

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Jan Lindberg

SFS-EN 50126-1 RAMS vaatimukset – Rautateiden liikkuvan kaluston sähköiset järjestelmät

Työn tarkastajat: Prof. Samuli Honkapuro

TkT Juha Haakana

Työn ohjaajat: Prof. Samuli Honkapuro

DI Ville Mattila

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Jan Lindberg

SFS-EN 50126-1 RAMS vaatimukset – Rautateiden liikkuvan kaluston sähköiset järjestelmät

Diplomityö 2023

53 sivua, 26 kuvaa, 5 taulukkoa ja 4 liitettä

Työn tarkastajat: Prof. Samuli Honkapuro, TkT Juha Haakana

Työn ohjaajat: Prof. Samuli Honkapuro, DI Ville Mattila

Hakusanat: RAMS, kiskokalusto, SFS-EN 50126-1

Laajojen sekä monimutkaisten järjestelmien hallintaan tarvitaan työkaluja sekä prosesseja. Tämä työ on vertaileva tutkimus rautateiden liikkuvan kaluston sähköisten järjestelmien hallintaprosesseista ja -käytänteistä sekä SFS-EN 50126-1 standardin RAMS vaatimuksista. RAMS on lyhenne toimintavarmuudesta (Reliability), käyttövarmuudesta (Availability), kunnossapidettävyydestä (Maintainability) sekä turvallisuudesta (Safety). SFS-EN 50126-1 on puolestaan standardi, joka kuvaa RAMS-prosessia yleisesti rautateillä. Työssä tutkitaan tarkemmin SFS-EN 50126-1 standardin sisältöä sekä kiskokaluston kunnossapitoyrityksen VR Fleetcaren RAMS-käytänteitä, keskittyen toimintavarmuuteen, käyttövarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen (RAM). Tämän lisäksi paneudutaan RAMS toimintaympäristöön ja ajatukseen tarkemmin sekä avataan hieman RAMS-laskentaa.

Tutkimusmenetelminä käytetään kuiluanalyysia sekä kyselytutkimusta. Kuiluanalyysissa vertaillaan standardin SFS-EN 50126-1 RAMS-prosessin vaatimuksia ja VR Fleetcaren liikkuvan kaluston suunnitteluohjeistuksen käytänteitä. Kyselytutkimuksella puolestaan luodaan käsitys yrityksen käytännön RAMS-prosessin vertautumisesta standardin määrittelemään RAMS-prosessiin. Lopuksi tutkitaan sitä, kuinka RAMS-prosessin ohjeistus toteutuu käytännössä, vertailemalla kuiluanalyysin sekä kyselytutkimuksen tuloksia keskenään.

Tutkimuksen tulosten mukaan yritys täyttää standardin yleiset vaatimukset kohtalaisen hyvin, mutta RAM vaatimuksien osalta havaittiin myös puutteita. Kyselytutkimuksen perusteella yrityksen sisäiset sidosryhmät näkivät huomattavia haasteita standardin vaatimusten täyttämässä käytännön prosesseissa. Työn loppupäätelmä on, että yrityksen ohjeistuksia sekä prosesseja tulisi kehittää edelleen niin, että standardin vaatimukset saadaan täytettyä selkeämmin.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Jan Lindberg

SFS-EN 50126-1 RAMS Requirements – Railway Rolling Stock Electrical Systems

Master's Thesis 2023

53 pages, 26 figures, 5 tables and 4 appendixes

Examiners: Prof. Samuli Honkapuro, D.Sc. (Tech.) Juha Haakana

Supervisors: Prof. Samuli Honkapuro, M.Sc. Ville Mattila

Keywords: RAMS, Rolling stock, SFS-EN-50126-1

Management of large and complex systems requires tools and processes. This work is comparative research on the electric systems of railway rolling stock control processes/practices and SFS-EN 50126-1 standard's RAMS requirements. RAMS is an abbreviation from Reliability, Availability, Maintainability and Safety. SFS-EN 50126-1 again is a standard, which generally describes the RAMS process on railways. In this work, the content of SFS-EN 50126-1 standard is examined more closely together with the RAMS practices of the rolling stock maintenance company VR Fleetcare, concentrating on reliability, availability and maintainability topics (RAM). In addition, the work dives into the RAMS operational environment and its purpose as well as describes some of the RAMS calculations.

Research methodology is a combination of gap analysis and questionnaire. In the gap analysis, the SFS-EN 50126-1 RAMS process requirements and VR Fleetcare's practices in rolling stock design instructions are compared. Then again, the questionnaire is used to create an understanding of the company's actual RAMS processes against the processes determined by the RAMS standard. Then, it is assessed how RAMS process guidance is implemented in practice, by comparing gap analysis and questionnaire results.

The findings suggest that the company meets the general requirements relatively well, but for the RAM requirements also shortcomings were identified. Based on the questionnaire, company's internal stakeholders see significant challenges in meeting the standard requirements in practice. The conclusion is that the company guidance and processes should be further developed, so that the standard requirements can be met more clearly.

ALKUSANAT

Kiitos avusta ja mahdollisuudesta työn toteutukseen ja sisältöön liittyen;

➤ Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

➤ VR Fleetcare

Jan Lindberg

Helsingissä 15.6.2023

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET | 6 |
| 1 JOHDANTO..... | 7 |
| 1.1 Työn tausta | 8 |
| 1.2 Työn tavoite ja rajaus | 8 |
| 1.3 Työn toteutus | 8 |
| 1.4 VR FleetCare | 9 |
| 2 RAUTATEIDEN SÄHKÖINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ..... | 11 |
| 2.1 Rata | 11 |
| 2.2 Liikkuvan kaluston tyypit..... | 12 |
| 2.3 Sähköiset järjestelmät..... | 16 |
| 3 SFS-EN 50126-1 SISÄLTÖ..... | 20 |
| 3.1 RAMS rautateillä | 21 |
| 3.2 Rautateiden RAMS hallinta – Yleiset vaatimukset..... | 24 |
| 3.3 RAMS elinkaari | 26 |
| 4 RAM TOIMINTAJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖISTEN JÄRJESTELMIEN ELINKAAREN AIKANA..... | 30 |
| 4.1 RAM tunnusluvut..... | 30 |
| 4.2 Menetelmät RAM soveltamiseen..... | 34 |
| 5 KUILUANALYYSI SEKÄ KYSELYTUTKIMUS SFS-EN 50126 RAMS PROSESSIN JA YRITYKSEN RAMS KÄYTÄNTEIDEN VÄLILTÄ..... | 37 |
| 5.1 Kuiluanalyysi SFS-EN 50126-1 RAM prosessi & yrityksen käytänteet | 38 |
| 5.2 Kyselytutkimus yrityksen RAMS käytänteistä..... | 40 |
| 6 JOHTOPÄÄTÖKSET | 48 |
| LÄHDELUETTELO..... | 50 |

LIITTEET

LIITE 1: Standardin SFS-EN 50126-1 visualisointi RAMS elinkaaren vaiheista

LIITE 2: Kuiluanalyysin Excel pohja

LIITE 3: Kyselytutkimuksen kysely- ja vastauslomake

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

Lyhenteet

| | |
|---------|---|
| CENELEC | European Committee for Electrotechnical Standardization |
| CLC/TR | Technical Report |
| EN | European Norm |
| FMEA | Failure mode and effect analysis |
| FTA | Fault Tree Analysis |
| IEA | International Energy Agency |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| ISO | International Organization for Standardization |
| MDT | Mean Down Time |
| MTBF | Mean operating Time Between Failure |
| MTBM | Mean Time Between Maintenance |
| MTTF | Mean operating Time To Failure |
| MTTM | Mean Time To Maintain |
| MTTR | Mean Time To Restore |
| MUT | Mean Up Time |
| RAM | Reliability, Availability, Maintainability |
| RAMS | Reliability, Availability, Maintainability and Safety |
| RCM | Reliability-Centered Maintenance |
| RDB | Reliability Block Diagram |
| SESKO | Sähkö, Elektrotekniska, Standardisoimis-, Komitea |
| SFS | Suomen Standardisoimislautakunta |
| SRAC | Safety Related Application Conditions |
| YTE | Yhteentoimivuuden Tekninen Eritelmä |

1 JOHDANTO

Maapallo on kriisissä, ilmasto lämpenee ja biodiversiteetti kapenee. Ilmastomuutosta edistävistä kasvihuonepäästöistä määrällisesti merkittävimmät ovat CO₂ eli hiilidioksidipäästöt. Hiilidioksidipäästöt kerääntyvät ilmakehään ja muodostavat kerroksen, joka peilaa maanpinnasta kimpoilevaa auringon säteilyä takaisin maan pintaan ja täten saa aikaan efektin, joka lämmittää ilmakehää. Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n mukaan energiaan liittyvät CO₂-päästöt olivat vuonna 2022 noin 36,8 gigatonnia. Kuljettamiseen liittyvät CO₂-päästöt olivat IEA:n mukaan vuonna 2022 noin 7,98 gigatonnia. Ilmastonmuutokseen on havahduttu ja vuonna 2015 solmittiin 195 yhdistyneisiin kansakuntiin kuuluvan maan kesken Pariisin ilmastopimus, jonka tavoitteena on rajata lämpötilan nousu 1,5°C asteeseen verrattuna esiteolliseen aikaan. (UN 2015, 3; IEA 2023)

Käytännön jokapäiväisillä valinnoilla on suuri merkitys ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Esimerkki ilmastomuutosta hillitsevästä valinnasta on taittaa matkaa sähköä energiakseen käyttävällä junayksiköllä. Englannin hallituksen julkaiseman datan pohjalta on laskettu, että valitsemalla juna keskipitkiä matkoja varten auton sijaan säästyy CO₂-päästöissä noin 80 prosenttia ja valitsemalla juna kotimaan lennon sijaan säästyy CO₂-päästöissä noin 84 prosenttia. (Ritchie 2020)

Muun muassa edellä kuvattujen tarpeitten takia kiskokalustolla on vahva asema osana yhteiskuntaa myös tulevaisuudessa. Luotettavan ja taloudelliset edellytykset täyttävän liiketoiminnan kannalta ei kuitenkaan yksistään riitä, että kalustolla operointi on esimerkiksi pienipäästöistä. Kaluston, jolla kuljetetaan ihmisiä ja tavaroita, tulee täyttää tiettyjä vaatimuksia ja ominaisuuksia toimintavarmuuteen, käyttövarmuuteen, kunnossapidettävyyteen sekä turvallisuuteen liittyen. Nämä ominaisuudet mahdollistavat luotettavan, kannattavan sekä pitkäjänteisen pohjan liiketoiminnalle. Edellä mainituista ominaisuuksista muodostuu kokonaisuus, joka voidaan sisällyttää kirjainyhdistelmän RAMS alle. RAMS kirjainyhdistelmä koostuu sanoista Reliability, Availability, Maintainability sekä Safety. RAMS:n merkitys korostuu nykyisin siksi, että kalusto ja sen osajärjestelmät ovat kehittyneitä ja monimutkaisia ja niihin on sidottu suuria pääomia. Seikat RAMS tarpeisiin liittyen on johtanut myös standardoinnin kehittymiseen ja erinäisten asemansa vakiinnuttamien standardien julkaisuun. Rautatieympäristön osalta sovelletaan RAMS:n osalta muun muassa EN 50126 standardisarjaa, jota tämä työ tutkii tarkemmin.

1.1 Työn tausta

Idea työn aiheelle syntyi VR Fleetcare-nimisen kiskokaluston kunnossapitoyrityksen liiketoiminnan vaatimuksista. Yritys on harjoittanut kiskokaluston kunnossapitoa suomen rajojen sisällä laajamittaisesti jo yli vuosisadan ajan. Yksi yrityksen tämänhetkisistä strategian menestystekijöistä matkalla maailman parhaaksi on hakea kasvua raideliikenteestä Suomen lähialueilta. Tässä yritys on jo onnistunutkin voittamalla suuria kaluston modernisointiprojekteja muun muassa Ruotsista ja Norjasta. Suuret kaluston elinkaaren päivitysprojektit ovat kompleksisia ja sisältävät monia teknisesti kehittyneitä sähköisiä järjestelmiä. Moni kiskokalustoa omistava yritys/operaattori noudattaa kaluston RAMS vaatimusten osalta juuri EN 50126 standardia ja vaatii standardin noudattamista myös esimerkiksi kaluston modernisointiprojektien osalta. (VR 2019)

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on vertailla standardin SFS-EN 50126-1 vaatimuksia sekä VR Fleetcaren RAMS käytänteitä. Kun standardin SFS-EN 50126-1 oleelliset vaatimukset on tunnistettu, näitä verrataan VR Fleetcaren RAMS toimintatapoihin. Vertailun pohjalta tavoitteena saada selville kuinka yhtenevät tai eriävät VR Fleetcaren RAMS toimintatavat ovat verrattuna standardin SFS-50126-1 vaatimuksiin. Työn tuloksia voidaan käyttää parantamaan prosesseja ja toimintatapoja ja ymmärtää millä osa-alueella yrityksen vahvuudet sijaitsevat.

Työn osalta rajataan muutama seikka liittyen SFS-50126 standardisarjan tarkasteltaviin standardeihin sekä itse RAMS vaatimuksiin. SFS-50126 standardisarja sisältää kolme osaa, jotka ovat SFS-EN 50126-1, SFS-EN 50126-2 sekä CLC/TR 50126-3. Työn osalta keskitytään tarkastelemaan ensimmäistä osaa, joka käsittelee RAMS prosessia yleisesti. Työssä rajataan RAMS vaatimukset käsittelemään myös pelkästään kirjainyhdistelmän kolmea ensimmäistä kirjainta eli toimintavarmuutta (R), käyttövarmuutta (A) sekä kunnossapidettävyyttä (M), jättäen turvallisuus (S) työn tarkastelun ulkopuolelle. RAMS käsittää kokonaisuutena paljon asioita, minkä seurauksena työn selkeyttämiseksi käsittely painottuu RAM kokonaisuuteen sekä standardisarjan ensimmäiseen osaan.

1.3 Työn toteutus

Diplomityö toteutetaan ajallisesti 2022/2023 aikana työn ohella VR Fleetcarelle. Työn ohjaajina toimii Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston puolelta professori Samuli

Honkapuro sekä VR Fleetcaren puolelta DI Ville Mattila. VR Fleetcare tarjoaa pääsyn sisäisiin dokumentteihin ja resursseja liittyen kyselytutkimuksen toteuttamiseen.

Diplomityön alkuun tutustutaan rautatieympäristön sähköisiin järjestelmiin, standardiin SFS-EN 50126-1 sekä RAMS toimintaympäristöön. Työn jälkimmäinen osa sisältää kuiluanalyysin standardin vaatimusten sekä VR Fleetcaren suunnitteluohjeistuksen välillä. Tämän lisäksi suoritetaan kyselytutkimus VR Fleetcaren henkilöstölle, jolla pyritään saamaan selville, kuinka paljon yhtäläisyyttä tai eroavaisuutta käytännön toimintatavoilla on verrattuna standardin vaatimuksiin. Työn jälkimmäinen osa sisältää myös tarkastelun liittyen konkreettiseen RAMS laskentaan.

1.4 VR FleetCare

VR Fleetcare toimii rautatieoperaattori VR Group:n tytäryhtiönä. VR Fleetcare tunnetaan alun perin nimellä VR Kunnossapito Oy, joka yhtiöitettiin VR:n tytäryhtiöksi vuoden 2019 alussa. Yritys kuvaa itseään raideliikenteen asiantuntijayritykseksi 160 vuoden kokemuksella. Toimialana on ”Muiden kulkuneuvojen korjaus ja huolto (33170)” ja liikevaihto on liikkunut 200 miljoonan euron luokassa. Yritys työllistää noin 1000 raidekaluston ammattilaista. (VR 2019)

Kiskokalustoon sitoutuu suuria pääomia ja kalustoa pitää kunnossapitää sekä modernisoida sen elinkaaren aikana. VR Fleetcare tarjoaa neljää palvelukategoriaa, jotka ovat, ModernCare (kaluston modernisointi; elinkaaren hallinta, järjestelmäpäivitykset ja kaupallisen ilmeen muutokset), SmartCare (asiantuntijapalvelut; digitaalinen kunnonseuranta, kunnossapitojärjestelmän optimointi, konsultointi ja analytiikka), AssetCare (omaisuudenhallinta; kaluston kunnossapito ja elinkaaren hallinta) sekä ComponentCare (komponenttipalvelut; telit, elektroniikka, venttiilit, kompressorit, pumput ja moottorit sekä suurjännitekomponentit). Pitkän ajallisen kokemuksen lisäksi VR Fleetcarella on lajaa kokemusta erityyppisistä liikkuvan kaluston yksiköistä. Kuvassa 1 on esillä VR Fleetcaren palvelukategoriat. (VR 2023)



ModernCare - Fleet Modernisation



SmartCare - Digital Solutions



AssetCare - Lifecycle Management



ComponentCare - Component Services

Kuva 1. VR Fleetcare palvelukategoriat. (VR 2023)

2 RAUTATEIDEN SÄHKÖINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

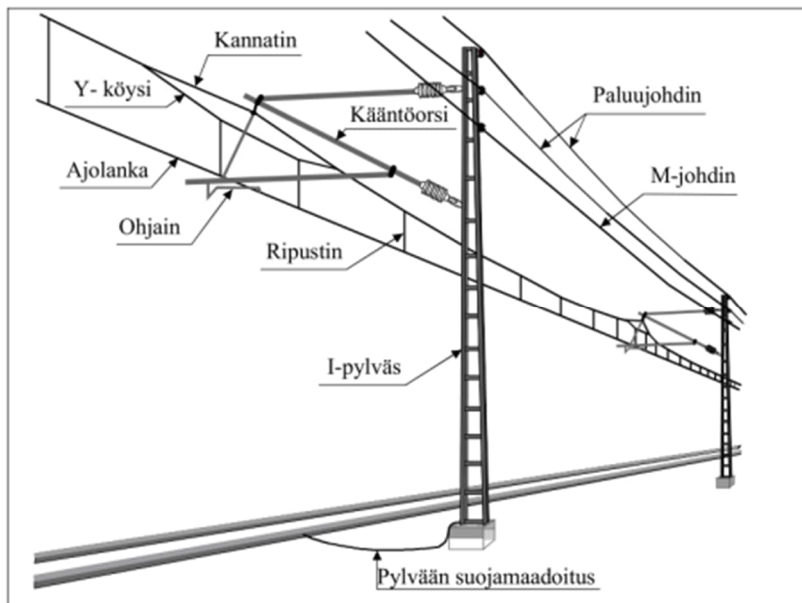
Rautateitä on ollut olemassa jo pidemmän aikaa ja niitä on pystytty hyödyntämään moniin tarkoituksiin. Ensimmäinen matkustajille suunnattu höyryveturilla liikennöitävä rataosuus muodostui Englantiin vuonna 1825. (Freightwaves 2019) Tekniikka ja teknologiat ovat kehittyneet huomasti vuodesta 1825, mutta itse konsepti rautateistä on pysynyt hyvin samanlaisena. Pohjustetaan alue, jolle asennetaan kiskot, joiden päällä liikennöidään erinäisellä kalustolla ja liikutetaan asioita. Tässä luvussa keskitytään käsittelemään rautateiden sähköistä toimintaympäristöä radan sekä kaluston osalta hyödyntäen konsolidoitua tekstiä Euroopan unionin komission asetuksesta 1302/2014 - Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää ”veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto” koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä (LOC&PAS YTE). (EU 2014) Euroopan unioni julkaisee rautateille yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä, jotka toimivat säädöksinä tarkoituksenaan yhdenmukaistaa rautatieympäristöä Euroopan unionin sisällä. YTE säädösten lisäksi löytyy kansallisia määräyksiä ja ohjeistuksia, joita esimerkiksi Suomessa julkaisevat ja valvovat Traficom sekä väylävirasto.

2.1 Rata

Kalustolla on rataan nähden fyysisesti kosketuksessa olevia rajapintoja 1-2 kpl riippuen siitä minkälaisella kalustolla operoidaan. Liikkuva kalusto liikkuu aina kiskoja pitkin, joista muodostuu yksi fyysisistä rajapinnoista. Rautatiekiskot koostuvat kahdesta rinnakkaisesta ratakiskosta, joiden päälle/väliin kalusto asettuu telien pyöräkertojen kautta. Rinnakkaisten ratakiskojen etäisyys toisiinsa nähden vaihtelee hieman valtioittain, minkä vuoksi muun muassa tietyllä kalustolla ei välttämättä voida operoida valtioiden rajojen yli. Standardi- tai normaaliraideteveys on 1435mm ja Suomessa hyödynnetään viiden jalan eli 1524mm raideteveyttä. Rautatiekiskot toimivat usein sähköisen radan paluuvirtapiirin osana. (EU 2014)

Toinen muodostuvista rajapinnoista on käytössä, mikäli kalusto hyödyntää käyttöenergianaan sähköä, eikä tuota tätä itsenäisesti. Sähköradan energiaa hyödyntävä kalusto on varustettava virroittimella, jossa olevat liukuhiilet laahaavat sähköradan sähköä siirtävää osaa eli ajojohdinta vasten. Ajojohdin tunnetaan myös nimellä ajolanka, ja se sijaitsee sähköistetyn rataosuuden rautatiekiskojen yläpuolella. Suomessa ajolanka sijaitsee ulottuman FIN1 mukaisilla radoilla 5600 mm – 6600 mm korkeudessa. Ulottumalla

tarkoitetaan raidetta pitkin kulkevaa määriteltyä tilaa, joka mahdollistaa sen, etteivät kalusto ja raitainfrastruktuurin komponentit osu toisiinsa. Ajolangassa sijaitsee epäjatkuvuuskohtia kuten erotusjaksoja sekä ryhmityseristimiä. Erotusjaksojen tarkoituksena on erottaa eri syöttöasemien syöttämät syöttöalueet keskenään. Ryhmityseristimien tarkoituksena ei ole jakaa kahta eri syöttöaluetta keskenään vaan muodostaa sähköisiä kytkentäryhmiä, jotka helpottavat rautateillä toimimista erinäisissä tilanteissa. Virroitin ei saa energiaa erotusjakson yli mentäessä, kun taas ryhmityseristintä vasten laahatessa se onnistuu. Ajojohtimen sijaan voi olla käytössä myös virtakisko, joka sijaitsee usein raiteiden vieressä tai välissä. Sähköistetyn radan verkkotopologiaan ja komponentteihin vaikuttaa suuresti se, minkälainen energiansyöttöjärjestelmä on valittu. YTE:t määrittelevät neljä eri energiansyöttöjärjestelmää; AC 25 kV 50 Hz, 15 kV 16,7 Hz sekä DC 3 kV ja 1,5 kV. Energiansyöttöjärjestelmien raja-arvot jännitteille ja virroille on määritelty standardissa EN 50163. Suomessa on käytössä AC 25 kV 50 Hz energiansyöttöjärjestelmä. Kuvassa 2 on nähtävillä 25 kV energiansyöttöjärjestelmän ratajohdon rakenne. (EU 2014; Lindberg 2017, 2-14)



Kuva 2. 25 kV 50Hz energiansyöttöjärjestelmän ratajohdon rakenne. (Väylävirasto 2018, 34)

2.2 Liikkuvan kaluston tyypit

Liikkuva kalusto on luokiteltu Euroopan unionin direktiivin 2016/797 mukaan kolmeen ryhmään. LOC&PAS YTE viittaa myös tähän samaan luokitteluun. Luokittelu perustuu kaluston käyttötarkoitukseen sekä kaluston käyttövoiman ja -energian tyyppiin. Alla on eriteltyä liikkuvan kaluston kolme luokittelua LOC&PAS YTE:n mukaisesti. (EU 2014)

1. Veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto, mukaan luettuina lämpövoimakoneella tai sähkömoottorilla varustetut vetoyksiköt, omalla käyttövoimalla liikkuvat lämpövoimakoneella tai sähkömoottorilla varustetut henkilöjunat ja matkustajavaunut
2. Tavaravaunut, mukaan luettuina koko verkkoa varten tarkoitetut matalat kalustoyksiköt ja kuorma-autojen kuljetukseen tarkoitetut kalustoyksiköt
3. Erityiskalustoyksiköt, kuten ratatyökoneet

Kuten edellä esitetyistä luokitteluista huomataan luokka 1 sisältää paljon termejä ja määrittelyä. Yksinkertaistettuna erottelu tapahtuu ensimmäisen luokan sisällä voimanlähteen sekä vetotavan mukaan. Voimanlähteen osalta puhutaan lämpövoimakoneista, joita rautateillä perinteisesti ovat olleet dieselmoottorit sekä sähkömoottorit. Vetotavan termin avaaminen vaatii jo hieman enemmän määrittelyä. Veturi on yksikkö, joka toimii vetävänä moottoroituna vetoyksikkönä. Veturilla voidaan operoida itsenäisesti tai se voidaan liittää osaksi junaa. Juna koostuu yksittäisistä vaunuista, jotka muodostavat junakokoonpanon, kun ne ovat liitettynä toisiinsa. Vaunut voivat olla esimerkiksi matkustajien liikuttamiseen tarvittavia matkustajavaunuja tai vastaavasti tavarankuljettamiseen tarvittavia tavaravaunuja. Matkustaja- ja tavaravaunut eivät sisällä pääsääntöisesti omaa voimalähdettä liikkumista varten, vaan ne tarvitsevat siihen veturin eli vetoyksikön. Kuvassa 3 on nähtävillä VR Groupin operoimat Dr19 tyyppin dieselsähköinen veturi sekä sähkömoottoreilla varustettu Sr3 tyyppin sähköveturi. Sr3 veturilla operoidaan pääsääntöisesti rataosuuksilla, jotka ovat sähköistetty eli kiskojen päällä kulkee ajolanka, jota vasten veturin virroitin laahaa. Dr19 tyyppin veturi muodostaa energiaa dieselistä, jolloin sillä voidaan operoida tehokkaasti myös rataosuuksilla, joita ei ole sähköistetty eli joissa ei ole ajolankaa. Yksinkertaistettuna sähköveturi tarvitsee liikkuakseen energiaa ajolangasta ja dieselveturi dieselistä.



Kuva 3. Vasemmalla kuvassa Dr19 tyypin dieselsähköinen veturi ja oikealla Sr3 tyypin sähköveturi.

Vetureiden ja vaunujen muodostamien junakokoonpanojen lisäksi on olemassa omalla käyttövoimalla liikkuvia henkilöjuna. Henkilöjuna on junayksikkö, jonka kokoonpanoa ei ole tarkoitus muuttaa eli vaunuja ei irroteta toisistaan muutoin kuin esimerkiksi huoltotöiden ajaksi varikolla. Junayksikkö muodostaa kiinteän kokoonpanon, jonka kaikki vaunut toimivat moottoreilla varustettuina kalustoyksikköinä tai niin että osa kalustoyksiköistä on moottorillisia ja osa ei. Henkilöjunan muodostama junayksikkö ei tarvitse liikkuaan siis erillistä veturia, vaan hyödyntää voimalähteenään omia lämpövoimakoneita tai sähkömoottoreita. Kuvassa 4 on nähtävillä VR Group:n Sm3 tyypinimellä kulkeva sähkömoottorijuna.



Kuva 4. Sm3 tyypinimellä kulkeva sähkömoottorijuna.

Edellä mainittujen vetureiden sekä henkilöjunien lisäksi luokkaan 1 kuuluvat matkustajavaunut. Matkustajavaunuja liitetään kiinni toisiinsa, jolloin ne muodostavat junakokoonpanon. Veturilla täytyy kytkeytyä junakokoonpanoon, jotta junalla pystytään operoimaan. Junakokoonpanoon voidaan liittää myös niin sanottu ohjausvaunu, joka on ohjaamolla varustettu ei-vetävä kalustoyksikkö. Kun ohjausvaunu liitetään junakokoonpanon toiseen päähän ja veturi toiseen päähän, mahdollistaa tämä sen, että veturia ei tarvitse siirtää junakokoonpanon keulille, kun suuntaa halutaan muuttaa. Eli jos saavutaan päätepysäkille ja matka jatkuu tämän jälkeen esimerkiksi takaisin lähtöasemalle, riittää että kuljettaja vaihtaa ohjaamoja veturista ohjausvaunuun. Ohjausvaunun lisäksi voidaan operoida esimerkiksi ravintolavaunuilla, makuuvaunuilla, autovaunuilla tai vaunuilla, joissa on pääsääntöisesti istumapaikkoja. Kuvassa 5 on esitetty VR Group:illa käytössä oleva Edo tyyppin kaksikerroksinen ohjausvaunu sekä CEd tyyppin kaksikerroksinen matkustajavaunu extra-luokka.



Kuva 5. Vasemmalla kuvassa on Edo tyyppin vaunu ja oikealla on kuva CEd vaunutyyppin extra-luokasta.

LOC&PAS YTE:ssä mainittu luokittelun 2 mukainen liikkuva kalusto käsittää tavaravaunut. Tavaravaunuja on monenlaisia ja niillä operointiin tarvitaan veturia. Tavaravaunuilla voidaan kuljettaa suuria massoja tehokkaasti rautateitä pitkin. Tavaravaunujen vaatimusten määrittelyyn on olemassa oma YTE ”liikkuva kalusto – Tavaraliikenteen vaunut”. LOC&PAS YTE:ssä mainittu luokittelun 3 mukainen liikkuva kalusto käsittää taas erityiskalustoyksiköt kuten ratatyökoneet tai esimerkiksi rata infrastruktuurin tarkastusvaunut. Ratatyökoneita käytetään radan kunnossapito- ja rakennustöihin, ja tarkastusvaunuilla voidaan tarkastaa radan kuntoa. Kuvassa 6 on esitetty tyyppin Ttk2 ratatyökone.



Kuva 6. Tyypin Ttk2 ratatyökone.

2.3 Sähköiset järjestelmät

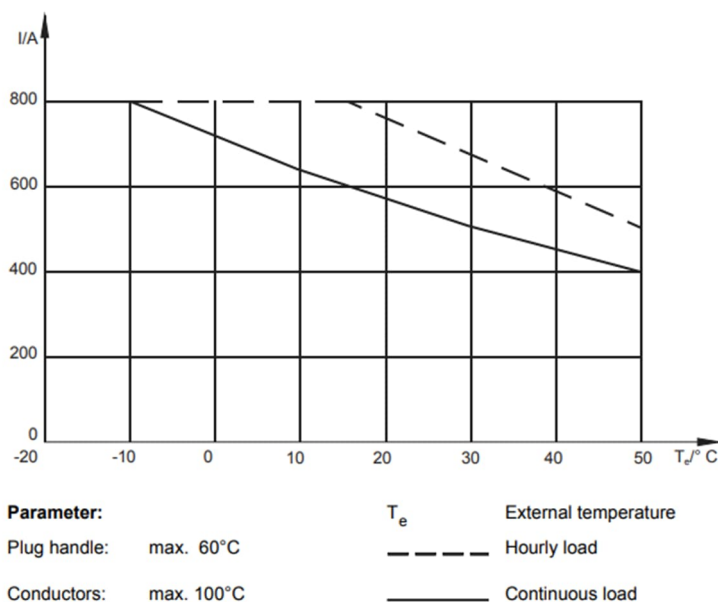
Edellisessä osiossa tarkasteltiin liikkuvan kaluston eri tyyppejä. Tässä osiossa tutustutaan tarkemmin liikkuvan kaluston sähköisiin järjestelmiin. Riippuen hieman kalustotyypistä myös sähköiset järjestelmät painottuvat hieman tämän perusteella. Esimerkiksi vetoyksiköiden osalta sähköiset järjestelmät painottuvat enemmän liikuttamiseen ja ohjaamiseen liittyvään teknologiaan, kun taas esimerkiksi matkustajavaunujen osalta sähköiset järjestelmät painottuvat enemmän matkustajia palvelemaan teknologiaan. Itsenäisten henkilöjunayksiköiden osalta sähköisten järjestelmien täytyy ottaa huomioon tarpeita monipuolisesti.

Liikkuvassa kalustossa on erilaisia sähköisiä järjestelmiä ja näitä on pyritty jäsentämään esimerkiksi standardissa SFS-EN 15380-2. Liikkuvan kaluston sähköiset järjestelmät voidaan jakaa karkeasti niin sanottuun pääkäyttöön sekä apukäyttöön. Pääkäyttö sisältää oleellisimmat sähköiset järjestelmät kaluston liikuttamiseen liittyen ja muut järjestelmät kuuluvat tämän jälkeen apukäyttöön. Pääkäyttöön kuuluu päävirtapiiri, joka sisältää korkeajännitelaitteita. Päävirtapiirin tarkoituksena on toimia sähköisen radan sähköenergian talteenottajana ja jakelijana veturissa tai sähkömoottorihenkilöjunassa. Päävirtapiirin korkeajännitelaitteita ovat muun muassa virroitin, pääkatkaisija, päämuuntaja, erottimet ja eristimet sekä maadoituslaitteet. Päävirtapiiri ottaa sähköenergian talteen ja valmistelee sen

jakamista yksikköön päämuuntajan kautta. Kun energiaa otetaan talteen, muutetaan se tämän jälkeen ajomoottoreille sopivaksi esimerkiksi pääkäytön konvertterien kautta. Vastaavasti sähköjarrutuksen yhteydessä sähköenergiaa on mahdollista syöttää takaisin ajolankaan. Kuten alaluvussa 2.1 kuvataan, LOC&PAS YTE:n määrittelemät energiansyöttöjärjestelmät ovat AC 25 kV 50 Hz, 15 kV 16,7 Hz sekä DC 3 kV ja 1,5 kV. Sähköisen radan energiansyöttöjärjestelmällä on suuria vaikutuksia liikkuvan kaluston pääkäytön komponenttien ja järjestelmien muodostumiseen. Sähköenergiaa voidaan tuottaa kaluston teleissä sijaitseviin ajomoottoreihin myös esimerkiksi dieselin avulla, kun dieselmoottori on kytkettynä generaattoriin, joka tuottaa sähköenergiaa ajomoottoreille, kuten Dr19 tyyppin dieselsähköisen veturin tapauksessa. Pääkäyttöön voidaan laskea kuuluvaksi myös veto- ja jarruohjaukset sekä tehonsäätö.

Apukäytön sähköiset järjestelmät saavat energiansa käytännössä samalla tapaa kuin pääkäytön järjestelmät eli ajolangasta tai voimakoneen tuottamana ja esimerkiksi apukäytön konvertterin jakelemana. Energian jakelemiseksi junan läpi voi olla käytössä niin sanottu energian jakelun junalinja. UIC 550 määrelehti määrittelee energian jakelun junalinjan parametrit seuraaviksi: 1000VAC 16,7 Hz, 22Hz tai 50Hz, 1500VAC 50Hz, 1500VDC tai 3000VDC. (UIC 550 2005) Esimerkkinä energianjakelun junalinjasta junassa on tilanne, jossa veturi syöttää junalinjaan energiaa ja kun veturin perään kytketään vaunuja, kytketään samalla vaunujen välille junalinja ehyeksi. Vaunuissa junalinjan energian vastaanottaa vaunumuuntaja, jonka avulla energiaa saadaan muutettua edelleen vaunun tarpeisiin sopivaksi. Pääkäytöstä poiketen, jännitteet ja etenkin tehot jäävät apukäytön järjestelmissä pienemmiksi. Apukäytön järjestelmien energia saattaa myös muodostua kaluston akustojen kautta joko osittain tai kokonaan. Standardi SFS-EN 50155 määrittelee vaatimuksia liikkuvan kaluston sähkölaitteille ja määrää valittavaksi akuston jännitteeksi joko 24VDC, 28VDC, 36VDC, 48VDC, 72VDC, 96VDC tai 110VDC. (SFS-EN 50155 2021) Kaluston akustojen olemassaolo on tärkeää jo pelkästään sen takia, että sähkönsyöttö katkeaa hetkellisesti sähköradan erotusjakson aikana. Kaluston tiettyjen ominaisuuksien toiminta tulee myös taata tilanteissa, joissa virroitin ei välttämättä ole ylhäällä ja kosketuksissa ajolangan kanssa. Kun kalustoyksikkö on staattisessa tilassa esimerkiksi varikolla seisonnassa, voidaan järjestelmille syöttää energiaa ulkoisista lähteistä. Energiaa voidaan syöttää apukäytölle UIC 554 määrelehden mukaisesti nimellisjännitteellä 220VAC tai 380VAC yksi tai useampivaiheisena 50 Hz taajuudella. (UIC 554 1979) Kaluston osalta

saattaa olla käytössä myös ulkoinen syöttö suoraan energian jakelun junalinjaan. Kuvassa 7 esitetty UIC 552 liitteen A mukainen sallittu virta energian jakelun junalinjaan ulkolämpötilan funktiona. (UIC 552 2005, Liite A)



NB : Applies to both direct current and currents with a frequency of 16 2/3 Hz and 50 Hz.

kuva 7. Energian jakelun junalinjan sallittu virta ulkolämpötilan funktiona UIC 552 liitteen A mukaisesti. (UIC 552 2005, Liite A)

Pääkäytön sähköiset järjestelmät ovat kriittisiä kaluston operoinnin kannalta. Apukäytön järjestelmät sisältävät operoinnin kannalta välttämättömiä sekä vähemmän välttämättömiä järjestelmiä. Vaikka jokin järjestelmä ei olisikaan välttämätön operoinnin kannalta, on se kuitenkin tarpeellinen ottaen huomioon monia muita operoinnin kannalta ei-niin-välttämättömiä toimintoja. Oli kyse sitten pääkäytön järjestelmistä tai apukäytön järjestelmistä, molemmat näistä tarvitsevat ohjauksia toimiakseen oikein. Pääkäytön ohjauksiin voidaan laskea kuuluviksi esimerkiksi veto- ja jarruohjaukset sekä tehonsäätö. Apukäytön järjestelmät tarvitsevat myös paljon ohjauksia, joita voidaan välittää manuaalisesti tai automaattisesti. Ohjaustarpeita varten kalustossa on erinäisiä väyliä ja väyliin kiinnittyneitä päätelaitteita. Kalustotyyppien väylät yhdistyvät keskenään junakokoonpanossa ja takaavat yhdistymisen jälkeen sen, että junakokoonpano toimii yhtenä kokonaisuutena. Tämä mahdollistaa esimerkiksi sen, että veturista käsin voidaan avata matkustajavaunujen ovet tai että sähkömoottorijunan ohjaamon vetokäsky välittyy sähkömoottorijunan vetäviin vaunuihin. Väylissä liikkuu ohjausten lisäksi myös paljon diagnostiikkatietoja.

Seuraavaksi luetellaan joitain apukäytön järjestelmiä, joiden toimintaan liittyy sähköisiä ratkaisuja. Valaistus on tärkeä osa jokaisen kalustotyypin kohdalla. Matkustajien on syytä nähdä pimeällä junan sisällä samoin kuin kuljettajan ohjaamossa ja etenkin ohjaamosta ulos ajovalojen opastamana. Olosuhteet junan sisällä voivat vaihdella ulkoilman lämpötilanvaihteluiden mukaan. Tätä varten on syytä varautua ilmastoinnilla, lämmityksellä ja ilmanvaihdolla junan sisällä. Myös tekniset järjestelmät kuten konvertterit, muuntajat, tekniset tilat ja vesilaitteet saattavat tarvita viilennystä tai lämmitystä. Matkustajajunissa voi olla paljon vesilaitteita esimerkiksi ravintolavaunuissa tai WC-moduuleissa, eivätkä vesijärjestelmät saa jäätyä pakkaskelillä. Matkustajien tulee päästä ovista junaan sisälle ja ulos, eivätkä ovet saa olla auki, kun juna on liikkeessä. Kalusto tarvitsee pysähtyäkseen jarruja ja jarrut toimiakseen tietyllä jarrulajilla paineilmaa. Kalustossa voi olla myös sovellutuksia, joiden toimivuus on riippuvaista hydraulikasta. Pneumatiikka, hydraulikka ja vesijärjestelmät voivat muodostaa moninaisia järjestelmiä, joiden ohjaamiseen ja hallintaan tarvitaan sensoreita ja esimerkiksi venttiileitä. Kaluston osalta syntyy paljon dataa, joista osaa on syytä seurata operoinnin aikana ja joka pitää visualisoida erinäisten näyttöjen avulla operoivalle henkilökunnalle. Myös matkustajille on välitettävä informaatiota matkan aikana ja se tapahtuu usein informaationäyttöjen sekä kuulutusjärjestelmän välityksellä. Kalustolla operoitaessa tulee toimia rajapinnassa radan ja liikenteenohjaajakseen kanssa, jotta rataverkolla voidaan operoida useilla yksiköillä. Tätä varten kalustoon on asennettu kulunvalvontajärjestelmä sekä erinäisiä viestintäjärjestelmiä kuten radio, jonka avulla viestitään junasta ulos. Operaattoreilta löytyy paljon junan operointiin liittyviä taustajärjestelmiä, jotka eivät fyysisesti sijaitse kalustossa ja jotka ovat välttämättömiä operoinnin kannalta. Kaiken edellä mainitun lisäksi kalusto sisältää valtavasti sähköistyksen kannalta oleellisia tarvikkeita, joilla taataan järjestelmien toimivuus.

3 SFS-EN 50126-1 SISÄLTÖ

Termin standardi voi määritellä olevan yhteisymmärryksessä tietyn ryhmän ja tunnustetun elimen hyväksymä julkaisu. Standardi voi käsitellä ohjeita, suosituksia tai vaatimuksia tiettyyn aiheeseen liittyen. Standardeja voidaan myös käyttää moneen tarkoitukseen. Tarjouspyyntöjä laadittaessa vaatimuksia on tehokasta esittää standardien muodossa. Myös yrityksen tuotteiden ominaisuuksia on helppo kuvata luettelemalla standardeja, jotka kertovat tarkemmin ominaisuuksista. Standardeja noudattamalla voidaan varmistua tiettyjen laadullisten kriteerien täytymisestä esimerkiksi myös palveluiden ja toiminnan osalta. Standardeja on moneen eri aihealueeseen liittyen. Esimerkkinä standardeista on SFS 6002, joka määrittelee seikkoja sähköturvallisuuteen liittyen tai ISO 9001, joka määrittelee vaatimuksia laadunhallintajärjestelmälle. (SFS 2023)

Sen lisäksi että standardeja on moneen aihealueeseen liittyen, myös tunnustettuja ja hyväksytyjä standardointijärjestöjä on useita. Suomessa sähkö- ja elektroniikka-alan standardointijärjestönä toimii muun muassa SESKO, joka vastaa kansallisten sähköalan SFS-standardien valmistelusta. SESKO toimii myös Suomen edustajana eurooppalaisessa sähköalan standardointiorganisaatio CENELEC:ssa, sekä kansainvälisessä sähköalan standardointiorganisaatio IEC:ssa. CENELEC julkaisee standardeja, joiden edessä on esimerkiksi tunnus EN, SESKO valmistelee standardeja, joiden tunnus on SFS ja IEC standardeja, joiden tunnus on IEC. Muita merkittäviä julkaisijoita ovat esimerkiksi kansainvälinen standardisointijärjestö ISO sekä kansainvälinen sähkö- ja elektroniikkainsinöörien instituutti IEEE. (SESKO 2023)

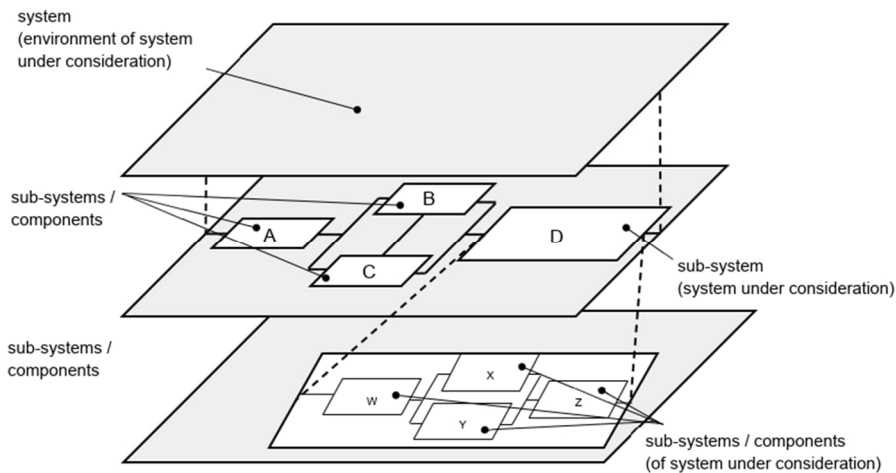
Työn tarkoituksena on muun muassa tutkia standardin SFS-EN 50126-1:2017 sisältöä ja verrata sitä yrityksen käytänteisiin ja ohjeistuksiin. Standardi SFS-EN 50126-1 on yksi kolmiosaisen sarjan standardeista. Muita sarjan osia ovat SFS-EN 50126-2:2017 sekä CLC/TR 50126-3:2015. standardit SFS-EN 50126-1:2017 sekä SFS-EN 50126-2:2017 ovat tunnustettu virallisesti kansallisesti Suomessa käyttöön SFS:n julkaisemina. Kolmas sarjan standardeista käyttää tunnustetta CLC/TR, joka viittaa Euroopan tasoiseen tekniseen raporttiin. SFS-EN 50126-1:2017 standardin otsikko on "Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Generic RAMS Process". SFS-EN 50126-2:2017 kulkee nimellä "Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability,

Maintainability and Safety (RAMS). Part 2: Systems Approach to Safety”. Viimeinen osa CLC/TR 50126-3:2015 on otsikoitu nimellä “Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - part 3: Guide to the Application of EN 50126-1 for Rolling Stock RAM. Ensimmäinen osa kuvaa yleisiä vaatimuksia RAMS prosessille, toinen osa systeemiteoriaa turvallisuuteen liittyen ja kolmas osa toimii ensimmäisen osan soveltamisoppaana liikkuvan kaluston RAM:n liittyen. Seuraavissa työn alaluvuissa 3.1, 3.2 sekä 3.3 on avattu standardin SFS-EN 50126-1 sisältöä ja osiot 3.1, 3.2 ja 3.3 on nimetty standardin lukujen 5, 6 ja 7 mukaan.

Standardi SFS-EN 50126-1 koskee laajuudeltaan liikkuvan kaluston järjestelmiä, yksittäisiä ja yhdistettyjä alijärjestelmiä ja komponentteja, ja sitä sovelletaan erityisesti uusien osakokonaisuuksien osalta. Standardia sovelletaan myös vanhaan järjestelmään integroitaessa uusi osa siltä osin, kun vanhaa järjestelmää muokataan. Standardia ei odoteta noudatettavan olemassa oleviin järjestelmiin, joita ei muokata tai jotka ovat jo yhteen sopivia aikaisempien EN 50126 standardiversioiden kanssa. Standardi on relevantti kaikissa sovellutusten elinkaaren vaiheissa ja se on tarkoitettu rautatie ympäristön sovellutusten haltijoille sekä toimittajille. (SFS-EN 50126-1 2017)

3.1 RAMS rautateillä

Standardin SFS-EN 50126-1 varsinainen vaatimusosio alkaa standardin luvussa 5 ”RAMS rautateillä”. Luvussa kuvaillaan järjestelmätason lähestymistapaa ja määrittelyä rautatie ympäristöstä. Kuvassa 8 on esitetty järjestelmätason hierarkian havainnollistus. Ylätasolla on järjestelmä, jonka jälkeen hierarkiassa alaspäin siirryttäessä on alijärjestelmiä sekä komponentteja. Hierarkioiden ja rajapintojen ymmärtäminen on tärkeää, jotta esimerkiksi vikaantumismallien vaikutuksia pystytään ymmärtämään laajemmin. Tarkempaa ohjeistusta järjestelmien määrittelyyn löytyy standardin liitteestä D. Järjestelmille ja kokonaisuuksille on olemassa toiminnallisia, kontekstuaalisia sekä teknisiä vaatimuksia. Järjestelmä joka on suunniteltu liikkuvaan kalustoon, on lähtökohtaisesti tarpeellinen joidenkin toiminnallisuuksien osalta, jota kautta toiminnalliset vaatimukset muodostuvat. Esimerkki kontekstuaalisesta vaatimuksesta on tarpeet huollettavuuteen liittyen. Järjestelmillä on myös paljon teknisiä vaatimuksia, jotka eivät sinällään ole toiminnallisia vaatimuksia.



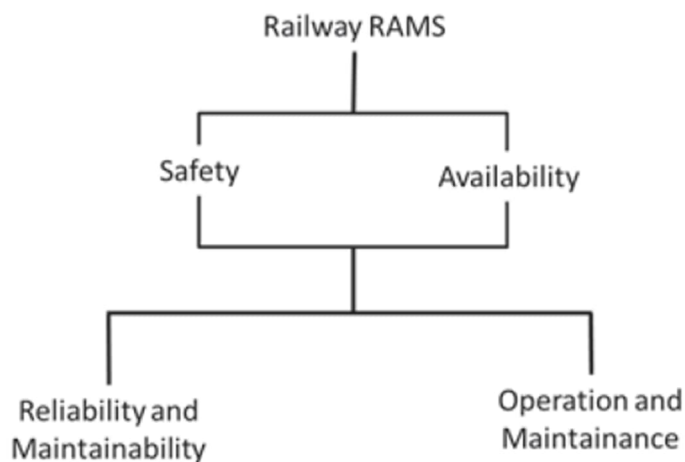
kuva 8. Havainnollistus järjestelmätason hierarkiasta (SFS-EN 50126-1 2017, 19)

Rautatieympäristön toimijoiden osalta noudatetaan standardin mukaan jaottelua rautatieoperaattoreihin, infrastruktuurin haltijoihin, kunnossapitäjiin, rautatiejärjestelmätöimittäjiin sekä turvallisuusviranomaisiin liittyen. Jokaisella määritellyllä ryhmällä on omat vastuunsa RAMS:n osalta, mistä esitellään muutamia esimerkkejä standardista. Ratkaisuiden tulosten ja verifiointin vastuu turvallisuuskriittisissä toimituksissa voi esimerkiksi määrittyä järjestelmätöimittäjälle. Vastuut voivat olla myös osittain päällekkäisiä kuten järjestelmien validoinnin osalta, jolloin usein vastuussa ovat rautatieoperaattorin ja järjestelmätöimittäjän edustajat. Verifiointi ja validointi ovat oleellisia termejä. Verifiointilla tarkoitetaan yleisesti menetelmää, jolla varmennutaan järjestelmälle asetettujen vaatimusten täytymisestä. Validoinnilla tarkoitetaan puolestaan menetelmää, jolla varmistutaan, että järjestelmä on soveltuva käyttöympäristöönsä. Turvallisuushyväksynnöistä vastaa usein turvallisuusviranomainen yhdessä rautatieoperaattorin kanssa. RAM-hyväksynnöistä vastaa esimerkiksi rautatieoperaattori. Projektilla tai projektivaiheella voi olla merkitystä RAM vastuullisten tahojen määrittämiselle ja ne voivat teoriassa vaihdella järjestelmän elinkaaren aikana. (SFS-EN 50126-1 2017)

RAMS voidaan mieltää järjestelmän pidemmän ajan toiminnan ominaisuudeksi, jota ylläpidetään käyttämällä vakioituja suunnittelukonsepteja, menetelmiä, työkaluja ja tekniikoita järjestelmän elinkaaren läpi. Järjestelmän RAMS kokonaisuutta voidaan kuvailla myös laadulliseksi ja määrälliseksi indikaattoriksi, joka kertoo siitä, miten järjestelmän voidaan luottaa toimivan määritellyllä tavalla ja olla käyttövarma sekä turvallinen tietyn

ajanjakson aikana. Kaluston operoinnin kannalta on oleellista saavuttaa määritelty raideliikenteen taso määriteltynä ajankohtana, turvallisesti ja kustannustehokkaasti. RAMS prosessi määrittelee luotettavuustason, jolla järjestelmä pystyy saavuttamaan tämän päämäärän. (SFS-EN 50126-1 2017)

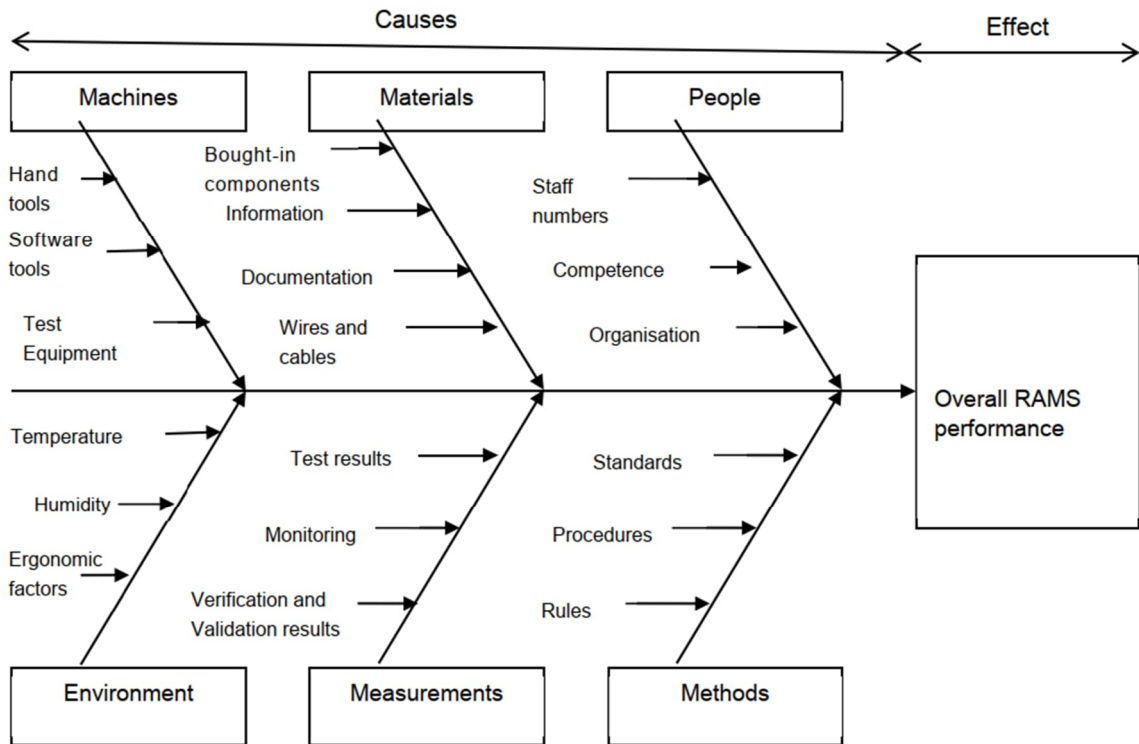
Kirjainyhdistelmä RAMS koostuu neljästä elementistä, jotka ovat Reliability (toimintavarmuus), Availability (käyttövarmuus), Maintainability (kunnossapidettävyyys), ja Safety (turvallisuus). Nämä neljä osakokonaisuutta ovat linkittyneinä toisiinsa osana suurempaa RAMS-kokonaisuuden. Jonkin elementin heikkoudet, osakokonaisuuksien ristiriitaisuudet tai osakokonaisuuden huono hallinta voivat estää saavuttamasta luotettavaa järjestelmää. Kaluston operoinnin kannalta kaluston käytettävyys saavutetaan optimoimalla toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyys huomioiden samalla turvallisuustason ylläpidon vaikutukset. Kuvassa 9 on havainnollistettu RAMS elementtien keskinäinen suhde. (SFS-EN 50126-1 2017)



kuva 9. RAMS elementtien keskinäinen suhde (SFS-EN 50126-1 2017, 22)

Kaluston käyttövarmuuteen vaikuttavat toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys sekä operointi ja kunnossapito. Toimintavarmuuteen liittyy esimerkiksi järjestelmien vikamallit ja niiden synnyttämät vaikutukset samoin kuin vikamallien esiintymistiheys. Kunnossapidettävyyden osalta merkittäviä seikkoja ovat suunniteltujen sekä suunnittelemattomien huoltotoimenpiteiden tiheys sekä kesto. Myös vikojen löytämisen ja korjaamisen kestolla on vaikutuksia. Operoinnin ja kunnossapidon kannalta oleellista on operointiprofiili ja esimerkiksi järjestelmien kunnossapidon tehokkuus. Inhimillisillä

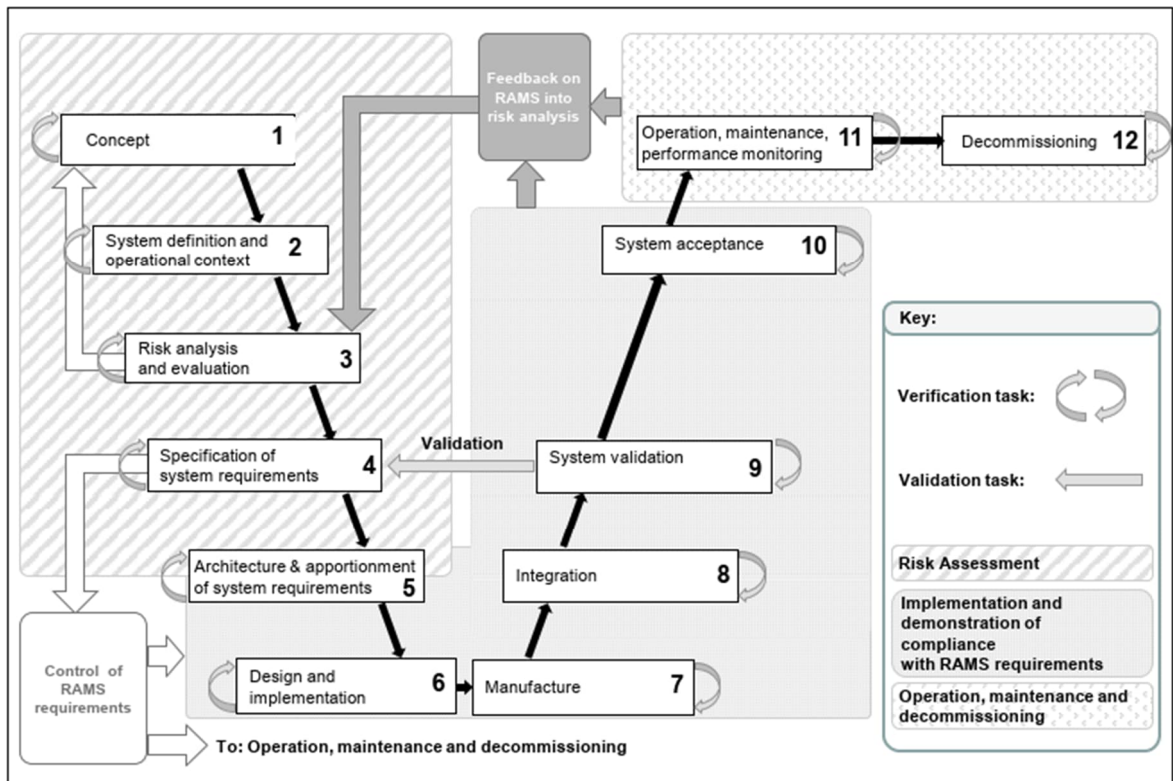
tekijöillä on myös suuri vaikutus. Kokonaisvaltaiseen RAMS suorituskyvyn saavuttamiseen vaikuttaa moni seikka, joita on pyritty havainnollistamaan tarkemmin kuvassa 10. (SFS-EN 50126-1 2017)



kuva 10. RAMS suorituskykyyn vaikuttavia tarkempia seikkoja (SFS-EN 50126-1 2017, 27)

3.2 Rautateiden RAMS hallinta – Yleiset vaatimukset

Standardin luku 6 sisältää yleisiä vaatimuksia RAMS:n hallintaan rautatieympäristössä. Luvun yksi tärkeistä seikoista on esitellä malli RAMS elinkaaren hallinnasta. Elinkaarilähestymistapa muodostaa rakenteen kaikkien järjestelmän suunnitteluun, hallintaan, valvontaan ja seurantaan liittyvien näkökohtien huomioimiseksi. Prosessin tarkoituksena on vähentää virheitä ja/tai niiden seurauksia koko järjestelmän elinkaaren aikana ja täten minimoida virheistä aiheutuvia jäännösriskejä. RAMS prosessi koostuu kolmesta sektorista, jotka ovat riskien arviointi, RAMS vaatimusten toteutus ja demonstrointi niiden täyttymisestä sekä operointi, kunnossapito ja käytöstä poisto. Liitteessä 1 on esitetty RAMS prosessin ja järjestelmän elinkaari. Kuvassa 11 on havainnollistettu RAMS elinkaari V-sykli muodossa.



kuva 11. RAMS elinkaari V-sykli esitystapa (SFS-EN 50126-1 2017, 35)

RAMS elinkaari koostuu kahdestatoista vaiheesta, joita kuvataan tarkemmin työn alaluvussa 3.3. Jokaisen elinkaaren vaiheen aikana suoritetaan verifiointia, jonka tarkoituksena on varmistua siitä, että RAMS vaatimukset täyttyvät. Tämän lisäksi vaiheiden neljä ja yhdeksän aikana suoritetaan erityiset validointitehtävät vaiheiden RAMS vaatimusten täyttymisen verifiointin lisäksi. Vaiheen neljä osalta validointi liittyy varmistumiseen siitä, että järjestelmävaatimusten määrittelyn osalta on noudatettu standardin määrittelemiä vaatimuksia sekä mahdollisia muita vaatimuksia, joita on esitetty olennaisissa laillisissa kehyksissä. RAMS elinkaaren vaiheen yhdeksän validoinnin osalta tavoitteena on varmistua siitä, että tarkastelun alla oleva järjestelmä täyttää käyttötarkoitukseen liittyvät vaatimukset konkreettisesti toimintaympäristössä. Järjestelmän toiminnasta kerätään jatkuvasti tietoa ja sitä käytetään RAMS mallin ja järjestelmän suorituskyvyn seurantaan. Tarvittaessa tehdään myös korjaavia toimenpiteitä. Riskien analysointi ja hallinta kulkevat läpi RAMS elinkaaren. (SFS-EN 50126-1 2017)

3.3 RAMS elinkaari

Standardin luku 7 sisältää tarkempaa määrittelyä liittyen RAMS elinkaaren eri vaiheisiin, joita on kaksitoista. Alla on listattu RAMS elinkaaren vaiheet sekä pyritty kuvaamaan lyhyesti niiden sisältöä. Jokainen elinkaaren vaihe sisältää standardin määrittelemiä tehtäviä, jotka voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: yleisiin tehtäviin, RAM tehtäviin sekä turvallisuuteen liittyviin tehtäviin. (SFS-EN 50126-1 2017)

Concept (1)

Projektin kokonaisuuden ja sitä kautta RAMS elinkaaren tehtävien hahmottaminen. (SFS-EN 50126-1 2017)

System definition and operational context (2)

Tavoitteena on järjestelmän/kokonaisuuden tarkoituksen, toiminnan rajausten, operointivaatimusten ja turvallisuusseikkojen ymmärtäminen sekä eroavaisuuksien ymmärtäminen, mikäli korvataan olemassa olevaa eri revision järjestelmää. Sen lisäksi tulisi muodostaa järjestelmä kuvaus, RAM suunnitelma ja turvallisuus suunnitelma. (SFS-EN 50126-1 2017)

Risk analysis and evaluation (3)

Tavoitteena on tunnistaa ja luokitella riskit, määrittellä riskien hyväksyntäperusteet ja kriteerit. Lisäksi tulisi muodostaa riskiarviot, vaaraloki (hazard log) ja päivittää tarvittaessa aikaisempia suunnitelmia. (SFS-EN 50126-1 2017)

Specification of system requirements (4)

Tavoitteena on RAMS kokonaisuuden vaatimusten ja näiden vaatimusten käytännön hyväksyntäprosessin ja kriteereiden sekä tarvittavien operointiin ja kunnossapitoon liittyvien valvonta- ja analysointivaatimusten määrittely. Aikaisempien suunnitelmien päivittäminen vaaditaan tarvittaessa, kuten myös RAMS elinkaaren vaiheiden 1-4 validointi. (SFS-EN 50126-1 2017)

Architecture and apportionment of system requirements (5)

Tavoitteena on jakaa järjestelmän RAMS vaatimuksia suunnitelman mukaisesti määrätyille järjestelmille ja/tai komponenteille, suunnitella alijärjestelmät ja komponentit, jotka toimivat keskenään järjestelmänä, joka täyttää vaaditut toiminnallisuudet järjestelmätasolla sekä kuvata suunnitelmasta johdettuja RAMS vaatimuksia ja määrittellä rajapinnat kaikille alijärjestelmille ja komponenteille. Lisäksi tulisi kuvata hyväksyntä- ja demonstrointivaatimuksia hyväksytyille RAMS vaatimuksille järjestelmien, alijärjestelmien ja laitteiden osalta eri RAMS elinkaaren vaiheiden aikana. Viimeisenä tulisi tunnistaa ja arvioida alijärjestelmien välisten vuorovaikutuksien merkitystä ja tuottaa järjestelmäarkkitehtuuri sisältäen rajapintakuvaukset ja järjestelmän vaara-analyysi sekä allokoida RAMS vaatimukset alijärjestelmille ja komponenteille. Aikaisemmat suunnitelmat tulee myös päivittää. (SFS-EN 50126-1 2017)

Design and implementation (6)

Tavoitteena on luoda alijärjestelmät ja valita RAMS vaatimusten täyttämät komponentit, demonstroida alijärjestelmien sekä komponenttien RAMS vaatimusten mukaisuus sekä kehittää suunnitelmia tulevaisuuden RAMS elinkaaren vaiheiden tehtävien osalta. Lisäksi tulee toimittaa RAMS ja vaara-analyysit, asennus sekä käyttöönottoproseduurit, operointi- sekä kunnossapitoproseduurit, koulutukseen liittyvät seikat sekä päivittää tarvittaessa aikaisemmat suunnitelmat. Vaiheeseen kuuluvat myös erityiset verifiointitehtävät liittyen siihen, että alijärjestelmien ja komponenttien suunnittelu täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien implementointi täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien valmistusjärjestelyt täyttävät RAMS vaatimukset sekä se, että tulevaisuuden elinkaaren vaiheiden toiminnat ovat yhteneviä RAMS vaatimusten kanssa. (SFS-EN 50126-1 2017)

Manufacture (7)

Tavoitteena on valmistaa/toteuttaa alijärjestelmät ja komponentit sekä luoda ja toteuttaa RAMS keskeistä varmistusjärjestelmää. Lisäksi tulee toimittaa laadunvarmistus raportit,

tarkastus- sekä testiraportit sekä tiedot materiaalikäsittelyn sekä logistiikan järjestelyjen osalta. Lopuksi tulee päivittää aikaisemmat suunnitelmat tarvittaessa. (SFS-EN 50126-1 2017)

Integration (8)

Tavoitteena on kasata ja asentaa integroitu järjestelmä sekä demonstroida, että integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit toimivat keskenään kuten rajapintojen osalta on määritelty. Lisäksi tulisi osoittaa että, integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit täyttävät niille määritellyt RAMS vaatimukset sekä käynnistää järjestelmätukijärjestelyt.

Vaiheen aikana tulee toimittaa asennusdokumentaatio, integrointiraportit, dokumentti vikojen ja toimimattomuuksien sekä näiden ratkaisemisen osalta, sekä tarvittaessa päivittää aikaisemmat suunnitelmat/dokumentit. Tähän kuuluu myös erityinen verifiointitehtävä liittyen siihen, että määritellyt turvallisuusliittännäisen soveltamisolosuhteet (safety-related application condition (SRAC)) täyttyvät integroinnin yhteydessä. SRAC viittaa olosuhteiden tunnistamiseen, joissa järjestelmää on käytettävä turvallisuuden näkökulmasta riskien välttämiseksi. (SFS-EN 50126-1 2017)

System Validation (9)

Tavoitteena on vahvistaa, että tarkastelun alla oleva järjestelmä (sisältäen mahdolliset (SRAC)) on määräysten mukainen mitä tulee RAMS vaatimuksiin. Lisäksi tulee varmistua tai päivittää järjestelmän safety case -validoinnin tulosten perusteella. Tuloksena syntyy RAM ja turvallisuus validointi raportti sekä päivitettyt suunnitelmat. (SFS-EN 50126-1 2017)

System acceptance (10)

Tavoitteena on arvioida järjestelmien, komponenttien, näiden rajapintojen sekä SRAC vaatimustenmukaisuutta peilaten RAMS vaatimuksia sekä hyväksyä järjestelmä käyttöön. Lisäksi tulee toimittaa hyväksymisraportit. (SFS-EN 50126-1 2017)

Operation, maintenance and performance monitoring (11)

Tavoitteena on operoida, kunnossapitää ja ylläpitää järjestelmää niin, että RAMS vaatimuksien taso säilyy. Tämä sisältää jatkuvaa järjestelmän monitorointia ja arviointia RAMS suoritustason osalta, sekä toimenpiteitä puutteiden tunnistamiseksi ja näiden parantamiseksi. Lisäksi tulee päivittää suunnitelmia, dokumentteja sekä järjestelmää tarvittaessa. (SFS-EN 50126-1 2017)

Decommissioning (12)

Tavoitteena on kontrolloida RAMS vaatimusten käyttöönottoa järjestelmän käytöstä poiston sekä materiaalin hävittämisen osalta. Tuotoksena syntyy käytöstä poistoraportti. (SFS-EN 50126-1 2017)

4 RAM TOIMINTAJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖISTEN JÄRJESTELMIEN ELINKAAREN AIKANA

John Moubray kuvaa teoksessa “Reliability-Centered maintenance” kunnossapidon kehittymisen jakautuvan kolmeen osaan alkaen 1930-luvulta. Ensimmäinen vaihe kestää toiseen maailmansotaan saakka. Kyseiselle ajanjaksolle oli tyypillistä, ettei teollisuus ollut vielä kovinkaan koneistunutta. Suurin osa laitteista oli yksinkertaisia, mikä teki niiden toiminnasta luotettavaa ja vikojen sattuessa laitteistot olivat helposti korjattavia. Johtuen yksinkertaisista rakenteista ja teollisuuden vielä kohtalaisen pienestä koneellistumisen asteesta, laitteistojen ennakoiva kunnossapito ei ollut ensisijaista. Tilanne kuitenkin muuttui, kun toinen maailmansota syttyi. Kriisin keskellä hyödykkeiden määrällinen tarve nousi voimakkaasti ja henkilötyövuosia oli sitoutettuna kriisin ratkaisemiseksi. Muun muassa nämä seikat johtivat siihen, että teollisuuden koneellistumisen astetta täytyi nostaa. 1950-luvulla teollisuuden laitteistoja oli jo huomattavasti enemmän ja niistä oli tullut monimutkaisempia. Samalla laitteistojen seisonta-ajoilla alkoi olla enemmän merkitystä, mistä syntyi ajatus ennakoivasta kunnossapidosta. Kunnossapidon kustannukset nousivat myös suhteellisesti, mikä nosti kiinnostusta kunnossapidon suunnittelu- ja hallintajärjestelmiä kohtaan. Samalla sitoutuneen pääoman määrä laitteistoihin kasvoi, mikä puolestaan herätti laitteistojen maksimaallisen elinkaaren tavoittelua. 1970-luvun puolivälistä lähtien teknologioiden kehittyminen ainoastaan kiihtyi, mikä lisäsi entisestään paineita laitteistojen seisonta-ajoille ottaen huomioon liiketoimintojen eri ulottuvuudet. Tämä kaikki on saanut aikaan toimintavarmuuden ja käyttövarmuuden määritelmien vakiintumisen yhdessä kunnossapidettävyyden kanssa. Reliability-centered maintenance eli RCM on prosessi, jonka avulla määritellään järjestelmän kunnossapitovaatimukset, joilla se suoriutuu sille määritellyistä operointivaatimuksista määritellyssä operointiympäristössä. (Moubray 1997, 1-7)

4.1 RAM tunnusluvut

Reliability eli toimintavarmuus kuvaa tietyn järjestelmän/komponentin kykyä toimia vaaditulla tavalla ilman vikaantumista tietyn ajanjakson aikana tietyissä määritellyissä olosuhteissa. Taulukossa 1 on kuvattu standardin määrittelemiä esimerkkejä toimintavarmuuden parametreista. Toimintavarmuuden parametrit yhdessä käyttövarmuuden sekä kunnossapidettävyyden parametrien kanssa ovat tärkeitä, jotta

kutakin osa-aluetta voidaan arvioida halutuilta osin RAM-analyyseissä. (SFS-EN 50126-1 2017)

Taulukko 1. Standardin määrittelemiä toimintavarmuuden esimerkki parametrejä. (SFS-EN 50126-1 2017, Annex B)

| Parameter | Symbol | Dimension |
|---|--------------|-----------------------------|
| Failure Rate | $\lambda(t)$ | 1/time, 1/distance, 1/cycle |
| Mean Up Time | MUT | time (distance, cycle) |
| Mean operating ^a Time To Failure (for non-repairable items) | MTTF | time (distance, cycle) |
| Mean operating ^a Time Between Failure (for repairable items) | MTBF | time (distance, cycle) |
| Failure Probability | F(t) | dimensionless |
| Reliability (Success Probability) | R(t) | dimensionless |

^a According to EN 61703 and IEC 60050-191-2.

Vikaantumistaajuus kuvastaa konkreettisesti vikataajuutta suhteessa aikaan, matkaan tai sykliin. Vikaantumistaajuutta voidaan hyödyntää määriteltäessä MTTF tai MTBF arvoja. MTTF kuvastaa sitä, kuinka kauan järjestelmä/komponentti pysyy keskimäärin toimintakuntoisena ennen ensimmäistä vikaantumista. MTBF kuvastaa taas keskimääräistä kestoja vikojen välillä. Tyypillisesti järjestelmille, jotka ovat luonteeltaan run-to-failure, hyödynnetään MTTF arvoja. Järjestelmille, joita korjataan välissä, sovelletaan MTBF arvoja. Kokonaiselle järjestelmälle voi olla luonnollista määritellä MTBF arvo, mutta esimerkiksi järjestelmän komponentille MTTF arvo.

Availability eli käyttövarmuus kuvaa järjestelmän/komponentin kykyä olla tietyssä tilassa, jotta se voi suorittaa sille määritellyt toiminnot, määritellyissä olosuhteissa, tietyllä ajan hetkellä tai ajanjakson aikana. Käyttövarmuuden määrittelyn mukaisesti järjestelmän/komponentin ulkoisten resurssien saanti on taattu eikä näiden vaikutuksia arvioida mukana käyttövarmuuden määrittelyssä. Alle taulukkoon 2 on kuvattu standardin määrittelemiä esimerkkejä toimintavarmuuden parametreistä. (SFS-EN 50126-1 2017)

Taulukko 2. Standardin määrittelemiä käyttövarmuuden esimerkki parametrejä. (SFS-EN 50126-1 2017, Annex B)

| Parameter | Symbol | Dimension |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Availability inherent operational | A A _i A _o | dimensionless |
| Fleet Availability | FA | dimensionless |
| Schedule Adherence | SA | dimensionless or time |

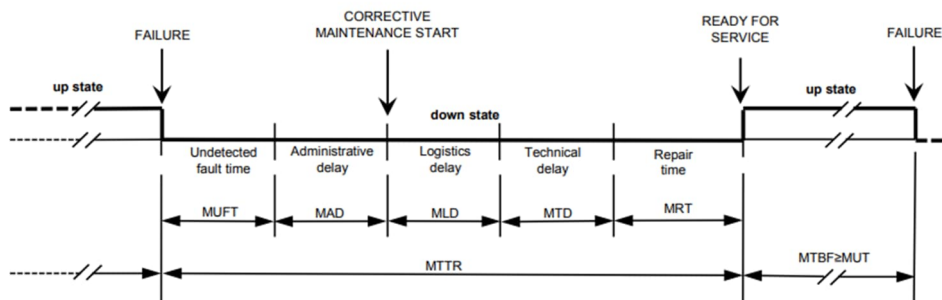
Käyttövarmuudelle käytetään symbolia A . Karkeasti käyttövarmuus kokonaisuudelle saadaan jakamalla MUT (Mean Up Time) MUT :n (Mean Up Time) ja MDT :n (Mean Down Time) summalla, kuten yhtälöstä (1) käy ilmi. Käyttövarmuuden A arvoksi muodostuu pienempi tai yhtä pieni kuin 1 ja käyttövarmuuden arvo voidaan ilmoittaa esimerkiksi prosentteina.

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \leq 1 \quad (1)$$

Jos järjestelmä on jatkuvassa operointitilassa eikä sille ole määritelty ennakoivaa kunnossapitoa voidaan käyttövarmuus laskea myös yhtälön (2) mukaisesti, jakamalla $MTTF$ (Mean Time To Fail) $MTTF$:n (Mean Time To Fail) ja $MTTR$:n (Mean Time To Restore) summalla.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \leq 1 \quad (2)$$

Alla kuvassa 12 on esitetty esimerkkimalli käyttövarmuuteen liittyen, josta ovat havaittavissa monet tekijät, jotka vaikuttavat siihen.



Key

- MTBF mean (operating) time between failures
- MUT mean up time
- MUFT mean undetected fault time
- MAD mean administrative delay
- MLD mean logistics delay
- MTD mean technical delay
- MRT mean repair time
- MTTR mean time to restore (for corrective maintenance)

Kuva 12. Käyttövarmuuden esimerkkimalli (SFS-EN 50126-1 2017, Annex B)

Taulukossa 3 standardin esittelemiä esimerkkejä logistisista tukiparametreista.

Taulukko 3. Standardin esimerkkejä logistisista tukiparametreista. (SFS-EN 50126-1 2017, Annex B)

| Parameter | Symbol | Dimension |
|---------------------------------|--------|---------------|
| Operation and Maintenance Cost | O&MC | money |
| Maintenance Cost | MC | money |
| Maintenance Man Hours | MMH | time (hours) |
| Mean Logistic Delay | MLD | time |
| Mean Administrative Delay | MAD | time |
| Fault correction time | - | time |
| Mean Repair Time | MRT | time |
| Turn Around Time | TAT | time |
| Maintenance support performance | - | dimensionless |

Maintainability eli kunnossapidettävyys kuvastaa järjestelmän/komponentin ominaisuutta kyvystä säilyttää tai palauttaa se sellaiseen tilaan, että se jälleen toimii vaaditulla tavalla määritellyissä käyttöolosuhteissa ottaen huomioon myös sille määritelty kunnossapito. Alle taulukkoon 4 on kuvattu standardin määrittelemiä esimerkkejä kunnossapidettävyyden parametreista. (SFS-EN 50126-1 2017)

Taulukko 4. Standardin määrittelemiä käyttövarmuuden esimerkki parametrejä. (SFS-EN 50126-1, Annex B)

| Parameter | Symbol | Dimension |
|--|------------------|-------------------------|
| Mean Down Time | MDT | time (distance, cycle) |
| Mean operating ^a Time Between Maintenance | MTBM | time (distance, cycles) |
| MTBM (corrective or preventive) | MTBM(c), MTBM(p) | time (distance, cycles) |
| Mean Time To Maintain | MTTM | time |
| MTTM (corrective or preventive) | MTTM(c), MTTM(p) | time |
| Mean Time To Restore | MTTR | time |
| Mean Repair Time | MRT | time |
| Fault Coverage | FC | dimensionless |
| Repair Coverage | RC | dimensionless |

^a According to EN 61703 and IEC 60050-191-2.

MTBM (Mean Time Between Maintenance) kuvastaa arvoa, joka määrittelee keskimääräisen ajan kunnossapidon välille. MTTM (Mean Time To Maintain) kuvastaa arvoa, joka määrittelee keskimääräisen ajan itse kunnossapidolle eli ajalle, joka kestää komponentin saattamiseksi takaisin toimintakuntoiseksi kunnossapidon osalta. MTTR (Mean Time To Restore) kuvastaa arvoa, joka määrittelee keskimääräisen järjestelmän toimintakuntoon palauttamisen ajan vian tai häiriön jälkeen.

4.2 Menetelmät RAM soveltamiseen

Työn luvussa 3 kuvailtiin standardin määrittelemää RAMS elinkaaren prosessia. Alaluvussa 4.1 käsiteltiin esimerkkejä RAM parametreista. Tässä alaluvussa 4.2 käsitellään RAM soveltamisen menetelmiä. Kun yhdistämme nämä kaikki elementit, syntyy RAM toimintaympäristö. RAM toimintaympäristössä tehdään prosessin mukaisesti RAM analyysiä RAM parametreilla järjestelmälle tai laitteistolle. RAM suunnitelma on dokumentti, johon kirjataan RAM:n osalta selkeät tavoitteet ja tavoitetasot, toimenpiteet ja strategiat, jolla RAM toimintaympäristöä toteutetaan, määritellään vastuut ja käytettävät resurssit, määritellään RAM tavoitteiden seuranta ja se, miten jatkuva parantamisen ja suunnitelman kokonaisuus kehittyy. (SFS-EN 50126-1 2017)

RAM analyysin osalta lähdetään yleensä siitä, että mallinnetaan analysoitavaa kokonaisuutta. Standardin CLC/TR 50126-3 liitteessä A on esitetty esimerkki sähkömoottorijunan jakostruktuurista (breakdown structure) jossa sähkömoottorijunan kokonaisuus on jaettu pienempiin osatekijöihin. Kuvassa 13 on esimerkki standardin mukaisesta jakostruktuurista palvelutoimintojen osalta. Kun kokonaisuudelle on mallinnettu jakostrukturi, voidaan se mallintaa edelleen RAM analysoinnin osalta erinäisiin ohjelmistoihin.

| TREE BREAKDOWN STRUCTURE | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----|------|------------------------------|-----|-----------------|------------------------------|-----|
| ROLLING STOCK: EMU TRACTION VEHICLE | | | | | | Doc. N. | | |
| | | | | | | Version Number | | |
| | | | | | | Date of version | | |
| | | | | | | Drawn up by | | |
| | | | | | | Page n/N | | |
| | | | | | | File name | | |
| Code | L1 - System | Qty | Code | L2 - Sub-system or LRU | Qty | Code | L3 - LRU | Qty |
| 18 | Service functions | 1 | 18.1 | Passenger information system | 1 | 18.1.1 | Loudspeaker | 8 |
| | | | | | | 18.1.2 | Controller | 1 |
| | | | | | | 18.1.3 | Cab Control Unit | 1 |
| | | | | | | 18.1.4 | Emergency speech unit | 4 |
| | | | | | | 18.1.5 | Internal information display | 2 |
| | | | | | | 18.1.6 | External side display | 2 |
| | | | | | | 18.1.7 | Handset | 1 |
| | | | 18.2 | Video surveillance system | 1 | 18.2.1 | External cam | 2 |
| | | | | | | 18.2.2 | Internal cam | 3 |
| | | | | | | 18.2.3 | Video monitor | 1 |

Kuva 13. Sähkömoottorijunan breakdown structure palvelutoiminnot. (CLC/TR 50126-3 2008, annex A)

Luotettavuuden lohkokaavio (Reliability block diagram (RBD)) on menetelmä, jota käytetään luotettavuuden arvioimisessa ja analysoimisessa. RBD:n osalta muodostuu tietyn järjestelmän tai komponentin lohkokaavio. Mikäli kyseessä on järjestelmä, lohkokaavioon muodostetaan lohkoja/laatikoita, jotka kuvastavat esimerkiksi järjestelmän komponentteja. Lohkojen/laatikoiden välille muodostetaan yhteyksiä sen mukaan, miten järjestelmän komponentit ovat toisistaan riippuvaisia järjestelmän toiminnan kannalta. Lohkoja voidaan kytkeä toisiinsa joko sarjaan, rinnakkain tai loogisesti käyttämällä esimerkiksi ja/tai-portteja. Lohkoihin syötetään lohko kohtainen luotettavuusarvo komponentille ja simulaation tuloksena syntyy koko järjestelmän luotettavuusarvo. Komponenttien luotettavuus arvot saadaan muodostettua laskennallisesti valmistajan tietojen perusteella tai hyödyntäen vastaavien komponenttien todellista suorituskykydataa. Lohkokaaavion lohkojen osalta voidaan ottaa huomioon myös erinäisiä vikamalleja. (Isograph 2023)

Fault tree analysis (FTA) on vikapuuanalyysi, jonka avulla pyritään analysoimaan ja tunnistamaan mahdollisia vikojen syitä ja vaikutuksia. Vikapuuanalyysin konsepti muistuttaa RBD menetelmää siinä määrin että vikapuu muodostuu myös lohkojen avulla ja hyödyntää lohkojen välille todellisen tilanteen mukaisesti muodostettavia yhteyksiä. Vikapuuanalyysin osalta hyödynnetään tapahtumien osalta erinäisiä niin sanottuja tapahtumalohkoja. Tapahtumalohkoja ovat esimerkiksi normaali tapahtuma/vika, ulkoista tapahtumaa kuvaava lohko ja kehittymättömän tapahtumanlohko, joka ei ole vielä realisoitunut tai olosuhteisiin perustuva lohko. Lopputuloksena syntyy käsitys siitä miten eri tapahtumat voivat johtaa järjestelmän vikaantumiseen. (Weibull 2023)

Luvun alussa käsiteltiin toimintavarmuuskeskeisen kunnossapidon (reliability-centered maintenance) kehittymistä. Tarkasteltavan järjestelmän/komponentin RCM analyysin osalta on oleellista määritellä joitain vaiheita. Aluksi tulee tunnistaa mitä toiminnallisuuksia ja suorituskyvyllisiä vaatimuksia järjestelmällä/komponentilla on määritellyssä toimintaympäristössä. Tämän jälkeen tulisi tarkastella minkälaisia niin sanottuja ”functional failure” malleja järjestelmällä/komponentilla voi olla. Functional failure tarkoittaa häiriötä, jossa järjestelmä/komponentti ei pysty täyttämään sille määriteltyjä käyttäjän hyväksymää toiminnan tasoa. Toiminnallisten tilanteiden jälkeen tulisi tarkastella vikamalleja (failure mode). Vikamalli käsittää kaikki tapahtumat, jotka voivat kohtuullisella tavalla aiheuttaa järjestelmän/komponentin toimintahäiriön. Kun tapahtumat toimintahäiriöiden osalta on

tunnistettu, on luonnollista pohtia vikojen vaikutuksia. ”Failure effect” kuvaa mitä tapahtuu, kun vikamalli ilmenee järjestelmään/komponenttiin. Kun aiheutuneiden vikojen vaikutukset on saatu selville, tulee tarkastella tarkemmin mitä seurauksia vikaantumisella on laajemmin. Laajemmat seuraukset voivat vaikuttaa esimerkiksi operointiin tai turvallisuuteen. Lopuksi tulisi pohtia mitä voidaan tehdä, jotta vikaantumiset saataisiin ennakoitua tai ehkäistyä. Tulisi myös pohtia miten tilanteissa, jossa vikaantumisen ennakoitua tai ehkäisyä ei pystytä hallitsemaan tulisi toimia. FMEA eli Failure Mode and Effect Analysis on menetelmä, joka muistuttaa hieman RCM:a. RCM:n ja FMEA:n erona voisi kuitenkin pitää sitä, että RCM keskittyy tehokkaan kunnossapidon suunnitteluun ja toteutukseen, kun taas FMEA keskittyy riskienhallintaan ja luotettavuuden parantamiseen tutkimalla vikamalleja ja niiden aikaansaamia vaikutuksia. (Moubray 1997)

RAM toimintajärjestelmän soveltamiseen löytyy monia työkaluja sekä erinäisiä menetelmiä. Työkalut voivat olla hyvin kehittyneitä intuitiivisia kaupallisia ohjelmisto sovelluksia, mutta analyysia voi tehdä myös esimerkiksi markkinoilta helposti saatavilla taulukointiohjelmilla. RAM-analyysiä voi tehdä eri tavoilla. Yleisesti ajatuksena on syöttää dataa prosessiin, josta saadaan tuloksia. Hyödynnettävä data voi olla valmiita RAM-parametrejä tai esimerkiksi ”kenttä” -dataa. Uutta dataa voidaan muodostaa myös ”kenttä” -datan pohjalta erinäisillä matemaattisilla laskenta menetelmillä tai simuloinnilla kuvastamaan jotain haettua tarvetta. Tuloksena analyysistä tai simulaatiosta saadaan RAM:n kannalta oleellisia parametrejä tai dataa taloudellisesta näkökulmasta. Analyysiä voidaan esimerkiksi tehdä jonkin suuremman järjestelmän osalta, johon käytetään järjestelmän komponenttien RAM-parametrejä. RAM-analyysit ovat erittäin hyödyllisiä arvioitaessa esimerkiksi järjestelmän elinkaarikustannuksia tai vertailtaessa eri ratkaisuja kaupallisesta näkökulmasta. Liitteessä 4 on esitetty esimerkki sähkömoottorijunan mallinnuksesta ja FMEA analyysistä ReliaSoft:n RCM++ ohjelmistossa.

5 KUILUANALYYSI SEKÄ KYSELYTUTKIMUS SFS-EN 50126 RAMS PROSESSIN JA YRITYKSEN RAMS KÄYTÄNTEIDEN VÄLILTÄ

Diplomityön tutkimuspuoli toteutettiin tekemällä kuiluanalyysi sekä kyselytutkimus. Kuiluanalyysin tarkoituksena on vertailla standardin SFS-EN 50126-1 RAMS prosessin vaatimuksia yrityksen RAMS-käytänteisiin. Yrityksen RAMS-käytänteiden ymmärtämiseksi tulkitaan yrityksen sisäistä ohjeistusta, joka kuvailee liikkuvan kaluston suunnittelun vaatimuksia. Kyselytutkimuksen osalta tarkastellaan kyselytutkimukseen osallistuneiden yrityksen työntekijöiden vastauksia ja peilataan niitä standardin SFS-EN 50126-1 RAMS prosessin vaatimukseen. Kuiluanalyysin ja kyselytutkimuksen ohella analysoidaan, kuinka hyvin yrityksen ohjeistusta on saatu jalkautettua käytäntöön tutkimuksessa käsiteltävien RAMS käytänteiden osalta.

Kuiluanalyysin englanninkielinen termi on gap analysis. Kuiluanalyysia voidaan käyttää tunnistamaan niin sanottuja kuiluja yrityksen nykyisen suorituskyvyn ja tulevaisuuden tavoitellun suorituskyvyn välillä. Tässä työssä kuiluanalyysia käytetään hyödyksi tunnistamaan mahdollisia puutteita tai samankaltaisuuksia yrityksen nykytilanteen ja standardin SFS-EN 50126-1 vaatimien toimintatapojen väliltä. Kuiluanalyysi koostuu neljästä vaiheesta, jotka ovat järjestyksessä: nykytilanteen tunnistaminen, vertailtavan tulevaisuuden tilan hahmottaminen, kuilujen tunnistaminen nykytilanteen ja tulevaisuuden tilanteen väliltä ja viimeisenä suunnitelma mahdollisen kuilun poistamiseksi. Tämän työn osalta keskitytään kolmeen ensimmäiseen vaiheeseen ja kuiluanalyysi muodostetaan Excelin avulla. (Parkersoftware 2023)

Kyselytutkimuksen tarkoituksena on saada selville, kuinka standardin SFS-EN 50126-1 RAMS prosessivaatimukset täyttyvät yrityksen päivittäisessä toiminnassa. Kyselytutkimuksen lähtökohtana on saada selville, mitä kyselytutkimukseen osallistuvat ajattelevat esitetyistä väittämistä ja kuinka he arvottavat yrityksen toimintaa väittämiin nähden. Kyselytutkimuksessa käytetään kysymyspohjaa, joka on laadittu Exceliin.

Kuiluanalyysin ja kyselytutkimuksen osalta pyritään saamaan ensisijaisesti kvalitatiivista eli laadullista tietoa yrityksen nykytilasta. Kvalitatiivisen menetelmän valikoitui sillä perusteella, että tutkittava ilmiö on hyvin kompleksinen, jolloin on tehty olettaus siitä, että

lähestyttäessä enemmän kvalitatiivisella kulmalla saadaan myös oleellisempia tuloksia. Kuiluanalyysissä ja kyselytutkimuksessa tulosten ja vastausten osalta käytetään kolmiportaista tulos- sekä vastausasteikkoa, jotka ovat vihreä, keltainen ja punainen. Tulos ja vastausasteikon tuloksia täydennetään kommentteilla.

5.1 Kuiluanalyysi SFS-EN 50126-1 RAM prosessi & yrityksen käytänteet

Kuiluanalyysissa vertaillaan SFS-EN 50126-1 RAMS prosessia yrityksen suunnitteluohjeistukseen. Kuiluanalyysin osalta keskitytään standardin RAM prosessin vaatimukseen. Standardin RAM prosessin elinkaaren vaiheet on lueteltu ja määritelty standardin luvuissa 6 ja 7. RAMS Elinkaaren 12 vaihetta on havainnollistettu liitteessä 1, standardin visualisoimalla tavalla. Suunnitteluohjeistus, jota vastaan standardin vaatimuksia peilataan, on nimeltään ”Liikkuvan kaluston suunnitteluohje” ja se on luokiteltu menettelyohjeeksi. Suunnitteluohje sisältää paljon yrityksen sisäisiä vaatimuksia suunnitteluun muun muassa toteutukseen, suunnittelu ympäristöön, suunnittelun tuloksiin sekä suunnittelun dokumentointiin liittyen. Suunnitteluohjeen sisältö ja rakenne ei ole muodostettu SFS-EN 50126-1 standardin RAMS elinkaaren vaiheiden ympärille. Tässä työssä tarkoituksena on poimia kuhunkin vaiheeseen liittyvät seikat ohjeistuksen joukosta.

Kuiluanalyysi sisältää edellä kuvatun mukaisesti usein neljä eri vaihetta. Oleellista on saada ymmärrys nykytilanteesta, tavoitetilanteesta, muodostaa analyysi näiden välille ja lopuksi suunnitella toimenpiteet mahdollisten poikkeamien poistamiseksi. Työn osalta kuiluanalyysi toteutetaan siten, että standardin mukaiset RAM elinkaaren vaiheen vaatimukset listataan Excel taulukkoon ensimmäisille sarakkeille niin, että käy selkeästi ilmi vaiheen järjestysnumero, nimi sekä lyhyt selite vaiheen mukaisille vaatimuksille. Seuraavalle sarakkeelle poimitaan suunnitteluohjeistuksen RAM:n mukaiset vaatimukset ensimmäisien sarakkeiden kuvailemien standardin vaatimukseen liittyen. Kolmanteen sarakkeeseen kuvaillaan vertailun tulos, joka muodostuu RAM elinkaaren vaiheiden vaatimusten ja yrityksen vastaaville vaiheille kuvaamien vaatimusten välille. Jos yrityksen ohjeistuksen vaatimukset ovat linjassa standardin vaatimusten kanssa, ei kuilua tältä osin ole olemassa ja voidaan todeta, että nykyinen yrityksen ohjeistus on linjassa standardin vaatimusten kanssa. Mikäli poikkeamia löytyy, kirjataan nämä kommenttisoluihin kuhunkin vaiheeseen liittyen, josta poikkeamat ovat helposti luettavissa. Jokaiselle elinkaaren vaiheelle muodostetaan

myös värikoodauksella status sen perusteella, kuinka hyvin tai huonosti ohjeistus vastaa standardin vaatimuksiin RAM elinkaaren vaatimusten osalta. Neljännessä vaiheessa tulisi muodostaa suunnitellut toimenpiteet, joiden perusteella poikkeamia lähdetään oikomaan. Liitteessä 2 on esitetty Excel -taulukkopohja, johon kuiluanalyysi muodostetaan. Taulukossa 5 visualisoidaan kuiluanalyysin tulokset.

Taulukko 5. Kuiluanalyysin tulosten visualisointi. Vihreä väri indikoi vaatimusten täyttymistä, keltainen väri indikoi vaatimusten osittaista täyttymistä ja punainen väri tilannetta, jossa vaatimusten täyttymisessä selkeitä haasteita.

| Phase # | Phase name | Standard clause | General task | RAM task |
|---------|---|-----------------|--|---|
| 1 | Concept | 7.2 | Investigate scope, context and purpose of the system. | Investigate the general RAM implications of the system. Investigate previous RAM requirements and past RAM performance of similar/related systems. |
| | | | Investigate the environment of the system. | Investigate current RAM policy and targets of the relevant railway duty holders. Define the scope of the RAM management requirements for subsequent system life cycle RAM tasks. |
| 2 | System definition and operational context | 7.3 | Define the system and its mission profile. | Establish the RAM policy. Establish the RAM plan. |
| | | | Define the system boundary. | |
| | | | Define the scope of operational requirements. | |
| 3 | Risk analysis and evaluation | 7.4 | Establish the organisation. | Perform Risk Analysis. |
| | | | | Update RAM Plan. |
| 4 | Specification of system requirements | 7.5 | Specify system requirements. | Establish RAM requirements specification. Update the RAM plan. Establish validation plan for RAM requirements. |
| | | | Define the system architecture. | Allocate RAM requirements to subsystems/components. |
| | | | Identify the requirements for integration of pre-existing subsystems/components. | Update the RAM plan. |
| 5 | Architecture and apportionment of system requirements | 7.6 | Define acceptance criteria and processes for subsystems/components. | Update validation plan for RAM requirements. |
| | | | | |
| 6 | Design and implementation | 7.7 | Design subsystems/components. | Plan RAM tasks of further phases. |
| | | | Prepare operation and maintenance procedures. | Perform RAM analysis. |
| | | | Define training measures for operation and maintenance. | Update the RAM plan. |
| | | | Define and establish manufacturing process for producing subsystems and components. | Update validation plan for RAM requirements. |
| | | | Define and establish system integration process. | |
| | | | Prepare installation and commissioning procedures. | |
| 7 | Manufacture | 7.8 | Implement and operate manufacturing process. | Establish RAM assurance arrangements. Update the RAM plan. Update validation plan for RAM requirements. |
| | | | Integrate subsystems and components. | Establish integration report for RAM requirements. |
| | | | Demonstrate system functionality. | Update the RAM plan. |
| 8 | Integration | 7.9 | Test and analyse system. | Update validation plan for RAM requirements. |
| | | | Arrange system support arrangements. | |
| | | | Establish validation report. | |
| 9 | System Validation | 7.10 | Establish process for the acquisition and evaluation of operational and maintenance data. | Establish RAM validation report. |
| | | | | |
| 10 | System acceptance | 7.11 | Record an acceptance record. | Assess RAM validation. |
| | | | Verify the acceptance record. | |
| 11 | Operation, maintenance and performance monitoring | 7.12 | Provide all information necessary to formulate plans/procedures for operation and maintenance. | Implement and maintain FRACAS process for the acquisition and recording of RAM performance data. |
| | | | Implement operation and maintenance procedures. | Maintain FRACAS and periodically review FRACAS records. |
| | | | Record changes in the system configuration. | Establish records to trace the RAM tasks undertaken. Reports of RAM performance analysis and evaluation. |
| 12 | Decommissioning | 7.13 | Establish decommissioning plan and related report. | Identify the RAM impact of decommissioning and disposal. |

5.2 Kyselytutkimus yrityksen RAMS käytänteistä

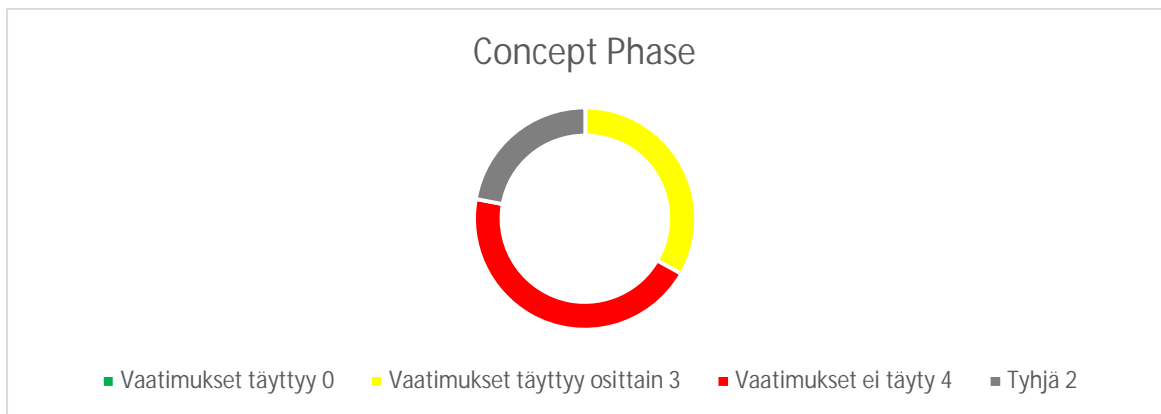
Kuuluanalyysin tavoin myös kyselytutkimuksessa tutkitaan yrityksen käytänteitä liittyen standardin SFS-EN 50126-1 luvun 6 kuvailemiin RAMS elinkaaren vaiheiden vaatimuksiin. Elinkaaren 12 on vaihetta havainnollistettu liitteessä 1 standardin visualisoimalla tavalla. Kysely- ja vastauslomake laadittiin Excel -tiedostoon ja se löytyy kuvattuna liitteessä 3. Kyselytutkimuslomakkeessa on listattuna RAMS elinkaaren vaiheet riveittäin sisältäen lyhyet selitteet. Tarkat standardin kohdat ja vaatimukset on lisätty lomakkeen välilehdille. Samoin lomakkeen välilehdille on lisätty kuvaukset verifiointiin sekä validointiin liittyen. Kyselytutkimukseen vastaajia on pyydetty vastaamaan väreillä koodaten jokaiseen elinkaaren vaatimusten vaiheisiin, miten vastaaja kokee kokemuksen pohjalta sen täyttyvän. Vastausten värikoodauksen osalta vihreä vastaa tilannetta, jossa standardin elinkaaren vaiheen vaatimukset täyttyvät vastaajan mielestä täysin, keltainen vastaa tilannetta, jossa vaatimukset täyttyvät osittain ja punainen tilannetta, jossa vaatimusten täyttymisen osalta esiintyy selkeitä haasteita. Mikäli vastaajalla ei ole työssään kokemuksia työtehtävistä, jotka liittyvät tiettyyn RAMS elinkaaren vaiheeseen, kyseisen vaiheen vastauksen sai jättää täyttämättä. Vastausten värikoodauksen lisäksi vastaajia on pyydetty perustelemaan vastauksensa.

Kyselytutkimuslomake lähetettiin yrityksen henkilöille, jotka ovat työssään tekemisissä RAMS toimintaympäristössä. Kyselytutkimukseen pyydettiin osallistumaan 27 henkilöä ja täytettyjä kyselytutkimuslomakkeita saatiin 9 kappaletta. Tämän lisäksi muutama henkilö ilmoitti aihealueen ohittavan heidän vastualueensa. Seuraavaksi käsitellään kyselytutkimuksen tuloksia jokaisen RAMS elinkaaren vaiheen osalta. Jokaisen elinkaaren vaiheen vastausten osalta on muodostettu vastausjakauman diagrammi. Vastausten graafisen esitystavan lisäksi nostetaan esille vastaajien keskeisiä kommentteja.

Concept phase (1):

Kuvassa 14 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ” Ulkoisissa myyntiprojekteissa on ollut edistystä kun RAMS-asiat ovat nousseet esille. Toteutuksen osalta vajavaista ja ei huomioida konsernin sisäisissä projekteissa riittävästi.”
- -” Ei toteudu ollenkaan”

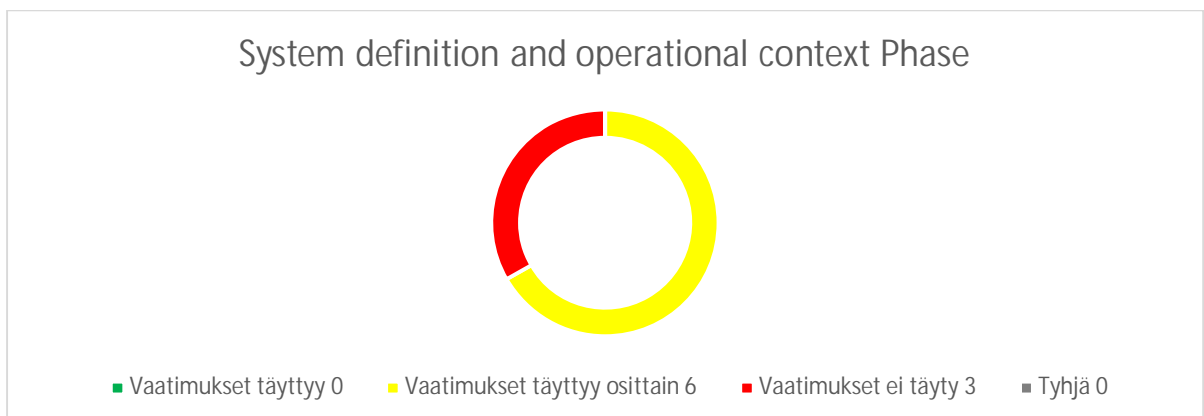


Kuva 14. Concept elinkaaren vaiheen vastausjakauma

System definition and operational context phase (2):

Kuvassa 15 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ” Safety planin tekeminen hyvällä tasolla pääsääntöisesti. Ei välttämättä noudata standardia, mutta sisältää samoja elementtejä”
- ” ei järjestelmällistä osia lopputuloksista muodostuu osana projektidokumentaatiota.”
- ” Vaadittuja suunnitelmia ei tehdä (RAM&Safety)”

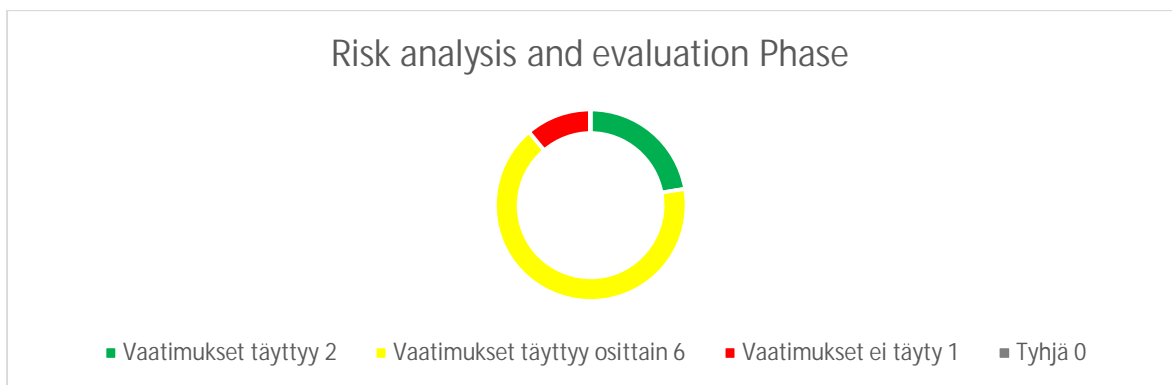


Kuva 15. System definition and operational context elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Risk analysis and evaluation phase (3):

Kuvassa 16 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Löytyy nykyisiä prosesseja joilla arvioidaan muutoksia”
- ”Riskienarviointien teko mielestäni hyvällä tasolla.”
- ”CSM-RA:n mukainen toiminta ok, muu ennakoiva riskien arviointi puutteellista.”

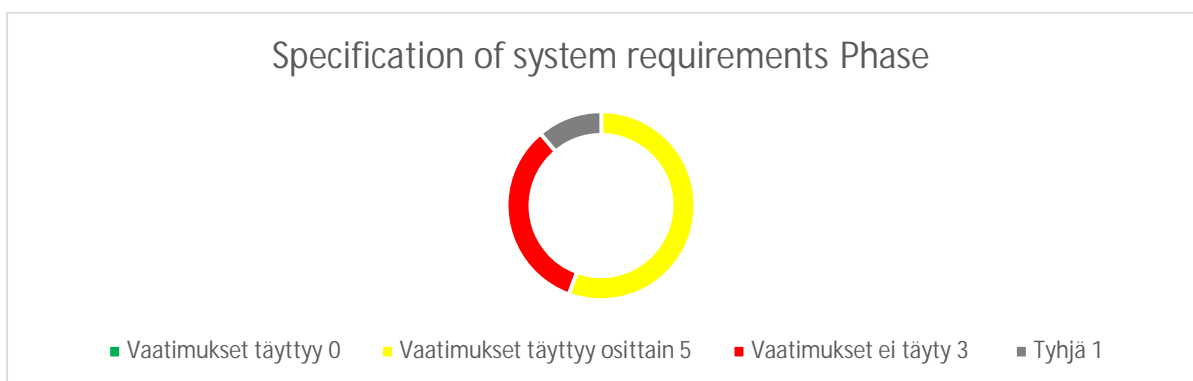


Kuva 16. Risk analysis and evaluation elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Specification of system requirements phase (4):

Kuvassa 17 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Projekteissa tehdään tarkastusta mutta se ei ole prosessin omainen vaan enemmän adhoc”
- ”En tunnista, että olisi kovin hyvin tehty varsinkaan luotettavuuden tavoitetasoja laitteille/komponenteille, ainoastaan päälaitetasolla. Ei ole ollut asiakasvaatimus aiemmin, joten ei juurikaan tehty. Ei yhtenäistä toimintamallia yrityksen sisällä.”

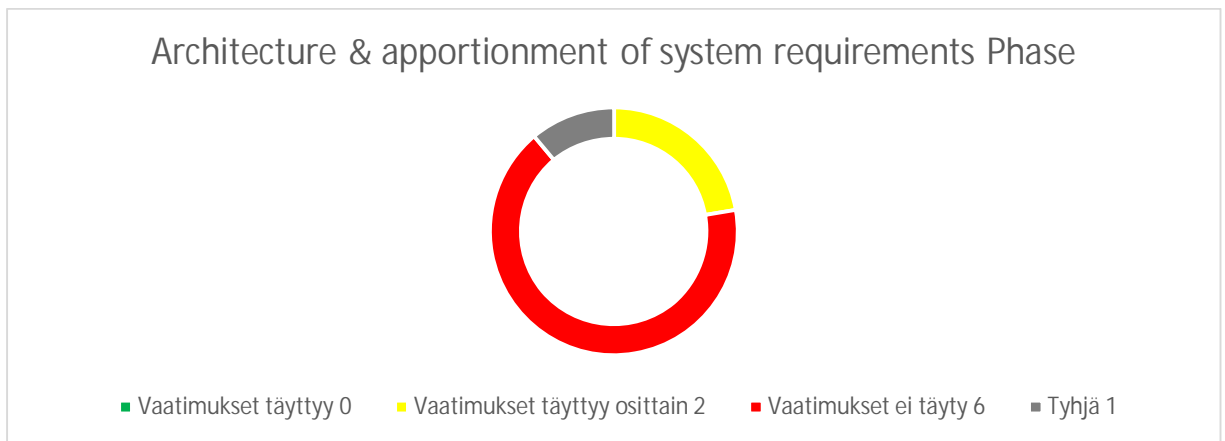


Kuva 17. Specification of system requirements elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Architecture and apportionment of system requirements phase (5):

Kuvassa 18 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Jotain vastaavaa syntyy pieni muotoisesti projektissa, ei kuitenkaan prosessiomaisesti”
- ”En tunnista että olisi tehty tämmöistä. Yrityksellä ei ole vakioitua tapaa toimia ja tehdä systemaattisesti, koska ei ole ollut asiakasvaatimus.”

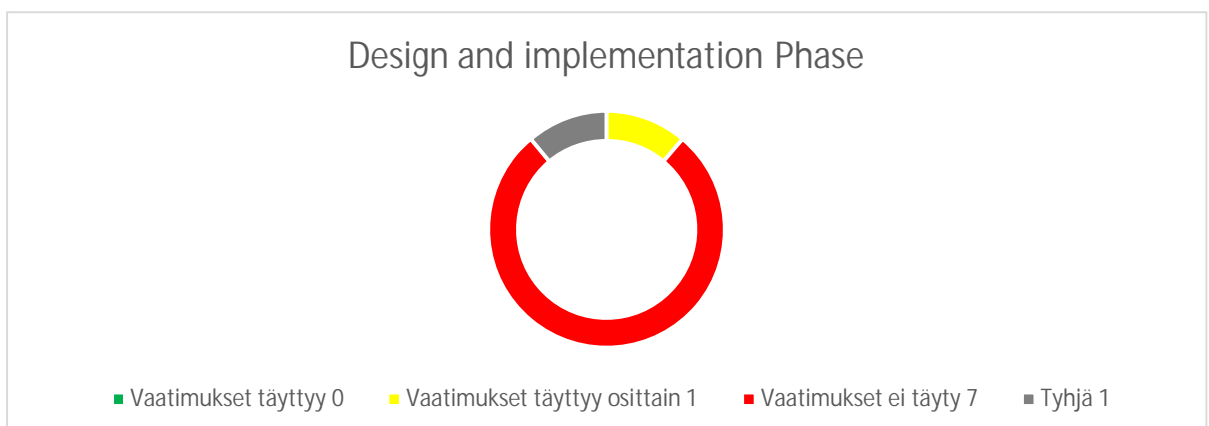


Kuva 18. Architecture & apportionment of system requirements elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Design and implementation phase (6):

Kuvassa 19 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Osia tästä tehdään hyvinkin systemaattisesti, kuten koulutukset ja turvallisuusasiat.”
- ”Täysin puutteellinen”

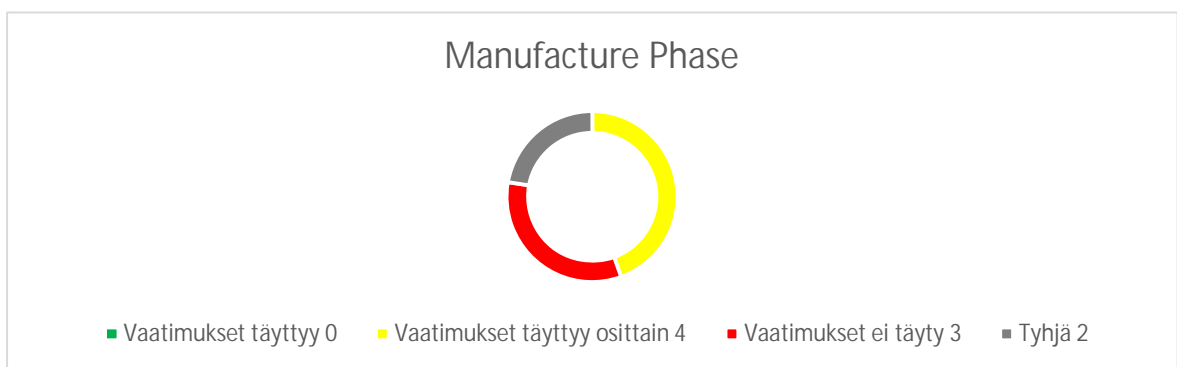


Kuva 19. Design and implementation elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Manufacture phase (7):

Kuvassa 20 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Normaalia tuotantotoimintaa, jossa osa standardin vaatimuksista täyttyy. Tuotannon poikkeamien juurisyyanalyysissä ja korjaavissa toimissa parantamisen varaa,”
- ”Osittain toteutuu mutta ei prosessinomaisesti”

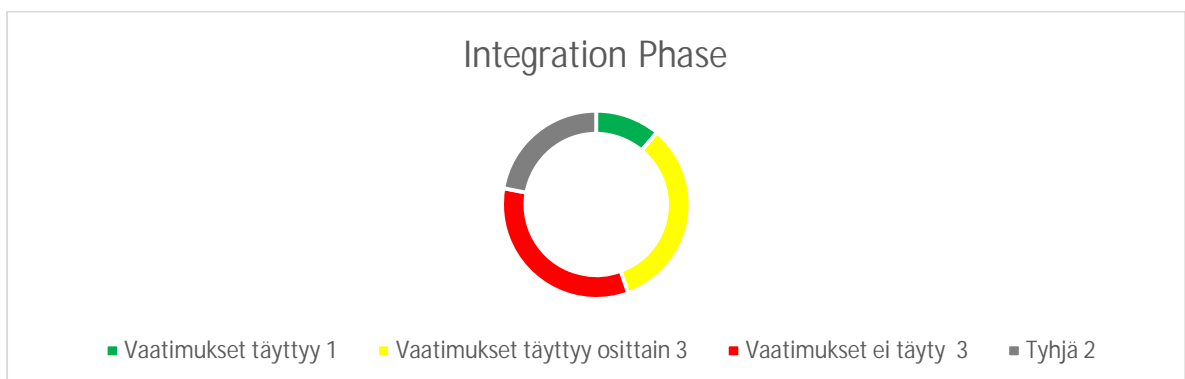


Kuva 20. Manufacture elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Integration phase (8):

Kuvassa 21 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ” Toiminnallista yhteensopivuustestausta tehdään mutta ei RAMS-vaatimusten kautta.”
- ” Turvallisuus mielestäni OK. Yrityksellä ei muihin yhtenäistä tapaa toimia, vaan toimitaan asiakaspesifisesti.”

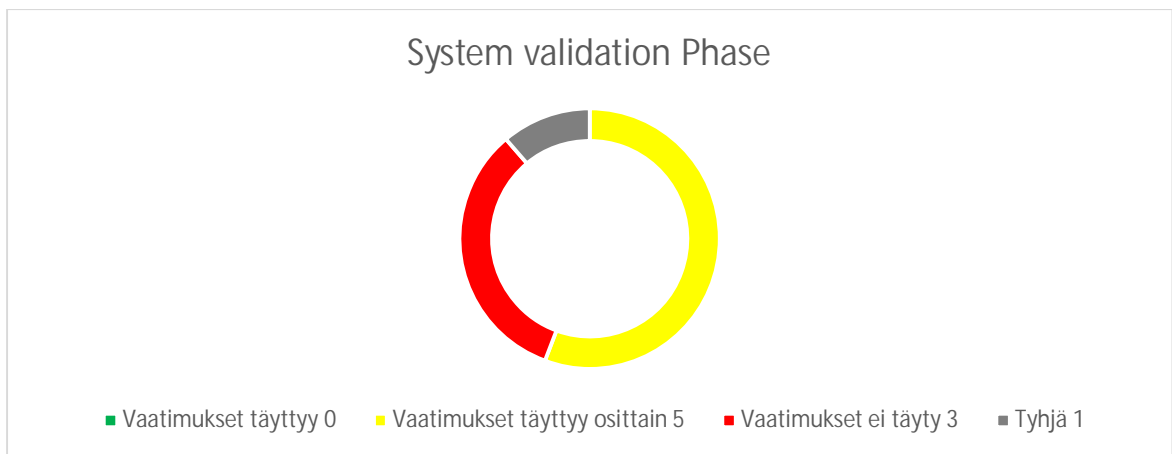


Kuva 21. Integration elinkaaren vaiheen vastausjakauma

System validation phase (9):

Kuvassa 22 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Turvallisuus mielestäni OK. RAM-osuus asiakasspesifi, ei yhtenäistä tapaa toimia”
- ”Tehdään jotain tämän kaltaista”

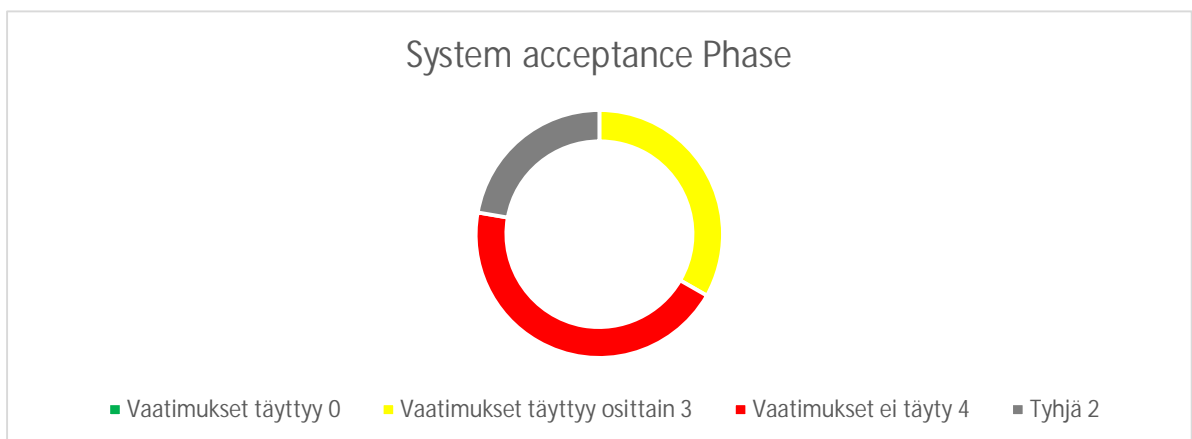


Kuva 22. System validation elinkaaren vaiheen vastausjakauma

System acceptance phase (10):

Kuvassa 23 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”Turvallisuus mielestäni OK. RAM-osuus asiakasspesifi, ei yhtenäistä tapaa toimia”
- ”Tehdään jotain tämän kaltaista”

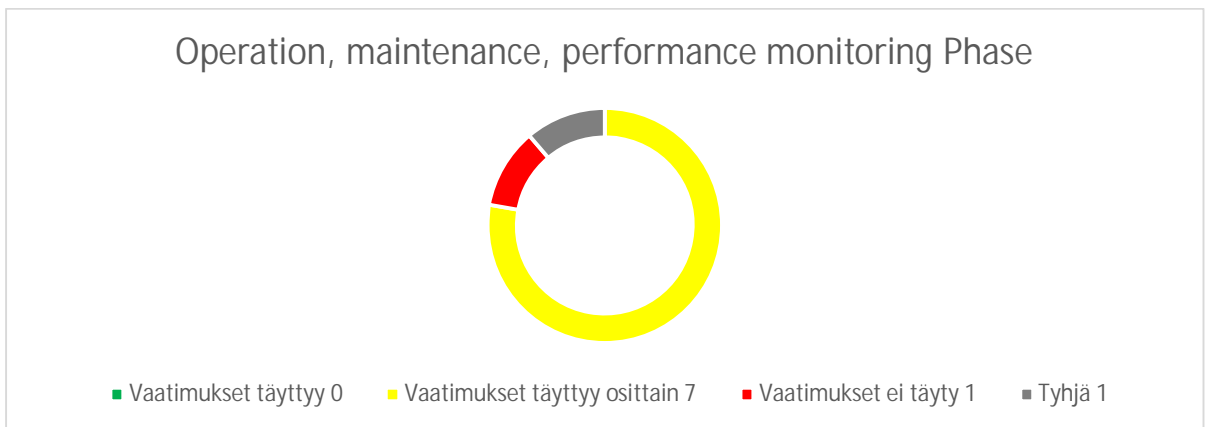


Kuva 23. System acceptance elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Operation, maintenance, and performance monitoring phase (11):

Kuvassa 24 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio. Alla muutama tutkimukseen osallistuneen kommentti vaiheeseen liittyen:

- ”RAMS-vaatimusten jatkuva seuranta ei toteudu, on paremminkin pistemäistä”
- ”Jatkuvissa kunnossapitosopimuksissa noudatetaan sopimusten vaatimuksia ja toimitaan niiden puitteissa. Ei ole sisällytetty standardin mukaista mallia. Safety toteutuu, ja pieniltä osin myös luotettavuus & käytettvyys.”

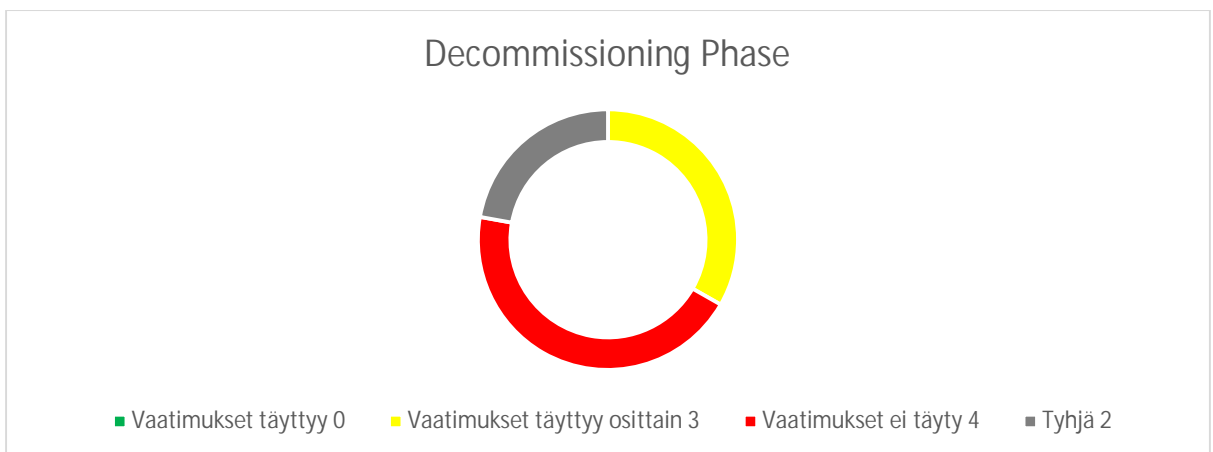


Kuva 24. Operation, maintenance, performance monitoring elinkaaren vaiheen vastusjakauma

Decommissioning (12):

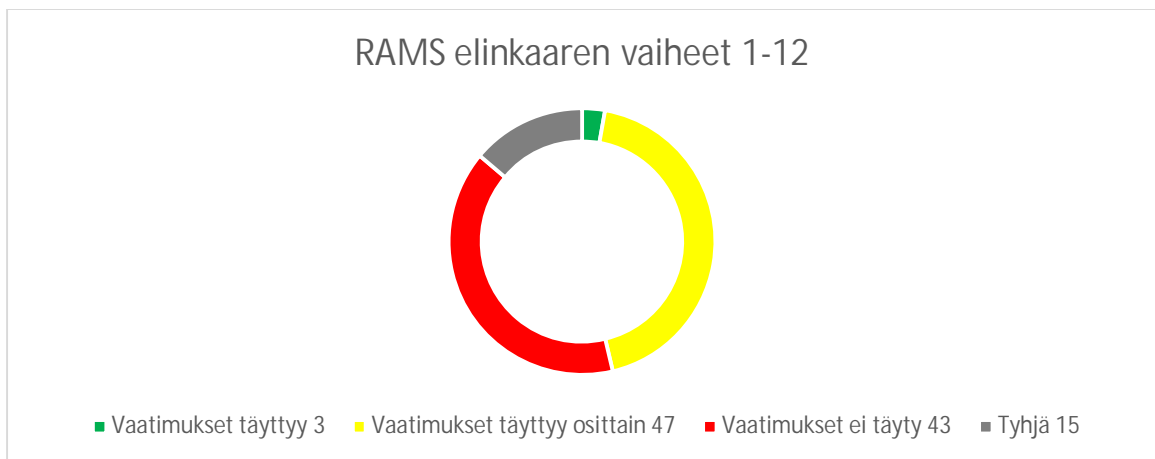
Kuvassa 25 on esitetty kyselytutkimukseen osallistuneiden vastausten pohjalta muodostettu rengaskaavio.

- ”Ei järjestelmällistä käytäntöä”
- ”Raportointi puuttuu täysin,”



Kuva 25. Decommissioning elinkaaren vaiheen vastausjakauma

Kuvassa 26 on esitetty kaikkien vastausten vastausjakauma. Kaiken kaikkiaan kyselytutkimukseen osallistuneiden vastaukset painottuivat indikoimaan tilannetta, jossa vaatimukset täyttyvät osittain tai jossa vaatimusten täyttymisessä selkeitä puutteita.



Kuva 26. Vastaajien kokonaisvastausjakauma standardin RAMS elinkaaren vaiheisiin 1-12

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn aikana tutustuttiin standardin SFS-EN 50126-1 määrittelemään RAMS elinkaari lähestymistapaan ja nostettiin esille siihen liittyviä oleellisia vaatimuksia. Vaatimusten osalta syntyi selkeä kokonaisuus, jota vasten yrityksen ohjeistuksia peilattiin ja muodostettiin kuiluanalyysi. Kuiluanalyysin lisäksi suoritettiin RAMS elinkaaren vaiheiden osalta kyselytutkimus, johon yrityksen henkilöstö vastasi ja muodosti oman kuvan sen osalta, kuinka hyvin he näkevät, että yritys vastaa standardin vaatimuksiin. Alla esitetty kuiluanalyysin sekä kyselytutkimuksen tulosten yhteenvetoa sekä pohdintaa tuloksiin liittyen.

Kuiluanalyysin avulla saatiin muodostettua kuva siitä, miten hyvin yrityksen liikkuvan kaluston suunnitteluohjeistuksen esittämät vaatimukset vastaavat standardin RAMS elinkaaren prosessin vaatimuksia. Analyysin perusteella ohjeistuksen vaatimukset täyttävät standardin havainnollistamia niin sanottujen yleisiä vaatimuksia kohtalaisen hyvin. Analyysin mukaan yleisten tehtävien osalta noin puolet täytyy täysin ja loput yleisistä vaatimuksista osittain. Standardin RAM vaatimusten osalta yrityksen ohjeistuksesta löytyy taas enemmän puutoksia. Analyysin pohjalta standardin RAM vaatimukset jäävät tarkastelun alla olleessa ohjeistuksessa melko puutteellisiksi. Kuiluanalyysin tulosten osalta on mielenkiintoista pohtia etenkin syitä heikolle vaatimusten täyttymiselle RAM vaatimusten osalta. Yksi selitys tälle voi löytyä siitä, että yritys toimii kunnossapitäjän roolissa ja mikäli kaluston haltijalla ei ole historian saatossa ollut erityisiä vaatimuksia RAM toimintaympäristön osalta ovat ne voineet jäädä tästä syystä myös hieman pienemmälle huomiolle ohjeistuksessa ja päivittäisessä toiminnassa. Täten jos jonkin järjestelmän osalta ei alun perin olla noudatettu standardin RAM vaatimuksia, voi standardin RAM vaatimusten ottaminen käyttöön jälkikäteen olla hyvin haastavaa. Tässä on myös otettava huomioon, että kalusto, jota yritys kunnossapitäää voi olla hyvinkin vanhaa ja periytyä aikaan, jolloin standardia SFS-EN 50126-1 ei ollut tässä muodossa vielä edes laadittu. Toinen havainto, joka puutoksista tehtiin, liittyy itse kuiluanalyysin menetelmään, jossa kuiluanalyysi suoritettiin vain yhden ohjeistuksen ja standardin välillä. Yrityksellä on paljon ohjeistuksia ja näin ollen standardin vaatimuksia vastaavaa ohjeistusta voi olla kuvattuna myös muualla. Kenties kaikista selittävin seikka poikkeamille johtuu kuitenkin siitä, että liikkuvan kaluston suunnitteluohjeistusta ei ole laadittu yksiselitteisesti standardin vaatimusten pohjalta.

Kyselytutkimuksen osalta saatiin kerättyä mielenkiintoista dataa liittyen yrityksen työntekijöiden näkemyksiin RAMS elinkaaren vaatimusten täyttymisestä käytännön toiminnassa. Vastaukset RAMS elinkaaren vaiheiden vaatimusten täyttymiseen voidaan jakaa pitkälti kahteen ryhmään: joko vaatimukset täyttyivät osittain tai eivät ollenkaan. Vastaukset jakautuivat melko tasaisesti näihin kahteen kategoriaan. Vastaajat kokivat, että yritys täyttää vaatimukset parhaiten RAMS elinkaaren kolmannessa ”risk analysis and evaluation” vaiheessa ja heikoimmin RAMS elinkaaren ”design and implementation” vaiheessa. Yleisesti ottaen vastausten pohjalta yrityksellä olisi paljon parannettavaa, mitä tulee RAMS toimintaympäristöön. Syitä heikkoihin kyselytutkimuksen tuloksiin on pohdittu ja pyritty tunnistamaan. Kenties suoraviivaisin selitys voisi johtua siitä, ettei standardin mukaista RAMS elinkaaren mallia ole ohjeistettu tämänhetkisessä yrityksen ohjeistuksessa riittävän selkeästi. Tästä seuraa, ettei voida myöskään olettaa, että standardin vaatimukset näkyisivät vahvasti käytännön toiminnassa. RAMS elinkaari on laajuudeltaan myös kohtalaisen suuri, jolloin voi pohtia sitä, kuinka hyvin se tulee edes näkyville kokonaisuudessaan käytännössä yhdelle henkilölle, mikä voi näkyä vastauksissa. Kyselytutkimuksen osalta on myös huomattava, että vastausjoukko oli suhteellisen pieni. Kyselytutkimuksen vastausten määrä jäi kohtalaisen kapeaksi eikä voida sanoa, että se olisi kattavuudeltaan sellainen, että se kattaisi yrityksen tilanteen täydellisesti.

Kuuluanalyysin ja kyselytutkimuksen mukaan etenkin standardin RAM vaatimusten osalta löytyisi kehityskohteita. Standardi ei ole yleisesti itsessään velvoittava, mutta mikäli halutaan vastata yrityksen toimintakentän vaatimuksiin, sen noudattaminen olisi tärkeää. Kehitystoimenpiteet olisi syytä aloittaa ohjeistuksen päivittämisestä ja luoda se kenties kokonaan standardin elinkaarimallin ympärille, unohtamatta yrityksen omia käytännön menestystekijöitä. Ohjeistuksen päivityksen ja selkeyttämisen jälkeen tulisi se jalkauttaa ja ottaa käyttöön päivittäisessä toiminnassa.

LÄHDELUETTELO

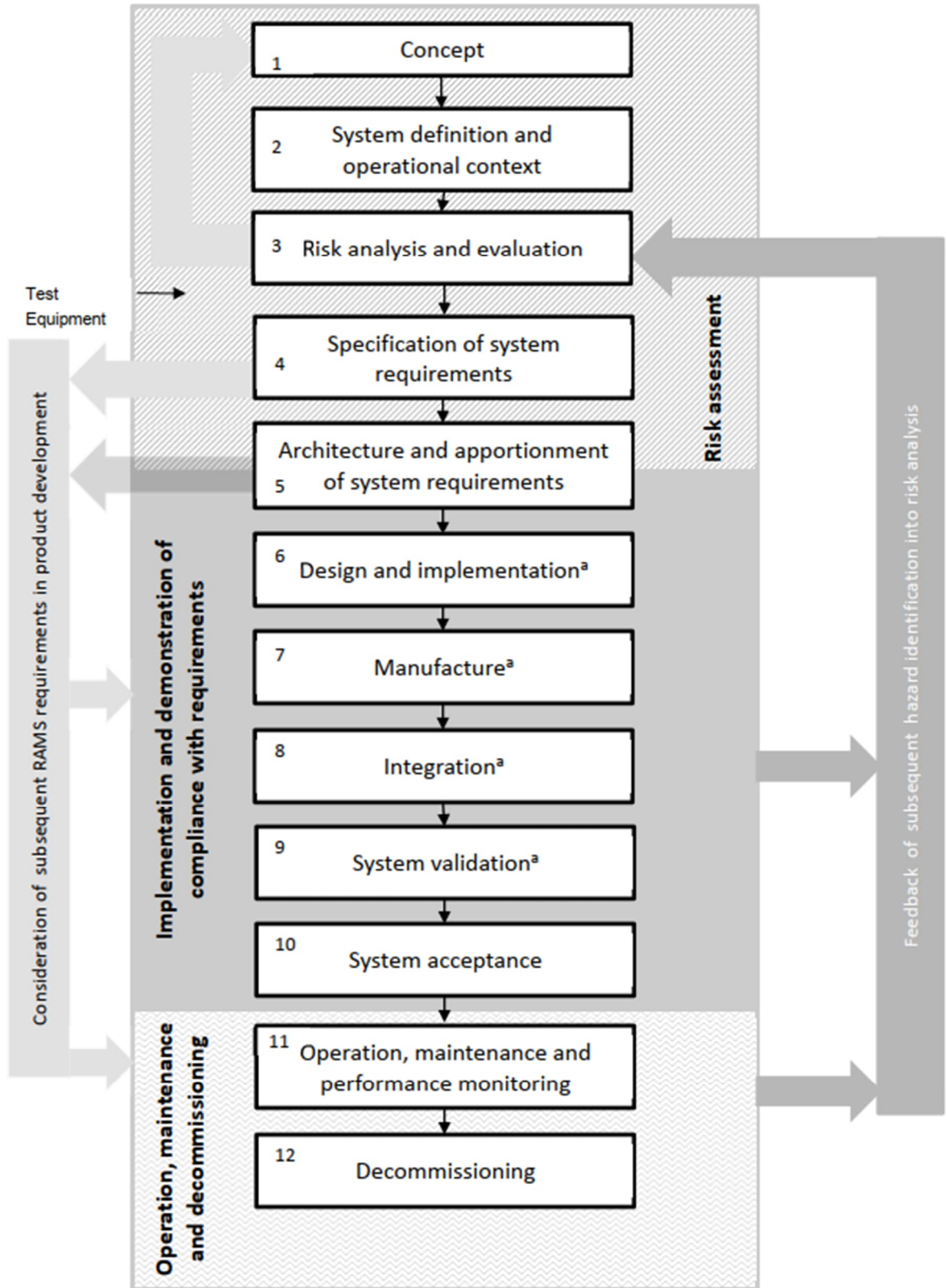
- (CLC/TR 50126-3 2008) CENELEC CLC/TR, 2008. "Railway applications - the specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (rams) - part 3: guide to the application of en 50126-1 for rolling stock ram". [Standardi]. [viitattu 22.5.2023].
- (EU 2014) EU, 2014. "Konsolidoitu teksti: Komission asetus (EU) N:o 1302/2014, annettu 18 päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä". [Komission asetus]. [Viitattu 1.5.2023]. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02014R1302-20200311>
- (Freightwaves 2019) Freightwaves, 2019. "Flashback Friday: the world's first railway". [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 22.5.2023]. Saatavilla: <https://www.freightwaves.com/news/flashback-friday-the-worlds-first-railways>
- (IEA, 2023) International Energy Agency, 2023. "CO2 emission in 2022". [Verkkoraportti]. [Viitattu: 17.4.2023]. Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- (Isograph 2023) Isograph, 2023. "Introduction to reliability block diagram analysis in reliability workbench". [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 22.5.2023]. Saatavilla: <https://www.isograph.com/software/reliability-workbench/rbd-analysis-software/introduction-reliability-block-diagram-analysis/>

- (Lindberg 2017) Jan Lindberg, 2017. ”PANDAS-järjestelmän hyödyntäminen rataverkon ajolangan valvonnassa”. [insinööri työ]. [Viitattu 1.5.2023]. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017120820315>
- (Moubray 1997) John Moubray, 1997. ”Reliability-Centered Maintenance” [Kirja]. [Viitattu 22.5.2023].
- (Parkersoftware 2023) Parkersoftware, 2023. ”A guide to gap analysis”. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 10.5.2023]. Saatavilla: <https://www.parkersoftware.com/blog/a-guide-to-gap-analysis/>
- (Ritchie 2020) Hannah Ritchie, 2020. ”Which form of transport has the smallest carbon footprint?”. [Verkkoartikkeli] [Viitattu: 17.4.2023] Saatavilla: <https://ourworldindata.org/travel-carbon-footprint>
- (SESKO 2023) SESKO, 2023. ”SFS-/IEC-/EN-standardit”. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 10.5.2023]. Saatavilla: <https://sesko.fi/standardit/sfs-iec-en-standardit/>
- (SFS 2023) SFS, 2023. ”Mitä standardi tarkoittaa”. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 10.5.2023]. Saatavilla: <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>
- (SFS-EN 50126-1 2017) SFS-EN, 2017. ”50126-1 Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Generic RAMS Process”. [Standardi]. [Viitattu 15.5.2023].
- (SFS-EN 50155 2021) SFS-EN, 2021. ”50155 Railway applications – Rolling stock – Electronic equipment” [Standardi]. [Viitattu 1.5.2023].

- (UIC 550 2005) Union internationale des chemins de fer, 2005. "550 Power supply installations for passenger stock". [Määrelehti]. [Viitattu 1.5.2023].
- (UIC 552 2005) Union internationale des chemins de fer, 2005. "Electrical power supply for trains – Standard technical characteristics of train line" [Määrelehti]. [Viitattu 1.5.2023]
- (UIC 554 1979) Union internationale des chemins de fer, 1979. "554 Power supply to electrical equipment on stationary railway vehicles from a local mains system or another source of energy at 220 V or 380 V, 50Hz". [Määrelehti] [Viitattu 1.5.2023].
- (UN, 2015) United Nations, 2015. "Framework Convention on Climate Change (2015) Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties". [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 17.4.2023]. Saatavilla: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- (VR 2019) VR Group, 2019. "VR FleetCare – yhtiötetty raidekaluston kunnossapito hakee nimenmuutoksella voimaa kasvuun". [Verkko mediatiedote]. [Viitattu: 17.4.2023] Saatavilla: <https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/uutiset/vr-fleetcare-yhtioitetty-raidekaluston-kunnossapito-hakee-nimenmuutoksella-voimaa-kasvuun-040920190958/>
- (VR 2023) VR Group, 2023. "Palvelut". [Verkkosivu]. [Viitattu 17.4.2023] Saatavilla: <https://www.vrfleetcare.fi/fi/vr-fleetcare/palvelut/>

- (Väylävirasto 2018) Väylävirasto, 2018. ”Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 sähköistetty rata”. [Ohjeistus]. [Viitattu 1.5.2023]. Saatavilla: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-23_rato5_web.pdf
- (Weibull 2023) Weibull, 2023. ”Fault tree analysis”. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 22.5.2023]. Saatavilla: <https://www.weibull.com/basics/fault-tree/index.htm>

LIITE 1. Standardin SFS-EN 50126-1 visualisointi RAMS elinkaaren vaiheista (SFS-EN 50126-1, 34, 2017)



^a may contain many subsystems and components

LIITE 2. Kuiluanalyysin Excel pohja

| RAMS Lifecycle | RAMS Vaihe | RAMS elinkaaren vaiheen nimi | RAMS elinkaaren vaiheen selitys lyhyesti | Liikkovan kaluston suunnitteluohjeistuksen vaatimus | Analyysin tulos |
|---|------------|---|--|---|-----------------|
| Risk Assessment | 1 | Concept | Projektin kokonaisuuden ja sitä kautta RAMS elinkaaren tehtävien hahmottaminen. | | |
| | 2 | System definition and operational context | Tavoitteena on järjestelmän/kokonaisuuden tarkoituksen, toiminnan rajoitusten, operointivaatimusten ja turvallisuusseikkojen ymmärtäminen sekä eroavaisuuksien ymmärtäminen, mikäli korvataan olemassa olevaa eri revision järjestelmää. Sen lisäksi tulisi muodostaa järjestelmä kuvaus, RAM suunnitelma ja turvallisuus suunnitelma. | | |
| | 3 | Risk analysis and evaluation | Tavoitteena on tunnistaa ja luokitella riskit, määrällisiä riskien hyväksyntäperusteet ja kriteerit. Lisäksi tulisi muodostaa riskiarviot, vaaratiloi (hazard log) ja päivittää tarvittaessa aikaisempia suunnitelmia. (SFS-EN ISO126-1 2017) | | |
| | 4 | Specification of system requirements | Tavoitteena on RAMS kokonaisuuden vaatimusten ja niiden vaatimusten käytännön hyväksyntäprosessin ja kriteerien sekä tarvittavien operointi ja kunnossapitoon liittyvien valvonta- ja analysointivaatimusten määrittäminen. Aikaisempien suunnitelmien päivittäminen voidaankin tarvittaessa, kuten myös RAMS elinkaaren vaiheiden 1-4 vallointi. | | |
| | 5 | Architecture & apportionment of system requirements | Tavoitteena on jakaa järjestelmän RAMS vaatimuksia suunnitelman mukaisesti määrällisille järjestelmille ja/tai komponenteille, suunnitella alijärjestelmät ja komponentit, jotka toimivat keskenään järjestelmänä, joka täyttää vaaditut toiminnallisuudet järjestelmäosalta sekä kuvata suunnitelmasta johdettuja RAMS vaatimuksia ja määrittää rajapinnat kaikille alijärjestelmille ja komponenteille. Lisäksi tulisi kuvata hyväksyntä- ja demonstrointivaatimuksia hyväksyttävillä RAMS vaatimuksilla järjestelmien, alijärjestelmien ja laitteiden osalta eri RAMS elinkaaren vaiheiden aikana. Viimeisenä tulisi tunnistaa ja arvioida alijärjestelmien välisten vuorovaikutusten merkitystä ja tuottaa järjestelmäarkkitehtuurin sisältäen rajapintakuvaukset ja järjestelmän vaara-analyysi sekä aliohjeita RAMS vaatimuksia alijärjestelmille ja komponenteille. Aikaisemmat suunnitelmat tulee myös päivittää. | | |
| Implementation and demonstration of compliance with RAMS requirements | 6 | Design and implementation | Tavoitteena on luoda alijärjestelmät ja valita RAMS vaatimusten täyttämät komponentit, demonstroida alijärjestelmien sekä komponenttien RAMS vaatimusten mukaisuus sekä kehittää suunnitelmia tulevaisuuden RAMS elinkaaren vaiheiden tehtävien osalta. Lisäksi tulee toimittaa RAMS ja vaara-analyysit, asennus sekä käyttöönottoproseduurit, operointi- sekä kunnossapitoproseduurit, koulutukseen liittyvät seikat sekä päivittää tarvittaessa aikaisemmat suunnitelmat. Vaiheeseen kuuluvat myös erityiset verifointitehtävät liittyen siihen, että alijärjestelmien ja komponenttien suunnittelu täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien implementointi täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien valmistusjärjestelyt täyttävät RAMS vaatimukset sekä se, että tulevaisuuden elinkaaren vaiheiden toiminnot ovat yhteneviä RAMS vaatimusten kanssa. | | |
| | 7 | Manufacture | Tavoitteena on valmistaa/toteuttaa alijärjestelmät ja komponentit sekä luoda ja toteuttaa RAMS keskeisiä valmistusjärjestelmiä. Lisäksi tulee toimittaa laadunvarmistus raportit, tarkastus sekä testiraportit sekä tiedot materiaalikäsittelyn sekä logistikan järjestelyjen osalta. Lopuksi tulee päivittää aikaisemmat suunnitelmat tarvittaessa. | | |
| | 8 | Integration | Tavoitteena on kasata ja asentaa integroidut järjestelmät sekä demonstroida, että integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit toimivat keskenään kuten rajapintojen osalta on määritelty. Lisäksi tulisi osoittaa että, integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit täyttävät niille määritellyt RAMS vaatimukset sekä käynnistää järjestelmät alijärjestelyt. Vaiheen aikana tulee toimittaa asennusdokumentaatio, integrointiraportit, dokumentti vikojen ja toiminnallomuuksien sekä niiden ratkaisemisen osalta, sekä tarvittaessa päivittää aikaisemmat suunnitelmat/dokumentit. Tähän kuuluu myös erityinen verifointitehtävä liittyen siihen, että määritellyt turvallisuustilännäisen soveltamisolosuhteet (safes-velocad application condition (SRAC)) löytyvät integroinnin yhteydessä. SRAC viittaa olosuhteiden tunnistamiseen, jossa järjestelmä on käytössä turvallisuuden näkökulmasta riskien välttämiseksi. | | |
| | 9 | System Validation | Tavoitteena on vahvistaa, että tarkastelun alla oleva järjestelmä sisältäen mahdolliset (SRAC) on määräysten mukainen mitä tulee kesto vaatimuksiin. Lisäksi tulee vahvistaa tai päivittää järjestelmän safety case - validoinnin tulosten perusteella. Tuloksena syntyy RAM ja turvallisuus validoinniraportti sekä päivitetty suunnitelmat. | | |
| | 10 | System acceptance | Tavoitteena on arvioida järjestelmien, komponenttien, niiden rajapintojen sekä SRAC vaatimustenmukaisuutta peilaten RAMS vaatimuksia sekä hyväksyä järjestelmä käyttöön. Lisäksi tulee toimittaa hyväksyntäraportit. | | |
| Operation, maintenance and decommissioning | 11 | Operation, maintenance, performance monitoring | Tavoitteena on operoida, kunnossapitää ja ylläpitää järjestelmää niin, että RAMS vaatimusten taso säilyy. Tämä sisältää jatkuva järjestelmän monitorointia ja arviointia RAMS suoritusosan osalta, sekä toimenpiteitä puutteiden tunnistamiseksi ja niiden parantamiseksi. Lisäksi tulee päivittää suunnitelmia, dokumentteja sekä järjestelmää tarvittaessa. | | |
| | 12 | Decommissioning | Tavoitteena on kontrolloida RAMS vaatimusten käyttöönottoa järjestelmän käytöstä poisloiston sekä materiaalin hävittämisen osalta. Tuotoksena syntyy käytöstä poisloistoraportti. | | |

LIITE 3. Kyselytutkimuksen kysely- ja vastauslomake

| RAMS Lifecycle | Phase # | RAMS Lifecycle Phase Name | RAMS Lifecycle Phase Definition in "Short" | How well the RAMS Lifecycle Phase has been followed in the projects/How well the company follows the phase generally (Vastausohje) | Comment Field (Kommentit riivin liittyen) |
|---|---------|---|--|--|---|
| Risk Assessment | 1 | Concept | Projektin kokonaisuuden ja sitä kautta RAMS elinkaaren tehtävien hahmottaminen. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 2 | System definition and operational context | Tavoitteena on järjestelmän/kokonaisuuden tarkoituksen, toiminnan rajoitusten, operointivaatimusten ja turvallisuusseikkojen ymmärtäminen sekä eroavaisuuksien ymmärtäminen, mikäli korvataan olemassa olevaa eri reidoin järjestelmää. Sen lisäksi tulisi muodostaa järjestelmä kuvaus, RAM suunnitelma ja turvallisuus suunnitelma. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 3 | Risk analysis and evaluation | Tavoitteena on tunnistaa ja luokitella riskit, määrittää riskien hyväksyntäperusteet ja kriteerit. Lisäksi tulisi muodostaa riskiarvot, vaaralioki (hazard) ja päivittää tarvittaessa aikaisempia suunnitelmia. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 4 | Specification of system requirements | Tavoitteena on RAMS kokonaisuuden vaatimusten ja näiden vaatimusten käynnän hyväksyntäprosessin ja kriteereiden sekä tarvittavien operointien ja kunnossapitoon liittyvien valvonta- ja analysointivaatimusten määrittely. Aikaisempien suunnitelmien päivittäminen vaaditaan tarvittaessa, kuten myös RAMS elinkaaren vaiheiden 1-4 valdointi. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 5 | Architecture & apportionment of system requirements | Tavoitteena on jakaa järjestelmän RAMS vaatimuksia suunnitelman mukaisesti määrättyille järjestelmille ja/tai komponenteille, suunnitella alijärjestelmät ja komponentit, jotka toimivat keskenään järjestelmänä, joka täyttää vaaditut toiminnallisuudet järjestelmätasolla sekä kuvata suunnitelmasta johdettuja RAMS vaatimuksia ja määrittää rajapinnat kaikille alijärjestelmille ja komponenteille. Lisäksi tulisi kuvata hyväksyntä- ja demonstroitavia vaatimuksia hyväksytyille RAMS vaatimuksille järjestelmien, alijärjestelmien ja laitteiden osalta eri RAMS elinkaaren vaiheiden aikana. Viimeisenä tulisi tunnistaa ja arvioida alijärjestelmien välisen vuorovaikutuksen merkitystä ja tuottaa järjestelmävaikutusraportti sisältäen rajapintakuvaukset ja järjestelmän vaara-analyysi sekä aloikoida RAMS vaatimukset alijärjestelmille ja komponenteille. Aikaisemmat suunnitelmat tulee myös päivittää. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| Implementation and demonstration of compliance with RAMS requirements | 6 | Design and implementation | Tavoitteena on luoda alijärjestelmät ja valita RAMS vaatimusten täyttämät komponentit, demonstroida alijärjestelmien sekä komponenttien RAMS vaatimusten mukaisuus sekä kehittää suunnitelma tulevaisuuden RAMS elinkaaren vaiheiden tehtävien osalta. Lisäksi tulee toimittaa RAMS ja vaara-analyysi, asennus sekä käyttöönottoproseduurit, operointi- sekä kunnossapitoproseduurit, koulutukseen liittyvät solat sekä päivittää tarvittaessa aikaisemmat suunnitelmat. Vaiheeseen kuuluvat myös erityiset verifiointitehtävät liittyen siihen, että alijärjestelmien ja komponenttien suunnittelu täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien implementointi täyttää RAMS vaatimukset, alijärjestelmien ja komponenttien valmistusjärjestelyt täyttävät RAMS vaatimukset sekä se, että tulevaisuuden elinkaaren vaiheiden toiminnot ovat yhteneviä RAMS vaatimusten kanssa. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 7 | Manufacture | Tavoitteena on valmistaa/toteuttaa alijärjestelmät ja komponentit sekä luoda ja toteuttaa RAMS keskeistä valmistusjärjestelmää. Lisäksi tulee toimittaa laadunvarmistus raportit, tarkastus- sekä testiraportit sekä tiedot materiaaliyksittään sekä logistiikan järjestelyjen osalta. Lopuksi tulee päivittää aikaisemmat suunnitelmat tarvittaessa. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 8 | Integration | Tavoitteena on kasata ja asentaa integroitu järjestelmä sekä demonstroida, että integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit toimivat keskenään kuten rajajointien osalta on määritelty. Lisäksi tulisi osoittaa että, integroidut järjestelmät, alijärjestelmät ja komponentit täyttävät niille määritellyt RAMS vaatimukset sekä käynnissä järjestelmät/järjestelyt. Vaiheen aikana tulee toimittaa asennusdokumentaatio, integrointiraportit, dokumentit vikojen ja toimintamomienttien sekä näiden ratkaisemisen osalta, sekä tarvittaessa päivittää aikaisemmat suunnitelmat/dokumentit. Tähän kuuluu myös erityinen verifiointitehtävä liittyen siihen, että määritellyt turvallisuusliittämien sovellettilisolosuhteet (safety-related application condition (SRAC)) täyttyvät integroinnin yhteydessä. SRAC viittaa olosuhteiden tunnistamiseen, joissa järjestelmä on käytettävä turvallisuuden näkökulmasta riskien välttämiseksi. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 9 | System Validation | Tavoitteena on vahvistaa, että tarkastelun alla oleva järjestelmä (sisälleen mahdolliset (SRAC)) on määrätyn mukainen mitä tulee RAMS vaatimuksiin. Lisäksi tulee vahvistaa tai päivittää järjestelmän safety case -valdoinnintulosten perusteella. Tuloksena syntyy RAM ja turvallisuus valdointi raportti sekä päivitetty suunnitelma. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| Operation, maintenance and decommissioning | 10 | System acceptance | Tavoitteena on arvioida järjestelmien, komponenttien, näiden rajajointien sekä SRAC vaatimustenmukaisuutta peliaten RAMS vaatimuksia sekä hyväksyä järjestelmä käyttöön. Lisäksi tulee toimittaa hyväksymisraportit. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 11 | Operation, maintenance, performance monitorin | Tavoitteena on operoida, kunnossapitaa ja ylläpitää järjestelmää niin, että RAMS vaatimusten taso säilyy. Tämä sisältää jatkuvaa järjestelmän monitorointia ja arviointia RAMS suoritusosan osalta, sekä toimintatietä puutteiden tunnistamiseksi ja näiden parantamiseksi. Lisäksi tulee päivittää suunnitelmaa, dokumentteja sekä järjestelmää tarvittaessa. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |
| | 12 | Decommissioning | Tavoitteena on kontrolloida RAMS vaatimusten käyttöönottoa järjestelmän käytöstä poiston sekä materiaalin hävittämisen osalta. Tuotoiksenä syntyy käytöstä poistoportti. | Maalaa solu vihreäksi, keltaiseksi tai punaiseksi | |

Vastauslomake

Verification

Validation

Phase 1

Phase 2

Phase 3

Phase 4

Phase 5

Pha ...



LIITE 4. Esimerkki sähkömoottorijunan mallinnuksesta ja FMEA analyysistä ReliaSoft:n RCM++ ohjelmistossa.

The screenshot displays the ReliaSoft RCM++ software interface for an EMU Model. The interface is divided into several main sections:

- Top Ribbon:** Contains tabs for File, Home, Project, My Portal, View, System Hierarchy, Analyses, and FMEA. Below these are various toolbars for editing, reporting, and analysis.
- Project Manager:** Located on the left, it shows a tree view of the project structure, including folders for Private, Public, EMU Model, Reference, Locked, and Recycle Bin.
- System Hierarchy:** The central-left pane shows a detailed tree view of the system components. The selected item is "3.6.2 Wheel disc", which is highlighted in blue. Other visible items include "2.2.1 Steering Rod", "3.3 Primary Suspension", "3.4 Secondary suspension", "3.5 Bearing Assembly", "3.6 Wheel set", "3.7 Axle box temperature device", "3.8 Mechanical interface with bodysell (set)", "3.9 Pneumatic equipment on bogie (Brake component)", "3.10 Speed sensor (Pulse generator)", "3.11 Brake equipment on the bogie (set)", "3.12 Earthing contacts (Grounding Brush Unit)", "Stabilizer_Lifting Safety Device", and "Traction Link".
- FMEA Analysis:** The right-hand pane displays the FMEA analysis for the selected "3.6.2 Wheel disc". It includes a "Description" section with a detailed text description of the component's function and failure modes. Below this, there are sections for "Controls", "Actions", and "Reliability Policy - Default (Not Set)". The analysis also includes a "Tasks" section with specific tasks related to the failure modes.