

Jan Lindberg

# PANDAS-järjestelmän hyödyntäminen rataverkon ajolangan valvonnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

4.12.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Jan Lindberg PANDAS-järjestelmän hyödyntäminen rataverkon ajolangan valvonnassa  49 sivua + 14 liitettä 4.12.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori, Arja Ristola Ylitarkastaja Juha-Matti Vilppo
<p>Tämä työ on tehty rataverkon haltijalle eli Liikennevirastolle. Työn tarkoituksena oli tarkastella ja analysoida ajolangan valvontalaitetta, joka tunnetaan nimellä "Pantograph Collision Assessment System" (PANDAS). Laitteisto on kiinni veturin virroitimessa ja mittaa ajolangan siihen kohdistamia iskuja. Oleellinen osa työtä on ollut analysoida mittaustuloksia ja selvittää laitteiston toimivuutta. Työ on tehty myös silmälläpitäen mahdollisia lisähankintoja liittyen uusiin laitteistoihin.</p> <p>Alkuosa työstä käsittelee rataverkon rakennetta ja komponentteja. Tämän jälkeen paneudutaan itse laitteiston toimintaan ja sen tuottamien mittausten analysointiin. Havaintojen analysoinnin lisäksi heräsi kysymys siitä, miten laitteiston keräämää tietoa tulisi käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Työssä tarkastellaan siis myös tiedon hyödyntämistä eri järjestelmien ja kunnossapidon kannalta.</p> <p>Työn pohjalta selvisi, että laitteisto toimii sille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Laitteistossa on muutamia ominaisuuksia, jotka aiheuttavat jonkin verran vääristymää havaintoihin. Kun ominaisuudet tunnistetaan ja otetaan huomioon havaintoja tulkittaessa, ei niistä seuraa ongelmia kokonaisuuden kannalta. Suurin kehittämiskohde laitteiston toiminnan kannalta liittyy sen tuottaman tiedon hallintaan. Laitteiston tuottama tieto olisi hyvä integroida Liikenneviraston järjestelmiin, jolloin sitä päästäisiin hyödyntämään ja prosessoimaan paremmin kunnossapidossa. Myös kunnossapidon tuottama tieto olisi hyvä saada näkyville järjestelmiin, kun se tällä hetkellä jää eri osapuolten sähköpostiviesteihin. Liikenneviraston kunnossapito ja kunnossapitäjät ovat pitäneet laitteistoa hyödyllisenä, jolloin voidaan olettaa, että sitä pyritään hyödyntämään myös jatkossa. Laitteistolla on onnistuttu paikantamaan rataverkosta vauriopaikkoja ja huoltoa tarvitsevia komponentteja. Jo tämän perusteella uusia laitehankintoja voidaan pitää järkevinä.</p>	
Avainsanat	PANDAS, ajolanka, valvontalaite

Author Title Number of Pages Date	Jan Lindberg The Use of PANDAS for Monitoring Railway Track Overhead Line 49 pages + 14 appendices 4 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electrical Power engineering
Instructors	Arja Ristola, Senior Lecturer Juha-Matti Vilppo, Superintendent
<p>This work is done for the Finnish Agency for Transportation who owns the rail road tracks in Finland. The aim of this work was to research and analyze the overhead line tracking system, which is known as Pantographic collision assessment system (PANDAS). Equipment is attached to locomotives pantograph, where it measures the hits caused by overhead lines. The focus of this work was to analyze the measures made by PANDAS and estimate the usefulness of the equipment. The results can be applied to decisions on further equipment purchases.</p> <p>The first part of this work describes the structure of the rail road track and its components. Then PANDAS's functions and the measures produced are analyzed. In addition to analyzing the observations, it is considered how the collected information can be used in the most effective way. So, the work also examines the use of information in relation to the maintenance system.</p> <p>The work concludes that the equipment fulfils the requirements set to it. The equipment does have some elements that distort its measurements. When these elements are recognized and taken into account in analysis, they do not cause significant problems. The main area of improvement would be in how the information produced by PANDAS is managed. It would be useful to integrate the information to the existing Transportation Agency systems. This way information could be better used and processed by the maintenance team. The same goes the other way around: information produced by the maintenance team should be gathered, as at the moment it flows in form of scattered web messages. The maintenance team considers PANDAS useful, which indicates that the system will be used also in future. With the help of PANDAS it has been possible to locate damages in the rail road track system, as well as components that need to be repaired. Based on all this, it can be stated that new equipment purchases are justifiable.</p>	
Keywords	PANDAS, Overhead line, Monitoring instrument

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköinen rataverkko	2
2.1	Rataverkon sähköistysjärjestelmät	2
2.2	Syöttöasemat	3
2.3	Imu- ja säästömuuntajat	4
2.4	Ajojohdin	5
2.5	Ajolangan epäjatkuvuuskohdat	9
3	Pantograph Collision Assessment System (PANDAS)	14
3.1	SR2-tyyppin virroitin	14
3.2	Kiihtyvyyssanturit	18
3.3	Data Processing Module (DPM)	21
3.4	Receiver and Signal Relay Unit (RSRU)	22
3.5	Global Data Network (GDN)	23
4	Havaintojen analysointi	27
4.1	Havainnosta muodostuva kuvaaja	27
4.2	Kaluston kulkusuunta	28
4.3	GPS -paikannus	29
4.4	Kuvaajan käyrän offset-taso	31
4.5	Ideaalinen kuvaaja	34
5	Rataverkon kunnossapito	36
5.1	Kunnossapitäjät ja kunnossapitoalueet	37
5.2	PANDAS:in avulla löydettyjä poikkeavuuksia	38
6	Järjestelmän tuottaman tiedon hyödyntäminen	42
6.1	Liike-järjestelmä	42
6.1.1	TRAKEDIA	42
6.1.2	VALTSU	43
6.1.3	YKÄ	43
6.2	Raid-e hanke	44
7	PANDAS:in hyödyntäminen tulevaisuudessa	45

8	Yhteenveto	46
	Lähteet	47
	Liite 1. Ratojen sähköistys	
	Liite 2. 25 kilovoltin ja 2x25 kilovoltin jakautuminen Suomessa	
	Liite 3. 25 Kilovoltin järjestelmä syöttö- ja välilytkinasema	
	Liite 4. 2x25 kilovoltin järjestelmän syöttöasema	
	Liite 5. Virran kulkutie 25 kilovoltin järjestelmässä syöttöaseman ja kaluston välillä.	
	Liite 6. Virran kulkutie 2x25 kilovoltin järjestelmässä syöttöaseman ja kaluston välillä	
	Liite 7. Aukean tilan ulottuma rataverkolla	
	Liite 8. Ratajohtotyypit	
	Liite 9. Ratajohtotyyppien jakautuminen Suomessa	
	Liite 10. Ajolangan profiili	
	Liite 11. Havainnollistettu esitys erotusjaksosta	
	Liite 12. Havainnollistettu esitys ryhmityseristimestä	
	Liite 13. View details linkin kautta avautuva näkymä	
	Liite 14. Kaavio RAIKU sovelluksen rajapinnoista	

## Lyhenteet

ADD	Automatic dropping device. Virroittimen automaattinen laskujärjestelmä.
ATU	Aukean tilan ulottuma. Raiteen ympärillä oleva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita.
DPM	Data Processing Module. Tietoa prosessoiva moduuli.
IEPE	Integrated Electronic Piezoelectric. Kiihtyvyyssanturin tyyppi.
PANDAS	Pantograph Collision Assessment System. Virroittimen iskujen tunnistus laitteisto.
RAIKU	Ratakohteiden kunnossapidon hallintasovellus. Raid-e hankkeen ohjelma.
RATKO	Ratakohteiden hallinta. Raid-e hankkeen ohjelma.
RSRU	Receiver and Signal Relay Unit. Vastaanotto- ja signaalinvälitysyksikkö.
RYHTI	Ratakohteiden ylläpidon ohjelmoinnin sovellus. Raid-e hankkeen ohjelma.
TRAKEDIA	Rata infrastruktuurin hallinta. Liike-järjestelmän ohjelma.
VALTSU	Valvontalaitteiden tiedon siirto ulkoisiin järjestelmiin. Liike-järjestelmän ohjelma.
YKÄ	Liikenteenohjauksen yhtenäinen karttakäyttöliittymä. Liike-järjestelmän ohjelma.

## 1 Johdanto

Valtion rataverkossa liikkuu tänä päivänä paljon sähkövetureita ja -junayksikköjä. Yksi avaintekijä sujuvalle liikennöinnille on rataverkon ajojohtimen kunto. Kaluston katolla oleva virroitin välittää energiaa rataverkon ajojohtimesta näiden moottoreille. Mikäli ajojohdin tai virroitin on viallinen, eivät sähköveturit ja -junayksiköt kulje omatoimisesti. Ajojohtimen häiriöt, jotka aiheuttavat ongelmia liikennöinnille, ovat kiusallisia ja kalliita. Liikennöinnin ongelmien lisäksi kustannuksia tulee ajojohtimen häiriöiden sekä rikkoutumisien korjaamisesta. Nämä korjaustyöt voivat olla erittäin hintavia ja aiheuttaa työläitä operaatioita.

Edellä mainittujen haasteiden vuoksi Liikennevirasto yhdessä VR Groupin kanssa ovat ottaneet kokeilukäyttöön järjestelmän, jonka tarkoituksena on valvoa ajojohtimen kuntoa ja ennakoida sen huoltotarvetta. Liikennevirasto on hankkinut järjestelmän ja maksaa toimittajan laskuttamat ylläpitokustannukset liittyen ohjelmistoihin ja palveluihin. Laitteisto on asennettu VR:n veturiin. VR huolehtii samalla laitteiston ylläpidosta. Järjestelmä kulkee nimellä ”Pantograph Collision Assessment System” ja se tunnetaan lyhenteellä PANDAS.

Yhteistyö radan- ja kalustonhaltijan välillä on tärkeää sujuvan liikennöinnin kannalta. PANDAS-yhteistyö hyödyntää Liikennevirastoa radanhaltijana ennakoimaan ja paikantamaan mahdollisia ajojohdinongelmia rataverkossa. Mikäli ongelmat pystytään havaitsemaan ja paikantamaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, voidaan ennaltaehkäistä suurempia rataverkon vaurioita. Estettäessä suuremman luokan ongelman kehittyminen säästetään aikaa ja rahaa. VR hyötyy yhteistyöstä rataverkon varmuuden parantumisen sekä vähentyneiden virroitinvaurioiden johdosta. Kun ajojohtimen kuntoa valvotaan ja ehkäistään liikennöinnin katkeaminen, säästytään korvausmaksuilta ja myöhästymisiltä.

Mikäli järjestelmä on niin hyvä, että sillä voidaan ennakoida ja paikantaa ajojohtimen vikoja, on sille varmasti kysyntää osana laajempaa rataverkon kunnonvalvonta-järjestelmää. Työn tavoitteena onkin selvittää järjestelmän tuomia mahdollisuuksia ja potentiaalia. Työn tilaajan eli Liikenneviraston yksi tärkeimmistä kysymyksistä on hälytysilmoitusten analysointi ja yleisen trendin löytäminen niiden keskuudesta, jotta jatkossa hälytysilmoitusten tulkitseminen olisi helpompaa.

## 2 Sähköinen rataverkko

### 2.1 Rataverkon sähköistysjärjestelmät

Ennen siirtymistä PANDAS:in toiminnan ja tulosten analysointiin, on hyvä tutustua kohteeseen, jota sillä valvotaan. Rautateiden sähköistys sai alkunsa, kun Werner von Siemens esitteli ensimmäisen sähköveturin (kuva 1) Berliinissä 1879 ja toimivan sähköisen raitiotien muutaman vuoden kuluttua. Sähköinen vetokalusto ja rautatiet ovat kehittyneet huimasti 1800-luvun ajoista. Vaikka idea sähköisestä rautatiestä on yli sata vuotta vanha, ovat sähköistetyt rataosuudet edelleen melko uusi ilmiö. [1, s.13.]

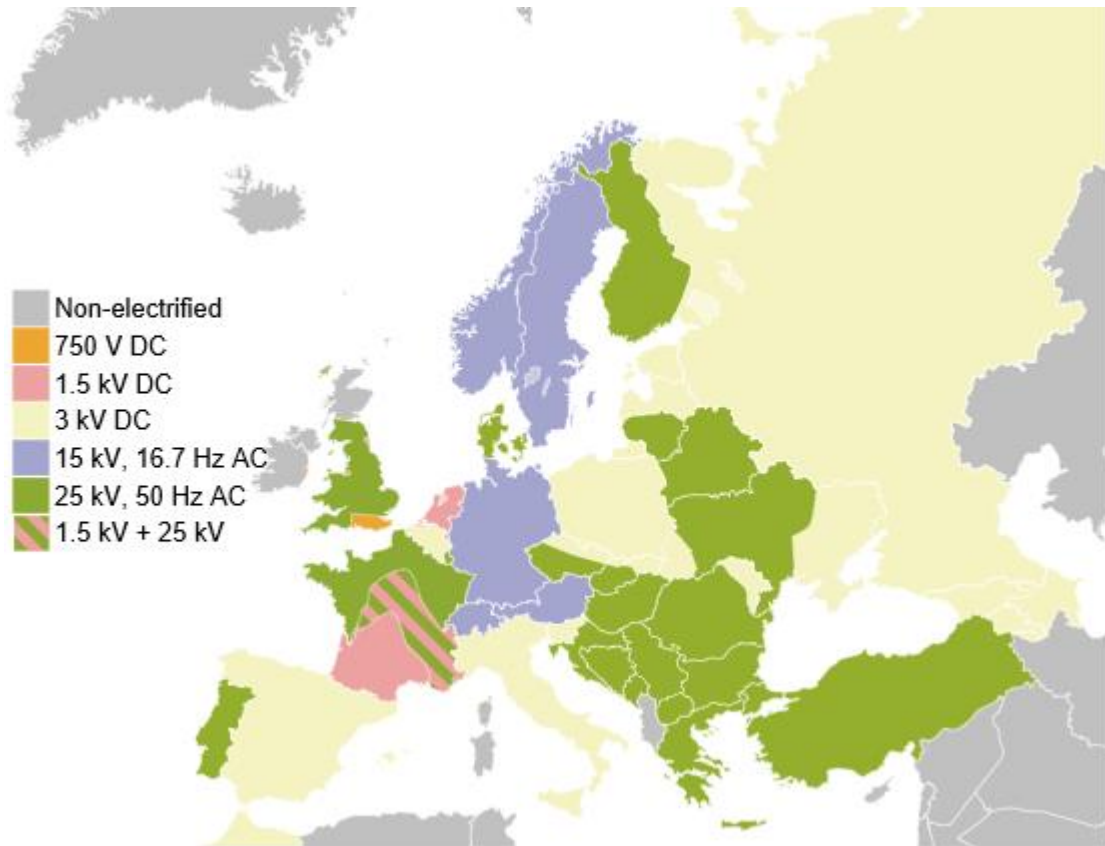


Kuva 1. Kolme vaunua matkustajineen Werner Von Siemensin lanseeraaman 2,2 kilowatin veturin perässä vuonna 1879. [2]

Euroopan maiden välillä vallitsee laaja valikoima eri sähköistysjärjestelmiä (kuva 2). Rautateiden sähköistys on aloitettu eri maissa eri aikaan, jolloin on valittu kyseisenä hetkenä vallinnut malli. Suurin ero eri järjestelmien välillä liittyy ajojohtimen jännitteen suuruuteen, tasavirtajärjestelmän (DC) tai vaihtovirtajärjestelmän (AC) väliseen valintaan sekä vaihtovirtajärjestelmissä taajuuden suuruuteen. Euroopan yhteisön rautatiejärjestelmän jännitteen ja taajuuden on oltava jotakin neljästä seuraavasta: tasavirta 1,5 kilovoltia, tasavirta 3 kilovoltia, vaihtovirta 15 kilovoltia ja 16 2/3 hertsiä tai vaihtovirta 25 kilovoltia ja 50 hertsiä [8, s.192]. Mitään tiettyä yksittäistä yhteistä sähköistysjärjestelmää ei ole standardoitu Euroopassa, ja kynnys lähteä vaihtamaan järjestelmää toisen malliseksi kunkin valtion kohdalla on korkea. Valitun järjestelmän jännitteen ja taajuuden arvojen ja rajojen on kuitenkin oltava standardin EN 50163:2004 kohdan 4 mukaiset. 25 kilovoltin ja 50 hertsin mallia on alettu käyttämään viimeisimpänä sen monista eduista johtuen. Muun muassa Ranska ja Englanti yhdessä Suomen kanssa ovat valinneet 25 kilovoltin järjestelmän. [1, s.15.]



Suomen valtiolla on rataverkkoa noin 5926 kilometriä, josta yli puolet noin 3270 kilometriä, on sähköistetty, kuten liitteessä 1 on esitetty [3, s.10-19]. Sähköistys on aloitettu 25 kilovoltin järjestelmällä 1960-luvun loppupuolella rantaradan osuudesta Helsinki–Kirkkonummi. Sähköistyksessä edetään tarpeen mukaan ja viimeisimmät sähköistykset on tehty Pohjois-Suomeen, missä on käytetty uutta 2 x 25 kilovoltin syöttöjärjestelmää. Liikkuva kalusto kokee sähköistysjärjestelmän samana riippumatta siitä, että onko se toteutettu 25 kV tai 2 x 25 kV syöttöjärjestelmällä. Liite 2 erittelee 25 kilovoltin ja 2 x 25 kilovoltin järjestelmien jakautumisen Suomessa [4, s.8].



Kuva 2. Rataverkon sähköistysjärjestelmien jakautuminen eri maiden välillä. [5]

## 2.2 Syöttöasemat

Syöttöasemien tehtävä rataverkossa on toimittaa energiaa ajojohtimeen. Suomessa syöttöasemien päämuuntajat alentavat kantaverkon jännitteen rataverkolle sopivaksi yksivaiheiseksi jännitteeksi ja siirtävät sen ajojohtimeen. 25 kilovoltin järjestelmässä kantaverkon 110 kilovolttia muunnetaan 25 kilovolttiin ja 2 x 25 kilovoltin järjestelmässä 50 kilovolttiin. 25 kilovoltin järjestelmä siirtää ajojohtimeen 25 kilovolttia (liite 3) ja 2 x 25

kilovoltin järjestelmä ajojohtimeen 25 kilovolttia ja vastajohtimeen -25 kilovolttia (liite 4). [4, s.13-14.]

Syöttöasemien syöttämälle jännitteelle ja sen taajuudelle on määrätty laatuvaatimuksia EN-standardeissa; EN 50163- ja EN 50388 -standardeissa. Nimellisjännitteen ( $U_n$ ) ollessa 25 kilovolttia tulee pysyvän minimijännitteen ( $U_{\min 1}$ ) olla vähintään 19 kilovolttia ja pysyvän maksimijännitteen korkeintaan 27,5 kilovolttia. Hetkellinen minimijännite ( $U_{\min 2}$ ) saa pudota 17,5 kilovolttiin ja hetkellinen maksimijännite nousta 29 kilovolttiin. EN 50163 -standardissa mainitaan kuitenkin, että jännitteen arvo ei saa olla  $U_{\min 1}$  (19 kV) ja  $U_{\min 2}$  (17,5 kV) välissä kauempaa kuin 2 minuuttia ja  $U_{\max 1}$  (27,5 kV) ja  $U_{\max 2}$  (29 kV) välissä kauempaa kuin 5 minuuttia. Normaalin toiminnan aikana jännitteen tulisi olla 19 kilovoltin ja 29 kilovoltin välissä. Suomen tapauksessa kantaverkolla ja rataverkolla on sama viidenkymmenen hertsin taajuus, jolloin verkkoon ei myöskään tarvita erillistä tahdistamista. EN 50163 -standardissa mainitaan hyväksytyksi rataverkon taajuuden poikkeamaksi +/- 1 %, 99,5 % ajasta vuoden aikana. 50 hertsin tapauksessa tämä tarkoittaa, että taajuus saa vaihdella 49,5 ja 50,5 hertsiä välillä. Standardin EN 50388 liitteessä F mainitaan verkon maksimivirraksi Suomessa 500 ampeeria. [6, s.7-8; 7, s.46.]

Rataverkossa on syöttöasemien lisäksi välilytkinasemia. Välilytkinasemat eroavat syöttöasemista siten, että ne eivät ole suoraan kytkettyinä kantaverkkoon. Välilytkinasemat sijaitsevat syöttöasemien välissä. Välilytkinasemilla pidetään erivaiheiset syötöt erillään. Välilytkinasemilla hoidetaan myös ratajohdon suojaus, erotus ja varasyöttö. Liitteessä 3 esitetty kuva välilytkinasemasta. [8, s.188.]

### 2.3 Imu- ja säästömuuntajat

Imu- ja säästömuuntajia käytetään rataverkossa tehostamaan paluuvirtojen siirtymistä ja ehkäisemään niiden aiheuttamia häiriöitä. Ajojohdin ja paluuvirta voivat aiheuttaa häiriölle alttiille rakenteille resistiivisen, kapasitiivisen tai induktiivisen kytkennän. Resisttiivisessä kytkennässä paluuvirta kulkee maassa olevien metallirakenteiden kautta sekä aiheuttaa kiskossa kiskopotentialin syntymisen. Jotta vaarallisilta askel- ja kosketusjänniteiltä vältyttäisiin, radan läheisyydessä olevat metallirakenteet maadoitetaan paluukiskoon. Kapasitiivisessa kytkennässä energia sitoutuu sähkökenttään ja häiriöitä aiheutuu esimerkiksi radan läheisyydessä oleviin viestijohdoin. Mikäli viestijohdot vedetään maa-

kaapelein tai ilmaitse ja kaapeleiden vaipat maadoitetaan, voidaan rataverkon aiheuttamia häiriöitä estää. Induktiivisessa kytkennässä energia sitoutuu magneettikenttään. Johtuen Suomen maaperän suuresta ominaisvastuksesta paluuvirralla on suuri tunkeutumissyvyys, kun se ei pääse johtumaan helposti pintaa pitkin. Ominaisvastus kuvastaa, kuinka hyvin aine vastustaa sähkövirran kulkua ja sen yksikkö on ohmimetri. Paluuvirran tunkeutuessa syvälle muodostaa se myös laajan indusoivan virtasilmukan, mikä voi aiheuttaa häiriöitä läheisyydessä oleville rakenteille. Paluuvirta voi kulkea Suomen olosuhteissa 4 - 5 kilometrin syvyydessä. [9, s.396-405.]

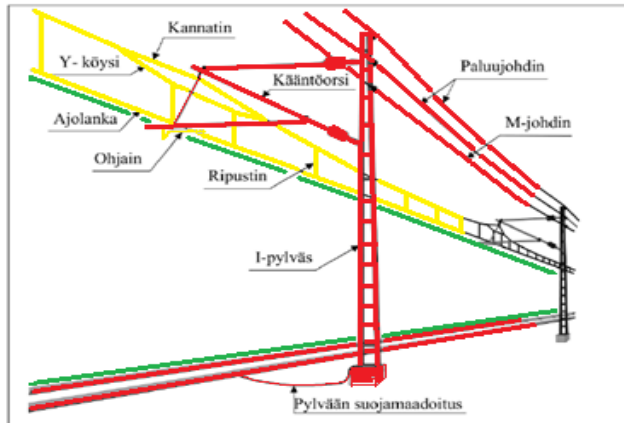
25 kilovoltin järjestelmässä käytetään imumuuntajia. Imumuuntajan ensiökäämitys kytketään ajolankaan ja toisiokäämitys paluujohtimeen. Lisäksi paluujohdin kytketään paluukiskoon imumuuntajien välissä, jos imumuuntajan väli on korkeintaan 2,6 kilometriä. Imumuuntaja saa aikaan sen, että paluuvirta kulkeutuu paluukiskoista paluujohtimeen, josta se siirtyy syöttömuuntajan toisiokäämitykseen (liite 5). Mikäli paluuvirtojen aiheuttamat häiriöt ovat pieniä, voidaan imumuuntajien sijaan käyttää reduktiojohdinta (liite 5). [4, s.8; 10, s.21.]

2 x 25 kilovoltin järjestelmässä käytetään säästömuuntajia. Poiketen 25 kilovoltin järjestelmästä 2 x 25 kilovoltin järjestelmässä käytetään paluujohtimen sijaan vastajohdinta. Säästömuuntaja kytketään ajojohtimen ja vastajohdinten väliin korkeintaan 7 kilometrin välein. Paluuvirta kulkeutuu säästömuuntajille paluukiskoa sekä M-johdinta pitkin. M-johdinta käytetään pylväiden maadoittamiseen ja se maadoitetaan paluukiskoon. Säästömuuntaja ohjaa paluuvirran paluukiskoa pitkin syöttömuuntajan toisiokäämitykseen (liite 6). [4, s.8; 10, s.22.]

#### 2.4 Ajojohdin

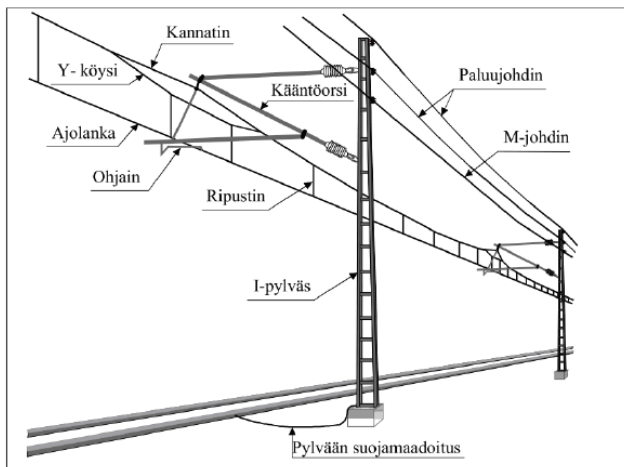
Rataverkko koostuu monista komponenteista ja niiden muodostamista erilaisista yhdistelmistä. Jotta vältettäisiin kaluston osuminen rataverkon komponentteihin, on olemassa alue, jota kutsutaan aukean tilan ulottumaksi (ATU). ATU esitetty tarkemmin liitteessä 7 [4, s.9]. Aukean tilan ulottuman sisäpuolella ei saa olla rataverkon kiinteitä osia. Vastavasti rataverkolla operoiva kalusto ei saa ulottua aukean tilan ulottuman ulkopuolelle. Aukean tilan ulottuman yläpinta ulottuu ajolankaan ja alapintaa vasten ovat kiskot. Kuvassa 3 on havainnollistettu tarkemmin värejä apuna käyttäen eri alueiden ja osien sijainteja 25 kilovoltin sähköistysjärjestelmässä. ATU ulottuu kahden vihreän viivan väliin

ajolangan alapuolella ja kiskojen yläpuolella. Ajojohdin on väritetty kuvaan keltaiseksi. Loput radan komponentit, kuten ajojohtimen kannatin rakenteet, kiskot ja paluuvirtatiet, ovat kuvassa punaisella. [10, s.33.]

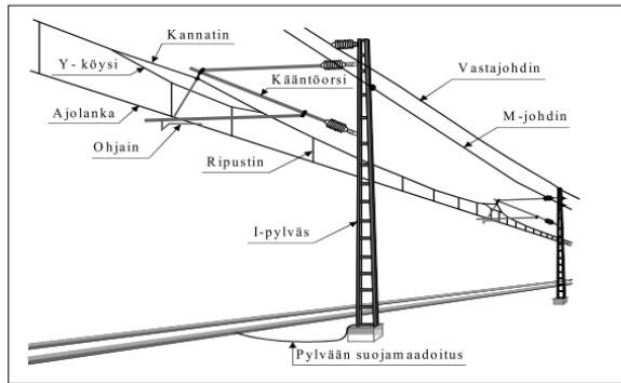


Kuva 3. Värein hahmotettuna eri alueita ja osakokonaisuuksia. [10, s.33]

Kuten aikaisemmin kävi ilmi, Suomessa on kaksi sähköistysjärjestelmää: 25 kilovoltin syötöllä (kuva 4) ja 2 x 25 kilovoltin syötöllä toteutettuina (kuva 5). [10, s.33-34.]



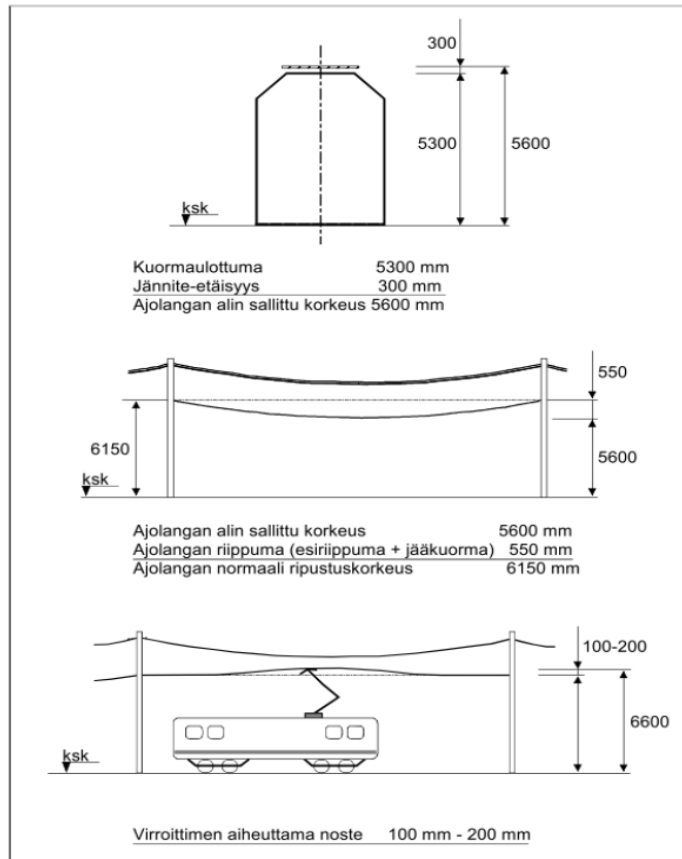
Kuva 4. 25 kilovoltin kokoonpano avoradalla pylvään kohdalla. [10, s.33.]



Kuva 5. 2 x 25 kilovoltin kokoonpano avoradalla pylvään kohdalla. [10, s.34]

Kuvista voidaan erottaa kokonaisuus, jota kutsutaan ajojohtimeksi. Ajojohdin koostuu monista eri osista viimeisimpänä ajolangasta. Ajolanka on kiskojen yläpuolella oleva johdin, jota vasten virroitin laahaa ja siirtää radalla liikkumiseen tarvittavan energian kalustoon. Muita komponentteja ajojohtimessa ovat ajolangan kannatin, ajolangan ja kannattimen yhdistävät liitännät, eristimet, syöttö- ja ohitusjohtimien liitynnät sekä kääntöorsien ohjaimet. Ajolangan kannatinta käytetään kannattelemaan ajolankaa halutulla korkeudella. Kannatin on jännitetty sopivaan kireyteen, ja ajolanka on kiinnitetty kannattimeen ripustimien avulla. Ajojohtimessa on otettava huomioon lämpötilan aiheuttamat muutokset kiinnittämällä ajolanka kääntöorren päässä kääntöorren ohjaimeen. Kääntöorret pääsevät kääntymään pylvään varassa sivuttaissuuntaisesti, jolloin ajojohdin elää lämpötilavaihteluiden mukaan. Y-köyttä käytetään parantamaan ajolangan joustavuutta. [10, s.33-34.]

Ajolangalla on tärkeä tehtävä osana energiaosajärjestelmää, koska se toimii rajapintana liikkuvan kaluston osajärjestelmään. Ajolangan ja virroitimen pintojen pysyvä kontakti on äärimmäisen tärkeää. Yksi tekijä, joka vaikuttaa kontaktiin on ajolangan korkeus. Ajolangan tulee olla tietyllä korkeudella myös ATU:n perusteella. Ajolangan vähimmäiskorkeus kiskotasosta rajoittuu 5600 millimetriin, kuormaulottuman (5300 millimetriä) ja jännite-etäisyyden (300 millimetriä) perusteella. Kuormaulottumalla tarkoitetaan aluetta, jonka sisään lastatun kuorman tulee rajoittua. Normaali asennuskorkeus ajolangalle on 6150 millimetriä. Ajolanka joudutaan asettamaan normaalikorkeuden alapuolelle esimerkiksi siltojen alituksissa. Korkeus määräytyy vähimmäiskorkeuden (5600 millimetriä) sekä esiriippuman ja jääkuorman (550 millimetriä) perusteella. Suurin sallittu korkeus ajolangalle on 6600 millimetriä johtuen virroitimen nosteesta (100 - 200 millimetriä) ja ulottumasta (kuva 6). [10, s.41-42.]

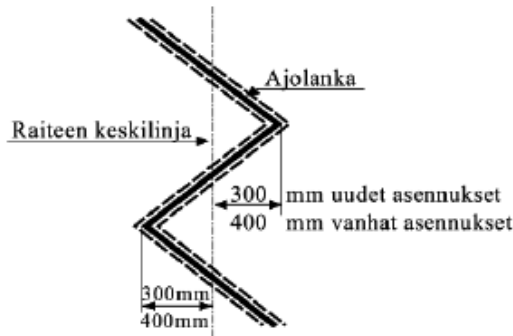


Kuva 6. Ajolangan vähimmäiskorkeus, normaali ja suurin korkeus. [10, s.42]

Pylväitä ja kääntöorsia on monen mallisia ja yhdistävä tekijä niillä on kannatella ajojohdinta niin, että liikkuva kalusto saa hyödynnettyä energian virroittimen välityksellä. Suomessa on useita ratajohtotyyppisiä, joiden suurimmat erot liittyvät käytettyyn kiristystapaan ja -voimaan sekä y-köyden pituuteen. Yleisimmät ratajohtotyypit, joita käytetään Suomessa, ovat: SR65, SR70, SR70 (parannettu nopeudelle 200 kilometriä/tunnissa), S71, SR160, SR220, VRR220, RT220 ja Y-köydetön ratajohto. Eri ratajohtotyypit on lueteltu liitteessä 8 [10, s.8]. Liitteessä 9 havaitaan ratajohtotyyppien jakautuminen Suomessa [10, s.28]. Ratajohtotyypit vaikuttavat muun muassa siihen, millä nopeudella kyseisellä osiolla voidaan liikennöidä. [10, s.35.]

Ajolangalle on myös muita vaatimuksia, jotka vaikuttavat PANDAS:in suorittamiin mitauksiin. Ajolanka ei ole suorana viivana kiskojen keskilinjan yläpuolella, vaan se on asennettu siksakin muotoon. Tämä tarkoittaa sitä, että ajolanka poikkeaa raiteen keskilinjasta sivuttaissuunnassa vanhoissa asennuksissa korkeintaan 400 millimetriä ja uusissa asennuksissa 300 millimetriä (kuva 7). Tällä on pyritty aikaansaamaan virroittimen

hiilen tasaisempi kuluminen. Siksakin suurin poikkeama sijaitsee ajojohtimen kannatuskohdissa jänteen päissä. Jännevälän pituus vaihtelee, ja se on maksimissaan 65 – 71 metriä. [10, s.40-58.]



Kuva 7. Kuvassa havainnollistettuna ajolangan siksakin muoto. [10, s.40]

Suomessa käytetään halkaisijaltaan kahden kokoista ajolankaa, 80 millimetrin sekä 100 millimetrin paksuista. Käytettävän ajolangan halkaisija määräytyy sen mukaan, onko kyseessä pää- vai sivuraiteen ajolanka. Jaottelu pää- ja sivuraiteeseen tehdään siten, että mikäli raiteen suurin nopeus on vähintään 80 kilometriä/tunnissa, on kyseessä pääraide [25, s.20]. Vilkkaasti liikennöidyillä sivuraiteilla voidaan myös käyttää halkaisijaltaan sadan millimetristä ajolankaa. Ajolanka on kovaksi vedettyä elektrolyyttikuparia ja sen tulee täyttää standardin EN 50149 -standardin mukaiset vaatimukset. Kulumaa ajolangassa saa ilmetä 20 prosenttia halkaisijasta tai yksittäisissä pisteissä 30 prosenttia halkaisijasta. Liitteessä 10 on esitetty ajolangan profiili ja edelleen v-ura, josta se kiinnitetään riippumaan [10, s.9]. [10, s.57-58.]

## 2.5 Ajolangan epäjatkuvuuskohdat

Ajolanka ei ole pitkä yhtenäinen kuparijohdin vaan se sisältää myös välttämättömiä epäjatkuvia rakenteita. Näillä rakenteilla voidaan muun muassa erottaa toisistaan sähköisiä ryhmiä, syöttöalueita sekä mahdollistaa ajolanka osuuden vaihtuminen toiseen. Ajolangan jakaminen eri sähköisiin osiin on tärkeää esimerkiksi huoltotöiden takia. Ajolangan epäjatkuvuusalueet poikkeavat puhtaasta ajolangasta ja ovat havaittavissa PANDAS:in suorittamilla mittauksilla.

Erotusjaksoa käytetään erottamaan kahden eri syöttöalueen syötöt toisistaan näiden raja-alueilla. Erotusjaksossa syötöt tulevat ajolankaan sen molemmille puolille, ja ne on erotettu toisistaan erotusjakson keskellä olevalla eristävällä aineella. Kun virroitin laahaa eristävään aineeseen, se ei pysty siirtämään energiaa kalustoon. Erotusjakson molemmilla puolilla on eristävää ainetta, ja sen keskellä on maadoitettu alue. Kiskojen tasossa olevat magneetit aukaisevat kaluston pääkytkimen ja sulkevat sen jälleen erotusjaksoalueen jälkeen. Mikäli erotusjaksoon ajetaan pääkytkin auki, pääsee jännite lyömään läpi, mikä aiheuttaa vahinkoja rataverkon sähköistysjärjestelmään. Mikäli erotusjaksoon pääsee muodostumaan valokaari, pyritään se sieppaamaan valokaarisarvien avulla niin, ettei se vahingoita eristimiä. Kuvassa 8 nähdään erotusjakso Lamminpään syöttöaseman läheisyydessä. Liitteessä 11 on havainnollistettu piirros erotusjaksosta [4, s.24]. [10, s.49.]



Kuva 8. Erotusjakso Lamminpään syöttöaseman läheisyydessä.

Ryhmyseristimiä käytetään pääsääntöisesti ratapihoilla ja liikennepaikoilla, jotta ajojohdot voidaan jakaa sopiviin ryhmiin vikatapausten ja huollon ajaksi. Ryhmittely on tärkeää verkosta erottamisen ja maadoittamisen kannalta. Erotusjaksoon verrattuna ryhmyseristin ei jaa kahta syöttöaluetta toisistaan vaan kaksi sähköistä kytentäryhmää. Kytentäryhmällä tarkoitetaan ratajohdon virtapiirin metallisesti yhtenäistä kokonaisuutta. Ryhmyseristin poikkeaa erotusjaksosta myös siten, että virroitimella pystytään ottamaan ajolangasta tehoa sen laahatessa ryhmyseristimen ohitse. Ryhmyseristimiä on



hitaasti ja nopeasti ajettavia. Kuvissa 9 ja 10 on ryhmityseristin Lielahden liikennepaikalta, liitteenä 12 on havainnollistettu kuva ryhmityseristimestä [4, s.24]. [10, s.50.]



Kuva 9. Ryhmityseristin Lielahden liikennepaikalla.



Kuva 10. Ryhmityseristimellä kohtaavat kytkentäryhmät, valokaaren sieppaussarvet sekä valkoisena näkyvät eristävät osuudet.

Raiteelta toiselle mentäessä joudutaan käyttämään vaihteita. Vaihte on osa raidetta, ja raiteet yhdistyvät toisiinsa vaihteiden välityksellä. Virroitimen tulee säilyttää tehonotto kykyä myös vaihteissa. Vaihteissa ajolangassa on kohtaamisjanteeksi kutsuttu rakenne, missä virroitin kohtaa viereisen raiteen ajolangan ja säilyttää näin kontaktin ajolankaan liikkuaan sivusuunnassa raiteelta toiselle. Siirryttäessä tavallisessa vaihteessa sivuraiteelta pääraiteelle on sivuraiteen ajolanka sijoitettava risteämäkohdassa 3 – 5 senttimetriä korkeammalle kuin pääraiteen ajolanka. Tämä mahdollistaa ajolankojen

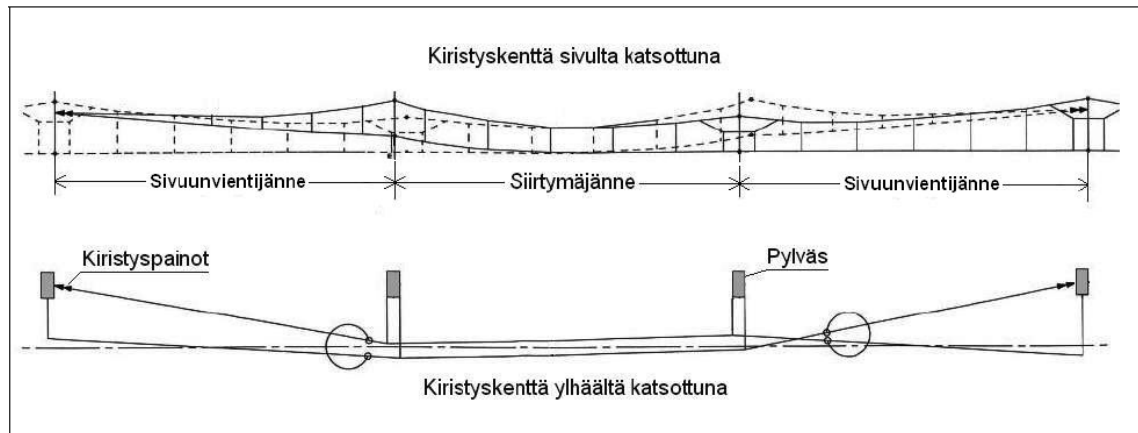
risteämän sekä sen, ettei virroittimeen kohdistu suuria iskuja pääraiteella ajettaessa. Kuvassa 11 näkyy, miten ajojohtimet ikään kuin sulautuvat yhteen vaihteen kohdalla. [10, s.59-60.]



Kuva 11. Kuvassa nähdään hyvin sivuraiteen kohtaamisjälteen yhdistyminen pääraiteeseen siniten nuolen kärjen kohdalla.

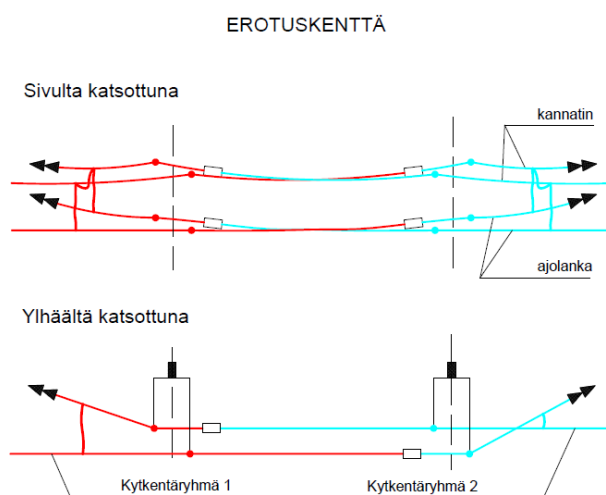
Ajojohdin osuuden pituus on maksimissaan noin 1,3 kilometriä. Jotta virroittimen virranottokyky pysyy hyvänä ja ajojohdin oikeassa asemassa, käytetään kiristyskenttiä. Kiristyskentässä kahden peräkkäisen ajojohtimen päät viedään toistensa ohi kiristyspölyille. Kiristyskenttä sisältää siirtymäjälteen sekä kaksi sivuunvientijälnettä. Siirtymäjälteessä virroitin siirtyy ajolangalta toiselle. Sivuuventijälteessä ajojohdin siirtyy vir-

roittimen tieltä pois ja pääteankkuroidaan. Ajojohdinosuus tulee myös ankkuroida keskeltä, mikäli sen päissä on kiristyspainot. Kuvassa 12 esitetään kiristyskentän rakenne. [10, s.60.]



Kuva 12. Kuvassa kiristyskenttä sivusta ja ylhäältä kuvattuna. [10, s.60]

Kiristyskenttä on suljettu kenttä. On olemassa myös erotuskenttiä, jotka muodostavat kahden sähköisen ryhmän rajan. Erotuskentän siirtymäjänneessä on erotusväli, joka eristää kytkentäryhmät toisistaan. Erotusväli on ilmapäli, joka jää peräkkäisten ajojohtimien väliin. Kuvassa 13 on havainnollistettu erotuskenttä. [10, s.47.]



Kuva 13. Erotuskenttä kuvattuna sivulta ja ylhäältä. [4, s.24]

### 3 Pantograph Collision Assessment System (PANDAS)

PANDAS on englantilaisen yrityksen, Transmission Dynamicsin tuote. Suomen lisäksi yritys on toimittanut ajolangan valvontalaitteistoja Englantiin ja Belgiaan. Laitteisto koostuu kahdesta kiihtyvyyssanturista, kiihtyvyyssantureiden kaapeleista, tiedonkäsittelymoduulista (Data Processing Module) sekä vastaanotto- ja signaalinvälityksyksiköstä (Receiver and Signal Relay Unit) [11, s.3]. Liikennevirasto on hankkinut laitteen valvomaan sen hallinnoiman ratainfrastruktuurin ajolankaa. PANDAS mittaa virroittimeen kohdistuvia pitkittäissuuntaisia kiihtyvyyksiä.

#### 3.1 SR2-tyyppin virroitin

PANDAS-laitteisto on asennettu tyyppin Sr2-sähköveturiin. Sr2-sähköveturin katolla on kaksi virroitinta. Toinen virroitin sijaitsee katon etuosassa ja toinen takaosassa. Junalla ajettaessa käytetään virroitinta, joka on menosuuntaan nähden taaempana. Tällä pyritään estämään lisävahingot, joita voi muodostua hajonneen virroittimen osuessa katon komponentteihin [12]. PANDAS-laitteisto on asennettu molempiin virroittimiin, jolloin laitteen toiminnan kannalta ei ole merkitystä kummalla virroittimella ajetaan.

Virroittimen runko makaa eristimien päällä sähköveturin tai -junan katolla. Rungosta lähtee nivelen varassa virroittimen alavarsi, joka kiinnittyy vastakkaisesta päästä nivelellä virroittimen ylävarteen. Ylävarressa on kiinni virroittimen kelkka, joka on myös nivelletty. Kelkasta löytyvät yläkaaret, jotka koostuvat kontaktihiilistä ja sarvista (kuva 14). Kontaktihiileen vasemmalta ja oikealta puolelta löytyvät sarvet, jotka pyrkivät estämään ajolangan joutumisen yläkaaren alapuolelle. Virroittimessa on usein kaksi paria yläkaaria. Vertikaalin liikkeen mahdollistava rakenne on tuettu ja vaimennettu tukivarsilla ja iskuvaimentimilla.





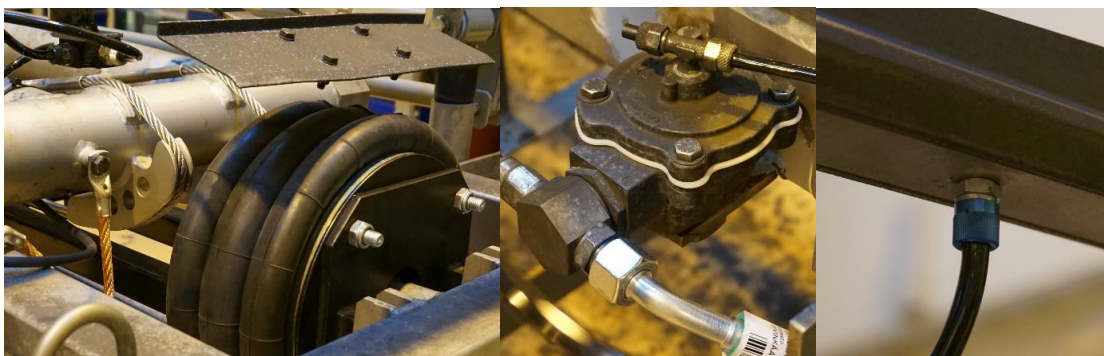
Kuva 14. Ylitarkastaja Juha-Matti Vilppo (Liikennevirasto) vasemmalla ja johtava asiantuntija Samuli Suuriniemi (VR) oikealla, tarkastelemassa SR2-veturin virroitinta.

Sr2-tyypin veturin virroittimen nouseminen ja laskeutuminen perustuvat paineilmaan. Virroitin koostuu kolmesta nivelpisteestä, jotka ovat kaikki samansuuntaisia. Tästä seuraa se, että virroittimen liike on suurimmilta osin pystysuuntaista. Kosketusvoima on voima, jolla virroitin koskettaa ajolankaan. Keskimääräisen kosketusvoiman tunnus on  $F_m$ , ja se koostuu staattisesta, dynaamisesta sekä aerodynaamisesta komponentista. Staattinen voima on voima, jonka virroittimen nostolaite saa aikaan, kun virroitin nostetaan sähköveturin tai -junan ollessa paikoillaan. Virroittimen ja ajolangan tasaisen kulumisen vuoksi on tärkeää, ettei staattinen voima ole liian suuri. Toisaalta liian pieni voima voi vaikuttaa virranottokykyyn virroittimen ja ajolangan kontaktin ollessa huono. Staattisen voiman suuruutta valvotaan tarvittaessa kalavaakaa muistuttavalla vaa'alla (kuva 15) [13]. Dynaaminen voima johtuu virroittimen kosketuksesta ajolankaan. Aerodynaaminen voima muodostuu ilmavirran nostaessa virroitinta ajolankaa vasten. Virroittimen kelkan sivustoilla ovat mustat aerodynaamiset ohjaimet, joiden tarkoituksena on parantaa ilmavirtauksen aiheuttamaa nostavaa voimaa virroittimessa [13]. [8. s.195.]



Kuva 15. Vasemmalla puolella virroittimen nostolaitteen muodostavan pystysuuntaisen voiman mittausvaaka ja oikealla puolella musta aerodynaaminen ohjain.

Virroitin nousee ja pysyy ylhäällä paineilman avulla. Ominaisuutta on käytetty hyväksi ja kehitetty järjestelmä, joka laskee virroittimen automaattisesti alas, mikäli hiili vahingoittuu tai on kulunut liian paljon. Järjestelmä tunnetaan nimellä "Automatic Dropping Device", lyhennettynä ADD. Vahingoittunut virroitin, joka laahaa ajolankaa vasten, voi rikkoa ajojohdinta pitkältäkin matkalta. Vastaavasti liiallisen kontaktihiilen kulumisen johdosta virroittimen metalliosat voivat alkaa laahata ajolankaa vasten ja aiheuttaa näin ajolangan kulumista. ADD-järjestelmä käyttää virroittimen kanssa samaa paineilmaa pysyäkseen ylhäällä. Paineilma johdetaan virroittimen palkeelta jakajalle ja sitä kautta kontaktihiileen (kuva 16). Kontaktihiilen sisällä on ontto suljettu kanava, johon paineilma päätyy. Mikäli kanavaan tulee vuoto esimerkiksi hiilen rikkoutumisen tai liiallisen kulumisen vuoksi, pääsee ilma karkaamaan kanavasta ja virroitin laskeutuu alas. [12; 13.]



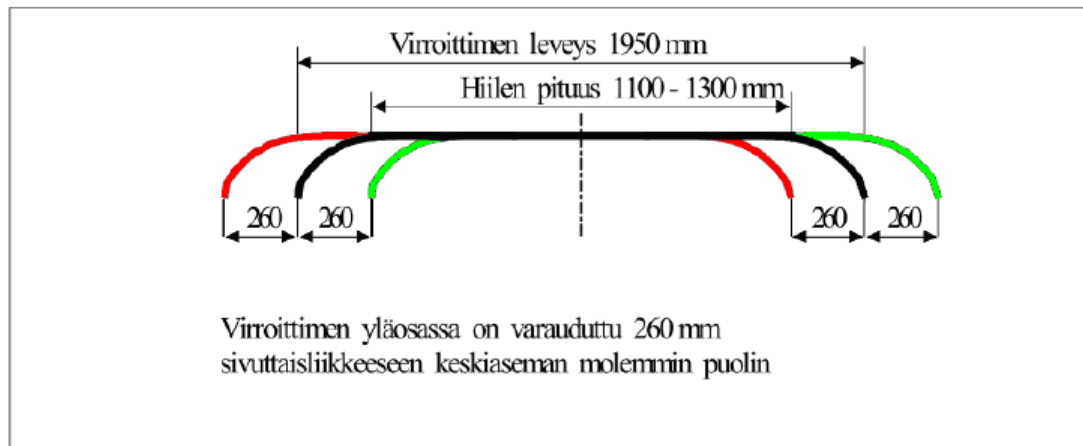
Kuva 16. Vasemmalla palje, jonka avulla virroitin nousee, keskellä jakaja, jonka kautta ilma kulkee hiillelle ja oikealla paineilmaliihtäntä virroittimen yläkaressa hiilen sisälle.

VR:llä on käytössä kahdenlaisia kontaktihiiliä niin sanottuja kesä- ja talvimallin hiiliä. Kesämallin hiili asennetaan yläkaaren yläpinnalle niin, että hiilen alapuolella yläkaari jää paljaaksi. Talvimallin hiili ulottuu kokonaan yläkaaren ympäri koko hiilen matkalta. Talvella ajolankaan muodostuu usein ohut kerros jäätä. Virroittimen laahatessa ajolankaa vasten jääkerros virroittimen ja ajolangan välissä saa aikaan sen, että jännite lyö läpi ajolangasta virroittimeen. Kun valokaaria on syntynyt riittävän usein, yläkaari voi lämmetä niin kuumaksi, että hiili irtoaa sen päältä. Tämän vuoksi käytetään yläkaaren ympäri ulottuvia hiiliä, jolloin niiden irtoaminen estetään. VR on päättänyt alkaa käyttämään vetureissa vain talvimallin hiiliä [13]. Talvimallin hiilistä löytyy kulumaa indikoiva ura, jota seuraamalla tiedetään, koska hiili tulee vaihtaa (kuva 17). Uran yläreuna on talviajan kulumisraja ja alareuna kesäajan kulumisraja. Mikäli on tarkoitus liikennöidä talvisissa olosuhteissa ja kuluma on kohdannut uran yläreunan, hiili tulee vaihtaa ennen liikennöintiä.



Kuva 17. Kulumaa indikoiva ura virroittimen hiilessä.

Virroittimen kelkan yläkaarien leveydeksi on määritelty 1950 millimetriä. Kontaktihiilen leveys vaihtelee 1100 millimetristä 1300 millimetriin. Virroittimessa on 260 millimetrin sivuttaisliikkeen toleranssi molempiin sivusuuntiin (kuva 18). Virroittimen sivuttaisliikkeen on jouduttu varautumaan raiteen sivu- ja kallistuspoikkeaman sekä vetokaluston jousituksen takia. Raiteen sivu- ja kallistuspoikkeaman aiheuttama sivuttaisliike määritellään olevan +/- 105 millimetriä ja vetokaluston jousituksen aiheuttama liike 125 millimetriä. Virroittimen leveydessä on otettu huomioon myös ajolangan siksak. [10, s.39.]



Kuva 18. Virroittimen sivuttaisliikkeen vaikutus sen keskilinjan liikkumiseen molemmin puolin. [10, s.39]

### 3.2 Kiihtyvyyssanturit

Virroitin liikkuu kolmiulotteisesti eri suuntiin, pitkittäissuuntaisesti eli junan kulkusuuntaisesti, sivuttaissuuntaisesti junan keskilinjaa nähden ja pystysuuntaisesti veturin katon ja ajolangan välillä. Pääsääntöisesti virroittimen liike on pystysuuntaista. PANDAS-laitteiston kiihtyvyyssanturit mittaavat pitkittäissuuntaista kiihtyvyyttä. Virroittimessa on kaksi anturia, yksi virroittimen oikealla ja toinen vasemalla puolella. Anturit ovat kiinnitettyinä virroittimen kelkkaan käyttäen samoja kiinnityspultteja hiilen kontaktikulman säätötankojen kanssa (kuva 19). Näitä säätötankoja säätämällä voidaan muuttaa kulmaa, jolla hiilet osuvat ajolankaan. Hiilien kontaktikulma tulee säätää siten, että molemmat hiilet ovat samassa tasossa. Hiilien pintojen tulisi osua ajolankaan tasaisesti koko matkalta [13]. Hiilien säätäminen on tärkeää, jotta tehonotto kyky on mahdollisimman hyvä ja hiilet kuluvat tasaisesti.

Kiihtyvyyssantureita voi olla moni- ja yksi akselisia. Moniakselisilla antureilla mitataan kiihtyvyyttä useampaan suuntaan samanaikaisesti. PANDAS:in anturit ovat kaksi akselisia, mutta vain yhtä akselia käytetään aktiiviseen kiihtyvyyden mittaukseen. Näin kiihtyvyyttä voidaan mitata vain anturin akselin suuntaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että anturi tulee asentaa siten, että se kohdistuu halutun akselin suuntaisesti. Tämä näkyy kuvassa 19. Antureiden tarkan toiminnan kannalta myös hiilen kontaktikulmaa säädettäessä tulisi ottaa huomioon, etteivät anturit menetä pitkittäissuuntaista kohdistustaan.





Kuva 19. Kuvassa virroittimen kelkan vasen puoli. Punainen palikka kuvan alareunassa on toinen virroittimen kiihtyvyyssantureista. Kuvassa näkyy myös etummaisien ja takimmaisien hiilen kontaktikulmien säätötangot punaisien alueiden sisällä.

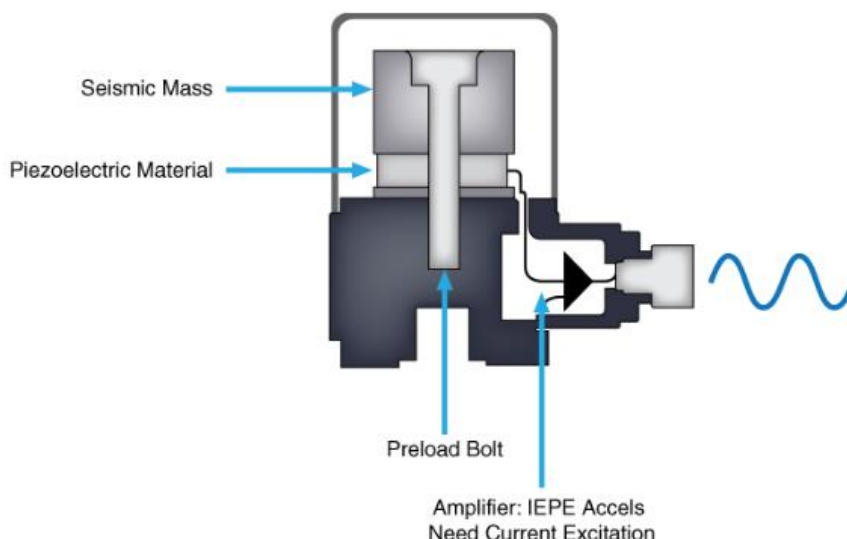
Antureiden jäljelle jääviä akseleita käytetään suodattamaan häiriöitä ja muita virheitä, joita mittauksissa esiintyy. Anturien akselit muodostavat parit siten, että molempien päiden antureissa on aktiivinen kiihtyvyyttä mittaava ja häiriöitä poistava akseli. Kanavat muodostuvat akseleista niin, että toisella puolella ovat kanavat 1 ja 2 ja toisella 3 ja 4. Kanavat 1 ja 3 tuottavat aktiivisia mittaustietoja kiihtyvyydestä, ja kanavia 2 ja 4 käytetään häiriöiden ja virheiden poistamiseen. Virheet johtuvat lähinnä radiotaajuushäiriöistä. [11, s.5.]

Mitattava kiihtyvyys on staattista tai dynaamista. Vakiovoimainen maan vetovoima on staattista kiihtyvyyttä. Dynaaminen kiihtyvyys, jota PANDAS:in kiihtyvyyssantureilla halutaan mitata, muodostuu virroittimen osuessa ajolangan rakenteisiin. Virroittimessa pitkittäissuuntaisia kiihtyvyyksiä muodostuu pääsääntöisesti virroittimen kontaktihiilen laahatessa ajolankaa vasten ja hiilen törmätessä ajolangan epäjatkuvuuskohtiin. Koska anturit on pultattu virroittimen kelkkaan kiinni, mittaavat ne virroittimen kelkkaan kohdistuvia kiihtyvyyksiä. Virroittimen kelkkaan kohdistuvia kiihtyvyyksiä voidaan pitää myös virroittimen värähtelynä. Värähtely voi olla vapaata (free) tai pakotettua (forced). Vapaassa värähtelyssä virroitin värähtelee vapaasti iskusta, kunnes iskun aiheuttama voima lakkaa. Pakotetusta värähtelystä puhutaan vuorostaan silloin, kun virroitin laahaa ajolankaa vasten ja siihen kohdistuu pitkittäisesti voimia. Tällöin värähtely syntyy virroittimen ja ajolangan kontaktin seurauksena. Kun virroitin laahaa ajolankaa vasten ja siihen kohdistuu voimia pitkittäisesti, on kyseessä pakotettua virroittimen ja ajolangan kontaktin seurauksesta muodostuvaa värähtelyä. [14; 15.]

Kiihtyvyys kuvaa kappaleen nopeuden muutosta tietyllä aikavälillä. Kiihtyvyyden yksikkö on  $m/s^2$ . Kiihtyvyyden yksikkönä voidaan käyttää myös putoamiskiihtyvyyden vakiota  $g$ , joka vastaa  $9,81 m/s^2$ . PANDAS:in mittaamien kiihtyvyyksien suuruudet on ilmoitettu käyttäen yksikkönä  $g$ :tä. Putoamiskiihtyvyydestä puhuttaessa voidaan  $g$ :t ilmaista myös  $g$ -voimina.

Tämän työn puitteissa ei ole ollut mahdollista selvittää PANDAS:in hyödyntämien kiihtyvyydsantureiden tyyppiä. Kiihtyvyydsantureissa käytetään kuitenkin usein hyödyksi pietsosähköistä ilmiötä. Pietsosähköisen ilmiön hyödyntäminen antureissa perustuu siihen, että ulkoinen voima vaikuttaa anturin sisällä olevaan vapaasti liikkuvaan massaan, joka on puolestaan kontaktissa pietsosähköisen materiaalin kanssa. Pietsosähköinen materiaali polarisoituu sähköisesti vapaana liikkuvan massan vaikuttaessa siihen akselin suuntaisesti. Pietsosähköiseen materiaaliin muodostuu näin sähkövaraus ja vastakkaisien pintojen välille sähköinen jännite. Muodostuva sähkövaraus indikoi ulkoisen kiihtyvyyden suuruutta. Antureilta mitattava ulostulojännite toimii tietona syntyneestä kiihtyvyydestä. [14; 15.]

Anturien herkkyys kuvastaa sitä kuinka hyvin kiihtyvyys muuntuu antureissa kiihtyvyyttä ilmaisevaksi signaaliksi. Mitä herkempi anturi on, sitä tarkempi signaali kiihtyvyydestä saadaan. Anturien herkkyyteen vaikuttaa taajuusalue. Taajuusalue kertoo, kuinka monesti sekunnissa kiihtyvyys saadaan mitattua, ja sen yksikkönä on hertsi (Hz). PANDAS:in anturit toimivat 333 Hz:n taajuudella. Mikäli anturin herkkyys on esimerkiksi 100 mV/g, anturin mitatessa 1 g:n kiihtyvyys tulee anturilta mitattavan jännitteen olla 100 millivolttia. Pietsosähköiset anturit toimivat nykyään usein vakiovirtasyöttöisinä IEPE (Integrated Electronic piezoelectric) sensoreina. Kuvassa 20 on hahmoteltu kiihtyvyydsanturin rakennetta ja sen osia vielä tarkemmin. [14; 15.]



Kuva 20. Kuvassa IEPE kiihtyvyyssanturi. Anturin sisältä löytyy voiman välittävä massa ja piezoelektrinen materiaali. [15]

Antureihin kytketään kaapeli LEMO -liittimen avulla. Kaapelissa on neljä pinniä: 3,3 voltin syöttö, 0 voltia, kiihtyvyyttä mittaavan kanavan ja häiriöitä suodattavan kanavan pinni. Anturit toimivat siis lähtökohtaisesti 3,3 voltin jännitteellä. Kuvassa 21 on esitetty kiihtyvyyssanturi ja niiden kytkentäkaapelit. [11, s.8.]



Kuva 21. Kuvassa vasemmalla puolella anturi ja oikealla antureiden kytkentäkaapelit.

### 3.3 Data Processing Module (DPM)

Kiihtyvyyssanturit kytkeytyvät toisesta päästään dataa prosessoivalle moduulille (DPM). Moduuli sijaitsee virroittimen alarungossa siihen erikseen kiinnitettävällä mekanismilla. Moduulin kiinnitys virroittimeen on esitetty kuvassa 22. Moduuli sisältää paristot, jotka toimivat antureiden virtalähteenä. Paristot toimivat samalla myös DPM:n virtalähteenä. Paristojen lisäksi moduulista löytyy tallennustilaa, mikroprosessori, bluetooth -yhteys ja GPS. Antureilta tuleva mittaustieto siirtyy moduulin muistiin. Moduuli prosessoi antureilta

tulevaa tietoa, ja mikäli kiihtyvyydet ylittävät asetusarvot, moduuli lähettää tästä tiedon eteenpäin. Kiihtyvyyksien ylittäessä asetusarvot moduuli poimii samalla paikkatiedon sekä kellonajan GPS:n avulla. Prosessoitu tieto siirtyy bluetoothin avulla RSRU:lle (Receiver and Signal Relay Unit). Mikroprosessori prosessoi myös liikeanturin ja lämpötilanturin tietoja. Liikeanturilla estetään se, etteivät anturit mittaa virroittimeen kohdistuvia kiihtyvyyksiä virroitinta nostettaessa tai laskettaessa. Virroitin on alhaalla, kun kalusto on paikoillaan ja sen ei tarvitse ottaa tehoa ajolangasta. Samalla liikeanturi myös siirtää moduulin lepotilaan kaluston ollessa paikoillaan. Lämpötila-anturin tuottamalla tiedolla mittaustuloksia skaalataan kyseisellä hetkellä vallitsevaan lämpötilaan. Lämpötila vaikuttaa metallikappaleiden laajenemiseen ja täten myös antureiden suorittamiin mittauksiin. [11, s.4-5.]



Kuva 22. Kuvassa DPM kiinnitettynä virroitimen alarunkoon.

### 3.4 Receiver and Signal Relay Unit (RSRU)

DPM välittää asetusarvot ylittävät kiihtyvyydet bluetoothin avulla Receiver and Signal Relay Unit:lle (RSRU). RSRU on laitteistoa palveleva komponentti. Se sisältää myös tallennustilaa ja mikroprosessorin sekä GSM-moduulin. Mittaustiedon siirryttyä RSRU:lle se taltioituu muistiin. Muistiin tallentuneet havainnot voidaan siirtää SD-kortille, ja niitä voidaan tarkastella tietokoneen avulla erityisellä ohjelmalla. Havainnot lähetetään myös GSM:n avulla laitteiston valmistajalle Englantiin, josta ne siirtyvät automaattisesti internetiin verkkoselaimella toimivaan ympäristöön nimeltä Global data network (GDN).

GSM-moduulin antenni sijaitsee veturin katolla. RSRU:n etupaneelissa on kaksi merkkivaloa, joista voi tarkkailla järjestelmän tilaa. Kuten kuvasta 23 voi nähdä, merkkivalojen seuraaminen ei ole kovinkaan käytännöllistä RSRU:n sijainnin takia. Samat tiedot välittyvät kuitenkin internetissä toimivaan ympäristöön. RSRU:lle tulee 110 voltin DC-syöttö veturista. [11, s.5-6.]



Kuva 23. RSRU sijaitsee fyysisesti veturin ylä-laitetilassa.

### 3.5 Global Data Network (GDN)

Global data network (GDN) voidaan avata selaimella ja sivulle pääsee kirjautumaan Transmission Dynamicsin kotisivujen kautta käyttäjätunnusten avulla. Sisäänkirjautumisen jälkeen valitaan laitteisto, jonka havaintoja halutaan tarkastella. Kuvassa 24 on esitetty, mitä laitteistoja voidaan tarkastella

Transmission Dynamics | Global Data Network

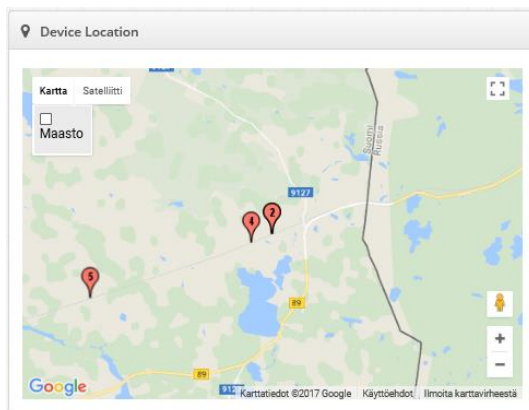
Dashboard Devices My Account

Devices

Device Name and Group	ID and Type	Status and Location	Info
Sr2 3228 FTA	CR-c1d396 PANDAS	Online Paltamo	Info
Sr2 3228 Old FTA	CR-119261 PANDAS	Offline	Info

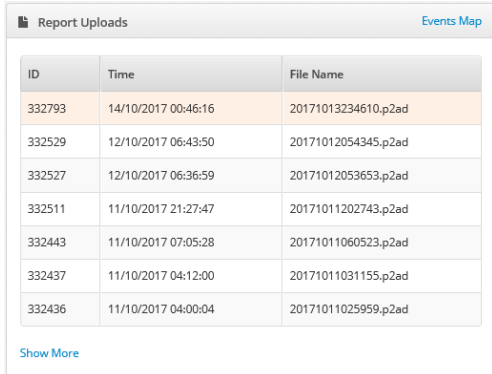
Kuva 24. Kuvan alareunassa laitteisto, jota Liikennevirasto käyttää parhaillaan sekä vanha versio laitteistosta. [16]

Valittua laitteisto aukeaa sivustolla erinäköisiä laatikoita, jotka sisältävät informaatiota. Sivulla aukeavat seuraavat kokonaisuudet: perustieto (basic info), laitteiston tila (device status), laitteiston sijainti (device location), sijaintihistoria (location history) ja raporttilaukset (report uploads). Perustieto-osioista saadaan selville laitteiston yksilöintiin liittyviä tietoja ja käytössä olevan ohjelmiston versio. Laitteiston tila-osiossa ilmenee, onko laitteistoon yhteys internetin välityksellä. Laitteiston sijainti-ikkunasta voidaan seurata laitteiston sijaintia kartalla, kuten kuvassa 25 näkyy.



Kuva 25. Punaiset nastat kuvastavat laitteiston sijaintia. Kyseisellä hetkellä veturi on ollut lähellä Vartiuksen rajanylityspaikkaa. [16]

Sijaintihistoria-kohdassa ilmoitetaan laitteiston sijainti. Sijainti päivittyy viiden minuutin välein ja muodostaa listan, josta voidaan tarkkailla, missä laitteisto on liikkunut. Kiinnostavin asia lienee raporttilataus-osio, jossa on lueteltu laitteiston tuottamat havainnot (kuva 26). Listasta voi valita halutun havainnon ja tarkastella sitä.



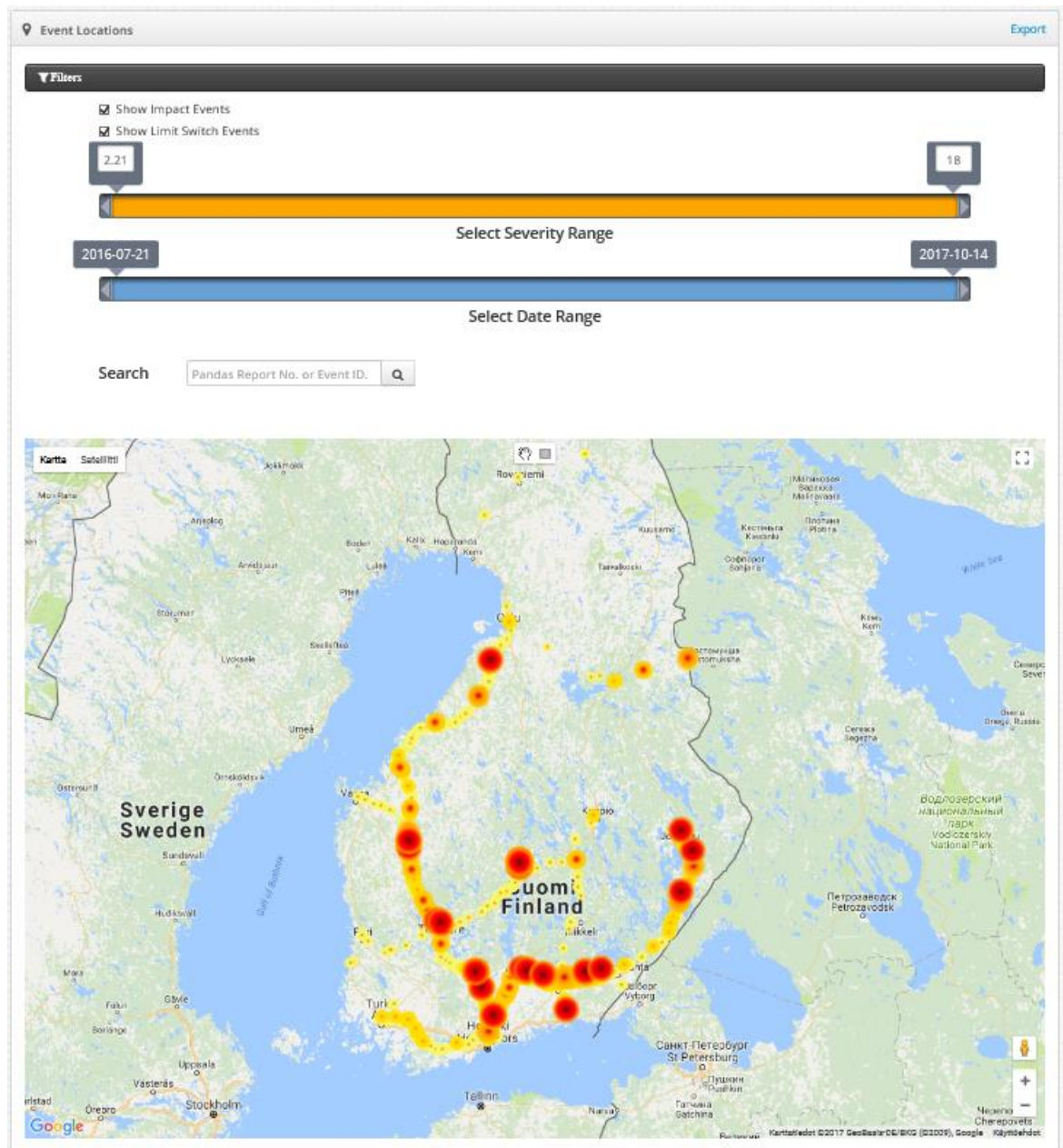
ID	Time	File Name
332793	14/10/2017 00:46:16	20171013234610.p2ad
332529	12/10/2017 06:43:50	20171012054345.p2ad
332527	12/10/2017 06:36:59	20171012053653.p2ad
332511	11/10/2017 21:27:47	20171011202743.p2ad
332443	11/10/2017 07:05:28	20171011060523.p2ad
332437	11/10/2017 04:12:00	20171011031155.p2ad
332436	11/10/2017 04:00:04	20171011025959.p2ad

[Show More](#)

Kuva 26. Laitteiston tuottamat havainnot listattuina. Jokaiselle havainnolle luodaan ID-tunnus. [16]

Painamalla raportinlatausikkunasta tapahtumakartta (event map) -linkkiä aukeaa uusi ikkuna, jossa havainnot ovat sijoitettuina kartalle. Havainnot aukeavat nyt tapahtumapaikka (event location)-ikkunaan. Kartalla näkyviä havaintoja voi suodattaa hetken ja voimakkuuden perusteella. Havaintojen voimakkuudet on eritelty kartalle siten, että mitä suurempi ja tummempi piste on, sitä suuremmasta kiihtyvyydestä se ilmaisee. Syntyneiden havaintojen voimia voi suodattaa asteikolla 2,21 g – 18 g. Kuvasta 27 voidaan nähdä, miten havaintoja on syntynyt valtion rataverkolla.





Kuva 27. Syntyneet havinnot pisteinä. Ylälaudassa havaintojen suodattamiseen käytettävät työkalut. [16]

Sen lisäksi että havinnot tulevat näkyviin GDN:iin, lähetetään niistä myös tekstiviesti ja sähköposti, mikäli tietyt asetusravot ylittyvät. Mikäli havainto ylittää 2,21 g:tä ilmestyy kartalle piste sen merkiksi. Kun havainto ylittää 4 g:n arvon, lähetetään se myös sähköpostilla ja tekstiviestillä määritellyille henkilöille. 2.21 g on siis alaraja, jolloin laitteisto lähettää havinnon eteenpäin järjestelmiin, ja 4 g:n rajan ylittyessä lähetetään raportti myös sähköpostiin ja tekstiviestillä saapuu vielä erillinen viesti.

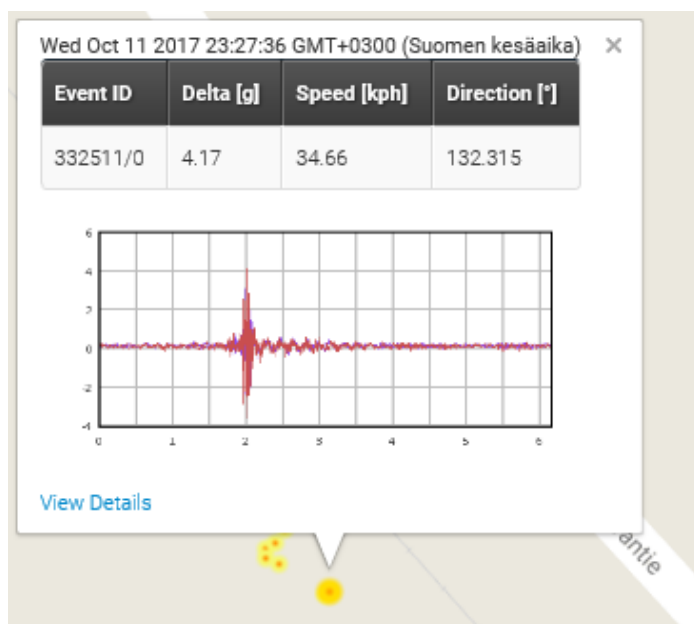


## 4 Havaintojen analysointi

PANDAS:in tuottamia havaintoja voidaan tarkastella GDN:stä tai sähköpostiin tulevista raporteista. GDN:in etu on siinä, että sen avulla voidaan samanaikaisesti tarkastella samalle alueelle entuudestaan tulleita havaintoja. Näin kohteesta saadaan laajempi kuva. Sähköpostin raportista ei myöskään GDN:in tavoin ilmene kaluston kulkusuuntaa, eikä kuvaajaa pystytä suurentamaan pienemmälle aikavälille.

### 4.1 Havainnosta muodostuva kuvaaja

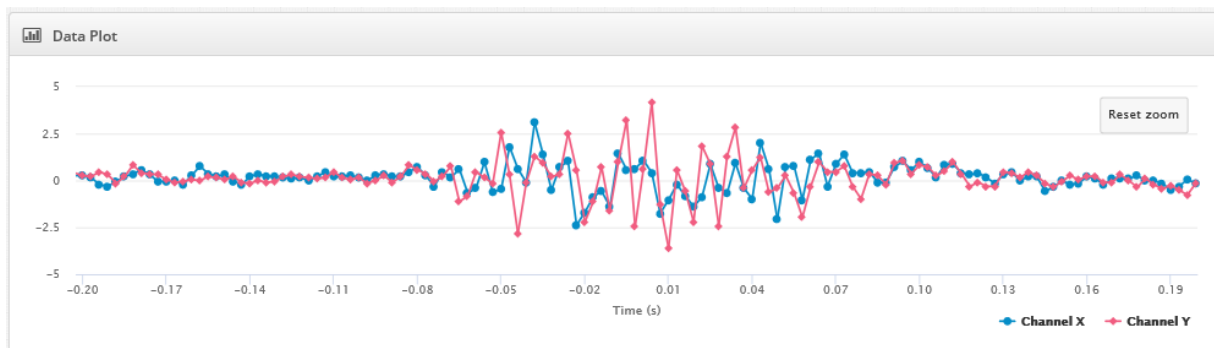
Syntynyt mittaustulos piirtyy koordinaatistoon, jossa y-akselilla on kuvattu kiihtyvyys ja x-akselilla aika. Kuvassa 28 on havainnosta muodostunut kuvaaja.



Kuva 28. Kuvassa nähdään Kontiomäessä syntynyt havainnon kuvaaja. [16]

Piirtynyt kuvaaja on ajallisesti kuuden sekunnin pituinen. Kuvasta 28 havaitaan, että mitatuksi kiihtyvyydeksi on saatu suurimmillaan 4,17 g:tä. Kuvaajan kaksi ensimmäistä sekuntia (-2 sekuntia) ovat ajalta ennen suurinta mitattua kiihtyvyyttä ja neljä sekuntia sen jälkeen (4 sekuntia). Käyrän kuvaajaa voidaan myös suurentaa valitsemalla sille kapeampi aikaväli. Kuvassa 29 on kuvan 28 havainto suurennettu siten, että aikaväli on -

0,20 sekunnista 0,20 sekuntiin eli 0,20 sekuntia ennen 4,17 g:n kiihtyvyyttä ja 0,20 sekuntia sen jälkeen. Aikaväliä päästään kaventamaan tarkastele yksityiskohtia (view details) -linkin kautta.



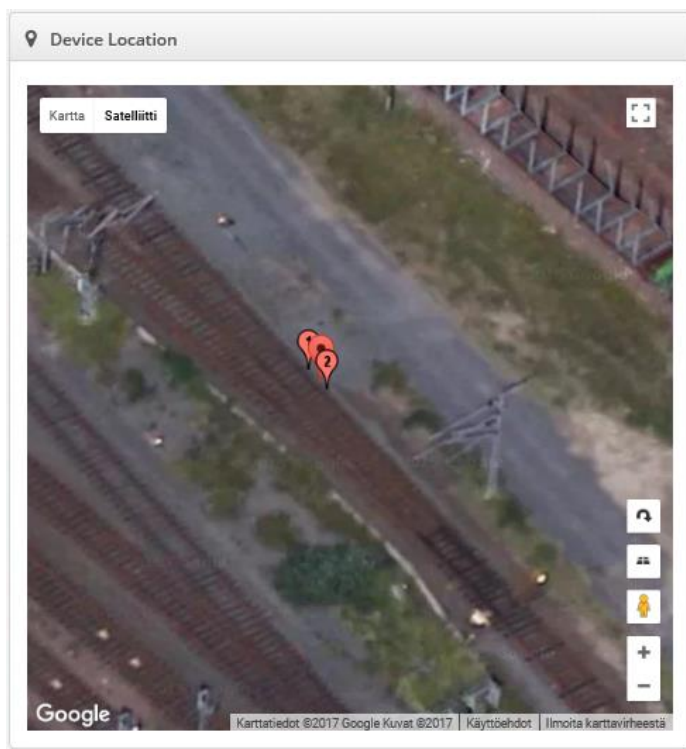
Kuva 29. Kuvan 28 havainto zoomattuna aikavälillä -0,20 sekuntia ja 0,20 sekuntia. [16]

Kuvasta 29 näkyy selkeästi kaksi eriväristä käyrää sininen channel x ja punainen channel y. Kanavat x ja y kuvastavat kummankin puolen kiihtyvyyssantureiden kanavien mitaustuloksia. Kanava x mittaa kiihtyvyydet toiselta puolelta ja kanava y toiselta puolelta. Näin ollen kuvaajassa on otettu huomioon virroittimen kelkan oikea ja vasen puoli. Halutessa koordinaatistosta saadaan sammutettua toinen kanavista näkyvistä, jolloin vain toisen kanavan kuvaaja jää näkyviin. Sähköpostiin tulevan raportin mukana saadaan myös Excel -taulukko, johon on listattu kummankin puolen antureiden havaitsemat kiihtyvyydet 0,003 sekunnin välein. Mittausvälin ollessa 0,003 sekuntia syntynyt kuvaaja on hyvin tarkka hahmottamaan virroittimen liikkeitä.

## 4.2 Kaluston kulkusuunta

"Tarkastele yksityiskohtia" -linkin takaa voidaan nähdä myös junan kulkusuunta sekä nopeus. Nopeus ilmaistaan selkeästi, mutta kulkusuunnan ilmaisun suhteen on ongelmia. Kulkusuunta ilmaistaan 0 asteen ja 360 asteen välillä. Jotta asteita voidaan hyödyntää, tulee tietää junan todellinen kulkusuunta, koska asteita ilmaisevan yksikköympyrän orientaatio muuttuu vasemmalta oikealle tai oikealta vasemmalle kuljettaessa. Kaluston kulkusuunnan saa selville, kun tarkastelee havainnosta syntyneitä paikkatietoja. Kuvassa 30 näkyy kaksi nastaa, nasta 1 ja nasta 2. Nasta yksi on syntynyt aikaisemmin kuin nasta kaksi, jolloin kaluston suunta on nastalta yksi nastalle kaksi. Tärkeintä on saada tietää, kummasta suunnasta raidetta kalusto on lähestynyt syntynyttä havaintoa.

Kulkusuuntaa on liian haasteellista tulkita asteista myös silloin, kun tiedetään kaluston kulkusuunta. Kuvasta 30 havaitaan, että normaalin karttapohjan lisäksi voidaan käyttää satelliittinäkymää. Satelliittinäkymässä voidaan havaita sellaisia radan komponentteja, jotka ovat voineet aiheuttaa poikkeavia kiihtyvyyssmittauksia. Kunnossapidolle toimitettavassa raportissa on myös satelliittinäkymä, mutta kaluston kulkusuuntaa ei saada varmennettua pelkän asteluvun perusteella. Liitteessä 13 on esitetty näkymä, joka aukeaa "tarkastele yksityiskohtia" -linkin kautta.



Kuva 30. Kuvasta pystytään päättämään kulkusuunta nastojen yksi ja kaksi perusteella. Kulkusuunta on vasemmalta oikealle. Kolmas nasta keskellä ilmaisee havainnon tapahtumapaikkaa. [16]

### 4.3 GPS -paikannus

Kuten aikaisemmin on käynyt ilmi, laitteisto ilmoittaa havaintopaikan GPS:n avulla. GPS:n tuottamat paikkatiedot eivät kuitenkaan ole ehdottomia. Tilanne paikkatietojen suhteen on kuitenkin parantunut, kun on siirrytty käyttämään PANDAS:in päivitettyä versiota (Pandas II). Paikannuksen poikkeama syntyy muun muassa siitä, että GPS-moduuli sijaitsee fyysisesti eri paikassa kuin virroittimet. Tämä on kuitenkin pyritty ottamaan huomioon mahdollisimman hyvin ilmoittamalla valmistajalle GPS-moduulin etäisyydet

virroittimille. PANDAS:in ensimmäisessä versiossa on ilmoitettu paikannuksen poikkeavan +/- 7 metriä todellisesta. Tästä voi päätellä, että samasta kohteesta muodostuneiden havaintojen paikkatiedot voivat poiketa noin 14 metriä. Kuvassa 31 on esitetty havaintojen sirpaloituminen selkeään ongelmakohdan ympärillä.



Kuva 31. Kuvassa näkyy havaintojen hajautuminen ajolankojen risteämätangon kohdalla lähellä Kouvola. [16]

Havaintojen sirpaloitumiseen vaikuttaa myös kaluston tulosuunta, käytettävä virroitin, kyseisellä hetkellä vallitsevat olosuhteet sekä etenkin nopeus. Tulosuunta vaikuttaa siihen, miten virroitin kohtaa ajolangassa sijaitsevan epäjatkuvuuskohdan. Vaikka virroittimet ovat samanmallisia, voivat ne olla hieman eri tavalla säädettyjä, mikä johtaa hieman eriäviin havaintoihin. Olosuhteet ovat merkittävä seikka tuulen ja mahdollisen jäänmuodostumisen kannalta. Nopeus saa aikaan sen, että ajolanka käyttäytyy aina vähän eri tavalla virroittimen vaikuttaessa siihen. Joten vaikka paikannus olisikin ehdottoman tarkkaa, syntyy hieman poikkeavuuksia. Myös moniajon mahdollisuus on otettava huomioon. Moniajolla tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi kaksi veturia ovat junassa peräkkäin, ja kustakin veturista virroitin on ylhäällä. Kun kaksi virroitinta laahaa ajolankaa vasten kohtalaisen lähekkäin, saavat ne ajolangan käyttäytymään eri tavalla kuin yhdellä virroittimella ajettaessa. Paikannustiedon täsmällisyys on tärkeää etenkin ratapihoilla, jotka sisältävät useita ajolankoja sekä komponentteja. Vaikka paikannuksesta muodostuukin pientä virhettä, ei tällä ole loppujen lopuksi merkittävää vaikutusta havaintojen tulkinnan ja paikantamisen kannalta. Paikkatiedon täsmällisyyden lisäksi kaluston tulosuunta on tärkeä, kun havaintokohdetta paikannetaan. Tarkastelijan näkökulmasta havaintopisteitä on helppo havainnoida satelliittikuvasta kuin karttanäkymästä, kuten kuvassa 32 näkyy.



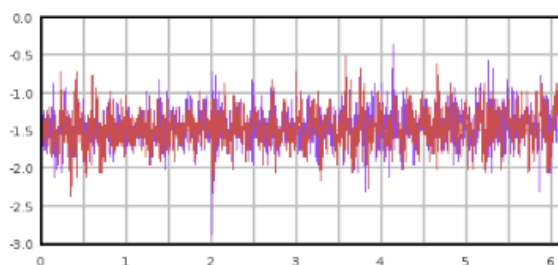
Kuva 32. Satelliittinäkömää osoittaa havaintojen selkeämmin liittyvän raiteeseen joka on kuvassa alempana. [16]

#### 4.4 Kuvaajan käyrän offset-taso

Tilanteessa, jossa kiihtyvyyssantureihin ei kohdistu kiihtyvyyksiä, muodostuu kuvaaja, jossa on suora viiva 0 g:n tasossa koko 6 sekunnin ajan. Taso, jolloin anturit eivät aisti kiihtyvyyttä, voidaan ilmaista termillä 0 g-offset. Tarkemmin ilmaistuna offset-taso ilmaisee antureiden ulostulojännitteen tasoa vastaavan kiihtyvyyden, kun virroittimeen ei kohdistu kiihtyvyyksiä. Kuten aikaisemmista kuvista 28 ja 29 käy ilmi, mitatut kiihtyvyydet muodostavat käyrän joka värähtelee 0 g:n tason ympärillä. PANDAS on kuitenkin tuottanut havaintoja, joissa edellä mainittu offset-taso on väärässä paikassa. Kuvassa 33 on esitetty käyrä, jossa offset on virheellinen.

Thu May 18 2017 21:04:05 GMT+0300 (Suomen kesäaika)

Event ID	Delta [g]	Speed [kph]	Direction [°]
223098/0	2.88	158.74	218.43



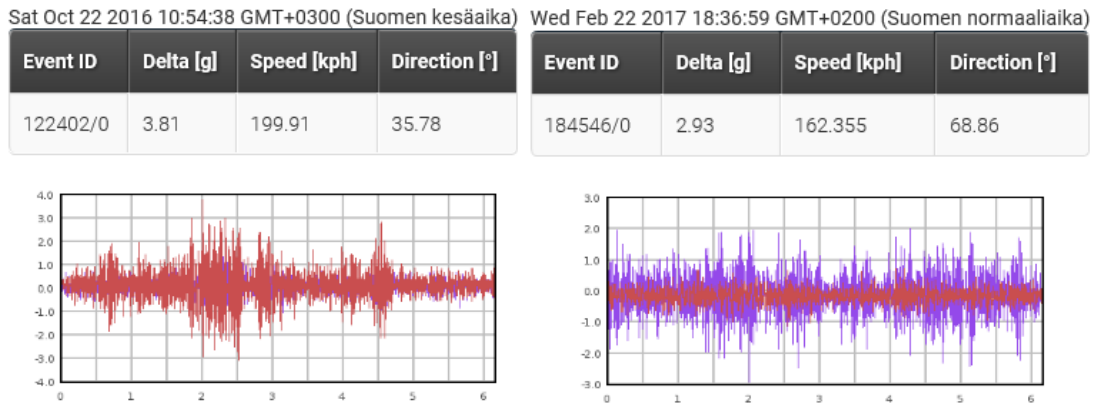
Kuva 33. Kuvasta nähdään, että värähtely tapahtuu noin -1,5 g:n paikkeilla. Maksimi kiihtyvyyden ollessa 2,88 g. [16]

Kuvaa 33 tutkittaessa havaitaan, että käyrä värähtelee -1,5 g:n tasossa. Offset-taso vääristää siis -1,5 g:tä. Tämä johtaa myös siihen, että kiihtyvyydet ylittävät asetteluarvot herkemmin ”nolla-tason” ollessa -1,5 g:n kohdalla. Vääristynyt offset-taso on erittäin tärkeä ominaisuus havainnoida järjestelmän toiminnan kannalta. Kun offset alkaa muuttua, virheellisiä havaintoja syntyy herkemmin. PANDAS tuotti 11.7.2017 noin sata havaintoa, kun offset oli virheellinen. Havainnot olivat kaikki alle 4 g:n suuruisia, joten joukossa oli paljon havaintoja, joita ei olisi syntynyt offsetin ollessa kunnossa. Järjestelmä voi tuottaa sata havaintoa päivän aikana sen ollessa täydessä toimintakunnossa, mutta usein havaintomäärä jää paljon pienemmäksi. Havaintomääriin vaikuttaa se, missä kalustolla liikennöidään ja kuinka useasti.

Offset-tason heittelehtiminen ei kuitenkaan ole suuri ongelma, koska se on helppo havaita ja sen syy tiedetään. Offset-tason laskeminen johtuu DPM:n paristojen varaustason heikkenemisestä. Kun paristojen varaustaso laskee, laskee tämä puolestaan antureilta mitattavaa ulostulojännite. DPM:n paristot kuluvat aikanaan tyhjäksi, jolloin ne täytyy vaihtaa. PANDAS:in ensimmäisessä versiossa paristojen varauksen kesto-aika oli melko heikko, noin kaksi kuukautta [13]. PANDAS II versiossa on kehitetty paristojen varaustason kestävyyttä. Nykyisellä laitteistolla paristoja vaihdetaan noin kuuden kuukauden välein. Myös paristojen määrää on karsittu. Offset-tasoa voidaan säätää valmistajan toimesta. Säättötoimenpiteillä ei saada poistettua paristojenvaihtotarvetta.

Jotta virheellisiltä havainnoilta vältytään, tulee paristot vaihtaa riittävän ajoissa. GDN:ssä näkyy RSRU:n jännitetaso, muttei DPM:n paristojen jännitetasoa. Havainnosta lähetettävässä raportissa ilmenee ”external battery reading” eli ulkoisen pariston varaustaso, mutta lukemia ei voi pitää luotettavina ja näin ollen hyödyntää. Valmistaja pystyy seuraamaan paristojen varaustasoa luotettavasti. Tämän vuoksi on valmistajan tehtävä ilmoittaa, kun paristot on syytä vaihtaa. Paristojen vaihtopäätökseen ei vaikuta kuitenkaan pelkästään tieto niiden varaustasosta. Varaustaso vaihtelee muun muassa lämpötilan mukaan. Paristot käyttäytyvät siten, että niiden varaustaso laskee hiljalleen ja putoaa sitten yllättäen ja nopeasti. Varaustason lisäksi seurataan laitteistolle kertyneitä toimintapäiviä ja suhteutetaan nämä mahdolliseen vaihtoon.

Havaintojen joukosta on noussut esille tapauksia, joissa toinen kanavista värähtelee intensiivisemmin kuin toinen. Tämä näkyy kuvassa 34.

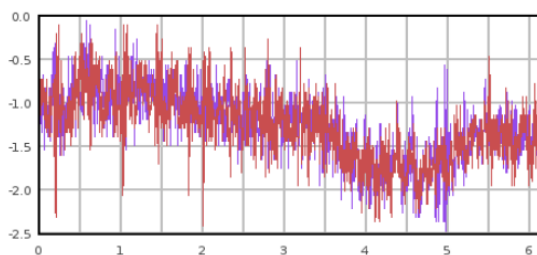


Kuva 34. Vasemmalla puolella havainto, jossa punainen channel y värähtelee voimakkaammin ja oikealla puolella havainnossa channel x värähtelee intensiivisemmin. [16]

Kuvan 34 havainnoista on helppo huomata toisen käyrän voimakkaampi värähtely. Ilmiöstä tekee mielenkiintoisen myös se, että intensiivisempi värähtely jatkuu koko 6 sekunnin ajan. Laitteiston valmistaja on tutkinut tätä ilmiötä, muttei tiedä, mistä se johtuu. Ei ole täysin varmaa, ovatko havainnot virheellisiä. Ilmiö voisi selittyä sillä, että virroitin laa-  
haa ajolankaa vasten siten, että ajolanka pysyy virroitimen keskilinjan toisella puolella, ja näin kyseiselle puolelle virroitinta syntyy korkeampia kiihtyvyyksiä. Kuvassa 35 on esitetty sekä vääristynyt offset-taso ja sen aaltoileminen. Aaltoileminen voidaan myös tulkita virheelliseksi kuvaajan käyrän muodoksi.

Thu May 18 2017 21:18:29 GMT+0300 (Suomen kesäaika)

Event ID	Delta [g]	Speed [kph]	Direction [°]
223155/0	2.42	147.285	172.46



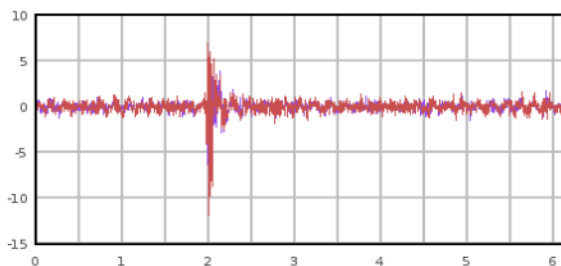
Kuva 35. Käyrän havaitaan aaltoilevan, mikä ei voi kuvastaa virroitimeen kohdistuvia kiihtyvyyksiä. Kun kuvaaja aaltoilee, offset-taso on lähtökohtaisesti jo pielessä. [16]

#### 4.5 Ideaalinen kuvaaja

Edellä on käynyt ilmi, millaisia virheitä laitteisto voi tuottaa sen muodostamiin kuvaajiin. Yhtä lailla on tärkeää tiedostaa, millainen kuvaaja syntyy selkeästä iskusta. Kuvaaja joka muodostuu selkeästä iskusta, tulee olla terävä ja ikään kuin piikkimäinen. Myös molempien kanavien käyrien tulee olla yhdensuuntaiset ja suurin piirtein voimiltaan samansuuruiset. Näin ei kuitenkaan aina ole, koska virroittimella on monimutkainen rakenne ja törmäykset vaikuttavat siihen aina vähän eri tavalla. Käyrän muotoon vaikuttaa lisäksi muun muassa ajolangassa törmäyksen aiheuttava komponentti, ympäristöolosuhteet sekä nopeus. Vaikka terävää piikkimäistä käyrää, jossa kanavien käyrät käyttäytyvät samansuuntaisesti ja likimain samanlaisesti, voidaan pitää selkeänä havaintona törmäyksestä, voi muodostunut kuvaaja olla monenlainen. Kuvassa 36 on selkeä piikkimäinen kuvaaja, joka kuvastaa äkkinäistä törmäystä.

Thu May 25 2017 11:25:06 GMT+0300 (Suomen kesäaika)

Event ID	Delta [g]	Speed [kph]	Direction [°]
228158/0	11.88	200.395	105.505



Kuva 36. Käyrä, joka selkeästi kuvastaa äkkinäistä törmäystä. [16]

Ideana hyvästä havainnosta on piikkimäinen käyrä kuvaajassa, jossa molemmat kanavista ovat samansuuntaisia ja voimiltaan kohtalaisen samansuuruisia. Jotta ideaalinen kuvaaja piirtyisi, tulee iskun osua kontaktihiilien keskelle, jolloin virroittimen molemmat puolet käyttäytyvät samalla tavalla. Näin ei kuitenkaan useimmiten tapahdu, minkä vuoksi kuvaajan käyrät voivat käyttäytyä monella tavalla. Jo pelkästään se, että ajolanka on asennettu siksakin muotoon aiheuttaa iskujen jakautumisen muualle kuin virroittimen keskelle. Kuvitellaan tilanne, jossa isku kohdistuu virroittimen vasemmalle puolelle. Vasen puoli kokee negatiivista kiihtyvyyttä iskun seurauksena ja oikean puolen voidaan

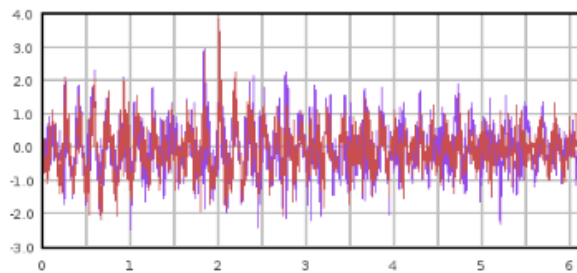


ajatella kokevan pienempää vastakkaissuuntaista kiihtyvyyttä. Vastakkaissuuntaiset käyrien muodot eivät siis loppujen lopuksi ole kovinkaan poikkeuksellisia.

Kuvaajan käyrä voi olla monenmuotoinen, ja se muodostuu hyvin tapauskohtaisesti. Tämän vuoksi tarkastelussa korostuu havainnon kiihtyvyyden suuruus. Ensisijaisesti tulisi-kin tarkastella sitä, kuinka suuri kiihtyvyys on ilmennyt ja sen jälkeen tutkia sitä, miten kanavien käyrät käyttäytyvät suhteessa toisiinsa. Kuvaajasta voidaan myös tulkita, kuinka kauan poikkeavaa värähtelyä on kestänyt. Tämän kautta voidaan värähtelyä peilata syntyneeseen iskun voimakkuuteen. Tässä on kuitenkin otettava huomioon se, että eri havaintojen kuvaajissa vaihtelee y-akselin kiihtyvyyden suuruuden skaalaus. Kun kahden eri havainnon kuvaajissa on erilainen skaalaus, y-akselilla muuttuu myös kuvaajan muoto. Tämä korostaa entisestään sitä, että mitattu voimakkuus on havainnoissa vallitseva tekijä. Kuvaajan muodosta voidaan toisaalta päätellä, onko virroitimeen osunut jotain, vai onko virroitin jo valmiiksi värähtelevässä liikkeessä. Kuvassa 37 virroitin selkeästi värähtelevässä liikkeessä jo valmiiksi.

Thu Jan 19 2017 18:13:37 GMT+0200 (Suomen normaaliaika)

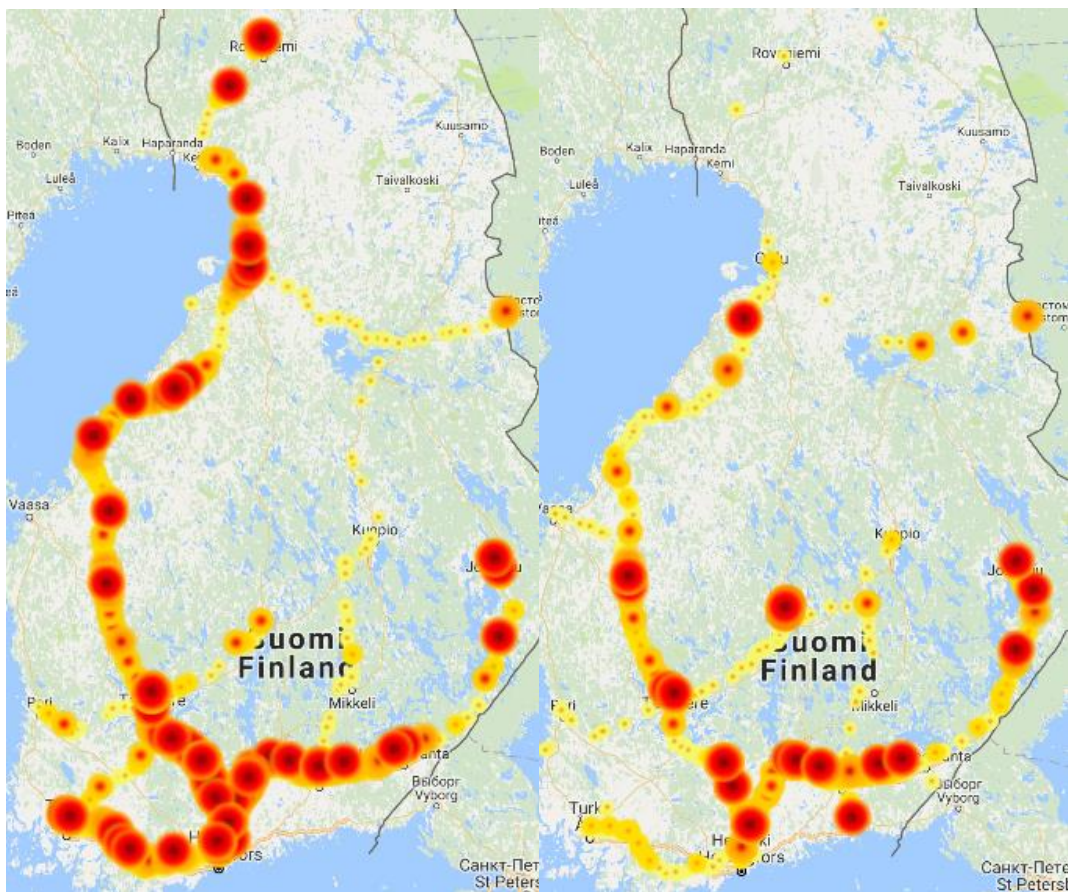
Event ID	Delta [g]	Speed [kph]	Direction [°]
168806/0	3.86	199.09	205.85



Kuva 37. Kuvaajasta ei saa erotettua niin selkeästi pistemäistä iskua. [16]

## 5 Rataverkon kunnossapito

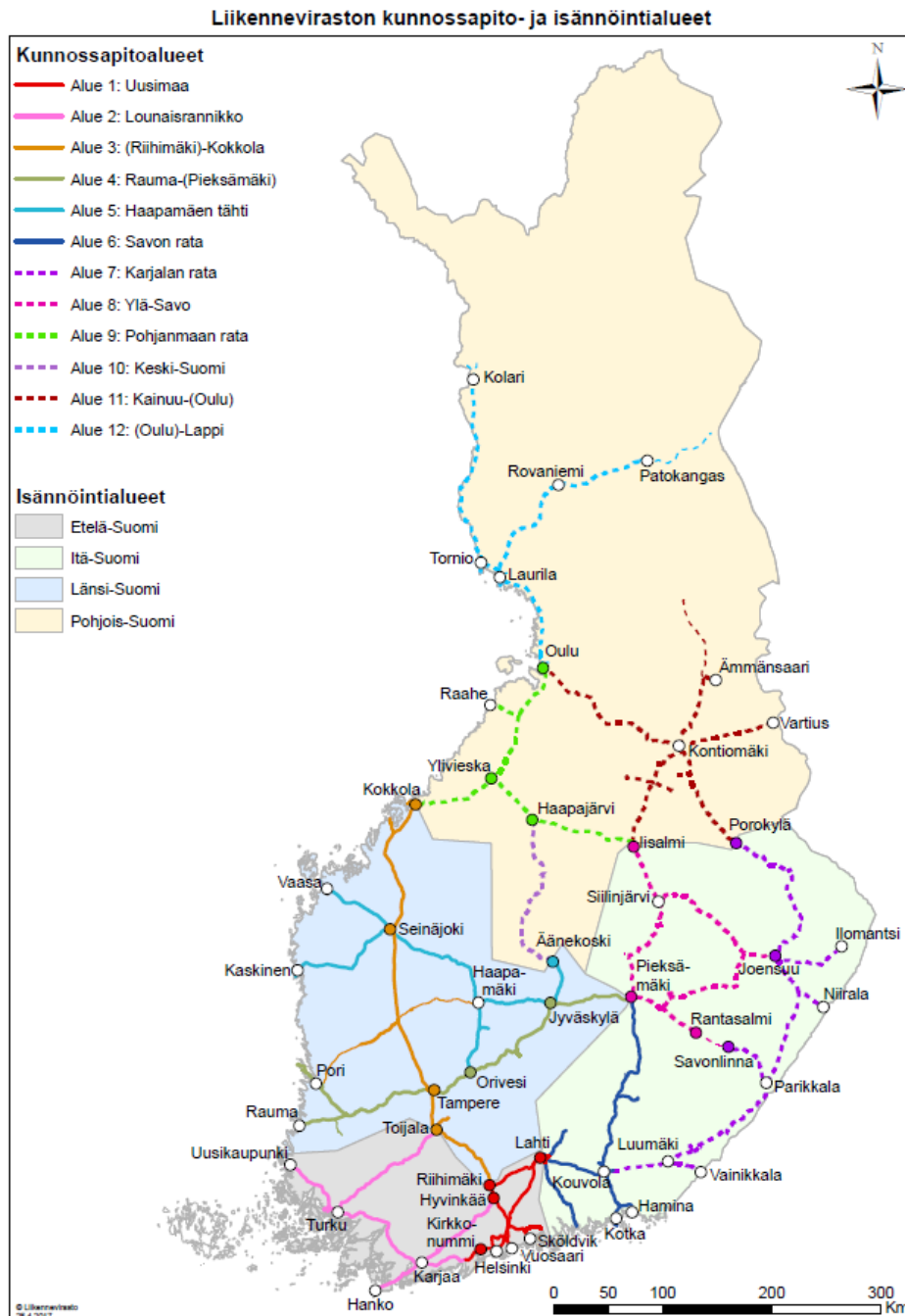
PANDAS on tuottanut havaintoja kahdessa osassa ensin PANDAS I -laitteistolla ja tämän jälkeen PANDAS II -laitteistolla. PANDAS I toimi 9.12.2014 – 25.3.2016 välisenä aikana ja tuotti noin 2000 havaintoa. PANDAS II on toiminut 21.7.2016 lähtien ja on tuottanut noin 24000 havaintoa. Suuri ero havaintomäärien välillä selittyy paristojen kestolla ja sillä, miten kalustolla on liikennöity. PANDAS I -laitteistolla paristot kuluivat yllättävän nopeasti loppuun, kun taas PANDAS II -laitteistolla ne kestävät pidempään ja keskeytymiä tulee harvemmin. Se, miten havainnot jakautuvat Suomen sisällä, perustuu siihen, miten missäkin on liikennöity. Havaintojen jakautumisen perusteella ei siten voida päätellä, että esimerkiksi Itä-Suomessa rata olisi huonommassa kunnossa kuin Länsi-Suomessa, jossa havaintoja on syntynyt vähemmän. Kuvassa 38 esitetty PANDAS I ja PANDAS II -laitteistojen synnyttämät havainnot Suomen kartalla.



Kuva 38. Kuvassa vasemmalla PANDAS I -laitteiston havainnot ja oikealla PANDAS II -laitteiston havainnot. Vaikka PANDAS II on tuottanut huomattavasti enemmän havaintoja vasemmanpuoleisella PANDAS I -laitteiston kartalla näyttää olevan enemmän suurempia osumia. [16]

## 5.1 Kunnossapitäjät ja kunnossapitoalueet

Valtion rataverkko on jaettu 12 kunnossapitoalueeseen, joista muodostuu neljä isännöintialuetta. Isännöintialueet muodostuvat pääilmansuuntien mukaan Etelä-, Itä-, Länsi- ja Pohjois-Suomen isännöintialueiksi. Kuvassa 39 esitetty kunnossapito- ja isännöintialueet. [17]



Kuva 39. Kuvassa esitettynä rataverkolle muodostuvia alueita. [18]

Kunnossapitoalueilla kilpailutetaan kunnossapitäjät viiden vuoden välein. Tällä hetkellä PANDAS:in tuottamat havainnot välitetään kunnossapitäjille, jotka ovat VR-Track ja Eltel. VR-Track toimii Itä- ja Pohjois-Suomen isännöintialueilla. Eltel toimii Länsi- ja Etelä-Suomen isännöintialueilla.

Liikenneviraston kunnossapidosta vastaava taho tarkastelee PANDAS:in tuottamia havaintoja ja välittää poikkeavat havainnot kyseisen alueen kunnossapitäjälle jatkotoimenpiteitä varten. Kunnossapitäjä vastaanottaa havainnon sähköpostilla ja ryhtyy tarvittaviin toimenpiteisiin. Kommunikointi Liikenneviraston kunnossapidon ja kunnossapitäjien välillä tapahtuu sähköpostitse. PANDAS:in tuottamat havainnot ja toimenpiteet, jotka seuraavat havainnoista eivät päädy kunnossapitojärjestelmiin vaan jäävät osapuolten väliin sähköpostiviesteihin. Edellä mainittu seikka on yksi järjestelmän suurista heikkouksista. Myös se, että havaintoja seuloo ja välittää vain yksi henkilö, jolloin seuranta ei ole täysin reaaliaikaista, vaan enemmän syklistä, on järjestelmän kannalta pieni heikkous.

PANDAS muodostaa havaintoja pääasiassa ajolangan epäjatkuvuuskohdista. Epäjatkuvuuskohdista erottuu parhaiten ryhmyseristimet ja erotusjaksot. Ryhmyseristimien ja erotusjaksojen luo muodostuu usein havaintoryppäitä. Havaintoja muodostuu myös risteämätangoista ja ajolangan ohjaimista. Havaintoja voidaan nähdä syntyvän ajolangan paikkoihin, joissa on massakeskittymiä. Havaintoja ilmenee myös paikoissa, joissa ei ole selkeitä massakeskittymiä. Tällaisia havaintoja voi syntyä virroitimen osuessa esimerkiksi sivuraiteen ajolankaan liian varhaisessa vaiheessa. PANDAS:illa pystytäänkin pääasiassa tarkastelemaan ajolangan komponenttien kuntoa ja sitä, miten hyvin ne ovat säädöissä.

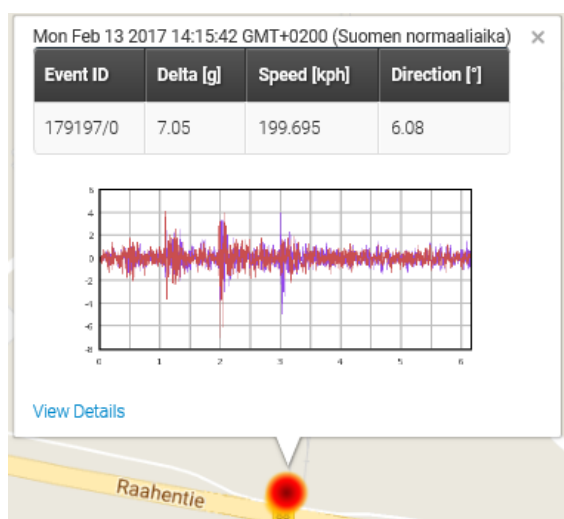
## 5.2 PANDAS:in avulla löydettyjä poikkeavuuksia

PANDASin tuottamia havaintoja ei ole saatu todettua aiheellisiksi kovinkaan suurissa määrissä. Laitteistolla on löydetty kuluneita ryhmyseristimiä, liian jyrkästi asennettua ajolankaa sekä ajolangan tason muutoksessa unohtuneita säätöjä [19]. Poikkeamat ovat ilmenneet PANDAS:in havainnoissa kovina kiihtyvyyksinä. Havaintojen aiheelliseksi toteamista on hankaloittanut se seikka, että ajolanka on korkealla, ja sitä on tarkasteltu maasta katsoen. Kunnossapitäjillä on olemassa ratatyökoneita, joilla ajolankaa ja sen komponentteja voidaan tarkastella hyvinkin läheltä. Ongelmana on se, että ratatyökoneen saaminen kohteeseen on kallista. Mikäli ratatyökone saapuu kohteeseen, sopivan

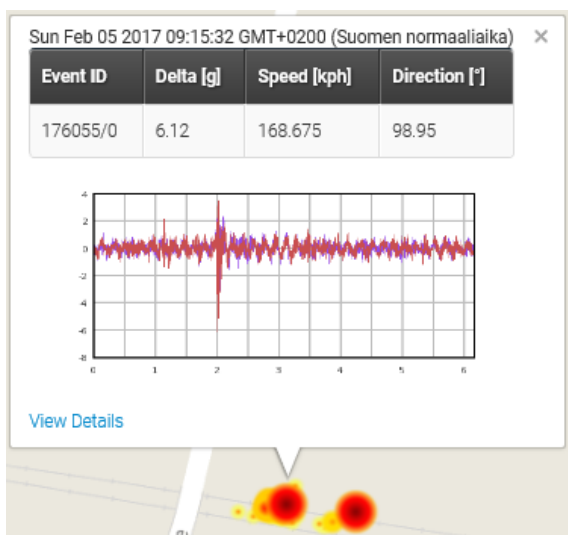
aikaikkunan löytäminen raiteella työskentelyyn voi olla hankalaa. Havainnon tarkastamisen kannalta on kuitenkin tärkeää päästä näkemään kohde läheltä ja samasta tasosta, jotta esimerkiksi virheelliset säädöt on helpompi havaita. Tätä varten voidaan kehittää laitteisto, jolla päästään helposti lähelle ajolankaa. Yksi vaihtoehto voi olla maadoitusauva, jonka päähän kiinnitetään kamera, jolloin voidaan kuvata kohde läheltä silmien tasolta.

Ryhmyseristimien kuntoa tarkastellaan aina tietyin väliajoin. Hitaasti ajettaville ryhmyseristimille suoritetaan määräaikaishuolto kolmen vuoden välein ja nopeasti ajettavien ryhmyseristimien huoltoväli on vuosi [20, s.6]. PANDAS:in havaintojen perusteella on löydetty nimenomaan huonokuntoisia hitaasti ajettavia ryhmyseristimiä[19]. Ryhmyseristimien huono kunto tulee esille määräaikaishuoltojenkin yhteydessä, mutta voi syntyä tilanteita, jolloin komponentti pettää ennen määräaikaishuoltoa ja PANDAS:in havainnot toimivat tähän oivana indikaattorina.

Vihannista on tullut PANDAS:in havaintoja Raahentien YKS kohdalla (kuva 40). Silta-aukon mataluudesta johtuen ajolanka on jouduttu tuomaan sillan kohdalla minimikorkeudelle. Ratapiha muutostöiden yhteydessä ajojohdon tulokulma silta-aukkoon on muutettu jyrkemmäksi, jonka oletetaan olevan syy poikkeamiin. Kohteessa on tehty säätötoimenpiteitä ja säädetty ajolangan asemaa loivemmaksi. Kohde on haastava, sillä sillan mitoissa tulee säätövarat jo vastaan [21]. Sillalta ei toistaiseksi ole tullut havaintoja säätötoimenpiteiden jälkeen. Rataverkolta löytyy myös muita kohteita siltojen alitusten kohdalla, joihin syntynyt korkeita havaintoja, kuten esimerkiksi kuvan 41 havainto osoittaa.

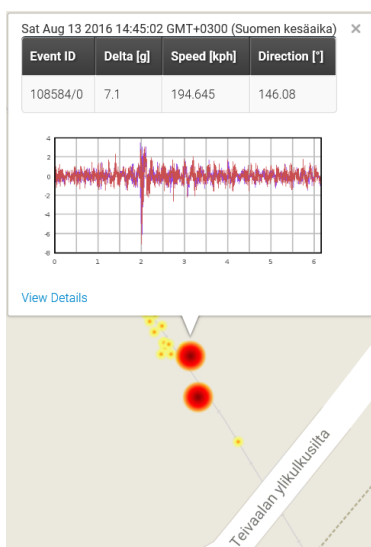


Kuva 40. Vihannista syntyneitä havaintoja sillan alituksen kohdalla. [16]



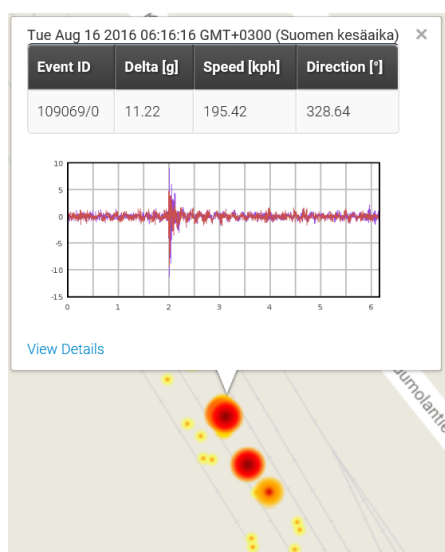
Kuva 41. Havaintoja Eskolan Mönjätien sillan lähetyiltä. [16]

Tampereen Teivon alikulkusillan paikkeille on muodostunut muutama suuri PANDAS:in tuottama havainto (kuva 42). Tästä syystä kohteeseen tehtiin maastokäynti. Maastokäynnin yhteydessä kävi ilmi, että ajolankaan oli jouduttu tekemään jatkos. Myöhemmin selvisi, että ajolanka oli katkennut aikaisemmin kyseisestä kohdasta, ja jatkos oli jouduttu tekemään sen takia [22]. Ei ole varmuutta, ovatko havainnot syntyneet ennen vai jälkeen ajolangan katkeamisen. Herää kuitenkin ajatus siitä, että jos havainnot ovat syntyneet ennen ajolangan katkeamista, olisiko katkeaminen voitu estää puuttamalla tilanteeseen PANDAS:in havaintojen johdosta.



Kuva 42. PANDAS:in havaintoja Teivaalan ylikulkusillan kohdalla. Toinen suurista havainnoista on suuruudeltaan 9,16 g:tä. [16]

On olemassa mahdollisuus, että ratajohtotyyppiä muutetaan siten, että kyseisellä osuudella voidaan liikennöidä korkeammalla nopeudella. Kun tehdään muutoksia nopeuteen, pärjätään usein tekemällä asianmukaiset korvaavat säädöt. Mikäli jotain on unohdettu säätää, voi virroittimeen kohdistua kovia iskuja. Janakkalan Turengissa havaittiin voimakkaita kiihtyvyyksiä. Lopulta kävi ilmi, että osa tasonnostoa vaativista säädöistä oli vielä tekemättä [19]. Olisi voinut mennä hetken aikaa ennen kuin puutteelliset säädöt olisi huomattu ilman PANDAS:in tuottamia havaintoja. Kuvassa 43 Turengin aseman havaintoja.



Kuva 43. Puutteellisista säädöistä johtuvia kiihtyvyyksiä Turengin asemalla. [16]

PANDAS:in havaintojen joukosta on noussut esille yksittäisiä havaintoja, jotka ovat piikkimäisiä ja kiihtyvyyksiltään korkeita jopa 10 g:n suuruisia. Kausalan lähellä näitä on kaksi kappaletta. Kyseisiltä alueilta ei ole löydetty poikkeavuuksia, jotka aiheuttaisivat näin suuria kiihtyvyyksiä virroittimeen. Havainnot ovat voineet muodostua esimerkiksi langalla istuvasta linnusta tai irronneesta ripustimesta. Mikäli ripustin irtoaa kannatinlangasta ja jää roikkumaan ajolankaan niin virroittimen osuessa siihen se todennäköisesti lentää irti ja aiheuttaa kovan iskun. Ripustimen irtoamien selittäisi myös sen, miksei havaintoja tule toistuvasti kohteesta. Ajolangalla olevat puiden oksat voivat aiheuttaa vastaavanlaisen tilanteen. Pitää myös muistaa, että inhimilliset virheet ovat aina mahdollisia ja aiheuttavat yksittäisiä havaintoja.



## 6 Järjestelmän tuottaman tiedon hyödyntäminen

Kuten aikaisemmin on tullut ilmi, järjestelmän tuottamia mittaustietoja ei käytetä tällä hetkellä kovinkaan tehokkaasti. Poikkeavien havaintojen välitys kunnossapitäjille tapahtuu sähköpostin välityksellä. Myöskään kunnossapitäjien havainnot ja toimenpiteet eivät päädy mihinkään järjestelmään, vaan ne jäävät sähköpostiviesteihin. Järjestely toimii, kun laitteisto on kokeilukäytössä, mutta jos se halutaan liittää osaksi suurempaa valvontalaitteverkkoa, pitäisi pohtia, miten tietoa tulisi käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Kunnossapidon tuottaman tiedon lisäksi itse järjestelmän tuottamat havainnot jäävät myös pimentoon, kun ne siirtyvät muista järjestelmistä erillään olevaan GDN:kiin.

Toinen asia, jota tulisi kehittää, on havaintojen seulonta. Järjestelmä tuottaa havaintoja ympäri rataverkkoa, mutta ei pääätä, milloin jokin yksittäinen havainto aiheuttaa toimenpiteitä. Tällä hetkellä Liikennevirastossa seulotaan toimenpiteitä vaativat havainnot muiden joukosta yksittäisen henkilön työpanoksella. Valvonta ei ole tällöin aina reaaliaikaisista, vaan pakostakin syklistä. Tulisi pohtia, pitäisikö havaintojen valvontaa siirtää toimintoihin, joissa sitä voidaan tehdä reaaliaikaisesti. Vaihtoehtoina voisi olla käyttökeskukset tai tekninen valvomo. Teknisen valvomon toimenkuviin kuuluu liikkuvan kaluston valvontajärjestelmien valvonta ja valvontaan liittyvä analysointi.

### 6.1 Liike-järjestelmä

Syntyvän valvontalaitetiedon ”tallentamiseksi” on olemassa kaksi vartenotettavaa järjestelmää. Toinen niistä on Liike-järjestelmän alle pohjautuvien ohjelmistojen hyödyntäminen. Kokonaisuus koostuu seuraavista työkaluista: valvontalaitteiden tiedon siirto ulkoisiin järjestelmiin (VALTSU), Liikenteenohjauksen yhtenäinen karttakäyttöliittymä (YKÄ) ja rata infran hallinta (TRAKEDIA). Työkalut ovat jo olemassa, mutta niiden ympärille rakennettava kokonaisuus on vielä kehitteillä. [23.]

#### 6.1.1 TRAKEDIA

TRAKEDIA:sta tuodaan kokonaisuuteen rata infrastruktuuri. TRAKEDIA:sta luodaan rajapinta YKÄ:n. Rajapinnan välityksellä jaetaan karttapohjat ja ratainfrastruktuurin sisältävät tiedot. TRAKEDIA:n ollaan parhaillaan lisäämässä myös ratakomponentteja. TRAKEDIA:sta löytyy jo vaihteet sekä osittain sähköradan komponentit. Komponentteihin

voidaan lisätä myös tietoa esimerkiksi siitä, minkä merkkisiä ne ovat, tai kuinka vanhoja ne ovat. Tämän avulla kunnossapidossa voi nousta uusia mahdollisuuksia komponenttien valvonnan osalta. Tietojen päivittäminen tulisi kylläkin olemaan työlästä. [23.]

### 6.1.2 VALTSU

VALTSU:n ideana on koota valvontalaitteiden tuottamaa tietoa ja jakaa sitä eteenpäin. Myös VALTSU muodostaa rajapinnan YKÄ:n. VALTSU sisältää tällä hetkellä liikkuvan kaluston valvontalaitteita kuten: virroitinvalvontakamerat, kuumakäynti-ilmaisimet, pyörävoimailmaisimet ja liikkuvan kaluston RFID-tagit. Kyseiset laitteistot eroavat PANDAS:ista siten, että ne valvovat liikkuvaa kalustoa eivätkä suoranaisesti rataverkon kuntoa. PANDAS:in keräämä tieto voidaan yhdistää VALTSU:n. [23.]

VALTSU on kokonaisuuden kannalta myös siinä määrin tärkeässä asemassa, että se toimii havaintojen ”datapankkina”. Ohjelmaan voidaan mallintaa jokseenkin vastaavaanlainen kokonaisuus, joka GDN:ssä on. GDN:n heikkous on se, että kaluston kulkusuunta ei ole havainnollistettu tarpeeksi hyvin. Havaintopisteiden ympärille voidaan muodostaa nuoli kulkusuunnasta sekä kirjata kiihtyvyyksien suuruudet. VALTSU:ssa on olemassa jo nyt mahdollisuus demota PANDAS:in tuottamaa tietoa. Tämä vaatii kuitenkin vielä neuvotteluja valmistajan kanssa. [23.]

Mittaustulosten pohjalta voidaan luoda kunnossapidollisesti ennakoivaa tietoa. Ennakoidun tiedon lisäksi järjestelmään voidaan syöttää kunnossapidon tuottamaa tapahtumaa tietoa. Havainnoista voidaan halutessa siirtää jokin havainto erikseen tarkasteluun. Havainnon siirtyessä erilleen erilliseen listaan lähetettäisiin tästä samalla raporttipohja kunnossapitoon. Kun raporttipohja on täytetty tai tiedot kirjattu suoraan järjestelmään, siirtyisi havainto pois erilliseltä listalta. Näin saataisiin kerättyä tärkeää kunnossapidon tuottamaa tietoa. Halutessa voitaisiin kerätä myös kuvia kohteesta. Kun tietoja on kerätty riittävästi, voidaan tietojen ympärille mahdollisesti kehittää jonkin tasoista tekoälyä.

### 6.1.3 YKÄ

YKÄ voisi toimia valvontaympäristönä. TRAKEDIA:n ja VALTSU:n tietojen lisäksi YKÄ:ssä voitaisiin seurata liikkuvan kaluston liikkeitä reaaliaikaisesti. Valvontalaitteiden tuottamat havainnot voisivat näkyä kartalla määritellyn ajan esimerkiksi vuorokauden.

YKÄ:ä valvova taho voisi reaaliaikaisten tapahtumien perusteella siirtyä VALTSU:n ja tehdä siellä havaintoihin vaadittavat toimenpiteet, ja esimerkiksi siirtää havainto seurantaan. YKÄ:n etu tulisi siinä esille, että samalla pystyttäisiin seuraamaan kaikkia valvontalaitteita yhtäaikaaisesti ja yhdistelemään esimerkiksi virroitin valvontakameroiden tietoja PANDAS:in tuottamiin havaintoihin. Kartalla voitaisiin myös seurata liikkuvan kaluston liikeitä ja esimerkiksi värittää havaintoja aiheuttaneen yksikön kulkureittejä. [23.]

Kyseinen kokonaisuus tarvitsee kuitenkin vielä ainakin yhden rajapinnan Poikkeamien hallinta-järjestelmään (POHA). POHA:n tuodaan tieto rataverkolla havaituista poikkeamista. POHA toimii myös työnjohdollisena järjestelmänä, jossa seurataan kunnossapitosopimuksien toteutumista. PANDAS:in havaintoja ei ole järkeä siirtää sinne suoraan, koska ne ovat vielä havaintoja. Kun havainto todetaan aiheellisiksi ja löydetään poikkeama sen takaa, se siirtyy järjestelmään. POHA on vain poikkeamia varten, joten esimerkiksi kunnossapidon kannalta tärkeä ennakoiva tieto ei välttämättä kuulu sinne. [19.]

## 6.2 Raid-e hanke

Raid-e on osa Liikenneviraston digitalisaatiohanketta. Raid-e hankeen 3 kokonaisuutta ovat: ratakohteiden hallinta (RATKO), Ratakohteiden ylläpidon ohjelmoinnin sovellus (RYHTI) sekä ratakohteiden kunnossapidon hallintasoftware (RAIKU). Raid-e hanke ei ole vielä valmistunut ja ympäristöä rakennetaan parhaillaan. Liikkuvan kaluston valvontalaitteita käsitellään alkuvuodesta 2018. [24.]

RATKO:n luonne on hieman vastaavanlainen kuin TRAKEDIA:n. Se sisältää tietopohjan Liikenneviraston ratainfrastruktuurista. RYHTI on ohjelmointityökalu, jolla voidaan ohjelmoida ylläpidon ohjelmia. RAIKU on PANDAS:in kannalta oleellinen sovellus. Rataverkon kunnossapidon ja ylläpitojärjestelmien kehittäminen -esityksessä kerrotaan RAIKUS:sta seuraavasti: "Varsinainen kunnonhallinnan tieto syntyy kunnossapitäjien toiminnissa ja radantarkastuksessa. Radantarkastus tuottaa kuntotietoa ja kunnossapito- sekä kunto- että tapahtumatietoa" (Liikenneviraston dia-esitys 2017). Edellä mainittu virke kuvastaa hyvin paikkaa, johon PANDAS:in tieto tulisi sijoittaa. Lause korostaa myös kunnossapidon tuottaman kunto- ja tapahtumatiedon tärkeyttä. Liitteessä 14 esitetään kaavio rajapinnoista, jotka muodostuvat RAIKU:n ympärille. [24.]

## 7 PANDAS:in hyödyntäminen tulevaisuudessa

PANDAS:ia voidaan hyödyntää monella tapaa. Tärkeimpänä on kuitenkin saada PANDAS osaksi Liikenneviraston järjestelmiä ja aloittaa tiedonkeruu kunnossapidosta. Kunnossapidon tuottaman tiedon johdosta havaintoja voidaan analysoida paremmin ja havaita mahdollisia trendejä. PANDAS:lla on myös käytännöllisiä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää paremmin.

Kunnossapidossa voidaan profiloida kohteita ennakoivasti ennen määräaikaishuoltojen tekemistä. Tämä tarkoittaa sitä, että huollon alkaessa mahdollisiin säätötoimenpiteisiin osataan valmistautua jo etukäteen. Mikäli huoltokohteita on kerralla enemmän, voidaan niitä priorisoida havaintojen perusteella. Kunnossapidossa on myös mahdollisuus seurata jälkikäteen korjauksien tai säätöjen onnistuneisuutta.

PANDAS:ia on käytetty myös onnistuneesti vianpaikannuksessa. Voidaan esimerkiksi havaita, että kaluston virroittimia hajoaa jollain reitillä. Syytä virroittimien tai niiden hiilien hajoamiseen ei löydetä heti tai helposti. Tällöin voidaan lähettää PANDAS:lla varustettu yksikkö reitille ja seurata, mihin se tuottaa havaintoja. Vaarana on se, että PANDAS vaurioituu samalla ja on pois valmiudesta jonkin aikaa. PANDAS toimisi lisäksi hyvin mahdollisen ajolangan huurteisuuden aiheuttamien ongelmien kartoittamiseen.

Liikennevirastolla on käytössä ratainfrastruktuuria valvovia radantarkastusvaunuja. Niissä on monia toiminnallisuuksia, joilla voidaan tarkastella radan kuntoa. Vaunut ovat tärkeä osa radan kunnossapitoa, mutta niiden liikennöinti on kallista ja vaatii aina valmistelua. PANDAS:in etu piilee siinä, että sillä saadaan kerättyä tietoa radasta normaalin liikennöinnin yhteydessä. PANDAS:lla ei voida korvata radantarkastusvaunuja, mutta se on oiva lisä osana radan valvontaa. Liikennevirastolla on käytössä kaksi radantarkastusvaunua. Kokoonpanoon on tulossa myös uusi kolmas vaunu.

## 8 Yhteenveto

PANDAS-järjestelmään perehtymisen jälkeen voidaan todeta, että järjestelmä näyttää toimivan kokonaisuudessaan sille asetettujen odotusten mukaisesti. Laitteistossa on kuitenkin myös ominaisuuksia, jotka aiheuttavat häiriötä mittaustuloksiin. Nämä ominaisuudet tunnistamalla voidaan ne sulkea pois analysoinnin ajaksi, eivätkä ne näin haittaa kokonaisuutta. Täydellisen järjestelmän luominen on hyvin hankalaa, ja jopa mahdotonta. Työtä tehdessä selvisi, että havaintojen oleellisin asia on kiihtyvyyden mitattu voimakkuus.

Suurin kehityskohde järjestelmän kannalta liittyy sen tuottaman tiedon parempaan hyödyntämiseen. PANDAS:in tuottamalle tiedolle tulee löytää paikka Liikenneviraston järjestelmistä, jotta kunnossapidollista tietoa saadaan kerättyä paremmin. Järjestelmässä tulee olla mahdollisuus myös arvokkaalle kunnossapidosta kerättävälle tiedolle. Kun PANDAS:in tieto on saatu siirrettyä Liikenneviraston järjestelmiin, tulee huolehtia siitä, että sitä tullaan hyödyntämään järkevästi. Tiedon hyödyntäminen ja prosessointi tulee olemaan alussa raskasta, mutta siitä voidaan hyötyä suuresti tulevaisuudessa. Ehdotankin Liikenneviraston teknistä valvomoa havaintojen prosessoijaksi ja analysoijaksi.

Työn perusteella voidaan ehdottaa, että seuraavaksi Liikenneviraston on suunniteltava uusien valvontalaitteyksiköiden hankinta. Uudet laitehankinnat tulevat siinä mielessä tarpeeseen, että niiden avulla havaintoihin saadaan toistettavuutta. Toistettavuus on taas tärkeää havaintojen analysoinnin kannalta. Toistettavuudesta hyödytään siten, että mikäli tietty kohde tai paikka aiheuttaa korkeita havaintoja toistuvasti, indikoi se selkeästi ongelmasta. Kun laitteistoja on useampi, saadaan havaintojen toistettavuutta nostettua, ja samalla rataverkon valvonnan kattavuus kasvaa.

Yksi tärkeä seikka ennen uusia laitehankintoja on varmistua siitä, että järjestelmää tul-taisiin myös käyttämään. Kunnossapito on pitänyt laitteistoa hyödyllisenä ja esittänyt kehittämiskohteita sen suhteen. Kun kehityskohteet toteutetaan ja järjestelmä otetaan kunnolla käyttöön tulevat sen hyödyt entisestään korostumaan. Rataverkon ajolangan katkeamiset ja komponenttien hajoamiset ovat kalliita, joten mikäli ne havaitaan PANDAS:in avulla, voidaan laitetta pitää erittäin kustannustehokkaana. Tämän ja edellä mainittujen seikkojen vuoksi, uusia laitehankintoja voi pitää järkevinä.

## Lähteet

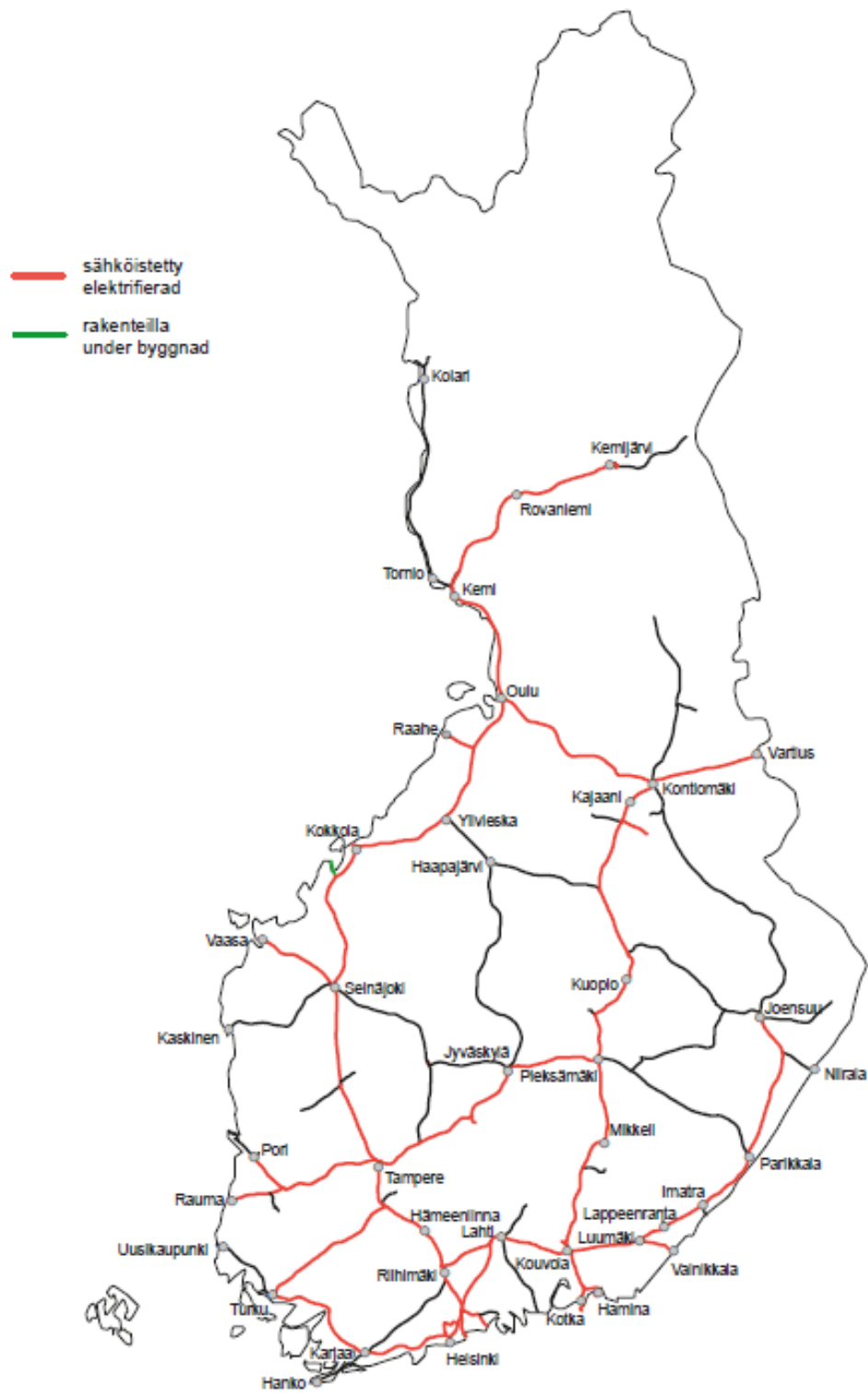
- 1 Östlund, Stefan. 2005. Elektrisk Traktion. Stockholm: Kunliga Tekniska Högskolan.
- 2 Wikipedia. 2005. Siemensin sähköveturi Berliinin teollisuusnäyttelyssä 1879.<[https://fi.wikipedia.org/wiki/Werner\\_von\\_Siemens#/media/File:EElokSiemens.jpg](https://fi.wikipedia.org/wiki/Werner_von_Siemens#/media/File:EElokSiemens.jpg)>, viitattu 8.11.2017.
- 3 Liikennevirasto. 2017. Rautatietilasto 2016. Liikenneviraston tilastoja 9/2017.<[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti\\_201709\\_rautatietilasto\\_2016\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_201709_rautatietilasto_2016_web.pdf)>,Viitattu 5.11.2017.
- 4 Liikennevirasto. 2016. Sähkörataohjeet. Liikenneviraston ohjeita 7/2016. <[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_201607\\_sahkorataohjeet\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_201607_sahkorataohjeet_web.pdf)>,Viitattu 5.11.2017.
- 5 Wikipedia. 2010. Electrification systems in Europe. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Railway\\_electrification\\_system#/media/File:Europe\\_rail\\_electrification\\_en.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system#/media/File:Europe_rail_electrification_en.svg)>,Viitattu 8.11.2017.
- 6 CENELEC. 2004. Railway applications – Supply voltages of traction systems. Brussels: Central Secretariat.
- 7 CENELEC. 2012. Railway Applications - Power supply and rolling stock - Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability. Brussels: Management center.
- 8 EU Komissio. 2014. Unionin rautatiejärjestelmän energiaosajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. 1301/2014.
- 9 Pöyhönen, Otso. 1977. Sähkötekniikan käsikirja 2. Helsinki: Tammi.
- 10 Liikennevirasto. 2013. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata. Liikenneviraston ohjeita 21/2013. <[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-21\\_rato\\_5\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-21_rato_5_web.pdf)>, viitattu 1.11.2018.

- 11 JR Dynamics Ltd. 2013. User and Installation manual. JRD-2262 Pantograph Overhead Line Monitoring.
- 12 Juha-Matti Vilppo. Ylitarkastaja. Liikennevirasto. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 13 Samuli Suuriniemi. Johtava asiantuntija. VR Group. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 14 Dimension Engineering. 2017. A beginner's guide to accelerometers. <<https://www.dimensionengineering.com/info/accelerometers>>, Viitattu 1.11.2017
- 15 National Instruments. 2017. Measuring Vibration with Accelerometers. <<http://www.ni.com/white-paper/3807/en/>>, Viitattu 1.11.2017.
- 16 JR Dynamics Ltd. 2017. Global Data Network. <<https://future.gdn.jrdltd.co.uk/login.php> > Viitattu 2.11.2017
- 17 Liikennevirasto. 2017. Ratojen kunnossapidon työnjako. <[https://www.liikennevirasto.fi/rataverkko/kunnossapito/tyonjako#.Why8Epl\\_RZ](https://www.liikennevirasto.fi/rataverkko/kunnossapito/tyonjako#.Why8Epl_RZ) >, Viitattu 3.11.2017
- 18 Liikennevirasto. 2017. Liikenneviraston kunnossapito- ja isännöintialueet. <[https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23405/E0076\\_Kunnossapitoaluekartta.pdf/8b5e1056-0350-4bff-aa2b-6fbb6ee1f35](https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23405/E0076_Kunnossapitoaluekartta.pdf/8b5e1056-0350-4bff-aa2b-6fbb6ee1f35)>, Viitattu 6.11.2017.
- 19 Janne Nieminen. Kunnossapitopäällikkö, Sähkörata. Liikennevirasto. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 20 Liikennevirasto. 2012. Radan sähkörata- ja vahvavirtajärjestelmien kunnossapito 2013–2017 Helsingin käyttökeskusalue, Liite 1.5, Tehtäväluettelo.



- 21 Leo Tuppurainen. Sähkökunnossapito, Pohjois-Suomi. VR Track. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 22 Heikki Ala-Välkkilä. Sähkörata-asiantuntija. Eltel. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 23 Mika Frilander. Projektipäällikkö. Rautatieto. Haastattelut 8.5-8.11.2017.
- 24 Liikennevirasto. 2017. Rataverkon kunnossapidon ja ylläpitojärjestelmien kehittäminen, Raid-e hanke. Viitattu 10.11.2017.
- 25 Liikennevirasto. 2011. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 7 rautatieliikennepaikat. Liikenneviraston ohjeita 13/2011. < [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2011-13\\_rato\\_7\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2011-13_rato_7_web.pdf)>, viitattu 6.11.2017.

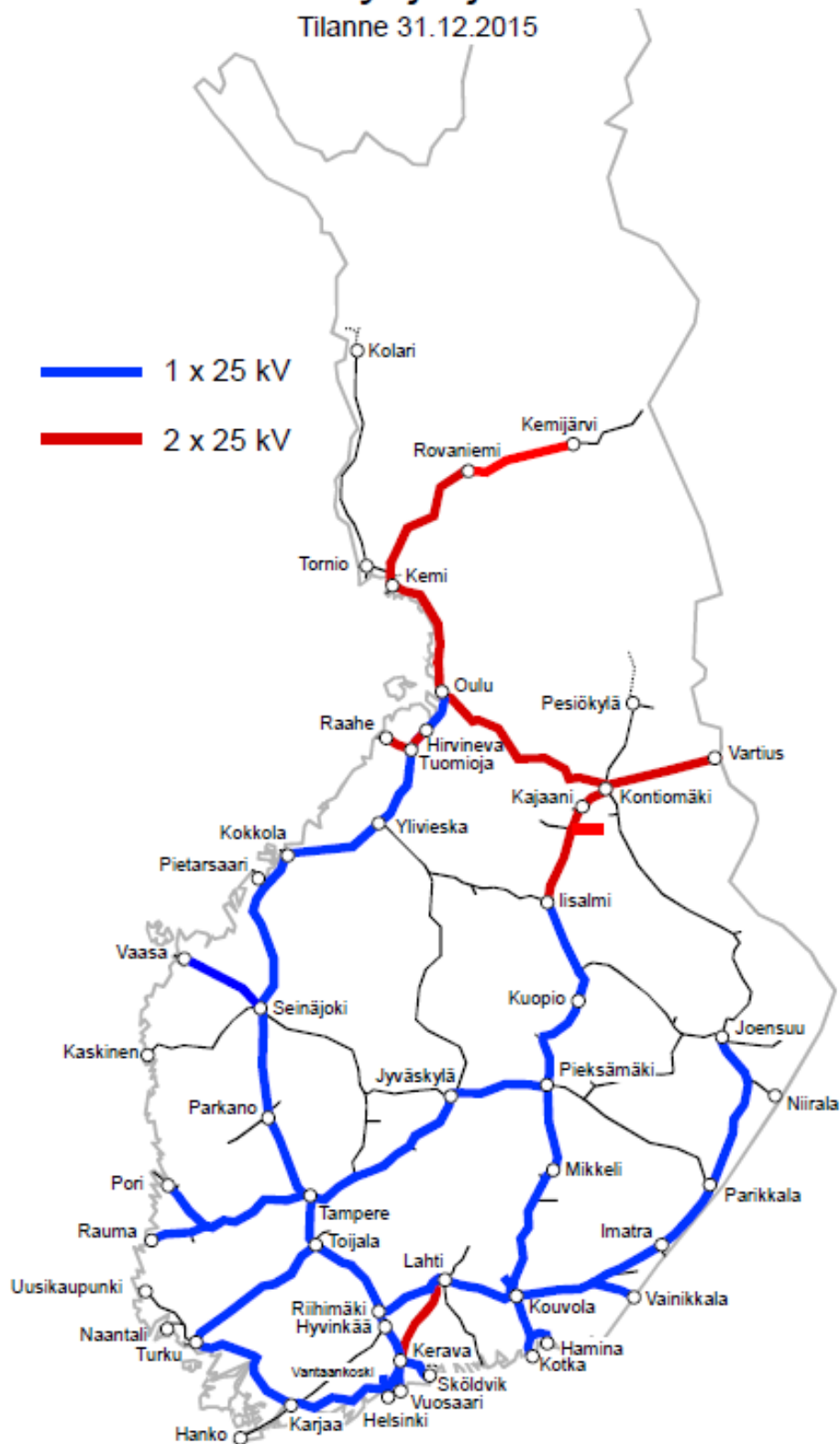
## Ratojen sähköistys



25 kilovoltin ja 2x25 kilovoltin jakautuminen Suomessa

# Sähköistysjärjestelmät

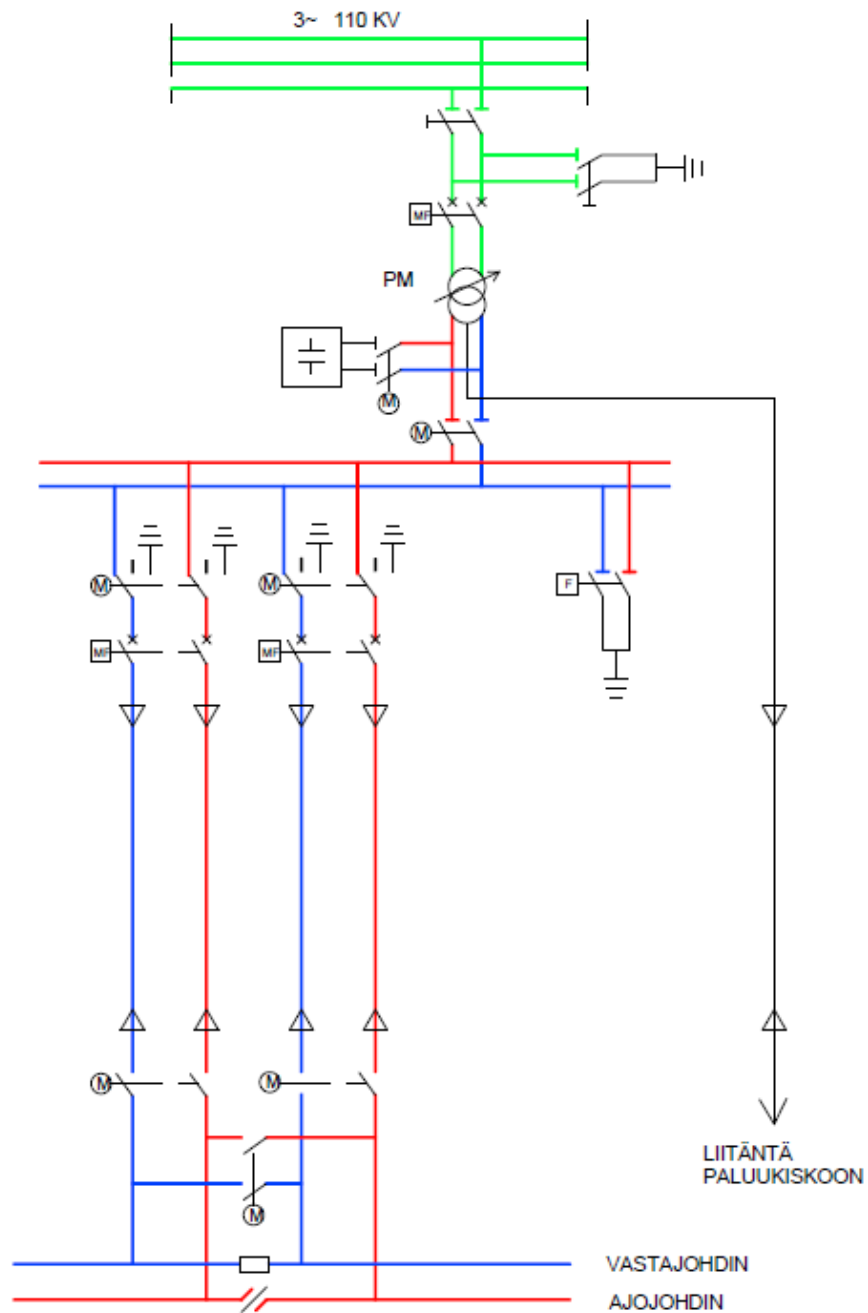
Tilanne 31.12.2015





## 2x25 kilovoltin järjestelmän syöttöasema

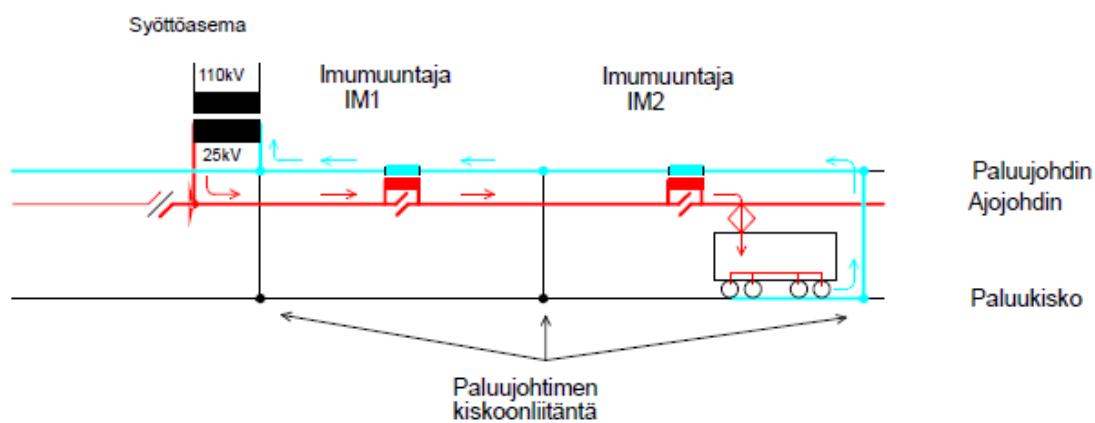
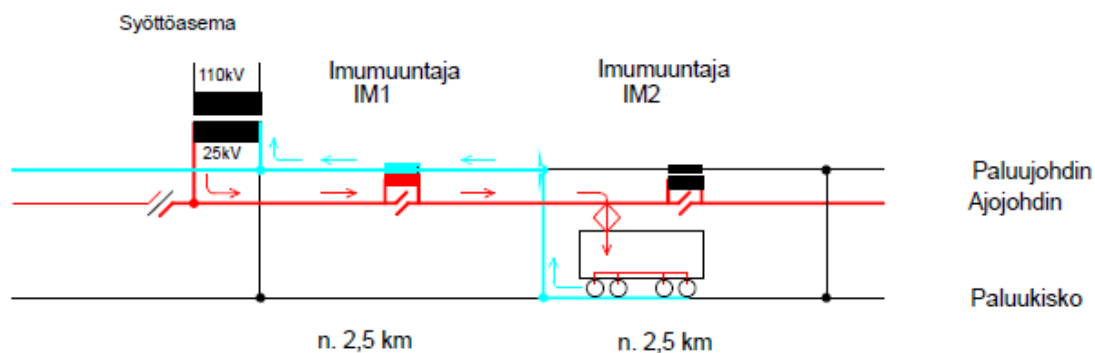
### JÄRJESTELMÄN 2x25 KV SYÖTTÖASEMA



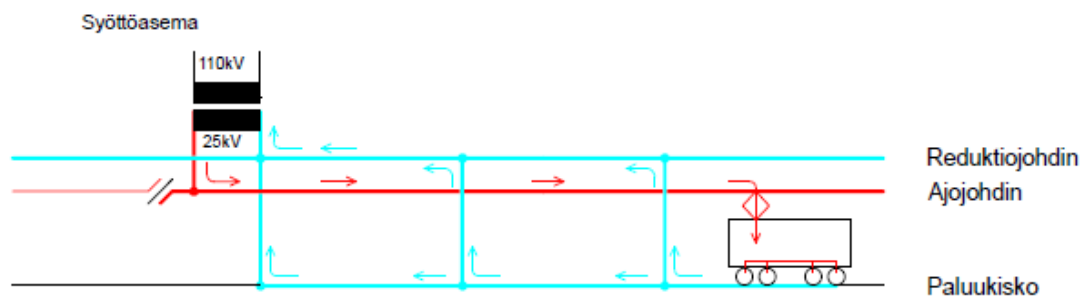
- 110 KV
- 25 KV
- -25 KV

Virran kulkutie 25 kilovoltin järjestelmässä syöttöaseman ja kaluston välillä

Imumuuntajalla ja paluujohtimella varustettu ratajohto



Reduktiojohtimella varustettu ratajohto

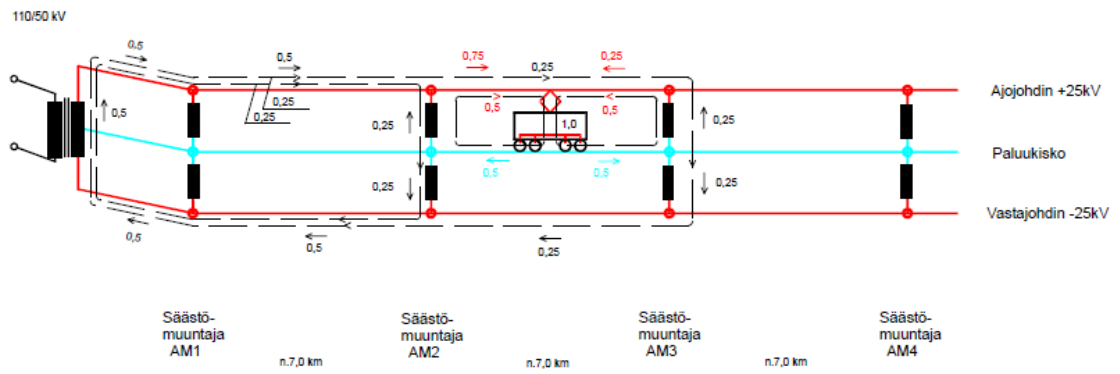


— Syöttöasemalta lähtevä virta

— Paluuvirta

Virran kulkutie 2x25 kilovoltin järjestelmässä syöttöaseman ja kaluston välillä

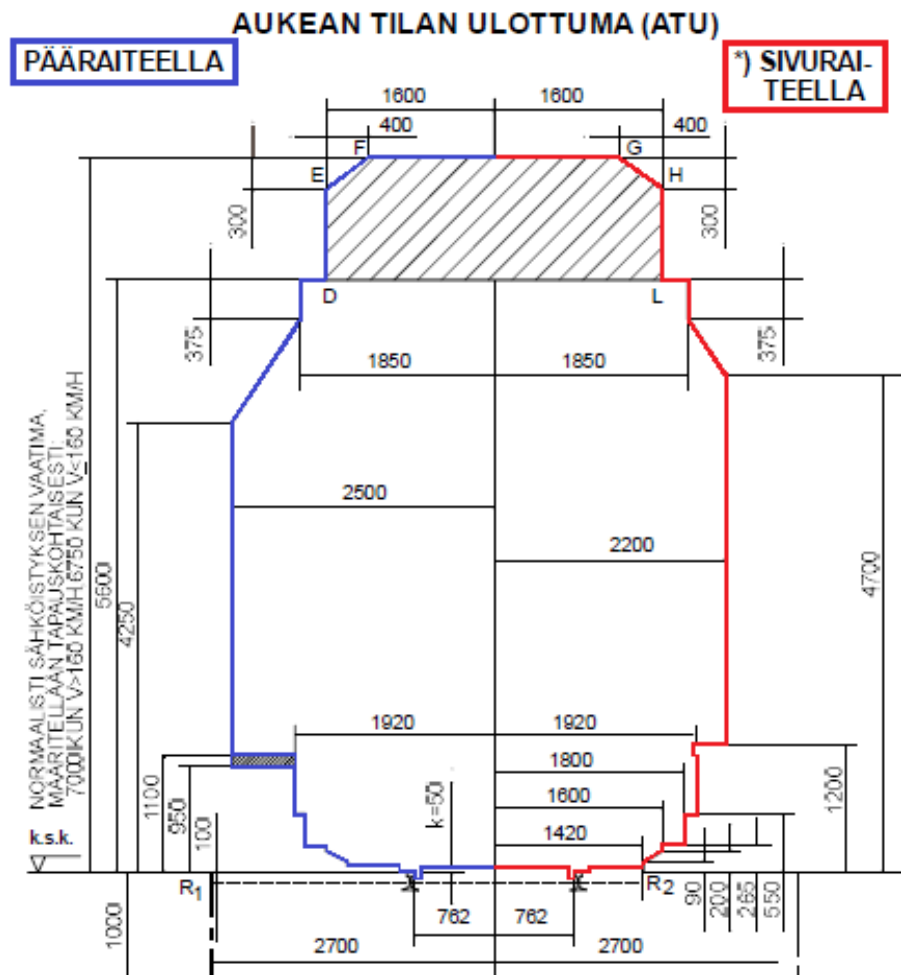
VIRRRAN KULKUTIE  
SYÖTTÖASEMAN JA VETOKAULUSTON VÄLILLÄ  
JÄRJESTELMÄSSÄ 2 X 25 KV





## Aukean tilan ulottuma rataverkolla

### Aukean tilan ulottuma

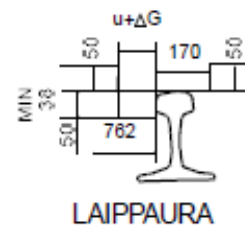


Aukean tilan ulottuma on samanlainen pää- ja sivuraitteella korkeuteen 950 mm asti.  
Kaarteissa ulottuman puolileveyksiä on kasvatettava kaavan  $\frac{380000}{R} + \frac{HD}{1600}$  mukaan.

- rajaviiva aukean tilan ulottumalle
  - rajaviivan yläpuolella sallitaan vain vaihteiden ja turvalaitteiden osia, tasoristeysten päällysteitä yms.
  - - - rajaviivan yläpuolella ei sallita rataan kuulumattomia perustuksia, köysiä, putkijohtoja, kaapeleita ym.
- $u_{\min} = 41$        $u + \Delta G =$  laippauran levitys kaarteissa

$k = 50$  mm, kun pystysuoran pyör.säde  $s > 1000$  m  
 $k = 0$  mm kun pystytason pyör.säde  $s = 500$  m  
 $k$  kasvaa lineaarisesti 0... 50 mm pyör.säteen kasvaessa vastaavasti 500...1000 m

- sähköistetyt ja sähköistettävät raiteet
- alue, johon saa asentaa vain radan merkkejä ja opastimia

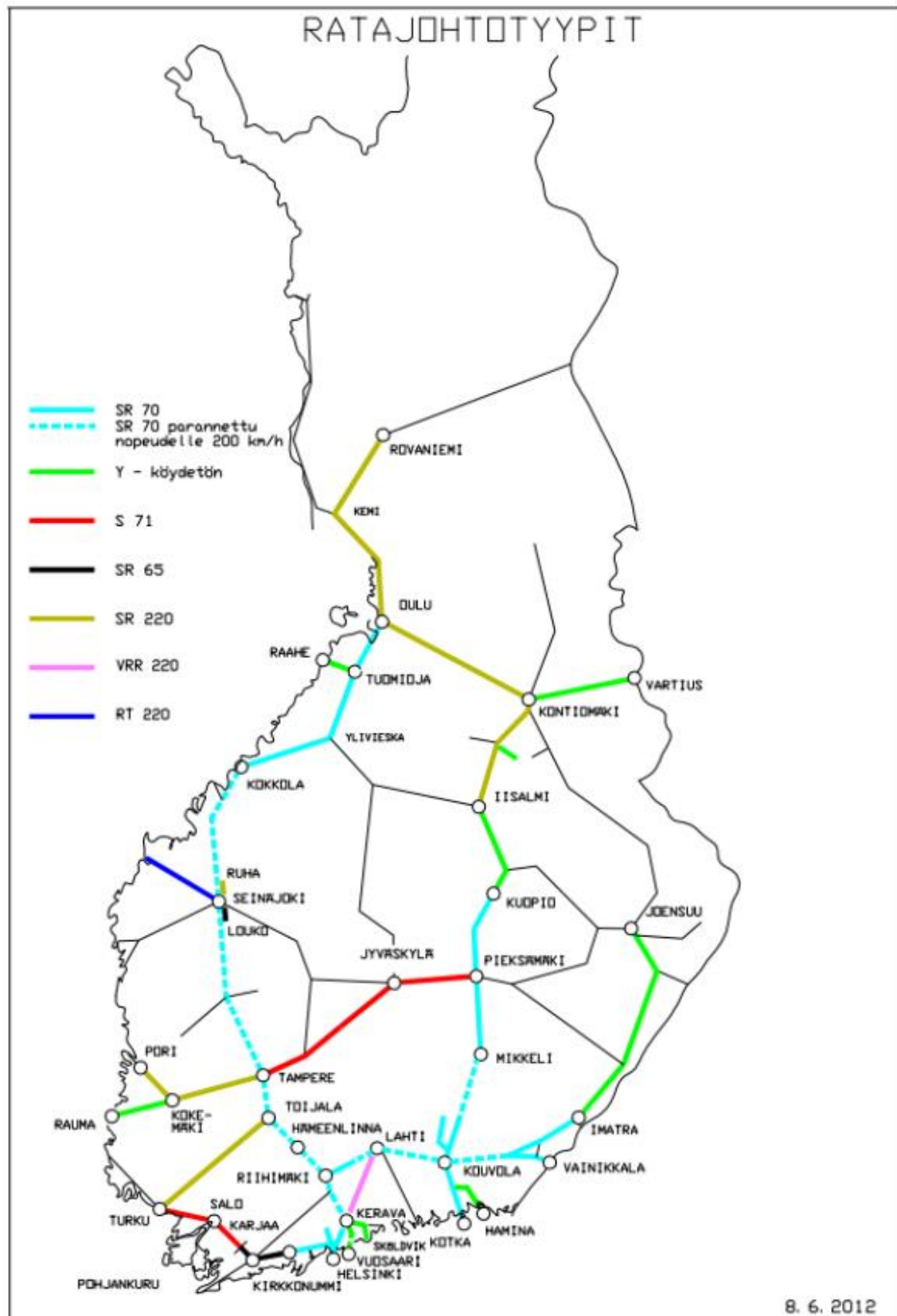


\*) Rautatieliikennepaikalla on oltava vähintään yksi raide, joka täyttää kiinteiden esteiden osalta suurkanjetusrateen ulottuman.

## Ratajohtotyypit

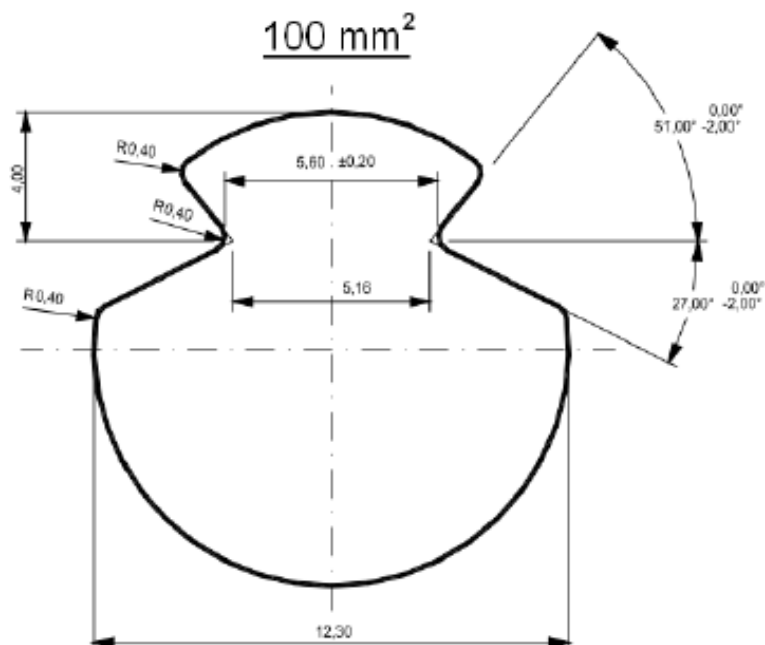
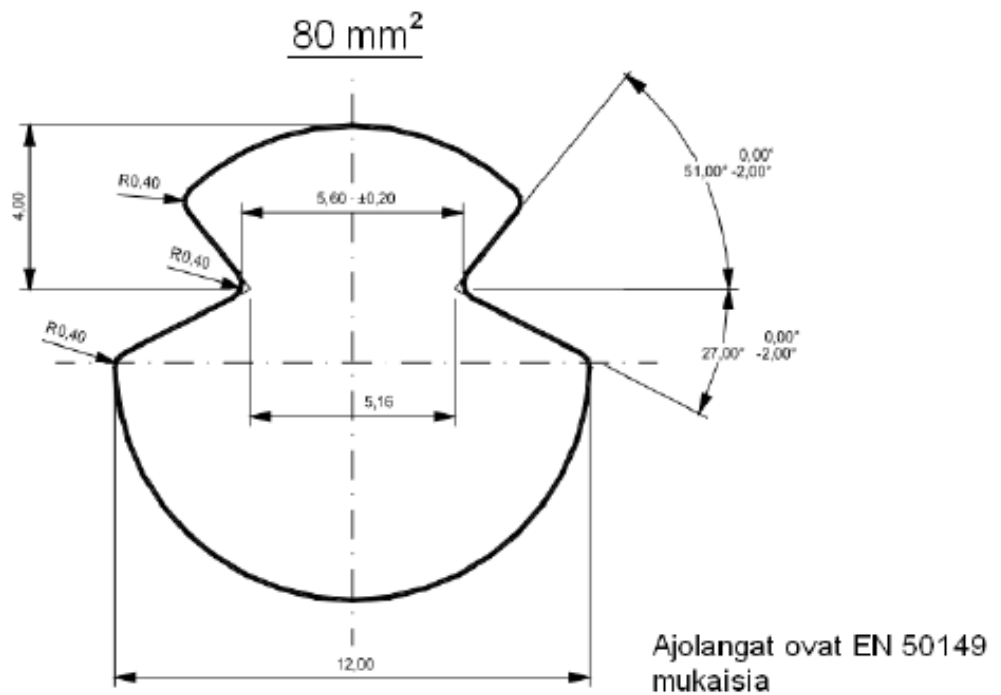
RATAJOHDON TEKNISIÄ TIETOJA							
	Aj ilman Y-köyhtä	SR 70	SR 65	S 71	SR 220	VR 220	RT220
Max nopeus	140 km/h	160 km/h	200 km/h	200 km/h	220 km/h	220 km/h	220 km/h
Ajolangan kiristysvoima	9,8 kN	9,8 kN	9,8 kN	10,0 kN	12,5 kN	12,5 kN	12,5 kN
Kannattimen kiristysvoima	9,8 kN	9,8 kN	9,8 kN	10,0 kN	12,5 kN	12,5 kN	12,5 kN
Kiristys ajolanka/kannatin	yhteinen	yhteinen	yhteinen	erillinen	erillinen	erillinen	erillinen
Y-köyden kiristysvoima	—	1,5 kN	1,5 kN	2,0/2,5 kN (v/p)	2,3 kN	2,3 kN	2,3 kN
Y-köyden pituus	—	12,5 m	12,5 m	16 m	16 m	12,5 m	16 m
Jännepituus	70 m	70m	65 m	71 m	71 m	71 m	71 m
Vierekkijänteiden. max pituusero	ei rajoitettu	20 m	10...15m	15 m	15 m	15 m	15 m
Kiristyskentän jänne		60 m	55 m	55 m	55 m	55 m	55 m
Ajolangan korkeus max	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm
Ajolangan korkeus min	560 cm	560 cm	560 m	560 cm	560 cm	560 cm	560 cm
Ajolangan korkeus norm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm
Ajolangan siksak suoralla	40 cm	40 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
Systeemikorkeus	110 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm
Kiristysväli	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m
Kiristysvälin max	900 m	900 m	900 m	800 m	800 m	800 m	800 m
Köysivoiman toleranssi		+/- 2 kN -	+/-1kN	+/-1kN	+/-10%	+/-1kN	± 10 %
Ohjaimen noste		65 N	35 N	42 N	40 N	40N	40N
Ohjaimen vapaanousu	140 mm	140 mm	200 mm	200 mm	250 mm	250 mm	250 mm
Kaltevuus norm	1:600	1:600	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000
Kaltevuus poikk	1:400	1:300	1:600	1:600	1:600	1:600	1:600
Ajolangan esirippuma	6/7000*L	3/7000*L	3/7000*L	L/2000	L/4000	L/4000	L/4000
Kääntöorren materiaali		Fe+Znk	Fe+Znk	AI	AI	AI	AI
Vaihteen sähköistys				Ristiripustimet/ Risteämätanko	Ristiripustimet/ Risteämätanko	Ristiripustimet/ Risteämätanko	
Max ajolangan tuulipoikkeama keskilinjasta	46 cm	46 cm	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm
Kannatin materiaali	50 BzII	50 BzII	50 BzII	50 BzII	50 BzII	50 BzII	50 BzII
Ripustin materiaali	16 Cu tai 12,6 Fe	16 Cu tai 12,6 Fe	16 Cu tai 12,6 Fe	10 BzII	10 BzII	10 BzII	10 BzII

### Ratajohtotyyppien jakautuminen Suomessa



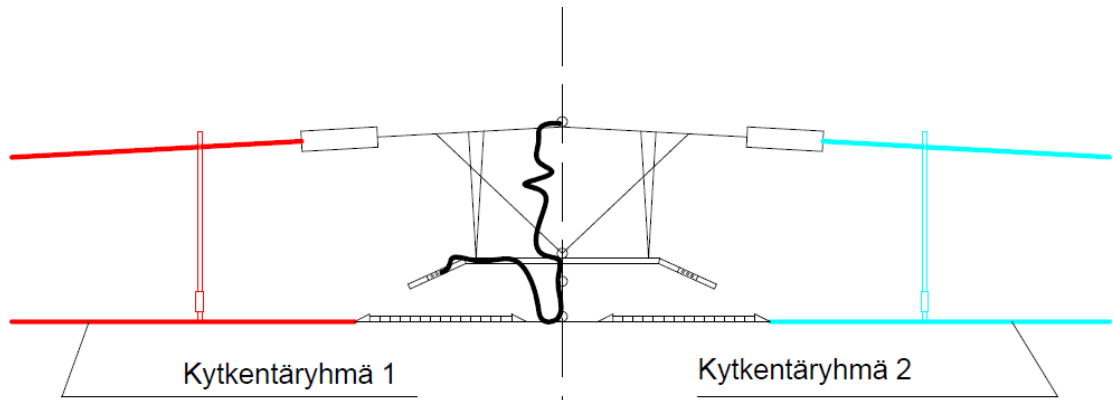
Ajolangan profiili

(SSR 8.6350) 80 ja 100 mm<sup>2</sup> ajolankojen poikkipintojen mitat



Havainnollistettu esitys erotusjaksosta

## EROTUSJAKSO

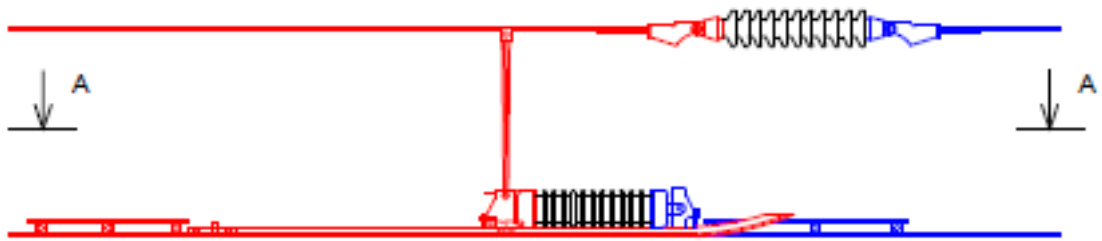


Huom. Kytkentäryhmät 1 ja 2 voivat olla erivaiheiset.

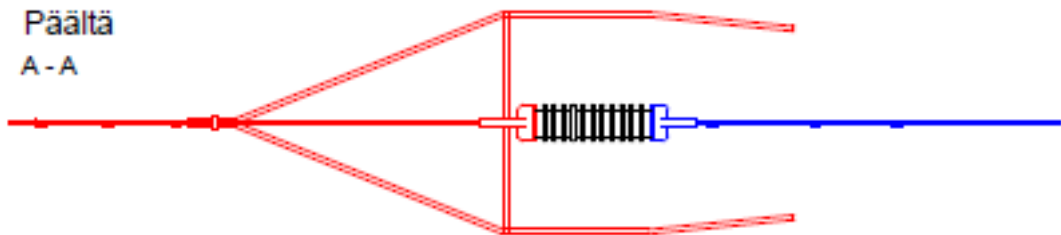
## Havainnollistettu esitys ryhmitseristimestä

### HITAASTI AJETTAVA RYHMITYSERISTIN

Sivulta



Päältä  
A - A



### NOPEASTI AJETTAVA RYHMITYSERISTIN



— kytentäryhmä 1  
— kytentäryhmä 2

## View details linkin kautta avautuva näkymä

### File Info

[Download File](#)

Device Type:	PANDAS
File Name:	20171010111654.p2ad
File Size:	18,432 bytes
Upload time:	Tue, 10 Oct 2017 12:16:59 +0100
Last access time:	Tue, 10 Oct 2017 12:16:59 +0100

### Event Info

Time:	Tue, 10 Oct 2017 12:16:45 +0100
Channel:	1
$\Delta$ Acceleration [g]:	2.21
Speed [kph]:	35.825
Direction [°]:	147.005

### Data Plot

Time (s)

Channel X Channel Y

### Device Location

Kartta Satelliitti

Google

### Notes

[Edit](#)

## Kaavio RAIKU sovelluksen rajapinnoista

