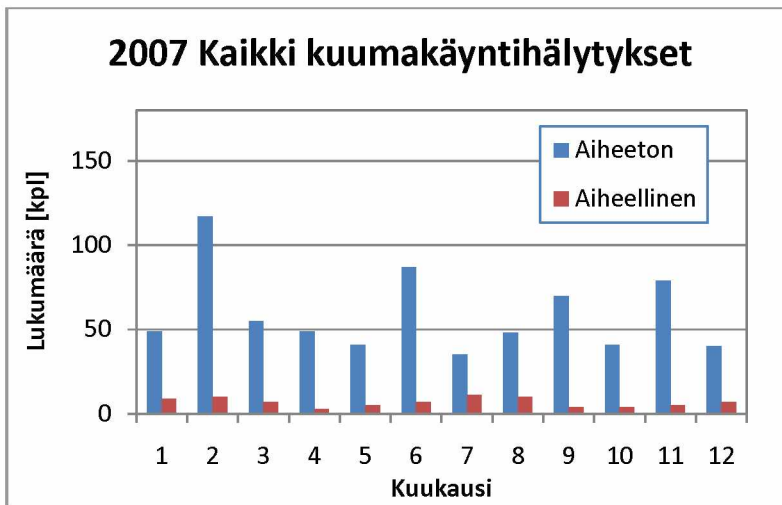
kunnossapidolle. Aiheellinen pylväs kuvaa tilannetta, jossa kalusto on toimitettu tilanteen mukaan kunnossapidolle jatkotoimenpiteisiin. Korjaustoimenpiteisiin ovat johtaneet laakerivaurion lisäksi monissa tapauksissa myös jarrujen laahauksesta aiheutuneet kuumakäyntihälytykset.



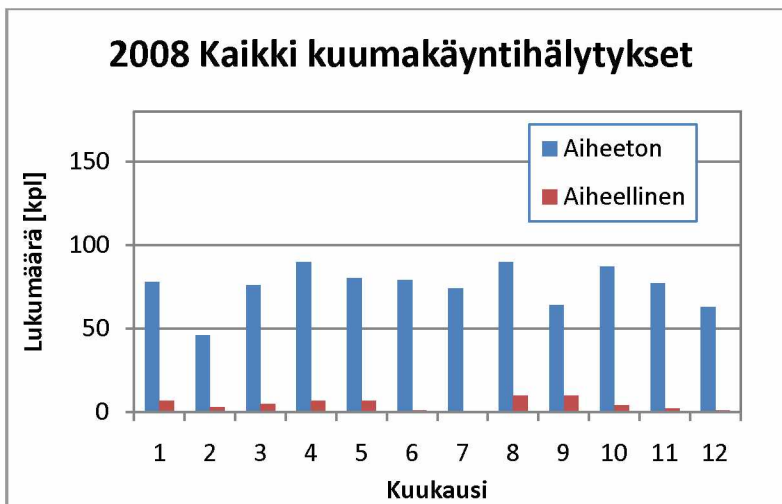
Kuva 81. Vuoden 2005 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.



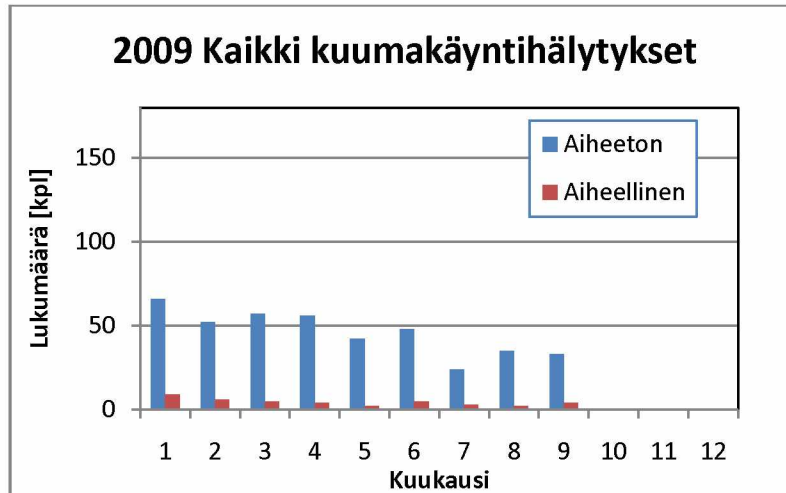
Kuva 82. Vuoden 2006 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.



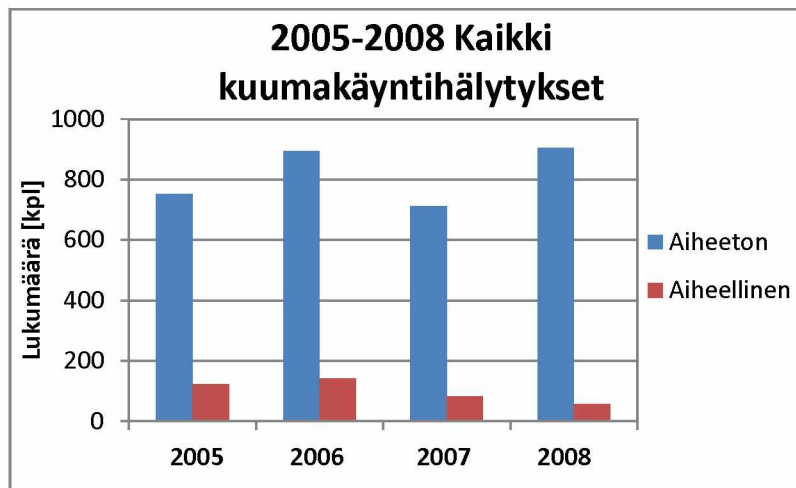
Kuva 83. Vuoden 2007 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.



Kuva 84. Vuoden 2008 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.



Kuva 85. Vuoden 2009 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.



Kuva 86. 2005–2008 Kuumakäyntihälytysten vertailua kaikilla rautateiden liikkuvilla kalustoilla.

Kuvista 81–86 havaitaan aiheettomien kuumakäyntihälytysten määrän olevan monikertainen kuukausittain tutkitulla ajanjaksolla verrattuna toimenpiteisiin johtaneisiin aiheellisiin hälytyksiin. Tutkimusten mukaan pahin tilanne oli kuvan 86. mukaan vuonna 2008, jolloin keskimäärin vain noin 15 % tarkastajan kuumakäyntimittauksista johti kalustolle kunnossapidollisia jatkotoimenpiteitä. Toisin sanoen kuumakäynnin vuoksi 85 % pysäytetyistä junista ei aiheuttanut jatkotoimenpiteitä. Yksi keino aiheettomien kuumakäyntihälytysten vähentämiseksi on suorittaa mittauksia kokeellisin menetelmin. Näin saataisiin parempaa tietoa mittalaitteen ja liikkuvan kaluston keskinäisestä vuorovaikutuksesta.

7.6 Sm3:n takautuvia mittaustuloksia kuumakäynneistä

VR Engineeringilta on saatu tutkimusta varten kahdeksan Sm3-junan kuumakäyntitapausta, joiden avulla tavoitteena on selvittää tutkimuskysymyksen pohjalta, voidaanko saada luotettavaa tietoa alkavasta laakerin kuumakäynnistä ketjuttamalla kuumakäyntiasemien mittaustietoja. Tässä tutkimuksessa mittaustietojen ketjuttamisella tarkoitetaan saman reitin varrella olevien kuumakäyntiasemien ohittaneen junan laakerilämpötilamittaustuloksien yhdistämistä. Näin voidaan seurata erikseen jokaisen laakeripesän lämpötilan kehittymistä kuljetun matkan aikana ja tutkia, voidaanko laakerin yllämpenemisen vaaraa tunnistaa jo ennen kuumakäyntihälytystä.

Seuraavassa tutkitaan takautuvasti Sm3:n kuumakäyntimittaustuloksia välillä Helsinki–Seinäjoki ja Helsinki–Mikkeli. Helsinki–Seinäjoki välillä sijaitsee yhdeksän kuumakäyntiasemaa ja Helsinki–Mikkeli välillä kahdeksan kuumakäyntiasemaa. Mittausasemien välimatkataulukot ovat esitetty taulukossa 9.

Tutkimuksessa on määritetty hälyttäneiden laakeripesien lämpötilajakaumien lisäksi myös ei hälyttäneiden laakeripesien lämpötilajakaumat. Näin voidaan verrata keskenään hälyttäneen ja hälyttämättömän akselin laakeripesän lämpötilojen kehittymistä tutkitulla matkalla.

Taulukko 9. Sm3-junan välimatkataulukot tutkituilla reiteillä. /6/

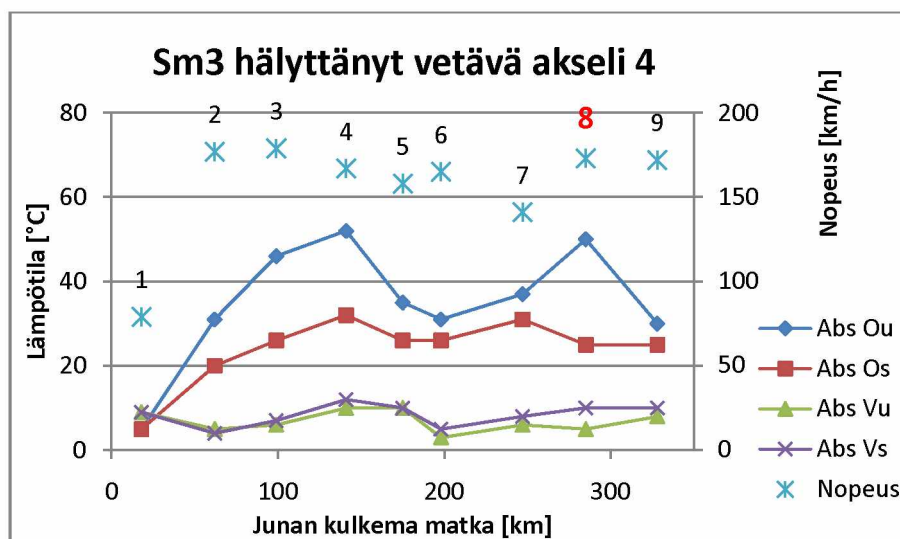
Mittausasemat	Matka [km]	Mittausasemat	Matka [km]	Mittausasemat	Matka [km]	Mittausasemat	Matka [km]
Hki-Sk	0	Sk-Hki		Hki-Mi		Mi-Hki	
1. Hiekkaharju	18	1. Louko	0	1. Hiekkaharju	18	1. Vuolinko	0
2. Hyvinkää	62	2. Ratikylä	43	2. Mäntsälä	57	2. Voikoski	51
3. Harviala	99	3. Vahojärvi	81	3. Tommola	122	3. Harju	95
4. Toijala	141	4. Ylöjärvi	130	4. Uusikylä	146	4. Kausala	117
5. Kulju	175	5. Kulju	153	5. Kausala	175	5. Uusikylä	146
6. Ylöjärvi	198	6. Toijala	187	6. Harju	197	6. Tommola	170
7. Vahojärvi	247	7. Harviala	229	7. Voikoski	241	7. Mäntsälä	235
8. Ratikylä	285	8. Hyvinkää	266	8. Vuolinko	292	8. Hiekkaharju	274
9. Louko	328	9. Hiekkaharju	310				

Taulukko 10. Sm3-junien keskimääräiset laakeripesien lämpötilat ulomman puolen mittauskohdasta eri ulkoilman lämpötiloilla.

Sm3 laakeripesien keskimääräiset lämpötilat			
Lämpötila [°C]	Nopeus [km/h]	Ilman lämpöt.	Lähdetiedot
[ka]	[ka]	[°C][ka]	
18	166	-5	22.2.2009 Hki-Sk
27	173	5	7.5.2009 Tre-Hki
32	170	15	7.7.2009 Sk-He

Taulukossa 10 laakeripesien keskimääräiset lämpötilat ovat laskettu laakeripesän ulommasta mittauskohdasta. Lämpötilojen ja nopeuksien keskiarvot ovat laskettu taulukon lähdetietojen mukaan, joissa on kolmen eri Sm3-junan kulkemat matkat kolmena eri ulkoilman lämpötiloina.

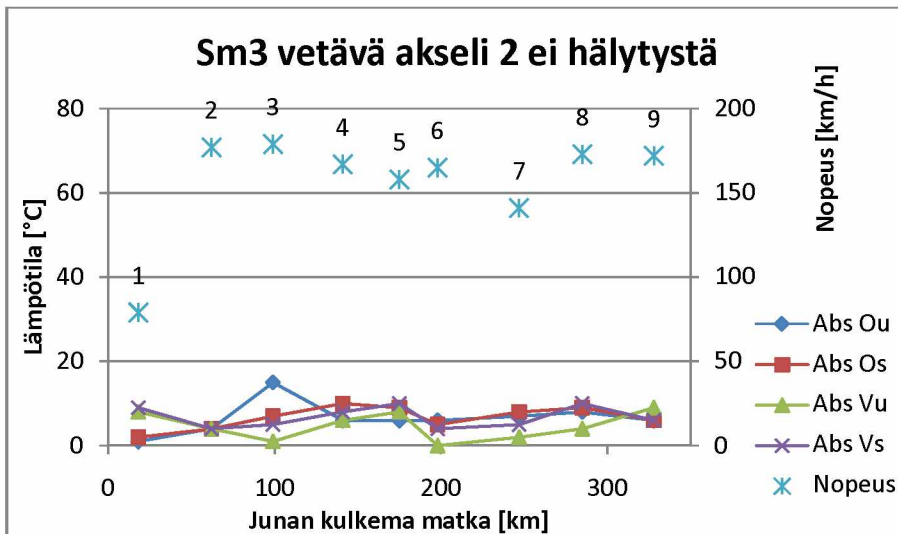
Kuvien 87 ja 88 Sm3-juna on kulkenut Helsingistä Ouluun ja pysähtynyt tutkitun välin väliasemilla (Hki-Sk) 3 kertaa. Kuumakäyntihälytys on tapahtunut Ratikylässä (mittausasema 8) ja sen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 11 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 87. Sm3-junan veturin takatelin vetävän akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (20.2.2009 Hki-Sk -6 °C).

Taulukko 11. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Sm3		Ratikylä	20.2.09		17	35	18					171	-6	5	10	25	50



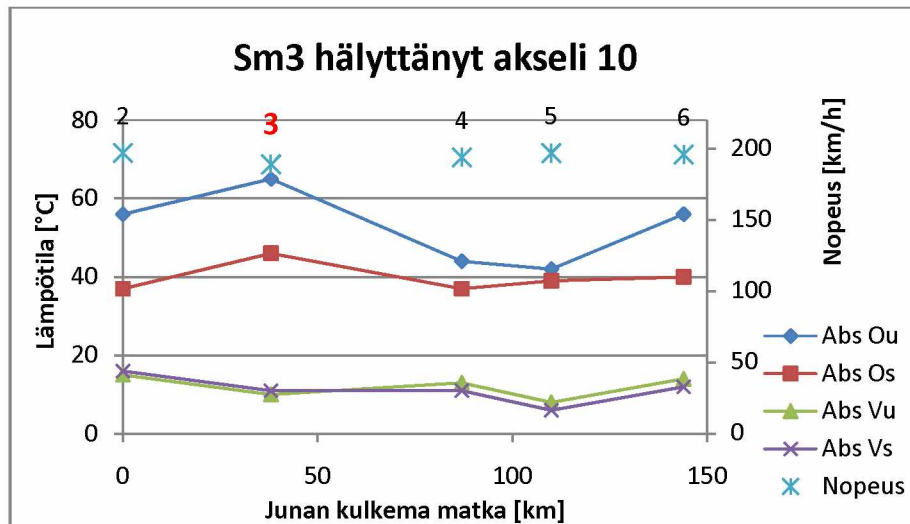
Kuva 88. Sm3-junan veturin etuaterelin vetävän akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (20.2.2009 Hki-Sk -6 °C).

Kyseisessä kuumakäyntihälytyksessä ei varsinaisesti ole kyse laakerin yllämenemisestä, vaan vasemman puolen laakeripesän poikkeuksellisen alhaisesta lämpötilasta ja oikean puolen laakeripesän normaalia korkeammasta lämpötilasta. Taulukossa 11 tarkastajan mittaamien lämpötilojen suuruuksien perusteella junan matka on saanut jatkaa, eikä uusia hälytyksiä ole ilmennyt kyseisellä matkalla.

Kuvan 87 ei hälyttäneen laakeripesän lämpötilat (ABS Vu/Vs) ovat alle 20 °C koko tutkitun matkan ajan. Kuvasta 88 havaitaan, että ei hälyttäneen akselin laakeripesien lämpötilat ovat myös normaalit ja alle 20 °C koko tutkitun matkan ajan. Kuvan 88. tilanne antaa kuitenkin jo viitteitä laakerin poikkeuksellisen korkeasta lämpötilasta, etenkin kun kyseessä on useamman asteen pakkaskeli.

Keskimääräistä käyttölämpötilaa korkeammalla käyvät laakerit saattavat kuitenkin kestää koko elinkaarensa ajan, jolloin laakerin vaihtoa ei ole tarpeellista suorittaa kuumakäyntihälytyksistä huolimatta. Kyseinen tilanne aiheutti näin ollen yhden aiheettoman hälytyksen sekä yhden lähellä olevan aiheettoman hälytyksen. Mittaus-tietojen ketjuttamisella voitaisiin tunnistaa tehokkaammin kuumakäyntihälytysrajoja lähellä olevat lämpötilat ja tarkkailla aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä, jotka hidastavat raideliikenteen sujuvuutta.

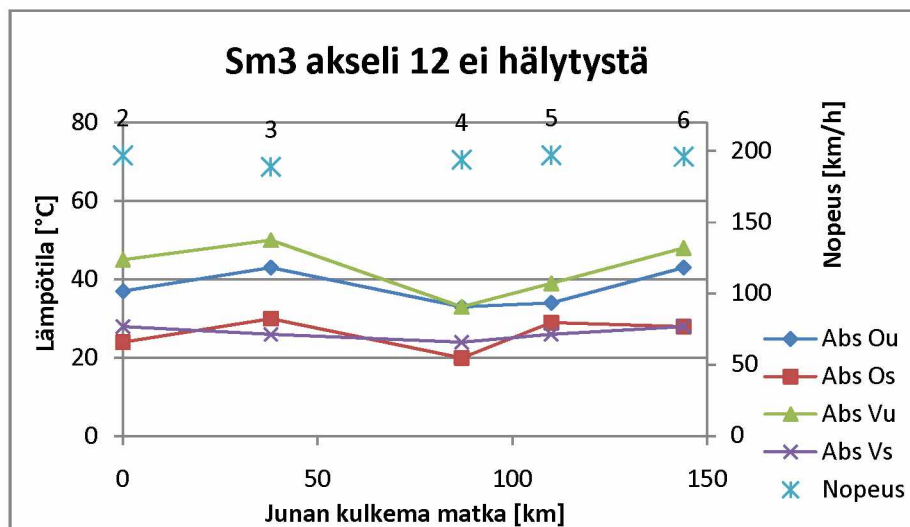
Kuvien 89 ja 90 Sm3-juna on kulkenut Seinäjoelta Helsinkiin ja pysähtynyt tutkitun välin väliasemilla 2 kertaa. Lämpötilatiedot ovat vain väliltä Ratikylä-Toijala ja hälytys on annettu Vahojärvellä (mittausasema 3). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 12 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 89. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (14.3.2009 Sk-Hki -1 °C...+2 °C).

Taulukko 12. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmiasimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Sm3	7302	Vahojärvi	14.3.09		0	0						191	-1	10	11	46	65



Kuva 90. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (14.3.2009 Sk-Hki -1 °C...+2 °C).

Taulukon 12 mukaan tarkastaja on mitannut hälyttäneen akselin laakeripesien lämpötiloiksi 0 °C. Tarkastajan mittaamia lämpötiloja ja mahdollista alkavaa laakerivauriota on vaikeaa arvioida, ellei tiedetä junan pysähdyksissä ollutta aikaa ennen tarkastajan lämpötilamittausta. Tarkastajan mittauksista voidaan kuitenkin päätellä junan olleen pysähdyksissä niin kauan kunnes laakeripesät ovat jäähtyneet lähes ulkoilmaa vastaaviin lukemiin. Hälyttäneeltä kuumakäyntiasemalta on matkaa seuraavalle kuumakäyntiasemalle 49 km. Kuumakäyntiasemien aikatieojen mukaan kyseinen juna on käyttänyt aikaa tähän matkaan 31 minuuttia, jolloin junan

keskinopeudeksi saadaan noin 100 km/h. Junalla on ollut maksimissaan 15 min aikaa pysäyttää juna ja suorittaa lämpötilamittaus, jonka jälkeen junan on täytynyt ajaa toiset 15 minuuttia seuraavalle kuumakäyntiasemalle nopeudella 200 km/h. Kuvan 89 mukaan junan nopeus on ollut kuumakäyntihälytyksen jälkeen lähes 200 km/h jokaisilla seuraavilla kuumakäyntiasemilla. Laakeripesän jäähtyminen tarkastajan mittaamaan 0 °C:een välittömästi pysäytyksen jälkeen on epätodennäköistä. /52/

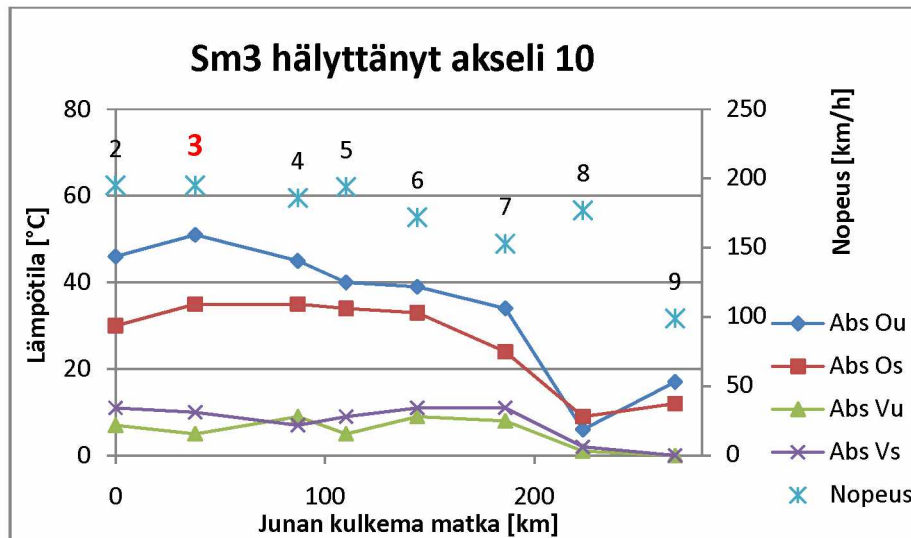
Hälyttäneen laakeripesän lämpötila on hieman laskenut kahdella seuraavalla kuumakäyntiasemalla, jonka jälkeen lämpötila on taas noussut lähes 60 °C:een. Kolmelta viimeiseltä asemalta ennen junan pääteasemaan kuumakäyntimittauksia ei ole saatavilla. Syynä saattaa olla junan poisto radalta tai kuumakäyntiaseman epäkunto. Kuvan 90 mukaan ei hälyttäneen akselin laakeripesän lämpötilat myötäilevät hyvin hälyttäneen laakeripesän (kuva 89) lämpötilajakaumia, mutta pysyvät silti hyvin hälytysrajojen alapuolella.

Mittaustietojen ketjuttamisella voidaan havaita kuvan 89 mukaan laakeripesän oikean puolen poikkeava lämpötilan käytös suhteessa vasemman puoleiseen laakeripesään koko matkan aikana. Kyseisestä Sm3-junasta on aiheutunut ainakin yhdeksän kuumakäyntihälytystä helmi- ja huhtikuun välillä vuonna 2009. Yhdeksästä kuumakäyntihälytyksestä kolme on ollut samalla junamatkalla. Syynä jokaiseen hälytykseen on ollut oikean ja vasemman puolen lämpötilaero, koska toisen puolen akselin laakeripesä on keskimääräistä lämpötilaa alhaisempi ja toinen laakeripesä keskimääräistä lämpötilaa korkeampi. Kyseiset kuumakäynnit eivät ole johtaneet tarkastajan mukaan jatkotoimenpiteisiin. Aiheettomien kuumakäyntien vähentämiseksi voitaisiin lämpötilamittaustietojen ketjuttamisen avulla tutkia tarkemmin niiden laakeripesien lämpötilakäyttäytymistä, joissa on aiheutunut lyhyen ajan sisällä paljon kuumakäyntejä. Samalla saataisiin parempaa tietoa siitä, onko kyseessä alkava laakerivaurio vai mittalaitteesta johtuva liian herkästi kuumakäyntihälytyksiä ilmoittava järjestelmä.

Liikkuvalle kalustolle jatkotoimenpiteisiin johtamattomien laakerin kuumakäyntihälytyksien syinä ei yleensä ole mittalaitteen toiminnasta tai epäkunnosta johtuva virheellinen mittaus, vaan tilanne johtuu tutkimuksen mukaan yleensä seuraavista asioista.

- Mittaushetkellä vallitsevat olosuhteet, jotka häiritsevät mittauksen luotettavien tuloksien saatavuutta.
- Eri kalustotyyppien poikkeavat laakereiden lämpenemiskäyttäytymiset
- Laahaavat jarrut

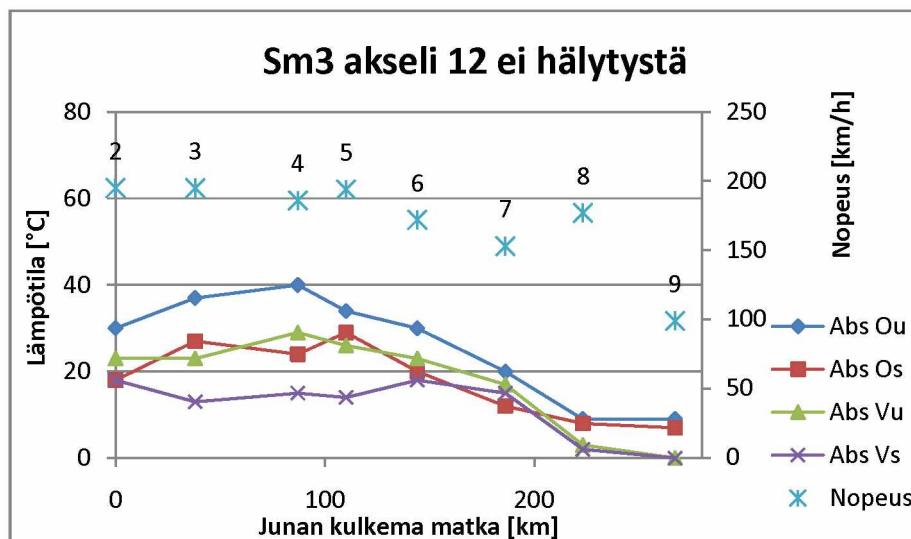
Kuvien 91 ja 92 Sm3-juna on kulkenut Oulusta Helsinkiin ja pysähtynyt tutkitun matkan (Sk-Hki) väliasemilla 6 kertaa. Lämpötilatiedot ovat vain välillä Ratikylä-Toijala ja hälytys on annettu Vahojärvellä (mittausasema 3). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 13 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 91. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (23.3.2009 Sk-Hki, lämpötilat: -9 °C...-3 °C).

Taulukko 13. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Sm3	7302	Vahojärvi	23.3.09		9	43	34					197	-7	5	10	35	51



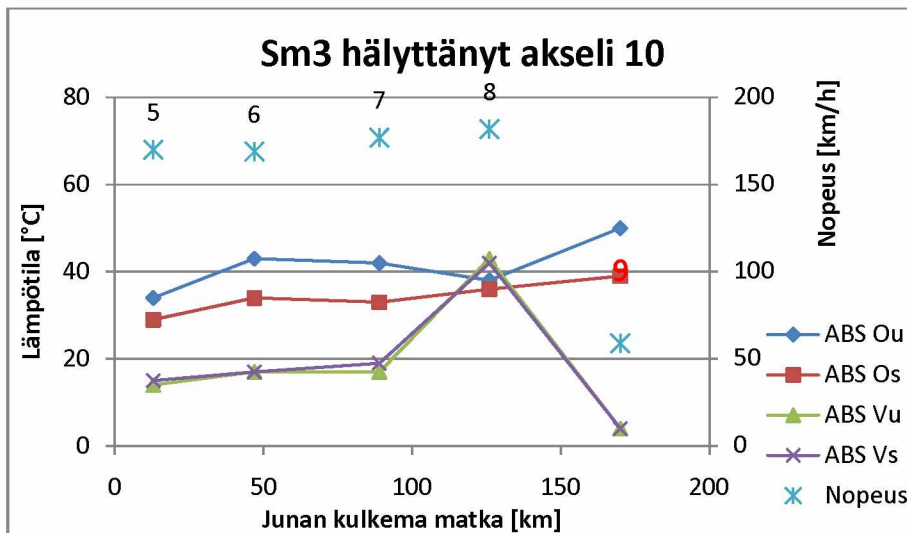
Kuva 92. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (23.3.2009 Sk-Hki, lämpötilat: -9 °C...-3 °C).

Hälyttäneen laakeripesän lämpötila 51 °C on kuumakäyntihälytyksen jälkeen laskenut koko matkan ajan. Huolimatta ulkoilman lauhtumisesta matkan aikana 6 °C:lla, laakeripesien lämpötilat ovat laskeneet matkan loppua kohden. Ilman lauhtumisen myötä on saattanut alkaa lumisade, jolloin laakeripesien lämpötilamittaustulosten aleneminen on mahdollista esimerkiksi lumipölyn eristävyvyyden vaikutuksesta. Myös kuvan 92 mukaan lämpötilat laskevat matkan lopulla. Syyt lämpötilojen alenemiselle voi olla kuumakäynti-ilmaisimen ja laakeripesän mittauskohdan välillä tapahtuvista ulkoisista seikoista, jotka eivät näin johdu ainakaan laakeripesän normaalista

käyttölämpötilasta tai mittalaitteen toiminnasta. Junan nopeuden muutoksilla on myös jonkin verran vaikutusta laakerin normaalin käyttölämpötilan suuruuteen.

Lämpötilamittaustietoja ketjuttamalla voidaan tutkia muun muassa ulkoilman muutosten vaikutuksia lämpötilamittaustuloksiin etenkin samalla junamatkalla.

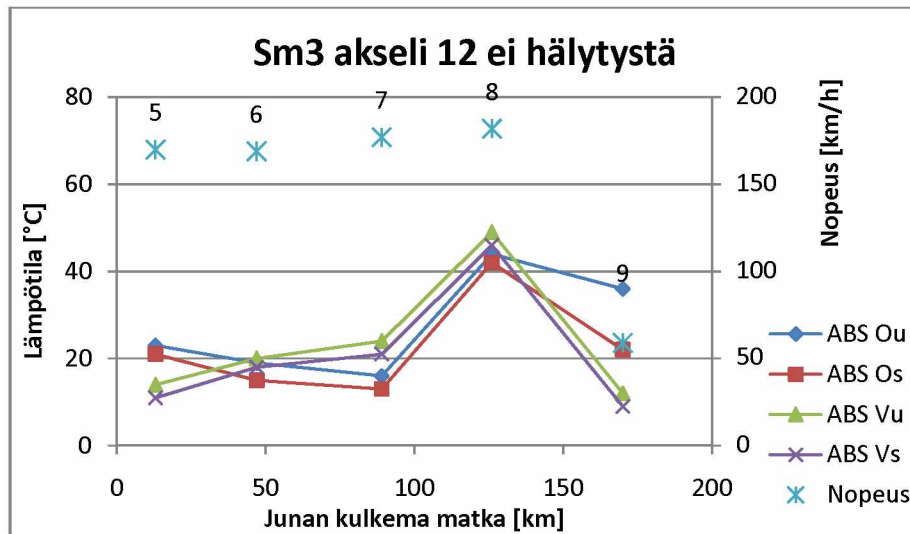
Kuvien 93 ja 94 Sm3-juna on kulkenut Tampereelta Helsinkiin ja pysähtynyt väli-asemilla 2 kertaa. Kuumakäyntihälytys on annettu Hiekkaharjulla (mittausasema 9). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 14 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 93. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (9.4.2009 Tre-Hki +4 °C).

Taulukko 14. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

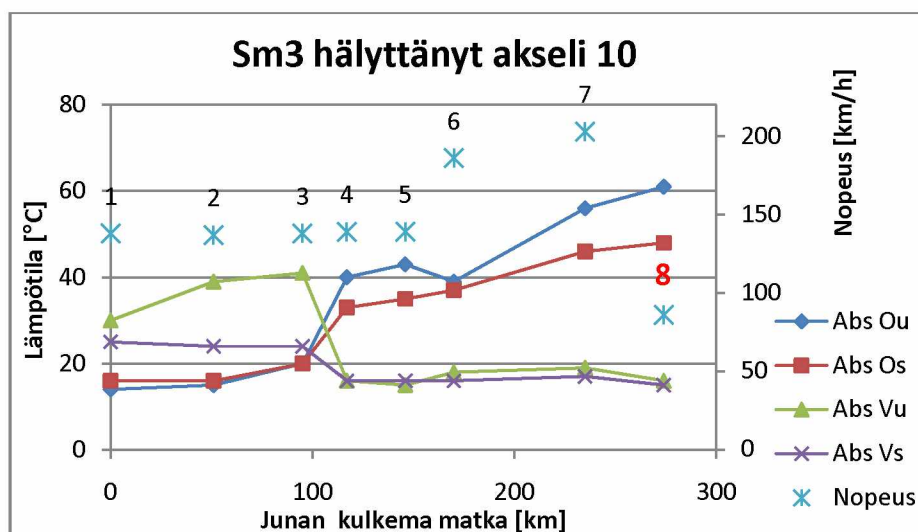
Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]			
				Suht.	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou
Sm3		Hiekkaharju 1	9.4.09						norm.		57	4	4	4	39	50



Kuva 94. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (9.4.2009 Tre-Hki +4 °C).

Kuvan 93 mukaan vasemman puolen laakeripesän lämpötilat alenivat peräti 40 °C viimeisellä mittausasemalla, jolloin vasemman ja oikean puolen lämpötilaerot kasvoivat liian suureksi aiheuttaen kuumakäyntihälytyksen. Mikäli vasemman puolen laakeripesän lämpötilat olisivat pysyneet aikaisempien asemien mittaamalla tasolla, ei kuumakäyntihälytystä olisi tapahtunut. Tarkastaja on ilmoittanut laakeripesien lämpötilojen olevan normaali. Kuvan 94 mukaan ei hälyttäneen akselin laakeripesien kaikki lämpötila-arvot laskivat viimeisellä mittausasemalla.

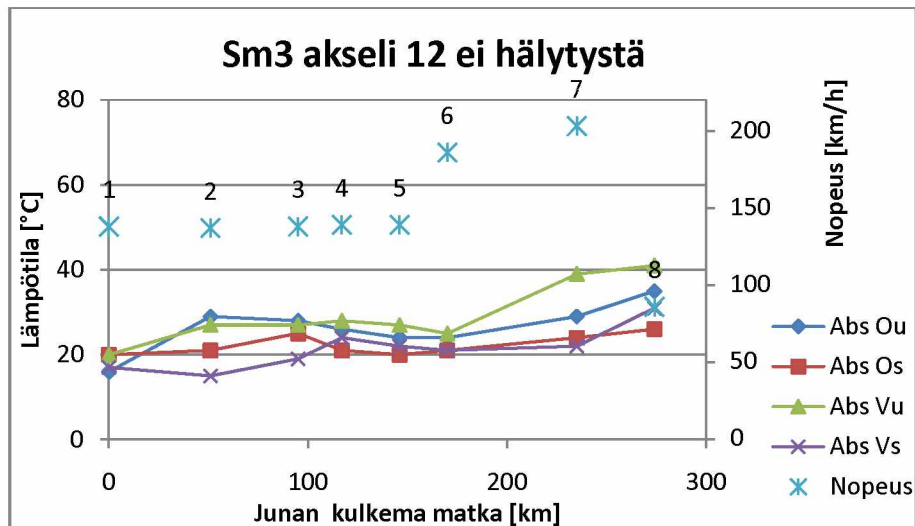
Kuvien 95 ja 96 Sm3-juna on kulkenut Kuopiosta Helsinkiin ja pysähtynyt tutkitun välin väliasemilla 4 kertaa. Kuumakäyntihälytys on annettu Hiekkaharjulla (mittausasema 9). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 15 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 95. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (11.4.2009 Mi-Hki +6 °C...+12 °C).

Taulukko 15. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot						Huom!	Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]			
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.				Vu	Vs	Os	Ou
Sm3	7302	Hiekkaharju 1	11.4.09								79	12	16	15	48	61

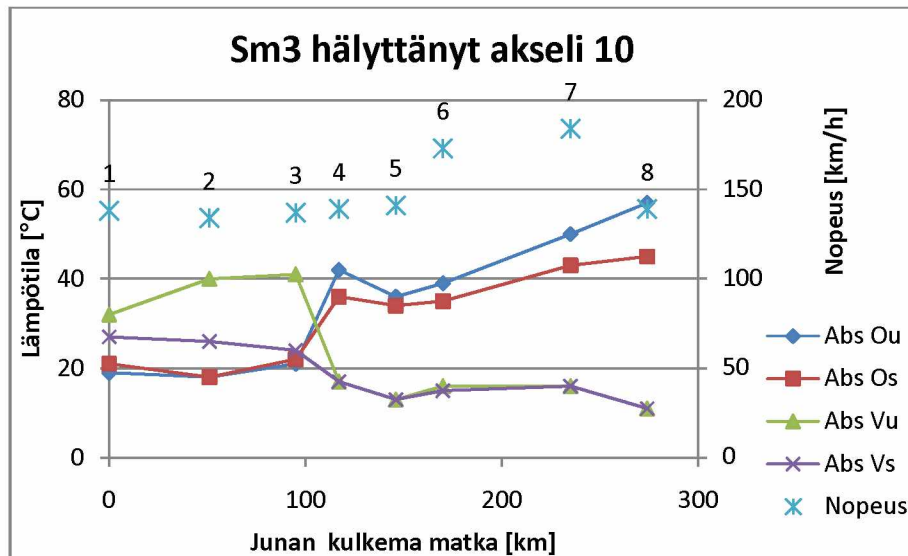


Kuva 96. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (11.4.2009 Mi-Hki +6 °C...+12 °C).

Aikaisempien kuumakäyntien lämpötilajakaumiin verrattuna kuvan 95 mukaan vasemman ja oikean puolen laakeripesien välillä tapahtuvat lämpötilojen keskinäiset muutokset ovat suurempia. Mittauspisteiden 3 ja 4 välillä vasemman puolen lämpötilat laskevat noin 30 °C, kun taas oikean puolen lämpötilat nousevat melkein 20 °C. Syytä vasemman puolen lämpötilojen alenemiseen ja oikean puolen lämpötilojen nousemiseen sekä siitä johtuneeseen kuumakäyntihälytykseen on vaikeaa arvioida. Junan nopeus on kasvanut mittausasemilla matkan puolen välin jälkeen yli 50 km/h, millä ei näytä kuitenkaan olevan vaikutusta siihen, että vasemman puolen lämpötilat lähtisivät nousemaan oikeanpuoleiselle tasolle.

Jos matka olisi jatkunut, mielenkiintoista olisi nähdä olisiko myös laakeripesän (Ou) lämpötila (61 °C) edelleen kasvanut. Kuvan 96 ei hälyttäneen akselin laakeripesien lämpötilat pysyvät hyvin yhtenäisinä ja laakerin normaalin käyttölämpötilan tuntumassa.

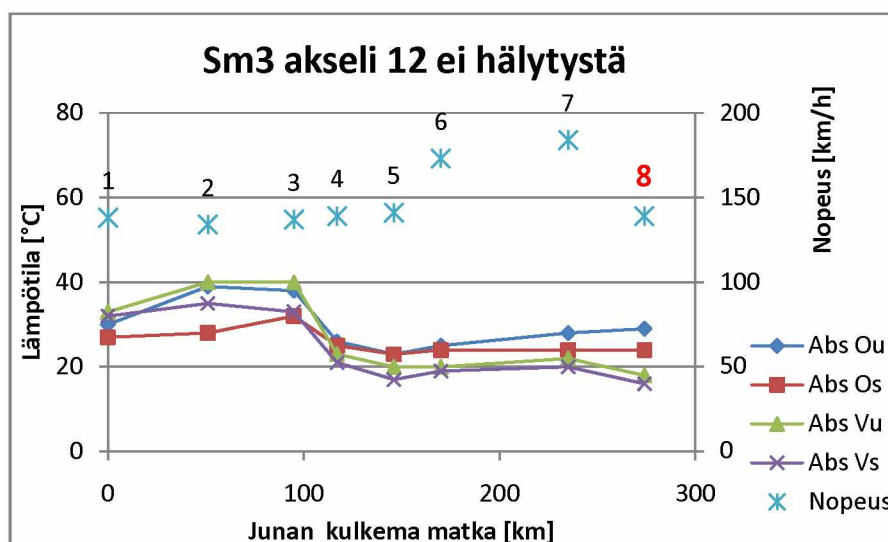
Kuvien 97 ja 98 Sm3-juna on kulkenut Kuopista Helsinkiin ja pysähtynyt tutkitun välin väliasemilla 4 kertaa. Kuumakäyntihälytys on annettu Hiekkaharjulla (mittausasema 9). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 16 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 97. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (21.4.2009 Mi-Hki +8 °C).

Taulukko 16. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmiasimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]			
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou
Sm3		Hiekkaharju 1	21.4.09								134	8	11	11	45	57



Kuva 98. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (21.4.2009 Mi-Hki +8 °C).

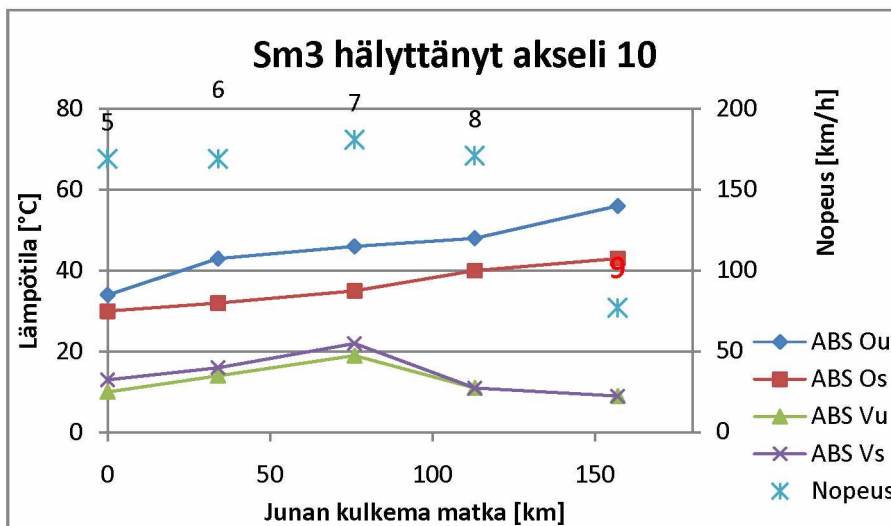
Kuvassa 97 on kyseessä myös sama junayksikkö, junan akseli sekä junamatka kuin aiemmassa kuvassa 95. Kyseisten junien lämpötilakäyttäytymiset ovat kuvien 95 ja 97 mukaan lähes samanlaiset kuvan 97 mittausasemaa 5. lukuun ottamatta, jossa molemmille puolille on mitattu lämpötiloiksi 17–18 °C.

Edellä mainittujen kuvien perusteella voidaan hyvin havaita saman junan laakereiden lämpötilakäyttäytymisen luonne ketjuttamalla kuumakäyntiasemien mittaustietoja.

Junamatkan pituudella on yleisesti myös vaikutusta laakereiden lämpötilojen kohoamiseen, vaikka kuvan 97 mukaan vain toisen puolen (Ou ja Os) laakereiden lämpötilat kohoavat matkan edetessä.

Kuvan 98 mukaan ei hälyttäneen akselin laakeripesien lämpötilajakaumat ovat laskevia huolimatta matkan pituuden kasvamisesta ja junan nopeuden nousemisesta ainakin mittausasemien kohdalla. Jotta saataisiin luotettavaa tietoa mittalaitteiden toiminnasta, laakereiden lämpenemiskäyttäytymisistä ja ulkoisista tekijöistä, tulisi tutkimuksia suorittaa jatkossa myös radalla tapahtuvilla kokeellisilla menetelmillä.

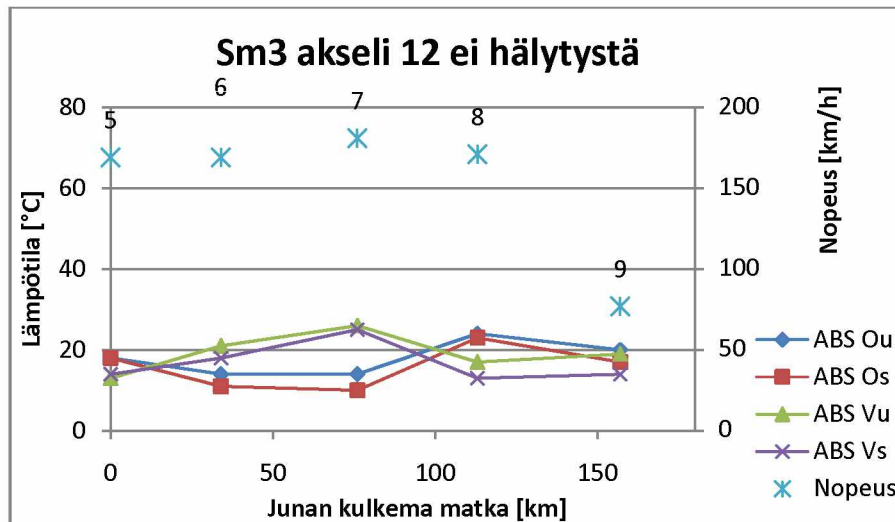
Kuvien 99 ja 100 Sm3-juna on kulkenut Tampereelta Helsinkiin ja pysähtynyt väliasemilla 2 kertaa. Kuumakäyntihälytys on annettu Hiekkaharjulla (mittausasema 9). Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut laakeripesän vasemman ja oikean ulomman mittauskohdan lämpötilaero. Taulukossa 17 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 99. Sm3-junan vaunun etutelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (7.5.2009 Tre-Hki +9 °C).

Taulukko 17. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

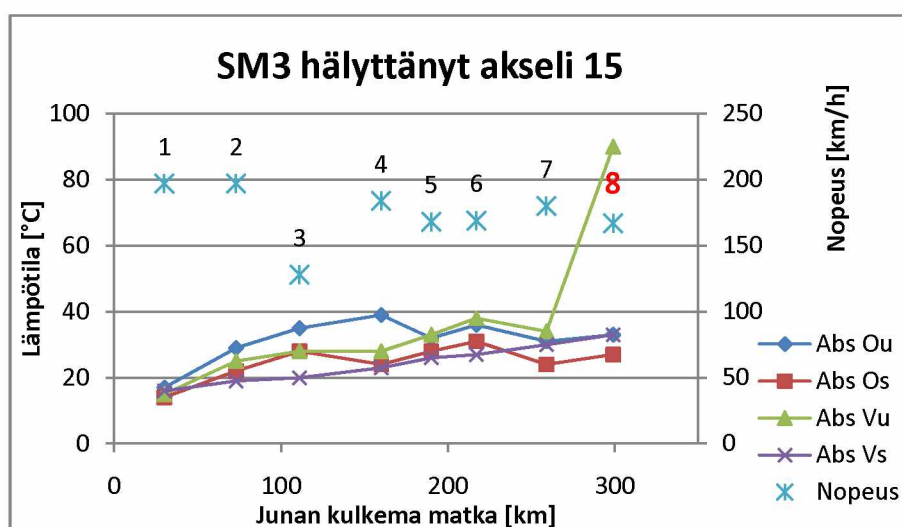
Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Sm3	7302	Hiekkaharju 1	7.5.09	47								76	9	9	9	43	56



Kuva 100. Sm3-junan vaunun takatelin toisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (7.5.2009 Tre-Hki +9 °C).

Kuvasta 99 huomataan junan laakeripesien lämpötilojen nousevan tasaisesti junan matkan edetessä. Jostain syystä junan vasemman puolen laakeripesien lämpötilat alenevat jälleen junamatkan loppua kohden aiheuttaen kuumakäyntihälytyksen, kuten aiemmissa kuumakäyntitapauksissa (kuvat 95 ja 97). Jokaisessa edellä olevissa kuumakäynneissä vasemman puolen laakeripesien lämpötilat alenevat aina keskimääräistä lämpötilaa alhaisemmaksi. Kuvassa 100 lämpötilajakaumat ovat tasaisempia ja lähellä laakerin normaalia käyttölämpötilaa.

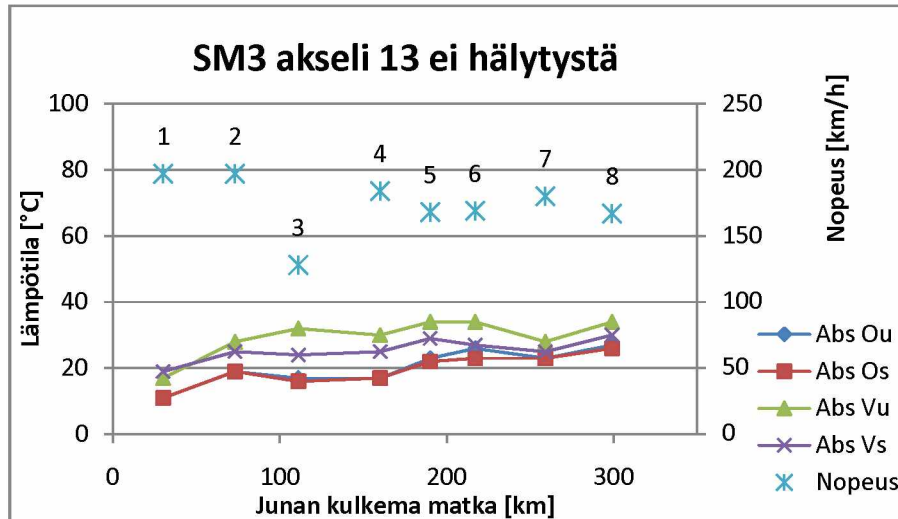
Kuvien 101 ja 102 Sm3-juna on kulkenut Seinäjoelta Helsinkiin ja pysähtynyt matkan väliasemilla 4 kertaa. Viimeisen mittausaseman 9 (Hiekkaharju) lämpötilatiedot puuttuvat. Kuumakäyntihälytyksen on aiheuttanut absoluuttisen lämpötilan ylitys vasemman puolen laakeripesällä. Taulukossa 18 on esitetty hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot.



Kuva 101. Sm3-junan vaunun takatelin ensimmäisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (7.7.2009 Sk-Hki +11...19°C).

Taulukko 18. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot. /6/

Littera	Kaluston numero	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot						Huom!	Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]			
				Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.				Vu	Vs	Os	Ou
Sm3		Hyvinkää	7.7.09	50					norm.		166	15	90	33	27	33



Kuva 102. Sm3-junan vaunun etutelin ensimmäisen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (7.7.2009 Sk-Hki +11...19 °C).

Kuvissa 101 ja 102 laakeripesien lämpötilat ovat lähellä toisiaan koko matkan ajan lukuun ottamatta kuvan 101 mittausasemaa 8, jossa ABS Vu on noussut 90 °C:een. Tarkastajan havaintojen perusteella tässäkin tapauksessa ei ole kyse laakerivauriosta, koska tarkastaja on todennut käsillä laakeripesän lämpötilan olevan normaali. Lämpötilojen ero ABS Vu:n ja ABS Vs:n välillä on huomattavan suuri (57 °C) mittausasemalla 8 ottaen huomioon kyseisten mittausalueiden välimatkan, joka on vain 117 mm. ABS Vs on noussut vain 3 °C hälyttäneellä mittausasemalla 8. Kuva 103 havainnollistaa kahden mittausalueen lyhyttä välimatkaa suhteessa mitattuihin lämpötilaeroihin. ABS Vs mittausalueen ulkoreunan ja kiskon ulkoreunan välimatka on 54 E1 kiskotyypillä vain 53 mm ja 60 E1 kiskotyypillä 52 mm. Pyöräkerran sivusuuntaisen vaeltelun johdosta kapeampi mittauskohta on saattanut osua kokonaan tai osittain pyörän navalle tai laakeripesän sisäreunaan, joka saattaa selittää osaltaan sen, ettei lämpötila ole kasvanut laakeripesän ulomman mittauskohdan mukaisesti (ABS Vu).



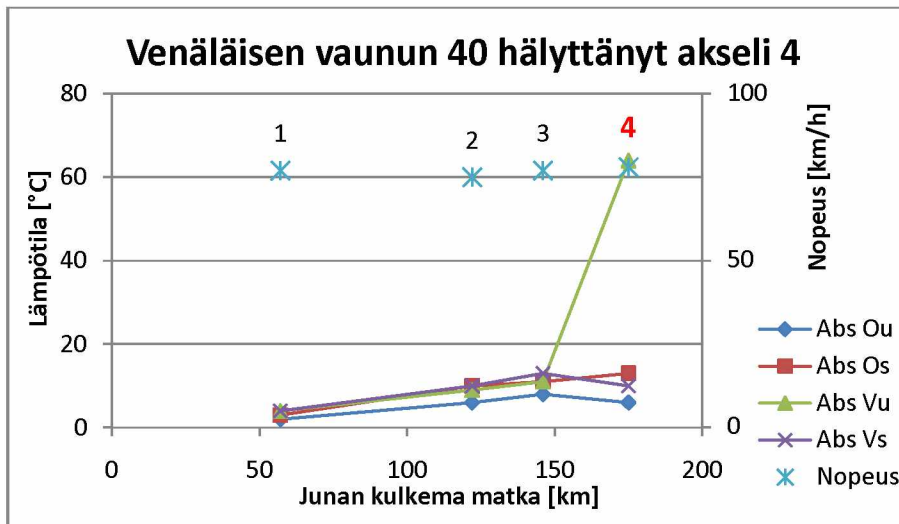
Kuva 103. VAE-kuumakäynti-ilmaisim.

7.7 Laakerivauriosta johtuneet kuumakäynnit

VR Engineeringiltä on saatu tutkimusta varten lisäksi kolme kuumakäyntitapausta, joiden syyksi on varmistunut laakerin ylikuumenemisestä johtunut laakerivaurio. Yhdessä tapauksessa laakerivauriota ei voida virallisesti vahvistaa, koska kyseessä on venäläinen vaunu ja se on toimitettu Venäjälle korjattavaksi kuumakäynnin jälkeen. Kyseisten kuumakäyntitapausten pohjalta voidaan tutkia luotettavammin mittaus-tietoja ketjuttamalla saatujen laakerilämpötilojen kehittymisiä, koska jokainen kuumakäyntitilanne on johtanut ainakin jonkin asteisiin laakerivaurioihin. /6/

7.7.1 Venäläisen vaunun kuumakäynti

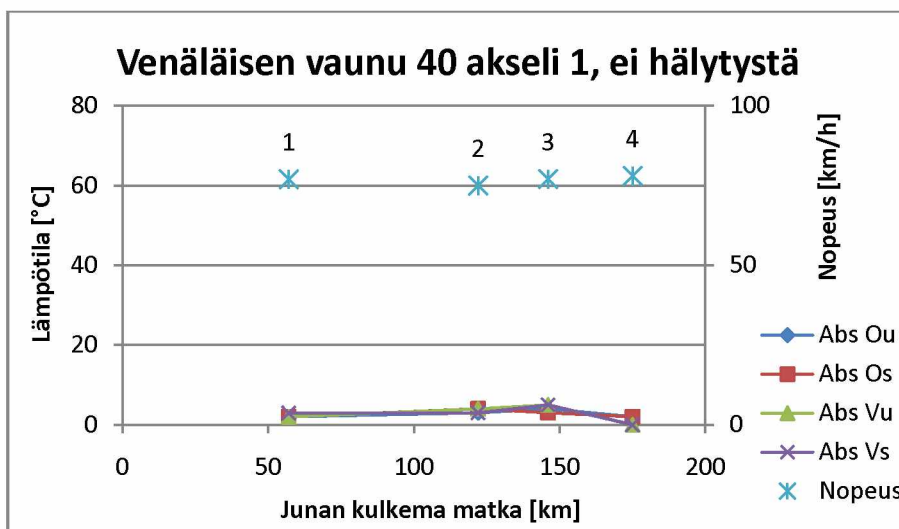
Kuvien 104 ja 105 venäläinen vaunu on kulkenut Helsingistä kohti Kouvola. Kuuma-käyntihälytys on tapahtunut Kausalan kohdalla (mittausasema 4), jonka jälkeen kalusto on poistettu liikenteestä mahdollisesti laakerivaurion vuoksi. Taulukosta 19 nähdään kuumakäynti-ilmaisimen mittaamat lämpötilat ja tarkastajan merkitsemät havainnot kuumakäyntihälytyksen jälkeen.



Kuva 104. Venäläisen vaunun hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (21.2.2009 Hki-Kv -1...-3 °C).

Taulukko 19. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmiasimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot venäläisellä vaunulla. /6/

Littera	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
			Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Ven.	Kausala	21.2.09	76						korj.		74	-2	64	10	13	6



Kuva 105. Venäläisen vaunun ei hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (21.2.2009 Hki-Kv -1...-3 °C).

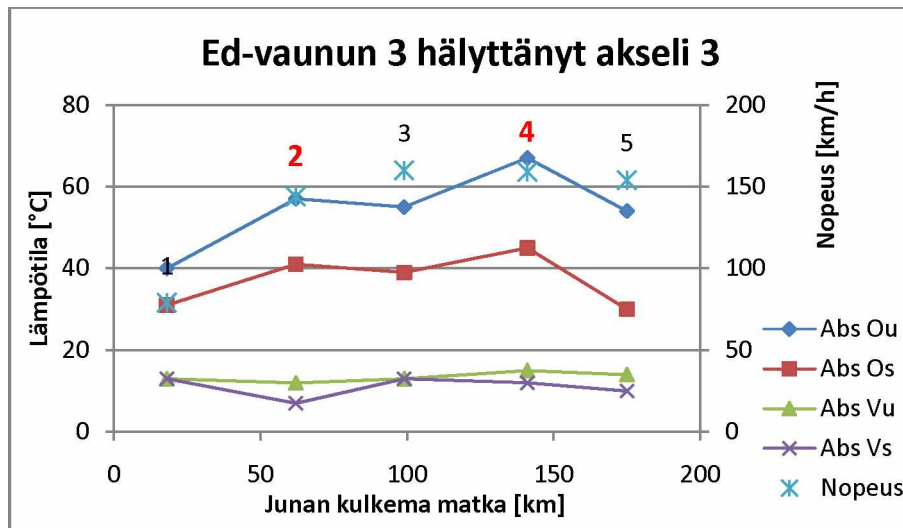
Kuvan 104 mukaan mahdolliseen laakerivaurioon johtanut lämpötilan kohoaminen on tapahtunut kahden viimeisimmän kuumakäyntiaseman välillä. Lämpötilamittaus-tietoja ketjuttamalla ei olisi pystynyt tunnistamaan alkavaa laakerin lämpötilan kohoamista hälyttänyttä kuumakäyntiasemaa aiemmilla asemilla.

Kuvassa 105 olevan ei hälyttäneen tavaravaunun laakereiden lämpötilat ovat lähes nollan tuntumassa. Venäläisen vaunun laakeripesän mallista ja muodoista ei ole tietoa. Kuormaamattomilla tavaravaunuilla on tyypillistä etenkin pakkaskelillä olevat

alhaiset laakereiden lämpötilat. Mielenkiintoista olisi tutkia, kuinka paljon epätasainen kuorma vaikuttaa laakereiden lämpötilakäyttäytymiseen.

7.7.2 Ed-vaunun kuumakäynti

Kuvien 106–109 Ed-vaunu on tyypiltään kaksikerroksinen matkustajavaunu. Ed-vaunun huippunopeus on 200 km/h ja niitä on rekisteröity Suomessa käyttöön 49 kpl. Kuvien 106 ja 107 InterCity-junan Ed-vaunu on kulkenut Helsingistä Tampereelle ja antanut kuumakäyntihälytyksen kaksi kertaa. /57/

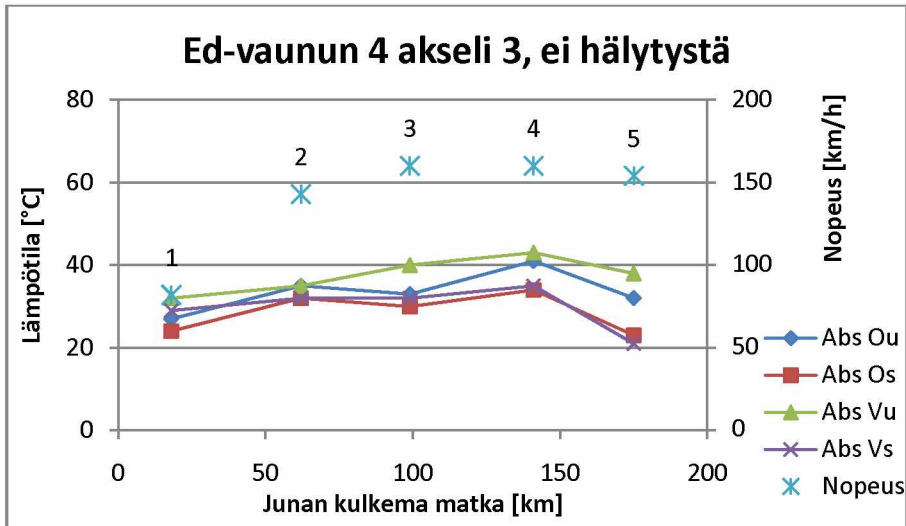


Kuva 106. Ed-vaunun hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (13.3.2009 Hki-Tre 0 °C...+4 °C).

Taulukkoon 20 on kerätty viimeaikaiset kuumakäyntihälytyksen kyseiselle Ed-vaunulle, joista kahden viimeisimmän lämpötilatiedot ovat havainnollistettu edellä olevissa kuvissa. Kahdessa ensimmäisessä kuumakäyntihälytyksessä (6.12.2008 ja 13.3.2009) ei ole tosin tietoa siitä, mikä kyseisen vaunun neljästä akselistä on antanut hälytyksen. Taulukosta nähdään myös tarkastajan merkitsemät havainnot kuumakäyntihälytyksen jälkeen.

Taulukko 20. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot Ed-vaunulla. /6/

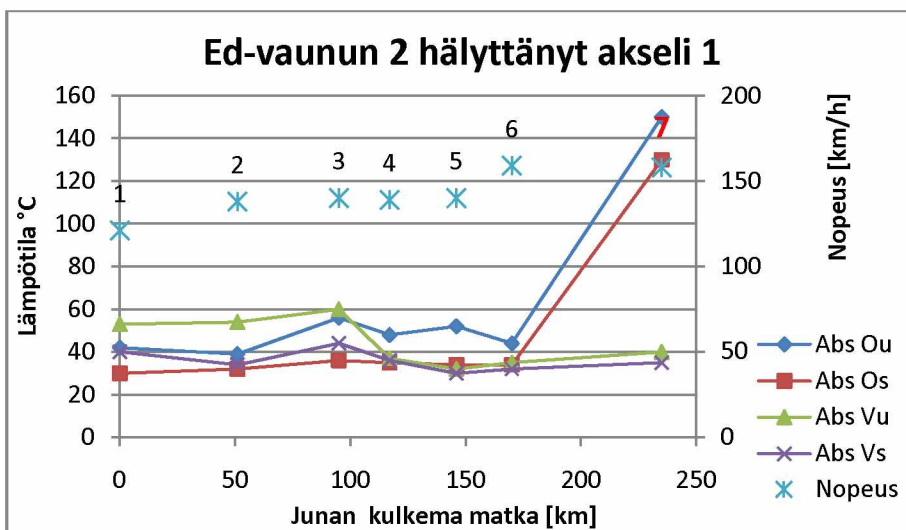
Littera	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]			
			Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou
Ed	Ylöjärvi	6.12.08		13	21					155	-1	41	38	40	79
Ed	Toijala	12.3.09		12	12					156	-1	12	12	41	62
Ed	Hyvinkää	13.3.09	57					läm.		159	2	8	8	39	59
Ed	Toijala	13.3.09		25	28	3				159	0	15	12	45	67



Kuva 107. Ed-vaunun ei hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (13.3.2009 Hki-Tre 0...+4 °C).

Kuvan 106 mukaan lämpötila ei ole vielä ehtinyt nousta vaarallisen korkealla millään kuumakäyntiasemalla. Kahden kuumakäyntihälytyksen jälkeen kyseinen vaunu on kuitenkin tarkastettu ja todettu laakerin todellinen kuumakäynti, joko välittömästi radalla tai myöhemmässä laakerin tarkastuksessa. Laakerin vaurioastetta tai lämpenemisen lopullista syytä ei ole tiedossa, mutta lämpötiloista voidaan todeta, että kuumakäynti-ilmaisimien tunnistama alkava laakerivaurio on havaittu ajoissa ennen kuin lämpötila olisi ehtinyt nousta vaarallisen korkealle. Myös tarkastajan tekemä päätös kaluston radalta poistoon on tapahtunut ajoissa. Kuvassa 107 junan ei hälyttäneen Ed-vaunun laakeripesien lämpötilajakaumat pysyvät hyvin yhtenäisinä toisiinsa nähden.

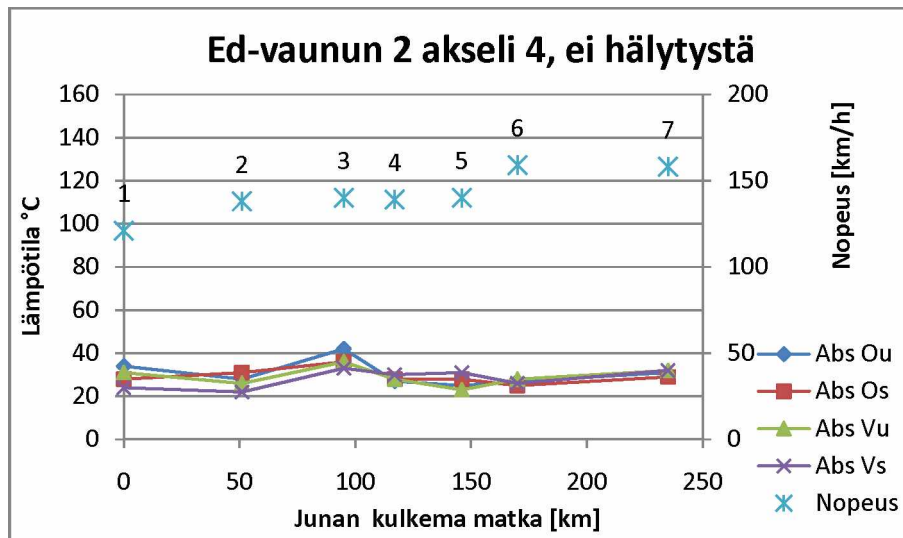
Kuvien 108 ja 109 InterCity-junan Ed-vaunu on kulkenut Kuopiosta kohti Helsinkiä ja antanut kuumakäyntihälytyksen Mäntsälän kuumakäyntiasemalla (mittausasema 7), josta matka on jatkunut laakerin ylikäynnemisen vuoksi Iimalan ratapihalle. Taulukosta 21 nähdään kuumakäynti-ilmaisimen mittaamat lämpötilat ja tarkastajan merkitsemät havainnot kuumakäyntihälytyksen jälkeen.



Kuva 108. Ed-vaunun hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (16.3.2009 Kuo-Hki +2...+6 °C).

Taulukko 21. Hälyttäneen kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulokset ja tarkastajan havainnot Ed-vaunulla. /6/

Littera	Asema	pvm.	Tarkastajan havainnot							Nop. [km/h]	Ilma [°C]	Lämpötilat absol. [°C]				
			Suht.l	Vas.	Oik.	L.ero	Käsi	Toim.	Huom!			Vu	Vs	Os	Ou	
Ed	Mäntsälä	16.3.09	240								158	2	40	35	130	150



Kuva 109. Ed-vaunun ei hälyttäneen akselilaakeroinnin lämpötilajakaumat kuljetun matkan funktiona (16.3.2009 Kuo-Hki +2...+6 °C).

Taulukosta 21 huomataan tarkastajan mitanneen laakeripesän lämpötilaksi 240 °C. Kuumakäynti-ilmaisimen mittaustulos on vastaavasti 150 °C (ABS Ou). Myös sisemmän mittausalueen (ABS Os) lämpötilaksi kuumakäynti-ilmaisimella on mitannut peräti 130 °C. Lämpötilan siirtymien on ollut tehokasta koko laakeripesän mittauspinoilla.

Venäläisen vaunun tavoin tässäkin kuumakäynnissä laakerilämpötila nousee nopeasti vaarallisen korkealle, jolloin kuumakäyntimittaustietojen ketjuttamisella ei olisi voinut tunnistaa aiemmin alkavaa laakerin ylikäynnemistä. Kuvan 109 mukaan junan toisen Ed-vaunun ei hälyttäneet laakerilämpötilat pysyvät toisiinsa nähden yhtenäisinä koko matkan ajan.

8 KUUMAKÄYNTIVALVONNAN KEHITTÄMINEN

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivistä 91/440/ETY vuonna 2005 tehdyn Euroopan sosiaali- ja talouskomiteon hyväksymän ehdotuksen mukaan kansainvälinen tavaraliikenne on vapautettu vuonna 2006 ja kansallinen rahtiliikenne vuonna 2007. Henkilöliikenteen kansainvälisten markkinoiden vapautuminen tulisi ehdotuksen mukaan tapahtua lähivuosina. Suomen rautatieliikenteessä markkinoiden vapauttamisten myötä on kaikilla säädöksen täyttävillä rautatieyrityksillä mahdollisuus harjoittaa kuljetusliiketoimintaa. Tämä selkeyttää myös radanpitäjän ja radankäyttäjän välistä roolia. Rautatieyritysten määrän lisääntyessä kasvaa myös Liikenneviraston rooli radanpitäjänä tarjota laadukasta kunnonvalvontapalvelua. Kuumakäyntivalvonnan lisäksi muita liikkuvan kaluston kunnonvalvontaan kuuluvia palveluja ovat virroitin- ja pyörävikojen valvonta. Virroitin- ja pyörävikojen valvonnan osalta Liikennevirastolla on meneillään laitteiden hankinta- ja koekäyttövaiheet. /58/

Tutkimuksen edetessä on ilmennyt useita kuumakäyntivalvonnan kehittämiseen liittyviä näkökulmia. Tutkimuksen aikana suoritettujen kyselyjen perusteella rautatieliikenteen sujuvuuden kannalta merkittävimpänä tekijänä kuumakäyntivalvonnan kehittämisessä on saada aiheettomien kuumakäyntihälytyksien määrä vähenemään. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty kuumakäyntivalvonnan kehittämiseen liittyviä tekijöitä ja ongelmakohtia, jotka ovat nousseet esille tutkimustyön aikana.

8.1 Mittaustietojen ketjuttaminen

Mittaustietojen seurannan kehittämisen yhtenä tavoitteena on tutkia, voidaanko saada luotettavaa tietoa pyöränlaakerin epätavallisesta lämpötilan kohoamisesta nykyistä aiemmin ketjuttamalla kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietoja.

Mittaustietoja ketjuttamalla ei ole mahdollista havainnoida luotettavasti alkavia laakerin ylitämpöjä nykyistä aiemmin. Tutkimuksen mukaan laakerivaurioon johtanut lämpötilan kohoaminen alkaa lyhyen matkan aikana ja pahimmillaan vain kahden kuumakäyntiaseman välillä. Viitteitä alkavalle laakerin ylitämpenemiselle voidaan kuitenkin havainnoida mittaustietoja ketjuttamalla. Varmuutta laakerin ylitämpenemiselle on kuitenkin vaikeaa ennustaa, koska useissa tapauksissa uhkaavalta näyttänyt laakeripesän lämpötilan nousu muuttuu matkan edetessä jälleen alhaisemmaksi lämpötilaksi. Joissakin tapauksissa lämpötilan nopea vaihtelu hälytysrajoista normaaliin laakerin käyntilämpötilaan on tutkimuksen mukaan antanut kuitenkin viitteitä alkavasta laakerivauriosta.

Kuumakäyntiasemien tiheyden vuoksi saman akselin laakeripesä saattaa hälyttää useamman kerran saman matkan aikana esimerkiksi oikean ja vasemman puolen lämpötilaeron perusteella. Tällöin mitatut lämpötilat eivät välttämättä ole vaarallisen korkeita kuumakäynti-ilmaisimen ja tarkastajan mittauksen perusteella, mutta saattavat silti antaa viitteitä tulevasta laakerivauriosta. Mittaustietoja ketjuttamalla voidaan sen sijaan seurata tehokkaammin lämpötiloja, jotka ovat hälytysrajojen tuntumassa. Tutkimustulosten luotettavuuden parantamiseksi eri laakeripesien

lämpötilakäyttäytymisiä tulisi tutkia lisää, laajemmalla tutkimusaineistolla ja kokeellisilla menetelmillä.

8.2 Lämpötilamittauksen alarajan muuttaminen

Useissa kuumakäyntihälytyksissä etenkin talvella, kuumakäynti-ilmaisimien mittaa laakeripesien lämpötilaksi nollaa ja nollan tuntumassa olevia lämpötiloja. Tutkimuksen mukaan liian alhaisten lämpötilojen mittaamisesta aiheutuu ongelmia, kun alhaiseksi mitattu laakeripesän lämpötila kohdistuu vain junan toiselle puolelle. Seurauksena on aiheeton kuumakäyntihälytys vasemman ja oikean puolen laakereiden liian suuresta lämpötilaerosta.

Kuumakäynti-ilmaisimen mittaama alhaisin lämpötila on 0 °C. Laakerin normaali käyntilämpötila on laakeripesän pinnasta mitattuna kuitenkin huomattavasti nollaa astetta korkeampi. Aiemmin mainitun Sm3:n sivulla 86 olevan lämpötilataulukon 10. mukaan ilman lämpötilan ollessa -5 °C:ssa, laakeripesän pintalämpötila normaalissa laakerin käynnissä on noin 20 °C. Myös muilla kalustoilla laakeripesän pintalämpötilan arvioidaan olevan tutkimuksen mukaan normaalikäynnissä ja kylmissä olosuhteissa vastaavaa luokkaa. Poikkeuksena ovat etenkin kovalla pakkasella kulkevat kuormaamattomat tavaravaunut, joiden laakeripesien lämpötilat eivät välttämättä nouse kuin muutamiin lämpöasteisiin. Tutkimustuloksien perusteella alle 10 °C olevia laakeripesän lämpötiloja ei olisi hyödyllistä mitata, koska se lisää aiheettomien hälytyksien määrää. Kuumakäynti-ilmaisimen mittaustarkkuus heikkenee myös jonkin verran sitä mukaan, mitä alhaisimpia lämpötiloja mitataan.

Taulukoihin 22 ja 23 on kerätty oikean ja vasemman puolen lämpötilaeroista johtuvat aiheettomat kuumakäyntihälytykset. Taulukoihin on merkitty rastilla ne kuumakäyntihälytystapaukset, jotka poistuisivat, jos lämpötilamittauksen alaraja muutettaisiin alkamaan esimerkiksi nollan sijasta 15 °C:een.

Taulukko 22. Lämpötilamittauksen alarajan muutos 0:sta 15 °C:een tavaravaunuilla. /6/

Littera	M.asema	Pvm	Tarkastajan havainnot						Huom!	Noeus [km/h]	Ilma	Lämpötilat absol.				15°C
			Suht	V	O	Ero	Käsi	Toim				Vu	Vs	Os	Ou	
Simn-t	Kausala	5.2.05	29							80	-4	0	0	67	5	
	Harju	22.2.05						norm		78	-7	56	4	0	0	X
	Taavetti	22.2.05						norm		71	-15	67	16	2	9	
Sim	Myllykoski	5.3.05		17	21	4				61	-4	10	4	59	24	X
Gbln-t	Jämsä	6.3.05		28	28	0				80	-18	17	12	16	67	
Gbly	Kulju	6.3.05						norm		72	-9	59	4	3	6	X
	Kulju	13.3.05		6	12	6				60	-11	64	4	3	5	X
Gbln	Myllykoski	20.3.05						norm		77	-2	7	1	91	3	
Hkb	Hämeenlinna	22.3.05		21	2	19				80	-9	56	18	0	0	X
Sgm	Hämeenlinna	5.4.05		25	15	10				76	2	53	24	3	3	X
Sim	Hämeenlinna	6.4.05		37	10	27				96	-1	62	32	8	12	X
	Kulju	9.11.05						norm		68	9	13	9	59	10	X
	Raippo	17.12.05						norm		66	-6	0	0	4	132	
Simn-t	Talviainen	17.12.05	-13							87	-15	0	2	8	150	
Hkb	Ratikylä	4.2.06		5	10	5				78	-24	4	6	21	54	X
Sonk	Kulju	5.2.06						norm		84	-21	107	0	0	0	
Tad	Harju	10.3.06								74	-6	56	9	0	0	X
Tad	Harju	10.3.06								74	-6	50	9	0	0	X
Laais	Kulju	11.3.06						norm		67	-7	111	0	0	0	
Hkb	Harju	14.3.06						norm		83	-15	0	0	25	51	X
Laais	Kulju	17.3.06		40	21	19				69	1	69	5	3	14	
Simn-t	Talviainen	22.3.06		35	18	17				92	-17	53	26	27	2	X
Sim	Toijala	14.2.07						norm		77	-9	39	56	4	27	X
Gbln-t	Kulju	19.7.07		23	23	0				69	15	81	21	19	22	
Occ	Hiekkaharju 1	21.7.07						norm		96	15	65	37	35	15	
Bsoek	Kausala	20.10.07	25							79	4	82	14	10	30	
Fat	Kausala	3.1.08						norm		86	-8	34	52	2	21	X
Simn-t	Kokemäki	4.1.08	10							74	-6	38	65	8	2	
	Hiekkaharju 1	5.1.08								91	-4	0	0	0	56	X
Simn-t	Utti	25.1.08						norm		54	2	51	60	7	8	X
Zan-v	Jämsä	28.2.08						norm		82	1	27	19	24	81	
Spa	Taviainen	1.3.08						norm		81	-3	36	20	70	32	
Laais	Kulju	30.5.08		35	37	2				68	18	38	74	24	33	
Shimn	Harviala	15.6.08						norm		73	17	35	22	71	33	
Gbln-t	Kulju	18.6.08						norm		64	13	67	15	15	16	
Shimn	Harviala	10.8.08	30							76	21	35	24	82	32	
Gbln-t	Kulju	20.10.08						norm		82	10	62	20	10	10	X
Sp	Kausala	27.11.08								87	-3	1	51	0	2	X
Laais	vahojärvi	3.12.08		40	40					91	3	75	61	8	38	
Simn-t	Jämsä	11.1.09		37	37					68	0	38	68	18	20	
Simn-t	Kangasala	11.1.09						kuuma	korj	50	1	16	14	79	45	
Habbin	Myllykoski	12.1.09		6	69			kuuma		79	6	6	7	69	27	
Hkb	Harviala	29.1.09		10	10	0				89	-3	54	21	2	4	X
Koef	Ratikylä	3.2.09	0					norm		88	-5	50	16	3	0	X
	Hiekkaharju 1	14.2.09								53	-8	62	8	12	0	X
Shmn	Kulju	20.2.09		20	24	4				86	-5	28	16	78	33	
Sdggngss-	Toijala	20.2.09		23	26	3				98	-5	4	12	5	58	X
Sdggngss-	Vahojärvi	21.2.09		40	35	5				89	-5	0	1	8	52	X
Simn-t	Utti	21.2.09		281	10				korj	62	-7	42	71	13	33	
Sob	Hyvinkää	14.3.09	65					norm		69	4	11	7	16	65	
Laais	Kulju	26.3.09						norm		70	-8	70	6	8	11	

Taulukko 23. Lämpötilamittauksen alarajan muutos 0:sta 15 °C:een henkilövaunuilla./6/

Littera	Kalust. num.	M.esema	Pvm	Tarkastajan havainnot							Nopeus [km/h]	Ilma	Lämpötilat absol.			15 °C	
				Suht.	V	O	Ero	Käsi	Toim	Huom!			Vu	Vs	Os		Ou
Ed	23233	Toijala	11.1.05						norm		158	3	54	32	3	4	X
Ein	23253	Kulju	22.1.05		54	67	13				133	-2	3	5	53	80	
Ex	26217	Ratikylä	31.1.05						kuuma	korj	144	-3	13	13	106	150	
Ex	26301	Kulju	16.2.05		5	44	39				138	-12	0	5	29	52	X
Ex	26301	Toijala	16.2.05						lämm		159	-12	1	8	13	54	X
Ed	28004	Hämeenlinna	17.2.05						norm		134	-7	61	34	0	0	X
Ed	28004	Rauha	18.2.05						norm		132	-2	54	18	7	4	X
Ed	28004	Taavetti	18.2.05						norm		137	-1	57	23	3	1	X
Ed	28004	Utti	18.2.05						norm		138	-1	57	25	2	0	X
Ed	28004	Vuolinko	18.2.05		42					korj	126	-5	74	33	4	3	
Ed	28004	Hämeenlinna	20.2.05		7	0	7				127	-1	58	35	0	0	X
Ed	28048	Hämeenlinna	20.2.05						norm		156	-5	52	32	2	2	X
Ed	28048	Hiekkaharju 1	21.2.05						norm		131	-4	59	33	3	2	X
Ed	28048	Hämeenlinna	21.2.05		40	35	5				148	-8	50	24	0	0	X
Edb	28401	Toijala	25.2.05		32	17	15				161	0	51	36	0	0	X
Ed	28049	Toijala	25.2.05		10	4	6				160	-8	50	30	0	0	X
Ed	28032	Ylöjärvi	3.3.05		32	12	20				159	-6	58	34	3	3	X
Edfs	28306	Toijala	9.3.05		23	13	10				159	-5	50	21	0	0	X
Ed	28054	Toijala	9.3.05						norm		160	-9	50	16	0	0	X
Edfs	25032	Toijala	11.3.05						norm		160	-7	50	19	0	0	X
Ed	28054	Hämeenlinna	12.3.05						norm		151	-6	58	28	7	7	X
Ed	28054	Toijala	12.3.05		33	13	20				161	-5	52	24	0	0	X
Ed	28054	Toijala	13.3.05		10	3	7				158	-3	53	23	0	0	X
IC2	28402	Hiekkaharju 1	11.4.05		20				norm		38	4	62	40	14	12	X
Cx	26113	Hyvinkää	26.11.05						norm		158	1	58	50	16	5	X
Ed	28040	Vahojärvi	4.12.05								155	-4	55	30	8	5	X
Ed	28040	Hiekkaharju 1	14.12.05	14							80	-1	6	3	35	57	X
Ed	28047	Toijala	1.1.06						norm		140	-1	53	34	3	2	X
Ed	28040	Hiekkaharju 1	4.1.06						norm		139	-2	1	2	36	60	X
Ed	28008	Hiekkaharju 1	9.1.06	7							126	-1	9	3	26	61	X
Eds	28209	Ylöjärvi	9.1.06		35	42	7				155	-6	59	33	5	5	X
Eds	28209	Ylöjärvi	15.1.06		68	54	14				156	-2	68	36	13	16	
Rk	27814	Taavetti	17.1.06						norm		139	-18	3	23	34	57	X
Eds	28205	Haukka	20.1.						norm		138	-21	1	4	21	52	X
V30986	Hiekkaharju 1	20.1.							norm		59	-17	0	0	3	64	X
Edfs	28304	Hyvinkää	30.1.								155	0	11	13	41	69	
Edfs	28304	Hyvinkää	30.1.			50					118	-2	9	17	36	60	X
Edfs	28304	Hämeenlinna	30.1.				68				135	-2	17	17	52	82	
Edfs	28304	Kulju	30.1.		18	58	40				157	-2	12	10	63	66	
Eds	28209	Toijala	31.1.	7							147	-2	58	58	8	8	X
Ed	28001	Ratikylä	16.2.06	13					kiskoj Alhaalla		146	-7	0	64	12	3	X
Ed	28047	Hiekkaharju 1	20.2.06						norm		59	-1	8	6	33	59	X
Edfs	28302	Hiekkaharju 1	22.2.06						lämm korj		108	-4	1	5	29	53	X
Efiti	23659	Muurame	23.2.06		10	10	0				54	-2	4	25	30	54	X
Efiti	23535	Hiekkaharju 1	27.2.06	57							114	-6	57	37	5	0	X
Ei	27017	Loukko	7.11.06						norm		120	3	7	13	33	58	X
Edb	28424	Hiekkaharju 1	8.11.06								102	-2	2	5	35	54	X
Edb	28424	Hiekkaharju 1	9.11.06						norm		109	-5	1	2	28	51	X
Edb	28424	Hiekkaharju 1	17.11.06						norm		112	4	5	5	34	56	X
Ed	28016	Hiekkaharju 1	22.11.06								145	9	16	13	45	67	
Eds	28204	Hiekkaharju 1	19.2.07								80	-9	55	25	5	5	X
Edb	28402	Toijala	28.11.07						norm		155	-5	52	11	4	2	X
	28301	Toijala	3.12.07						norm		150	2	64	15	13	13	X
	28301	Toijala	3.12.07						norm		159	1	63	19	10	9	X
	28301	Toijala	3.12.07						norm		159	0	58	22	7	4	X
Edfs	28307	Toijala	5.1.08						norm		162	-10	53	26	1	0	X
Ed	28055	Harviala	4.2.08		6	6	0				159	1	6	12	37	56	X
Edfs	28307	Toijala	14.2.08		17	25	8				158	-3	55	27	6	4	X
Edfs	28307	Toijala	14.2.08						norm		159	-5	55	27	7	4	X
Edfs	28307	Toijala	15.2.08		17	17	0				150	-7	53	24	4	3	X
Edfs	28307	Toijala	15.2.08						norm		158	-6	56	28	6	3	X
Edb	28404	Toijala	15.2.08						lämm		151	-8	55	30	4	3	X
Edfs	28307	Toijala	2.3.08						norm		154	-1	61	37	9	7	X
Edfs	28055	Tommola	5.3.08						norm		158	-5	8	8	32	58	X
Ed	28007	Harviala	9.3.08		32	31	1				161	3	13	12	40	63	X
Edb	28411	Uusikylä	10.4.08						norm		140	1	4	5	44	55	X
Edb	28411	Tommola	11.4.08						norm		160	-1	62	36	5	5	X
Edb	28411	Mäntsälä	11.4.08						norm		160	-1	66	48	7	7	
Edb	28411	Hiekkaharju 1	11.4.08						norm		48	1	77	60	3	4	X
	28307	Toijala	14.4.08		44	28	16				161	2	61	35	12	10	X
Expt	26404	Vahojärvi	23.11.08	17							154	-5	71	68	11	13	
Expt	26415	Vahojärvi	23.11.08						norm		141	-4	4	6	40	71	
Ex	26226	Vahojärvi	27.11.08		8	18					155	-4	62	55	6	7	X
Eil	25047	Hiekkaharju 1	15.12.08	0					norm		95	1	120	10	9	9	
V14690	Hiekkaharju 1	29.12.08	0								84	1	3	2	113	5	
Ex	26227	Vahojärvi	3.3.09		19	19			ovet pri		154	-2	11	13	58	72	
Ed	28012	Toijala	12.3.09		12	12					156	-1	12	12	41	62	X
Ed	28012	Hyvinkää	13.3.09	57					lämm		159	2	8	8	39	59	X
Ed	28012	Toijala	13.3.09		25	28	3				159	0	15	12	45	67	

Taulukoiden 22 ja 23 mukaan yli puolet tavaravaunujen oikean ja vasemman puolen lämpötilaeroista johtuvista aiheettomista kuumakäyntihälytyksistä olisivat näin ollen jääneet kokonaan hälyttämättä vuosina 2005–2009. Henkilövaunujen osalta aiheettomat hälytykset edellä mainitulla hälytysperusteella olisivat poistuneet lähes kokonaan.

Lämpötilamittauksen alkaminen vasta 15 °C:sta ei muuta muiden hälytystyyppien kuumakäyntihälytyskäyttämistä miltei osin. Ennen lämpötilamittauksen alarajan nostamista, on tarpeellista kuitenkin tutkia käytännössä eri kalustotyyppien laakeripesien pintojen keskimääräisiä lämpötiloja eri ulkoilman lämpötiloissa ja olosuhteissa. Jo 10 °C:een alarajalla aiheettomien hälytyksien määrä vähenisi huomattavasti.

8.3 Menettely kuumakäyntihälytyksessä

Kuumakäyntihälytyksen yhteydessä suoritettavassa laakeripesän lämpötilan tarkastuksessa lämpötilan tunnustelu käsillä ei anna täsmällistä kuvaa laakerin todellisesta lämpötilasta. Laakereiden lämpötiloja pitäisi pystyä mittaamaan aina lämpömittarilla, jolloin voidaan analysoida myös tarkemmin lämpenemisestä johtuvia laakerivaurioita ja eliminoida pois epävarmat hälytystapaukset vertaamalla lämpötilamittarilla mitattuja lämpötiloja kuumakäynti-ilmaisimen antamiin mittaustuloksiin. Mikäli lämpötilan mittaus suoritetaan käsillä, voidaan saada luotettavampaa tietoa laakerin ylikuumenemisestä ainoastaan vertaamalla hälyttäneen akselin laakeripesää muihin laakeripesiin. Mittaushetkellä vallitseva ilman lämpötilan merkitys saattaa korostua käsillä suoritettavan lämpötilan tunnustelun luotettavuuteen.

Kuumakäyntihälytyksen jälkeen tarkastajan suorittamalla lämpötilamittauksilla laakeripesän mittauskohdalla tulisi olla täsmälleen sama kuin kuumakäynti-ilmaisimen mittaama mittauskohdalla, koska tarkastajan suorittamien mittausrakenteiden perusteella päätetään jatkotoimenpiteistä. Kuumakäyntihälytyksen yhteydessä luotettavien havaintojen saamiseksi tarkastajan lämpötilamittauksista, pyöräkerran jokaiseen laakeripesään tulisi merkitä kuumakäynti-ilmaisimen mittaama mittaustulos. Näin voitaisiin tutkia tarkemmin kuumakäynti-ilmaisimien mittaamien mittaustietojen luotettavuutta ja laakereiden lämpötilojen käyttäytymistä ulkoilman eri lämpötiloissa. Kuumakäyntiraporttiin olisi hyvä merkitä myös junan pysäytyksen tarkka paikka, ajankohta ja kestoajankohdan pysäyttämisen ja tarkastajan suorittaman lämpötilamittauksen välillä. Silloin voitaisiin tarkastella myös laakerilämpötilan muutosnopeutta ja arvioida sen perusteella laakerin todellista lämpötilaa vertaamalla kuumakäyntimittaustuloksiin.

Kohdealueen säteilykyvyn maksimoimiseksi ja hajasäteilyn vähentämiseksi, laakeripesän mittauspinnan puhtauteen sekä jään ja lumen esiintymiseen tulee kiinnittää myös huomiota tarkastajan suorittaessa lämpötilamittauksia. Myös laakeripesärakenteen muodot vaikuttavat lämpötilan jakautumiseen.

Radanpitäjän vastuulla on tarjota radankäyttäjälle luotettavaa laakerin kuumakäyntivalvontaa. Tutkimuksen mukaan kaikissa kuumakäyntihälytyksissä ei ole kyse laakerin ylikuumenemisestä. Kuumakäyntivalvonnan luotettavuuden parantamista edesauttaa kuitenkin merkittävästi radankäyttäjän suhtautuminen vastuullisesti ja

asianmukaisesti jokaiseen kuumakäyntihälytykseen. Jokaisessa kuumakäyntihälytyksen tarkastuksessa tulisi käyttää käsikäyttöistä lämpötilamittaria.

Tutkimus osoittaa kuinka suuria eroavaisuuksia voi olla kuumakäynti-ilmaisimien mittaamien lämpötilojen ja junan tarkastajan ilmoittamien lämpötilamittaustuloksien välillä kuumakäyntihälytyksen jälkeen. Taulukoihin 24 ja 25 on koottu henkilö- ja tavaravaunujen kuumakäynnit vuosina 2005 tammikuusta 2009 elokuuhun. Kuuma-käynti-ilmaisimien on mitannut laakeripesän absoluuttiseksi lämpötilaksi vähintään 80 °C ja junan tarkastaja on todennut junan pysäyttämisen jälkeen laakeripesän lämpötilan olevan normaali.

Taulukko 24. Henkilövaunujen kuumakäynnit, joissa absoluuttinen lämpötila ylittää 80°C tarkastajan havaitessa lämpötilan olevan normaali junan pysähdyttyä. /6/

tyyppi	Littera	Kalusto nro.	Mittausasema	Pvm	Tarkastajan havainnot						Nopeus [km/h]	Lämpötila [°C]	Lämpötilat absol.				
					Suht.	V	O	Lero	Käsin	Toimenpit.			Huom!	Vu	Vs	Os	Ou
Henk.v	Ed	28040	Hämeenlinna	10.7.05					normaali			145	30	87	60	57	69
Henk.v	Ein	23204	Loimaa	20.3.06					normaali			130	-5	21	31	136	136
Henk.v	Edfs	28312	Hämeenlinna	22.6.06					normaali			141	27	85	52	49	73
Henk.v	Edfs	28312	Hiekkaharju 1	25.6.06					normaali			81	24	64	59	67	86
Henk.v	Ed	28042	Hyvinkää	30.6.06					normaali			137	24	85	76	65	67
Henk.v	Edfs	28312	Hiekkaharju 1	2.7.06					normaali			107	25	61	54	64	86
Henk.v	Edfs	28312	Hämeenlinna	2.7.06					normaali			134	33	86	61	56	68
Henk.v	Ed	28055	Hiekkaharju 1	8.7.06					normaali			109	34	73	61	74	85
Henk.v	Eil	25009	Hämeenlinna	1.8.06					normaali			93	27	94	48	47	56
Henk.v	Ed	28018	Hiekkaharju 1	16.8.06					normaali			58	24	68	60	68	85
Henk.v	Ed	28018	Hiekkaharju 1	21.8.06					normaali			61	27	69	60	67	87
Henk.v	Ed	28018	Hämeenlinna	21.8.06					normaali			97	24	87	61	53	72
Henk.v		V12957	Hiekkaharju 1	12.2.07					normaali			87	-2	50	69	81	39
Henk.v	Ed	28057	Kulju	14.4.07					normaali			160	16	85	45	39	52
Henk.v	Ed	28061	Kulju	5.6.07					normaali			159	31	85	59	59	70
Henk.v	Ed	28012	Hiekkaharju 1	3.7.07	61				normaali			158	27	88	67	65	76
Henk.v	Ed	28057	Hyvinkää	11.7.07					normaali			150	18	43	36	87	89
Henk.v	Expt	26416	Hyvinkää	13.7.07					normaali			160	15	30	26	82	81
Henk.v	Ed	28007	Hyvinkää	9.3.08					normaali			101	3	3	81	39	12
Henk.v	Edb	28412	Vahojärvi	6.6.08					normaali			119	28	59	45	63	85
Henk.v	Eil	25047	Hiekkaharju 1	15.12.08	0				normaali			95	1	120	10	9	9

Taulukko 25. Tavaravaunujen kuumakäynnit, joissa absoluuttinen lämpötila ylittää 80°C tarkastajan havaitessa lämpötilan olevan normaali junan pysähdytyä. /6/

Käilusto- tyyppi	Littera	Käilusto nro	Mittausasema	Pvm	Tarkastajan havainnot					Nopeus [km/h]	Lämpötila [°C]	Lämpötilat absol.				
					Suht.	V	O	Lero	Käsin			Toimenpit.	Huom!	Vu	Vs	Os
Tav.v	Gbln	463430-9	Myllykoski	20.3.05					normaali		77	-2	7	1	91	3
Tav.v	Hkb	134183-3	Taavetti	24.3.05					normaali		75	-1	87	40	24	52
Tav.v	Shmmn	71608-4	Ylöjärvi	3.4.05					normaali		77	10	64	106	35	56
Tav.v	soeb	195006-2	Toijala	21.5.05					normaali		79	21	96	35	21	39
Tav.v	Gbln	463360-8	Hämeenlinna	5.7.05					normaali		79	25	88	52	39	71
Tav.v	Gbln-t	468154-0	Ylöjärvi	5.7.05					normaali		98	14	85	45	40	74
Tav.v		197028	Vahojärvi	8.7.05					normaali		77	28	46	40	41	91
Tav.v	Elo-t	140005-0	Ratikylä	15.7.05					normaali		97	14	83	47	45	89
Tav.v	Gbln	463663-5	Ylöjärvi	21.7.05					normaali		74	13	87	51	41	75
Tav.v	Gbln	463854-0	Ylöjärvi	10.8.05					normaali		94	18	89	51	40	87
Tav.v	Gbln-t	468568-1	Ratikylä	18.8.05					normaali		100	9	91	44	51	104
Tav.v	Gbln-t	468243-1	Ylöjärvi	20.8.05					normaali		98	13	91	44	34	62
Tav.v	Elo-t	140017-5	Ratikylä	27.9.05					normaali		95	11	80	39	40	87
Tav.v	Gbln	468412-2	Talvainen	30.11.05					normaali		90	-1	13	12	89	14
Tav.v		57797243	Raijpo	17.12.05					normaali		66	-6	0	0	4	132
Tav.v	Sonk	196327-1	Kulju	5.2.06					normaali		84	-21	107	0	0	0
Tav.v	Sp	73998-7	Muurame	19.4.06					normaali		70	3	31	120	9	31
Tav.v	Ocpp	73513-4	Volkoski	20.4.06					normaali		61	0	50	117	14	38
Tav.v	Gbln	463756-7	Hiekkaharju 1	1.5.06					normaali		82	1	79	45	42	90
Tav.v	Kbp	138125-0	Hiekkaharju 1	4.5.06					normaali		79	4	61	28	45	90
Tav.v	Gbln	463861-5	Kulju	8.5.06					normaali		79	6	85	51	34	52
Tav.v	Gbln-t	468530-1	Kulju	10.5.06					normaali		77	22	87	54	46	68
Tav.v	Gbln-t	468710-9	Kulju	11.5.06					normaali		75	22	92	60	42	6
Tav.v	Gbln	463663-5	Hiekkaharju 1	17.6.06					normaali		80	13	67	42	51	85
Tav.v	Gbln-t	468635-8	Kangasala	19.6.06					normaali		62	28	76	54	60	91
Tav.v	Kbp	138062-5	Hämeenlinna	20.6.06					normaali		61	32	86	58	55	84
Tav.v	Shmmn	71709-0	Ylöjärvi	21.6.06					normaali		94	13	46	91	26	36
Tav.v	Gbln	463827-6	Hiekkaharju 1	21.6.06					normaali		70	27	81	58	52	86
Tav.v	Gbln-t	468655-6	Haukka	22.6.06					normaali		77	22	70	48	56	86
Tav.v	Gbln	463841-7	Hiekkaharju 1	22.6.06					normaali		71	23	62	49	51	87
Tav.v	Gbln	463757-5	Hyvinkää	4.7.06					normaali		57	22	90	53	35	63
Tav.v	Gbln-t	468440-3	Hyvinkää	4.7.06					normaali		57	22	95	53	39	65
Tav.v	Gbln	464110-6	Hiekkaharju 1	23.7.06					normaali		80	17	69	49	52	88
Tav.v	Sob	195079-9	Hämeenlinna	25.7.06					normaali		64	30	98	48	40	47
Tav.v	Simn-t	400434-7	Kausala	26.8.06					normaali		76	22	53	83	86	51
Tav.v	Hbi	39398-3	Toijala	30.8.06					normaali		77	10	38	86	24	34
Tav.v	Shmmn	71645-6	Kulju	3.9.06					normaali		85	16	42	150	21	34
Tav.v	Ocpp	73310-5	Kalkku	8.9.06					normaali		23	13	111	42	23	31
Tav.v	Sp	210294-5	Volkoski	13.9.06					normaali		74	16	96	40	19	29
Tav.v	Fat	78020-5	Ratikylä	4.10.06					normaali		77	11	52	35	91	51
Tav.v		198477-2	Vuolinko	17.10.06					normaali		95	9	42	31	102	47
Tav.v	Kbp	138378-5	Hiekkaharju 1	16.11.06					normaali		70	3	34	14	17	88
Tav.v	Tad	42144-6	Harju	26.2.07					normaali		84	-8	48	27	103	73
Tav.v	Hbi	39595-4	Utti	5.3.07					normaali		79	0	85	34	21	46
Tav.v	Zacns	248079299244	Loimaa	30.4.07					normaali		71	6	105	25	26	30
Tav.v	Sob	195079-9	Hämeenlinna	1.5.07					normaali		82	10	100	28	29	47
Tav.v	Sonk	196332-1	Loimaa	5.5.07					normaali		69	12	85	32	26	37
Tav.v	Sonk	196333-9	Loimaa	5.5.07					normaali		69	12	95	29	23	26
Tav.v	Gbln-t	468483-3	Harju	14.5.07					normaali		85	14	41	32	102	45
Tav.v	Gbln-t	468777-8	Kulju	4.6.07					normaali		80	31	87	61	54	80
Tav.v	Gbln-t	468592-1	Kulju	4.6.07					normaali		80	31	91	62	50	71
Tav.v	Gbln	463456-4	Utti	4.6.07					normaali		81	28	97	58	60	94
Tav.v	Zac	194009-7	Kalkku	5.6.07					normaali		70	28	68	50	49	85
Tav.v	Gbln-t	468237-3	Kulju	5.6.07					normaali		75	32	85	62	51	73
Tav.v		1009	Mäntsälä	16.6.07					normaali		74	19	85	73	125	47
Tav.v		1009	Tommola	16.6.07					normaali		81	18	67	97	139	32
Tav.v	Kbp	138020-3	Kulju	20.6.07					normaali		79	18	90	53	44	68
Tav.v	Kbp	138067-4	Kulju	23.6.07					normaali		73	29	90	61	48	72
Tav.v	Fat	78285-4	Utti	29.6.07					normaali		75	13	38	30	82	44
Tav.v	Simn-t	400316-6	Talvainen	23.7.07					normaali		93	9	24	21	30	86
Tav.v	Gbln-t	468183-9	Vahojärvi	26.7.07					normaali		95	15	93	42	35	64
Tav.v	Gbln-t	468238-1	Vahojärvi	6.8.07					normaali		77	28	85	61	63	77
Tav.v	Hio	41282-5	Utti	9.8.07					normaali		92	27	69	48	56	87
Tav.v	Gbln-t	468592-1	Tommola	10.8.07					normaali		73	18	85	39	41	57
Tav.v	Kbp	138383-5	Kulju	22.8.07					normaali		95	18	87	54	38	52
Tav.v	Hbi	39249-8	Volkoski	28.9.07					normaali		71	9	129	27	21	22
Tav.v	Shmmn	71642-3	Kulju	8.11.07					normaali		89	3	25	23	107	31
Tav.v	Sp	210588-0	Jämsä	21.11.07					normaali		74	0	32	21	136	45
Tav.v	Gbln-t	468128-4	Muurame	4.1.08					normaali		97	-10	32	18	35	150
Tav.v	Elo-t	140024-1	Kalkku	25.1.08					normaali		76	-1	50	85	89	55
Tav.v	Zan-v	194259-8	Jämsä	28.2.08					normaali		82	1	27	19	24	81
Tav.v	Sp	73985-4	Tommola	29.2.08					normaali		77	-3	49	68	80	50
Tav.v	Gbln-t	468304-1	Vahojärvi	19.5.08					normaali		67	8	50	29	23	97
Tav.v	Zac	194006-3	Kalkku	3.6.08					normaali		75	21	55	37	38	94
Tav.v	Sp	212136-6	Kulju	3.6.08					normaali		78	27	33	32	35	85
Tav.v	Sp	210363-8	Hyvinkää	24.7.08					normaali		80	20	40	34	97	46
Tav.v	Shimmn	403010-2	Harviaala	6.8.08					normaali		76	16	31	20	85	34
Tav.v		145882-6	Hiekkaharju 1	23.8.08					normaali		59	9	47	37	100	54
Tav.v	Kbp	138156-5	Louko	1.9.09					normaali		75	5	22	17	109	111
Tav.v	Shimmn	403056-5	Mäntsälä	14.11.08	20				normaali		53	6	38	37	86	35
Tav.v	Shimmn	403010-2	Vahojärvi	21.1.09					normaali		82	0	35	18	138	45

Taulukoista 24 ja 25 havaitaan, ettei hälyttänyt kalusto ole kuitenkaan aiheuttanut uusia hälytyksiä heti seuraavilla asemilla, lukuun ottamatta henkilövaunulla 2.7.06 ja tavaravaunulla 16.6.07 samalle kalustolle tapahtuneita kuumakäyntejä. Tilanteesta voidaan päätellä, että laakerilämpötilat ovat laskeneet junan pysäyttämisen jälkeen, jolloin junan tarkastaja on todennut hälyttäneen laakeripesän olevan normaali-lämpöinen vertaamalla esimerkiksi muihin laakeripesien lämpötiloihin.

Kyseisten taulukoiden kuumakäyntitulokset herättävät kysymyksiä, siitä onko kuumakäynti-ilmaisimien mittaamat laakeripesien lämpötilat välillä 80–150 °C vaarallisen korkeita. Miksi laakerilämpötilat eivät nouse heti seuraavilla kuumakäyntiasemilla vastaaville lukemille antaen uuden kuumakäyntihälytyksen? Aineiston mukaan näissä kuumakäyntitapauksissa ei ole kyse kuumakäynti-ilmaisimen mittausvirheestä, vaan todellisista kuumakäynti-ilmaisimen mittaustuloksista. Kuumakäyntimittausten seurannan ja luotettavuuden parantamiseksi, kuumakäynnin menettelyohjeita voisi kehittää esimerkiksi seuraavasti.

Ehdotus kuumakäynti-ilmoituslomakkeeseen täydennettävistä asioista

- Junan kuumakäyntitarkastuksen pysäyttämisaika ja kuumakäyntihälytyksestä kulunut aika.
- Tarkastajan suorittama lämpötilanmittaus lämpötilamittarilla ja kuumakäyntihälytyksestä kulunut aika.
- Vertailumittaus myös saman puolen viereisen akselin laakeripesältä
- Keliolosuhteiden merkitseminen
 - Ulkoilman lämpötila varjossa
 - Auringon paisteen esiintyneisyys
 - Vesi- tai lumisateen esiintyneisyys
 - Junan nostattaman lumipölyn esiintyneisyys
 - Tuulen suunnan ja nopeuden arvioiminen

8.4 Kuumakäyntivalvonnan hallinnointi

Lähitulevaisuudessa valvontajärjestelmät, kuten pyörävikojen-, virroitin-, ja kuumakäyntivalvonta tulevat lisääntymään ja täydentymään rataverkolla. Tämä aiheuttaa luonnollisesti myös valvontajärjestelmien ylläpidon ja seurannan kasvamista. Edellä mainituille valvontajärjestelmille olisi hyvä perustaa yhteinen valvontayksikkö. Valvontayksikköä hoitaisi erikseen määrätty yksi tai useampi viranhaltija, joka voisi keskittyä ainoastaan sille tarkoitetun asian hoitamiseen, kuten esimerkiksi reaaliaikaisen liikkuvan kaluston kunnon seurantaan kolmella edellä mainituilla valvontajärjestelmillä. Valvontayksikön toiminta tulisi kuulua rataverkon haltijan alaisuuteen, koska silloin taattaisiin muun muassa oikeudenmukainen kohtelu kaikille radankäyttäjille. Oikeudenmukaisella kohtelulla tarkoitetaan rataverkon haltijan mahdollisuutta antaa kaikille radankäyttäjille tietoja eri valvontajärjestelmien mittaustuloksista.

Ehdotus kuumakäyntiverkon haltijalle kuumakäyntihälytysten seurannan kehittämistä

- Rataverkon haltija vastaa kuumakäyntiverkon ylläpidon ohella myös kuumakäynti-ilmaisimien hälytystietojen jatkokäsittelystä ja reaaliaikaisesta mittauksen seurannasta.
- Jokainen kuumakäyntihälytys käsitellään viimeistään vuorokauden kuluessa kuumakäyntihälytyksestä erikseen määrätyn viranomaisen toimesta.
- Jokaiselle kuumakäyntihälytykselle on löydettävä syy mahdollisimman nopeasti.
- Kuumakäyntihälytyksistä ja kaikista siihen liittyvistä havainnoista pidetään kirjaa.
- Mikäli kuumakäyntihälytyksiä tapahtuu useita kertoja samalle laakeripesälle laakeripesän huoltovälin aikana, tulee seurannasta vastaavalla viranomaisella olla oikeus ohjata hälyttäneen kalustoyksikön laakeripesä laakeritarkastukseen. Tilanteessa tulee ottaa huomioon myös liikenteen sujuvuus ja kuumakäyntihälytyksen kriittisyys.

Ehdotus radankäyttäjälle kuumakäyntihälytysten seurannan kehittämisestä

- Laakeritarkastuksesta esitetään selvitys kuumakäyntihälytyksien seurannasta vastaavalle viranomaiselle. Selvityksestä tulee ilmetä mm. seuraavaa:
 - Kuumakäyntihälytyksen syynä ilmoitetaan joko laakerin todellinen lämpeneminen tai muu syy.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Kuumakäyntiverkkoa uusitaan ja täydennetään tällä hetkellä eniten Pohjois-Suomessa, jossa muun muassa Frontec:n kuumakäynti-ilmaisimet korvataan uudemmilla VAE:n kuumakäynti-ilmaisimilla. Kuumakäynti-ilmaisimien lukumäärän kasvaessa lisääntyy luonnollisesti myös kuumakäyntihälytysten määrä. Vaarana on tällöin myös aiheettomien hälytyksien kasvaminen. Aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä sattuu tutkimuksen mukaan eniten talvella. Vastaavasti kuumakäynti-ilmaisimien uudistamisten ja verkoston kasvattamisen johdosta laakerin vaurioitumisesta johtuvilta akselin katkeamisilta on vältytty vuoden 2003 jälkeen. Kuumakäynti-ilmaisimen tehtävänä on tunnistaa laakerivauriot ennen kuin laakerivaurio johtaa pahimmassa tapauksessa akselin katkeamisen jälkeen junan radalta suistumiseen. Mitä aikaisemmin alkava laakerivaurio voidaan tunnistaa, sitä pienempi riski on liikennehäiriöihin ja junan radalta suistumiseen. Kuumakäyntivalvonnassa tulee olemaan aina kompromissi turvallisuuden ja aiheettomien kuumakäyntihälytyksien välillä. Tärkeimpänä tekijänä on aina varmistaa turvallisuus. Turvallisen kuumakäyntivalvonnan takeena on myös aiheettomien kuumakäyntihälytyksien esiintyneisyys.

Aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä pyritään tälläkin hetkellä vähentämään radanpitäjän ja radankäyttäjän toimesta. Kuumakäyntivalvonnan luotettavuutta voidaan kehittää parhaiten parantamalla kuumakäynti-ilmaisimen ja liikkuvan kaluston keskinäistä vuorovaikutusta ottaen huomioon myös ulkoiset tekijät. Tutkimustuloksien mukaan laakereiden kuumakäynnit osoittavat, että vasemman ja oikean puolen laakereiden liian suurista lämpötilaeroista aiheutuu paljon aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä.

Kuumakäynti-ilmaisimen osalta aiheettomat hälytykset eivät tutkimuksen mukaan johdu mittalaitteen aiheuttamasta toimintaviasta. Aiheettomien hälytysten yksi syy on tutkimustulosten perusteella mittalaitteelle annettujen hälytysrajojen sovittaminen eri junakalustotyypeille, koska laakereiden lämpötilakäyttäytymiset poikkeavat toisistaan. Tutkimuksessa ei ilmennyt kuitenkaan jotain tiettyä kalustotyyppiä, jolla olisi ollut merkittävästi enemmän kuumakäyntejä kuin muilla kalustotyypeillä.

Lisäksi aiheettomiin kuumakäyntihälytyksiin vaikuttaa ulkoiset seikat, kuten mittaushetkellä vallitsevat olosuhteet. Edellä mainitut asiat ovat merkittäviä kuumakäyntivalvonnan kehittämisessä. Ilman käytännössä suoritettavia kokeellisia menetelmiä on laakereiden lämpötilakäyttäytymistä ja mittalaitteen toimintaa vaikeaa tutkia tämän tarkemmin.

Kuumakäynti-ilmaisimien mittaustulosten luotettavuuden parantamiseksi tulisi eri junakalustotyyppien laakerilämpötilakäyttäytymistä tutkia kokeellisilla menetelmillä muun muassa seuraavasti.

- Laakerilämpötilan muutos ajan funktiona täydestä vauhdista pysäytetystä junasta eri keliolosuhteilla (lumisade, vesisade, tuuli) sekä ilman lämpötiloilla (-25 °C...+35 °C). Tavaravaunuilla sekä kuormattuna että kuormaamattomana.
- Erityyppisten laakeripesien lämpötilajakaumat laakeripesän pinnalta mitattuna

Tutkimus osoittaa, että lämpötilamittaustietoja ketjuttamalla voidaan tutkia luotettavammin mittalaitteen ja liikkuvan kaluston keskinäisestä vuorovaikutuksesta

sekä ulkoisista vaikutuksista johtuvia kuumakäyntihälytyksiä, kuin laakerivaurioon johtavia kuumakäyntejä. Alkavan laakerivaurion lämpötilan kohoaminen alkaa tutkimusten kuvaajien mukaan yleensä nopeasti, jolloin sitä on vaikeaa havainnoida mittaustietoja ketjuttamalla. Alkava laakerivaurio voi esiintyä myös alhaisemmilla lämpötilan kuumakäyntihälytyksillä, mutta silloin alkavaa laakerivauriota on hankalaa tunnistaa kuumakäynti-ilmaisimen mittaustiedoista tai silmämääräisessä kuumakäyntitarkastuksessa pysäytetystä junasta. Kuumakäyntihälytyksen jälkeen pysäytetyn junan laakerilämpötilat ehtivät yleensä laskea normaalille tasolle, jolloin junan matkanteko on saanut jatkaa. Tutkimuksen mukaan sama laakeripesä ei ole kuitenkaan hälyttänyt yleensä uudestaan heti seuraavilla kuumakäyntiasemilla. Yhteenvedon voidaan todeta, että tutkimuksen mukaan liikkuvalla kalustolle sattuu harvoin laakerivaurioita ja jokainen alkava laakerivaurio pystytään tunnistamaan hyvissä ajoin ennen laakerivaurion aiheuttamaa kaluston kiskoilta suistumista. Mitä aikaisemmin alkava laakerivaurio pystytään tunnistamaan, sitä turvallisemmin ja sujuvammin voidaan rautatieliikennöintiä suorittaa.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Kivioja, S., Kivivuori S. & Salonen P. 1997. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. Tekijät ja Otatiето, toinen korjattu painos, Helsinki. s. 64, 100–101, 121, 131.
- /2/ Airila, M. Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M & Välimaa, V. 2003. Koneenosien suunnittelu. Neljäs painos. WSOY, Porvoo. s. 423.
- /3/ Asp R., Hyyppönen H., Tuominen H., Kunnossapito. Opetushallitus. http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html. Viitattu 6.5.2009.
- /4/ VR Cargo. 2009. Tuote-esite. Saatavissa: http://www.vrcargo.fi/fin/img/vaunut_pohjapiirrokset/sdgggnqss-w_sdggqss-w.gif. Viitattu 20.4.2009.
- /5/ Axiom Rail. 2009. Tuote-esite. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.axiomrail.com/downloads/new/AxiomProductPage_AM3.pdf. Viitattu 20.5.2009.
- /6/ VR Engineering. 2009. Kuumakäynnit 2004–2009. Rusanen, Veikko. Helsinki.
- /7/ Lehtonen, T. 1991. SVR:n vaunujen telit. Resiina 3, s. 10–15.
- /8/ Suomen rautatietilasto 2009. Ratahallintokeskus. Helsinki. s. 27, 30. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://rhk-fi.bin.directo.fi/@Bin/da5bc09f42764ee68a3f50f83c9e58c9/1257954915/application/pdf/2922317/srt09.pdf>. Viitattu 20.8.2009.
- /9/ Näveri, A. 1995. Pendolino - Aikamme pikajuna. Projektityö. Hyvinkää s. 4-5, 10.
- /10/ Kuva 11. Rosnell, Leif. 2009. VR-konserni. Saatavissa http://www.vr-konserni.fi/images/5i1M4gz6q/5HhjZlrPL/Pendolino_kaarteessa.jpg. Viitattu 3.11.2009.
- /11/ Ruonala, P. 2001. Pendolinon mutkainen matka Suomeen. Resiina. 1, s. 4-8.
- /12/ Liikkuvan kaluston tekniset määräykset ja ohjeet (LIMO), osa 1. 1434/734/06. 2006. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.finlex.fi/data/normit/26039-LIMO_1-notifioitava_versio.pdf. Viitattu 28.8.2009.
- /13/ Jussila, H. 1996. Tavaravaunun kunnossapito. Resiina. 1, s. 4-15.
- /14/ VR Cargo. 2009. Tuote-esite. Saatavissa: http://www.vrcargo.fi/fin/vaunut/kotimaan_liikenne/erikoisvaunut/osg.shtml. Viitattu 25.10.2009.
- /15/ VR-Yhtymä Oy, Pieksämäen konepaja 15-16.6.2009.

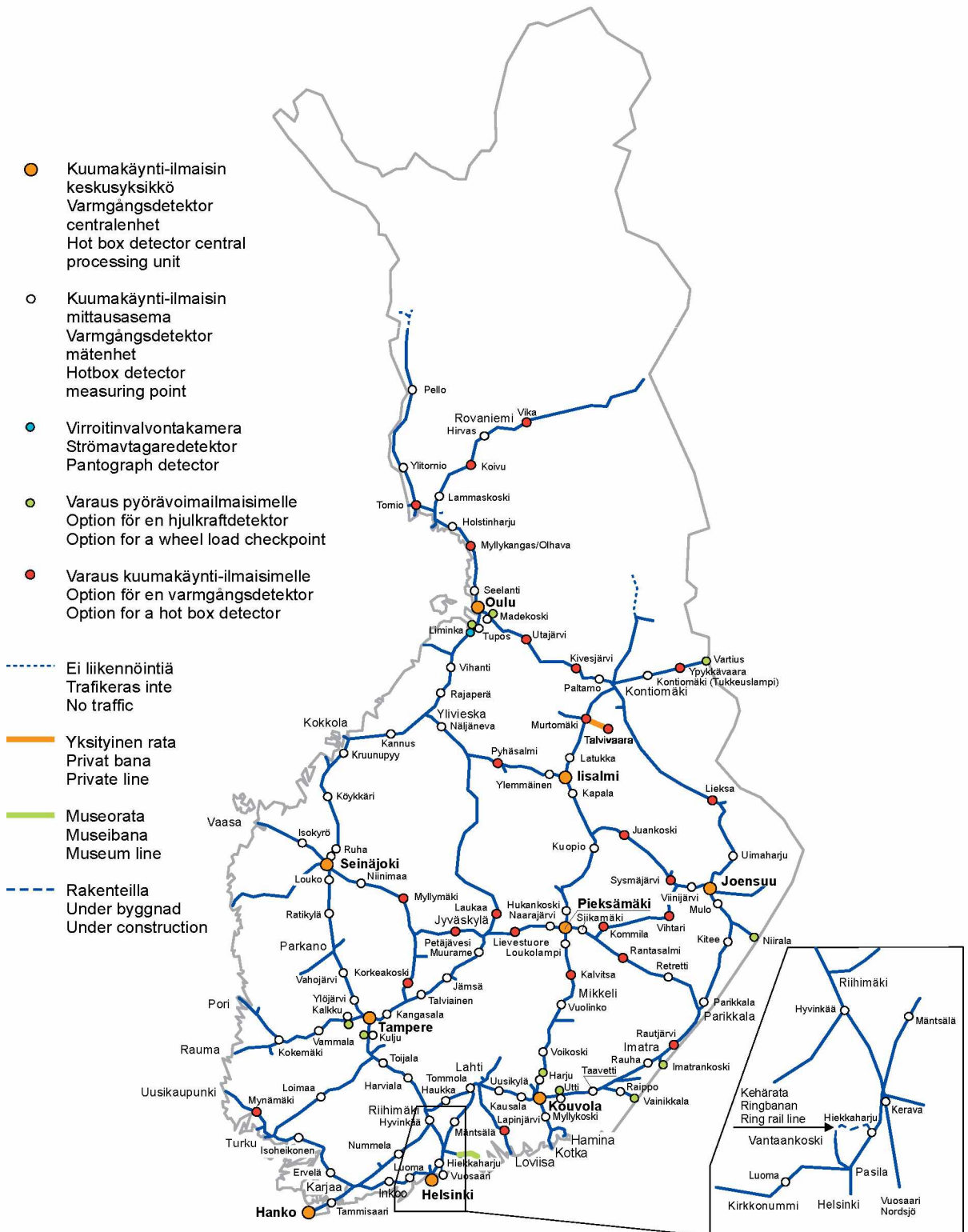
- /16/ Orlova, A., Boronenko, Y., 2006. The Anatomy of railway vehicle running gear. Iwnicki, Simon. Handbook of railway vehicle dynamics. Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York. s. 45-51
- /17/ Tutkintaselostus C1/2008R. Vaihtotyöyksikön viiden vaunun suistuminen Turun Heikkilän ratapihalla 8.2.2008. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/ocpsvo8.pdf>. Viitattu 8.6.2009.
- /18/ Borgman, J. 2005. Nordic Rail-messut Jönköpingissä keräsi yli 4000 vierasta. Rautatietekniikka. 4, s. 54.
- /19/ Fermèr, M. 1993. Railway wheelsets. Doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola. Chalmers bibliotek, Göteborg 1993. s.1-2.
- /20/ YTE 2006/861/EY. 2006. Euroopan laajuisen tavanomaisen rautatiejärjestelmän osajärjestelmää ”liikkuva kalusto — tavaraliikenteen vaunut” koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. Saatavissa PDF-tiedostona: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2006/L_344/L_34420061208fi00010467.pdf. Viitattu 22.7.2009.
- /21/ Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RATO), osa 2. 2002. 894/731/00. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.finlex.fi/data/normit/11471-RAMO_2.pdf. Viitattu 21.6.2009.
- /22/ BolderImage Division of MIS, Inc. 2009. Amstedrail. http://www.amstedrail.com/tech_sheets/0001.asp. Viitattu 20.4.2009.
- /23/ Nisso, Kari. 1984. Junan vaunujen pyöräkertojen, erikoisesti laakerointien kunnossapitojärjestelmien kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, koneenrakennuksen laitos. s.14, 22-23, 26-30.
- /24/ RVI/363/412/2008. Junan jarrutuskyky sekä jarrujen tarkastus ja koettelu. Rautatievirasto. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.finlex.fi/data/normit/32345-Junan_jarrutuskyky_seka_jarrujen_tarkastus_ja_koettelu_26_5_2008_ehja.pdf. Viitattu 10.10.2009.
- /25/ Heikkilä, Hannu. 2007. Tutkimus valurautaisten jarruanturoiden korvaamisesta keinoanturoilla raideliikennekaluston tönkkäjarruissa. Diplomityö. Oulun yliopisto, konetekniikan osasto. s. 5-7.
- /26/ Stichel, S. 1998. Running behavior of railway freight wagons with single-axle running gear. Department of vehicle engineering royal institute of technology. Stockholm.
- /27/ Johansson, A. 2005. Out-of-Round Railway Wheels – Causes and Consequences. Doktorsavhandling vid Chalmers University of Technology, Göteborg Sweden.

- /28/ Railway technical web pages. 2008. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.railway-technical.com/Brake-Discs.jpg>. Viitattu 25.5.2009.
- /29/ Nayer, W. 2005. HOA für die finnischen Personen-Güterverkehrsstrecken. Signal + Draht (97). 4, s. 29.
- /30/ Tutkintaselostus C1/2002R. Matkustajavaunun laakerin kuumakäynnistä aiheutunut vaaratilanne Hankasalmella 30.1.2002. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/26ecuqjgq4.pdf>. Viitattu 9.6.2009.
- /31/ Tutkintaselostus. C2/2002R. Säiliövaunun laakerivauriosta aiheutunut vaaratilanne Viialassa 11.2.2002. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/w2vv802vxfd5w.pdf>. Viitattu 7.6.2009.
- /32/ Helle A., Sainio H., Parikka R. & Vaajoensuu E., 2006. Rasvavoitelun kehittäminen kohti aktiivista voitelua. VTT:n julkaisu: Vol. 20 (2006) No: 7, 12–17.
- /33/ Tutkintaselostus C4/2002R. Tavaravaunun laakerivaurio ja suistuminen Muhoksella 27.5.2002. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/4hzzfmwc.pdf>. Viitattu 3.5.2009.
- /34/ Lawrence, R. Leary, J. McCown, R. & Moyer, G. 1986. Moyer, G. J. & Punwani, S. K. Railroad journal roller bearing failure and detection. Analysis of journal roller bearing failure at fast on may 29, 1986. The American society of mechanical engineers, New York s. 9-28.
- /35/ Cene B., Gerdun V., Kovse I., Sedmak V. & Sinkovek V. 2007. Failure of bearings axles in railway freight wagons. Ministry of Transport, TUV Bayern Sava d.o.o., Road maintenance and protection, Slovenian Railways, Institute for Metal Constructions. Ljubljana, Slovenia.
- /36/ Tutkintaselostus C5/2003R. Tavaravaunun viimeisen vaunun laakerivaurio ja suistuminen Lahdessa 28.5.2003. Onnettomuustutkintakeskus. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/mj2py2z9.pdf>. Viitattu 3.5.2009.
- /37/ Verkkoselostus 2010. Ratahallintokeskus. F3/2008. s. 110. Saatavissa PDF-tiedostona: http://rhk-fi.bin.directo.fi/@Bin/02fa29b339f6ef48587045fb5970b7b8/1257954433/application/pdf/2469495/Verkkoselostus_2010_fin_WEB.pdf. Viitattu 10.9.2009.
- /38/ Ratahallintokeskus. 2009. Saatavissa: <http://www.rhk.fi>. Viitattu 25.7.2009.
- /39/ Rautatievirasto. 2009. Saatavissa: <http://www.rvi.fi>. Viitattu 25.7.2009.

- /40/ Euroopan rautatievirasto. 2009. Saatavissa: http://europa.eu/agencies/community_agencies/era/index_fi.htm. Viitattu 26.5.2009.
- /41/ YTE 2006/861/EY. 2009. Komission päätös Euroopan laajuisen tavanomaisen rautatiejärjestelmän osajärjestelmiä koskevista yhteentoimivuuden teknisistä eritelmistä tehtyjen päätösten 2006/861/EY ja 2006/920/EY muuttamisesta.
- /42/ Halonen, Teuvo. 2002. Uusien laakerien kuumakäyntien mittausjärjestelmä. Rautatietekniikka. 3, s. 46–49.
- /43/ RVI/235/410/2009. Euroopan unionin komission päätös (2008/163/EY) rautatietunneleiden turvallisuutta Euroopan laajuisessa tavanomaisen ja suurten nopeuksien rautatiejärjestelmässä koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. Rautatievirasto. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.finlex.fi/data/normit/34397-rautatietunnelit.pdf>. Viitattu 18.10.2009.
- /44/ Rata tekniset määräykset ja ohjeet (RAMO), osa 6. 1998. Ratahallintokeskus. 397/732/98. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/11492-RAMO_6_Turvalaitteet.pdf. Viitattu 7.5.2009.
- /45/ Rata tekniset ohjeet (RATO), osa 13. 2006. Ratahallintokeskus. Dnro. 1953/731/2004. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/cf66b5e78f84ca62395d8c161565d31d/1258646159/application/pdf/1704879/RAMO%2013%20Radan%20tarkastus.pdf>. Viitattu 25.7.2009.
- /46/ Voestalpine. 2009. Hot box and hot wheel detection systems. Tuote-esite. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.voestalpine.com/etc/picprod/railway_infrastructure/switchsystems/electronic_systems/hazard_notification/hoa_phoenix/vae/en.PICCContentPar.35111.File.tmp/VAE_HAZ_en.pdf. Viitattu 6.5.2009.
- /47/ Halonen, Teuvo. Corenet Oy. Puhelinkeskustelu. 22.9.2009.
- /48/ RVI/331/303/2007. VAE HOA 400 DS -Kuumakäynti-ilmaisimen hälytysrajat. Rautatievirasto. Dnro 120/631/07. Liite 1(2).
- /49/ Liikenteenohjauksen käsikirja. 2009. Ratahallintokeskus. Ohje Dnro: 2158/040/2009.
- /50/ Ueno, M. 2004. Integrated Sensor Bearing Unit for Axleboxes. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.ntn.co.jp/english/products/review/pdf/NTN_TR71_en_P034.pdf. Viitattu 3.6.2009.
- /51/ Evolution new sensor solutions for railways, business and technology magazine from SKF. 2009. Saatavissa: <http://evolution.skf.com/zino.aspx?articleID=14892>. Viitattu 25.7.2009.
- /52/ Kuumakäynti-ilmaisimien sijainnit 1.12.2008. Ratahallintokeskus.
- /53/ Kuva 71. Mäkitupa, Seppo. 2009. Ratahallintokeskus

- /54/ Kuva 72. Heikkinen, Pertti. 2009. 18.01.2009/Järvenpää, Järvenpää asema. Vaunut.org. Saatavissa: <http://vaunut.org/kuva/54569>. Viitattu 28.10.2009.
- /55/ Kuva 73. Pirttilahti, Juhani. 2009. Sinisiä Turussa, lumi pölyää. Vaunut.org. Saatavissa: <http://vaunut.org/kuva/20001>. Viitattu 1.10.2009.
- /56/ Kuva 74. Aitta, Toni. 2009. Eipt 27382:n luminen teli. Vaunut.org. Saatavissa: <http://vaunut.org/kuva/21324>. Viitattu 1.10.2009.
- /57/ Kalustoluettelo. 2009. Rautatievirasto
- /58/ Euroopan talous- ja sosiaalikomitean lausunto aiheesta ”Ehdotus: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi yhteisön rautateiden kehittämisestä annetun neuvoston direktiivin 91/440/ETY muuttamisesta” KOM(2004) 139 lopullinen — 2004/0047 COD. Virallinen lehti nro C 221, 08/09/2005 s. 0056 – 0063. Eur-Lex. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52005AE0130:FI:HTML>. Viitattu: 11.11.2009.
- /59/ YTE 2008/232/EY. 2008. Euroopan laajuisten suurten nopeuksien rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. Euroopan unionin virallinen lehti L 84/132. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:084:0132:0392:FI:PDF>. Viitattu 23.7.2009.

Kuumakäynti-ilmaisimien ja keskusyksiköiden sijainnit rataverkolla /37/



Turvallisuuden merkittävästi vaikuttavat rautateiden liikkuvan kaluston järjestelmät ja komponentit /12/

1 Kannatuslaitteet ja telit

- 1.1 Pyöräkerrat, pyörät, akselit
- 1.2 Akselilaakerit
- 1.3 Pyöräkerran ohjaimet
- 1.4 Jouset, ripustimet, vaimentimet
- 1.5 Telin rungot

2 Jarrut

- 2.1 Tönkkäjarrut; mekaniikkaosat
- 2.2 Levyjarrut; mekaniikkaosat
- 2.3 Jarrulevyt
- 2.4 Kiskojarut
- 2.5 Ilmajarrut; pneumatiikkaosat
- 2.6 Muut jarrujärjestelmät

3 Aluskehys- ja päällysrakenneosa

- 3.1 Ulko-ovet sulku- ja lukituslaitteineen (sivu- ja päätyovet)
- 3.2 Astimet, portaat, käsirivat, -kaiteet ja -johteet; siirtoseinät ja -katot mekanismeineen; päätyluukut; pääty- ja sivupylväät
- 3.3 Kuorman tuki- ja sidontalaitteet
- 3.4 Veto- ja puskinlaitteet
- 3.5 Ylikulkusillat ja -tunnelit
- 3.6 Varapoistumistiet
- 3.7 Korin kallistusjärjestelmät
- 3.8 Aluskehys

4 Junaturvallisuuslaitteet ja turvallisuuden vaikuttavat ohjaus- ja säätölaitteet

- 4.1 Junien automaattisen kulunvalvonnan (JKV-) laitteet
- 4.2 Kuljettajan turvalaite
- 4.3 Opastinlaitteet; akustiset ja optiset
- 4.4 Junaradiolaitteet
- 4.5 Radio-ohjauslaitteet
- 4.6 Jarru- ja ajolaitteiden sähköiset ohjauslaitteet

5 Sähkölaitteet

5.1 Virroittimet

5.2 Muuntajat, muuttajat, tasasuuntaajat palo- ja sähköturvallisuuden osalta

5.3 Paluuvirtatiet, maadoituslaitteet erotus- ja maadoituskytkimiseen

5.4 Apukäyttölaitteet hätätilanteita varten

5.5 Matkustajatilojen hätävalaistuslaitteet

5.6 Junan sisäiset viestilaitteet hätätilanteita varten

6 Muut turvallisuuteen merkittävästi vaikuttavat kohteet

6.1 Sammuttimet, palonilmaisimet

6.2 Polttomootorit osajärjestelmiseen palo- ja ympäristövaatimusten osalta

6.3 Paineastiat ja VAK-säiliöt varusteineen, säiliövaunujen työskentelytasot

6.4 Vammaispalveluvarustukset

6.5 Nostolaitteet

6.6 Opastavat merkinnät hätätilanteita varten

6.7 Kunnossapito- ja tarkastusmerkinnät

6.8 Turvallisuuteen merkittävästi vaikuttavien osien liittäminen

(hitsausliitokset, ruuviliitokset, liimaliitokset, muut liittämismenetelmät)

Vuosina 2004–2009 kuumakäyntihälyttäneet henkilö- ja tavaravaunut, lukumäärät ja akselimassat /57/

Henkilövaunut			Tavaravaunut		
Tyyppi	Aks.massa	lkm	Tyyppi	Aks.massa	lkm
Ed	19	49	Habbin	25	45
Edm	19	20	Sdggngqss-w	25	57
Edfs	18,5	21	Sdggqss-w	25	4
Edb	18,5	30	Simn-t	25	209
Eds	18,5	12	Hain	22,5	40
Eil	14,6	49	Laais	22,5	
EX	14,5	44	Gbln-t	22,5	775
Rx	14,5	12	Kbp	22,5	377
Expt	14,5	18	Sim	22,5	473
Rk	14,2	11	Shimn	22,5	60
CEmt	14,2	90	Za	22,5	36
Ei	14,2	34	Shmmn	22,5	114
Ein	14,2	100	Elo-t	22,5	50
EFiti	14,2	14	Zan-v	22,5	104
Eip	14,2		Occ	20	446
Rkt	14,2		Rbnqss	20	66
Cx			Soek	20	117
Semt			Sgm	20	115
			Hkb	20	1032
			Sonk	20	33
			Sp	20	1927
			Hai-t	20	125
			Obrk	20	80
			Tad	20	92
			Ocpp	20	109
			Rmm	20	44
			Ome	20	202
			Hbi	20	559
			Ocpp	20	109
			Fat	20	158
			BSoek	20	5
			Hccmqqr	20	15
			Sob	20	89
			Zac	20	10
			Hio	20	65
			Taimn	20	46
			Spa	20	29
			sag	20	3
			Bhpy	20	198
			Ohn	20	
			Zacns		
			Zacens		
			Koev59		1
			koev		13

VAE HOA 400DS -kuumakäynti-ilmaisimien hälytysrajat /48/

1 (2)

Dnro 120/631/07

LIITE

13.2.2007



RATAHALLINTOKESKUS
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN

RVI/331/303/2007

VAE HOA 400 DS -KUUMAKÄYNTI-ILMAISIMIEN HÄLYTYSRAJAT

Yleinen = vaunut, veturit ja työkoneet yleisesti
Sisäpuoli = laakeripesällä pyörän vieressä
Ulkopuoli = laakeripesällä pyörästä kauempana

Hälytystyyppi	Hälytys- tasot	KALUSTOTYYPPI											
		Yleinen		Sr1		Sm1		Sm2		Sm3			
		Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥	Hälytyslämpötila [°C] Sisäpuoli ≥ Ulkopuoli ≥				
Absoluuttinen lämpötila	Varoitus	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Lämmin	85	85	110	85	115	85	115	85	85	85	85	85
	Kuuma	100	100	125	100	125	100	100	100	100	100	100	100
Suhteellinen lämpötila (absol. - ulkoilma)	Varoitus	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Lämmin	65	80	100	80	110	80	110	80	65	80	80	80
	Kuuma	80	90	115	90	125	90	125	90	80	80	80	90
Oikean ja vasemman puolen lämpötilaero	Varoitus	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Lämmin	50	50	55	50	65	50	65	50	35	35	45	45
	Kuuma	60	60	85	60	75	60	75	60	45	45	55	55
Ero junan muiden laakereiden lämpötilojen keskiarvoon	Varoitus	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Lämmin	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Kuuma	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
Ero kalustoyksikön muiden laakereiden lämpötilojen keskiarvoon	Varoitus	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä
	Lämmin	45	45	55	45	55	45	55	45	35	35	45	45
	Kuuma	55	55	65	55	65	55	65	55	45	45	55	55

Postiosoitte/Postadress
PL 185, 00101 Helsinki
PB 185, FI-00101 Helsingfors

Käyntiosoitte/Besöksadress
Keskuskatu 8, 7. krs
Centraltorget 8, 7 tr

Puhelin/Telefon
020 751 5111
+358 20 751 5111

Fax
020 751 5100
+358 20 751 5100

Sähköposti/E-post
kijajamo@mk.fi
enurimi.sukunimi@mk.fi

Kotisivu/Hemsida
www.mk.fi

Y-tunnus 1010547-1/FO-nummer 1010547-1

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-519-9

www.liikennevirasto.fi