

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Sjöholm

Etäkunnonvalvonnan hyödyntäminen kiskokaluston kunnossapidossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi AMK-tutkinto

Älykäs teollisuus

Opinnäytetyö

31.1.2021

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Ville Sjöholm Etäkunnonvalvonnan hyödyntäminen kiskokaluston kunnossapidossa 37 sivua + 2 liitettä 31.1.2021 |
| Tutkinto | Ylempi AMK-tutkinto |
| Tutkinto-ohjelma | Älykäs teollisuus |
| Suuntautumisvaihtoehto | |
| Ohjaajat | Lehtori - Jukka Karppinen Director, Digital Services - Karl Lönngren |
| <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää etäkunnonvalvonnan hyödyntämisen nykytilannetta ja mahdollisia tulevaisuuden investointeja raideliikenteessä. Työssä käsiteltiin myös perinteisiä kunnossapitolajeja ja mitä ehkäisevästä kunnossapidosta siirtyminen kuntoon perustuvaan kunnossapitoon ja ennakoivaan kunnossapitoon vaatii.</p> <p>Lähivuosien aikana 1980-luvulla hankitut korkealattiaiset raitiovaunut ja 1990-luvun alkupuolella hankitut ensimmäisen sukupolven matalalattiaraitiovaunut ovat tulossa elinkaarensa päähän. Joissain tapauksissa kalusto on vielä niin hyvässä kunnossa, että kalustoon on mahdollista tehdä täyskorjaus, jossa vaunuun päivitetään samalla uutta teknologiaa. Mutta se voi tarkoittaa myös uuden kaluston hankintaa. Molemmissa tapauksissa, sekä täyskorjauksessa, että uuden kaluston hankinnassa kunnossapitokustannukset ja etäkunnonvalvonta ovat merkittävässä osassa päätöksentekoa.</p> <p>Kunnossapito muodostaa noin puolet kiskokaluston elinkaaren aikaisista kokonaiskustannuksista. Tällä hetkellä alalla tehdään pääasiassa ennakoivaa huoltoa aika- tai kilometripohjaisesti, mutta huoltoja optimoimalla ja kunnossapitoa kehittämällä sekä kaluston käytettävyyttä että luotettavuutta parantamalla, on mahdollista saada merkittäviä säästöjä kaluston elinkaaren aikana.</p> <p>Kysely etäkunnonvalvonnan hyödyntämisestä kunnossapidossa toteutettiin sähköisenä kyselytutkimuksena. Kysely toteutettiin online-kyselynä ja se koostui kymmenestä kysymyksestä. Kyselyyn oli mahdollista vastata neljän viikon ajan loka-marraskuussa 2020. Tutkimukseen valittiin kolme eri markkina-aluetta, Pohjoismaat, Saksa ja UK. Kaiken kaikkiaan vastauksia kertyi 19 kappaletta.</p> <p>Tutkimuksesta ilmenee, että digitalisaatiota ei voida myydä lopputuotteena. Kunnonvalvonnan toteutus tulee aina räätälöidä vastaamaan kunkin käyttäjän kalustoa ja kunnossapitoprosesseja. Toteutus on rakennettava käyttäjäkohtaisesti ja sen on oltava muokattavissa tarpeiden, rajoitusten ja rahoituksen mukaan.</p> | |
| Avainsanat | kiskokalusto, kunnonvalvonta, kunnossapito, LCC, IoT, light rail |

| | |
|--|--|
| Author Title | Ville Sjöholm Utilizing remote condition monitoring in the maintenance of rail vehicles |
| Number of Pages Date | 37 pages + 2 appendices 31 January 2021 |
| Degree | Master of Engineering |
| Degree Programme | Intelligent Industrial Solutions |
| Specialisation option | |
| Instructors | Senior Lecturer - Jukka Karppinen Director, Digital Services - Karl Lönngren |
| <p>The purpose of this thesis was to find out the current situation of the utilization of remote condition monitoring and possible future investments in railway business. The work also dealt with traditional types of maintenance and what the transition from preventive maintenance to condition-based maintenance and predictive maintenance requires.</p> <p>The high-floor trams acquired in the 1980s and the first-generation low-floor trams acquired in the early 1990s are coming to an end of their lifecycles. In some cases, the equipment is still in such a good condition that it is possible to make a complete repair of the equipment and at the same time upgrade the vehicle with new technology. But it can also mean purchasing new fleet. In both cases, for complete repairs and for the acquisition of new equipment, maintenance costs and remote condition monitoring are an important part of decision-making.</p> <p>Maintenance costs make up for about half of the total life cycle cost of rolling stock. At present, the industry mainly performs preventive maintenance on a time or kilometer basis, but by optimizing maintenance by improving both the availability and reliability of the fleet, it is possible to achieve significant savings over the life of the fleet.</p> <p>The survey on the utilization of remote condition monitoring in maintenance was executed as an online survey, which consisted of ten questions and was open for answers for four weeks in October-November 2020. Three different market areas were selected for the survey, the Nordic countries, Germany and UK. In total, 19 responses were collected.</p> <p>The study shows that digitization cannot be sold as an end product. The implementation of condition monitoring should always be tailored to suit each user's equipment and maintenance processes. Implementation must be user-specific and adaptable to needs, limitations, and funding.</p> | |
| Keywords | Remote condition monitoring, Condition based maintenance |

Sisällys

Esipuhe

Lyhenteet

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Kunnossapito | 4 |
| 2.1 | Standardit | 5 |
| 2.2 | Kunnossapitolajit | 6 |
| 2.2.1 | Korjaava kunnossapito | 7 |
| 2.2.2 | Ehkäisevä kunnossapito | 8 |
| 2.2.3 | Opportunistinen kunnossapito | 10 |
| 3 | Data | 11 |
| 3.1 | Datan laatu | 12 |
| 3.2 | Datan kerääminen ja sen hyödyntäminen | 13 |
| 3.3 | Datan omistajuus | 16 |
| 3.4 | Kyberturvallisuus | 16 |
| 4 | Tutkimusasetelma/tutkimusmenetelmät | 17 |
| 4.1 | Kyselylomakkeen suunnittelu | 17 |
| 5 | Tulosten analysointi | 18 |
| 6 | Pohdinta-osa | 29 |
| 6.1 | Kunnonvalvonnasta kohti ennakoivaa huoltoa | 30 |
| 7 | Yhteenveto | 33 |
| | Lähteet | 36 |

Liitteet

Liite 1. Kyselytutkimuksen kysymykset - Pohjoismaat/UK

Liite 2. Kyselytutkimuksen kysymykset - Saksa

Esipuhe

EKE-Elektroniikka Oy kehittää älykästä junaelektroniikkaa ja tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä EKE-Elektroniikka Oy:n Digitaalisten palveluiden kanssa. Haluan kiittää Karl Lönngreniä hyvistä ideoista ja asiantuntevista neuvoista sekä opinnäytetyöni ohjaamisesta. Kiitos myös Pekka Vuorijärvelle ja Juha Paldaniukselle palkkaamisestani EKE:lle sekä Metropolian Jukka Karppiselle, joka toimi tämän opinnäytetyöni valvojana.

En olisi voinut kuvitella, mitä kaikkea opintojeni aikana tulee tapahtumaan. Kun aloitin opinnot alkuvuodesta 2019 monet asiat olivat toisin kuin nyt. Opintojeni aloittamisen jälkeen olen mennyt naimisiin, vaihtanut työpaikkaa (kahdesti) ja tullut poikavauvan isäksi. Puhumattakaan koronaviruksesta ja kaikesta mitä se on aiheuttanut.

Paljon on muuttunut, mutta onneksi yksi asia on pysynyt samana. Haluankin erityisesti kiittää rakasta vaimoani Alexandraa, jota ilman tämä kaikki ei olisi ollut mahdollista. Kiitos tuestasi, motivoinnista ja kompromisseista, joita opintojeni loppuun saattaminen on vaatinut.

Helsinki 31.1.2021

Ville Sjöholm

Lyhenteet

| | |
|-----------|--|
| Cenelec | European Committee For Electrotechnical Standardization |
| CI | Condition Indicator |
| DPIA | Data Protection Impact Assessment |
| ER-ISAC | European Rail – Information Sharing and Analysis Centre |
| GPDR | General Data Protection Regulation |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM-R | Global System for Mobile Communications – Railway |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| IIoT | Industrial Internet of Things |
| ISA | International Society of Automation |
| LCC | Life Cycle Costs |
| LTE | Long Term Evolution |
| P-F käyrä | Potential Failure |
| RCM | Reliability-centered maintenance |
| RUL | Remaining Useful Life |
| VDV | Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (=Association of German Transport Companies) |
| WSN | Wireless Sensor Network |

1 Johdanto

EKE-Elektroniikka on suomalainen älykkään junaelektroniikan ja junien tietojärjestelmien toimittaja. EKE-Elektroniikka on yksityisomistuksessa olevan, vuonna 1961 Suomessa perustetun EKE-yhtiön konserniyhtiö. EKE tarjoaa räätälöityjä ratkaisuja järjestelmien integrointiin, junien automaatioon, junaviestintään, junien diagnostiikkaan ja turvallisuuden parantamiseen mm. kiskokaluston valmistajille, operaattoreille ja kunnossapidolle.

Liikevaihdesta 90 prosenttia tulee viennistä. [1]

SmartVision on EKE-Elektroniikan pilvipohjainen ratkaisu kuntoon perustuvaan junien, metrojen ja raitiovaunujen ennakoivaan kunnossapitoon. SmartVisionin ydin on erittäin tarkka ja luotettava poikkeamien havaitsemistekniikka, joka mahdollistaa perustan ennustavalle analytiikalle. EKE:n omistama brittiläinen Humaware-yritys on kehittänyt ja todentanut adaptiivisen poikkeaman havaitsemista useissa eri projekteissa. SmartVision pystyy valvomaan ja analysoimaan kaluston komponentteja ja järjestelmiä, kuten ilmanvaihtoa, ovia, moottoreita ja pyöränlaakereita. [1]

Raideliikenteessä on käynnissä kova kilpailu kalustovalmistajien kesken ja tarvitaan jatkuvaa teknistä kehitystä vaunujen käytettävyyden ja luotettavuuden kasvattamiseksi sekä kunnossapidon helpottamiseksi ja tehostamiseksi. Kaluston toimintavarmuus ja pienet elinkaarikustannukset ovat selkeä kilpailutekijä tulevaisuudessa. Kiskokalustojen huolloissa ja huoltoprosesseissa on valtava säästöpotentiaali. Tällä hetkellä alalla tehdään pääasiassa ennakoivaa huoltoa aika- tai kilometripohjaisesti, mutta jo nyt olisi mahdollista optimoida huoltoja. Raideliikenteen huoltojen markkinoiden on arvioitu kasvavan maailmanlaajuisesti vuoden 2019 42.8USD miljardista 58.4USD miljardiin vuonna 2025, keskimääräisellä 5.32% vuosittaisella kasvulla. [2]

Kaluston omistajien tavoitteena on kehittää kaluston käytettävyyttä ja luotettavuutta, sekä samalla pienentää elinkaarikustannuksia. Kaluston huollot tulee tehdä nopeasti ja kustannustehokkaasti, jotta kalusto saadaan takaisin liikenteeseen tuottamaan tuloja omistajille. Kaluston toimintavarmuutta kasvattamalla, mm. kehittämällä kunnonvalvontaa ja optimoimalla huoltoja, on mahdollista lisätä vuorojen määrää ilman, että tarvitsee tehdä uusia kalustoinvestointeja.

Kunnossapito muodostaa noin puolet kaluston elinkaaren aikaisista kokonaiskustannuksista. Kaluston elinkaari on keskimäärin 30–50 vuotta ja huollon osuus on noin 50 % kokonaiskustannuksista. Kunnossapitoa kehittämällä on mahdollista saada isoja kustannussäästöjä kaluston elinkaaren aikana. [3, s.6]

Yksi kunnossapidon toiminnan osista on kunnonvalvonta, jolla mitataan kohteen fyysisen tilan ominaisuuksia tai arvoja. Kunnonvalvonta on siis ehkäisevää kunnossapitoa, jossa erilaisin mittauksin seurataan komponentin, järjestelmän tai koko kaluston suorituskykyä ja arvioidaan niiden pohjalta tilanteen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- tai korjausajankohdan määrittämiseksi. [4, s.16]

Historiassa ja vielä nykyäänkin kunnossapitoa suoritetaan useimmiten vikoja korjaamalla ja ehkäisevillä huoltotoimenpiteillä, kuten määräaikaishuolloilla. Kasvanut digitalisaatio on lisännyt komponenttien kunnonvalvontaa junan omien järjestelmien, ja junaan asennettavien antureiden avulla sekä mahdollistanut vaunun ja komponenttien reaaliaikaisen kunnonvalvonnan, jolloin huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa todellisen tarpeen perusteella. Tämä vähentää ylihuoltoa ja kunnossapidon kulut pienenevät, kun huoltoja voidaan optimoida ja komponenttien käyttöikä pitenee. Tarkoituksena on tehdä asioita, jotka on välttämätöntä tehdä, ei asioita jotka on ajoitettu tehtäväksi juuri sillä hetkellä.

Aikaisemmin suurin osa kiskokaluston kunnonvalvonnasta on keskittynyt pyörään ja teiliin, koska ne ovat kriittisiä osia ja niillä on suuri vaikutus vaunun suorituskykyyn ja niillä on myös iso kustannusvaikutus huolloissa. Monet näistä kunnonvalvontalaitteista on asennettu vaunun sijasta rataan, koska jokaisen vaunun anturointi ei ole ollut kustannustehokasta. Tällä hetkellä käytössä on yleisesti vaunun omaan diagnostiikkaan perustuva kunnonvalvontaa, eli näytetään komponentin/systeemin tilatieto diagnostiikkänäytössä ja mahdollisesti kerätään se tieto, mutta sitä ei juurikaan käytetä hyväksi.

Edistyneet analyysiratkaisut, kuten kuntoon perustuva kunnossapito ja ennakoiva kunnossapito, mahdollistavat suuren kehitysaskelen kunnossapitoon vähentämällä odottamattomia/ennakoimattomia vikoja ja suunnittelemattoman kunnossapidon määrää sekä minimoimalla vaunujen linjallejääntejä. On tärkeä optimoida huoltoja, jotta vaunuja ei yli-

huolleta. Ylihuoltamisessa ”hukataan” materiaaleja, henkilötyötunteja ja kaluston käytettävyys laskee, koska kalusto on varikolla huolloissa. Kunnossapito on välttämätöntä, mutta sitä ei kannata tehdä liikaa.

Edistynyt analytiikka ja manuaalisen vianetsinnän vähentäminen tekevät kuntoon perustuvasta kunnossapidosta houkuttelevan kohteen huoltotehokkuuden lisäämiseksi. Jo 10–15 prosentin säästö kunnossapitokustannuksissa tarkoittaa, että kaluston omistajat voivat säästää jopa ~ 7,5 miljardia euroa vuodessa siirtymällä kohti kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. [3, s. 5 ja 7)

Tällä hetkellä yli 50 % huoltotöistä on vikojen aiheuttamia korjauksia ja noin 30 % kaluston huollossa olevasta ajasta kuluu vian manuaaliseen etsintään. Viat tapahtuvat odottamattomasti, ja vaikka niiden korjaaminen muodostaa suurimman osan kokonaishuollosta, vikoja ei tällä hetkellä juurikaan ennusteta. Vikojen ennustaminen antaisi mahdollisuuden parantaa useita kunnossapitotoimintoja, mikä johtaisi pienempiin ylläpitokustannuksiin ja parantaisi kaluston toimintavarmuutta/luotettavuutta sekä käytettävyyttä. [5, s. 2]

Kun tarkastellaan viasta johtuvaa häiriöaikaa, voikin olla, että vian todellinen korjausaika on vain hyvin pieni osa koko häiriöajasta. Muut tekijät, kuten vikaraportit, vikojen paikantaminen, oikean dokumentaation etsiminen, korjauksen suunnittelu, varaosien hankinta, tietojen haku ja kaluston testaus vaikuttavat kaikki häiriöaikaan. [6, s. 18-19]

Kunnonvalvonnan tärkein tehtävä on pystyä ennustamaan viat. Kunnonvalvonta antaa ylläpitäjälle mahdollisuuden havaita vialliset komponentit ennen niiden hajoamista. Äkkinaiset viat aiheuttavat isoja kustannuksia, viivästyksiä ja tyytymättömiä asiakkaita.

Haasteena kunnonvalvontaan perustuvassa kunnossapidossa ovat mahdolliset epä säännölliset huollot ja huoltovälit, koska aikaisemmin huollot on tehty pääosin aika- tai kilometripohjaisesti ja niihin on voitu varautua hyvissä ajoin. Tämä asettaa haasteita henkilöstöresursseihin ja materiaalien saatavuuteen.

Kaluston hankinnan ja käytön taloudellisuutta arvioidaan elinkaarikustannusten (LCC) nojalla ja niiden tulee olla mahdollisimman edulliset. Kaluston elinkaarikustannuksiin lasketaan hankintahinnan lisäksi vaunun kuluttama energia sekä huollon ja kunnossapidon aiheuttamat kustannukset. LCC-analyysillä muodostetaan näistä kustannuksista laskelma, jonka avulla voidaan todeta tuotteen kokonaiskustannukset aina hankinnasta käytöstä poistoon asti. Tämän laskelman avulla on mahdollista arvioida, onko kannattavampaa ostaa hankintahinnaltaan kalliimpaa kalustoa, jonka käyttö ja huolto on halpaa, vai hankintahinnaltaan halvempaa kalustoa, jonka käyttö- ja huoltokustannukset ovat korkeammat.

2 Kunnossapito

Kunnossapito jaetaan kahteen pääluokkaan, ehkäisevään (jaksotettu/aikataulutettu) ja korjaavaan kunnossapitoon (välitön tai siirretty korjaus). Kuntoon perustuva kunnossapito, ennustava kunnossapito ja opportunistinen kunnossapito ovat eri toteutustapoja ehkäisevän kunnossapidon suorittamiseksi. [4, s.22]

Kunnossapitokustannuksia laskettaessa otetaan huomioon sekä ehkäisevän että korjaavan kunnossapidon aiheuttamat kustannukset. Kunnossapito on välttämätön osa paitsi kaluston toimivuuden myös turvallisen operoinnin kannalta.

Edulliseen ja tehokkaaseen kunnossapidettävyyteen voidaan varautua jo vaunujen suunnitteluvaiheessa mm. materiaalivalinnoilla ja eri toimintojen läpikäynneillä, sekä valmistuksessa tehtävissä ratkaisuissa. Kunnossapidettävyyttä määrittävät erityisesti huollon ja korjaamisen helppous ja nopeus. Hyvä kunnossapidettävyyttä edellyttää mahdollisuuksien mukaan, että huoltokohteisiin on helppo ja esteetön pääsy ilman edessä olevien laitteiden purkamista ja että huoltotoimenpiteille on riittävästi tilaa.

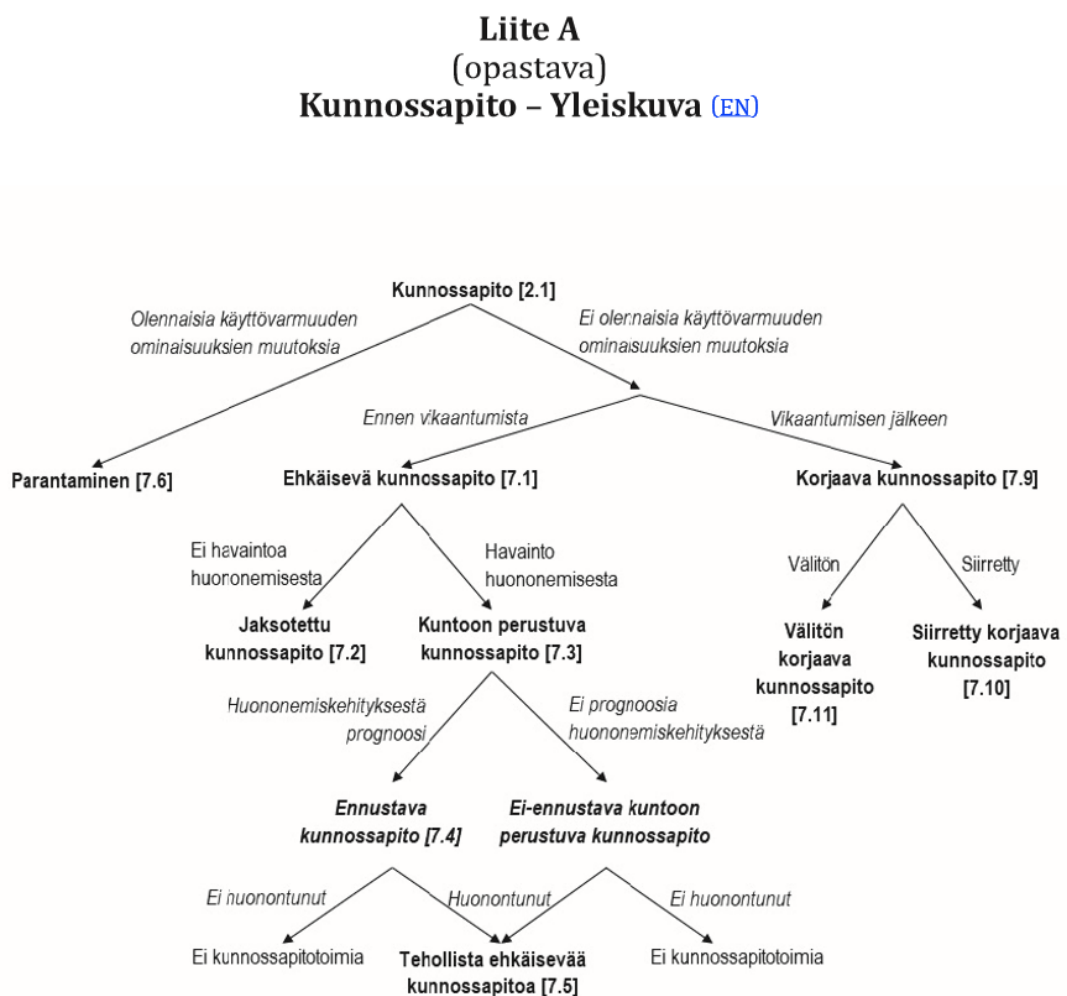
2.1 Standardit

kunnossapito

kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon

Kuva 1. SFS-EN 13306:2017- standardin määritelmä kunnossapidosta [4, s.5]

Kuvassa 2 on esitetty Suomessa ja Euroopassa vahvistetun SFS-EN 13306:2017 standardin yleiskuva eri kunnossapitolajeista. [4, s.22]



Kuva 2. SFS-EN 13306:2017 yleiskuva eri kunnossapitolajeista [4]

2.2 Kunnossapitolajit

Kuvassa 3 on esitetty SFS-EN 13306:2017 standardin määrittely eri kunnossapitolajeista. [4, s.13-14]

7.1

ehkäisevä kunnossapito

kunnossapito, jonka tarkoituksena on arvioida ja/tai vähentää kohteen heikentymistä ja vikaantumisen todennäköisyyttä

7.2

jaksotettu kunnossapito

ehkäisevää kunnossapitoa, joka tehdään ennalta määritettyjen aikajaksojen tai käytön määrän mukaan, mutta ilman edeltävää toimintakunnon tutkimusta

HUOM. Aika- tai työjaksojen määrä voidaan määrittää kohteen vikaantumismekanismin perusteella.

7.3

kuntoon perustuva kunnossapito

ehkäisevää kunnossapitoa, joka sisältää fyysisen tilan arviointia ja analyysiä sekä mahdollisesti niiden johdosta suoritettavia kunnossapitotoimenpiteitä

HUOM. Kunnon arviointi voi perustua käyttäjien havaintoihin, ja/tai tarkastukseen ja/tai testaukseen ja/tai järjestelmän parametrien kunnonvalvontaan jaksotetusti, joko tarvittaessa tai jatkuvasti.

7.4

ennustava kunnossapito

kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, jota toteutetaan perustuen ennusteisiin, joita saadaan toistuvista analyyseistä ja tunnetuista tunnusmerkeistä sekä tarkastelemalla kohteen huononemista kuvaavia olennaisia arvoja

7.5

tehollinen kunnossapito

kunnossapidon osa, jossa toimenpiteet kohdistuvat suoraan kohteeseen tarkoituksena ylläpitää tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan halutun toiminnon

7.6

parantaminen

yhdistelmä kaikista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joilla on tarkoitus parantaa kohteen toimintavarmuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä ja/tai turvallisuutta ilman, että alkuperäinen toiminto muuttuu

7.9

korjaava kunnossapito

kunnossapitoa, jota tehdään vian havaitsemisen jälkeen tavoitteena palauttaa kohde tilaan, jossa se voi toteuttaa vaaditun toiminnon

7.10

siirretty korjaava kunnossapito

korjaavaa kunnossapitoa, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan sitä viivästetään sallituissa puitteissa

7.11

välitön korjaava kunnossapito

korjaavaa kunnossapitoa, joka suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta välttyttäisiin haitallisilta seurauksilta

Kuva 3. SFS-EN 13306:2017 määrittely kunnossapitolajeista [4]

Perinteisessä mallissa huoltoja suoritetaan joko ajan tai käytön mukaan ennakoivaa kunnossapitoa hyödyntäen. Viat havaitaan ja korjataan vasta vian ilmaannuttua korjaavan kunnossapidon mukaisesti. Ennakoivassa kunnossapidossa komponentteja vaihdetaan usein ennen komponentin käyttöiän loppumista, koska vikaantumisten välttämiseksi valmistajat määrittelevät yleensä komponentin huoltovälin lyhimmän havaitun kestoiän mukaan. Tällä tavoin menetetään osa komponentin käyttöiästä. [7, s.9]

Kuntoon perustuva kunnossapito on ehkäisevää kunnossapitoa ja sitä suoritetaan eri mittalaitteista ja järjestelmistä saadun datan perusteella. Huollot suoritetaan komponenttien reaaliaikaisen kuntosilaan perustuen, ja siten on mahdollista sekä pienentää kustannuksia että parantaa järjestelmien luotettavuutta. Komponentteja ei tarvitse vaihtaa ehkäisevästi, vaan vasta käyttöiän lopussa. Mittaustiedon avulla pyritään parantamaan kaluston luotettavuutta, koska huonokuntoinen/vikaantuva komponentti voidaan havaita ajoissa ja vaihtaa uuteen ennen kuin se aiheuttaa esimerkiksi linjallejäännin. Komponenttien kuntotiedoista voidaan myös analysoida erilaisia malleja, jotka ennustavat huoltotarpeen tulevaisuudessa. Tällöin kyseessä on ennustava kunnossapito. [7, s.9]

2.2.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon tavoitteena on yksinkertaisuudessaan paikallistaa vika ja korjata se. Korjaushuoltoja ei kuitenkaan voida koskaan täysin välttää, sillä kaikkia vikoja ei pystytä millään ennakoimaan.

Korjaushuolto vian tapahtumisen jälkeen on useimmissa tapauksissa kallein ja tehottomin tapa suorittaa huolto. Ennalta arvaamattoman vian sattuessa huoltotoimenpiteitä on vaikea suunnitella ennalta ja se vaikuttaa siten huoltotöiden tehokkuuteen. Koska huoltotöihin valmistautumiselle ei ole aikaa, korjauksen tekeminen kestää kauemmin. Joissakin tapauksissa voi kuitenkin olla tarkoituksenmukaisinta suorittaa korjaava huolto, esimerkiksi jos vika ei ole kriittinen, eikä aiheuta turvallisuusriskiä. Viankorjausta voidaan lykätä esimerkiksi seuraavaan huoltoon, jolloin siihen osataan varautua paremmin. [6, s.20-21]

Korjaavan kunnossapidon hyvänä puolena on, että komponentti käytetään elinkaarensa loppuun asti ja siitä saadaan kaikki hyöty irti. Huonoina puolina ovat ennalta-arvaamattomat viat ja vikakorjauksien aiheuttamat ennakoimattomat henkilöstö- ja materiaaliressurssoinnin haasteet. [7, s.12-13]

2.2.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito jakaantuu jaksotettuun kunnossapitoon ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon.

2.2.2.1 Jaksotettu kunnossapito

Kaluston valmistaja yleensä määrittää huoltojen ajankohdat, tehtävät huoltotyöt sekä vaatimukset ja käyttäjä sovittaa suunnitelman omaan järjestelmäänsä. Ennakoiva huolto käsittää huoltotoimenpiteet, joiden tekeminen perustuu yksinomaan aikaan ja/tai ajettuihin kilometreihin. Ennakoivaan huoltoon sisältyy myös kaikki siinä tarvittavat vara- ja kulutusosat, materiaalit tarveaineineen kuten öljyt ja voiteluaineet.

Määräaikaishuollot ovat yleisin tapa suorittaa ehkäisevää kunnossapitoa. Määräaikaishuoltojen tavoitteena on pyrkiä ennakoimalla estämään viat ennen kuin ne aiheuttavat häiriöitä. Ehkäisevän kunnossapidon keskeinen tekijä on havaita mahdolliset viat varhaisessa vaiheessa, mikä antaa mahdollisuuden määrittää, milloin vika on korjattava, ja myös suunnitella kunnossapitotoimet ennalta (proaktiivisesti). Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa kahteen pääryhmään: jaksotettuun kunnossapitoon (aika- tai kilometripohjainen) ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Molemmat menetelmät ovat ennalta ehkäiseviä toimintoja, mutta jaksotettu huolto ajoitetaan teknisen järjestelmän tai tietyn komponentin elinikään koskevan tiedon (valmistajan määrittämä) ja kokemuksen perusteella. [6, s.21]

Ennakoivan kunnossapidon ohjelman tulee sisältää vähintään seuraavat tiedot, kaikki tarvittavat kunnossapitotoiminnot (määräaikaishuollot, huollot, tarkistukset, säädöt yms.) ja huoltovälit kunnossapitotoiminnoille (suhteutettuna ajo/käyttötunteihin, toimintakertojen määrään tai ajokilometreihin).

Määräaikaishuoltojen hyvinä puolina ovat huoltotyön aikataulutus ja työ- ja materiaalihallinta sekä ennalta arvaamattomien käyttökatkojen väheneminen. Ehkäisevän kunnossapidon kustannukset ovat korkeammat verrattuna korjaavaan kunnossapitoon, koska harvoin huolto ajoittuu hetkeen juuri ennen kuin komponentti on rikkoutumassa ja siten osa komponentin käyttöiästä jää käyttämättä. Lisäksi osat eivät kulu aina samalla tavalla, vaan valmistusvirheet ja käyttötapa voivat vaikuttaa komponentin kulumiseen. [7, s.13]

2.2.2.2 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuvan kunnossapidon ensimmäinen vaihe on kunnonvalvonta, eli mahdollisuus mitata toimintojen tiloja. Tavoitteena on selvittää laitteiden/järjestelmien tilatiedot keräämällä dataa mm. värähtely, lämpötila, paine ja öljynkoostumus. Mittausdatan ja/tai järjestelmien tilatietojen perusteella on mahdollista päätellä joko diagnoosi tai ennuste. Tavoite on joko havaita poikkeavuudet ennalta tai pystyä ennustamaan komponentin jäljellä oleva käyttöikä. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu laitteen tai komponentin fyysiseen tilaan, ei käyttötunteihin. Komponentteja ei vaihdeta niiden käyttöajan perusteella, vaan niiden kunnon perusteella. Tämä säästää komponenttikustannuksia ja vikojen määrää pystytään vähentämään, kun häiriöt on mahdollista havaita ennen kuin ne aiheuttavat ennakoimattomia vikoja. Hyvin suunnitellulla anturoinnilla havaitaan kehittyvät viat jo varhaisessa vaiheessa ja vältetään linjallejäännit ja kalliit rikkoutumiset matkustajaliikenteessä. [7, s.13]

Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa ei ylihuolleta kalustoa vain turvallisuuden takia. Huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa tarvittaessa. Liian tiheä huolto on kallista ja vähentää kaluston käytettävyyttä. Kuntoon perustuva kunnossapito on ennaltaehkäisevä kunnossapitostrategia, joka keskittyy todelliseen kuntoon ennalta määritetyn huoltoaikataulun sijasta. Kuntoon perustuvan kunnossapidon päätavoitteena on antaa varoituksia ennustamalla / arvioimalla milloin laite vikaantuu, jotta laitteistoa voidaan hyödyntää täysimääräisesti ja päätös huollon suorittamisesta juuri ennen laitteen vikaantumista voidaan määrittää.

Haasteena kuntoon perustuvassa kunnossapidossa on komponentin tilan/kunnon mittaaminen kustannustehokkaasti. Mittalaitteiden investointikustannukset huomioon ottaen, voi olla, ettei kuntoon perustuva kunnossapito olekaan enää kustannustehokas

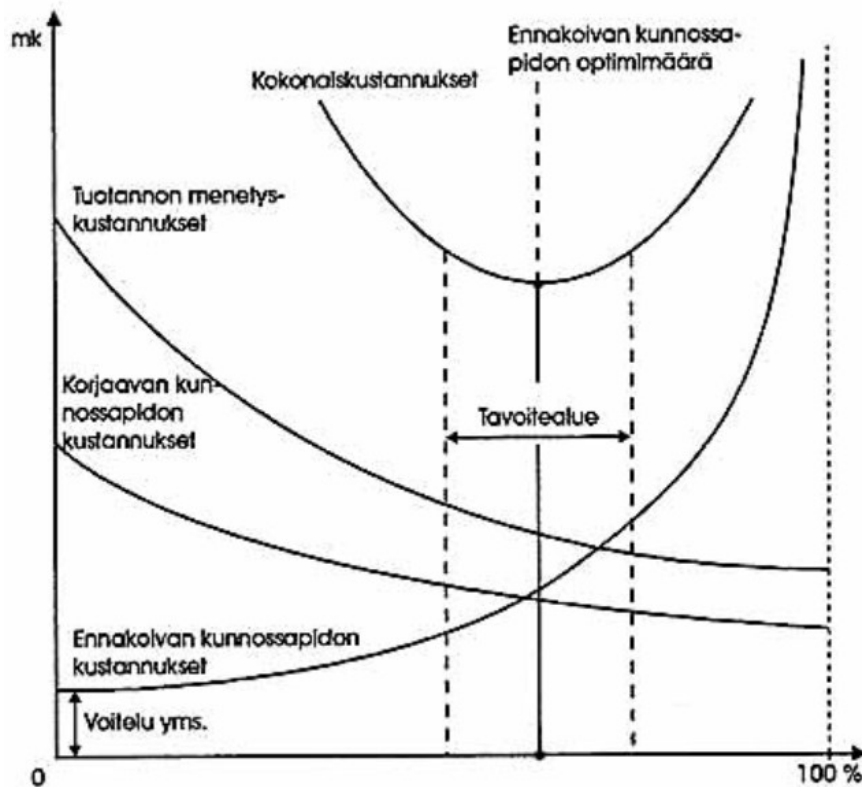
vaihtoehto. Samalla myös kerättävän ja käsiteltävän datan määrä kasvaa. Lisäksi mittalaitteiden ylläpito aiheuttaa myös elinkaarikustannuksia. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa eri komponenttien tai laitteiden huoltojen ajoittumista toisiinsa nähden ei ole suunniteltu ja se voi johtaa huoltojen keskittymiseen epätasaisesti. [7, s.13-14]

Yksi keskeinen näkökohta kunnonvalvontamenetelmän toteuttamisessa on se, että seurantajärjestelmät itse tarjoavat vain mittaustietoja. Haasteena on muuttaa valtava määrä mittaustietoja hyödyllisiksi tiedoiksi, jotta mahdollinen kehittyvä vika voidaan määrittää ja paikantaa sekä arvioida järjestelmän tai tietyn kohteen / komponentin jäljellä oleva käyttöikä. Kunnonvalvontakonseptin onnistunut toteuttaminen edellyttää hyvää tuntemusta koko seurattavasta järjestelmästä ja mittaustiedot voivat tällöin tukea päätöksentekoa. [6, s.25]

2.2.3 Opportunistinen kunnossapito

Opportunistisessa kunnossapidossa kokonaiskustannukset pyritään minimoimaan ryhmittelemällä huoltotoimenpiteet. Opportunistinen kunnossapito voidaan nähdä korjaavan kunnossapidon ja ennaltaehkäisevän kunnossapidon yhdistelmänä, ja sitä kutsutaan joskus myös ”optimaaliseksi kunnossapidoksi”, koska painotus luotettavuuden ja huoltokustannusten välillä sisältyy kokonaiskustannusfunktioon, jota yritetään minimoida. [7, s.15]

Korjaavan ja ennakoivan kunnossapidon toisiaan täydentävää vaikutusta voidaan havainnollistaa kuvan 4 periaatekuvalla. Kuvasta näkee, että kasvattamalla ennakoivaa kunnossapitoa korjaava kunnossapito vähenee. Ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon suhteelle on kuvan mukaisesti mahdollista löytää taloudellinen optimi.

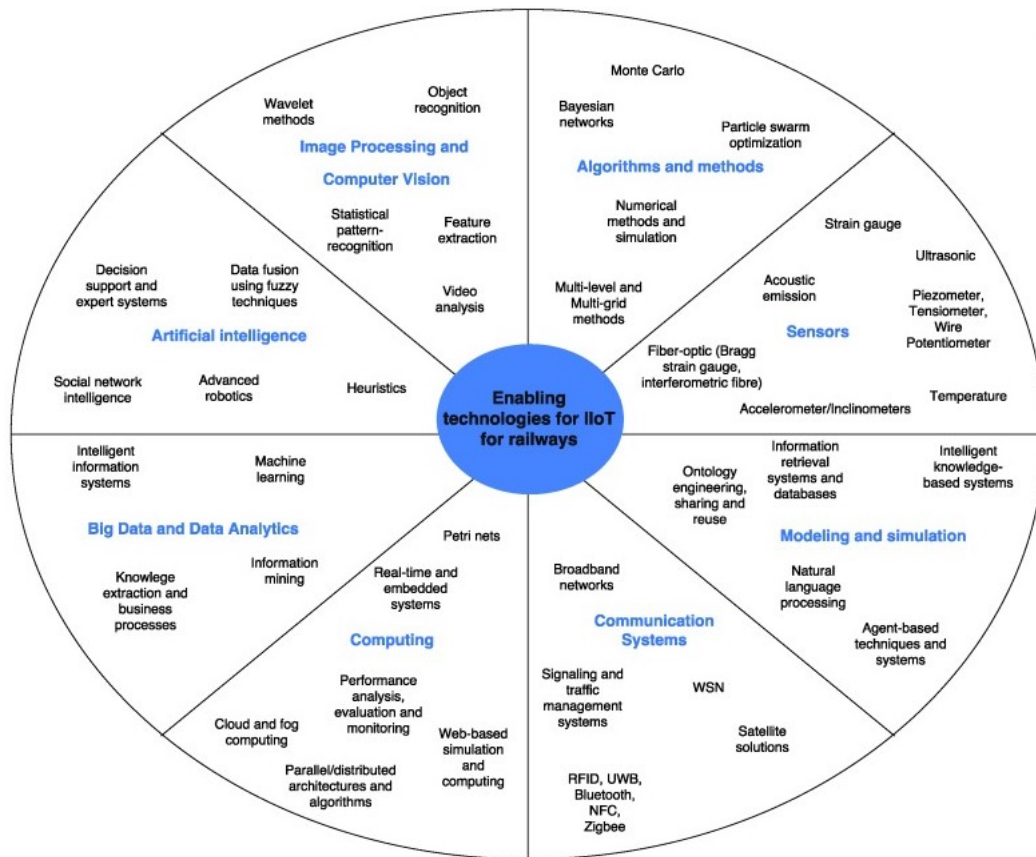


Kuva 4. Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kokonaiskustannuksiin. [8]

3 Data

Vaikka erilaisia langattomia kuntoon perustuvia mittauksia ja kunnossapitoa on ollut teollisuuskäytössä jo vuosikymmeniä, niin kiskoliikenteen konservatiivisuus ja turvallisuusvaatimukset ovat hidastaneet kuntoon perustuvan mittauksen hyödyntämistä alalla. Helppo tapa kerätä dataa onkin käyttää kalustossa jo olemassa olevia diagnostiikkajärjestelmiä, jotka hyödyntävät kaikkia antureilta ja eri pää- ja alaohjausjärjestelmiltä saatavia diagnostiikkatietoja.

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty dataan ja kunnossapitoon, mutta kuten kuvasta 5 näkyy, niin IIoT ja Big Data mahdollistavat useita eri tapoja hyödyntää eri teknologioita myös kiskokalustossa. IIoT:n avulla on mahdollista "mullistaa" kiskoliikenne parantamalla eri palveluita ja toimintoja sekä kaluston kilpailukykyä. [9]



Kuva 5. IIoT:n mahdollistamia tapoja hyödyntää uusia teknologioita kiskokalustossa [9]

3.1 Datan laatu

Kalustosta on nykyään yhä enemmän dataa saatavilla. Lisääntynyt tietomäärä on saatavilla eri järjestelmistä, mm. anturit, sensorit ja alijärjestelmät. Dataa kerätään, mutta pelkkä datan kerääminen ei vielä ratkaise mitään. Dataa pitää analysoida, jotta sitä voidaan hyödyntää mm. huoltojen optimointiin ja arvioimaan komponenttien jäljellä olevaa käyttöaikaa. On tärkeää, että loppukäyttäjä määrittää mitä hän haluaa saatavan datan avulla tehdä, mitä ongelmia hän haluaa ratkaista. Käyttäjän tulee suunnitella mihin dataa käytetään ja hyödynnetään, koska pelkkä datan määrä ei ole mikään itseisarvo (panos/tuotos suhde). Datasta pitää tehdä arvokasta. Kyse ei ole vain ohjelmiston hankkimisesta, vaan selkeän strategian luomisesta ja muutosten viemisestä strategiasta todellisuudeksi. [10]

3.2 Datan kerääminen ja sen hyödyntäminen

Eri datatyypeille käytetään erilaisia analysointimenetelmiä. Data voi olla joukko yksittäisiä mittauspisteitä, kuten lämpötila ja paine, tai aaltoluontoista dataa, kuten värinä, jota voidaan tutkia aikasarja-analyysin keinoin tai taajuustasossa. Data vaatii yleensä prosessointia, jotta raakadata saadaan muotoon, jolloin sitä voidaan hyödyntää. [7, s.14]

Tällä hetkellä tyypilliset diagnostiikkatiedot, joita on saatavana kaluston alijärjestelmistä, kertovat vain, kun laite on rikki tai kun tietty raja-arvo saavutetaan. Ennakkovaroitusta tai tietoa vikaantumisen nopeudesta ei ole saatavilla ja kunnonseurantaa ei voida suorittaa näiden tietojen perusteella. Tietojen kerääminen on helppoa, mutta siitä voi nopeasti tulla ”roskatietoa”, jota ei voida käyttää sellaisenaan. Ihminen ei kykene tulkitsemaan ja käsittelemään kaikkea dataa, ja siksi tarvitaan tietojenkäsittelyä, kuten syväoppimis- ja koneoppimisohjelmia tai tilastollista mallinnusta, jotta kerätty data voidaan hyödyntää. Datan kerääminen ilman selkeää kuvaa siitä, mihin sitä käytetään, on yleinen ongelma. Sen sijaan, että kerättäisiin kaikki anturitiedot lajittelua ja analysointia varten, on määritettävä mitä tietoja tarvitaan ja mikä on hyödyllistä.

Anturitekniikan ja data-analytiikan avulla on mahdollista kehittää kunnossapitoa nykyisestä aika- ja käyttöperusteisesta kunnossapidosta kuntoon perustuvaan ja ennakoivaan kunnossapitoon. [3, s.6]

Teollisuudessa kunnonseurannassa hyödynnetään laajalti jo langattomia mittauksia 5G:n ja IoT:n avulla, mutta raideliikenteessä haasteena on tarkat turvallisuusvaatimukset ja haastava toimintaympäristö. Kaluston käyttöympäristö vaihtelee kaupungeista vuoris- toalueisiin ja toimintalämpötilan vaihtelut voivat olla -40°C...+85°C. Mittalaitteiden lähellä on myös paljon metallisia esineitä aiheuttamassa häiriöitä. Kiskoliikenne asettaa myös olosuhteiden puolesta kovat vaatimukset mittalaitteille, mm. kosteus, kondensaatio, tärinät, iskut, melu ja suolasumu vaativat paljon käytettävältä mittalaitteelta. Tällä hetkellä käytössä on joitain langattomia mittauksia, mutta vain 2G ja 3G yhteyksillä. Raideliikenteessä mittaukset tehdäänkin vielä pääosin langallisilla antureilla turvallisuuden varmistamiseksi. Saadut tiedot ovat yleensä tarkkoja, ja viat voidaan havaita herkästi. [11]

Tulevien 5G systeemien tulee olla myös yhteensopivia nykyisten GSM-R systeemien kanssa vielä useita vuosia. GSM-R on rautatiekäyttöön tarkoitettu radioverkkostandardi ja rautatieoperaattorit käyttävät pääasiassa GSM-R: ää kommunikointiin.

Langattoman sensoriverkon (WSN) avulla suoritettavan reaaliaikaisen kunnonseurannan perusteella on mahdollista havaita ongelmat heti, mutta se on usein kallista ja vaatii energiaa. Sensorit kuluttavat paljon energiaa, mikä on ongelma WSN-verkkoille, joissa verkkokomponentit tarvitsevat virtaa. Anturitiedot ovat erittäin alttiita häiriöille, mikä edellyttää huolellista esikäsittelyä tarkan diagnostiikan varmistamiseksi. WSN:n on oltava luotettava ja tarkka, jotta kaluston kuntoa voidaan seurata tehokkaasti ankarissa ja vaikeissa ympäristöissä, mutta sen on myös oltava kustannustehokasta. [9]

WSN: ien haasteita kiskokalustoymppäristössä ovat mm. mittausten luotettavuus, tarve suuremmille näytteenottotaajuuksille nopeasti muuttuvien dynaamisten signaalien (esim. ääni) mittaamiseksi, nopeat siirtonopeudet, kyky hallita suuria tietomääriä ja energiatehokkuus. [11]

Taulukko 1. Vertailu eri WSN teknologioiden suhteen. Värien merkitys: vihreä (täyttää täysin raideliikenteen vaatimukset), keltainen (täyttää osin raideliikenteen vaatimukset) ja punainen (ei täytä vaatimuksia). [9]

| Wireless Technology | Robustness | Real-Time Performance | Range | Link Throughput | Network Scalability | Power Awareness |
|---------------------|------------|-----------------------|-------|-----------------|---------------------|-----------------|
| IEEE 802.11 | | | | | | |
| IEEE 802.15.4 | | | | | | |
| Zigbee | | | | | | |
| Zigbee Pro | | | | | | |
| IEEE 802.15.1 | | | | | | |
| Bluetooth | | | | | | |
| WirelessHART | | | | | | |
| ISA 100.11a | | | | | | |
| WISA | | | | | | |

Taulukossa 2 on listattu yleisimmät kiskokalustossa käytettävät mittaukset. Taulukosta käy ilmi eri mitattavat järjestelmät, mittaustapa ja käytettävä anturi/sensori. [12, s. 1101]

Taulukko 2. Yleisimmät kiskokalustossa käytettävät mittaukset [12]

TABLE III
TABLE LISTING THE MOVABLE OBJECTS MONITORED, THE MEASUREMENTS USED, THE SENSOR DEVICES USED
AND A LIST OF CITATIONS TO SYSTEMS MONITORING THAT OBJECT

| Object monitored | Measurement | Sensor | Citations |
|------------------|---|---------------------------------------|------------------------|
| Train Shell | Strain | FB Strain | [119] |
| | Temperature | FB Temperature | [119] |
| | | Temperature Sensors | [29] [102] [103] |
| | Vibrations | Accelerometers | [50] [113] [131] |
| | Lateral Acceleration | Accelerometer | [93] |
| | Longitudinal Accelerations, Pitch, Roll And Yaw | Gyroscopes | [113] [131] |
| Wagon | Temperature | Temperature Sensors | [81] [104] [105] [112] |
| | Humidity | Humidity Sensors | [81] [112] |
| | Vibrations /Acceleration | Accelerometer | [81] [104] [105] [112] |
| | Vibrations | Vibration | [81] |
| | Light | Light Sensor | [81] [104] [105] |
| | Movement | Motion Detector | [81] |
| Bogies | Temperature | Temperature Sensors | [55] [98] |
| | | Surface Acoustic Wave | [66] |
| | Vibration | Accelerometers | [44] [87] [124] |
| | | Inertia Sensors | [87] |
| Axles | Stress | Strain Gauges | [42] |
| | Temperature | Thermocouples | [42] |
| | | SAW temperature | [109] |
| | Vibration | Accelerometers | [91] |
| Wheels | Vibration Across Surface | Piezoelectric | [96] |
| | Lateral Acceleration | Accelerometer | [44] [75] |
| | Wheel Acceleration | Accelerometer | [9] |
| | Lateral Contact Force | Gap Sensors | [84] |
| | Vertical Contact Force | Magnetostrictive Displacement Sensors | [84] |
| | Yaw | Gyro | [75] |
| Brakes | Wind Pressure | Wind Pressure Sensors | [115] |
| Pantograph | Strain | Fiber Bragg Strain | [129] |
| | Temperature | Fiber Bragg Temperature | [129] |
| | | Temperature Sensor | [125] |
| | Impact Acceleration | Accelerometer | [44] [97] [125] |
| | | FBG Accelerometer | [20] |
| | Motion | Displacement Transducer | [44] |
| | Contact (Reaction) Force | Load Cell | [44] |
| | Current flow | Magnetoelectric current | [74] |
| | Arcing | UV sensor or phototube | [25] [125] |

3.3 Datat omistajuus

Digitalisaation hyödyntäminen kunnossapidossa liittyy siihen, mikä osapuoli omistaa mitkin tietoa ja mitä he voivat sillä tehdä. Sekä käyttö- /huoltotiedot (operaattori/kunnossapitäjä) että komponentti- /anturitiedot (kaluston valmistaja) tarvitaan siirtymiseen kuntoon perustuvaan ja ennakoivaan kunnossapitoon. Koska tietojen omistajuus on jaettu eri toimijoille, täytyy toimijoiden neuvotella ja sopia keskenään tietojen hyödyntämisestä ja käytöstä. [3, s.15]

Siirtyminen määräaikaishuollosta kuntoon perustuvaan huoltoon ei ole yksinkertaista ja siinä tulee ottaa huomioon useita asioita. [13]

- Sopimus kaluston omistajan ja kunnossapitäjän välillä.
- Sopimus järjestelmä-/komponenttitoimittajan ja kunnossapitäjän välillä.
- Muutoksen riskiarviointi.
- GDPR (yleinen tietosuoja-asetus) ja DPIA (vaikutustenarviointi).
- ”Sopimus” kyberturvallisuudesta.
- ”Sopimus” tietosuojasta.
- Asennusasiakirjojen päivittäminen.
- Muutosilmoitus.

3.4 Kyberturvallisuus

Raideliikenteen siirtyessä suljetuista järjestelmistä avoimiin matkapuhelintekniikoihin (GPRS ja LTE) ja IP-protokollaan perustuviin teknologioihin, kasvaa samalla kyberturvallisuushien ja -hyökkäysten todennäköisyys. Uudet tekniikat tuovat etuja alalle, mutta on ymmärrettävä myös mahdolliset riskit ja kyberturvallisuus on integroitava järjestelmiin alusta alkaen. Tällä hetkellä pääasiallisia uhkia raideliikennejärjestelmille ovat erilaiset tietojenkalastelut, kiristykset ja vahingonteot. [14]

Raideliikenteen standardit eivät ole olleet ajan tasalla kyberturvallisuuden osalta ja eri maissa on käytössä erilaiset viranomaismäärittelyt, erilainen terminologia sekä erilaiset standardit. Nyt kuitenkin CENELEC valmistelee kyberturvallisuusstandardia TS50701 (Cybersecurity standard for EU Railways), joka perustuu IEC / ISA-62443 –standardiin,

jota tullaan soveltamaan raideliikenteeseen. Se tarjoaa räätälöidyn standardin kyberturvallisuudesta koko raideliikenteelle. Standardi on tarkoitus saada valmiiksi helmikuuhun 2021 mennessä. [15]

Kyberturvallisuushkien käsitlemistä varten on vuoden 2018 lopulla perustettu myös ER-ISAC. Se on Euroopan raitieliikenteen kyberturvallisuuden yhteistyöelin jossa jaetaan tietoja ja kokemuksia sekä käsitellään kyberturvallisuuteen liittyviä asioita, kuten uhkia, ilmiöitä ja hyviä käytäntöjä. [16]

4 Tutkimusasetelma/tutkimusmenetelmät

Kyselytutkimus tehtiin Surveymonkey verkkosivustolla, jossa käyttäjät voivat luoda omia kyselyitä. Kyselyyn valittiin kolme eri markkina-aluetta, Pohjoismaat, Saksa ja Englanti. Tutkimus oli avoinna 7.10.2020-2.11.2020 ja linkki kyselyyn lähetettiin sähköpostilla suoraan loppukäyttäjille. Tarkoitus oli tutkia etäkunnonvalvonnan nykymarkkinoita eri alueilla ja myös kartoittaa tulevia investointeja.

Kyselyn loppukäyttäjien valinnassa käytin pääosin omia kontaktejani, mutta sain tukea myös alan jäsenjärjestöiltä (Pohjoismaissa Spårvagnsstäderna, Saksassa VDV ja Englannissa UK trams), jotka edustavat mm. kaluston omistajia, liikennelaitoksia, operaattoreita ja kaluston valmistajia. Kyselyn pääkohderyhmäksi valittiin loppukäyttäjia, joilla on käytössä ”light rail-kalustoa” (raitiovaunut, metrot ja lähiliikennejunat). Kysely suoritettiin markkinoittain ja jokainen vastaaja sai myös oman alueensa kyselytulokset samassa muodossa kuin ne on julkaistu tässä opinnäytetyössä.

4.1 Kyselylomakkeen suunnittelu

Kyselyn alussa oli kaksi kysymystä, joissa kysyttiin vastaajien taustatietoja (yrityksen työntekijöiden määrä ja käytössä oleva kalusto) ja loput kahdeksan kysymystä koskivat etäkunnonvalvontaa. Etäkunnonvalvonta termiä voidaan käyttää eri tavoin, joten kysely tehtiin monivalintakysymyksiin ja yritin asetella kysymykset niin, että ne ovat helposti ymmärrettäviä eivätkä johdattele vastaajaa. Kysely oli tarkoitus pitää lyhyenä ja käyttää

mahdollisimman paljon monivalintakysymyksiä myös vastausten tulkinnan ja vertailun helpottamiseksi.

Kyselyn kysymykset olivat seuraavat:

1. Montako työntekijää yrityksessänne on?
2. Mitä kalustoa yrityksellä on käytössä?
3. Onko kalustossanne käytössä etämonitorointi/-kunnonvalvontaa?
4. Mitä te mittaatte?
5. Oletteko aikeissa investoida etäkunnonvalvontaan seuraavan viiden vuoden aikana?
6. Mihin aiotte investoida?
7. Mitkä ovat kolme (3) pääominaisuutta valittaessa etäkunnonvalvontasysteemiä?
8. Mitkä ovat kolme (3) pääkriteeriä valittaessa etäkunnonvalvontasysteemiä?
9. Mitkä ovat kaksi (2) tärkeintä turvallisuuskysymystä?
10. Mitkä ovat kolme (3) suurinta haastetta etäkunnonvalvonnassa?

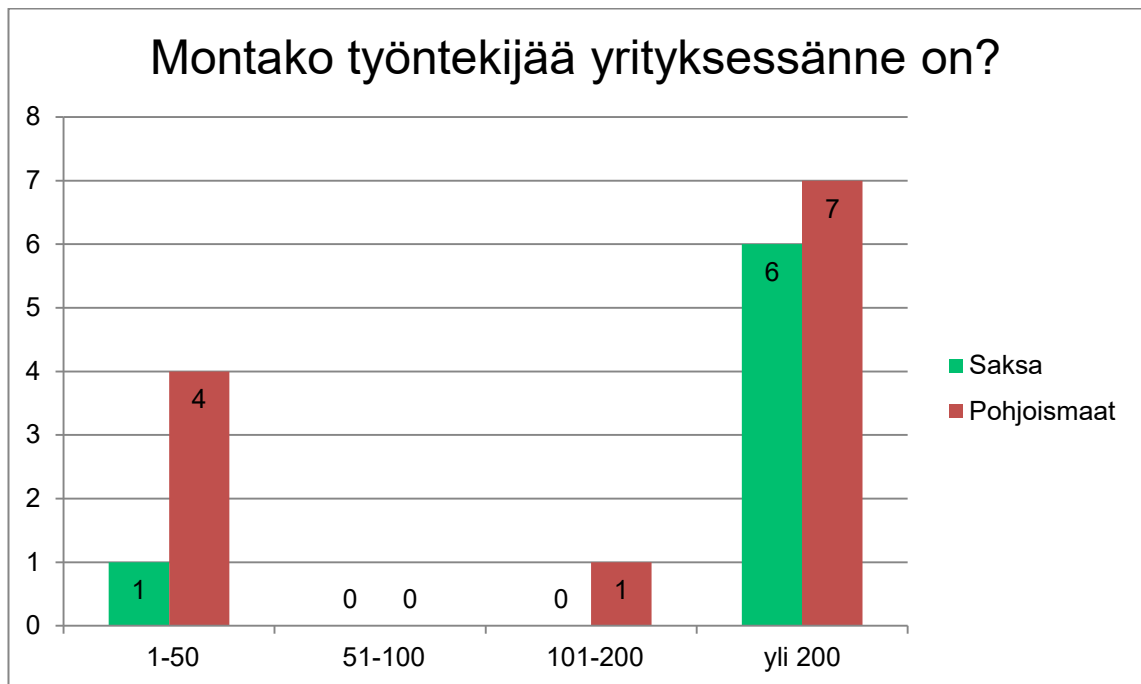
5 Tulosten analysointi

Analysoituja vastauksia tuli yhteensä 19 kappaletta. Pohjoismaista 10, Saksasta 7 ja Englannista 2. Pohjoismaiden vastausprosentti oli 40% (10/25) ja Saksan 28% (7/25). Englannin vastausmäärä oli niin pieni, että se päätettiin jättää pois vertailusta.

Kyselyn vastausmäärä on liian pieni koko markkinan täydellistä tulkintaa varten ja näin ollen tiedot ovat vain pienen osan vastaajien näkemyksiä. Syynä pienille vastausmäärille ja -prosentteille oli, että suurin osa kyselyyn kutsutuista ei ollut edes avannut kyselyä. Pohjoismaista kaksi vastaajaa jätti kyselyn kesken, mutta muuten kaikki kyselyyn osallistuneet suorittivat kyselyn loppuun asti. Vastaajien motivointi sähköpostilla on haastavaa ja voi olla että vastaajat eivät mielestään tunteneet asiayhteyttä tarpeeksi hyvin.

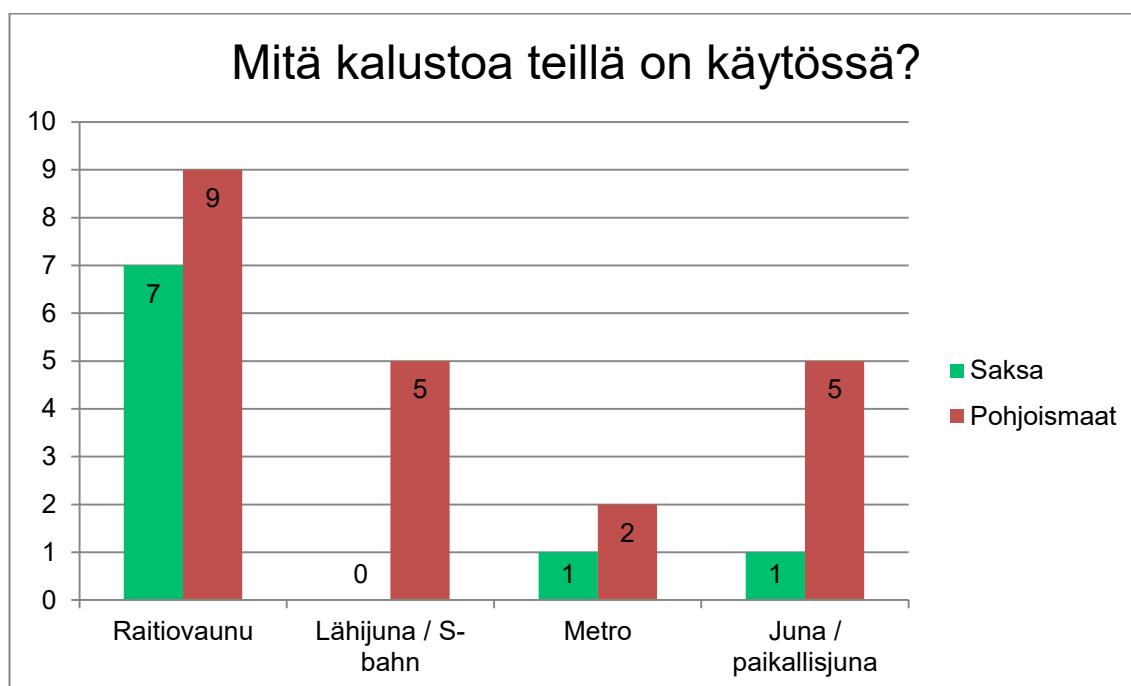
Seuraavilla sivuilla käsitellään kysymykset ja vastaukset yksitellen.

Taulukko 3. Kysymys 1: Montako työntekijää yrityksessänne on?



Enemmistö kaikista vastaajista (68%) oli töissä isossa yrityksessä (yli 200 työntekijää). Pohjoismaissa on myös paljon pieniä liikennelaitoksia, joilla on esimerkiksi vain raitiovaunuja ja se näkyi hyvin myös vastauksissa. Kolmannes (33%) vastaajista Pohjoismaista oli pienestä yrityksestä.

Taulukko 4. Kysymys 2: Mitä kalustoa teillä on käytössä?



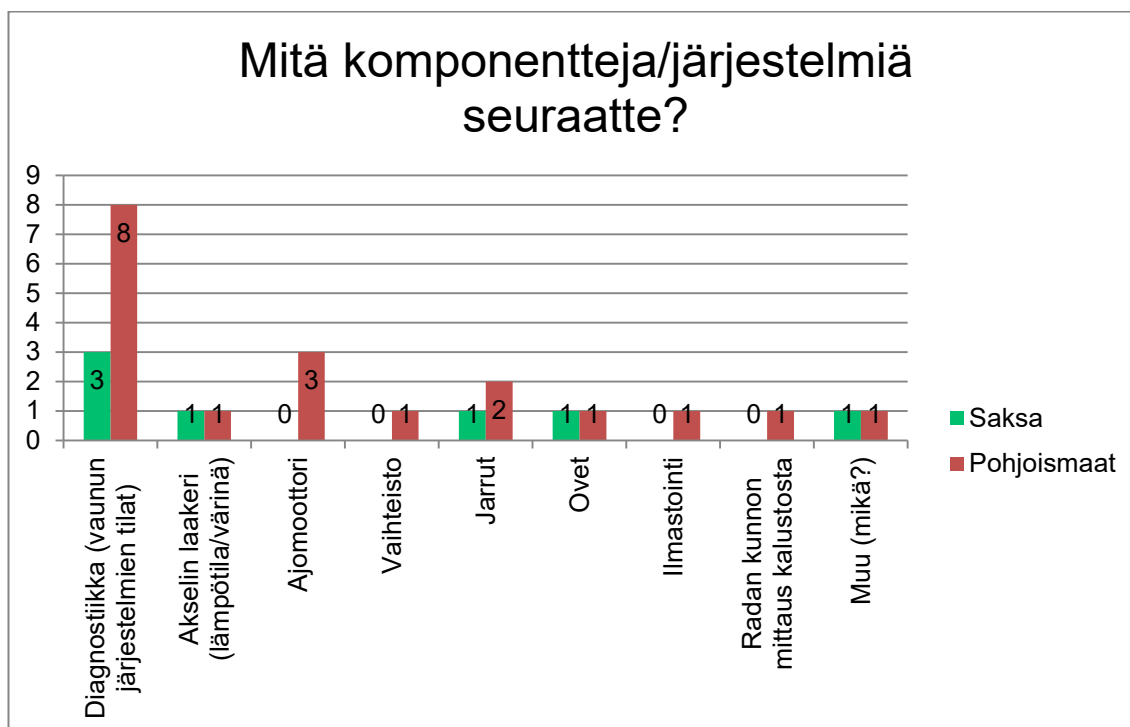
Vastauksista käy ilmi, että kaikilla vastaajilla Saksassa on käytössä raitiovaunuja ja raitiovaunut olivat enemmistönä myös Pohjoismaiden vastauksissa. Pohjoismaissa vastaajilla oli myös enemmän muuta kalustoa raitiovaunujen lisäksi.

Taulukko 5. Kysymys 3: Onko kalustossanne käytössä etäkunnonvalvontaa?



Pohjoismaissa oli selkeästi enemmän käytössä etäkunnonvalvontaa (73%) kuin Saksassa (43%). Suurimpana syynä vastauksiin on kaluston ikä. Joko kaluston hankintavaiheessa ei ole vielä ollut mahdollista panostaa etäkunnonvalvontaan, tai sitä ei ole siinä vaiheessa vielä todettu hyödylliseksi.

Taulukko 6. Kysymys 4: Mitä komponentteja/järjestelmiä seuraatte?

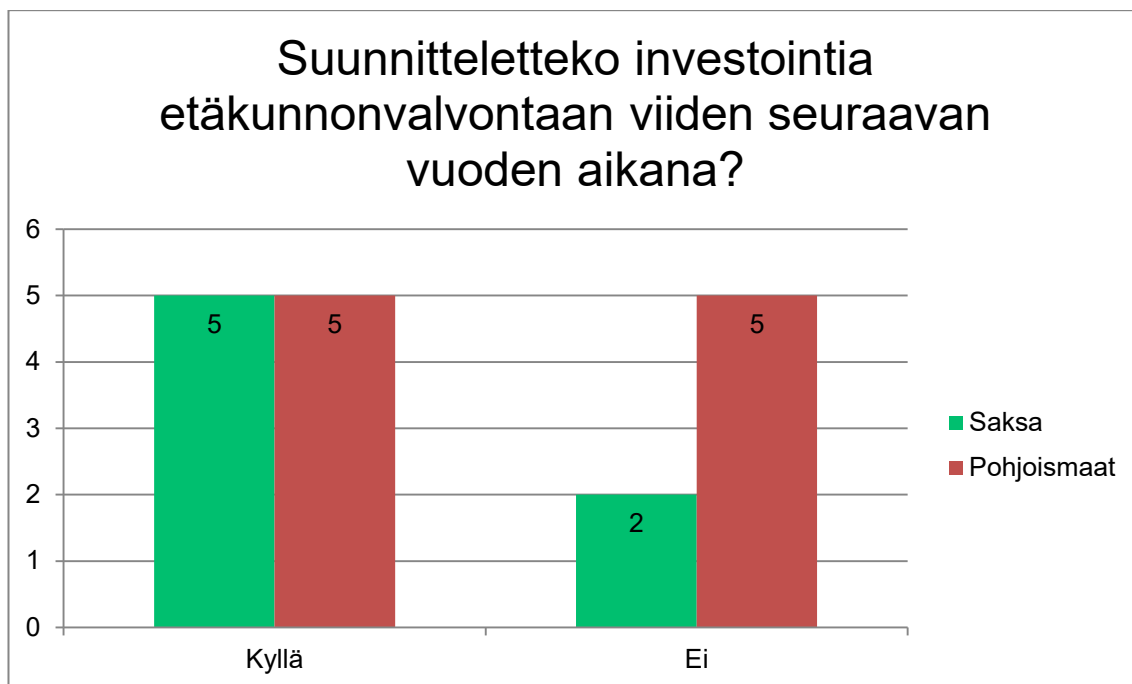


Sekä Pohjoismaissa, että Saksassa käytetään eniten vaunun omaan diagnostiikkaan perustuvaa kunnonvalvontaa, eli näytetään komponentin/systeemin tilatieto kuljettajan näytöllä, ja sama tieto on myös operaattorin ja/tai kunnossapitäjän käytettävissä etänä. Tällä hetkellä tyypilliset diagnostiikkatiedot, joita on saatavana kaluston alijärjestelmistä, kertovat vain, kun laite on rikki tai kun tietty raja-arvo saavutetaan, joten varsinaista ennakkoivaa kunnossapitoa ei voida suorittaa näiden tietojen perusteella. Vastauksissa muiden komponenttien ja järjestelmien seuranta oli vähäistä ja se jakaantui hyvin tasaisesti.

Vastauskenttään muu (mikä?) tuli myös kaksi vastausta.

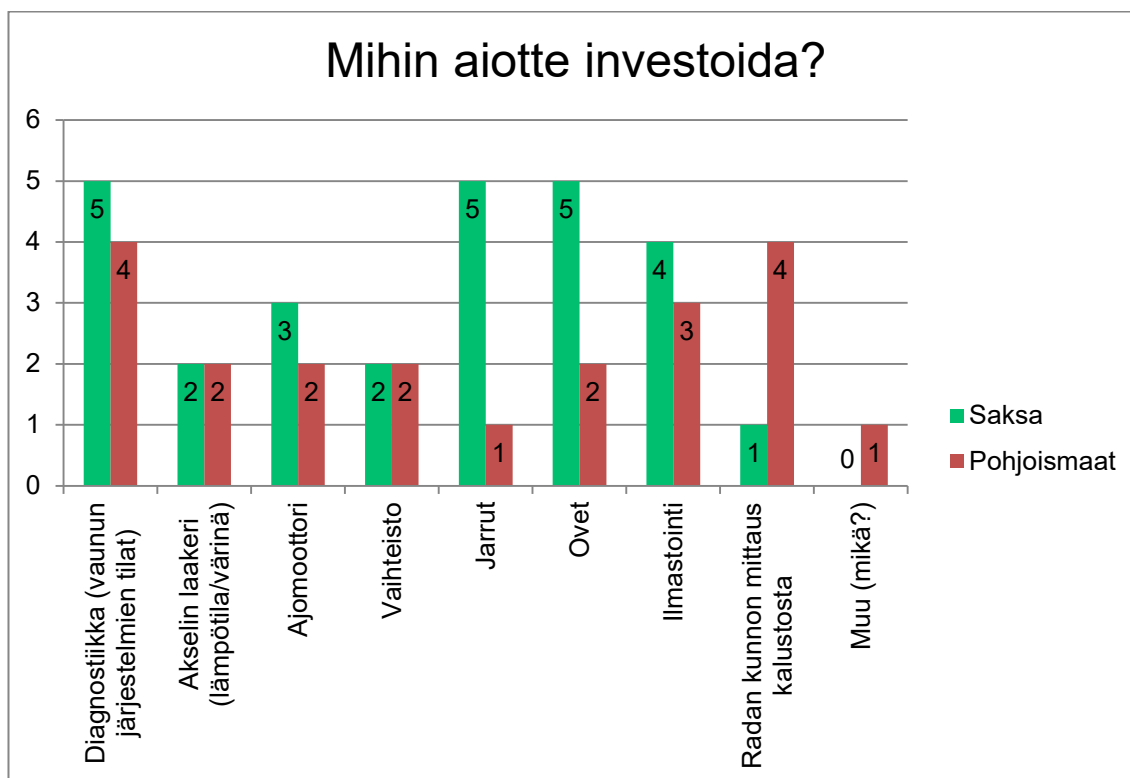
- Saksa: Erilaisia mittauksia eri kalustoissa
- Pohjoismaat: Hälytykset turvallisuuteen liittyvistä ja tärkeistä järjestelmistä

Taulukko 7. Kysymys 5: Suunnitteletteko investointia etäkunnonvalvontaan viiden seuraavan vuoden aikana?



Saksassa selkeä enemmistö vastaajista (71%) on investoimassa etäkunnonvalvontaan seuraavien viiden vuoden aikana, mutta tässä tulee ottaa huomioon, että Pohjoismaassa suurimmalla osalla vastaajista (73%) oli jo käytössä etäkunnonvalvontaa. Saksassa on tulossa useita kiskokalustohankintoja lähitulevaisuudessa ja tämä näkyy selvästi vastauksissa.

Taulukko 8. Kysymys 6: Mihin aiotte investoida?

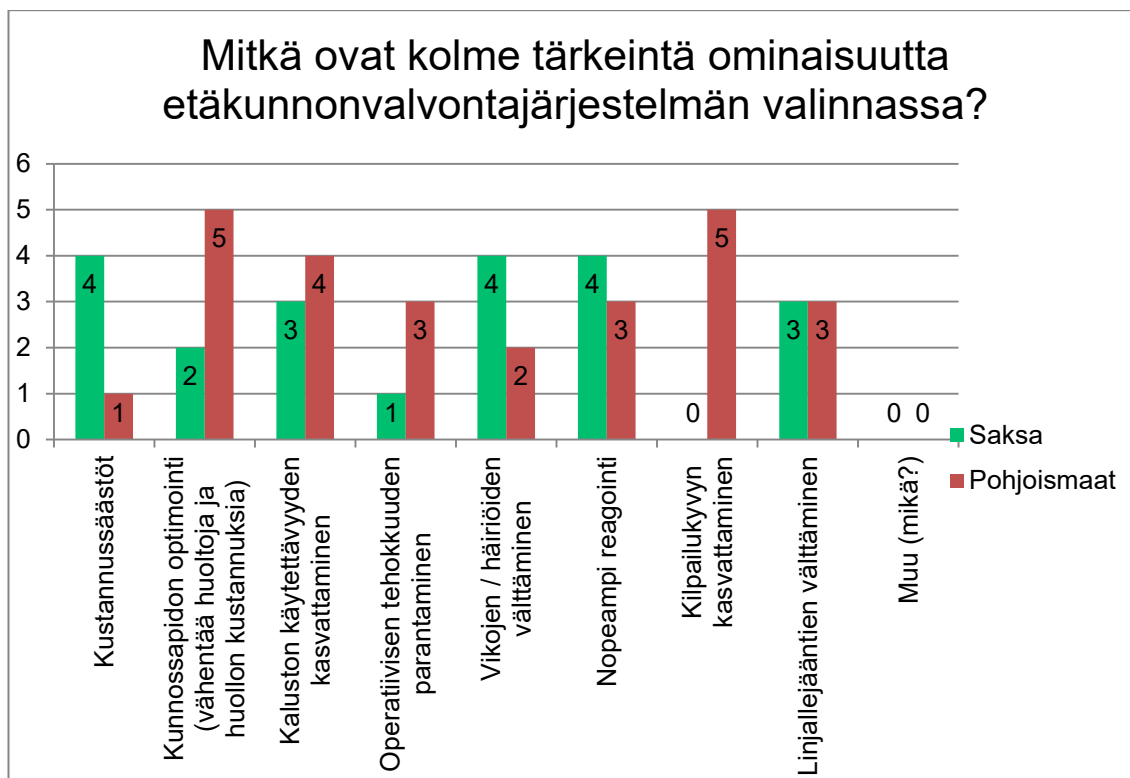


Vastauksissa tulevat investoinnit jakautuivat aika tasaisesti eri järjestelmien/komponenttien kesken. Suurin ero on, että Saksassa jarrujen ja ovien valvontaan investoidaan pohjoismaata selvästi enemmän, kun taas Pohjoismaissa radan kunnonvalvonta oli selkeästi yleisempi investoinnin kohde Saksaan verrattuna. Pohjoismaissa varsinkin ilmasto talvella aiheuttaa haasteita radan kunnossapitoon ja jos rata on huonossa kunnossa niin se näkyy heti pyörien kulumisessa. Vastauksista käy ilmi, että investointien tärkeysjärjestys riippuu käyttäjän omista tarpeista.

Vastauskenttään muu (mikä?) tuli myös yksi vastaus.

- Pohjoismaat: Operointi ja huoltotoiminnot on ulkoistettu eri toimijoille. Liiketoimintasopimukset / säännöt / vastuut on mukautettava tähän.

Taulukko 9. Kysymys 7: Mitkä ovat kolme tärkeintä ominaisuutta etäkunnonvalvontajärjestelmän valinnassa?



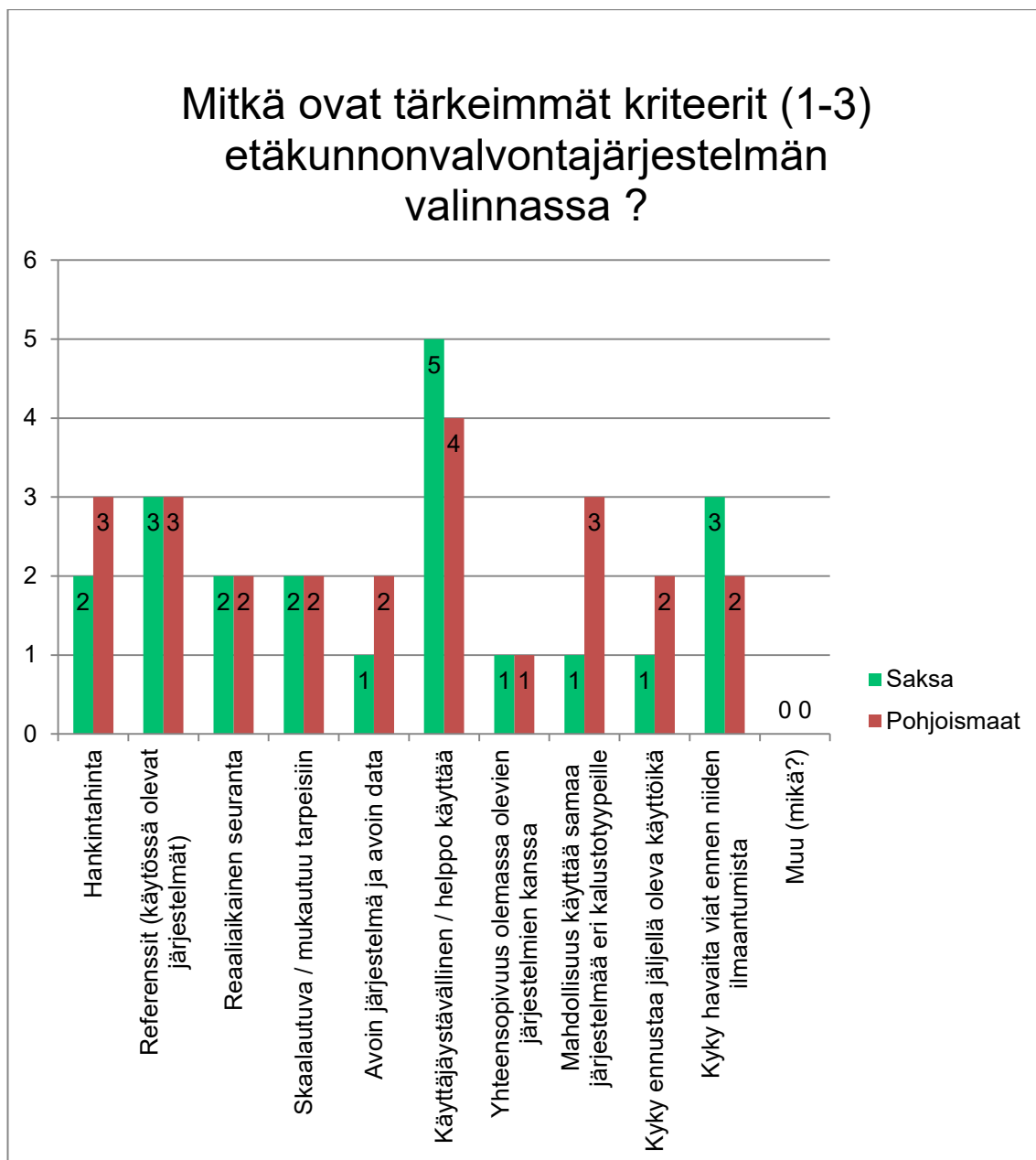
Vastaukset tärkeimmistä ominaisuuksista jakaantuivat hyvin tasaisesti Saksan ja Pohjoismaiden välillä. Isoin merkittävä ero on, että Saksassa kustannussäästöt olivat isossa roolissa Pohjoismaihin verrattuna, kun taas Pohjoismaissa kunnossapidon optimointi ja kilpailukyky olivat selkeästi tärkeämmässä roolissa Saksaan verrattuna.

Pohjoismassa liikennelaitokset ja kaluston omistajat ovat kilpailuttamassa eri toimintoja (operointi, kunnossapito). Kunnossapidon optimointi ja kilpailukyky ovat tärkeitä argumentteja esim. kunnossapitajaa valitessa ja sitä kautta saavutetaan kustannussäästöjä.

Saksassa toimintoja on jo aiemmin kilpailutettu ja nyt ollaan palaamassa takaisin malliin, jossa liikennelaitokset vastaavat itse kunnossapidosta. Siinä tärkeämpää on nimenomaan kustannussäästöt, ei niinkään miten säästöt saavutetaan.

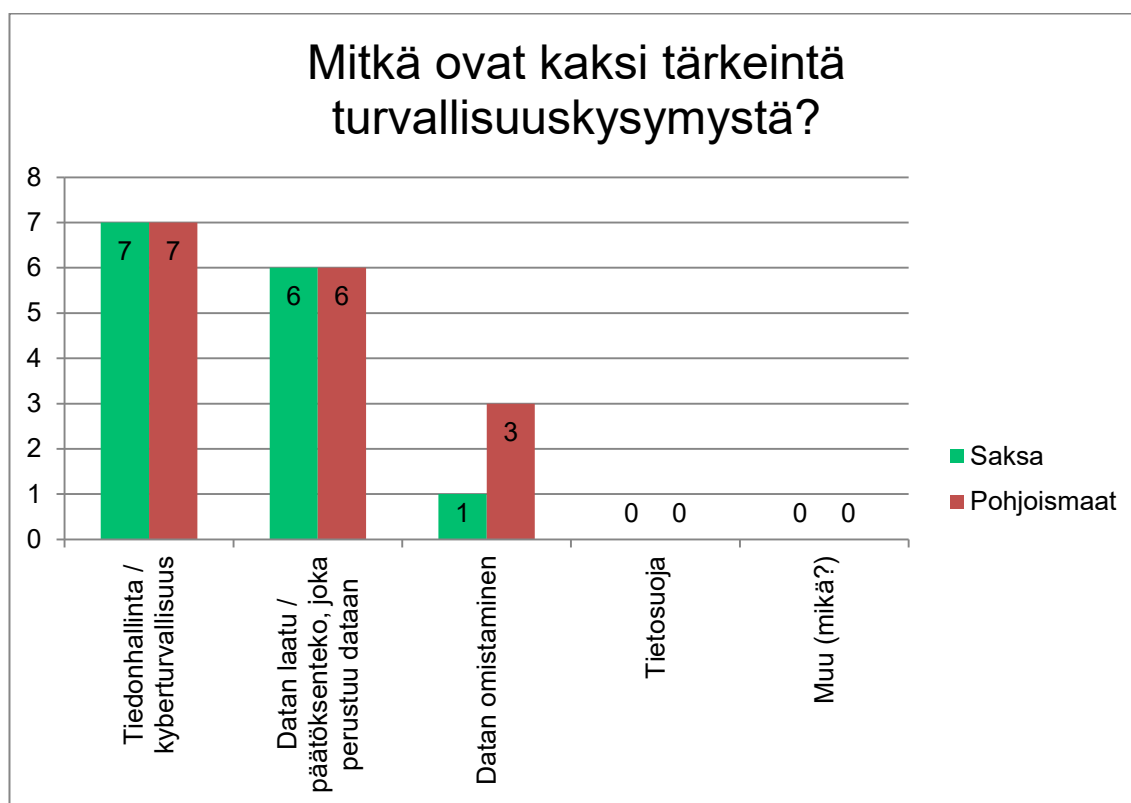
Molemmissa tapauksissa halutaan säästää kunnossapitokustannuksia, joten voisi sanoa että kyseessä on näkökulmaero miten tavoitteeseen päästään.

Taulukko 10. Kysymys 8: Mitkä ovat tärkeimmät kriteerit (1-3) etäkunnonvalvontajärjestelmän valinnassa?



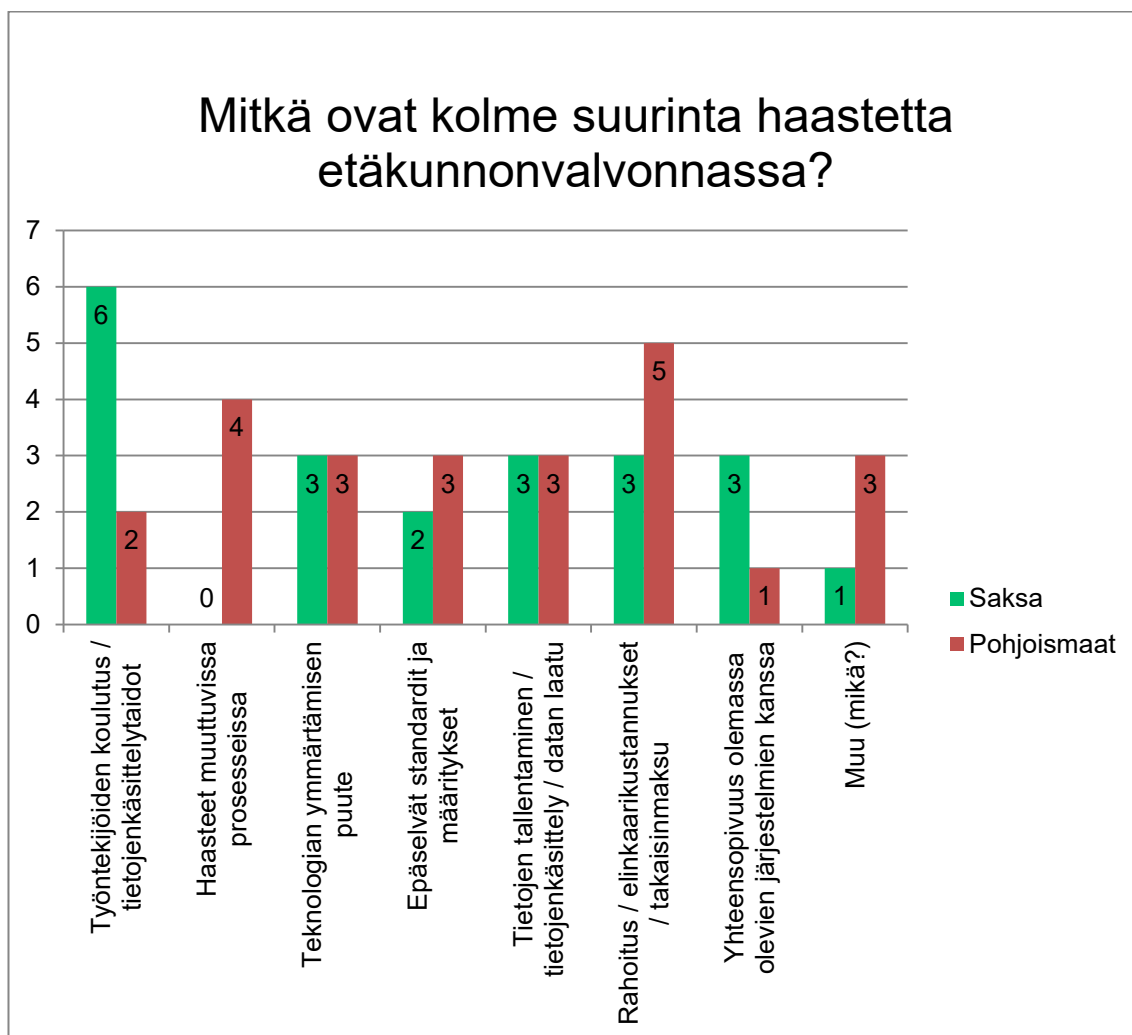
Vastaukset kertovat, että ei ole yhtä ja oikeaa tapaa, joka toimisi kaikille. Käyttäjäystävällisyys ja helppokäyttöisyys ovat selkeästi tärkein kriteeri, mutta muuten tarpeet jakautuvat käyttäjien mukaan.

Taulukko 11. Kysymys 9: Mitkä ovat kaksi tärkeintä turvallisuuskysymystä?



Kaksi selkeästi yleisintä vastausta sekä Saksassa että Pohjoismaissa ovat tiedonhallinta/kyberturvallisuus ja datan laatu sekä sen hyödyntäminen.

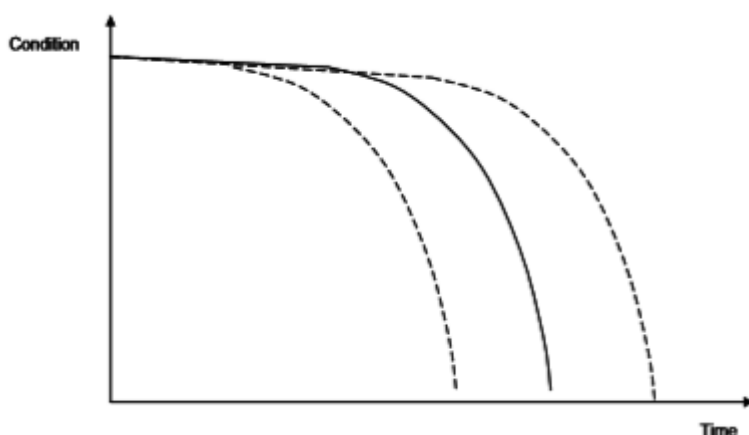
Taulukko 12. Kysymys 10: Mitkä ovat kolme suurinta haastetta etäkunnonvalvonnassa?



Vastaukset kertovat, että eri vastaajilla on erilaiset haasteet ja ongelmat. Tärkeintä on määrittää tarkkaan mitä ongelmaa etäkunnonvalvonnalla halutaan ratkaista.

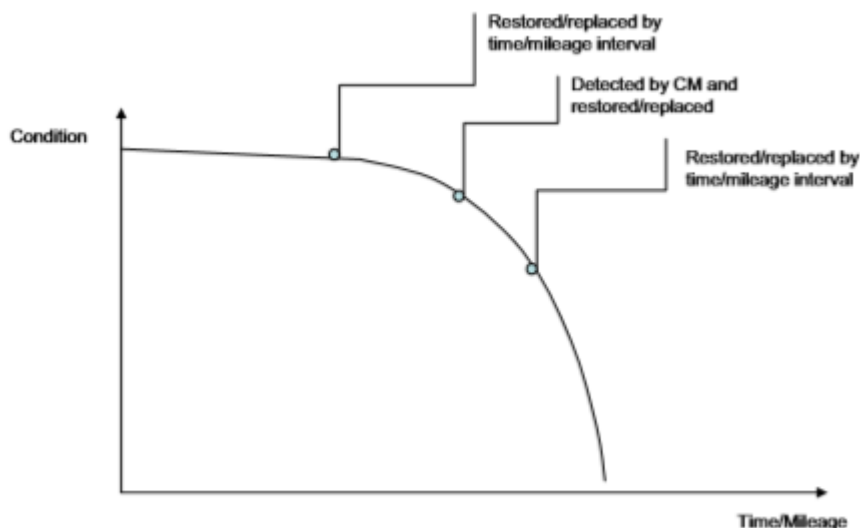
6 Pohdinta-osa

Raideliikenteessä huoltovälit ovat perinteisesti aika- tai kilometripohjaisia, ja nämä huoltovälit perustuvat usein aikaisempaan kokemukseen ja/tai kalustovalmistajan määrittelyyn. Tätä huoltomenetelmää voidaan parantaa edelleen, jos kulumisen vaihtelut voidaan ennakoida tarkemmin. Jaksotetussa kunnossapidossa huoltovälit asetetaan komponentin keskimääräisen käyttöiän vähimmäistasolle. Mutta silti on mahdollista, että komponentit hajoavat odotettua nopeammin esimerkiksi jonkin ulkoisen tekijän aiheuttaman vian vuoksi. [6, s. 90]



Kuva 6. Komponentin keskimääräinen kulumisen ja kulumisen vaihtelun vaikutus komponentin elinkaareen [6]

Todelliseen kuntoon perustuva huolto onkin taloudellisempaa. Kunnonvalvonta on tehokas työkalu vikojen ja komponenttien kunnon ennakoimattoman heikkenemisen havaitsemiseen. Tämä voi lisätä myös järjestelmien turvallisuutta ja käytettävyyttä sekä sen avulla voidaan optimoida komponenttien käyttöikä. [6, s. 90]



Kuva 7. Kunnonvalvonnan hyödyntäminen parhaan ajankohdan löytämiseksi komponentin korjaamiseksi/vaihtamiseksi ennalta määrätyn huoltovälin sijaan. [6]

6.1 Kunnonvalvonnasta kohti ennakoivaa huoltoa

Kunnonvalvonnalla pystytään ehkäisemään ennakoimattomien vikojen syntymistä, paikantamaan ja analysoimaan vikoja ja varautumaan huoltoihin niin, että varaosat ja korjausohjeet olisivat jo valmiina varikolla sen raiteen vieressä, mihin kalusto tulee huoltoon.

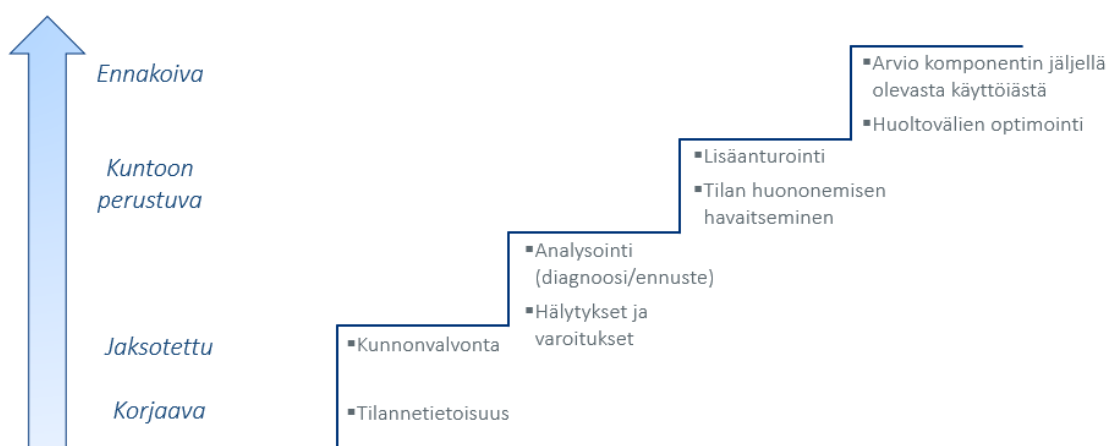
Kuntoon perustuvassa huollossa komponenttien tilaa seurataan reaaliaikaisesti ja kalustoa huolletaan vain tarpeen mukaan. Huoltoja voidaan optimoida esimerkiksi jättämällä kokonaan tekemättä komponentin vaihto, jos komponentin kunto on hyvä, tai komponentin huolto voidaan siirtää tehtäväksi vasta seuraavan huollon yhteydessä. Esimerkiksi ovien kulumisen ei johdu ajetuista kilometreistä, vaan ovien avaamiskerroista. Eli ei ole kustannustehokasta huoltaa kaikkia ovia kilometripohjaisesti huolto-ohjelman mukaisesti, vaan käyttökertojen määrän tai oven tilatiedon mukaisesti.

Ennakoivalla huollolla analysoidaan vikoja ja pyritään maksimoimaan komponenttien elinkaari. Viat pyritään havaitsemaan mahdollisimman aikaisin, jotta kunnossapito on tehokasta. Näin vältetään turhat linjallejäännit. Ennakoivan huollon avulla on mahdollista optimoida huoltoja vielä lisää, ottamalla käyttöön mm. vaihtelevat huoltovälit.

Huoltovälin pidentäminen tuo kustannussäästöjä, koska se tarkoittaa vähemmän huoltoja kaluston elinkaaren aikana. Huoltoprosessit voidaan optimoida ja samalla vähentää henkilöresursseja ja aikaa, jolloin kalusto on poissa liikenteestä. Prosessista tulee hallittu ja näin vältetään ennakoimattomat työt ja ei-produktiiviset työt. Tiedetään tarkkaan mitkä komponentit pitää korjata tai vaihtaa ja mitkä ovat vielä toimintakunnossa.

Mahdollisten vikatilojen ymmärtäminen, oikeiden mittauspisteiden ja antureiden määrittäminen sekä tärkeimpien seurattavien vikojen valitseminen on avain onnistuneeseen kunnonvalvontaan.

Huoltoprosessin kehittäminen

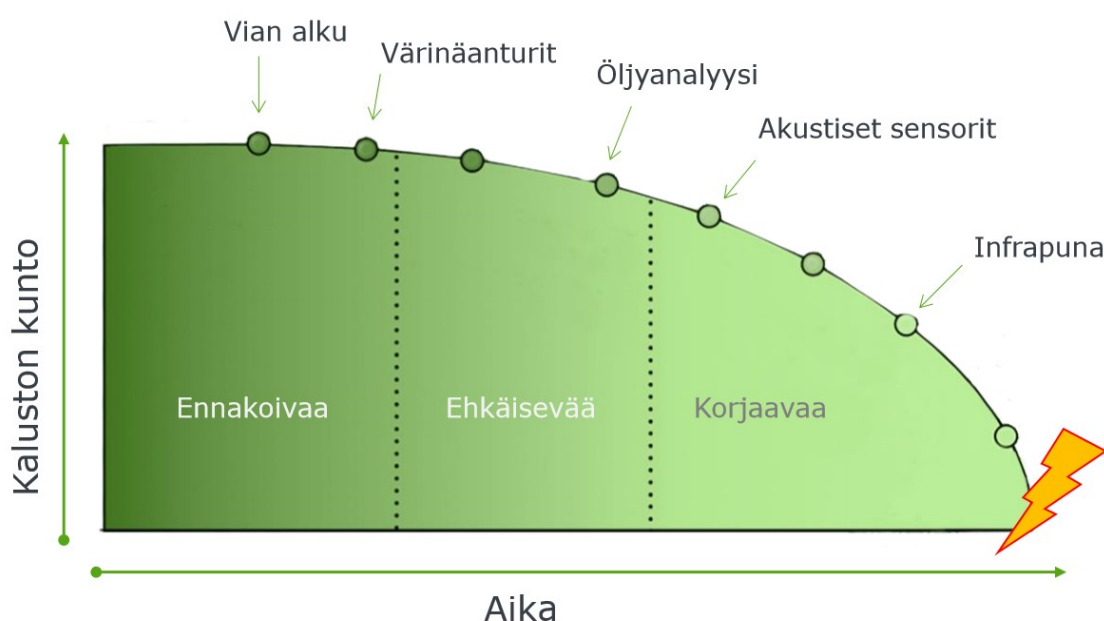


Kuva 8. Huoltoprosessin kehittäminen [10]

Jäljellä olevan käyttöiän (RUL) ennustaminen perustuu vikaantumisriskiin, joka lasketaan laitteesta mitatusta tilatiedosta ja verrataan sitä ikääntymisestä johtuvaan muutokseen yhdessä tietokantaan kerättyjen tilastotietojen kanssa. Ennustavan analyysin tarkkuus paranee, kun tietokantaan kerääntyy enemmän todellista kokemuspohjaista tietoa. Laskettu vikaantumisriski kasvaa ajan myötä vikaantumiskäyrien mukaan, jotka ovat spesifisiä kullekin komponentille. Tätä vikaantumisriskiä ajan funktiona käytetään optimaalisen huoltoaikataulun määrittämiseen.

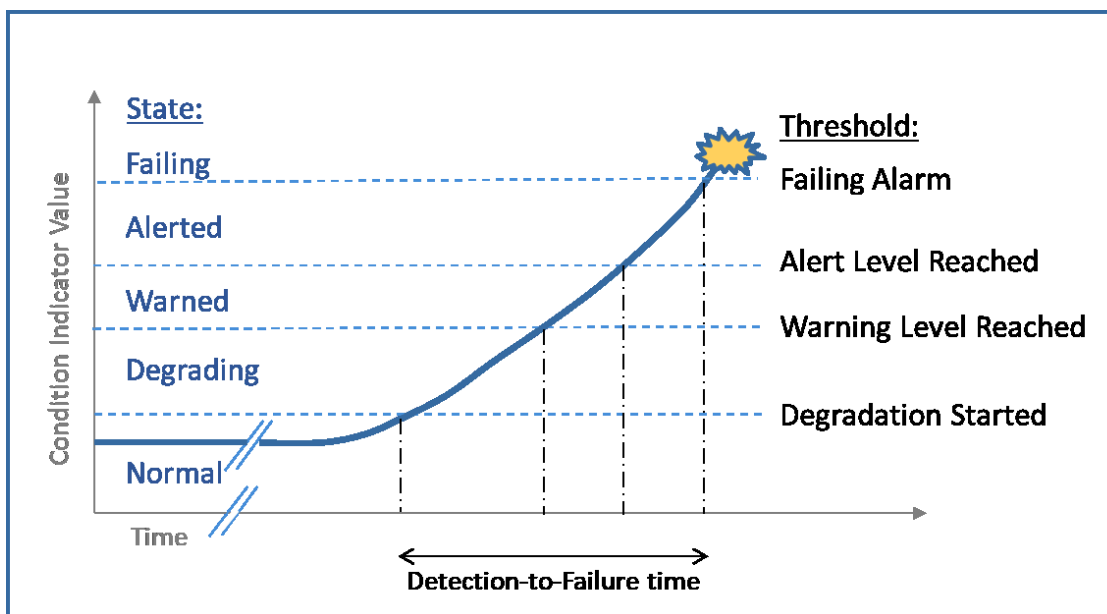
Prognostiikassa pyritään ennustamaan komponentin jäljellä olevaa kestoikää tai vaihtoehtoisesti todennäköisyyttä, jolla komponentti kestää häiriöttä esimerkiksi seuraavaan huoltoon.

P-F käyrä ilmaisee komponentin kunnan muutokset ajan kuluessa. Siinä P tarkoittaa pistettä, jossa oire havaitaan/vikaantuminen alkaa ja F sitä hetkeä, kun komponentti vikaantuu eli on vaurioitunut. Kuvassa 9 tämän käyrän eri kohtiin on laitettu merkinnät siitä, missä vaiheessa milläkin teknisellä ratkaisulla vikaantuminen on mahdollista havaita. Eri komponenteilla ja vikamuodoilla käyrän muoto vaihtelee, joten valitsemalla oikeat kunnonvalvontamenetelmät voidaan reagointiaikaa pidentää. Kunnonvalvonnassa havaitaan poikkeamia, jotka kertovat kohteen käynnissä jonkin muuttuneen, tai prosessin olevan eri pisteessä kuin oletetaan. Kaikkia vikoja ei ole mahdollista ennustaa ja kaikkeen ei ole mahdollista varautua, mutta kunnonvalvonnan avulla monet alkavat vikaantumiset voidaan havaita. [17]



Kuva 9. P-F käyrä sisältäen tapoja havaita vikaantuminen ennen vaurioitumista [13]

Tyypillinen diagnostiikkatieto, joka on saatavilla vaunun järjestelmistä kertoo vain milloin komponentti on rikki tai tietty raja-arvo on saavutettu. Raja-arvot pitää säätää datan ja historiatiedon perusteella manuaalisesti. Seurattava tila (CI) voi olla esimerkiksi lämpötila tai ovien avaamisen lukumäärä.



Kuva 10. Komponentin tilan heikkeneminen ajan kuluessa suhteessa vikaantumisen eri tasoihin [10]

7 Yhteenveto

Kiskokalustoteollisuudessa valmistajat ja operaattorit/kunnossapitäjät eivät käytä tällä hetkellä yhteisiä kansainvälisiä standardeja tai ohjeita noudattaakseen kiskokaluston huolto-ohjelman kehittämistä. Yleensä valmistajat käyttävät erilaisia saatavilla olevia standardeja ja ohjeita (esim. RCM- ja EN-standardit jne.). Ja useimmissa tapauksissa mahdolliset toimijat sekä sidosryhmät eivät ole mukana kunnossapito-ohjelman analysoinnissa ja kehittämisessä. Omistaja/operaattori kommunikoi harvoin valmistajan ja laitetointajien kanssa huolto-ohjelmasta ja sen kehittämisestä. Valmistaja on vastuussa huolto-ohjelman kehityksestä ja he luottavat lähinnä omien komponenttitoimittajien suosituksiin. Mutta koska komponenttitoimittajilla ei ole kokemusta käytännön toiminnasta, siksi heidän suosituksensa ovat usein erittäin varovaisia. Valmistaja kerää toimittajien suositukset ja laatii huoltosuunnitelman niiden perusteella. Useimmiten suositukset muutetaan valmistajan omien kokemusten mukaan. Palaute käyttäjiltä/operaattoreilta valmistajalle puuttuu. [18, s. 45-46]

Pelkkä toimintatavan muuttaminen, kuten huoltovälin pidentäminen, ei välttämättä tuo kustannussäästöjä. Tärkeää on seurata komponenttien kuntoa ja kunnon tilan kehittymistä ja ryhmittelemällä huoltoja tehtäväksi komponenttien kunnon mukaan, tietyin määräjain suoritettavan kunnossapidon sijaan. Data ja analytiikka mahdollistavat merkittäviä etuja kilpailtaessa monivuotisista kunnossapitosopimuksista. [7, s.70]

Askel kuntoon perustuvasta kunnossapidosta ennakoivaan kunnossapitoon edellyttää kuitenkin lisäinvestointeja. Suurimmat kustannussäästöt eivät ole vielä toistaiseksi riittävän houkuttelevia (tällä hetkellä arviolta enintään 10%) merkittävien lisäinvestointien tekemiseksi. [3, s.5]

Operaattorit ja kalustovalmistajat pystyvät määrittelemään kunnossapidon kehityksen suunnan. He omistavat merkittävän osan kaluston tuottamasta datasta - olipa kyseessä joko operatiiviset tiedot, ratatiedot tai kaluston antureiden tuottamat tiedot - ja tämä antaa heille edun muihin toimijoihin nähden. Kaikilla muilla toimijoilla on rajoitetumpi kokemus (esim. vain IT- tai analytiikkatieto) tai heillä on hyvin kapea näkemys koko arvoketjusta, joka rajoittuu mahdollisesti vain yhteen tiettyyn komponenttiin. [3, s.12]

Digitalisaatiota ei voida myydä lopputuotteena. Se on rakennettava erikseen jokaiselle operaattorille ja sen on oltava muokattavissa tarpeiden, rajoitusten ja rahoituksen mukaan. Toteutus on aina räätälöitävä vastaamaan kunkin käyttäjän kalustoa ja kunnossapitoprosesseja. Useimmiten loppukäyttäjällä on käytössä eri valmistajien kalustoa ja käyttäjien tavoitteena on saada kaikki tiedot yhteen käyttöjärjestelmään.

Paremmän lopputuloksen saavuttamiseksi operaattoreilla on oltava mahdollisuus päättää, minkä tyyppistä tietoa käytetään, miten ja mihin. Loppukäyttäjän tulisi määrittää minkä ”ongelman” he haluavat ratkaista ja mitkä tiedot tuovat lisäarvoa yritykselle. Tämän jälkeen pitää selvittää pärjätäänkö käytössä olevilla tietolähteillä tai milloin tarvitaan lisäantureita tai lisäinvestointeja.

Tällä hetkellä pisimmällä kunnonvalvonnan hyödyntämisessä ollaan pyörän kunnon seurannassa. Pyörien sorvaaminen, uudelleenprofilointi ja vaihtaminen tapahtuu useita kertoja vaunun eliniän aikana ja pyörien kunnon seurantaan on panostettu paljon. Pyörien

kulumisesta on paljon historiadataa ja sitä hyödyntämällä pyörillä pystytään nykyään ajamaan enemmän ja pyörien sorvaamisten ajankohdat pyritään optimoimaan pyörän elinikä maksimoimiseksi.

Samanlaista historiatiedon hyödyntämistä ja kunnon seurannan kehitystä tehdään nyt myös muissa komponenteissa. Mutta se vaatii paljon datan käsittelyä ja historiatietoa, että komponenttien elinikä voidaan ennustaa luotettavasti.

Tällä hetkellä 1980-luvulla hankitut korkealattiaiset raitiovaunut ovat tulossa elinkaarensa päähän ja tällaista kalustoa on paljon käytössä varsinkin Saksassa. Myös 1990-luvun alkupuolella hankitut ensimmäisen sukupolven matalalattiaraitiovaunut ovat tulossa elinkaarensa päähän. Joissain tapauksissa kalusto on vielä niin hyvässä kunnossa, että kalustoon on mahdollista tehdä täyskunnostus, jossa päivitetään samalla vaunuun uutta teknologiaa. Tämä on yleensä teknisesti ja varsinkin taloudellisesti kannattavaa verrattuna uuden kaluston hankintaan ja näin saadaan kalustolle vielä noin kymmenen vuotta lisää elinikää.

Viime vuosina kaluston vaatimukset ovat kuitenkin kasvaneet varsinkin matkustusmukavuuden osalta ja useimmiten nykyään vaaditaankin täysmatalalattiasta kalustoa ja se tarkoittaa käytännössä uuden kaluston hankintaa. Teknologiat, energiatehokkuus ja kaluston huollettavuus ovat kehittyneet isoin harppauksin 1980-1990-luvuista ja se puoltaa myös useimmiten uusien raitiovaunujen hankintaa. Myös varaosien saaminen vanhoihin vaunuihin on nykyään haastavaa. Mutta molemmissa tapauksissa, sekä täyskorjauksessa, että uuden kaluston hankinnassa vaunujen kunnossapitokustannuksilla ja etäkunnonvalvonnalla on merkittävä rooli päätöksiä tehdessä.

Seuraavan kymmenen vuoden aikana tulee useita kalustohankintoja ja näissä hankinnoissa kunnossapidettävyys ja elinkaarikustannukset ovat suurimpia tekijöitä kalustoa hankittaessa. Tällä hetkellä markkinoilla ei vielä ole valmistajaa joka tarjoaisi täysin kuntoon perustuvaa tai ennakoivaa kunnossapitoa, mutta kilpailu markkinoista on niin kovaa, että se hetki on joka päivä askeleen lähempänä. Data ja digitalisaatio on jo muuttanut isoja perinteisiä yrityksiä teollisuudessa, ja luonut samalla myös uusia liiketoimintamalleja. Pelikenttä on nyt avoin ja onkin mahdollista, että alalle tulee ihan uusia toimijoita uusin näkökulmin perinteisten toimijoiden ulkopuolelta.

Lähteet

- 1 Internet-sivu: <https://www.eke-electronics.com/company-en>, haettu 30.1.2021
- 2 Rolling Stock Management Market - Global Forecast to 2025: Opportunities in Automatic Monitoring & Cost Reduction in IoT Components and the Need for Asset Optimization, Internet-sivu: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/04/08/1799158/0/en/Rolling-Stock-Management-Market-Global-Forecast-to-2025-Opportunities-in-Automatic-Monitoring-Cost-Reduction-in-IoT-Components-and-the-Need-for-Asset-Optimization.html>, haettu 15.10.2020
- 3 The rail sector's changing maintenance game, Internet-sivu: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/the%20rail%20sectors%20changing%20maintenance%20game/the-rail-sectors-changing-maintenance-game.pdf>, haettu 31.10.2020
- 4 Standardi SFS-EN 13306:2017, Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia.
- 5 Melander Sara, Survival regression model for rolling stock failure prediction, Master's Thesis 29.4.2019
- 6 Lagnebäck Robert, Evaluation of wayside condition monitoring technologies for condition-based maintenance of railway vehicles, Licentiate Thesis 2007:18
- 7 Lehikoinen Leo, Raidekaluston jarrupalojen vaihtostrategian optimointi simuloinnin avulla, diplomityö 12.2.2019
- 8 Kunnossapidon käsitteet ja määritelmät, Internet-sivu: http://www03.edu.fi/oppi-materiaalit/kunnossapito/perusteet_2-1_kunnossapidon_kasitteet_ja_maaritelmat.html, haettu 19.12.2020
- 9 Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways, Internet-sivu: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5492363/>, haettu 19.12.2020
- 10 "The rising role of data" (EKE SmartVision powerpoint-esitys)
- 11 Design of Wireless Sensor Network in the Railway, Internet-sivu: https://www.researchgate.net/publication/322872789_Design_of_Wireless_Sensor_Network_in_the_Railway, haettu 22.11.2020

- 12 Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey, Internet-sivu: https://www.researchgate.net/profile/Victoria_Hodge/publication/268807371_Wireless_Sensor_Networks_for_Condition_Monitoring_in_the_Railway_Industry_A_Survey/links/547702960cf29afed61442d3/Wireless-Sensor-Networks-for-Condition-Monitoring-in-the-Railway-Industry-A-Survey.pdf, haettu 22.11.2020

- 13 VR FLEETCARE Presents: Digital Maintenance as a Game Changer – Is There a Future for Data-Driven Maintenance? 20.10.2020 webinar)

- 14 Rautatieverkkojen suojaaminen kyberuhilta, Internet-sivu: https://www.sesko.fi/sesko-akatemia/artikkelit_ja_kirjoitukset/rautatieverkkojen_suojaaminen_kyberuhilta.1591.news?1519_o=6, haettu 19.12.2020

- 15 Traficom, kyberturvallisuus raiteilla, Internet-sivu: https://vayla.fi/documents/25230764/45776494/Virpi+Tuulaniemi+Kyberturvallisuus+raiteilla+20201029_TLP_WHITE.pdf/f87ff8b5-858c-3b5a-aa42-75c1f091b919/Virpi+Tuulaniemi+Kyberturvallisuus+raiteilla+20201029_TLP_WHITE.pdf?t=1605535766779, haettu 19.12.2020

- 16 ENISA, Internet-sivu: <https://www.enisa.europa.eu/>, haettu 19.12.2020

- 17 Tehosta vikaantumisen seurantaa, Internet-sivu: <https://promaintlehti.fi/Kunnon-valvonta-ja-kayttovarmuus/Tehosta-vikaantumisen-seurantaa>, haettu 15.10.2020

- 18 Smart maintenance and the rail traveller experience, Deliverable D2.1, Internet-sivu: <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjht7GQpLzuAhXFzoUKHYPGDGI-QFjAAeqQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.smart-rail.eu%2Fdownload.aspx%3Fid%3Dfb1ff230-a94a-4359-a0d2-84eac83de76f&usq=AOv-Vaw1heCshHYlxHHTsUV7MpwZq>, haettu 22.11.2020

Kyselytutkimuksen kysymykset – Pohjoismaat/UK

Liitteenä kysymykset englanniksi.




Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 1. Background of your company. How many employees do you have?

- ☐ 1 to 50
- ☐ 51 to 100
- ☐ 101 to 200
- ☐ over 200

Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).




Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 2. Background of your company. What kind of rolling stock do you have?

- ☐ Trams
- ☐ Metros / U-bahns
- ☐ S-bahns / Commuter trains
- ☐ Trains

Prev

Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 3. Are you using remote monitoring / remote condition monitoring in your fleet?

- ☐ Yes
- ☐ No. Why not?

Prev Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 4. What systems / components do you measure?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Diagnostics (statuses of onboard systems) | <input type="checkbox"/> Brakes |
| <input type="checkbox"/> Axle bearing temp./vibr. | <input type="checkbox"/> Doors |
| <input type="checkbox"/> Traction motors | <input type="checkbox"/> HVAC |
| <input type="checkbox"/> Gearboxes | <input type="checkbox"/> Condition of track measured from train |
| <input type="checkbox"/> Other (please specify) | |

Prev Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)


* 5. Are you planning to invest in remote condition monitoring in the next 5 years?

☐ Yes

☐ No

Prev

Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 6. What type of monitoring are you considering?

☐ Diagnostics (statuses of onboard systems)

☐ Brakes

☐ Axle bearing temp./vibr.

☐ Doors

☐ Traction motors

☐ HVAC


☐ Gearboxes

☐ Condition of track measured from train

☐ Other (please specify)

Prev

Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 7. What are the three (3) main features when choosing remote condition monitoring?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Saving money | <input type="checkbox"/> Avoiding faults |
| <input type="checkbox"/> Optimizing maintenance (cut repair needs and costs) | <input type="checkbox"/> Reacting faster |
| <input type="checkbox"/> High availability of fleet | <input type="checkbox"/> To be competitive |
| <input type="checkbox"/> Improving operational efficiency | <input type="checkbox"/> Avoiding service interruptions |
| <input type="checkbox"/> Other (please specify) | |

Prev Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).



Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 8. What are the main criteria (1 to 3) when choosing remote condition monitoring?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Purchase price | <input type="checkbox"/> Easy to use |
| <input type="checkbox"/> References (proven system) | <input type="checkbox"/> Compatibility with existing systems |
| <input type="checkbox"/> Real-time monitoring | <input type="checkbox"/> Possibility to use same system for different fleet types |
| <input type="checkbox"/> Scalable/Adapts to your needs | <input type="checkbox"/> Capability to predict remaining useful life |
| <input type="checkbox"/> Open system and open data | <input type="checkbox"/> Capability to detect faults before they appear |
| <input type="checkbox"/> Other (please specify) | |

Prev Next

Powered by
 SurveyMonkey
See how easy it is to [create a survey](#).




Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 9. What are the two (2) most important security issues?

- ☐ Secure data management / Cybersecurity
- ☐ Trust in data - making decisions based on data
- ☐ Owning the data
- ☐ Privacy
- ☐ Other (please specify)

Prev

Next

Powered by
 **SurveyMonkey**
See how easy it is to [create a survey](#).




Remote Condition Monitoring - Online Survey (Nordic countries)

* 10. What are the three (3) biggest challenges in remote condition monitoring?

- ☐ Education of workers/ data-processing skills
- ☐ Lack of technology understanding
- ☐ Challenges in changing processes
- ☐ Financing/ life cycle costs/ repayment
- ☐ Unclear standards and legal regulations
- ☐ Compatibility with existing systems
- ☐ Storing data/ processing data/ quality of data
- ☐ Other

Prev

Next

Powered by
 **SurveyMonkey**
See how easy it is to [create a survey](#).

Kyselytutkimuksen kysymykset – Saksa

Liitteenä kysymykset saksaksi.



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 1. Wie viele Mitarbeiter beschäftigt Ihr Unternehmen?

- ☐ 1 bis 50
- ☐ 51 bis 100
- ☐ 101 bis 200
- ☐ über 200

Weiter

Powered by
 SurveyMonkey
 Es ist ganz einfach, eine Umfrage zu erstellen.



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 2. Welche Art von Fahrzeugflotte hat Ihr Unternehmen?

- ☐ Strassenbahn
- ☐ S-Bahn
- ☐ U-Bahn
- ☐ Regionalbahn

Zurück

Weiter

Powered by
 SurveyMonkey
 Es ist ganz einfach, eine Umfrage zu erstellen.



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 3. Benutzen Sie Ferndiagnose zur Überwachung Ihrer Flotte?

- ☐ Ja
- ☐ Nein. Warum nicht?

Zurück

Weiter



Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 4. Welche Komponenten überwachen Sie?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Fehlersuche (Status der fahrzeuginternen Systeme) | <input type="checkbox"/> Bremsen |
| <input type="checkbox"/> Achslager (Temperatur/Schwingungen) | <input type="checkbox"/> Türen |
| <input type="checkbox"/> Fahrmotoren | <input type="checkbox"/> HLK |
| <input type="checkbox"/> Getriebe | <input type="checkbox"/> Gleiszustand gemessen vom Fahrzeug aus |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges (bitte angeben) | |

Zurück

Weiter



Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 5. Planen Sie, in den nächsten fünf (5) Jahren in Fernüberwachung zu investieren?

☐ Ja

☐ Nein

Zurück

Weiter

Powered by
 SurveyMonkey
Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).



Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 6. Worin genau wollen Sie investieren?

☐ Fehlersuche (Status der fahrzeuginternen Systeme)

☐ Bremsen

☐ Achslager (Temperatur/Schwingungen)

☐ Türen

☐ Fahrmotoren

☐ HLK

☐ Getriebe

☐ Gleiszustand gemessen vom Fahrzeug aus

☐ Sonstige, welche?

Zurück

Weiter

Powered by
 SurveyMonkey
Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).

Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 7. Was sind die drei (3) Hauptgründe für die Nutzung der Fernüberwachung?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Kosteneinsparung | <input type="checkbox"/> Störungsvermeidung |
| <input type="checkbox"/> Wartungsoptimierung (Verringerung von Wartungsintervallen und -kosten) | <input type="checkbox"/> Schnelleres Reagieren |
| <input type="checkbox"/> Erhöhung der Betriebsbereitschaft | <input type="checkbox"/> Wettbewerbsfähigkeit |
| <input type="checkbox"/> Verbesserung der betrieblichen Einsatzfähigkeit | <input type="checkbox"/> Vermeidung von Betriebsunterbrechungen |
| <input type="checkbox"/> Sonstige, welche? | |

Zurück

Weiter

Powered by
 **SurveyMonkey**
Es ist ganz einfach, eine Umfrage zu erstellen.

Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 8. Was sind die Hauptkriterien (1 bis 3) bei der Beschaffung von Fernüberwachung?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Einkaufspreis | <input type="checkbox"/> Benutzerfreundlichkeit |
| <input type="checkbox"/> Referenzen (bewährtes System) | <input type="checkbox"/> Kompatibilität mit bestehenden Systemen |
| <input type="checkbox"/> Echtzeitüberwachung | <input type="checkbox"/> Möglichkeit, das selbe System für verschiedene Fahrzeugtypen zu verwenden |
| <input type="checkbox"/> Skalierbar/passt sich Ihren Bedürfnissen an | <input type="checkbox"/> Fähigkeit, Fehler zu erkennen, bevor sie auftreten |
| <input type="checkbox"/> Offenes System und "Open Data" | |
| <input type="checkbox"/> Sonstige, welche? | |

Zurück

Weiter

Powered by
 **SurveyMonkey**
Es ist ganz einfach, eine Umfrage zu erstellen.

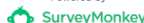
Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 9. Was sind die beiden (2) wichtigsten Sicherheitskriterien?

- ☐ Sicheres Datenmanagement / Cybersicherheit
- ☐ Datenqualität (verlässliche Informationen, Entscheidungen auf der Grundlage von Daten treffen)
- ☐ Eigentum an Daten
- ☐ Datenschutz
- ☐ Sonstige, welche?

Zurück

Weiter

Powered by

Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).

Remote Condition Monitoring - Umfrage (Deutschland)

* 10. Was sind die drei (3) grössten Herausforderungen bei der Fernüberwachung?

- ☐ Schulung der Mitarbeiter/
Datenverarbeitungsfähigkeiten
- ☐ Herausforderungen bei der Veränderung von
Prozessen
- ☐ Allgemeiner Mangel an technologischem
Verständnis
- ☐ Undeutliche Standards und gesetzliche
Regelungen
- ☐ Sonstige, welche?
- ☐ Datenspeicherung / Datenverarbeitung /
Datenqualität
- ☐ Finanzierung/ Lebenslaufkosten/ Kapitalrendite
- ☐ Kompatibilität mit bestehenden Systemen
- ☐ Gesetzliche Regelungen

Zurück

Weiter

Powered by

Es ist ganz einfach, [eine Umfrage zu erstellen](#).