

**Suomen rautateiden virroitinvalvontatekniikan nykytilanne ja
tulevaisuuden kehitysvaihtoehdot**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, liikenneala

syyslukukausi, 2019

Henri Turkia

Liikenneala
Riihimäki

Tekijä	Henri Turkia	Vuosi 2019
Työn nimi	Suomen rautateiden virroitINVALVONTATEKNIIKAN NYKYTILANNE JA TULEVAISUUDEN KEHITYSMÄHDOLLISUUDET	
Työn ohjaaja/t	Teppo Sotavalta, Hämeen ammattikorkeakoulu Mika Frilander, Finrail Oy	

TIIVISTELMÄ

Rautateiden virroitINVALVONTAJÄRJESTELMÄÄ KÄYTETÄÄN PÄIVITTÄIN RAUTATIE-
TEKNISISSÄ VALVOMOSSA. JÄRJESTELMÄLLÄ TARKKAILLAAN JUNIEN VIRROITTIMIEN KUN-
TOA MAHDOLLISTEN VIKOJEN JA PUUTTEIDEN HAVAITSEMISEKSI. NYKYINEN JÄRJES-
TELMÄ PITÄÄ SISÄLLÄÄN PUUTTEITA JA VIRROITINVALVONTATEKNOLOGIAN KEHITTYESSÄ
ONKIN TARPEEN SELVITTÄÄ, VOISIKO TOISENTYYPPISELLÄ JÄRJESTELMÄLLÄ SAADA PA-
REMPIA TULOKSIA AIKAISEKSI JA MILLAISET KUSTANNUKSET JÄRJESTELMÄN PÄIVITTÄ-
MISESTÄ TULISI.

Tämä opinnäytetyö käsittelee rautateiden virroitinkameroiden nykytilan-
netta ja tulevaisuutta. Työssä käydään läpi, miten tekniikka toimii, minkä-
laisia tuloksia sillä saadaan ja miltä osin nykyistä virroitINVALVONTATEKNIIK-
KAA VOISI JA PITÄISI PÄIVITTÄÄ TULEVAISUUDESSA. OPINNÄYTETYÖ ESITTELEE VAIH-
TOEHTOISIA JÄRJESTELMIÄ TULEVAISUUDEN MALLIKSI, VERTAILEE NIIDEN TEKNIIKKAA
KESKENÄÄN JA OTTAA KATSOKSEN YLEISESTI SIIHEN, MILLAISIA VAIHTOEHTOJA JA JÄR-
JESTELMIÄ MAAILMALLA KÄYTETÄÄN.

Työn tavoitteena on esitellä nykyinen virroitINVALVONTAJÄRJESTELMÄ, paikal-
listaa nykyisen järjestelmän ongelmakohtat, esitellä muutama vaihtoeht-
toinen järjestelmä uudeksi järjestelmäksi ja johtopäätöksenä tuoda esiin
paras mahdollinen järjestelmä nykyisen korvaajaksi. Työssä käsitellään
myös yleisesti virroitinkameroiden kunnossapitoon liittyviä kehityskohtia
sekä otetaan katsaus ajolangan ja sähköradan valvontaan ja kehityskohtiin.

Työ tehdään tilaustyönä Finrail Oy:lle

Avainsanat Rautatiet, virroitinkamera, apms, sähkörata, virroitin

Sivut 30 sivua

Traffic and Transport Management
Riihimäki

Author	Henri Turkia	Year 2019
Subject	Current state of pantograph monitoring technology and future development possibilities with Finnish railways	
Supervisors	Teppo Sotavalta, Häme University of Applied Sciences Mika Frilander, Finrail Oy	

ABSTRACT

The railway pantograph monitoring system is used daily at the Technical Control Centre of the Finnish railways to observe the state of the train pantographs and in order to identify potential faults and deficiencies. The current system comes with a number of faults, however, and with the developments in pantograph monitoring technology there is a need today to clarify, whether another kind of a system could achieve better results as well as to examine the added costs this system update would bring.

This thesis focuses on the current situation and the future of railway pantograph cameras. It presents an overview of how the technology works, what results it achieves and how the current pantograph monitoring technology could and should be updated in the future. The thesis also discusses alternative systems for future models, compares the used technologies, and offers a general look into the alternatives and systems used around the world.

The goals of this thesis project were to showcase the current pantograph monitoring system, identifying the problems of the current system, to present a few alternatives for a new system and, in conclusion, to bring forth the best possible system with which to replace the current one. The work also generally discusses the focal points of development related to the maintenance of pantograph cameras and reviews the monitoring and the focal points of development of over-head wires and electrified tracks

This thesis project was commissioned by Finrail Oy.

Keywords apms, electrified track, pantograph, railways

Pages 30 pages

SISÄLLYS

KÄSITTEET

1. JOHDANTO.....	1
2. VIRROITINVALVONTAJÄRJESTELMÄ SUOMESSA.....	2
2.1. Historiaa	2
2.2. Nykyhetki.....	3
2.3. Tekniikka.....	7
2.4. Kehityskohdat.....	8
3. VIRROITINKAMERAT MAAILMALLA	8
4. TULEVAISUUDEN VIRROITINVALVONTAJÄRJESTELMÄ VAIHTOEHDOT	9
4.1. Ricardo Rail.....	10
4.1.1. Yleistä.....	10
4.1.2. Tekniikka	11
4.1.3. Soveltuvuus	11
4.2. Camlin Rail.....	12
4.2.1. Yleistä.....	12
4.2.2. Tekniikka	12
4.2.3. Soveltuvuus	13
4.3. Transmission Dynamics.....	13
4.3.1. Yleistä.....	13
4.3.2. Tekniikka	14
4.3.3. Soveltuvuus	14
4.4. Muut virroitinvalvontajärjestelmät.....	15
4.4.1. Image House Pantoinspect	15
4.4.2. Siemens Sicat PMS/Sicat CMS	16
4.4.3. SelectraVision PantoCheck	17
5. MUUT KEHITYSKOHDAT JA VALVONNAN KEHITTÄMINEN.....	17
5.1. Sähkörata	18
5.1.1. Nykytilanne.....	18
5.1.2. Kehitysmahdollisuudet	19
5.2. Yhteistyö kunnossapidon kanssa	20
5.2.1. Nykytilanne.....	20
5.2.2. Kehitysmahdollisuudet	21
5.3. Muut datakanavat.....	22
5.3.1. Nykyinen tilanne.....	22
5.3.2. Kehitysmahdollisuudet	22
6. YHTEENVETO	24
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
LÄHTEET.....	28

KÄSITTEET

Virroitin = Välittää sähkövirran ajolangasta sähköveturin eri osille

Kontaktihiili = Virroittimen yläosassa sijaitseva liuska, joka on yhteydessä ajolankaan

APMS (Automatic Pantograph Monitoring System) = Nykyisin käytössä oleva virroitinvalvontajärjestelmä. Valmistajana ruotsalainen Sensys

VEKU = Pyörävoimailmaisjärjestelmä, jolla tarkkaillaan mm. vaunujen akselitasapainoa ja mahdollisia lovipyöriä

LAKU = Kuumakäynti-ilmaisjärjestelmä, jolla tarkkaillaan pyörien laakereiden lämpötiloja

RFID = Tunnistusjärjestelmä, jota käytetään junakaluston tyyppin tunnistamiseen

VALTSU = Sovellus, johon tulee yhdistetysti tiedot VEKU-, LAKU-, RFID- ja APMS -järjestelmistä

1. JOHDANTO

Sähkörataan liittyvät viat ja häiriöt ovat toiseksi yleisin syy junien myöhästymiselle heti turvalaitevikojen jälkeen. Tyypillisissä sähkövioissa vaurioita aiheuttavat myrskyt, joissa puita kaatuu sähköradalle vaurioittaen sen rakenteita. Myös veturin katolla sijaitseva virroitin voi vikaantuessaan hajottaa ajolangan tai ajolangan kannake voi katketa metallin väsymyksen seurauksena. (Happonen, 2016) Koska sähköveturi ottaa virtansa virroitimen kautta ajolangasta, ovat ehjä ajolanka ja virroitin ehtona sujuvalle junaliikenteelle.

Hajonneen ajolangan aiheuttamille kustannuksille on vaikea sanoa tarkkaa hintaa, mutta esimerkkinä voisi käyttää Ville Saarisen diplomityötä virroittinkameroiden valvonnasta vuodelta 2009, jossa arvioitiin kärjistetyksi, että ajolankavauriolle tulee hintaa n. 100 000€, eikä tämäkään välttämättä riitä (Saarinen, 2009, s. 66).

Virroittimien kunnan tarkkailusta vastaa Finrail Oy:n alaisuudessa toimiva tekninen valvomo. Sen monitoreihin tulee päivittäin n. 350-400 virroittinkameran ottamaa kuvaa virroittimista, joista etsitään rakenteellisia vaurioita ja tarkkaillaan virroittimen kontaktihiilen kerroksen paksuutta ja kuntoa. Viallisista virroittimista raportoidaan eteenpäin VR:n operaatiokeskukseen, joka tekee lopulliset päätökset korjauksista ja muista huoltotoimenpiteistä.

Nykyisin käytössä oleva ruotsalaisen Sensyksen toimittama virroitinvalvontajärjestelmä on ollut käytössä noin 10 vuotta. Se kuvaa virroittimia ylhäältä alaspäin näyttäen virroittimen profiilin, sekä tietoja kalustosta. Se ei kuitenkaan kykene tarkastamaan vaurioita automaattisesti, eikä esimerkiksi ottamaan kantaa sähköradan mahdollisiin muihin vaurioihin.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi nykyisen virroitinvalvontajärjestelmän tilannetta, verrataan sitä muutamaan muuhun vaihtoehtoiseen järjestelmään ja esitellään johtopäätökset virroitinvalvontajärjestelmän päivittämisen suhteen tulevaisuudessa. Kriteereinä uudelta järjestelmältä odotetaan parannuksia mm. automaattisen valvonnan suhteen, sähköradan kunnossapidon tarkkailuun sekä kuvista tulevan datan hyödyntämiseen.

Johtopäätöksenä esitellään, miten virroitinvalvontajärjestelmää kannattaisi kehittää tulevaisuudessa ja millaisia vaihtoehtoja virroittimien ja sähköradan kunnossapidon tarkkailuun on tällä hetkellä olemassa muualla maailmassa sovelletuissa vastaavissa ratkaisuihin. Tavoitteena on myös kehittää nykyistä valvontamallia ja saada virroittimiin ja sähköratoihin liittyvät kunnossapitojärjestelmät yhtenäiseksi kaikkien osapuolten kannalta.

Työ tehdään tilaustyönä Finrail Oy:lle. Aihe on itselleni tuttu, koska työskentelen teknisessä valvomossa vuoropäällikkönä ja osallistun töideni puolesta virroitinkameroiden ottamien kuvien analysointiin. Johdantoon kasattut virroitinvalvonnan tekniset tiedot ja valvomotyön prosessinkulku on kasattu pääasiassa oman työni tuoman kokemuksen perusteella.

2. VIRROITINVALVONTAJÄRJESTELMÄ SUOMESSA

2.1. Historiaa

Virroitinvalvontajärjestelmän tarve nousee esiin ensimmäistä kertaa Annika Salokankaan diplomityössä vuodelta 2008, joka käsittelee liikkuvan junakaluston kunnan valvontaa. Työssä mainitaan, että Ruotsissa virroitinvalvontajärjestelmä on jo käytössä ja se olisi myös tarpeellinen Suomessa. Työssä esitetään, että virroitinvalvontajärjestelmät olisi hyvä asentaa Helsingin Ilmalaan ja Kouvolan läheisyyteen, koska sähköveturit käyvät molemmissa paikoissa säännöllisesti huollettavina (Salokangas, 2008, s. 12 & 68)

Vuonna 2009 otettiinkin testikäyttöön virroitinvalvontajärjestelmä, joka oli ruotsalaisen Sensyksen toimittama AMPS-järjestelmä. Ensimmäinen järjestelmä asennettiin rataosuudelle Oulu-Ylivieska Liminkaan, joka sijaitsee Oulun lähetyvillä. Liminka valittiin sijoituspaikaksi, jotta päästiin testaamaan, miten laitteisto toimii myös talvisimmissä olosuhteissa ennen useamman laitteiston tilaamista (Saarinen, 2009, s. 12)

Testausvaiheessa Limingan APMS-kamera lähetti virroitinkuvat Ruotsiin Sensyksen henkilökunnan tutkittavaksi. Testeissä määriteltiin parametrejä ja tarkasteltiin kuvien laatua. Tarkoitus oli luoda malli, jossa kamera kykenee itse automaattisesti tunnistamaan vikaantuneet virroittimet ja antamaan hälytykset tilanteissa, joissa esimerkiksi kontaktihiili on kulunut niin paljon, että se pitää vaihtaa. (Saarinen, 2009, s. 47)

Testauksen alussa merkittävä osa saaduista kuvista oli käyttökelvottomia, mutta tämä korjaantui testauksen edetessä. Kuvien ansiosta vaihdettiin useita kontaktihiiliä virroittimista ja havaittiin mm. yksi hajonnut virroitin Sr1-veturista. (Saarinen, 2009)

Kuvien tarkastuksesta vastasi VR:n operaatiokeskus vuoteen 2015 asti, jolloin kuvien tarkastus siirtyi Finrail Oy:n tekniseen valvomoon.

2.2. Nykyhetki

2019 käytössä on 12 APMS-kameraa. Sijainnit ovat seuraavat:

Ilmala, Helsinki.

- Neljä kameraa, jotka kuvaavat eteläistä raidetta, pohjoista raidetta, eteläistä keskiraidetta ja pohjoista keskiraidetta.

Lempäälä.

- Kaksi kameraa, jotka kuvaavat eteläistä raidetta ja pohjoista raidetta.

Liminka.

- Kaksi kameraa, jotka kuvaavat eteläistä raidetta ja pohjoista raidetta.

Melalahti, Paltamo.

- Yksi kamera, kuvaa ainoaa raidetta ja sen pohjoiseen meneviä junia.

Partaharju, Pieksämäki.

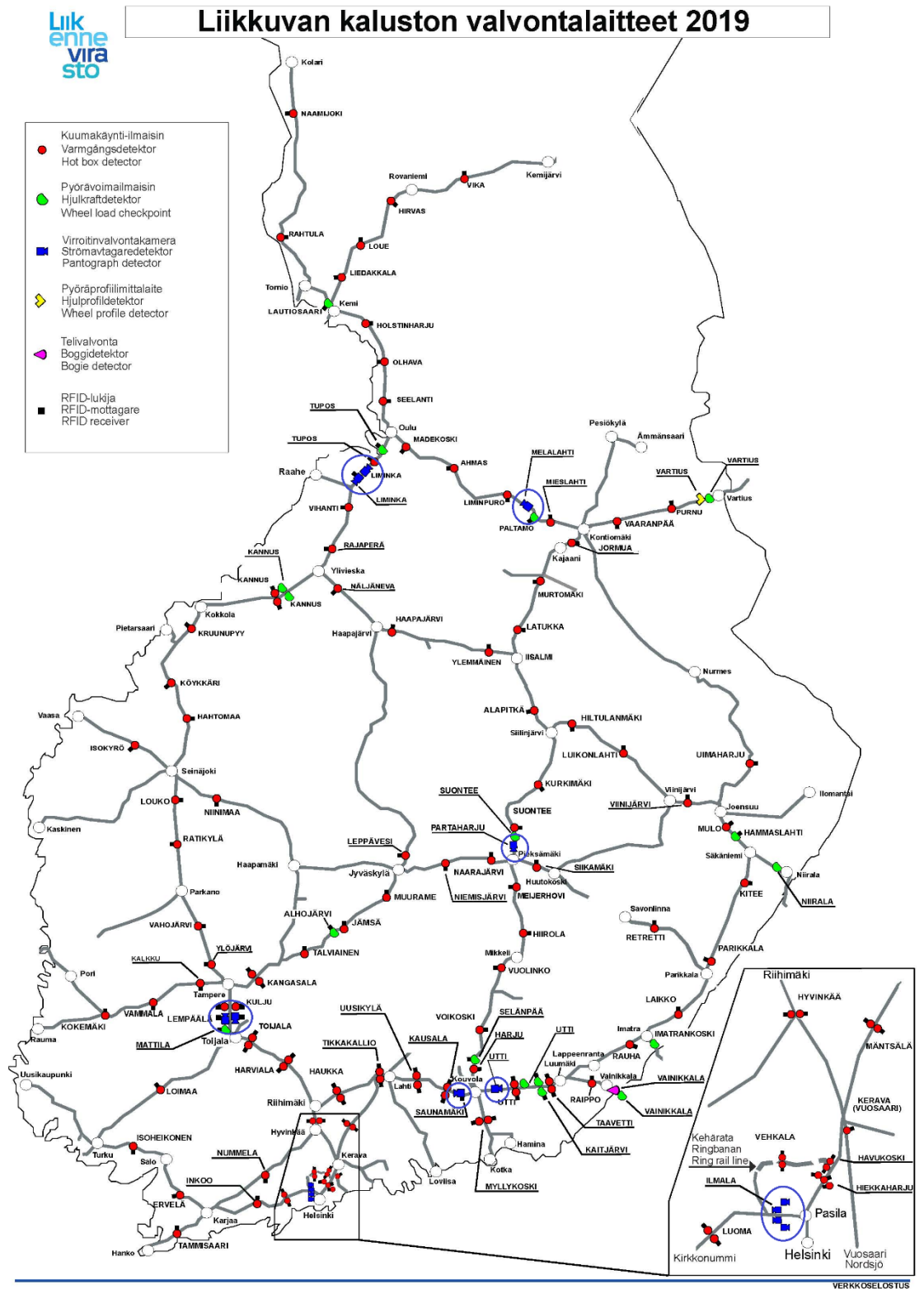
- Yksi kamera, kuvaa ainoaa raidetta ja siitä pohjoiseen meneviä junia.

Saunamäki, Kouvola.

- Yksi kamera, kuvaa eteläistä raidetta.

Utti, Kouvola.

- Yksi kamera, kuvaa pohjoista raidetta.



Kuva 1. Liikuvan kaluston valvontalaitteet Suomessa 2019, ympärillä merkityt APMS-kameroita. (Väylävirasto, 2019)

Virroitinkamerakuvat tulevat tällä hetkellä (2019) suoraan tekniseen valvomoon. Yhden päivän aikana valvomossa käsitellään noin 700–800 kuvaa, joista järjestelmä käsittelee n. puolet ja valvomossa istuva työntekijä noin puolet. Järjestelmän käsittelemät kuvat ovat kuvia, jotka työntekijä on katsonut läpi viimeisen 12 tunnin aikana, se ei siis itse automaattisesti tunnista kuvasta muuta kuin sen, että se on jo käsitelty aikamäärään sisällä.

Kuvia tarkkaillaan tietokoneen näytöltä. Kuvat eivät itsessään ole mitenkään erityisen suuria, mutta ne ovat erittäin tarkkoja ja ohjelmisto zoomaa hiirtä liikuttamalla virroittimen tiettyä kohtaa näytöllä. Tarvittaessa kuvan saa myös suurennettua isommaksi ja tätäkin kuvaa pystyy tarvittaessa zoomaamaan pienimpienkin yksityiskohtien havaitsemiseksi.

Mikäli vastaan tulee vaurioitunut virroitin tai virroitin, jossa kontaktihiili on liian kulunut, lähettää valvomotyöntekijä kuvan eteenpäin VALTSU-järjestelmän kautta VR:n operaatiokeskuksen kunnossapidonohjaukseen ja kuljettajien tukipalveluun. Lopullinen päätös virroittimen vaihdosta tai kontaktihiilen uusimisesta tehdään VR:n operaatiokeskuksessa. VR:n operaatiokeskuksesta vastataan sähköpostilla valvomoon tiedoksi, että vikailmoitus on lähetetty eteenpäin.

Vuonna 2018 eniten viallisia virroittimia ilmoitettiin eteenpäin kontaktihiilessä havaituista lovista sekä puuttuvista ilmanohjaimista. Näiden jälkeen yleisimmät viat olivat liian kulunut kontaktihiili, vääntynyt iskunvaimennin (SM3-junissa), viat virroittimen sarvessa/kelkassa sekä jotakin ylimääräistä virroittimessa (esimerkiksi virroittimeen osunut eläin tai ulkopuolinen kapale).

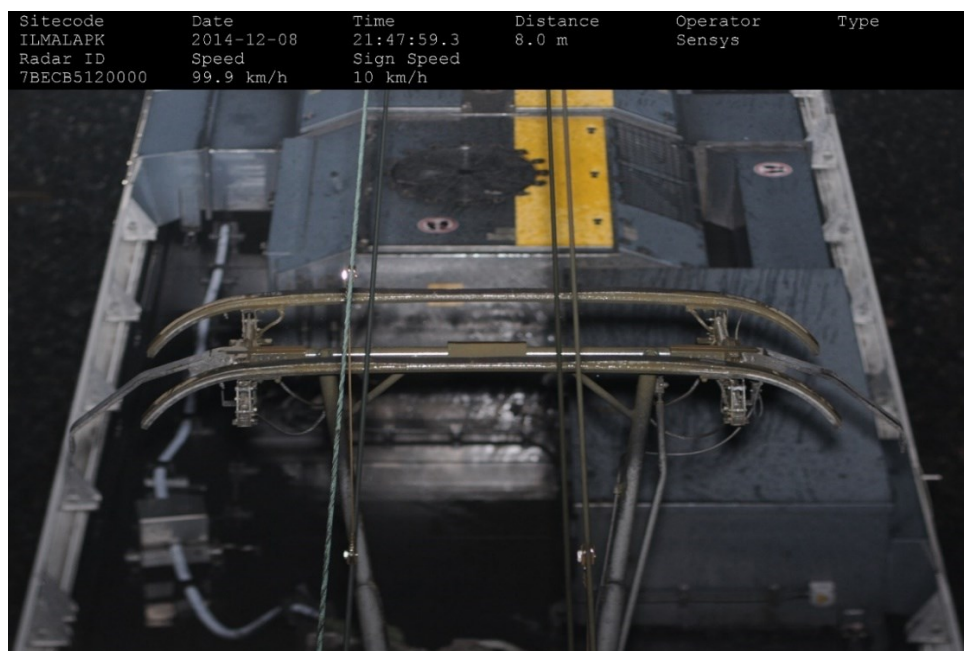
Valvonnan apuna modernista sähköjunakalustosta löytyy myös järjestelmä nimeltään Automatic Dropping Device (ADD). Se sijaitsee virroittimen alla ja kykenee havaitsemaan automaattisesti hajonneen kontaktihiilen. Havaitessaan vaurion, ADD laskee virroittimen alas automaattisesti. ADD ei ole käytössä nykyisin liikennöivistä sähköjunista lähi- ja taajamaliikenteen SM2-kalustossa sekä muussa liikenteessä käytössä olevissa SR1-vetureissa. (Saarinen, 2009, s. 34)

Seuraavassa kahdessa kuvassa esitellään esimerkit virroittimeen kohdistuneesta vauriosta, sekä liian kuluneesta virroittimen kontaktihiilestä. Ensimmäisessä kuvassa on massiivisesti vaurioitunut SM3-junan, eli pendolinon virroitin.



Kuva 2. Massiivisesti vaurioitunut pendolino (SM3) -junan virroitin Limingan APMS-kameran taltioimana. (Väylävirasto, 2012)

Jälkimmäisessä kuvassa puolestaan pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteessä käytettävän SM5-junan (Flirt) virroitin, jonka kontaktihiili on hyvin kulunut.



Kuva 3. Pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä käytettävä Flirt (SM5) -juna, jonka virroittimen kontaktihiili on todella kulunut. (Väylävirasto, 2014)

2.3. Tekniikka

Ruotsalaisen Sensys Gatso Groupin (ent. Sensys Trafik Ab) valmistamat APMS-kamerat ovat olleet käytössä Suomen rautateillä vuodesta 2009 alkaen. Yritys on myös monille suomalaisille tuttu siitä, että se toimitti ensimmäiset uuden sukupolven tievalvontakamerat Suomeen vuonna 2019. (Koukkunen, 2019)

Kamerat ovat asennettu radan ylittävään rakenteeseen (yleensä sillalle). Ne ottavat kuvan virroittimella varustetuista junista, jotka kulkevat siihen suuntaan, mistä kamera saa kuvan otettua. Junien nopeus pitää olla myös sallittujen liikennenopeuksien rajoissa.

Virroitinkuvan kamera ottaa noin viiden metrin etäisyydeltä junasta. Teknisinä apuvälineinä kameran mukana ovat tutka ja salama. (Väylävirasto, 2014)

Otettua kuvaan, kamera välittää sen tietoverkon kautta järjestelmään, josta se ilmestyy nähtävälle teknisen valvomon tietokoneen ruutuun. Kuvan mukana tulevassa raportissa näkyy kameran sijainti, ajankohta jolloin kuva on otettu, junan nopeus, etäisyys virroittimeen sekä kalustomalli ja junan yksilöity tunnus.



Kuva 4. Käytössä oleva APMS-virroittinkamera (Väylävirasto, 2014)

2.4. Kehityskohdat

APMS-järjestelmä ei kykene automaattisesti havaitsemaan kontaktihiilen liiallista kulumista tai rakenteellisia vaurioita virroittimissa. Se toimittaa vain kuvat nähtäväksi, jossa ihminen tekee silmämääräisesti arvion. Automaattista kuvien tarkastusta on pilotoitu järjestelmässä, mutta tulokset eivät olleet tarpeeksi hyviä kokonaan automatisoituun tarkasteluun. Näin ollen nykyinen malli on toistaiseksi todettu parhaaksi keinoksi suorittaa virroitinvalvontaa Suomen rautateillä.

Järjestelmä ei myöskään kykene havaitsemaan vaurioita ajolangassa. Nykyjään on olemassa monia erilaisia järjestelmiä, jotka kykenevät myös tähän. Ajolankavauriot ovat merkittävä häiriötekijä junaliikenteelle, jotka aiheuttavat jopa kymmeniä vakavia häiriötä vuosittain. Nykyisin osittain käytössä oleva ajolanka sisältää myös materiaalia, joka ei sovi Suomen olosuhteisiin ja sen uusimistyö on vielä käynnissä. (Yleisradio, 2011)

Hajonnut virroitin voi kontaktissa vaurioittaa tai hajottaa ajolangan, mikä aiheuttaa huomattavia ongelmia junaliikenteellä sekä isoja kustannuksia. Pitkään vaurioituneena oleva virroitin voi aiheuttaa jopa merkittävälle matkalle ajolankaa vauriota, mutta tämän havaitsemiseen ei toistaiseksi löydy minkäänlaista reaaliaikaista järjestelmää.

Sähkörataa ja sen kuntoa, myös ajolankaa valvovat nykyisin tarkastusvaunut Elli ja Meeri. Ne eivät kuitenkaan välitä tietoa ajolangan kunnosta reaaliaikaisesti, mihin kykenee moni liikkuvan kaluston valvontaan suunniteltu junissa oleva järjestelmä. Lisäksi radan tarkastusvaunujen tarkastustahti on vain n. kerran vuodessa (Ervelä, 2014, s. 21) jolloin ne tekevät muutakin tarkastusta, kuin pelkkää ajolangan kunnan tarkastelua.

3. VIRROITINKAMERAT MAAILMALLA

Virroitinvalvontajärjestelmiä löytyy maailmalta runsaasti. Ala on hyvin kilpailtu ja erilaisia kehitysratkaisuja luodaan koko ajan. Peruserätyyppinä on yleensä kamerajärjestelmä, jossa kamera kuvaa junaa ylhäältä etuviistosta tai sivulta yläviistosta. Kameroita saattaa olla useampia kuin yksi ja kamera/kamerat käyttävät keskenään erilaista kuvaustekniikkaa.

Virroitinkameran perusvarusteisiin kuuluvat yleensä salama ja tutka. Salamalla saadaan parannettua kuvien laatua ja otettua kuvia hankalimmissakin olosuhteissa, tutkalla puolestaan valvotaan junien nopeutta, joka on oleellinen tieto, sillä eri valmistajien virroitinkameroiden toimivuus riippuu ohi menevien junien nopeudesta.

Kameroiden sijainnilla ja asennolla on merkitystä saatavaan tietoon. Joillakin järjestelmällä pystytään tuottamaan 3D -kuvia, jolloin rakennetta ja kulumia pystyy tarkkailemaan huomattavasti tehokkaammin kuin 2D -kameroilla. Esimerkiksi virroittimen kääntely ruudulla eri suuntiin ja asentoihin onnistuu monilla 3D -järjestelmillä, kun taas 2D -järjestelmillä saadaan kuva yleensä virroittimesta ylhäältäpäin kuvattuna ilman kääntelymahdollisuuksia.

Lisäjärjestelminä löytyy sensoreita usein itse virroittimeen kiinnitettynä tai johonkin sen läheisyyteen, jotka tarkkailevat ajolangan kuntoa, korkeutta ja tasaisuutta. Nämä tiedot tulevat monissa järjestelmissä näyttöpäätteen ruudulle samalla tavalla kuin virroittimia tarkkailla ja niistä pystytään tekemään erilaisia johtopäätöksiä ajolangan kunnosta.

Pohjoismaisessa vertailussakin variaatiota löytyy jonkin verran, sillä pohjoismaissakin on useampi valmistaja, jotka tekevät virroitinmonitorointijärjestelmiä. Suomessa ja Ruotsissa on käytössä Sensyksen kameroita, kun taas Tanskassa käytössä on paikallisen Pantinspectin kamerajärjestelmiä. (Image House Pantinspect, n.d.)

Norjassa on vuonna 2009 tilattu testikäyttöön myös Sensyksen kamerajärjestelmä, mutta ilmeisesti siitä on luovuttu, koska mainintoja järjestelmästä ei löydy enää vuoden 2009 jälkeen Norjan liikenneviraston julkaisuista tai verkkoselostuksista. (Jernbane magasinet, 2008)

Tilanne, jossa liikkuvan kaluston virroittimia ei valvota reaaliaikaisesti ei ole mitenkään uniikki maailmassa tai edes Euroopassa. Järjestelmiä on käytössä vaihtelevasti, kuten myös sähköratoja ylipäätensä. Joissakin maissa virroittimien tarkastukset hoidetaan vasta varikoilla huoltoihmisten toimesta ja esimerkiksi ajolangoissa toimitaan kuten Suomessa, jossa ajolankaa tarkastetaan erilaisen kaluston avulla.

4. TULEVAISUUDEN VIRROITINVALVONTAJÄRJESTELMÄ VAIHTOEHDOT

Tässä osiossa esittelen muutamia vaihtoehtoja, millä nykyisen järjestelmän voisi mahdollisesti korvata, sekä perustietoja yrityksistä. Vertailun yrityksistä kaksi tekee samantyyppistä virroitinvalvontaa kuin nykyisin käytössä oleva Sensyksen APMS-järjestelmä. Kolmas puolestaan valvoo ajolankaa ja sen kohdalla kiinnittyikin suurin huomio siihen, pystyisikö sen avulla myös tekemään jonkinlaista virroitinvalvontaa vai riittäisikö kenties alkuperäiseen ongelmaan ajolangan kunnosta pelkästään järjestelmä, joka keskittyy ajolangan tarkasteluun ja virroittimien kunnan valvonta tulee siinä sivussa oheistuotteena.

Tässä osiossa keskitytään selvittämään kolme päävaihtoehtoa. Lisäksi otetaan lyhyt katsaus muihin vaihtoehtoihin, mitä maailmalta löytyy. Vertailuun valitut kolme vaihtoehtoa ovat kaikki hieman erilaisia toisistaan, käyttävät hieman eri tyyppistä tekniikkaa ja ratkaisuja ja omaavat kaikki jonkinlaisia referenssejä valmiiksi. Vertailluista ratkaisuista kaikki ovat olleet käytössä jossakin määrin sellaisilla rautateilla, mitkä vertautuvat Suomen rautateihin.

Kohdassa 5.4 ”Muut virroitinvalvontajärjestelmät” luodaan katsaus muihin maailmalla käytössä oleviin malleihin. Niidenkin joukossa on vaihtoehtoja, mitkä voisivat soveltua myös Suomen rautateiden käyttöön. Aiheen laajuuden vuoksi lopulliseen vertailuun päätettiin valita vain kolme erilaista ratkaisua. Se ei kuitenkaan missään määrin vähennä muiden mallien soveltuutta myöskin Suomen rautateiden käyttöön.

4.1. Ricardo Rail

4.1.1. Yleistä

Ricardo plc. on vuonna 1915 perustettu teknologia- ja innovaatioyritys. Sen toimialoihin kuuluvat mm. autoteollisuus, rautatieliikenne, merenkulku, aseteollisuus ja kestävä kehitys. Yrityksen kotipaikka on Iso-Britannia. (Ricardo, 2019)

Rautatieliikennesektorilla toimiva osa yrityksestä tunnetaan nimellä Ricardo Rail. Se toimii hyvin laaja-alaisesti usealla rautatieliikenteen osa-alueella, esimerkiksi opastinjärjestelmien, liikkuvan kaluston, turvallisuusjärjestelmien, tietoliikenneyhteyksien ja energiatehokkuuden parissa. (Ricardo Rail, 2019)

Ricardo Railin merkittävimpiin referensseihin kuuluu mm. Edinburghin metrojen energiatehokkuuden parantaminen, Independent Safety Analysis (ISA) laatiminen Etelä-Korean olympialaisia varten rakennetulle uudelle junalinjalle, Irish Railin uuden National Control Centerin (Liikenteenohjauskeskuksen tapainen järjestelmä) kehittämistyöhön osallistuminen, sekä Tanskan rautateiden opastinjärjestelmän päivitykseen osallistuminen. (Ricardo Rail, 2019)

Liikkuvan kaluston valvonnan referensseihin kuuluu mm. Iso-Britannian Network Railille (NR) toteutettu virroitinvalvontajärjestelmä, jota pilotoitiin onnistuneesti West Coast Main Linella (WCML). Lisäksi yhtiö toteuttaa parhaillaan Belgian Infrabelille vastaavaa järjestelmää. (Ricardo Rail, 2019) Infrabel vastaa osapuulleen Suomen Väylävirastoa, sillä se rakentaa, omistaa ja hallinnoi Belgian rataverkkoa.

4.1.2. Tekniikka

Ricardo Railin virroitinvalvontajärjestelmä tunnetaan nimellä PanMon. Järjestelmän pohjana toimii jossain määrin Sensyksen APMS -järjestelmä. Ricardo Rail ja Sensys solmivat vuonna 2017 sopimuksen, jossa APMS -järjestelmän myyminen ja kehittäminen siirtyy Ricardo Railille. Syynä tähän oli mm. Sensyksen strategiset tavoitteet keskittyä jatkossa enemmän tielikenteen järjestelmien kehittämiseen. (Sensys Gatso Group, 2017)

PanMon kykenee havainnoimaan automaattisesti kontaktihiilen poikkeavuudet, rakenteelliset vauriot virroittimessa, virroittimen asennon muutokset. Järjestelmä hälyttää automaattisesti, kun se löytää edellä mainittuja ongelmia ja lähettää niistä automaattisen hälytyksen ohjauskeskukseen. (Ricardo Rail, 2019)

Radan ja kaluston yläpuolella olevan kameran lisäksi yritykseltä löytyy myös ajolangan kunnan tarkasteluun keskittyvä oheistuote CatMon joka on kiinni liikkuvassa kalustossa. (Ricardo Rail, 2019) PanMonissa on varusteina tutka, salama ja muuta valaistusapua, joilla kuvista saadaan selkeitä ja tunnistettavia. (Ricardo Rail, 2019)

4.1.3. Soveltuvuus

PanMon tekee yhteistyötä Sensyksen kanssa, joten järjestelmä vaikuttaisi yhteensopivuuden kannalta sopivan hyvin Suomen rautateille. Järjestelmää on myös kokeiltu onnistuneesti Britannian rautateillä (Smith, 2017), joten se vaikuttaisi olosuhteiden puolesta sopivan myös suurissa määrin Suomen rautateille. Olosuhteet eivät kuitenkaan ole aivan identtiset, joten jonkinlaista pilotointia tarvittaisiin.

PanMon on käyttänyt ainakin Britannian rautateillä Sensyksen kameroita ja kamerat ovat asennettu kuvaamaan samalla tavalla kuin Suomessa, näin ollen mahdollisuus käyttää samoja kameroita tai ainakin päivittää kamerat sellaisiin, joille löytyy jo paikat valmiina vaikuttaa todennäköisyydeltä, näin ollen kameroille ei tarvitsisi suunnitella erikseen sivuilta paikkaa ja rakentaa niitä varten uusia rakenteita.

Teknisiltä ratkaisuiltaan PanMon tarjoaisi apuvälineet kaikkiin niihin tiedostettuihin ongelmiin, joita nykyisestä järjestelmästä on havaittu. Suurimmat haasteet liittynevät Suomen hankaliin olosuhteisiin. Britanniassa toimivaksi todettu järjestelmä pitäisi testata ainakin Suomen talviolosuhteissa, jotka ovat huomattavasti haastavammat kuin Englannissa. Lisäksi pitäisi selvittää sopiiko järjestelmään meidän jo käytössä olevat APMS-kamerat vai pitäisikö kamerat päivittää uusiin.

4.2. Camlin Rail

4.2.1. Yleistä

Camlin Group Ltd. on monialainen yritys, joka toimii mm. Energian, rautateiden, terveysteknologian ja turvallisuuden parissa. Yrityksen kotipaikka on Iso-Britannia. Yrityksen tekniikkaa tai tuotteita on käytössä yli 20 maassa maailmanlaajuisesti. (Camlin Group, n.d.)

Rautatiesektori tunnetaan nimellä Camlin Rail. Sillä on kaksi ydintuotetta: Signet, joka on energiajärjestelmä, jolla pyritään takaamaan virransyöttö ja laitteistojen toiminta tilanteissa, joissa virtaa ei ole saatavilla syystä tai toisesta. Toinen on Pantobot 3D, joka on virroitinvalvontajärjestelmä. (Camlin Rail, n.d.)

Merkittäviä rautatiepuolen referenssejä yritykseltä löytyy Italian suurnopeusjunarajteilta, sekä Lontoon Heathrown lentokenttäradalta. Molemmissa maissa on käytössä kyseisillä rataosuuksilla Pantobot 3D -virroitinkamerajärjestelmiä. (Camlin Rail, n.d.)

4.2.2. Tekniikka

Pantobot 3D täysin automaattinen virroitinvalvontajärjestelmä, joka kykenee havaitsemaan rakenteelliset vauriot virroittimessa, sekä kontaktihiilen poikkeavuudet ja varoittamaan niistä etukäteen, kun se huomaa poikkeavuuksia. Järjestelmä kykenee havaitsemaan virroittimen kunnan jopa 350 km/h tunnissa kulkevista junista. (Camlin Rail, n.d.)

Järjestelmä toimii ns. stereo camera -periaatteella, eli siinä on yksi tai useampi linssi. Siinä on myös led-valot parantamassa kuvien tarkkuutta sekä laseretäisyysmittari. Kuvat siirtyvät langattomasti kamerajärjestelmästä suoraan tietokoneen ruudulla, josta niitä voi tarkkailla 3D-kuvina. (Camlin Rail, n.d.)

Kamera kuvaa virroittimia sivulta yläviistosta. Järjestelmä on kiinni omassa tolpassaan ajolangan yläpuolella tai kiinni muussa rakenteessa. Esimerkiksi Heathrown lentokenttäradalla on kamera kiinni sillan rakenteissa sivuviistossa. (Camlin Rail, n.d.) Yksikään kamera ei näytä olevan kiinni radan edessä yläviistossa, kuten esimerkiksi Suomessa käytössä olevat APMS-kamerat, mutta tämä ei poissulje sitä, etteikö kameroita voisi mahdollisesti myös näin asentaa.

4.2.3. Soveltuvuus

Järjestelmä on käytössä Englannissa ja havaittu siellä toimivaksi (Camlin Rail, n.d.), joten sen pitäisi ainakin jossain määrin soveltua myös Suomen rautateiden olosuhteisiin. Täysin automatisoitu Pantobot 3D -järjestelmä kykenisi myös ratkaisemaan nykyiset ongelmat käytössä olevassa APMS-virroitinjärjestelmässä, eli tunnistamaan automaattisesti vaurioituneet virroittimet ja kontaktihiilen paksuuden.

Suomessa nykyjärjestelmän kamerat ja ohjelmistot ovat omia, todennäköisesti siis nykyisiä APMS-kameroita ei pystyittäisi hyödyntämään, vaan kamerat pitäisi vaihtaa. Lisäksi sivulta yläviistosta kuvaavat kamerat vaatisivat uusia ratkaisuja nykyisten ylhäältä etuviistosta kuvaavien sijasta. On hieman epäselvää kyettäisiinkö kameroille löytämään paikkoja ainakaan nykyisistä virroitinkameroiden sijainneista, vai pitäisikö paikkoja vaihtaa jos vanhat kamerat puretaan pois.

Kameroita pitäisi myös jossain määrin pilotoida Suomen hankaliin talviolosuhteisiin. Kokonaan ylhäältä sivuviistosta tuleva stereo camera -ratkaisu on myös täysin erilainen kuin nykyinen käytössä oleva ylhäältä etuviistosta tuleva APMS, joten tämäkin vaatisi pilotointia ja erilaisia kokeiluja.

4.3. Transmission Dynamics

4.3.1. Yleistä

Transmission Dynamics (JR Dynamics Ltd.) on vuonna 1996 perustettu yhtiö. Sen ydintoimialaa on teollinen internet -pohjaiset ratkaisut teollisuuden käyttöön. Yritys suunnittelee ja valmistelee langattoman telemetrian ja datan hankintaan tehtyjä järjestelmiä asiakkailleen. (Transmission Dynamics, 2019)

Yritys toimii mm. uusiutuvan energian, kaivosteollisuuden, meriteknologian, puolustusteknologian sekä autoilu- ja rautatiesektoreiden parissa. Yrityksen kotimaa on Iso-Britannia ja sillä on asiakkaita maailmanlaajuisesti. (Transmission Dynamics, 2019)

Yrityksen asiakkaisiin kuuluu esimerkiksi useita isoja autovalmistajia, yliopistoja, merkittäviä teollisuusyhtiötä ja useita rautatiealalla vaikuttavia yrityksiä. Rautatieviranomaisista Belgian Väylävirastoon vertautuva Infra-bel on yrityksen asiakkaita, kuten myös Suomen Väylävirasto, joka on pilotoinut Suomen rautateillä yrityksen PANDAS Vision -tuotetta, joka esitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa. (Transmission Dynamics, 2019)

Yrityksen rautatietekniikan kärkituote on PANDAS (Pantograph Collision Assesment System). Muuten yrityksen tuotteet ja tekniikka ovat monialaisia useamman eri sektorin käyttöön, joita voidaan hyödyntää myös erilaisissa rautateiden tarkoituksissa. PANDAS on kuitenkin ainoa suoraan rautatiekäyttöön tehty tuote. (Transmission Dynamics, 2019)

4.3.2. Tekniikka

PANDAS eroaa muista vertailutuotteista. Siinä ei ole kameroita, vaan pelkästään antureita. PANDASin toiminta pohjautuu virroittimeen asennettuihin kiihtyvyyssantureihin, jotka välittävät tietoa prosessointimoduuliin (Data Processing Module, DPM). DPM:stä tieto kulkee vielä eteenpäin vastaanotto- ja välitysyksikköön (Receiver & Signal Relay Unit, RSRU). RSRU sijaitsee vaunun sisällä ja saa tiedon bluetoothilla. (Transmission Dynamics, 2019)

Tiedot voidaan poimia esimerkiksi kerran päivässä RSRU:sta talteen tarkasteltavaksi. Tietoja on kuitenkin mahdollisuus myös katsoa järjestelmän valmistajan verkkoympäristössä (Global Data Network, GDN), jonne tiedot automaattisesti siirtyvät järjestelmästä. Data siirtyy eteenpäin GSM:n avulla. (Transmission Dynamics, 2019)

DPM on kooltaan 240 x 175 x 40 millimetriä ja painaa n. 3 kiloa. Se on tyyppillisesti myös asennettu virroittimen alueelle. Tilaajan toiveista riippuen on myös mahdollista suunnitella laitteesta pienempi versio, mikäli esim. virroitintyyppi tätä edellyttää. Laite toimii paristoilla, jotka kestävät keskimäärin kahdeksan kuukautta, ennen vaihtoa. (Transmission Dynamics, 2019)

PANDAS ei siis monitoroi kameralla virroittimen kuntoa, vaan se keskittyy antureillaan enemmän ajolangan kunnon, korkeuden ja jatkuvuuden tutkimiseen. Toisaalta mikäli näissä on häiriötä, voi se hyvinkin mahdollisesti olla vaurioituneen virroittimen tai kuluneen kontaktihiilen aiheuttamaa, joten periaatteessa järjestelmä kykenee myös ainakin välillisesti havainnoimaan ongelmat virroittimissa.

4.3.3. Soveltuvuus

PANDAS on ollut pilottikäytössä Väylävirastossa SR2-veturissa ja sen tuottamaa dataa on analysoitu Jan Lindbergin vuonna 2017 julkaistussa opinnäytetyössä, joka keskittyi PANDAS -pilotin tutkimiseen. Opinnäytetyön perusteella PANDAS pystyi tuomaan jossain määrin tietoa ajolankaan liittyvissä ongelmissa, esimerkiksi liian kuluneita ryhmityseristimiä, liian jyrkästi asennettua ajolankaa sekä ajolangan tason muutoksesta unohtuneita säätöjä. (Lindberg, 2017, s. 42)

Kehityskohteisiin pilotissa kuului mittaustietojen käyttämisen kehittäminen. Pilotin aikana valvontaa ei tehty reaaliaikaisesti, vaan pienellä viiveellä. Ongelmia tuotti myös se, ettei järjestelmä ilmoittanut erikseen siitä, mitkä viat vaatisivat välittömiä toimenpiteitä, vaan järjestelmän ilmoitukset jouduttiin seulomaan läpi Väylävirastolla yksittäisen henkilön toimesta. Opinnäytetyössä pohdittiinkin, että pitäisikö seuranta olla reaaliaikaista ja esimerkiksi käyttökeskuksen tai teknisen valvomon toimintojen alla. (Lindberg, 2017, ss. 42, 45, 49) Teknisen valvomon tavoin myös käyttökeskus toimii 24/7 ja keskittyy sähkörataan liittyvään viankorjaukseen ja lupatoimintaan.

Näiden tietojen perusteella ainakaan pilotin aikana PANDAS ei pystynyt automaattisesti havainnoimaan korjaustoimenpiteitä, vaan jätti nykyisen APMS -järjestelmän tavoin lopullisen päätöksen ihmisen tehtäväksi. Vaikka se tuokin lisää keinoja estää ajolankavaurioita, se ei ratkaise alkuperäistä ongelmaa, jossa tulevan järjestelmän pitäisi olla automaattinen, eikä manuaalinen.

Järjestelmä ei myöskään ole varsinaisesti virroitinvalvontajärjestelmä, vaikka se puuttuukin ydinongelmaan, eli ajolangan vaurioiden estämiseen. Tämänäyttöiselle järjestelmälle olisi joka tapauksessa käyttöä tulevaisuudessa, sillä automaattisen virroitinkameravalvonnan yhteyteen pitäisi jollakin keinolla saada mukaan myös ajolangan valvontaa liittyvä aspekti muutenkin kuin virroittimien aiheuttamien vaurioiden kannalta. Toinen kysymys on se, riittäisikö tämän kaltainen järjestelmä yksinään myös poimaan tuottamallaan datalla vaurioituneet virroittimet pois rataliikenteestä.

4.4. Muut virroitinvalvontajärjestelmät

Edellä mainittujen vaihtoehtojen lisäksi maailmalla on myös käytössä muita malleja, joihin tässä osiossa luodaan lyhyet katsaukset. Koska valmistajia on paljon, ei kaikkia mahdollisia virroitinmonitorointijärjestelmiä luonnollisesti voinut tuoda vertailuun mukaan. Aiheen ja työn kannalta ne on kuitenkin relevantteja mainita ja tuoda esiin niiden olemassaolo, vaikka ne eivät lopullisiksi vertailukohteiksi päätyneetkään.

4.4.1. Image House Pantoinspect

Image House Holding A/S on vuonna 1985 tanskalainen konserni, jonka osaomistukseen kuuluu usealla eri alalla toimivia yrityksiä. Pantoinspect Image Housen se omistaa 89% osuudella. Muita toimialoja ovat mm. ruokateollisuuden automatiikka ja logistiikka. Rautatiepuolella toimii Image House Pantoinspect. (Image House Pantoinspect, n.d.)

Yrityksen tuote on PantoSystem virroitinvalvontajärjestelmä. Kamera on sijoitettu ajolangan yläpuolelle esimerkiksi sillalle, josta se kuvaa yläviistosta virroitinta. Järjestelmä kykenee havaitsemaan virroittimen vauriot maksimissaan 180 km/h kulkevista junista. Lisäksi se kykenee automaattisesti mittaamaan mm. virroittimen kontaktihiilen paksuuden ja antamaan siitä hälytyksen tietokoneelle ohjelmaan, josta virroittimia tarkkaillaan. (Panto Inspect, n.d.)

PantoSystem on käytössä mm. Suur-Pariisin liikennelaitoksella (RATP), DB Netzilla Saksassa, InfraBelillä Belgian Brysselissä sekä Sydney Trainsilla Australiassa. (Panto Inspect, n.d.)

4.4.2. Siemens Sicat PMS/Sicat CMS

Siemens on yksi maailman isoimmista monialayrityksistä, joka toimii monella isolla tekniikan alalla maailmassa. Yritys on erityisen tunnettu tietoliikennetekniikan, automaatiotekniikan ja liikennetekniikan parissa. Se on perustettu 1847 Berliinissä, silloisessa Preussissa (nykyisin Saksa). (Siemens, 2019)

Siemens on merkittävä tekijä monellakin rautatiesektorin alalla. Se valmistaa esimerkiksi junavaunuja ja vetureita, sekä tuottaa useita erilaisia rautateiden palveluita ympäri maailmaa. Yrityksen virroitinvalvontajärjestelmä tunnetaan nimellä Siemens Sicat PMS (Siemens, 2019)

Siemens Sicat PMS on kiinni sähköistysrakenteessa, esimerkikuvassa portaalissa. Se monitoroi ajolangan tasoa ja mikäli virroitin ei ole samassa tasossa ajolangan kanssa, lähettää se hälytyksen järjestelmään. Ajolangan tasoa laite monitoroi laser sensoreiden avulla. (Siemens, 2019)

Laitteen prototyyppi on ollut pitkäaikaistestissä mm. Espanjassa suurnopeusraiteilla sekä Saksassa. (Siemens, 2019)

Siemensiltä löytyy myös Sicat CMS -niminen laitteisto, joka keskittyy valvomaan ajolankaan kohdistuvia voimia sensoreiden avulla. Tuote on käytössä Espanjassa suurnopeusraiteilla. (Siemens, 2010)

4.4.3. SelectraVision PantoCheck

SelectraVision on italialainen yritys, jonka toimiala rautatieliikenteessä. Se on erikoistunut erilaisiin mittaus- ja diagnostiikkalaitteisiin, jolla valvotaan liikkuvan kaluston, mutta myös ratainfrastruktuurin kuntoa. Yritys on italialainen ja sen tuotteita on käytössä Euroopan lisäksi Etelä- ja Pohjois-Amerikassa. Yrityksellä on nettisivujensa mukaan 25 vuoden kokemus kentältä erilaisista rautateiden ja kevyen raideliikenteen teknologiajärjestelmistä. (SelectraVision, 2019)

Yrityksen virroitinvalvontajärjestelmä on nimeltään PantoCheck. Se tarkastelee virroitimen kuntoa, kontaktihiilen paksuutta sekä ajolangan tasoa, kireyttä ja jännitettä. Valvonta toteutetaan korkean resoluution kameroilla sekä laserskannereilla, jotka valvovat ylhäältä sivuviistosta ohimenevän junan virroitinta ja ajolankaa. (SelectraVision, 2019)

PantoCheck mahdollistaa myös virroitinkameran ottamien kuvien 3D -tarkastelun tietokoneen näytöllä. Kameran taltioivat kuvat myös suurnopeusraiteilla, mutta varsinaista nopeusrajaa mihin asti kuvat tulevat talteen, ei yrityksen nettisivuilla mainita. (SelectraVision, 2019)

5. MUUT KEHITYSKOHDAT JA VALVONNAN KEHITTÄMINEN

Virroitinvalvontajärjestelmä ei pohjautu pelkästään kameravalvontaan, kuten työssä on toistaiseksi tuotu esiin. Suoraan ajolangan monitorointiin luotuja järjestelmiä on jo esitelty, mutta oleellista on myös suora sähköradan monitorointi. Monilla virroitinvalvontajärjestelmien valmistajalla on myös järjestelmiä tai vähintään lisäosia valvontakomponenttien lisäksi, jolla pyritään takaamaan sähköradan vakaus ja estämään liikenteelliset häiriöt sähköradalla.

Paraskaan virroitinvalvontajärjestelmä ei ole täydellinen, ellei kaikkien siihen osallistuvien sidosryhmien välinen informaatio ole tarpeeksi nopeaa ja selkeää. Lisäksi on vaarana, että monien päällekkäisten järjestelmien välisessä kommunikoinnissa liittyen sähköradan kunnossapitoon on aukkoja, jolloin järjestelmä ei toimi tehokkaasti.

Tässä osiossa pureudutaan kahteen ylempänä mainittuun ongelmaan ja tuodaan esiin kehityskohtia ja niihin sopivia ratkaisuja. Itsessään sähkörata ja siihen liittyvä valvonta on todella iso osa-alue rautateiden kunnossapitoa, jonka kehittämisestä yleisesti ottaen saisi aikaan toisenkin opinnäytetyön, jos asiaa kävisi perkaamaan perusteellisesti. Tämä opinnäytetyö käsittelee kuitenkin pääasiassa liikkuvan kaluston virroitimien valvontaa, joten osiossa keskitytään pohtimaan muutamaa kysymystä, jotka liittyvät virroitinvalvontaan ja ajolangan monitorointiin.

5.1. Sähkörata

5.1.1. Nykytilanne

Valtaosa Suomen rataverkosta on sähköistettyä rataa. Tarkalleen ottaen sitä on 3270 kilometriä, kun koko rataverkon osuus on 5926 kilometriä. (Väylävirasto, 2018). Sähköistetyn radan määrä tulee tulevaisuudessa myös todennäköisesti kasvamaan reilusti, joten sitä suuremmalla syyllä myös sähkörataan keskittävää valvontaa täytyy jatkuvasti kehittää ja löytää uusia keinoja ja ratkaisuja nykyisten valvontaratkaisujen lisäksi.

Sähköradan valvonta keskittyy 24 tuntia vuorokaudessa toimivaan käyttökeskukseen. Väylävirasto ostaa käyttökeskustoiminnan Finrail Oy:ltä. Käyttökeskuksen tehtäviin kuuluu mm. Vikojen kirjaukset, sähköradan kytkentämuutokset ja energian käytön valvonta. Tarvittaessa käyttökeskukset myös käynnistävät sähköratojen vikojen korjaustoiminnan. (Traffic Management Finland, 2019)

Käyttökeskuksissa käytetty käytönvalvontajärjestelmä on Suomen ABB:n toimittama MicroSCADA. Aiemmin käyttökeskuksissa oli käytössä erilaisia käytönvalvontajärjestelmiä, mutta vuonna 2016 solmitun sopimuksen myötä myös viimeinen käyttökeskus ilman MicroSCADAA, eli Tampereen käyttökeskus siirtyi järjestelmän piiriin. Sama järjestelmä on käytössä myös Delhin metrossa Intiassa, sekä Bangkokin skytrain -ilmajunassa Thaimaassa. (ABB, 2016)

Itse radalla liikkuu useampia tarkastuskäyttöön suunniteltuja vaunuja. Vanhemmat radantarkastusvaunut ovat nimeltään Emma ja Elli. Näistä Elli on varustettu sähköratojen mittauksia varten. Elli pystyy mittaamaan mm. kontaktihiilen ja ajojohtimen välistä kontaktivoimaa, virroittimen pysty- ja pituuskiihtyvyyttä ja ajojohtimen jännitettä. Elli pystyy tarkastelemaan myös kiskon kuluvuutta. (Salokangas, 2008, s. 26)

Uutena vaununa liikenteeseen on tullut myös Meeri. Meeri on italialaisen Mermecin valmistama vaunu, jonka alkuperäinen nimi on Roger 800. Meeri kykenee mittaamaan radan geometriaa, radan profiilia, vaihteita sekä ajolangan geometriaa ja kuntoa. Mittausjärjestelmiin on myös integroitu mukaan uusi ultraäänimittausjärjestelmä, joka kykenee huomaamaan entistä laajemmin raiteiden epäkohdat. (MERMEC, 2016)

Mermecin ja Väyläviraston välinen 10 vuoden yhteistyösopimus solmittiin 2016. Se astui voimaan vuoden 2019 alussa ja siinä on myös mukana viiden vuoden optio vuoden 2029 jälkeen. (MERMEC, 2016)



Kuva 5. Radantarkastusvaunut Emma ja Elli. Vaunuista Elli on varustettu monipuolista sähköradan tarkkailua varten (Lentokonefani, 2012)

5.1.2. Kehitysmahdollisuudet

Ajolangan kunnan tarkastaminen ja sähköradan rakenteen tarkastelu on tällä hetkellä periaatteessa pelkästään mittausvaunujen varassa. Vaikka mittausvaunut ovat tarkka ja tehokas tapa tarkastella esimerkiksi radan rakennetta ja kiskojen kuntoa, on sähkölangan kannalta olemassa myös muitakin valvontavaihtoehtoja. Esimerkiksi tässäkin työssä jo aiemmin mainittu PANDAS, sekä muita vaihtoehtoja, jotka voidaan kiinnittää joko suoraan veturiin tai itse sähkörataan niin, että ne valvovat reaaliaikaisesti ja tehokkaasti sähköradan ajolankaan kohdistuvia riskejä.

Reaaliaikaista tai lähes reaaliaikaista ajolangan monitorointia varten tarvittaisiin myös henkilö valvomaan saatua dataa ja käynnistämään korjaustoimenpiteet. Mikäli ajolangan monitorointi sulautuisi tulevaisuudessa virroittimien valvontaan niin, että esimerkiksi molemmat tiedot olisi mahdollista saada samaan järjestelmään, olisi luontevaa, että teknisen valvomon henkilöstöä käytettäisiin valvontaan.

Ajolankaan liittyvät vauriot ja niihin liittyvät korjaustoimenpiteet vaativat monipuolista sähköalan osaamista, joten paras malli voisi olla sellainen, jossa valvonta toteutetaan teknisessä valvomossa ja havaitut ongelmat ajolangassa välitetään eteenpäin käyttökeskukseen, josta tehdään lopulliset päätökset korjaustoimenpiteistä. Malli on hyvin samanlainen kuin tällä hetkellä käytössä oleva toimintavalli viallisten virroittimien suhteen.

Muuten sähkörataan liittyvät mahdolliset uudet valvontakeinot ja järjestelmät on hyvä pitää täysin käyttökeskuksen vastuulla. Todennäköisesti ne eivät tule liittymään kovinkaan vahvasti virroittimiin tai ajolankaan, jotka kulkevat usein käsi kädessä, kun liikkuvan kaluston valvontajärjestelmistä puhutaan. Mikäli kuitenkin valvonta kehittyy ja tulee uudenlaista teknologiaa, joka liittyy oleellisesti sekä sähkörataan ja liikkuvan kaluston valvontaan, voidaan edellä mainittua protokollaa toteuttaa sovelletusti.

Yhtenä vaihtoehtona on myös saadun tiedon integroiminen käytössä olevaan Trakedia -järjestelmään, joka näyttää raiteet ja elementit graafisessa karttanäkymässä. Usein kuitenkin valmistajilla on omat järjestelmänsä juuri heidän tarjoamaa dataa varten, joten tämä saattaa tuottaa hieman hankaluuksia. Kuitenkin on hyvä selvittää, pystyykö mahdollista uutta dataa tuomaan jo olemassa oleviin järjestelmiin, jolloin seuranta helpottuu, eikä uusien järjestelmien käyttöä varten tarvitse käyttää resursseja.

5.2. Yhteistyö kunnossapidon kanssa

Koska viallisten virroittimien vaihto ja korjaaminen tapahtuu VR:n operaatiokeskuksen kautta, käytiin VR:n kanssa myös keskustelua nykytilanteesta ja kehitysmahdollisuuksista. Kommentit kerättiin VR:n kunnossapitoyksiköstä ja ne koostettiin suoraan eteenpäin opinnäytetyön tilaajalle. Kahden seuraavan kappaleen sisältö pitää sisällään opinnäytetyön kirjoittajan pohdintaa nykytilanteesta ja kehitysmahdollisuuksista.

5.2.1. Nykytilanne

Viallisten virroittimien vaihto ja korjaaminen tapahtuu tällä hetkellä VR:n operaatiokeskuksen kautta, minne tieto virroittimista tulee teknisen valvomon kautta. Tekninen valvomo raportoi sähköpostilla havaintonsa operaatiokeskukseen, joiden liitteenä lähtee mukaan kuva virroittimesta. Operaatiokeskus tekee päätökset kuvien ja raportin perusteella mahdollisista jatkotoimenpiteistä.

APMS-kameroiden huoltoa hoitavat viasta riippuen eri yhteistyötasot. Näiden kanssa kanssakäymisen hoitaa tekninen valvomo. Tyypillisiä huolto- töitä ovat esimerkiksi viat kameroiden ottamissa kuvissa tai ongelmat kuvien saapumisessa tekniseen valvomoon, sekä laitteisiin liittyvät määräaikaishuollot. Esimerkikivikana kamera saattaa esimerkiksi jättää toistumatta tunnistamatta junamallin, jonka virroitinta se kuvaa.

Ajolankaan liittyvät kunnossapitotyöt etenevät käyttökeskuksen kautta. Pilottikokeilussa PANDAS-järjestelmän kanssa ajolankaan liittyvä järjestelmän tuottama data käsiteltiin Väylävirastossa ja eteni sieltä eteenpäin tarpeen mukaan kunnossapitoon sähköpostiviesteillä. (Lindberg, 2017, s. 42)

5.2.2. Kehitysmahdollisuudet

Nykyinen VALTSU-järjestelmä ei tarjoa alustaa kunnossapidon kanssa, jossa näkyisi suoraan reagointi ilmoituksiin havainnoista virroittimista ja mahdollisista jatkotoimenpiteistä niiden suhteen. Näin ollen turhaa aikaa voi kulua esimerkiksi ilmoituksiin viallisista virroittimista, joiden huoltotoimenpiteet on sovittu muutaman junakierron päähän tai vioista, jotka eivät ole todellisia tai eivät edellytä toimenpiteitä. Ratkaisu voisi olla järjestelmä, joka rekisteröi automaattisesti kuittaukset ilmoituksista ja antaa palautteen kunnossapidon päästä suoraan järjestelmään.

Oman haasteensa tulevaisuudessa tuo myös jo käynnissä oleva HSL:n lähi-liikenteen kilpailutus ja edessä siintävät kaukoliikenteen kilpailutukset. Mikäli kalusto/operaattori ei ole tulevaisuudessa VR, pitää uusi operaattori myös kytkeä mukaan järjestelmään ja tätä kautta miettiä myös yhteinen toimintamalli sille, miten virroittimiin liittyvät vikaraportoinnit ja kunnossapito hoidetaan tulevaisuudessa.

Ajolangan kunnossapitoon liittyvät asiat on syytä käsitellä uudelleen vasta, jos päädytään pysyvästi jonkinlaiseen järjestelmään, joka monitoroi ajolangaa PANDAS -visionin tavalla. Nykyinen malli toimii varmasti parhaiten tällä hetkellä.



Kuva 6. Lopullinen päätös voittuneiden virroittimien vaihdosta tehdään VR:n operaatiokeskuksessa. Kuvassa VR:n Oulun varikko, jossa mm. sähköjunia huolletaan (VR Group, 2014)

5.3. Muut datakanavat

5.3.1. Nykyinen tilanne

Nykyisellään tietoa virroittimien kunnosta tulee vain APMS-kameroiden kautta tekniseen valvomoon. Lisäksi aiemmin mainittu PANDAS-järjestelmä oli pilottikäytössä ajolangan tarkastelun suhteen. Molemmat järjestelmät toimivat erillisesti toisen keskittyessä tietoon virroittimien kunnosta ja toisen ajolangasta, eivätkä järjestelmät kommunikoineet keskenään.

5.3.2. Kehitysmahdollisuudet

Ensisijaisina uusina datakanavina toimivat uudet järjestelmät, joita tässä työssä on esitelty luvussa 5. Niissä on kaikissa erilaisia ominaisuuksia ja erilaista tekniikkaa, joita kehitetään myös jatkuvasti eteenpäin. Varsinkin monissa järjestelmissä käytössä oleva 3D -mallinnus tarjoaa mahdollisuuksia hyvinkin kattavan erilaisen datan seulomiseen kuvista ja parantaa mahdollisuuksia löytää vikoja ja vaurioita merkittävästä.

Nykyisin käytössä olevista järjestelmistä uutta dataa voisi tuottaa Suomen rautateillä esimerkiksi sähköradan käytönvalvontajärjestelmä MicroScada. Järjestelmän ominaisuudet liittyen sähköradan vikojen paikantamiseen voisivat olla hyvinkin hyödyllisiä myös virroittimien ja mahdollisesti ajolangan seurannassa tulevaisuudessa, sillä ne liittyvät toisiinsa hyvin oleellisesti. Uusia järjestelmiä pohtiessa onkin hyvä ottaa huomioon mahdollisuus suodattaa myös MicroScadasta saatua tietoa tähän käyttöön.

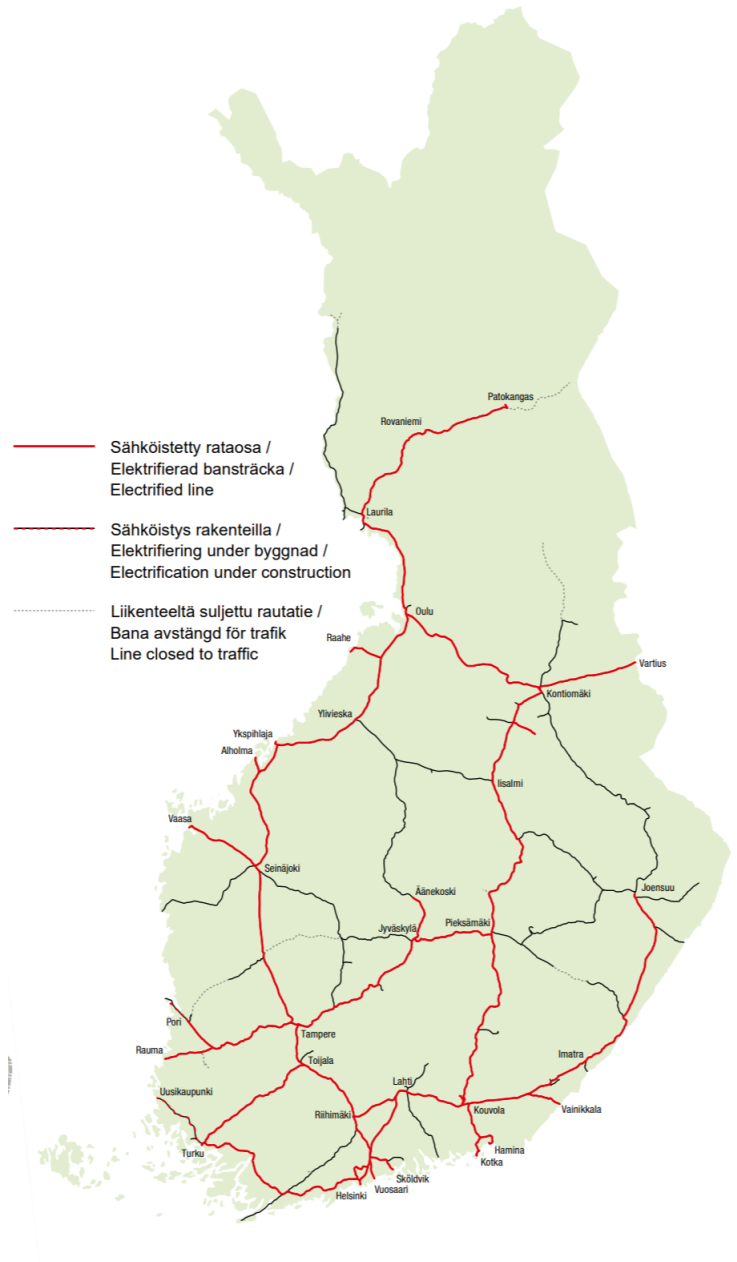
Kaluston kunnossapitoon liittyvät väylät ovat myös yksi mahdollisuus saada esimerkiksi ennakkotietoa virroittimista, joita olisi hyvä seurata hieinan tarkemmalla silmällä niiden mahdollisesti aiheuttaman riskin takia. Lisäksi uusista juuri asennetuista virroittimista tulisi erityisesti niiden käyttöönoton jälkeen saada tietoa junaliikenteen kautta.

Uusi radantarkastusvaunu MEERI sisältää myös uutta teknologiaa, joilla saadaan entistä paremmin tietoa radasta. Erityisesti sähkörataan ja ajolankaan liittyvä data pystytään usein nykyään toimittamaan helposti langattomia verkkoja pitkien. Mikäli MEERIn tuottama data sähköradasta nähdään hyödylliseksi myös kaluston valvonnan kohdalla, olisi hyvä selvittää pystyisikö sitä integroimaan nykyisin käytössä oleviin muihin järjestelmiin.

Sähköistetyt rataosat

Bannätets elektrifiering

Electrified lines



Kuva 7. Suomen rataverkosta (5926 kilometriä) sähköistettyä rataa on 3270 kilometriä (2016). Sähköradan toimintaa valvoo käyttökeskus, jonka MicroSCADA-järjestelmän tiedoista voisi olla hyötyä myös tulevaisuudessa virroittimien ja ajolangan valvonnasta. (Väylävirasto, 2018)

6. YHTEENVETO

Suomen rautateilla nykyisin käytössä oleva Sensyksen toimittama APMS-virroitinvalvontajärjestelmä ei kykene automaattisesti havaitsemaan vaurioituneita virroittimia eikä kontaktihiilen paksuutta. Sensys on myös luopunut käytännössä katsoen järjestelmän kehittämisestä myydessään sen oikeudet englantilaiselle Ricardo Railille ja keskittynyt nykyisen tieliikenteen valvontakameroiden kehitystyöhön.

Vertailusta kolmesta erilaisesta järjestelmästä Ricardo Rail on käyttänyt onnistuneesti Englannin rautateilla Sensyksen APMS-kameroita kehittäessään automaattista virroitinvalvontajärjestelmää, jossa ihmisen sijasta kone pystyy havainnoimaan kontaktihiilen paksuuden ja mahdolliset viat virroittimessa. Yritykseltä löytyy myös tuote nimeltä CatMon, joka valvoo virroittimen ja ajolangan välistä yhtymäkohtaa raportoiden siihen liittyvät poikkeavuudet, eli periaatteessa se tarkastaa samalla ajolangan kuntoa.

Camlin Railin Pantobot 3D-järjestelmää on myös testattu onnistuneesti maailmalla. Se kykenee havaitsemaan automaattisesti kontaktihiilen paksuuden ja virroittimien kunnon. Kamerat eivät ole APMS-kameroita, jonka lisäksi ne eivät näyttäisi kuvien perusteella sijaitsevan radan yläpuolella edessä ottaen kuvia yläviistosta, vaan sivuilla ottaen kuvia yläviistosta.

PANDAS Visionia on pilotoitu Suomessa onnistuneesti, joskin sen yhteydessä myös APMS-kameroita käytettiin. Se ei ole varsinainen virroitinvalvontajärjestelmä, vaan keskittyy enemmän ajolangan kunnon valvomiin. Sen yhteydessä on tosin mahdollista tehdä johtopäätöksiä siitä, onko ajolanka vaurioitunut esimerkiksi hajonneen tai kuluneen virroittimen takia.

Ajolangan monitoroinnin suhteen kokemukset liittyvät toistaiseksi PANDAS Vision -pilottiin, jonka tuloksista saatiin hyvää dataa, mutta myös korjattavaa ja puutteita löytyi. Ongelmia tuotti järjestelmän puutteet havaita itse korjattavia ongelmia, sekä tulosten seulonta, joka pilotissa toteutettiin ilman ympärivuorokautista henkilöä tutkimassa saatua tietoa.

Yleisesti ottaen sähköradan kuntoa valvotaan virroittimien osalta Väyläviraston teknisessä valvomossa ja muun rakenteen ja ajolangan suhteen käyttökeskuksessa. Molemmista on omat järjestelmänsä valvontaan liittyen, jotka eivät kommunikoi keskenään, eivätkä tuota toisille tietoa.

Nykyinen virroitinmonitorointi pohjautuu teknisen valvomon ja VR:n operaatiokeskuksen väliseen toimintaan, jossa tekninen valvomo raportoi sähköpostilla puutteet ja havainnot operaatiokeskukseen, joka tekee päätökset virroittimien vaihtamisesta ja/tai korjaamisesta. Sähköradan suhteen huoltotoimenpiteet käynnistää käyttökeskus, joka raportoi eteenpäin kunnonapitoon.

Järjestelminä käytetään teknisessä valvomossa VALTSU-järjestelmää, johon tulee tiedot myös muusta liikkuvan kaluston valvontaan liittyvästä datasta. Käyttökeskuksen sähköradan valvontajärjestelmä on ABB:n valmistama MicroSCADA. APMS-kameroiden huollon suhteen tekninen valvomo on yhteydessä kunnossapitoon.

Sähkörataa valvotaan Suomen rautateillä myös tarkastusvaunujen toimesta. Aikaisempien ELLI- ja EMMA -vaunujen rinnalle on tullut uusi MEERI-vaunu, joka kykenee radan stabiliteetin ja kiskojen kunnan valvonnan lisäksi myös valvomomaan ajolankaa ja sähkörataa. Radantarkastusvaunut tekevät perusteellista tarkastusta koko rataverkolla.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyinen käytössä oleva APMS-virroitinvalvontajärjestelmä ei täytä kehitystyölle asetettuja vaatimuksia, joissa valvonnan pitäisi jatkossa olla automaattista kontaktihiilen paksuuden ja virroittimien rakenteiden suhteen. Nykyisen järjestelmän korvaamista suositellaan jollakin tämän työn vertailussa tutkitulla järjestelmällä.

Järjestelmistä Ricardo Railin PanMon käytti pohjanaan Englannissa Sensys-kameroita ja omistaa nykyjään myös kameroiden kehitysoikeudet. Mikäli APMS-kameroilla halutaan jatkaa, olisi Ricardo Rail luonnollinen vaihtoehto uuden monitorointijärjestelmän toimittajaksi. Tavoitteena tulisi olla automaattinen valvontajärjestelmä, joka saataisiin nykyisten APMS-kameroiden kanssa toimimaan samalla tavalla täällä kuin Englannissa. Tämä vaatii kuitenkin lisää selvitystyötä siitä, pystyttäisiinkö nykyisiä kameroita päivittämään järjestelmällä automaattiseksi, vai vaatisiko uusi järjestelmä myös kameroiden uusimisen, joiden käyttöikä alkaa myös olla jo aika korkea.

Camlin Railin Pantobot 3D on myös testattu maailmalla ja todettu toimivaksi. Se ei kuitenkaan käytä APMS-kameroita. Mikäli tämän järjestelmän kanssa halutaan jatkaa kehitystyötä, pitää selvittää onnistuisiko tämän järjestelmän integroiminen nykyisiin APMS-kameroihin. Tämä voi olla hyvin haastavaa, koska Pantobot 3D:n kamerat sijaitsevat eri sijainneilla ja toimivat myöskin eri tavalla kuin APMS-kamerat. Todennäköisesti Pantobot 3D voi siis vaatia APMS-kameroiden uusimisen ja uusien kameroiden asentamisen. Se ei sinänsä ole ongelma, mikäli kameroiden uusimiseen muutenkin tullaan päätymään lähitulevaisuudessa.

Transmission Dynamicsin PANDAS Vision soveltuu ajolangan tarkkailuun testatun pilotin perusteella, mutta samanlaista tarkastelupintaa virroittimiin se ei kykene tarjoamaan kuin kaksi muuta vertailujärjestelmää. Järjestelmä soveltuu testien perusteella hyvin ajolangan tarkkailuun, mutta ei riitä pelkästään virroittimien kunnan tarkkailuun.

Ajolangan monitoroinnin osalta PANDAS Vision olisi varteenotettava vaihtoehto uuden virroitinvalvontajärjestelmän rinnalle, mikäli järjestelmä ei tarjoa lisämahdollisuutta tähän. Ricardo Raililta löytyy myös CatMon-järjestelmä, joka kykenee tarkkailemaan ajolangan kuntoa. Näin ollen mikäli järjestelmistä päädyttäisiin Ricardo Railin PanMon-järjestelmään, olisi sen kanssa varteenotettava vaihtoehto ottaa samalla käyttöön saman yrityksen PanMon-järjestelmä integraation takia. Muussa tapauksessa PANDAS Vision voisi olla hyvä ratkaisu uuden virroitinkamerajärjestelmän kylkeen, tai vaihtoehtoisesti jokin muu työssä mainituista ajolangan monitorointiin keskittyvistä järjestelmistä.

Sähköradan valvontaan liittyen käyttökeskuksen MicroSCADA-järjestelmän saaman datan seulominen myös ajolangan valvonnan käyttöön olisi hyvä selvittää, jos ajolangan valvontaan liittyvä järjestelmä tulee osaksi myös teknisen valvomon toimintaa. Ilman järjestelmää, jolla ajolankaa tarkkaillaan, data saattaa jäädä käyttämättömäksi.

Mikäli järjestelmä, jolla ajolangan kuntoa pystytään monitoroimaan, tulee käyttöön, sen soveltuvuus Trakediaan olisi myös hyvä selvittää. Tällöin saataisiin jo olemassa olevaan ja toimivaksi todistettuun graafiseen liittymään myös merkittävä lisätieto radan liikennöinnin kannalta. Tämä olisi hyvä nostaa esiin jo siinä vaiheessa, kun mahdollisen järjestelmän hankintaa selvitetään.

Teknisen valvomon ja kunnossapidon yhteyttä olisi hyvä kehittää joko VALTSUn kautta niin, että lähetetyistä APMS-kuvista saataisiin vuorovaikutukseen pohjautuva muutos järjestelmään, joka näyttää automaattisesti kuittaukset vastaanotetuista kuvista ja mahdolliset jatkotoimenpiteet. Lisäksi mahdollisten uusien operaattoreiden yhteyden sujuvuus nykyisessä järjestelmässä pitää varmistaa teknisen valvomon ja kunnossapidon välille, koska on mahdollista, että jatkossa kaikki virroitinkuvat eivät mene enää VR:n operaatiokeskukseen vaan toisen operaattorin vastaavaan.

MEERI-tarkastusvaunun tuottama data ajolankojen ja sähköradan kunnosta olisi mahdollista myös toimittaa jonkinlaisen verkkoyhteyden kautta tekniseen valvomoon, mikäli tämä tulee ajankohtaiseksi. Lisäksi valvonnan kannalta olisi hyvä myös saada tietoa varikoilta kalustojen tarkastuksen yhteydessä siitä, mihin yksikköihin on mahdollisesti vaihdettu virroittimet tai uusittu kontaktihiilet. Näin niitä ei tarvitsisi ilmoittaa uudelleen, mikäli vaihdossa on viive tai mikäli on tarpeen kiinnittää niihin erikoishuomiota.

Mahdollisten uusien hankintojen kustannuksia tarkastellessa pitää ottaa huomioon, paljonko nykyisten kameroiden ylläpito maksaa vuositason ja arvioida paljonko niillä on vielä elinkaarta jäljellä. Mikäli APMS-kameroista päädytään luopumaan, niiden poistokustannukset sisältäen kameroiden ja rakenteiden purkaminen pitää myös ottaa huomioon, ellei samoja rakenteita pystytä hyödyntämään myös mahdollisten uusien kameroiden osalta.

Uusien virroitinkameroiden kohdalla suoria kustannuksia tulee kameroiden ostohinnasta sekä niiden huollosta vuositason. Myös uusi kuvausjärjestelmä ja uudet ohjelmistot kuvien käsittelyyn tulevat aiheuttamaan kustannuksia. Mikäli virroitinkamerat voidaan asentaa jo olemassa oleviin rakenteisiin, lisäkustannuksia ei tule juurikaan. Mikäli kuitenkin päädytään malliin, joka ei sovellu nykyisiin rakenteisiin, tulee lisäkustannuksia suunnittelusta ja uusista rakenteista.

Ajolangan monitorointijärjestelmä aiheuttaa myös omat kustannuksensa järjestämisen ostohintana, sekä vuosittaiset kustannuksensa huoltokuluina. Mikäli kuitenkin päädytään päivittämään virroitinkamerat, järjestelmät ja ajolangan monitorointi kerralla, on mahdollista vähentää kustannuksia etsimällä mahdollisuuksien rajoissa sellainen paketti, johon kuuluu nämä kaikki samalta valmistajalta. Näin on mahdollista, että kaikki saataisiin integroitua samaan järjestelmään ja ohjelmistoon, mikä voisi tuottaa säästöjä kustannuksissa.

Mikäli ajolangan monitoroinnin kohdalta päädytään ottamaan järjestelmä, joka tulisi esimerkiksi nykyisten virroitinkameroiden avuksi eri valmistajalta, olisi hyvä jo hankintavaiheessa selvittää pystyykö sen kustannustehokkaasti integroimaan johonkin jo käytössä olevaan Väyläviraston järjestelmään.

LÄHTEET

- ABB. (2016). Suomen ABB:n teknologia ohjaa ja valvoo nyt koko Suomen sähkörataverkkoa. *ABB*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://new.abb.com/news/fi/detail/20215/suomen-abbn-teknologia-ohjaa-ja-valvoo-nyt-koko-suomen-sahkorataverkkoa>
- Camlin Group. (n.d.). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://www.camlingroup.com/>
- Camlin Rail. (n.d.). *Virroitinvalvonta*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://www.camlingroup.com/rail>
- Ervelä, O. (2014). *Radan kunnossapidon ohjaus ratatiedon hallintaohjelmiston avulla*. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74492/Ervela_Olli.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Happonen, R. (2016). Miksi juna on myöhässä? Tässä yleisimmät syyt. *Kaleva*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <https://www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/miksi-juna-on-myohassa-tassa-yleisimmat-syyt/733431/>
- Image House Pantoinsect. (n.d.). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.imagehouse.dk/>
- Image House Pantoinsect. (n.d.). *Referenssit*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <http://www.pantoinsect.com/references>
- Jernbane magasinet. (2008). Overvåking. *Jernbane magasinet*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta Jernbane magasinet: <https://www.banenor.no/contentassets/7da42be82eb7414f85638f58a541ba20/jernbanemagasinet-nr-10-2009.pdf>
- Koukkunen, T. (2019). Poliisin uuden sukupolven valvontakameroita otetaan käyttöön jo ensi viikolla – tänne ne tulevat ensin. *Iltalehti*. Haettu 2. 9. 2019 osoitteesta <https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/3a1633dc-68a6-4993-b325-9c6afa31f969>
- Lentokonefani. (2012). *VR:n radantarkastusvaunu Ttr1 EMMA (Plasser & Theurer EM-120) ja tarkastusvaunu ELLI Hyvinkäällä 11. elokuuta 2012*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:VR_Ttr1_EMMA_with_ELLI_wagon.JPG

- Lindberg, J. (2017). *PANDAS-järjestelmän hyödyntäminen rataverkon ajolangan valvonnassa*. Opinnäytetyö, Metropolia, Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/137940/Lindberg_Jan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MERMEC. (2016). MERMEC won the inspection contract for Finland's entire rail network. *MERMEC*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.mermecgroup.com/press-room/news/1066/mermec-won-the-inspection-contract-for-finlands-entire-rail-network-.php>
- Panto Inspect. (n.d.). *Tekniikka*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.pantoininspect.com/technology111>
- Ricardo. (2019). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://ricardo.com/>
- Ricardo Rail. (2019). *Catmon*. Haettu 17. Heinäkuu 2019 osoitteesta <https://rail.ricardo.com/asset-optimisation/intelligent-rail/catmon>
- Ricardo Rail. (2019). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://rail.ricardo.com/>
- Saarinen, V. (2009). *Junan kontaktihiilen kunnonvalvonta virroittimen valokuvauksen perustuvalla laitteistolla*. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Konerakennustekniikan laitos. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_2009-a15_junan_kontaktihiilien_web.pdf
- Salokangas, A. (2008). *Rautateiden liikkuvan kaluston kunnan valvonta runkoverkolla*. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146428/rhk164.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SelectraVision. (2019). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.selectravision.com/>
- SelectraVision. (2019). *Virroitinvalvonta*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.selectravision.com/products-pantocheck.php>
- Sensys Gatso Group. (2017). *Sensys Gatso and Ricardo Rail signs strategic agreement for the rail market*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://www.sensysgatso.com/investor-relations/press-releases/sensys-gatso-and-ricardo-rail-signs-strategic-agreement-for-the-rail-market>
- Siemens. (2010). *Virroitinvalvonta*. Haettu 27. 8. 2019 osoitteesta <https://w3.siemens.com/smartgrid/global/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/railway-electrification/contact-line/sicat-cms-en.pdf>

- Siemens. (2019). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://new.siemens.com/global/en.html>
- Siemens. (2019). *VirroitINVALVONTA*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/rail-solutions/rail-electrification/contact-lines/monitoring-systems/pages/pantograph-monitoring-system.aspx>
- Smith, A. (2017). Smart monitoring. *Pantograph innovation*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta https://d1v9sz08rbysvx.cloudfront.net/rail/media/resources-downloads/panmonrq_july2017.pdf
- Traffic Management Finland. (2019). *Käyttökustoinminta*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <https://tmfg.fi/fi/finrail/kayttokeskustoiminta>
- Transmission Dynamics. (2019). *Etusivu*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.jrdltd.co.uk/index.html>
- Transmission Dynamics. (2019). *VirroitINVALVONTA*. Haettu 17. 7. 2019 osoitteesta <http://www.jrdltd.co.uk/pantograph.html>
- VR Group. (2014). *Kuvapankki*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/uutishuone/kuvapankki/>
- Väylävirasto. (2012). *APMS-kuva, Liminka*. Haettu 17. 7. 2019
- Väylävirasto. (2014). *APMS-kuva, Ilmala PKR*. Haettu 17. 7. 2019
- Väylävirasto. (2014). *Liikkuvan kaluston valvontalaitteet ja radan kunnossapito*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-13_liikkuvan_kaluston_web.pdf
- Väylävirasto. (2018). *Suomen rataverkko 1.1.2018*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <https://vayla.fi/rataverkko#.XS3NdegZPY>
- Väylävirasto. (2019). *Rautateiden verkkoselostus*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta <https://vayla.fi/web/rautateiden-verkkoselostus-2019/report/3-rataverkko/3.3-rataverkon-kuvaus/3.3.3-liikenteenohjauksen-ja-viestinnan-jarjestelmat/3.3.3.2-liikkuvan-kaluston-valvontalaitteet>
- Yleisradio. (2011). *Kehnot ajolangat rautateiden riesana vielä vuosia*. Haettu 16. 7. 2019 osoitteesta Yleisradio: <https://yle.fi/uutiset/3-5429279>