



Satu Nikkinen

RAMS-pilotti

Vaihteen sähkökääntölaitteiden kunnossapito

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

14.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Satu Nikkinen
Otsikko: RAMS-pilotti: Vaihteen sähkökääntölaitteen kunnossapito
Sivumäärä: 34 sivua + 2 liitettä
Aika: 14.4.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t): Lehtori Kristian Junno
Projektipäällikkö Antti Haapalahti

Insinööriyön tavoitteena oli tehdä pilotointi RAMS-ideologian käyttöönotosta Kuuran kunnossapitoalueelle Uudellemaalle. Pilotointi tehtiin vaihteen sähkökääntölaitteen kunnossapidosta. Tarkoituksena oli tehdä monistettava malli, mitä voi käyttää kaikkiin ratakomponentteihin turvalaite- ja raidegeometrian kunnossapidossa.

Työssä tutustuttiin vaihteen kääntölaitteen toimintaan, kuluviin osiin ja turvallisuuden kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin, vikaantumiseen ja kunnossapitoon. Tutkimus tehtiin vikamääriä ja kustannuksia GRK Rail Oy - Kuuran tilastojen avulla tarkastelemalla. Asiantuntijahaastattelut antoivat arvokasta tietoa vikaantumisen juurisyistä sekä huollon merkityksestä.

Työssä peilattiin nykyisiä huolto-ohjeita ja mietittiin tutkimustiedon valossa, kannattaisiko niitä muuttaa. Alkuperäisenä tutkimuskysymyksenä oli, kannattaisiko vaihteen kääntölaitteita vaihtaa useammin tietyissä paikoissa. Työssä käytettiin apuna case-esimerkkiä Tikkurilan aseman liikennepaikasta, mikä on monistettavissa muillekin alueille.

Avainsanat: RAMS, sähkökääntölaite, vaihde, käyttöperusteinen kunnossapito

Abstract

Author(s): Satu Nikkinen
Title: RAMS-pilot: Maintenance of Electric Railway Switch
Number of Pages: 34 pages + 2 appendices
Date: 14 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Specialisation option: Automation Engineering
Instructor(s): Antti Haapalahti, Project Manager
Kristian Junno, Senior Lecturer

The purpose of this work was to function as a pilot study for launching RAMS-ideology based maintenance in Finnish railways for GRK Rail Oy - Kuura at Uusimaa maintenance area. Piloting concerned electric railway switches, and the main question was whether the switches should be changed more often?

The aim was that the information given by this work could be used afterwards with all components in the railway system. The study examined how the railway switch works and what parts are most vulnerable and easily broken, and how the electric switch is maintained now. The information was gathered from inner company statistics, ERP system and professional interviews.

This study compares the current maintenance instructions to the research results. A case study concerning the Tikkurila station area was carried out and it is reproducible for other areas.

Keywords: RAMS, electric railway switch, usage-based maintenance

Sisällys

1	Johdanto	1
2	RAMS-ideologia	2
2.1	ATA-mittaristo	3
2.2	Käyttöönotto	3
2.3	Keskeiset parametrit ja käsitteet	4
2.4	Datan yhtenäistäminen	5
2.5	Vikojen määrittely	6
2.6	Elinjaksokustannusanalyysi	8
2.7	Systeemihierarkia	9
2.8	Riskien hallinta	10
3	Vaihteen sähkökääntölaite	11
3.1	Sähkökääntölaitteen elementit	11
3.2	Kunnossapito	12
4	Tikkurilan aseman liikennepaikka	15
4.1	Matkustajaliikenne Tikkurilassa	18
4.2	Vaihde 237	18
4.3	Vaihteet 227 ja 234	19
4.4	Huollon optimointi	20
5	Vikaantuminen	21
5.1	Sähkökääntölaitevikoja	21
5.1.1	Aukiajoilmaisu	22
5.1.2	Hakosillan vaihteet	23
5.1.3	Kääntyy huonosti -vika	25
5.1.4	Vaihde ei valvo -vika	26
5.1.5	Ei lukitu -vika	26
5.1.6	Muut viat	27
5.2	Vikataajuus ja vaikutukset liikenteeseen	27
5.3	Huollon ja kunnonvalvonnan rooli	28
6	Päätelmät, yhteenveto	29
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1 lyhenteet

Liite 2 Tikkurilan aseman raiteistokaavio

1 Johdanto

Opinnäytetyössä käsitellään RAMS-ideologiaa ja sitä, miten sitä voisi hyödyntää rautateiden turvalaitteiden kunnossapidossa. Työn tarkoituksena on tehdä kunnossapidosta tehokkaampaa ja tarkoituksenmukaisempaa kohdistamalla huollot sinne, missä niitä eniten tarvitaan turvallisuutta vaarantamatta.

Työtä tehdään keräämällä teoriaa, tämänhetkisiä käytäntöjä, haastatteleamalla ammattilaisia ja näiden pohjalta tehdään laskelmat ja yhteenveto sekä päätelmät. Hypoteesina on, että vaihtamalla paljon käytetyt sähkökääntölaitteet useammin, vikojen määrä vähenee ja siten välilliset kulut pienenevät.

GRK Rail Oy on osa GRK-konsernia. Nimi tulee sanoista Graniittirakennus Kallio. Yhtiö on entinen perheyrittys. GRK:lla oli vuonna 2020 387 miljoonan euron liikevaihto, 22,3 miljoonan euron liikevoitto ja liikevoittoprosentti oli 5,8 %. GRK:n omavaraisuusaste on 46,5 %. Henkilöstöä vuonna 2020 oli keskimäärin 741. Henkilöstö jakautuu suunnilleen, että noin 50 % toimihenkilöitä ja 50 % työntekijöitä. Jakautuminen riippuu konsernin yhtiöstä. Kuurassa työntekijöitä on huomattavasti enemmän kuin toimihenkilöitä. GRK:n toimialoihin kuuluvat infrarakentaminen, raiderakentaminen ja asfalttirakentaminen. GRK Rail tekee urakoita pää- ja aliurakoitsijana, ST-, PPP- ja allianssimalleilla. Tämä työ tehdään Kuuralle, joka toimii allianssimallilla Väyläviraston ja Finrailin kanssa ja vastaa Uudenmaan ratojen kunnossapidosta.

Projektin taustana on halu kehittää kunnossapitoa käyttöperusteisemmaksi ja tällä tavoin tehdä siitä turvallisempaa sekä kustannustehokkaampaa. Tavoitteena on poistaa turhaa työtä optimoimalla täyshuollon välit oikein. Projektia pilotoidaan vaihteen sähkökääntölaitteen avulla. Tällä hetkellä vaihteen sähkökääntölaitteet pitäisi vaihtaa aina seitsemän tai yhdeksän vuoden välein riippumatta siitä kuinka herkkiä ne ovat vikaantumaa missäkin kohdassa. Helsingissä vikojen määrä kohti vaihtoväliä alkaa ilmeisesti lisääntymään hurjasti, tavoitteena on vähentää huoltotarvetta ja täten optimoida kustannuksia pienemmiksi.

2 RAMS-ideologia

RAMS on innovatiivinen järjestelmäsuunnittelun optimoinnin työkalu, joka on laajasti käytössä maailmalla. Siitä on useita vertaisarvioituja tutkimuksia. RAMS tulee kirjaimista R – reliability (luotettavuus), A – availability (saatavuus), M – maintainability (kunnossapidettävyys) sekä S – safety (turvallisuus). Näiden mitareiden avulla on tarkoitus selvittää, miten erilaisten teknisten järjestelmien huoltoa kannattaa suunnitella. RAMS perustuu todennäköisyyksiin ja matemaattisiin periaatteisiin. Se on luotu systemaattisen seuraamisen ja tarkkojen merkintöjen avulla saataviin tuloksiin, joita matemaattisesti analysoimalla voidaan kehittää mahdollisimman optimaalinen kunnossapito. RAMS:in heikkoutena ovat arvaamattomat ulkoiset tekijät. (Coit, Zio 2019.)

SFS EN 50126-1 [2017: 6–16] mukaan R tarkoittaa luotettavuutta, ja sitä että esine toimii määrätyn tehtävän tavalla määrätyn aikaa. A tarkoittaa saavutettavuutta, eli että objekti on toimintakunnossa tiettyjen parametrien määrittelemällä tavalla, tiettyinä ajankohtana tai määrättyinä ajanjaksona, olettaen, että ulkoiset tekijät ovat kunnossa. M eli kunnossapidettävyys tarkoittaa, että tietty kunnossapitotehtävä voidaan tehdä vallitsevien ehtojen ja ajanjakson sisällä, oikeissa olosuhteissa ja oikeilla välineillä. S tarkoittaa turvallisuutta, ja että epähyväksyttäviä turvallisuusriskejä ei ole olemassa, ja huomioon tulee ottaa yleinen turvallisuusmenetelmä.

Lyytikäisen mukaan RAM-analyysin vakavimmat puutteet ovat mahdollinen satunnaisten vikojen todennäköisyyslaskentaan perustuva suunnitelma. Yhteisvikoja on vaikea ottaa huomioon kuten myös suunnitteluvirheistä johtuvat viat ja uutuutena ohjelmistovirheet. (Lyytikäinen 2010: 40–42.)

Kumarin ja Thadurin mukaan RAMS:in käyttö rautateillä vaatii myös LCC-menetelmän käyttöä (life cycle costing), sillä jos huoltotoimenpiteet tehdään pelkästään tietyn vikamäärän perusteella, riskit voivat olla suuremmat. (Kumar & Thadur 2020: 266–267.)

2.1 ATA-mittaristo

Tämän työn avulla yritetään parantaa yrityksen tuottavuutta, joka perustuu ATA-mittaristoon. ATA tulee sanasta avaintulosaluemittari, sen avulla allianssityyppisissä sopimuksissa mitataan tuottavuutta ja maksetaan palkkiota. ATA-mittariston tavoitteet sovitaan jokaiselle kaudelle yhdessä sidosryhmien kanssa. Tavoitteena on vähentää merkittävästi sekä vikoja että toistuvien vikojen määrää, parantaa junaliikenteen luotettavuutta sekä radan geometristä kuntoa, ehkäistä junaturvallisuuden vaarantumista ja vaaratilanteiden syntyä sekä parantaa työturvallisuutta. Tavoitteita seurataan tämän mittariston avulla, tarkoituksena on jatkuva parantaminen. (ATA-mittariston sisältö kaudelle 3, 2022.)

2.2 Käyttöönotto

RAMS-standardin mukaan RAMS:in käyttöönotossa on 12 vaihetta. Ensimmäisenä selvitetään konsepti, kuinka laajasti RAMS otetaan käyttöön, mikä on sen tarkoitus ja millaiseen ympäristöön se tulee käyttöön. Sen jälkeen määritellään järjestelmä ja operationaalinen konteksti, eli otetaan RAM sekä turvallisuus-suunnitelma käyttöön. Riippuen järjestelmästä ja sen laajuudesta tässä toisessa vaiheessa voi mennä kauankin. Kolmantena tehdään riskianalyysi ja päivitetään RAMS-suunnitelmaa, jonka jälkeen siitä voi tehdä tarkemman ja määritellä järjestelmän vaatimukset paremmin. Sitten kohdistetaan RAMS-vaatimukset alijärjestelmiin ja komponentteihin. Tätä jatketaan seuraavissa vaiheissa aina tarkentamalla ja integroiden uusia suunnitelmia, kunnes koko aiottu järjestelmä on RAMS:in piirissä. Sitten sitä seurataan ja korjaillaan tarpeen mukaan. RAMS onkin jatkuva prosessi. Suuressa systeemissä pelkkä koko järjestelmän käyttöönotto voi viedä vuosia. (SFS EN 50126-1 2017: 35–36.)

On tärkeää, että myös kaikki sidosryhmät ja niiden tehtävät on huomioitu RAMS:n käyttöönotossa. Jokaisen tulee tietää oma tehtävänsä. Pelkkä kunnossapitokin voidaan tehdä RAMS-ideologian mukaisesti, mutta parhaan hyödyn siitä saa, mikäli hankinnatkin mietitään sen mukaan. (SFS EN 50126-1 2017: 35–36.)

2.3 Keskeiset parametrit ja käsitteet

RAMS on kvantitatiivinen sekä kvalitatiivinen menetelmä kunnossapidon optimoimiseksi. Keskeisiä parametreja on lukuisia. Tässä työssä keskitytään luotavuuden osalta MTTF:ään, eli mean time to failure (aika vikaan) ja MTBF:ään, eli mean time between failures (vikojen välinen aika), kunnossapidettävyyden osalta MTTR, eli mean time to restore (korjausaika) ja, turvallisuuden kannalta HR, eli hazard rate (vian todennäköisyys). Saavutettavuus saadaan näiden parametrien avulla. Kuvassa yksi on lueteltuna avainluvut. Työssä kerätään kvantitatiivisesti aineistoa Geomatrixin erp-järjestelmän, Fleetcaren automaattisen kunnonvalvonta ohjelmiston sekä POHA-ilmoitusten avulla ja kvalitatiivisesti haastattelemalla asiantuntijoita. (Kumar & Thaduri 2020: 265.)

Key parameters and analyses

Reliability - *R*

- $\lambda(t)$ - Failure Rate
- **MTTF** - **Mean Time To Failure**
- **MTBF** - **Mean Time Between Failures**
- **MTTFF** - **Mean Time To First Failure**
- **MDBF** - **Mean Distance Between Failures**
- **MCBF** - **Mean Cycles Between Failures**
- **MFDT** - **Mean Failure Detection Time**
- **RBD** - **Reliability Block Diagram**

Availability - *A*

- Theoretical or interior availability considers corrective maintenance
- Technical or engrained availability considers corrective and preventive maintenance

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Maintainability - *M*

- **MMH** - **Mean Maintenance Hours**
- **MDT** - **Mean Down Time**
- **MCDT** - **Mean Corrective Downtime**
- **MPDT** - **Mean Preventive Downtime**
- **MTTR** - **Mean Time to Restore (Repair)**

Safety - *S*

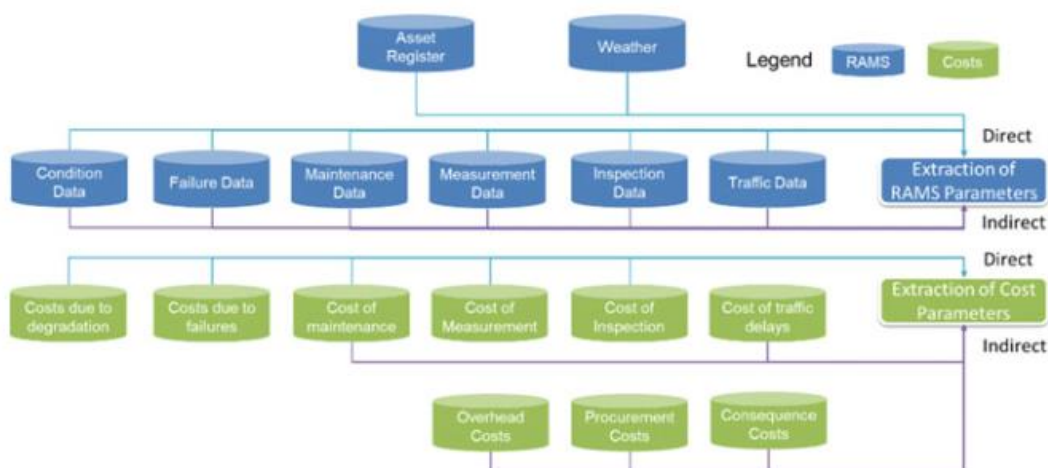
- **HR** - **Hazard Rate**
- **THR** - **Tolerable Hazard Rate**
- **FME(C)A** - **Failure Mode, Effects (and Criticality) Analysis**
- **FTA** - **Fault Tree Analysis**
- **HA** - **Hazard Analysis**
- **ETA** - **Event Tree Analysis**

Kuva 1. RAMS-pääparametrit ja analyysit (Kumar & Thaduri: 265.)

Kumarin ja Thadurin mukaan ei kuitenkaan koskaan kannata käyttää vain yhtä menetelmää kunnossapidon suunnittelussa, vaan siihen kannattaa yhdistellä eri metodeja yrityksen tarpeiden mukaan. Suunnittelu kannattaa tehdä vähintään eri tasoilla: strateginen, taktinen sekä operationaalinen suunnittelu. (Kumar & Thaduri 2020: 268–272.)

2.4 Datan yhtenäistäminen

Jotta RAMS:in mukaista kunnossapitoa voidaan tehokkaasti suunnitella, siihen käytettävä data on hyvä olla yhtenäistä sekä yhteensopivaa kaikilla junaliikenteen osa-alueilla, kuten liikenteenohjauksen, liikennöinnin, huollon sekä hallinnon välillä. Kuvassa kaksi on kuvattu, miten erilainen data korreloi kulujen kanssa. Sen avulla voi tehdä johtopäätöksiä siitä, mihin Kuuran kannattaa erityisesti panostaa. Koska Suomessa rautateiden kunnossapito sekä liikennöinti on yksityistetty ja kaikkia aloja hallinnoi eri yritykset ja valtio, yhteistyö sidosryhmien kanssa on tässä merkittävässä osassa. Allianssi-muotoisen järjestelmän takia yhteistyö on kuitenkin helpompaa. (Kumar & Thaduri 2020: 272.)

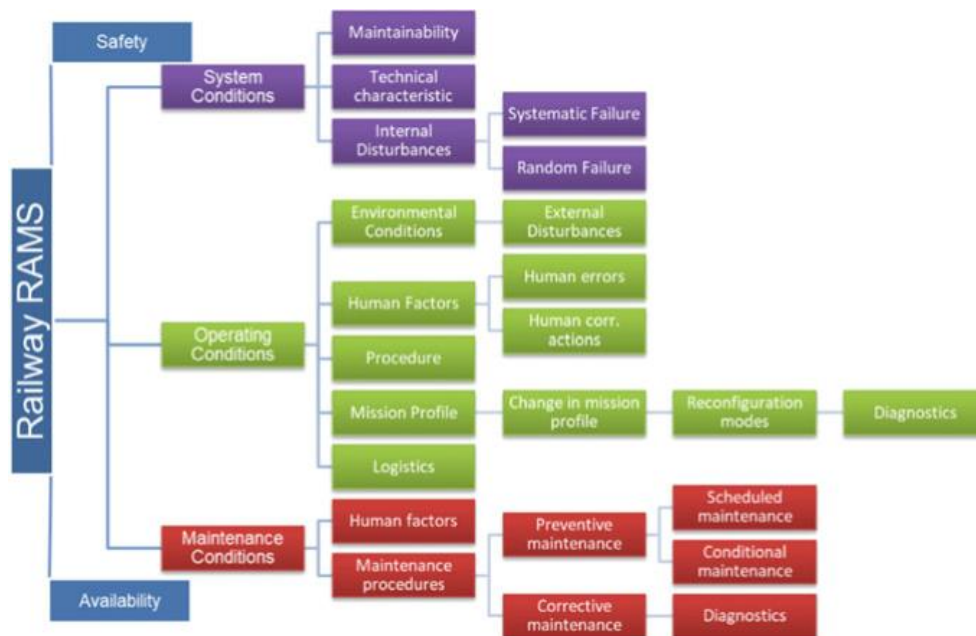


Kuva 2. Kulujen jakautumisen suhde datan keräämiseen (Kumar & Thaduri 2020: 272.)

Kerätyn datan tarkkuus ja yhtenäisyys korreloivat suoraan datan laatuun, joka taas korreloi suoraan RAMS-menetelmän paikkansapitävyyteen tapauskohtaisesti. Jos data on epäyhtenäistä ja heikkolaatuista, on vaikea tehdä ennakoivaa kunnossapitoa. Datan harmonisointi mahdollistaa yksinkertaisempien mallien tekemisen ja vähentää mallin epävarmuutta. Kuura Allianssi on aloittanut toimintansa vuonna 2020 ja POHA-ilmoituksia on vuodesta 2015 alkaen. Useat

työntekijät ovat tehneet työtä vuosikymmeniä samalla alueella, joten haastattelujen avulla dataa voi silti kerätä pidemmältä tarkasteluväliltä. (Kumar & Thaduri 2020: 273–274.)

Asioita, joihin itse voi vaikuttaa, on paljon, ja jopa säähänkin voi varautua etukäteen, kuten Kuurassa on tehty. Eniten voidaan kuitenkin vaikuttaa ennakoivalla huollolla sekä korjauksilla estettäviin kulumisesta johtuviin vikaantumisiin. Jokainen myöhästymisminuutti ja peruttu juna maksavat Kuuralle rahaa ja ovat tietenkin pois julkisen liikenteen luotettavuudesta. Kuvassa kolme on matriisi, jonka avulla voi tarkastella asioita, joihin pystyy itse vaikuttamaan kulurakenteittain.

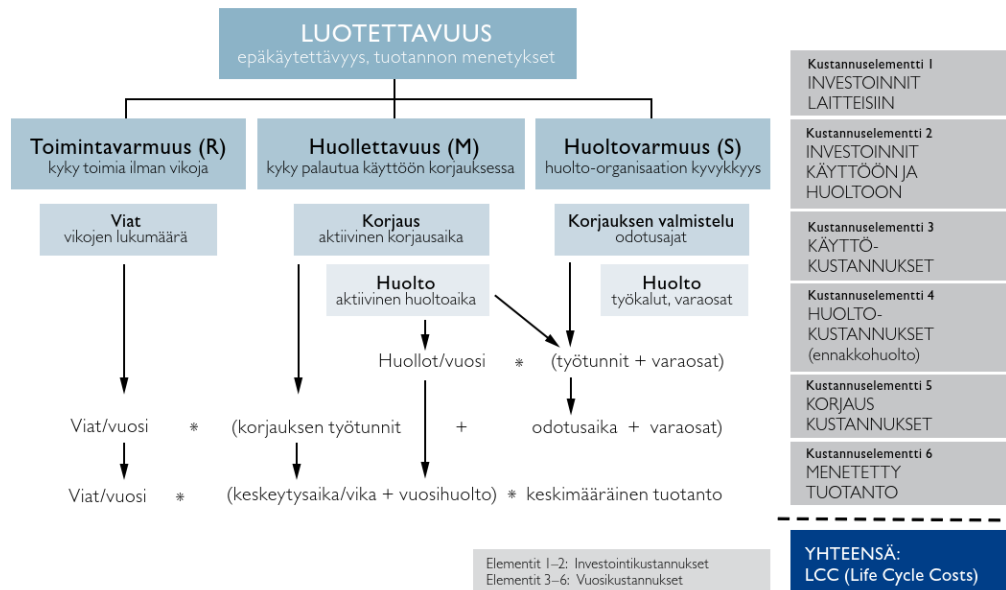


Kuva 3. Rautateiden RAMS:iin vaikuttavat asiat. (Kumar & Thaduri 2020: 274.)

2.5 Vikojen määrittely

Lyytikäisen mukaan luotettavuusmallin voi laatia yksinkertaisimmillaan Excel-taulukkoon, jolloin huomioon otetaan kunkin lohkon tunnus, vikataajuus, korjausaika, korjauksen odotusaika, vikadatan lähde ja päivämäärä. Matriisimallista löytyy kuvasta neljä. Tästä sovellettuna tehtiin inno-projektina taulukko, jota

käytän tässä työssä hyödyksi. Lyytikäinen huomauttaa, että vikadatan kerääminen järjestelmistä on usein työlästä ja hyödyttöä, sillä historia on hyödyttömässä muodossa. Usein sieltä ei löydy esimerkiksi, kuinka pitkä aika vian korjaamiseen meni. Paras keino onkin haastatella kokeneita työnjohtajia sekä asentajia. Kun RAMS-menetelmän ottaa käyttöön, tulevaisuudessa vikadatan voi tehdä analysointia helpottavaksi. (Lyytikäinen 2010: 40–42.)



Kuva 4. Luotettavuusmallin lohkokaavio (Lyytikäinen 2010: 40–42.)

Työssä haettiin yleisimpiä vikoja silmäilemällä Geomatrix-sovelluksen vikailmoituksia ja poimimalla sieltä yleisimmin esiintyviä. Näiden perusteella tehtiin haastattelukysymykset liittyen vikojen määrittelyyn luotettavuusmallin osalta. GRK:lla ei pystytä juurikaan vaikuttamaan kustannuselementteihin 1 ja 2, joskin eniten pystytään vaikuttamaan kustannuksiin 4–6, eli huolto- sekä korjauskustannukset ja sitä kautta menetetty tuotanto. Menetetyn tuotannon, eli myöhästyneiden sekä peruuntuneiden junien tuoma kustannus on se, minkä vähentämiseen kaikki tahot pyrkivät. Junaliikenteen täsmällisyys ja luotettavuus on tärkeää, jotta asiakkaat pysyvät junissa ja mahdollisesti vaihtavat henkilöautolla kulkeamista julkiseen liikenteeseen. Raideliikenteessä on pitkään ollut vallalla toimintatapa, joka keskittyy viankorjaukseen ja tarkoituksena on pitkään ollut siirtyä ennakoivaan kunnossapitoon. Korjauskustannuksiin sekä menetetyt tuotannon

tuomiin kustannuksiin voidaan parhaiten vaikuttaa siirtämällä kustannuksia huoltoon. Kun huoltoon sekä kunnonvalvontaan panostetaan enemmän, vikaantumisen vähentyy ja näin ollen kokonaiskustannukset pienevät. On syytä pohtia, pitäisikö huoltoon lisätä järjestelmällistä kunnonvalvontaa parantavaa toimintaa enemmän.

Vikatyyppejä ovat satunnaiset viat ja systemaattiset viat. Satunnaisia vikoja voi kuvata tilastollisin menetelmin, eikä niihin voi kovin paljon vaikuttaa, mutta niiden todennäköisyyttä voi ennustaa ja täten ohjata huoltoa. Systemaattiset viat johtuvat laitteen elinkaareen liittyvistä ongelmista ja ovat usein käyttäjälähtöisiä. Näistä löytyy vähemmän dataa, mutta niitä pystyy estämään esimerkiksi perehdytyksellä. Vikatyyppien tilastoinnissa auttaa järjestelmä, jossa viat ovat riittäväällä tarkkuudella määritellyt. Näin sieltä voidaan helposti suodattaa systemaattiset ja satunnaiset viat. (SFS EN 50126-1 2017.)

RAMS:in pyrkimyksenä on vaikuttaa eniten inhimillisistä tekijöistä riippuviin vikoihin. Inhimillisiä tekijöitä ovat ihmisluonne, odotukset sekä käytös. Nämä koostuvat ihmisen anatomisista, fysiologisista ja psykologisista tekijöistä. Tarkoituksena on, että työntekijät voivat tehdä työtä tehokkaasti ja tuloksellisesti, ottaen huomioon terveyden, turvallisuuden sekä työtyytyväisyyden. RAMS-ideologia on siis todella laaja alue. Tärkein tekijä on ammattitaidon puute, minkä takia hyvät ohjeet sekä perehdytys ovat avaintekijöitä. Suomalaisissa kouluissa ei kouluteta suoraan raidealan ammattilaisia ja tästä eräs haastateltavakin sanoi, että ammattilaisia olisi syytä olla enemmän. (SFS EN 50126-1 2017: 19–20; haastattelu.)

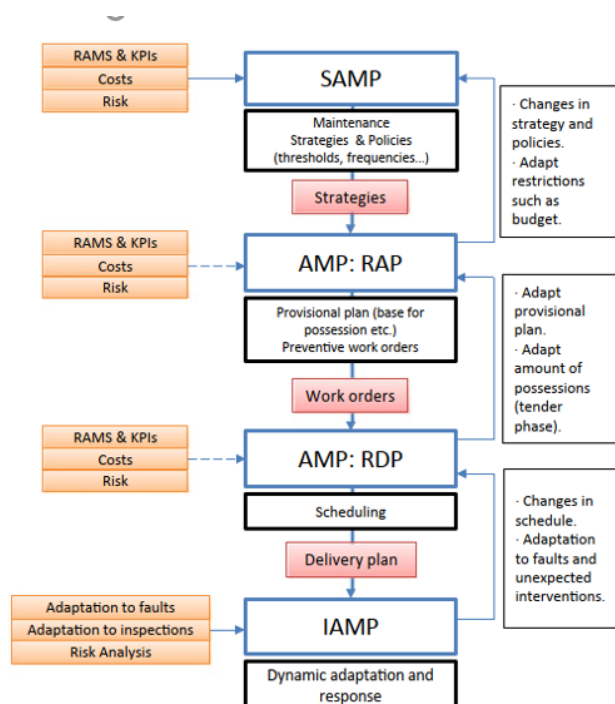
2.6 Elinjaksokustannusanalyysi

Lyytikäisen mukaan LCC eli elinjaksokustannusanalyysi sopii erityisesti suurten järjestelmien hankintaan ja sopimusten tekoon. Kuvassa neljä on kuvattu luotettavuutta lohkokaaviomallina. Ratakunnossapidossa kaikki hankinnat ovat sen verta suuria, että LCC-analyysi lienee järkevää tehdä. (Lyytikäinen 2010: 40–42.)

Kumar ja Thaduri viittaavat teoksessaan kuuteen case-studyyn, ja kaikissa niissä käytetään RAMS:in lisäksi LCC-analyysia. INNOTRACKin tavoitteena oli vähentää kunnossapidon kustannuksia peräti 30 %, ja heillä päätelijänä oli ottaa mukaan LCC-analyysi sekä kustannushyötyanalyysi kunnossapidon optimoimiseksi. Myös Mahboobin mukaan RAMS:in kokonaisvaltaisella käyttöön-otolla voidaan säästää 30 % kustannuksista. Kuurassa tavoitteena on kustannusten pienentäminen sekä junaliikenteen luotettavuuden ja turvallisuuden jatkuva parantaminen, joihin myös ”RAMS rautateillä” pyrkii. (Kumar & Thaduri 2020: 275–287; Mahboob & Zio 2018.)

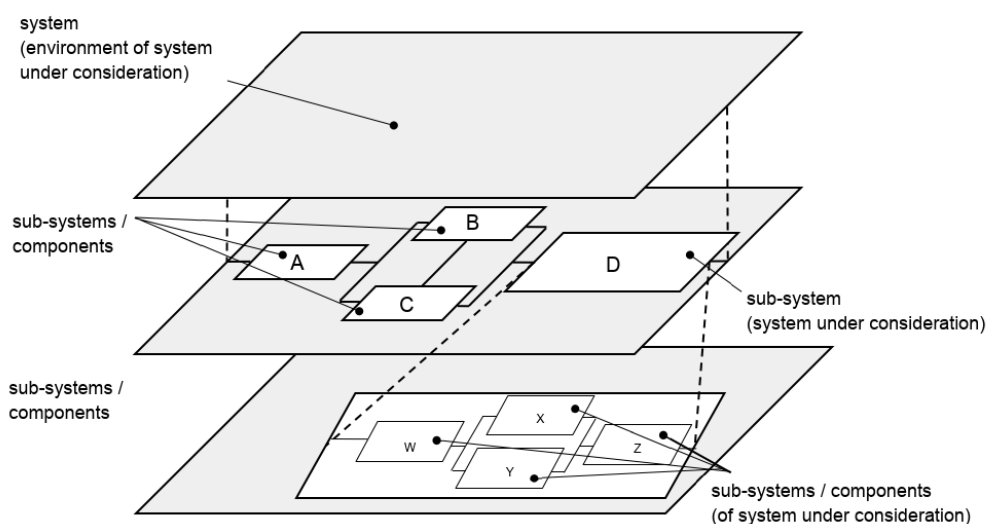
2.7 Systeemihierarkia

RAMS-menetelmä otetaan huomioon yrityksen jokaisessa elimessä ylimmästä johdosta työntekijään asti, mitä on demonstroitu kuvassa viisi. SAMP (strategic asset management plan) -suunnittelutasolla asetetaan tavoitteet. RAP (route asset plan) -tasolla puolestaan esitetään, miten tavoitteet saadaan toteutettua. Resurssin optimointi jokapäiväisessä toiminnassa on taas IAMP (Implementation of the asset management plan) -tason töitä. Tässä työssä keskitytään siihen, miten tavoitteet saadaan toteutettua. (Kumar & Thaduri 2020: 268–271.)



Kuva 5. RAMS-hierarkia ja kommunikointi eri tasojen välillä. (Kumar & Thaduri 2020: 271.)

Standardissa on esitelty kuva kuusi systeemihierarkiasta. Tässä tapauksessa ylintä tasoa kuvaisi Uudenmaan kunnossapitoalue 1. Keskimmaisella tasolla alisysteemit kuvaavat eri laitekokonaisuuksia, kuten esimerkiksi vaihdetta ja alimalla tasolla ovat itse laitteet. Kunnossapito GRK:lla koostuu päällysrakenteesta ja turvalaitteista, mutta esimerkiksi vaihteissa on molemmille töitä. Turvalaitteet eroavat päällysrakenteesta siinä, että ne ovat sähkölaitteita, kun taas esimerkiksi itse raiteet ovat päällysrakennetta. Tämän takia turvalaittepuolella tarvitaan erityisosaamista myös sähköstä. (SFS EN 50126-1 2017: 19.)

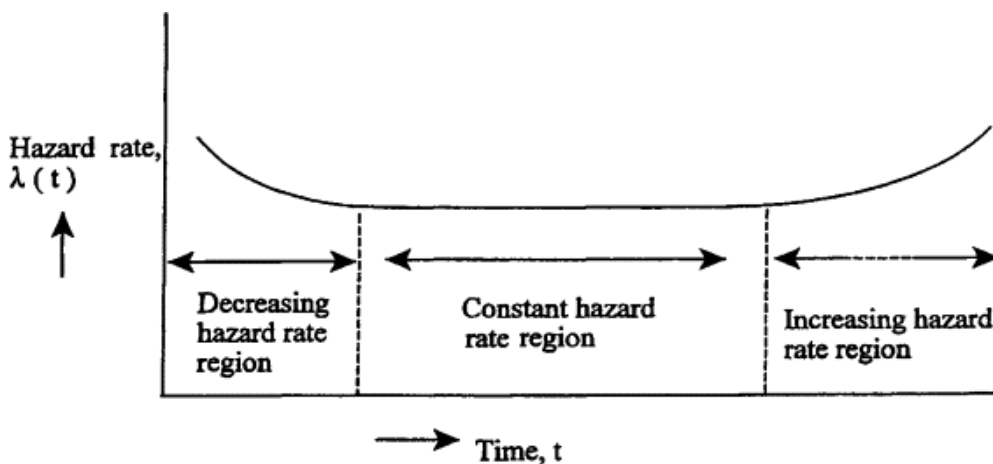


Kuva 6. Systeemihierarkia SFS EN 50126-1 [2017: 19] mukaan.

2.8 Riskien hallinta

SFS EN 50126-1 [2017: 55–58] -standardin mukaan riskien hallinta on yksi RAMS:in käyttöönotossa tärkeistä vaiheista, se on jatkuva prosessi. Riskien hallinnassa tulisi ottaa huomioon systeemiin liittyvät riskit sekä identifioida tapahtumat, jotka johtavat vikaan. Tämän lisäksi tulisi määrittellä, mitkä riskit vaikuttavat mihinkin vikaan ja ottaa käyttöön jatkuva riskienarvioimisprosessi.

Kun laite tulee käyttöikänsä päähän, se oletettavasti vikaantuu enemmän kuin käyttöikänsä keskivaiheilla, sillä kuluvat osat ovat kulumassa loppuun. Kuvassa seitsemän on esitettyä kylpyammemalli, joka on yleinen kuvaamaan vikaantumisen elinkaarta.



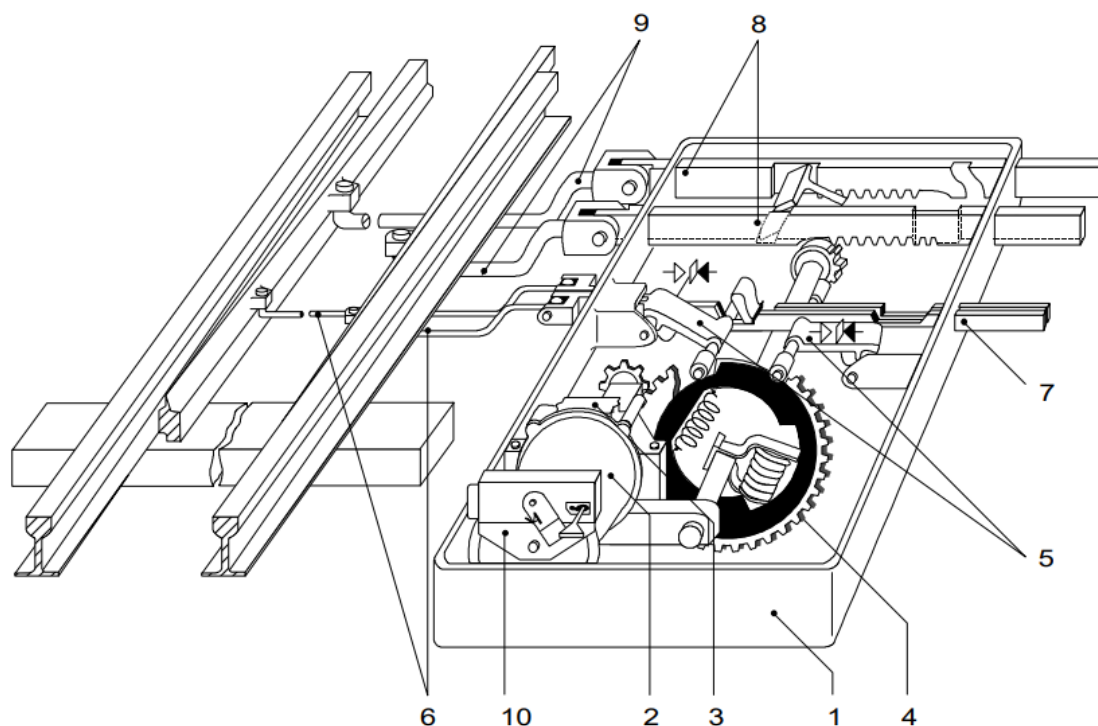
Kuva 7. Kylpyammemalli vikaantumisen elinkaaresta. (Dhillon 1999.)

3 Vaihteen sähkökääntölaite

Vaihteen sähkökääntölaitteen tehtävä on kääntää vaihteet sähköisesti. On myös olemassa käsin käännettäviä vaihteita. Sähköinenkin vaihde on mahdollista kääntää käsin oikeilla välineillä.

3.1 Sähkökääntölaitteen elementit

Kuvassa kahdeksan on esitelty vaihteenkääntölaitteen elementit. Sähköisiä vaihteenkääntölaitteita on aukiajettavia sekä ei-aukiajettavia. Aukiajettavassa kääntölaitteessa auki olevaa vaihteenkieltä pidetään paikallaan kiinnipitojouksella, kun taas ei-aukiajettavassa ne on lukittu ja niitä pidetään kiinni lukituskapaleilla. Aukiajettavat vaihteet ovat lyhyitä vaihteita ja niihin saa ajaa maksimissaan 35 km/h. (Liikennevirasto 2016; Siemens 2011.)



- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 valurunko | 6 tarkistustangot |
| 2 moottori | 7 valvontatangot |
| 3 vaihteisto | 8 hammastangot |
| 4 kiikakytin | 9 käyttötangot |
| 5 kosketinyksikkö | 10 virtalukko |

Kuva 8. Sähkötoimisen vaihteenkääntölaitteen periaatekuva (aukijattava). (Liikennevirasto 2016.)

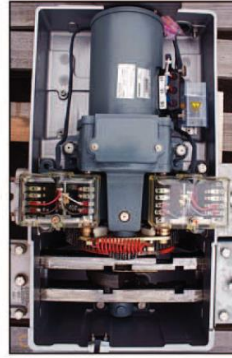
3.2 Kunnossapito

Vaihdetta saa huoltaa vain vaihdepätevä henkilö, ja mikäli huollettavana on sähköisiä osia, pitää olla turvalaitepätevä. Tämän lisäksi säätötyöt tulee suorittaa ohjeiden mukaisessa järjestyksessä, eikä niitä saa tehdä yksin. Säädön jälkeen vaihteen toiminta tulee varmistaa ja tarkistaa, että asento näkyy oikein paikallisessa asetinlaitteessa ja/tai paikallisessa liikenteenohjausjärjestelmässä. Asetinlaitteita on kahta tyyppiä, tietokoneasetinlaite sekä releasetinlaite, ja niitä käytetään liikenteen ohjaamisessa. (Liikennevirasto 2016.)

Kuvissa 9 ja 10 on esitelty kaikki Suomessa käytössä olevat sähkökääntölaitteet ja niiden käyttökohteet.



Siemens Bsg 9, malli 783
 Käytetään lyhyissä vaihteissa
 54E1- vaihteissa aukiajettava malli
 60E1- vaihteissa ei aukiajettava
 Yleisin tyyppi



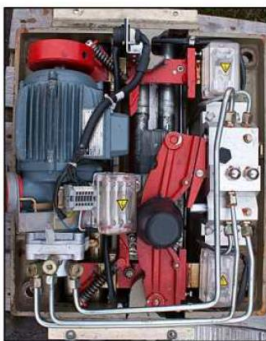
Siemens Bsg 9, malli 546
 Käytetään pitkissä vaihteissa
 Kärkikäntölaite
 Ei aukiajettava



Siemens Bsg 9, malli 691
 Käytetään pitkissä vaihteissa
 Kantakäntölaite
 Ei aukiajettava

Kuva 9. Sähkökäntölaite tyyppiä (Liikennevirasto 2016.)

Kuvan 9 mallit ovat kaikista yleisimpiä malleja.



Alcatel SEL L710H
 Käytetään lyhyissä vaihteissa
 Aukiajettava malli



Siemens S700
 Käytetään pikakäntövaihteissa
 (TYV- vaihteet)



LM Eriksson JEA 722170
 Lyhyissä vaihteissa
 Aukiajettava malli
 Poistuva malli

Kuva 10. Sähkökäntölaite tyyppiä (Liikennevirasto 2016.)

Mikäli kitkakytkimen voima on asetettu pienemmäksi kuin vaihteen kääntövoima, valvontakytkimet pysyvät auki, tällöin se antaa häiriöilmaisun "vaihte ei valvo". (Siemens 2011.)

Kaikkia Siemens Bsg 9 -mallin käntölaite tyyppiä tulisi kääntää vähintään kerran päivässä turvallisuussyistä. Tämä malli pysyy hyvässä kunnossa myös lähestul-

koon ilman kunnossapitoa, ja kunnossapitotehtävät ovat helppoja. Laakerit liikkuvat ilman usein tapahtuvaa säännöllistä rasvausta ja laite on rakennettu niin, että sen toimintavarmuus säilyy, vaikka kunnossapito olisi vähäistä. (Siemens 2011.)

Kuten taulukossa yksi lukee, laite tulisi kuitenkin huoltaa puolivuositain tai 10 000 käänäkerran jälkeen voitelemalla ja rasvaamalla ulkopuolelta, ja vuosittain sekä ulko- että sisäpuolelta. Vaihteenkääntölaite tulee kunnostaa valtuutetulla korjaamoyrityksellä tai valmistajalla, mikäli se on ollut vedessä, se on vahingoittunut, sillä on tehty 500 000 kääntöä, se on erittäin huonossa käyttökunnossa tai se on ollut viisi vuotta käytössä ja toiminnan kannalta tärkeissä osissa on kulumista. Peruskunnostus, jossa kaikki kuluvat osat vaihdetaan, on tehtävä miljoonan käänäkerran tai 10 vuoden käytön jälkeen. Väylävirasto ohjeistaa peruskunnostuksen väliksi seitsemän vuotta, joka on kompromissi kunnostuksen ja peruskunnostuksen välillä. Myöhemmin haastatteluissa selvisi, että 500 000 käänäkerran kunnostus on poistunut tuoreemmista ohjeista. (Siemens 2011; Väylävirasto 2020; haastattelu.)

Taulukko 1. Siemensin käyttöohjeen [2011] kunnossapitosuositukses.

tarkastustoimenpiteet	kuvaus (kappale)	tarkastusväli	
		6 kuukautta	1 vuosi
Kannen lukituksen helppotoimisuus	8.2.1	X	
Sisäpuolisen kunnan tarkastus	8.2.2	X	
Johdinsarjan tarkastus	8.2.3	X	
Osien kunnan toteaminen	8.2.4	X	
Maadoituksen tarkistus	8.2.5	X	
Kammen estolaitteen ja virtalukon toiminnan tarkastus	8.2.6		X
Kääntölaitteen kiinnityksen ja asennusedellytysten tarkistus	8.2.7		X

Salmenperän mukaan automaattinen kunnanvalvonta voisi olla yksi ratkaisu kunnossapidon oikeakohtaiseen ajoitukseen. Tätä on ehdotettu ratkaisuksi

Tampereen teknillisen yliopiston tekemässä tutkimuksessa vaihteiden virheellisistä aukiajoilmaisista vuonna 2014. 2020 VR Fleetcare ja Väylävirasto ilmoittivat lupaavista tuloksista pilottihankkeesta kunnonvalvonnan automatisoimisesta vaihteiden suhteen. Tuotetta suunniteltiin myytäväksi ulkomaillekin. (Salmenperä ym. 2014; Väylävirasto, luettu 14.4.2022.)

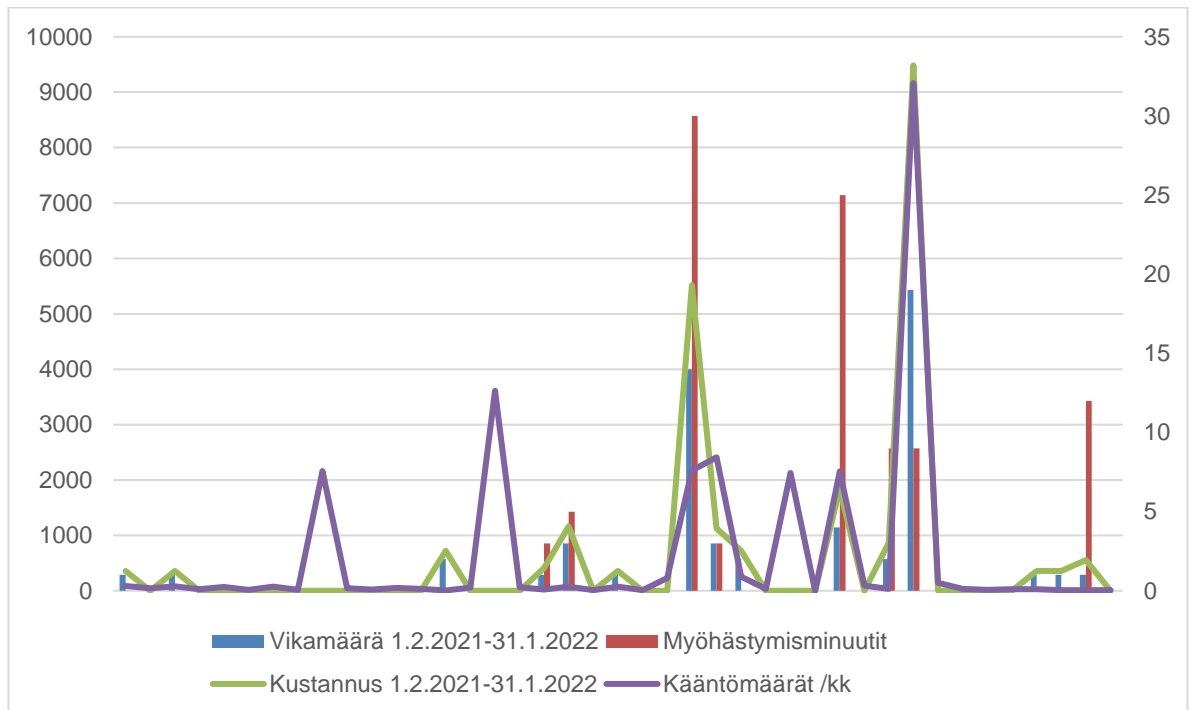
4 Tikkurilan aseman liikennepaikka

Tarkastellaan esimerkkinä Tikkurilan aseman liikennepaikkaa, sillä sieltä löytyy Uudenmaan useimmiten käännetty vaihde, sekä vaihteita, jotka eivät käänny edes joka viikko. Tarkastellaan vikamääriä, käntömääriä, kustannuksia sekä merkitystä liikenteelle. Tiedot on saatu haastatteleamalla veturinkuljettajaa, sisäistä dokumenteista sekä Geometrix-toiminnanohjausjärjestelmästä. Tarkasteluvälinä on tuoreimmasta valmistuneesta tilastosta vuosi taaksepäin. Käntömäärät on otettu tarkasteluvälillä 1.12.2019-1.1.2020. Tiedot löytyvät taulukosta kaksi. Junaliikenne ei kovin paljon vaihtele, joten käntömäärät pitävät suurin piirtein paikkansa kuukaudesta riippumatta.

Taulukko 2. (Raiteistokaavio; Vaihteiden kääntökerrat; Täsmällisyys; Geometrix.)

Tikkurilan vaihteet:	Vikamäärä 1.2.2021-31.1.2022	Myöhästymisminuutit	Kustannus 1.2.2021-31.1.2022	Kääntömäärät /kk
201	1		360	84
202			0	46
203	1		360	82
204			0	28
205			0	66
206			0	14
207			0	73
208			0	14
209			0	2161
213			0	46
214			0	24
215			0	50
216			0	32
217	2		720	4
218			0	58
219			0	3608
220			0	64
221	1	3	408	22
222	3	5	1160	76
223			0	10
224	1		360	74
225			0	10
226			0	230
227	14	30	5520	2172
228	3	3	1128	2408
229	2		720	254
230			0	32
232			0	2123
233			0	harvemmin kuin ker- ran kuussa
234	4	25	1840	2152
235			0	89
236	2	9	864	34
237	19	9	9484	9163
238			0	142
240			0	32
242			0	14
244			0	26
246	1		360	30
248	1		360	10
250	1	12	552	12
342			0	8

Yllä olevassa taulukossa 2 on lueteltu kaikki vaihteet, joita Tikkurilan aseman liikennepaikalla on. Kuten huomaa, vaihde 237 on yliedustettuna sekä kääntömäärissä että vioissa ja kustannuksissa. Myöhästymisminuutteja kyseinen vaihde ei kuitenkaan ole juurikaan aiheuttanut ja 234 sekä 227 ovat eniten myöhästymisiä aiheuttavat vaihteet. Molemmat vaihteet ovat laiturin kaksi päädyissä. Kaaviossa yksi on havainnollistettu taulukon kaksi parametrejä.



Kuva 11. Taulukosta 2 koostettu kaavio havainnollistamisen tueksi.

Vaihteen toiminnalla on kaksi merkitystä, joko siitä pitää päästä oikeaan suuntaan tai sitten se antaa niin sanotusti sivusuoja. Sivusuoja tarkoittaa sitä, että junalle kulkutietä muodostaessa ei saa tulla sellaista tilannetta, että toiselta raiteelta voisi juna tulla kylkeen. Eli jos tarkastelemme liitettä 2 Tikkurilan aseman liikennepaikan raiteistokaavio ja siellä juna kulkee raidetta yksi etelästä pohjoiseen laiturin kaksi kautta, tulee vastavaihteiden 205, 209, 228, 220 ja 204 olla suoraan, jotta juna konkreettisesti pääsee siitä kulkemaan. Vastavaihde on silloin, kun vaihteeseen ajaa sen kärjestä ja siitä pystyisi menemään suoraan tai poikkeavalle. Myötävaihde on taas silloin, kun vaihteeseen ajaa niin sanotusti vaihteen takaa ja se yhdistää viereisen raiteen, mutta siitä ei voi ajaa viereiselle raiteelle. Sen lisäksi myös myötävaihteet 203, 227, 234, 214 ja 206 tulee olla

suoraan, että ei tule aukiajoo, mikä on kielletty ja rikkoo vaihteenkääntölaitteen, vaikka sinänsä juna siitä pystyisikin ajamaan oikeaa reittiä. Aukiajo tarkoittaa sitä, että vaihteen ajaa väkisin siihen suuntaan, mihin on menossa. Tämä onnistuu ainoastaan myötävaihteessa. Tämän lisäksi raiteilla 11, 2A sekä 2B kaikki vaihteet tulee olla siihen suuntaan, joka ei osoita raiteelle yksi, jotta muodostuu kulkutie ja ajonsallivat valot opastimiin ja junan kulunvalvontajärjestelmään. Näitä vaihteita kutsutaan silloin sivusuojiksi.

4.1 Matkustajaliikenne Tikkurilassa

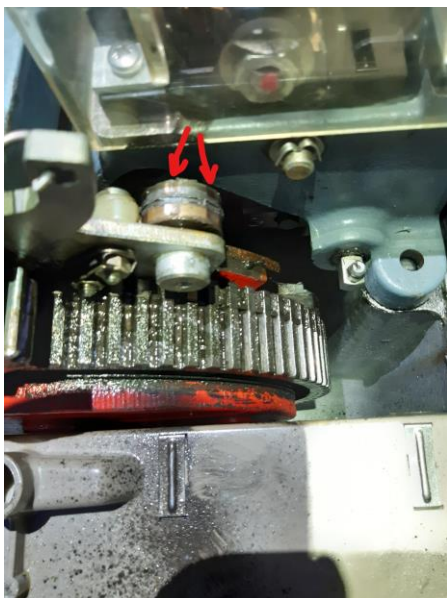
Tikkurilassa pysähtyvät kaikki junat, joten siellä ei ole nopeaa raidetta kaukojunan ohitusta varten. Laitureista ensimmäiseltä lähtee kaikki kaukojunat etelään sekä lähijunista R ja Z, joissa on molemmissa pitkä vuoroväli. Laitureita 2–3 käyttää lähi- ja kaukoliikenne pohjoiseen päin. Välillä kaukojunia menee jopa viiden minuutin välein, joten ne laitetaan vain vapaalle raiteelle, mutta lähijunat kulkevat aina samoilta, näitä käyttää myös R- ja Z- junat. Laitureita 4 ja 6 käyttää usein kulkevat K-, I- ja P- junat ja niissä kulkee juna viiden minuutin välein. Laituri viisi on varalaituri. Lähiliikennekuljettajan näkökannasta vaihteet 209 ja 234 ovat tärkeimmät vaihteet, sillä niistä kulkee hänen sanojensa mukaan normaaliliikenne. (Veturinkuljettajan haastattelu.)

4.2 Vaihde 237

Kaikista eniten käännetty vaihde on laiturista viisi etelään päin. Tosin siitä menee juna kuitenkin ani harvoin yli. Vaihde toimii sivusuojana laitureille neljä ja kuusi, joten sen pitää kääntyä joka kerta, kun laiturista menee juna, toisin sanoen ruuhka-aikana noin neljä kertaa 10 minuutin sisällä. Koska vaihteesta ei mennä yli, se ei kuitenkaan aiheuta juurikaan viivästymisiä, sillä laitureille neljä ja kuusi voidaan kuitenkin liikennöidä, mutta rajoitetuin nopeuksin.

Syksyllä 2021 vaihteeseen alkoi kerääntymään vikoja ja juurisyyselvityksessä havaittiin useita eri alueita, missä vikaa oli. Sähköistä vikaa oli ohjausryhmässä, jonka vaihtamalla saatiin vikamäärää pienemmäksi. Myös vaihteenkääntölaitteen kosketinpakasta oli nastoja irronnut.

Mekaanisena vikana takapotkun estolaitteen rullasta (kuva 11) löytyivät lovet. Ne olivat todennäköisesti tulleet rullan jäädessä jumiin ja sen seurauksena nostolevy oli päässyt hankaamaan rullaa. Kääntölaite vaikutti olevan aika kulunut vioista päätellen. (Haastattelu; Siemensin asiantuntija.)



Kuva 12. lovet rullassa

4.3 Vaihteet 227 ja 234

Vaihteet 227 ja 234 aiheuttivat eniten myöhästymisiä Tikkurilassa tarkastelujakson ajalla, ne sijaitsevat laiturin kaksi etelä- ja pohjoispäässä. Vaihte 227 toimii sivusuojana laiturilta yksi etelään päin menevälle liikenteelle ja sen lisäksi sen yli kuljetaan. Myös myöhässä olevat IC-junat käyttävät laituria kaksi ja siirtyvät sieltä sitten raiteelle 2A vaihteen 227 kautta. Koska osa vioista vaikuttaa vain sivusuojana olemiseen, myöhästymiset vikaa kohden ovat maltillisempia kuin vaihteella 234, joka ei toimi ollenkaan sivusuojana vaan sen yli mennään aina. Tästä voidaan päätellä, että kääntömäärältään keskitasoa olevat vaihteet, joiden tehtävänä on pääsääntöisesti ylikulkeminen eikä sivusuojana olo, aiheuttavat potentiaalisesti enemmän ja pidempiä myöhästymisiä. 234 vaihteen neljä vikaa aiheuttivat enemmän myöhästymisiä kuin vaihteen 237 19 vikaa, vaikka vaihdetta käännetään huomattavasti vähemmän. Laituri kaksi on kierrettävissä

useimmiten laiturien neljä ja viisi kautta, mutta se aiheuttaa ruuhkan, josta seuraa myöhästymisiä. Lisäksi junaliikenteen pitää pudottaa nopeutta huomattavasti, mikäli pitää ajaa ei ajon sallivalla opasteella. Autolla tämä tarkoittaisi punaisia päin ajamista. (Kuljettajan haastattelu; Geometrix; Täsmällisyys.)

4.4 Huollon optimointi

Tällä hetkellä huolto tapahtuu palveluluokkien mukaan ja palveluluokat muodostaa sijainti. Kaikki Tikkurilan vaihteet ovat siis samassa palveluluokassa. Kuten tästä esimerkistä näemme, näinkin lyhyellä matkalla on hyvin erilaisia ja erilaisessa käytössä olevia vaihteita, joiden arvo liikenteen kannalta on erilainen. Kääntömäärät eivät myöskään yksistään kerro vikaantumisesta eikä vika siitä, tuleeko sen takia myöhästymisiä, peruuntumisia ja haittaa junaliikenteelle.

Huollon optimoimiseksi kannattaisi ottaa huomioon lisäksi, kuinka monta kertaa vaihdetta käännetään myös se, kuinka suuri merkitys juuri sillä vaihteella on liikenteelle ja mitkä ovat sen vaihteen aiheuttamat potentiaaliset myöhästymiset. Tikkurilan asemalla lyhyin huoltoväli kannattaisi siis olla vaihteilla, jotka kääntyvät usein tai keskimääräisesti, mutta ylitetään aina käännettäessä sekä sellaisista, joiden viasta voi aiheutua suuri kustannus myöhästymisten muodossa. Vaihde kokee siis enemmän rasitusta kahdessa tilanteessa, jos sen yli ajetaan usein tai jos sen kääntömäärät ovat huomattavasti keskimääräistä suuremmat.

Vaihteet, jotka kääntyvät todella harvoin ovat myös riskinä aiheuttaa vian takia myöhästymisen ns. turhaan, sillä vika voitaisiin havaita jo aikaisemmin, mikäli vaihde käännettäisiin varmuuden vuoksi joka päivä, kuten Siemensin käyttöohjeessakin sanotaan. Kun vika havaitaan silloin, kun vaihdetta ei oikeasti tarvitse, se voidaan korjata ennen kuin siitä on haittaa junaliikenteelle. Tästä on hyvä esimerkki vaihde 250, jota käännetään noin kolmen päivän välein. Jos se olisi käännetty varmuuden vuoksi aikaisemmin, olisiko tämäkin pieni myöhästymisen ja haitta voitu välttää? Voisiko tällaisen tehdä ihan huoltotoimenpiteenä ilman, että epätoiminnallisuuden ilmetessä siitä tulisi varsinaista vikaa, koska ky-

seessä oli testi liikennöinnin varmistamiseksi? Kuitenkin tällaiset vikaantumattomissa harvoin käännettyissä vaihteissa voisi vaihteenkääntölaitteen vaihtamista tehdä harvennetuin välein.

Huoltoon menevät työntekijäkustannuksetkin ovat luonnollisesti pienemmät kuin vikaantumiseen menevät, sillä vikoja varten on päivystystä. Huoltoja pystyy myös keskittämään ja tekemään yhdellä alueella usean kerrallaan, kun viat ovat luonnollisesti milloin missäkin.

5 Vikaantuminen

Asiantuntijahaastatteluiden avulla vikaantumisesta ja vikojen syistä saa melko kattavan kuvan, työssä haastateltiin laajalti jopa vuosikymmeniä töitä tehneitä ammattilaisia GRK:n sisällä asentajista projektipäälliköihin sekä Väyläviraston asiantuntijoita ja laitetoimittajan edustajaa. Haastattelujen kysymykset valittiin teorian pohjalta ja ne käsittelevät laitteelle ominaisia vikoja, vikataajuutta sekä sitä, ovatko viat yksittäisiä vai toistuvia ja niin edelleen.

5.1 Sähkökääntölaitevikoja

Ensimmäinen haastattelukysymys koski suoraan Geometrixistä poimittuja yleisimpiä vaihdevikojä ja kuinka usein ne johtuvat itse sähkökääntölaiteesta. Seläiset viat, jotka selvästi johtuvat jostain muusta jätettiin suoraan pois.

Haastattelujen ja Geometrixin sekä POHA-ilmoitusten vikahistorian perusteella vikaantuminen johtuu enemmän vaihteeseen tulevasta rasituksesta maaperän sekä raidegeometrian takia eikä välttämättä niinkään kääntömääristä. Esimerkiksi Helsingin yksi käännettyimmistä vaihteista 281 ei ole vikaantunut juuri ollelukaan 2015–2021 välisenä aikana, kuten kuvasta 13 nähdään.

RAMS - Kriittisyysluokka 1	v281, Helsinki, 9032 kääntökertaa kuukaudessa								
Vuosi	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Kokonaiskustannus:	
Vikojen määrä	0	1	1	1	0	5	0	8	
Kokonaiskustannus	0	460,72	460,72	460,72	0,00	2303,59	0,00	3685,75	

Kuva 13. Helsingin vaihteen 281 laskennalliset vikakustannukset.

Tätä vaihdetta ei ole vaihdettu ainakaan Kuuran aikana ja vikaantumisen perusteella se ei ole välttämättä kannattavaakaan. Vuoden 2020 viat liittyivät huonosti kääntymiseen ja siihen, että vaihde ei mennyt valvontaan.

5.1.1 Aukiajoilmaisu

Vaihteen aukiajo on kaikissa tilanteissa kielletty, sillä se vaurioittaa vaihdetta ja silloin tulee vaihtaa kääntölaite sekä tankosovitukset, paitsi jos kyseessä on lyhyen 54E1-vaihteen aukiajo, jonka sähkökääntölaite mahdollistaa aukiajon. Silloinkin tulee varmistaa säädöt ja mahdolliset vauriot. (Liikennevirasto 2016.)

Aukiajoilmaisulla tarkoitetaan tilannetta, jossa toimiva vaihde ilmaisee aukiajoa, vaikka sitä ei ole ajettu auki. Tämä voi aiheutua sähköisestä kytkentähäiriöstä, virheellisestä vaihteen säädöstä tai muusta vakavasta syystä. Myös sepeli, lumi tai jää vaihteen kielten välissä voi aiheuttaa virheellisen aukiajoilmaisun. (Liikennevirasto 2016.)

Vaihteen kääntölaitteen kosketin voi antaa virheellisiä aukiajoilmaisuja, mikäli sen säädöt ovat muuttuneet. Kosketinyksikkö koostuu kahdesta kosketinvivusta sekä -jousista ja johtorullista. Sen tehtävänä on ohjata moottoria sekä pistää valvontavirta päälle tai pois. (Liikennevirasto 2016; Siemens 2011.)

Kun vaihteeseen tulee aukiajoilmaisu, siitä ei saa liikennöidä ennen kuin vaihteen toiminta on tarkastettu. Se tulee tarkastaa silmämääräisesti, sekä tarkistamalla vaihteenkääntölaitteen ja vaihteenkoskettimien säädöt. Tarvittaessa vioituneet osat vaihdetaan ja/tai säädetään uudestaan. Jos vaihteen kielten välissä on jotain, se tulee poistaa ja tarkistaa vaihteen toimivuus. (Liikennevirasto 2016.)

Haastateltavista lähes kaikki mainitsivat säädöt ongelmana. Tätä tukee myös TTY:n tutkimuksessa tehty pilotti säätöjen muuttamisesta, jossa aukiajoilmaisut ovat vähentyneet. Aukiajoilmaisuja tulee enimmäkseen pitkissä vaihteissa, 1:14 tai sitä pidemmissä. Komponentteina näissä on usean sähkökääntölaitteen li-

säksi lisäkoskettimia ja tuentatankoja, sillä useampi sähkökääntölaite olisi kalliimpi hankinta. Hakosillan vaihteessa 242 on testattu lisätä yksi sähkökääntölaite lisäkoskettimen tilalle, se on vähentänyt vikaantumista huomattavasti.

Aukiajoilmaisuus johtuu useimmiten koskettimiin kohdistuvasta tärinästä, sillä jos kosketin saa yhteyden edes 0,5 sekunnin ajaksi, laite antaa virheellisen aukiajoilmaisun. Nämä ilmaisut tulevat lähes aina junan alla. Tavarajunat ja etenkin venäläiset tavarajunat ovat ongelmallisia. Pyörien lovia kyllä mitataan rajalla ja vain hyvä kuntoiset pääsevät läpi. Vallitsevan maailman tilanteen takia pystytään katsomaan, jäävätkö aukiajoilmaisut suurimmaksi osaksi pois ja johtuiko vika kuitenkin venäläisistä tavarajunista. (Haastattelut.)

Haastatteluissa vian syyksi sanottiin säätä ja lämpötilaeroja, koskettimien kulumista, säätöjen liiallista tiukkuutta, kitkaa ja vettä poterossa. Kitkaan, säätöihin ja koskettimien kulumiseen GRK voi omilla toimillaan vaikuttaa eniten. Säätöjen raja-arvot toki tulevat RATO (ratatekniset ohjeet) 14, mutta niissä pysymiseen. Säätöjen mittaamisessa merkityksellistä on mittauksen laatu ja se, onko tulkkausväline aina tarkalleen samassa paikassa. (Haastattelut.)

5.1.2 Hakosillan vaihteet

Työssä käytetään esimerkkivaihteina kahta Hakosillan vaihdetta 231 ja 241, sillä niissä on molemmissa juuri vaihdettu sähkökääntölaite ja jatkoseuranta on täten helppoa. Hakosillan vaihteet ovat rautateillä myös surullisenkuuluisia haastavan raidegeometrian, maaperän ja painavien tavarajunien sekä venäläisen kaluston vuoksi. Kyseiset vaihteet ovat aiheuttaneet viimeisen vuoden aikana suuria kustannuksia. Vuodesta 2015 alkaen vaihteeseen 241 on tullut 115 vikaa ja 231 vaihteeseen 62 vikaa (POHA-järjestelmä; Geometrix). Vioista puuttuu vuoden 2020 alusta huhtikuuhun asti, sillä GRK aloitti 1.4.2020 kunnossapitäjänä. Viat järjestelmään ovat tulleet käyttökeskuksen kautta, kirjausmenetelmä on hieman vaihteleva henkilöstä riippuen. Tästä johtuen kaikkia vikoja ei välttämättä ole löytynyt tähän tilastoon. Näissä molemmissa oli vaihdettu c-sähkökääntölaite yli 10 vuotta sitten.

Hakosillan aukiajoja koskevassa tutkinnassa TTY suositteli virheellisiä aukiajoilmoituksia estääkseen säännöllistä kääntölaitteen valvontatankojen sekä kääntölaitteen koskettimien säätöä ja kunnonvalvontaa. Säätö vuonna 2014 poisti tehokkaasti ongelmia, mutta kunnossapitoa tämän perusteella ei muutettu. 2015 ongelmat palasivat. Tärinä junan alla on voimakasta, säädöt tehdään millin tarkkuudella, joten pienikin muutos säädöissä oletettavasti vaikuttaa toimintaan. Tällä hetkellä palkkien säätäminen ei kuulu huoltotoimenpiteisiin. 2015 säätö tilitettiin, mutta ainoastaan kontaktorien eikä valvontatankojen, tällöin säätö ei poistanut samanlailla ongelmia kuin vuonna 2014. (Salmenperä ym. 2014; Varis & Luomala 2022.)

Taulukosta kolme näemme hyvin, kuinka paljon kustannuksia yksi vaihde voi tuoda vuoden tarkasteluajalla. Taulukossa on kuukausittaiset myöhästymisminuutit molemmista vaihteista ja vihreällä pohjalla se, mistä näkee, kuinka paljon myöhästymiset ovat maksaneet vuoden tarkastelujaksolla. Tarkastelujaksona on käytetty viimeisimpänä valmistunutta tilastotietoa ja siitä vuosi taaksepäin.

Taulukko 3. Kustannukset Hakosillassa kuluneen vuoden aikana

Myöhästymisminuutit	Hakosilta 241	Hakosilta 231
helmikuu 2021	33	58
maaliskuu 2021	22	
huhtikuu 2021	29	
toukokuu 2021		5
kesäkuu 2021	24	19
heinäkuu 2021	36	
elokuu 2021	25	31
syyskuu 2021	25	
lokakuu 2021		18
marraskuu 2021		
joulukuu 2021	6	15
tammikuu 2022		8
Yhteensä, minuuttia	200	154
ATA-kustannus, myöhästymisen, €	3200	2464
Toistuvat viat Hakosillassa, €	2500	2500
Vikoja yhteensä, kpl	25	22
ATA-kustannus, €	8700	7954
Työkustannus, €	6000	5280
Suorat kustannukset, €	14700	13234

Kuvasta 14 näkee, että Hakosillan vaihteen 241 vuosittaiset korjauskustannukset ovat melko suuria. Tämä on laskettu kaikkien vaihdevikojen keskimääräisten kustannusten perusteella, joten lasku on vielä alakanttiin, sillä siinä on huomioitu toistuvien vikojen kulujen keskimääräinen osuus per vika, ja Hakosillassa ovat olleet nämä kulut täysimääräisinä joka vuosi. Mikäli vaihteen sähkökääntölaite olisi vaihdettu uuteen 2015, se olisi kannattanut siis vaihtaa jo 2018 uudestaan, jotta kustannukset olisivat pysyneet kurissa. Ongelmallisen tästä tekee se, että vaihteessa on useampi vaihteenkääntölaite. Tässä tapauksessa oli kuitenkin selvää, että c-kääntölaitteessa oli vika, sillä vikoja on tullut sen vaihtamisen jälkeen kaksi ja kumpikin ovat kohdistuneet e-kääntölaitteeseen, joka lienee seuraava vaihdettava. (Fleetcare, Geometrix 5.4.2022.)

	Hakosilta V241							
Vuosi	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Kokonaismäärä:
Vikojen määrä, KPL	10	18	9	20	25	8	25	115
Kokonaiskustannukset, €	4607,18	8292,93	4146,46	9214,36	11517,96	3685,75	11517,96	52982,60

Kuva 14 Hakosilta V241 -vikojen keskimääräiset kustannukset 2015–2021.

Kuvassa 15 on Hakosillan vaihteen 231 korjauskustannukset. Myös vaihteen 231 osalta oli selvää, että c-kääntölaitteessa oli vika. Hakosillassa on automaattinen kunnonvalvonta, joka on osa VR fleetcare -pilottia ja sieltä pystyy etsimään tarkasti, mihin kääntölaitteeseen häiriö on tullut. Käyttöliittymä ei ole optimaalinen, sillä sieltä saa tietoja vain päiväkohtaisesti, joten dataa pitää etsiä käsipelillä päivä ja vaihde kerrallaan. (Fleetcare, Geometrix.)

	Hakosilta V231							
Vuosi	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Kokonaismäärä:
Vikojen määrä, KPL	3	8	3	10	13	4	21	62
Kokonaiskustannukset, €	1382,15	3685,75	1382,15	4607,18	5989,34	1842,87	9675,08	28564,53

Kuva 15 Hakosilta V231 -vikojen keskimääräiset kustannukset 2015–2021.

5.1.3 Kääntyy huonosti -vika

Sähköinen vika voi olla, jos käämi vuotaa runkoon, mutta tätä harvoin tapahtuu. Vika on siis usein mekaaninen. Vika voi olla siinä, että vaihde on kuiva ja aiheuttaa liikaa kitkaa, eikä pääse kääntymään riittävän nopeasti. Usein vika voi olla kitkakytkimessä, joka luistaa, koska on liian kulunut. Myös vaihteen alla olevat rullat, jotka helpottavat vaihteenkääntöä voivat olla liian matalalla, eivät saa

kosketusta vaihteeseen ja pääse siten avustamaan kääntöä. Ulkoisina syinä ovat lika vaihteen kannassa ja rasvan kovettuminen. Moottorin väsyminen voi olla yksi syistä. Suuri osa haastateltavista puhui kitkakytkimestä ja laitehuollon edustajakin sanoi, että niitä joudutaan vaihtamaan todella paljon perushuollossa. Kitkakytkimen toimintaa pystytään arvioimaan mittaamalla kielen kääntövoimaa, ja tähän tarvitaan referenssiarvot. Vika voi olla myös tiedonsiirrossa ja asetinlaitteessa, sillä ”kääntyy huonosti” -vikailmaisuuksia tulee, jos vaihteella kestää kääntäytymään pidempään kuin raja-arvo antaa myöden. Ilmaisuuksia tulee, vaikka vaihde kääntyy, lukittuiksi ja menisi valvontaan.

5.1.4 Vaihde ei valvo -vika

Vaihde ei valvo tarkoittaa sitä, että vaihde ei mene valvontaan ja siitä ei saa silloin mennä yli. Tämä voi johtua mekaanisesta tai sähköisestä viasta. Mikäli vaihde ei valvo kumpaankin suuntaan, silloin on kyse sähköisestä viasta. Jos ei valvo vain toiseen suuntaan, on kyse mekaanisesta viasta ja yksinkertaisimmillaan vaihteen kielten välissä on jotain, mikä estää valvonnan. Myös säädöt voivat olla pielessä. Sähköinen vika voi johtua tiedonsiirrosta asetinlaitteella vaihteenohjausryhmässä, sulake tai kosketinpakka voi pettää. Haastateltavien mukaan tämä vika johtuu melko harvoin itse sähkökääntölaitteesta.

5.1.5 Ei lukitu -vika

Asentajia haastatellessa tuli ilmi, että kosketinkynnet ovat viime vuosina olleet hauraampia ja menneet rikki helpommin, jolloin ne aiheuttavat oikosulun kääntölaitteessa. Jos vaihde kuitenkin kääntyy, vika on useimmiten siinä, että vaihteen kielten välissä on jotain, mikä estää lukkiutumisen. Ei valvo ja ei lukitu ovat siis samantyyppisiä vikoja. Tässäkin vikatyypissä esille nousi kitkakytkin ja sen luistaminen, jonka vuoksi kääntölaite ei jaksa työntää kieliä perille asti. Rautaosien kuluminen voi myös aiheuttaa tätä vikaa, kun ruoste tai jäyste estää lukkiutumisen.

5.1.6 Muut viat

Lopuksi haastateltavia pyydettiin kertomaan muita vikoja, joita tulee mieleen. Asentajilta tulikin hyviä huomioita kuluvista osista, kuten esimerkiksi kosketinjousista nappi lähtee irti, jonka seurauksena jousi katkeaa ennen aikojaan. Koskettimen kytkennässä käytettyjä abikoliittimiä on ollut viime vuosina poikki. Oikosulkua aiheuttaa virtalukon johtimien kulumisen suojafeltiä vasten, myös yksi työnjohtajista mainitsi virtalukon säikeiden hankautumisesta. Mekaanisena vika mainittakoon Railexin keskitapin löystyminen, siirtyminen pois paikaltaan ja lopulta katkeaminen. Tässäkin haastateltavat halusivat nostaa koskettimien kulumisen uudestaan esille. Etenkin pitkän vaihteen sormikosketin on todella haavoittuva.

5.2 Vikataajuus ja vaikutukset liikenteeseen

Haastateltavat olivat yksimielisiä siinä, että ensimmäisen vian ilmaantumisesta on mahdotonta arvioida ja kaikki olivat enemmän kallellaan siihen, että vikaantumisen korreloisi käänntömäärien mukaan myös silloin, kun on todella vähän kääntöjä. Geometrixin ja vanhempien POHA-ilmoitusten data ei kuitenkaan tue tätä käsitystä, sillä joissain usein käänntetyissä vaihteissa on paljon vikoja, mutta ei läheskään kaikissa. Suuri yksimielisyys oli myös siinä, että moottorissa on todella harvoin vikaa ja viat johtuvat pääsääntöisesti kosketinpakasta ja kitkakytkimestä. Erimielisyyttä oli siinä, ovatko viat toistuvia vai yksittäisiä. Osan mielestä sähkökääntölaitevian ilmetessä laite menee kerrasta vaihtoon ja osa taas oli sitä mieltä, että osia vaihtamalla saadaan lisää aikaa laitteelle. Myös siinä oli erimielisyyttä, voiko huollon toiminnalla, tai lähinnä sen muuttamisella, vaikuttaa vikaantumistaajuuteen. (Haastattelut, Geometrix.)

Vaikutukset liikenteeseen riippuvat hyvin pitkälti vaihteen sijainnista, eli onko alueella paljon vaihteita ja paljon liikennettä. Jos alueella on vähän vaihteita, mutta paljon liikennettä, vaikutukset liikenteeseen ovat suurimmat vaihteen vikaantuessa, sillä sitä ei pystytä kiertämään mitenkään.

Sijainnilla on vaikutusta myös vaihteen vikaantumiseen, sillä maaperä, ilmastolliset olosuhteet ja raidegeometria määrittävät hyvin pitkälle sitä, miten paljon vaihteeseen ja kääntölaitteeseen kohdistuu rasitusta. Etenkin Hakosillan vaihteet ovat osoittaneet, että maaperän pehmeydellä on suurikin merkitys. Jos taas vaihde on sellaisessa paikassa, missä on paljon laakeaa maastoa, lumi kinosuu raiteille helpommin. Veden äärellä taas kosteutta saattaa olla enemmän ja poterot voivat täyttyä vedestä ja jopa jäätyä, mikä luonnollisesti aiheuttaa sähkölaitteissa vikaantumista. Kosteus vaikuttaa myös kosketinrullan hapettumiseen. (Haastattelut.)

5.3 Huollon ja kunnonvalvonnan rooli

Suurin osa haastateltavista oli sitä mieltä, että kunnossapito-ohjeet sekä käytännöt ovat nyt hyviä. Osa huolloista onkin jo kohdennettu enemmän vikaantuville paikoille. Muutettavaa löytyi säätöarvoista, tutkimuskohteista ja ympäristön huomioonottamisesta vaihteen toiminnasta. Rasvaamista voisi tihentää tiettyinä vuodenaikoina kuivumisen estämiseksi tai jopa kokeilla automaattista rasvausta usein kuivuvassa kohteessa. Rasvauksen takia erikoispitkän (1:26 ja 1:28) vaihteen teleskooppi saattaa likaantua ja haastattelun perusteella toiminta voi häiriintyä sen johdosta. Siitä syystä samalla kun vaihteenkääntölaite vaihdetaan, voitaisiin vaihtaa myös teleskooppi ja vietäisiin vaihteessa ollut kammiopesukoneeseen puhdistukseen.

Kosteutta sitovaa silica-geeliä ehdotettiin ja sellaista onkin nyt koekäytössä Keravalla vaihteessa 605. Asentajan mukaan vikaantuminen on helpottanut käyttöönoton jälkeen. Metrossa kosteuden poispitämiseen on alettu kehittämään tiiviimpää kantta kääntölaitteelle. Siellä on samanlaiset sähkökääntölaitteet kuin junaliikenteessä. Tietyissä paikoissa myös vaihemoottorin huoltoa voisi tihentää ja mitata, ovatko moottorit samassa tahdissa, tällä mittauksella pystyy arvioimaan moottorin kuntoa. Raidelukitsimen (Railex) huolto tulisi olla muun huollon kanssa samaan aikaan.

Automaattinen kunnonvalvonta sai niiden haastateltavien keskuudessa kiitosta, jotka ovat siihen enemmän perehtyneet. Osassa pitkiä vaihteita on Fleetcaren automaattinen kunnonvalvonta. Käyttöjärjestelmä kaipaa vielä hienosäätöä, mutta sillä on kuitenkin suuri potentiaali. Sieltä ei voi hakea esimerkiksi historia-tietoja mitenkään kätevästi, jotta voisi arvioida vaihteluita, vaan kaikki tieto tulee tehdä käsipelillä. Fleetcaren avulla voi kuitenkin katsoa esimerkiksi, mihin kääntölaitteeseen vika kohdistuu, eikä sitä tarvitse etsiä sieltä kääntölaite kerrallaan. Myös ELMAS-ohjelmistoa ehdotettiin kunnonvalvonnan ja ennakoivan kunnossapidon avuksi. ELMAS pystyy simuloimaan laitteessa kohdat, jotka kuluvat. (Haastattelut.)

6 Päätelmät, yhteenveto

Työssä esiintyvien tietojen valossa ei pysty suosittelemaan automaattisesti sähkökääntölaitteen vaihtamista useammin kaikkiin useasti käännettyihin kohteisiin. Tutkimuksen valossa enemmän vikaantumiseen vaikuttaa vaihteen sijainti raidegeometriassa ja etenkin se, kuinka suuri ulkoinen rasitus vaihteeseen tulee, eikä niinkään kääntömääristä johtuva rasitus. Kääntölaitetta tulisi tarkastella kokonaisuutena verraten sen ympäristöön ja huollot sekä vaihdot suunnitella sen mukaan. Paikkoja, joissa koko kääntölaitteen peruskunnostusta useammin kannattaa harkita, on ainakin surullisen kuuluisa Hakosilta.

Näiden tietojen valossa kannattaa enemmän parantamaan kunnonvalvontaa ja huolto-ohjeita sen perusteella. Tällä hetkellä huolto keskittyy tiettyihin toimenpiteisiin ja siellä ei esimerkiksi mitata kääntövoimaa tai moottorien toimintaa. Sähkökääntölaitteen vaihto maksaa todella paljon ja niitä on tuhansia pelkästään kunnossapitoalue yhdellä. Mittaamalla erilaisia toimintoja voisimme päätellä osien kulumista.

Kitkakytkimen toiminnan mittaaminen voima-anturilla voisi antaa kiinnostavia tuloksia sen toiminnasta, haastattelun perusteella mittaus tulisi tehdä kääntölaitteen tangoista. Useampi haastateltava oli sitä mieltä, että kitkakytkin kuluu nopeasti ja saattaa aiheuttaa vikaantumista. Myös vaihdekäsikirjassa mainitaan,

että kitkakytkimen voiman liian pieneksi asettaminen aiheuttaa sitä, että vaihde ei mene valvontaan. Voima voi jäädä liian pieneksi myös kulumisen takia, kun kytkin luistaa. Tätä varten tulisi ensin mitata jostain optimaalisesti toimivasta vaihteesta tämä voima ja tehdä referenssiarvot, jotta kulumisen huomattaisiin ennen jatkuvaa vikaantumista. Aiheellista olisi myös selvittää, voisiko kunnossapitäjä vaihtaa kitkakytkimen maastossa, kuten nyt vaihdetaan kosketinsiltoja.

Fleetcaren automaattinen kunnonvalvonta mittaa kääntölaitteiden käyttämää sähköä. Kun vika tulee, siellä näkyy selkeä poikkeama. Kuvassa 15 vasemmalla on "critical"-ilmoituksen antanut hälytys ja oikealla normaali toiminta. Kiinnostavaa on, mikä piikki sähkökäyrässä on ja pystyisikö tätä kunnonvalvontaa hyödyntämään vikojen ennakkoinnissa juuri seuraamalla sähkökäyriä? Tästä yksi haastateltavakin mainitsi, tosin tarvetta on vielä järjestelmän kehitykselle ja historiatietojen saamiselle sieltä.



Kuva 15. Fleetcare automaattisen kunnonvalvonnan datasta sähkökäyrät.

RAMS-järjestelmän kehittämisessä tärkeää on datan yhtenäisyys ja tilastoiminen. Tällä hetkellä mistään ei saa tietoa siitä, kuinka pitkään mikäkin sähkökääntölaite on maastossa ollut ja vaihteet ovat järjestelmässä kokonaisuutena. Joissakin vaihteissa on kuitenkin useita kääntölaitteita, ja viat kohdistetaan aina siis vaihteeseen, eikä siihen yksittäiseen komponenttiin. RAMS:in käyttöönoton kannalta olisi tärkeää, että kaikki komponentit olisi inventoitu ja tieto niiden asentamisvuodesta olisi Geometrixissä, jotta viat saataisiin kohdennettua oikein ja huoltoa pystyisi oikea-aikaisesti suorittamaan. Dataan olisi syytä saada liitettyä myös välilliset kustannukset, eli ainakin komponentin vian aiheuttamat kustannukset ATA-mittarissa.

Reaaliaikainen laskenta vikakustannuksissa voisi antaa hyvää infoa perusteellisemmän huollon tarpeesta laitekohtaisesti. Tämä vaatisi jo enemmän koodausta tai työtunteja, mutta on kuitenkin toteutettavissa. Laskentaa voi tehdä myös käsipelillä ongelmallisiksi tiedetyillä vaihteilla. Alun perin ehdotettiin kriittisyysluokkia. Työtä eteenpäin tehdessä selvisi, että se ei ehkä ole järkevin lähestymistapa. Tikkurilan liikennepaikan case-esimerkistä erottuivat tietyt vaihteet, jotka ovat liikenteelle kriittisimpiä. Ne erottuivat haastatteleamalla kuljettajaa ja peilaamalla tietoja junien kulkureiteistä vaihteiden kääntömääriin. Kunnossapitoa kannattaisi siis suunnitella yhteistyössä tahojen kanssa, jotka tietävät, mitä raiteita ja vaihteita pitkin junat useimmiten kulkevat. Huoltoa näihin kohteisiin voisi painottaa vikojen välttämiseksi. Tuhansista kääntölaitteista kuitenkin melko harva vikaantuu jatkuvasti ja ongelmat näyttävät kasaantuvan tietyille paikoille, joten näiden osalta ainakin olisi syytä tehdä ihan laitekohtaista tarkempaa tarkailua.

Harkitsemisen arvoista on myös automaattisen rasvauksen pilotointi, jota yksi haastateltavistakin ehdotti. Tietyillä paikoilla ja tiettyinä aikoina vaihteet kuivuvat nopeammin ja ainakin sellaisissa voisi automaattinen rasvaus toimia. Nyt, kun sitä ei vielä ole, joissain paikoissa olisi syytä pohtia, kannattaako rasvausta tihentää vähentääkseen vikaantumista.

Vaihdeviat ovat ainoita vikoja, joita käyvät eri alojen ammattilaiset korjaamassa. Siellä käyvät sekä turvalaiteasentajat että vaihdetoimialan asentajat. Usein ensimmäisenä paikalle menevät vaihdetoimialan asentajat, he tarvittaessa kutsuvat turvalaiteasentajan paikalle. Vikaa etsitään sekä vaihteesta maastosta että asetinlaitteelta. Tästä syystä olisi hyvä olla jokin protokolla, missä vaiheessa viimeistään kutsutaan turvalaiteasentaja katsomaan vikaa. Usein vika korjaantuu myös rasvaamalla ja sitten vaihdetta saatetaan vaan rasvata monta kertaa, ennen kuin selvitetään tarkemmin, mistä vika johtuu. Asentajat mainitsivat korjaustilanteessa olevasta aikataulupaineesta, joka on täysin ymmärrettävä, sillä vaihde on saatava nopeasti liikenteelle. Olisiko kuitenkin mahdollista palata vaihteelle myöhemmin rauhallisemmän liikennöinnin aikaan ja tarkastella tar-

kemmin? Onko kannattavaa laittaa sinne aina myös turvalaiteasentaja tutki-
maan vikaa, vaikka se olisi korjaantunut rasvaamisella tai itsestään? Tai tie-
tyissä tapauksissa hälyttää automaattisesti molemmat vialle? Yksi mielenkiintoi-
nen vaihtoehto olisi kouluttaa vaihdetoimialan asentajista myös turvalaiteasen-
tajiä, jolloin heillä olisi kokonaisvaltainen osaaminen vaihteen toimintaan.

Lähteet

Asiantuntijahaastattelut 14.3.2022-12.4.2022.

ATA-mittariston sisältö kaudelle 3. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. GRK Rail Oy - Kuura.

Coit & Zio. 2.9.2019. Rams Optimization. Elsevier.

Dhillon. Hazard rate. 2013. Verkkoaineisto. Science Direct. < <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hazard-rate> > Luettu 14.4.2022.

Fleetcare. Automaattisen kunnonvalvonnan järjestelmä.

Geometrix. Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä.

Kumar & Thaduri. 2020. Integrated RAMS, LCC and Risk Assessment for Maintenance Planning for Railways. Sveitsi: Springer Nature Switzerland AG.

Liikennevirasto. 2016. Vaihdekäsikirja. Yrityksen sisäinen dokumentti. GRK Rail Oy - Kuura.

Lyytikäinen, Antti. 2010. RAM-analyysi, käytännön näkökulmia. Promaint 5, 40-42.

Mahboob & Zio. 2018. Handbook of RAMS in Railway Systems, Theory and Practice. Florida: Taylor & Francis Group.

Salmenperä ym. 2014. Vaihteiden perusteettomat aukiajoilmaisut. Yrityksen sisäinen dokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto.

SFS-EN 50126-1. 2017. Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Generic RAMS Process. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 75 s.

Siemens. 2011. Vaihteenkääntölaite Bsg. antr. 9 Käyttöohje. Yrityksen sisäinen dokumentti. GRK Rail Oy - Kuura.

Täsmällisyys. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. GRK Rail Oy - Kuura.

Uuden suomalaisteknologian avulla saadaan reaaliaikaista tietoa vaihteiden kunnosta – pilotista lupaavia tuloksia. 21.10.2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. < <https://vayla.fi/-/uuden-suomalaisteknologian-avulla-saadtaan-reaaliaikaista-tietoa-vaihteiden-kunnosta-pilotista-lupaavia-tuloksia> > Luettu 14.4.2022.

Väylävirasto. 2020. Rautatieturvalaitteiden yleiset kunnossapito-ohjeet. Yrityksen sisäinen dokumentti. Väylävirasto.

Vaihteiden kääntökerrat. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. GRK Rail Oy - Kuura.

Varis & Luomala. 2022. Vaihteiden kehitystyö. Toistaiseksi julkaisematon tutkimus. Helsinki: Väylävirasto.

Liitteet

Liite 1 lyhenteet

RAMS = reliability (luotettavuus), availability (saatavuus), maintainability (kunnossapidettävyys), safety (turvallisuus)

RATO = ratatekniset ohjeet

ATA = avaintulosmittari

POHA = Poikkeamien hallintajärjestelmä

MTTF = mean time to failure, aika vikaan

MTBF = mean time between failures, vikojen välinen aika

MTTR = mean time to restore, korjausaika

HR = hazard rate, vian todennäköisyys

LCC = life cycle cost, elinjaksokustannus

