

# **Laitevalmistajan kunnossapito- konseptin vaikutus käytettävyyteen**

Jere Juka

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (YAMK), teknologiaosaamisen johtamisen tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Juka, Jere	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 76+39	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Laitevalmistajan kunnossapitokonseptin vaikutus käytettävyyteen</b>		
Tutkinto-ohjelma Teknologiaosaamisen johtaminen, ylempi AMK -tutkinto		
Työn ohjaaja(t) Niininen Kirsi		
Toimeksiantaja(t) Millog Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Modernit koneet ja laitteet yhdistelevät useita teknologioita. Ne vaativat sellaisten kunnossapidollisten toimien ajoittamista ja komponenttitason kohdentamista, että tuotantokyvyn säilyttäminen on turvallista ja ennustettavaa, mutta kuitenkin kustannustehokasta. Valmistajat sisällyttävät laitetoimituksiin yleensä oman näkemyksensä järjestelmien suorituskykyvaatimuksia vaalivasta kunnossapitokonseptista. Laitevalmistajan kunnossapitokonseptin vaikutuksia tutkittiin tällä kertaa Ilmavoimien uuden KEVA2010 -järjestelmän käytettävyyssarvoihin. Opinnäytetyön tavoitteena oli paljastaa mahdollisia puutteita esitetyssä kunnossapitokonseptissa, sekä nimetä näihin soveltuvia kehitysehdotuksia.</p> <p>Toteutustavaksi valikoitui virtaviivaistettua RCM -menetelmää mukaileva tutkimusprosessi. Runko tutkimusprosessille rakennettiin kunnossapidon yleisistä käsitteistä ja termeistä, sekä valikoiduista RCM -työkaluista. Viimeksi mainittujen tuottamasta, laitteen toiminnallisten kokonaisuuksien listauksesta saatiin vertailupohja, kun kunnossapitokonseptin vaikutusta käytettävyyteen mitattiin teknisessä koekäyttöjaksossa. Testijakson tuloksista käytettävyys johdettiin siihen oleellisesti kytkeytyvistä, kunnossapidon mitattavissa olevista suureista.</p> <p>Kunnossapidon yleisiin teorioihin ja RCM -prosessiin pohjautuvan tutkimusmenetelmän saavuttamat tulokset luokitellaan kohdejärjestelmän osalta tasoon STIV - käyttö rajoitettu. Ne käsitellään salassa pidettävässä liitteessä. Tutkimusmenetelmän tuottamat johtopäätökset on puolestaan jaettu sekä julkiseen, että salassa pidettävään osuuteen. Tällä tavoin itse tutkimusprosessi oivalluksineen on voitu esittää julkisesti, sekä rajoittaa samalla kohdejärjestelmään liittyvät tulokset johtopäätöksineen vain niitä työssään tarvitseville sidosryhmille.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )  Kunnossapito, kunnossapitokonsepti, käytettävyys, RCM		
Muut tiedot Liitteessä 1 on esitetty Puolustusvoimien järjestelmää koskevia tietoja. Kyseinen liite on poistettu julkaistavasta dokumentista perustuen lakiin (621/1999) 24§ kohdat 5 ja 10.		

Author(s) Juka, Jere	Type of publication Master's thesis	Date May 2017  Language of publication: Finnish  Permission for web publication: x
Title of publication <b>Availability impact of a manufacturer's maintenance concept</b>		
Degree programme Master's Degree Programme in Technological Competence Management		
Supervisor(s) Niininen, Kirsi		
Assigned by Millog Oy		
Abstract  <p>Modern machines and equipment integrate several technologies. They require such a level of maintenance scheduling and component level task allocation that production capability can be ensured in a safe and predictable manner, yet cost-effectively. Generally, manufacturers include into a system delivery their own view of a maintenance concept, which aims to preserve system's performance requirements. This time the impact of a manufacturer's maintenance concept was studied against the availability values of the FINAF's new MRR2010 radar system. The aim of the thesis was to reveal the potential shortcomings in the maintenance concept and to define suitable development ideas for them.</p> <p>For an implementation method, a streamlined version of the RCM was adapted to establish the research process. The frame of the research process was built on general definitions and terms of maintenance with an accompaniment of selected RCM tools. The latter produced a listing of functional configurations, which were used as a reference basis when the availability impact of the manufacturer's maintenance concept was measured in a RAMT test period. From the results of this test sequence, availability was derived from its essentially linked, measurable quantities of maintenance.</p> <p>The achieved results related to the target system were classified as Restricted and were addressed in a secret attachment. The conclusions made by the research process itself were divided by their contents as a part of the public or the secret part. This way it was possible to restrict the target system related results and conclusions for the group of interest only. Same time this made publishing the general theories of maintenance and the description of the RCM process used as a foundation of the demonstrated research method feasible for further use.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  Maintenance, maintenance concept, availability, RCM		
Miscellaneous Annex 1 presents information of a Defense Forces' system. This annex has been deleted from the published document on the basis of the act 621/1999 § 24 paragraphs 5 and 10.		

## Sisällys

1. Johdanto .....	7
2. Opinnäytetyön toimeksianto .....	9
2.1 Yritysesittely .....	9
2.2 KEVA2010 keskivalvontatutka .....	12
2.3 Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys, aiheen rajaus ja tavoitteet .....	14
2.4 Lähdeaineisto ja tutkimusmenetelmät .....	16
3. Kunnossapidon jalostus osaksi laatuajattelua .....	17
3.1 Kunnossapidon kehityshistorian vaiheet .....	18
3.1.1 Ensimmäinen sukupolvi.....	19
3.1.2 Toinen sukupolvi .....	20
3.1.3 Kolmas sukupolvi.....	21
3.1.4 Neljäs sukupolvi.....	23
3.2 Kunnossapidon lajit .....	25
3.2.1 Huolto .....	26
3.2.2 Ehkäisevä kunnossapito .....	27
3.2.3 Korjaava kunnossapito .....	28
3.2.4 Parantava kunnossapito .....	30
3.2.5 Vikojen ja vikaantumisten selvittäminen .....	30
3.3 Kunnossapidon mittarit.....	31
3.3.1 Käytettävyys – Availability.....	33
3.3.2 Keskimääräinen vikaväli - MTBF.....	40
3.3.3 Keskimääräinen häiriötoipumisaika - MTTR .....	41
3.4 Laatuajattelun muovautuminen osaksi tavoitteellista kunnossapitoa .....	42
4. Toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito - RCM.....	43
4.1 RCM -menetelmän historia .....	45
4.2 RCM prosessina .....	46
4.2.1 Askel - järjestelmän valinta ja lähtötietojen keräys.....	49
4.2.2 Askel - järjestelmän ja/tai osajärjestelmän rajojen määrittäminen .....	51
4.2.3 Askel - järjestelmän kuvaus ja mallinnus toiminnallisilla lohkokaavioilla .....	51
4.2.4 Askel - toimintojen ja toiminnallisten vikojen selvittäminen.....	53

4.2.5 Askel - vika- ja vaikutusanalyysi .....	54
4.2.6 Askel - vikaantumisten kategorisointi päätöslogiikkapuuanalyysillä .....	57
4.2.7 Askel - kunnossapitotehtävien valinta .....	59
4.2.8 Askel - kunnossapitotoimien paketointi kunnossapito-ohjelmaksi .....	61
4.2.9 Askel - dynaaminen kunnossapito-ohjelma .....	62
4.3 RCM kunnossapitostrategian taustalla .....	63
4.4 RCM ja laatujohtaminen.....	65
5. Laitevalmistajan kunnossapitokonseptin tarkastelu valikoiduin RCM -työkaluin ...	66
6. Käytettävyyden mittaaminen RAMT -menetelmällä .....	67
7. Mittaustulosten analysointi .....	69
8. Pohdinta .....	71
Lähteet.....	73
LIITE 1. Luottamuksellinen aineisto.....	77
5.1 KEVA2010 kunnossapitokonseptin rakenne .....	77
5.2 Kohteen käyttötietojen keräämisen määrittäminen .....	79
5.3 Vian havaitsemiskeinojen määrittäminen .....	82
5.4 Kohteen toimintojen ja toiminnallisten vikojen tunnistaminen .....	82
5.5 Vian vaikutuksen kriittisyyden analysointi.....	87
6.1 Tulosten vertaaminen valmistajan ilmoittamiin arvoihin .....	99
6.1.1 Vikataajuus .....	99
6.1.2 Suunniteltujen ja suunnittelemattomien seisokkien kesto .....	100
6.1.3 Kunnossapitoresurssien riittävyys.....	100
7.1 Kunnossapito-ohjelman ja -ohjeiden vaikuttavuus.....	101
7.1.1 Käytettävyys .....	102
7.1.2 MTBCF .....	105
7.1.3 MTTR .....	106
7.2 Tunnistetut kehitystarpeet.....	108
7.2.1 Kehitystarpeet teknisessä ohjeistuksessa .....	109
7.2.2 Kehitystarpeet varaosasuunnittelussa .....	111
7.2.3 Yhteenvedo .....	113

## Kuviot

KUVIO 1. Millog Oy:n toimipisteet ja edustukset (Millog Oy. 2017.).....	11
KUVIO 2. KEVA2010-tutka Sisu ETP 8x8 kuorma-auton päällä. (Ilmavoimat. 2017.)...	12
KUVIO 3. Sotavarusteen elinkaaren vaiheet. (Kosola. 2007.) .....	15
KUVIO 4. Muutos kunnossapitomenetelmissä. (Moubray. 1997. s.5).....	18
KUVIO 5. Muutos kunnossapidon odotusarvoissa (Moubray. 1997. s.3) .....	19
KUVIO 6. Vikaantumismekanismit kuvaajina. (Moubray. 1997. s.4) .....	22
KUVIO 7. Kunnossapitolajit (SFS-EN 13306.2010. s.34) .....	25
KUVIO 8. Kunnossapitolajit (PSK 7501.2010. s.32) .....	26
KUVIO 9. Päätöksenteko toimintahäiriöiden tunnistuksessa (Moubray. 1997. s.186)	29
KUVIO 10. Tuotantolaitoksen suorituskyky osatekijöineen (Järviö, ym. 2011. s.35)..	31
KUVIO 11. Käytettävyyden mittareita (PSK 6201. 2011. s.29) .....	33
KUVIO 12. Käytettävyyden tekijät (PSK 6201. 2011. s.5) .....	33
KUVIO 13. Toimintavarmuuden tekijät (Gulati. 2013. s. 157; Järviö, ym. 2011. s.36).	34
KUVIO 14. Kunnossapidettävyyden tekijät (Järviö, ym. 2011. s.37) .....	35
KUVIO 15. Kunnossapitovarmuuden tekijät (Järviö, ym. 2011. s.38) .....	37
KUVIO 16. Demingin ympyrä (Smith, ym. 2004. s.189).....	42
KUVIO 17. Vikojen syntyminen (Gulati. 2013. s.224) .....	44
KUVIO 18. RCM prosessin tehtävät ja tulokset (SFS-IEC 60300-3-11. 2001. s.24).....	48
KUVIO 19. Tyypillinen RCM projektiryhmän rakenne. (Moubray. 1997. s.17) .....	50
KUVIO 20. Toiminnallinen lohkoakaavio, FBD (Gulati. 2013. s.233).....	52
KUVIO 21. Päätöslogiikkapuuanalyysin rakenne (Gulati. 2013. s.238) .....	58
KUVIO 22. Valintalogiikkakaavio kunnossapitotoimille (Smith, ym. 2004. s.114) .....	60
KUVIO 23. Kunnossapitokustannusten optimointi (Järviö, ym. 2011. s.74) .....	63
KUVIO 24. Järjestelmän käytettävyyteen vaikuttavia tekijöitä.....	69
KUVIO 25. Kunnossapito-organisaation tasojaako. ....	78
KUVIO 26. Kuvitteellista sisältöä Logbook-dokumentissa .....	80
KUVIO 27. Ote DRS -dokumentista .....	81

## Kaaviot

KAAVIO 1. Millog Oy henkilöstön lukumäärä (Fonecta. 2017.) .....	10
KAAVIO 2. Millog Oy liikevaihto tilikausittain, 1000 EUR (Fonecta. 2017.). .....	10
KAAVIO 3. Vaihtoyksiköiden vaihto, kappaletta .....	101

## Taulukot

TAULUKKO 1. Laitoksen viat ja KP-kustannukset kohteittain (Gulati. 2013. s.230).....	49
TAULUKKO 2. Toimintojen ja toiminnallisten vikojen listaus. (Gulati. 2013. s.235) ....	54
TAULUKKO 3. Esimerkki VVA:n tuottamasta listauksesta (Gulati. 2013. s.236) .....	57
TAULUKKO 4. Toimintojen ja toiminnallisten vikojen määrittely .....	83
TAULUKKO 5. Vikojen riskimatriisi .....	88
TAULUKKO 6. Vika- ja vaikutusanalyysi (s. 82-91).....	88
TAULUKKO 7. Vaiheiden kestot RAMT:ssa .....	99
TAULUKKO 8. RAMT -testijakson mitaamat käytettävyyden arvot .....	102
TAULUKKO 9. Subjektiiivisen tarkastelun perusteiden poistettavat vaiheiden kestot...	103
TAULUKKO 10. Subjektiiivisesti aikakorjatut vaiheiden kestot RAMT:ssa .....	104
TAULUKKO 11. Subjektiiivisesti aikakorjatut käytettävyyden arvot .....	104
TAULUKKO 12. RAMT -jakson mitaamat MTTR tulokset .....	107
TAULUKKO 13. RAMT -jakson tuloskooste .....	108
TAULUKKO 14. MTBF -perusteinen muutostarve varaosituksessa .....	112

## Lista käytetyistä lyhenteistä

<b>BIT</b>	Built-In Test - itsediagnostiikka
<b>C.D.</b>	Condition Determined (maintenance) - kuntoon perustuva kunnossapito
<b>COTS</b>	Commercial Off The Shelf - kaupallisesti jaeltavat tuotteet
<b>ECCM</b>	Electronic Counter-Counter Measures - elektronisen häirinnän väistö
<b>FAA</b>	Federal Aviation Agency - Yhdysvaltojen ilmailuvirasto
<b>FAT</b>	Factory Acceptance Testing - järjestelmän esitestausta ennen asennusta
<b>FBD</b>	Function Block Diagram - toiminnallinen lohkokaavio
<b>FF</b>	Failure Finding - vian havaitsemismenetelmät
<b>FMECA</b>	Failure Mode and Effects Criticality Analysis - suomeksi VVA
<b>FRACAS</b>	Failure Reporting And Corrective Action System - vikojen raportointi ja korjaavien toimien määrittäminen
<b>GM403</b>	GroundMaster 403 -tutka
<b>JIT</b>	Just In Time - tuotannon vähäisten puskureiden toimintamalli
<b>KEVA2010</b>	KEskiVALvontatutka 2010
<b>KP</b>	KunnossaPito
<b>LBO</b>	Last Buy Order - viimeinen ostotilaus
<b>LCB</b>	Lower Confidence Bound - luottamusvälin alaraja
<b>LTA</b>	Logic Tree Analysis - päätöslogiikkapuuanalyysi
<b>MDT</b>	Mean Maintenance Downtime - keskimääräinen kunnossapitoseisokin kesto
<b>MLU</b>	Mid Life Update - elinjakson puolivälipäivitys
<b>MMT</b>	Mean Maintenance Time - keskimääräinen kunnossapitotoimen kesto
<b>MPMT</b>	Mean Preventive Maintenance Time - keskimääräinen ehkäisevän kunnossapitotoimen kesto
<b>MRT</b>	Mean Repair Time - häiriökorjausaika
<b>MSG</b>	Maintenance Steering Group - kunnossapito-ohjelmien toimintaohje
<b>MTBCF</b>	Mean Time Between Critical Failures - kriittisten vikojen väli
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failures - vikaväli
<b>MTBMA</b>	Mean Time Between Maintenance Actions - kunnossapitoväli



<b>MTTF</b>	Mean Time To Failure - vikaantumisaika
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair - häiriötoipumisaika
<b>MWT</b>	Mean Waiting Time - odotusaika
<b>NATO</b>	the North Atlantic Treaty Organization
<b>OBM</b>	Operator Based Maintenance - käyttäjäkunnossapito
<b>OT</b>	Operating Time - käyntiaika
<b>PDCA</b>	Plan, Do, Check, Act - Demingin ympyrä: suunnittele, toteuta, tarkista, kehitä
<b>PVLOGL</b>	Puolustusvoimien logistiikkalaitos
<b>PVSAP</b>	Puolustusvoimien SAP -toiminnanohjausjärjestelmä
<b>RAMT</b>	Reliability, Availability, Maintainability, Testability - toimintavarmuus, käytettävyys, kunnossapidettävyys, testattavuus
<b>RCM</b>	Reliability Centered Maintenance - toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito
<b>RCM2</b>	John Moubrayn muokaus RCM -menetelmästä
<b>RTF</b>	Run To Failure - kunnossapitomenetelmä, jossa komponentti ajetaan tietoisesti häiriöön saakka
<b>STIV</b>	SuojausTaso IV (4) - materiaali rajoitettu virkamieskäyttöön
<b>SVY</b>	Suomen sotilasilmailun ViranomaisYksikkö
<b>T.D.</b>	Time Determined (maintenance) - aikaan perustuva kunnossapito
<b>TBM</b>	Tactical Ballistic Missile - taktinen ballistinen ohjus
<b>TPM</b>	Total Productive Maintenance - japanilaislähtöinen kunnossapitofilosofia
<b>VTKesk</b>	Ilmavoimien viestitekniikkakeskus
<b>VVA</b>	Vika- ja Vaikutusanalyysi

# 1. Johdanto

*Koneemme on suunniteltu toimimaan automaattisesti. Koneiden käyttäjien tehtävä on valvoa, että ne toimivat luotettavasti ja tuottavat tasalaatuisia tuotteita, eikä suinkaan katsella tuotteiden läpimenoa. Täällä koneittemme käyttäjät ovat ongelmien ratkaisijoita! (Ford Motor Co.)*

Käyttöomaisuuden elinkaareen kuuluu useita vaiheita. Tuotannollisesta näkökulmasta asiaa tarkasteltuna mielenkiintoisin on oheisessa, Ford Companylta lainatussa avauskappaleessa käsitelty vaihe. Kun lauseet puretaan osiin, huomataan puhuttavan kahdesta asiasta: koneita käytettäessä valmistuu tuotteita, ja koneita ylläpidetään ongelmien varalta käyttäjien toimesta. Tähän elinkaaren vaiheeseen sisältyvät siis käyttö ja ylläpito.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tunnistaa edellä mainittuun vaiheeseen kytkeytyviä tekijöitä Ilmavoimien uuden keskivalvontatutkan laitevalmistajan määrittämässä kunnossapitokonseptista. Kunnossapitokonseptilla tarkoitetaan tämän työn sisällöissä kokonaisuutta, jonka muodostavat eri kunnossapitolajien, kunnossapidon suunnitelmallisuuden ja oletettujen vikaantumisten ennustettavuuden määritykset sekä kunnossapitotoimien jakaminen eri kunnossapito-organisaation tasoille. Pikaisesti pohdittuna voi tuntua hankalalta määrittää minkäänlaisia yhteisiä tekijöitä autojen valmistuksen ja ilmatilan valvonnan välille. Molemmissa valmistetaan kuitenkin tuotetta – olivatpa ne sitten autoja, tai ilmatilannekuvaa – jota saadaan aikaiseksi laitekokonaisuuksista rakentuvilla koneilla ja järjestelmillä.

Toinenkin yhtäläisyys löytyy modernien tuotantolaitosten, sekä korkean teknologian sotavarusteiden väliltä. Järjestelmien monimutkaistuminen tekee organisaation oman kehitys- ja korjauskyvyn hankinnan ja tuottamisen – jos nyt ei mahdottomaksi, niin ainakin kannattamattomaksi. Martti Lehdon väitöskirjassa on tutkittu *Suomen Ilmavoimien johtamisjärjestelmän evoluutio ilmasotateorian, kansallisten instituutioiden ja johtamisjärjestelmän ulkomaisen kehityksen näkökulmasta* -otsikon alla muun muassa tutkailmavalvonnan kansallisen erityisosaamisen yhdistämistä laajem-

paan systeemi-integraatioon myös kansainvälisten toimijoiden kanssa (Lehto, M. 2012. s. 79). Samansuuntaista tukeutumista ulkopuolisiin toimijoihin eri teknologioiden sulautuessa odottaa myös Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, osa 2. (s. 270, 275)

## 2. Opinnäytetyön toimeksianto

### 2.1 Yritysesittely

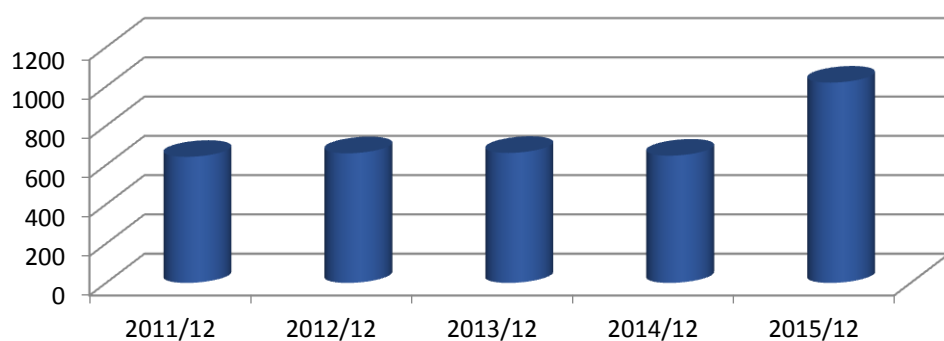
Millog Oy on alun perin vuonna 2006 kaupparekisteriin perustettu, teknisen materiaalin kunnossapitoon, koko elinjakson hallintaan sekä materiaalitoimintoihin liittyviä palveluita tuottava yritys. Yrityksen omiksi osaamisalueiksi luetellaan: sähkö- ja elektroniikkajärjestelmät, erilaiset työkoneet ja erikoisajoneuvot sekä suojele- ja pelastusjärjestelmät. Osaaminen edellä listattujen alueiden taustalla perustuu Puolustusvoimien kanssa tehtyyn, pitkään yhteistyöhön. (Kauppalehti. 2017.)

*Strategisessa kumppanuudessa tehdään aitoa yhteistyötä, jossa kehitetään toimintaa ja luodaan kilpailuetua molemmille osapuolille. Kumppanimme voi keskittyä ydin-toimintaansa, me vastaamme kunnossapidosta ja muista tukitoiminnoista. (Millog Oy. 2012.)*

Yllä lainattuun lauseeseen viitaten, pitkää yhteistyötä asiakkaan organisaatioon ja päivittäisliiketoimintaan integroituneena nimitetään Millog Oy:ssä strategiseksi kumppanuudeksi. Kumppanuussopimus Maavoimien kunnossapitovastuun alaisen materiaalin kunnossapidon tuottamisesta Millog Oy:ssä allekirjoitettiin kesäkuussa 2008. Kahdeksanvuotisen kumppanuusjakson kunnossapitovastuu on ollut Millog Oy:n vastuulla vuoden 2009 alusta lähtien. Syyskuussa 2014, osana puolustusvoima-uudistusta, allekirjoitettiin edellistä kunnossapitokumppanuussopimusta laajentava, uusi sopimus toistaiseksi voimassaolevana. Laajennus koski maavoimien varuskunta-korjaamoiden, merivoimien kunnossapitokeskusten ja keskusvaraston, sekä kahden maavoimien varaston siirtymistä tehtävineen Millog Oy:lle 1.1.2015 alkaen. Uudelleenjärjestely toteutettiin liikkeenluovutuksena, jolloin myös edellä listattujen toimintojen henkilöstö ja omaisuus siirtyivät tehtävien mukana Millog Oy:lle. Maa- ja merivoimien materiaalien lisäksi Millog Oy vastaa tällä hetkellä myös erikseen sovitusta Ilmavoimien materiaaleista. (Millog Oy. 2008, 2014 & 2017.; Puolustusministeriö. 2014.)

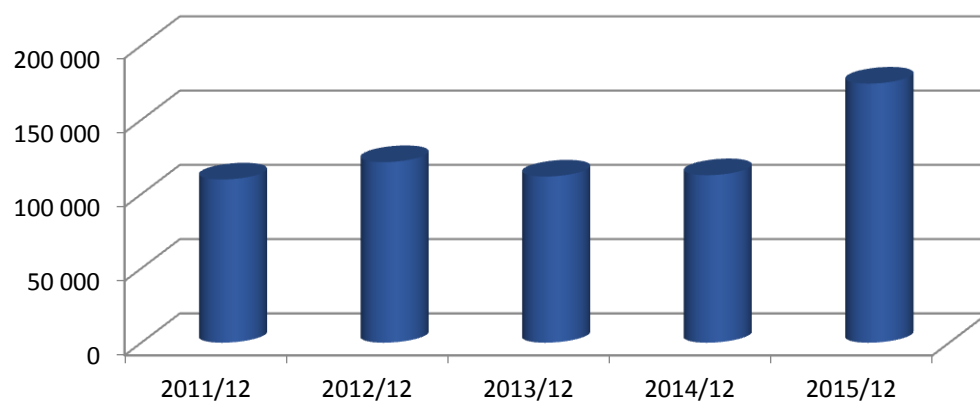
Millog Oy on kasvanut liikkeenluovutusten myötä merkittäväksi puolustusteollisuus-yritykseksi, kuten kaavioiden 1. ja 2. perusteella voidaan tulkita. Vuoden 2009 kumppanuussopimuksessa henkilöstöä siirtyi Millog Oy:n palvelukseen 520 henkilöä. Vuonna 2015 voimaan astuneen sopimuksen vaikutuksesta, vaihtui Millog Oy työnantajaksi puolestaan noin 330 Puolustusvoimain työntekijän kohdalla. (Millog Oy. 2008; Puolustusministeriö. 2014.)

KAAVIO 1. Millog Oy henkilöstön lukumäärä (Fonecta. 2017.)



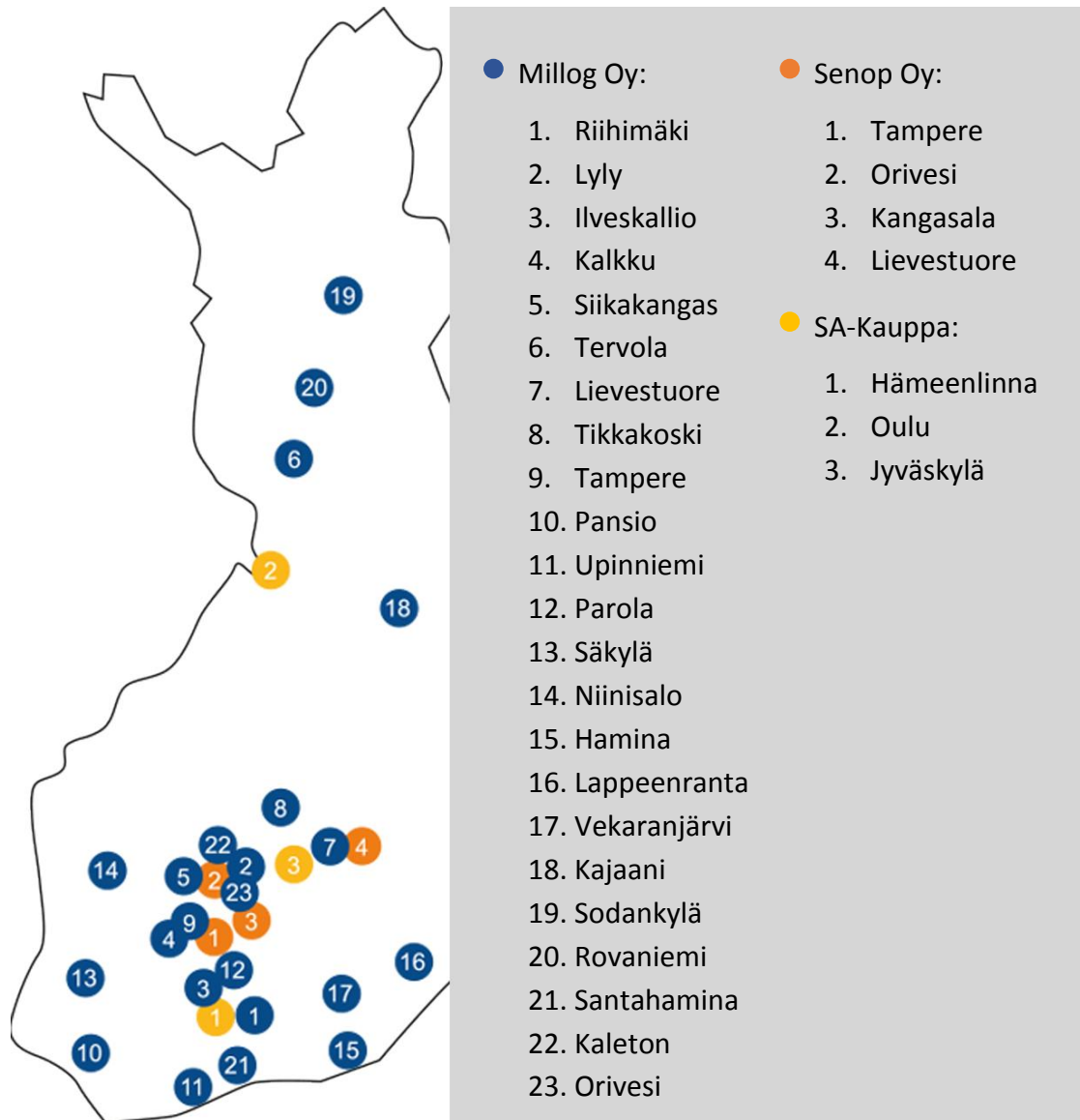
Työntekijöiden lukumäärällisen kasvun ohella, on myös Millog Oy:n liikevaihto saanut merkittäviä sysäyksiä liikkeenluovutuksista. Vuonna 2008 yrityksen vuotuiseksi liikevaihdoksi arvioitiin noin 70 miljoonaa euroa. Tuoreimmat tunnusluvut osoittavat liikevaihdon nousseen yli 170 miljoonaan euroon. (Fonecta. 2017.; Millog Oy. 2008.)

KAAVIO 2. Millog Oy liikevaihto tilikausittain, 1000 EUR (Fonecta. 2017.).



Millog Oy on osa Patria-konsernia. Patrian ohella yhtiön muut omistajat ovat Insta Group Oy ja Suomen valtio. Yrityksen alaisuuteen kuuluvat myös Puolustusvoimien hylättyä materiaalia myyvät SA-Kaupat. Millog Oy:n tytäryhtiö on optroniikkaa val-

mistava Senop Oy. Toimipisteitä ja edustuksia löytyy kaikkiaan 28 paikkakunnalta (kts. kuvio 1.). (Millog Oy. 2014.)



KUVIO 1. Millog Oy:n toimipisteet ja edustukset (Millog Oy. 2017.)

## 2.2 KEVA2010 keskivalvontatutka

*Valinnassa painottui aikaisempaa enemmän koko elinjakson hallinta, toisin sanoen, minkälaiseksi muodostuu koko 30 vuoden käyttöikä. (Lehto, M. 2012. s.113)*

Uuden keskivalvontatutkan valintaperusteiksi asetettiin hankkeen alkuvaiheessa Suomen valvonta- ja johtamisjärjestelmään integroitavissa oleva, NATO - yhteensopiva järjestelmä, joka on jo operatiivisessa käytössä. Osion alussa lainattu, elinjakson hallintaan kytkeytyvä lausunto liittyy olennaisesti eri puolustushaaroissa kypsyvästä ajatusmallin muutoksesta, jossa suorituskyvyn lisäksi fokus on enenevässä määrin käytettävyyden ostamisessa. KEVA2010 -nimellä tunnetuksi laitteeksi valittiin ranskalaisen Thales-Raytheon Systemsin valmistama GroundMaster 403 (lyhennettynä GM403), joka tulee korvaamaan ikääntyvät kotimaiset keskivalvontatutkat lähivuosina. Lähteiden mukaan osin yhteistyössä Viron puolustusministeriön kanssa toteutetussa hankkeessa, tutkia hankittiin Suomeen 12 kpl ja Viroon 2 kpl. Hankkeen kokonaiskustannuksen mainitaan olevan noin 200 miljoonaa euroa. (Ilmavoimat. 2017.; Lehto, M. 2012. s.112)



KUVIO 2. KEVA2010-tutka Sisu ETP 8x8 kuorma-auton päällä. (Ilmavoimat. 2017.)

GM403 -järjestelmään perustuva KEVA2010 on S-alueen (2,9-3,3 GHz) taajuuskaistalla operoiva 3D-ilmavalvontatutka. 3D-tutka mittaa maalin, kuten lentokoneen sijainnin lisäksi myös tämän elevaation tutkaan nähden, josta voidaan laskennallisesti

muodostaa lopulta lentokorkeus. KEVA2010-tutkaa voidaan siirtää, joka mahdollistaa ilmavalvonnan painopisteen muutokset, sekä väistymisen suojaan uhkakuvan kasvaessa taistelukentällä. Lähteet antavat keskenään poikkeavaa tietoa GM403-tutkan maksimimittausetäisyydestä: 470 km vs. 390 km vs. lähes 500 km, sekä mittauskorkeudesta: 100 000 ft (30,48 km) vs. 30 km vs. yli 30 km. Tässä täytyy tietysti huomata se, ettei yksikään lähde ilmoita mittausetäisyyksiä mainitessaan käytetyn maalin tutkapinta-alaa, joka on olennaisesti tutkan ilmaisukykyyn vaikuttava tekijä. (Thales-RaytheonSystems. 2011.; Ilmavoimat. 2017.; Lehto, M. 2012. s.112)

Siirtymis- ja 3D-mittauskyvyn ohella muita GM403:n tärkeitä ominaisuuksia ovat:

- kokonaan digitaalinen
- digitaalinen tutkauskeilanmuodostus
- kerrostettu tutkauskeila
- täydet Doppler-moodit
- ECCM (Electronic Counter-Counter Measures) -kykyinen
- TBM (Tactical Ballistic Missile – taktinen ballistinen ohjus) havaitsemiskyky
- liikuteltavissa C-130H -tyypin kuljetuskoneella, helikopterilla tai kuorma-autolla (20 ft kontti, paino 10 T)
- tutkan käyttökuntoon saattaminen kestää kuuden hengen ryhmältä yhden tunnin.

(ThalesRaytheonSystems. 2011.)

Tavanomaisen, yhden tai muutaman magnetronin, klystronin tai kulkuaaltoputken muodostaman tutkan tehoasteen rakenteessa on muutamia heikkouksia. Vakavin heikkouksista lienee se, että näiden järjestelmän toiminnan kannalta kriittisten komponenttien vikaantuminen on johtanut välittömästi koko tutkan lamaantumiseen, ja siten kyseisen aseman ilmavalvontakyvyn menettämiseen. GM403-tutkan lähetinyksikön rakenne koostuu muutaman suuren vahvistinyksikön sijaan useasta pienestä puolijohdemoduulista, jolloin sen rakenne on vikatilanteissa redundantti. Puolijohde-tekniikan käyttö kasvattaa tutkan käytettävyyttä vikasietoisuuden lisääntymisellä, mutta se mahdollistaa myös pienempien tehojen käytön, sekä älykkäämmän keilauksen. (Lehto, M. 2012. s.112)



Vahvistinrakenteiden eroavaisuuksista edelleen jatkaen, vaatii tavanomainen putki- vahvistinrakenne korkeita jännitteitä toimiakseen – samalla pudottaen järjestelmän hyötysuhdetta. Pienempi hyötysuhde tarkoittaa hukkalämmön lisääntymistä, joka tuo omat haasteensa käytön ja ylläpidon suhteen. Edellä kerrotusta poiketen, puolijohdekomponentit toimivat korkealla hyötysuhteella ilman suurjännitettä, mikä mahdollistaa GM403-tutkassa ilmajäähdytyksen käytön. Näin ollen mekaaniset ratkaisut pysyvät jäähdytyksen osalta rakenteeltaan huomattavan yksinkertaisina, verrattuna esimerkiksi nestejäähdytykseen. Ylläpidon näkökulmasta yksinkertaisuus on hyve, koska vikaantuvia komponentteja on monimutkaisempaa rakennetta vähemmän. (Lehto, M. 2012. s.112)

Puolijohdeiden käyttö on verrattain uutta teknologiaa ilmavalvontatutkissa, joka tuo suunnitellun elinjakson vaiheisiin omat erityispiirteensä. Alasta riippumatta, on uuden teknologian implementoinneissa usein myös valmistajan kehityspolku kesken, joten järjestelmän käyttäjä osallistuu omalta osaltaan tutkimus- ja kehitystyöhön tahtotilastaan riippumatta. Mahdolliset COTS (Commercial off-the-Shelf) -konfiguraatiot voivat tuoda myös omat erityispiirteensä valmistajan tukeen ja järjestelmän ylläpitoon. (Lehto, M. 2012. s.112)

Uuden teknologian käyttöönotto on oikeastaan kuin veitsenterä. Toiselta puolelta löytyvät edellä kerrotut erityispiirteet, mutta terän toiselle puolelle jäävät vanhan teknologian hyvät ja huonot puolet. Vanha teknologia on monesti jo erinäisissä koetelemuksissa karistanut lastentaudit taakseen, eli sen kehitystyö on suurelta osin jo tehty. Se, että työ on suurelta osin tehty, ei tarkoita, että järjestelmä olisi jo valmis. Ennen elinjakson päättymistä, voi väistyvällä teknologialla olla edessään varsin piankin laaja MLU (Mid Life Update) -päivitysjakso, kuin myös riski sille, että valmistaja voi päättää katkaista ikääntyneen järjestelmän tuen kauan ennen asiakkaan suunnittelemaa elinjakson päättymistä.

### 2.3 Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys, aiheen rajaus ja tavoitteet

Käyttöomaisuuden elinkaari jaksottuu kuuteen vaiheeseen. Johdannon avaamaa käyttö- ja ylläpitovaihetta edeltävät ideointi, esisuunnittelu ja rakentaminen. Sotava-

rusteiden suorituskyvyn käyttö ja ylläpito alistetaan usein operointivaiheeksi, joka päättyy lopulta suorituskyvyn purkamiseen. Elinkaarimalli on kuvattu prosessina kuviossa 3. (Kosola. 2007.)



KUVIO 3. Sotavarusteen elinkaaren vaiheet. (Kosola. 2007.)

Opinnäytetyön teoreettiseksi viitekehyyksi valikoitui KEVA2010 -tutkan operointivaihe, jonka aikainen käytettävyyssaste ohjaa voimakkaimmin kunnossapito-organisaation työskentelyä. Opinnäytetyön aihetta rajataan viitekehyyksen sisässä edelleen kunnossapitokonseptin määrittämiin toimiin, varaositukseen ja esitetyn kunnossapito-organisaation rakenteeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on tunnistaa tutkan laitevalmistajan määrittämän kunnossapitokonseptin vaikutusmekanismeja järjestelmän operatiiviseen ja inherenttiin käytettävyyteen, edellä rajatussa kontekstissa. Vaikuttavuutta arvioidaan valikoiduin toimintavarmuuskeskeisen kunnossapidon (RCM - Reliability Centered Maintenance) työkaluin. Pääpaino on kunnossapitokonseptin puutteiden paljastamisessa ja kehityskohteiden löytämisessä.

Työssä esitettävät kehitysehdotukset, kaluston mitatut käytettävyyss- ja suorituskykyarvot, tai niiden laskemisen mahdollistavat muut määreet, käsitellään tämän työn salassa pidettävässä liitteessä. Raportissa esitetyt pohdinnat ja tulokset eivät välttämättä edusta Puolustusvoimien tai Millog Oy:n virallisia kantoja.

## 2.4 Lähdeaineisto ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön lähdemateriaaliksi valikoitui kirjallista materiaalia laajalla skaalalla sekä koti-, että ulkomailta. Kunnossapidon mittarointia, elinjakson hallintaa, laatuasioita sekä RCM -menetelmää käsitellään standardien lisäksi lukuisissa alakohtaisissa kirjoissa ja lehtiartikkeleissa, sekä Suomen ja Yhdysvaltojen puolustushallinnon asiakirjoissa ja julkaisuissa. Edellisten ohella käytössä oli myös työn sisältöä sivuavia, akateemisia kurssimateriaaleja ja tutkimustöitä ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen kansien välissä.

Tutkimusmenetelmä on tässä opinnäytetyössä tavallaan kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten muotojen hybridi. Määrällisen osan roolissa on RAMT -vaiheessa kerätty, runsaista päiväkirjamerkinnoista johdettu tilastotieto. Laadullisen menetelmän luonteenpiirteille ominaisesti aineisto on kuitenkin peräisin valikoiduista järjestelmistä, ja merkinnät pitävät sisällään - koulutuksesta huolimatta - inhimillisen mahdollisuuden eroavaan tapaan täyttää päiväkirjoja. Toisaalta RCM -ajattelumalliin soveltuu jo itsessään hajontaa sisältävä tilastotieto, josta saadaan silti tunnistettua häiriöiden korjaustarpeiden jako välittömien ja siirrettävien korjausten kategorioihin.

### 3. Kunnossapidon jalostus osaksi laatuajattelua

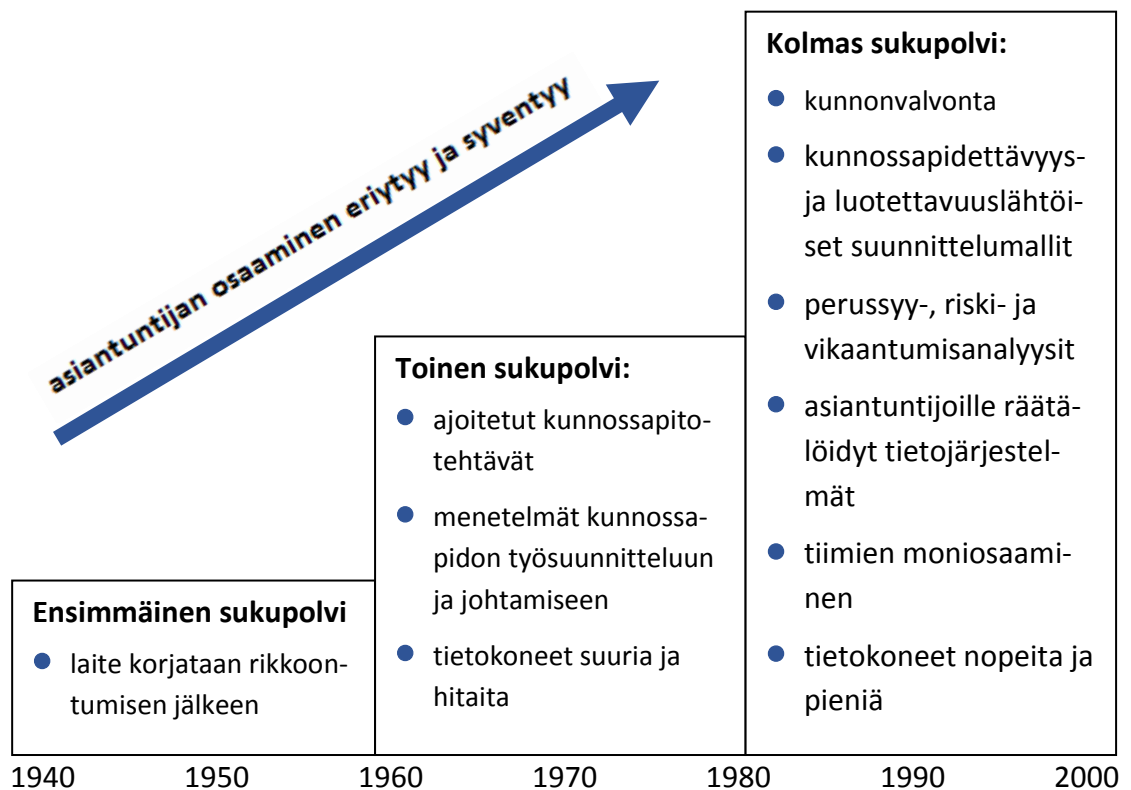
Kunnossapito voidaan yleisellä tasolla määrittää sisältäväksi ne tekniset, hallinnolliset ja johdolliset toimenpiteet kokonaisuutena, joiden tarkoitus on joko ylläpitää kohde sellaisessa tilassa, tai palauttaa se tilaan, joka täyttää vaaditun toimintakyvyn halutun toiminnon suorittamiseen kohteen koko elinjakson ajan. Investointien näkökulmasta fokus on siis käyttöomaisuuden tuottokyvyn säilyttämisessä. Kun edellä olevaan lisätään esimerkiksi mainittujen toimenpiteiden kustannustekijät, tavoiteltu käytettävyys, sekä turvallisuus- ja laatuasiat, puhutaan tavoitteellisesta kunnossapidosta. Kunnossapitostrategia puolestaan pitää edellisten lisäksi sisällään vielä ne vahvistetut liikkeenjohdolliset keinot, jotka toteutetaan kunnossapidon tavoitteiden saavuttamiseksi. (SFS-EN 13306. 2010. s.6; Järviö, ym. 2011. s.13)

Purettaessa käsitettä: vaadittu toimintakyky, saattaa kunnossapitostrategian keinojen hahmottamisessa auttaa ajatusmalli riittävän hyvästä. Kunnossapitokulujen näkökulmasta resurssien kohdentaminen on optimaalista silloin, kun huolletaan juuri- ja-juuri tarpeeksi. Optimaalinen, eli tehokas toiminta on myös yhteisenä tekijänä erilaisten laatujärjestelmien taustalla. Laatujärjestelmistä tunnetuimpiin lukeutuvat muun muassa vaihtelun vähenemiseen pyrkivä Six Sigma ja kokonaisuuksien optimointia tavoitteleva Lean. (Gulati. 2013. s. 381-390.)

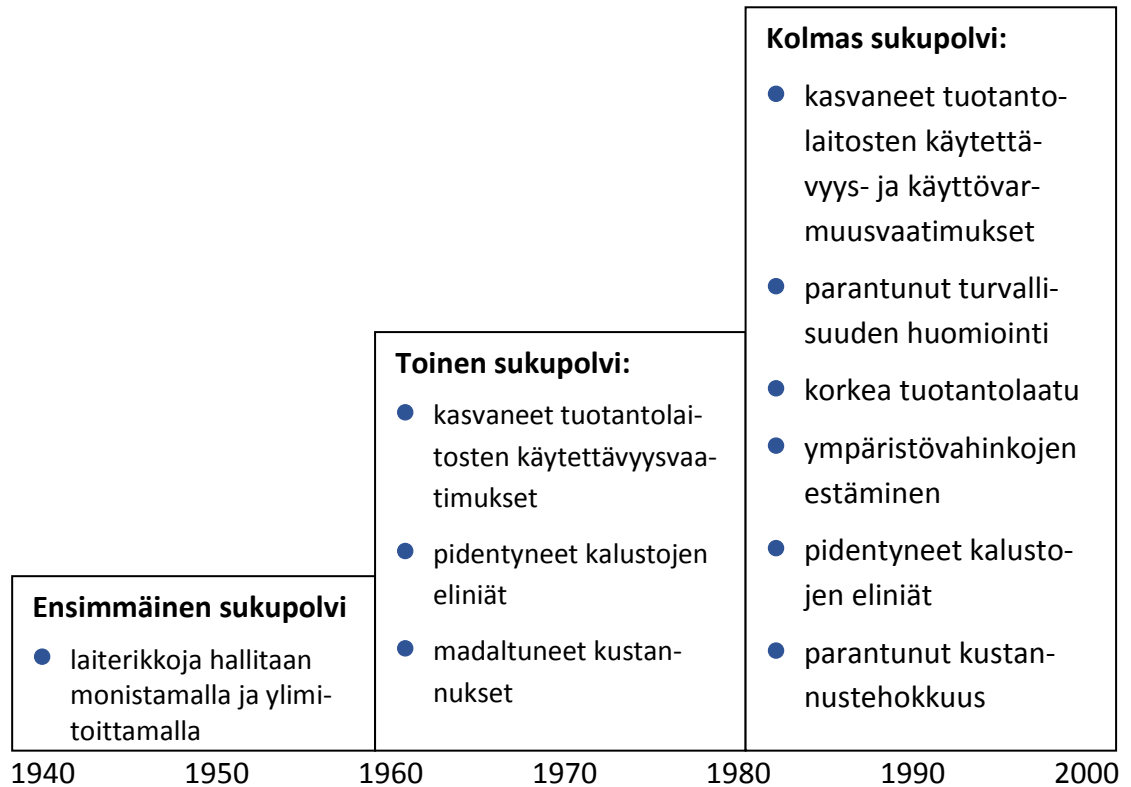
### 3.1 Kunnossapidon kehityshistorian vaiheet

Kunnossapitoon rinnastuvaa toimintaa voidaan katsoa harjoitetuksi siitä saakka, kun ihminen on rakentanut ensimmäisen koneen ja alkanut käyttää sitä. Kun koneen käyttäminen estyi vikaantumisen vuoksi, se korjattiin. Mahdollisuuksien mukaan toimintoja on saatettu myös monistaa, ja näin muodostettu redundanttisuus on parantanut kokonaisuuden vikasetoisuutta. (Järviö, ym. 2011. s.16)

Edellä havainnollistetusta skenaariosta on tultu useamman harppauksen verran eteenpäin niin teknologioiden, kuin kunnossapidon kehityksessä. Katalysaattoreina kunnossapitofilosofioiden muutokseen ovat toimineet kulujen kurissapidon ja tuotantolaitoksen korkean käytettävyyden tavoittelun ohella kasvanut valveutuneisuus henkilö- ja ympäristöturvallisuusasioissa. Näitä tekijöitä on esitetty aikaan sidottuna kuvioissa ja KUVIO 5.



KUVIO 4. Muutos kunnossapitomenetelmissä. (Moubray. 1997. s.5)



KUVIO 5. Muutos kunnossapidon odotusarvoissa (Moubray. 1997. s.3)

Tarkasteltaessa nimenomaan kehitystä kunnossapidossa, erottaa Järviö vuoteen 2003 asetettuun tarkastelupisteeseen mennessä neljä kehitysharppausta, joita nimitetään lähteissä kunnossapidon sukupolviksi. Hieman vanhempi Moubrayn aineisto kulkee mukana kolmen ensimmäisen osalta. Tieteenalan kehityskulun voi siis katsoa yhä jatkuvaksi, kun eri aikoina julkaistujen aineistojen sisältöjä reflektoidaan nykyyhetkeen. (Moubray. 1997. s.1; Järviö, ym. 2011. s.16)

### 3.1.1 Ensimmäinen sukupolvi

Ajanjakso kunnossapidon aamunkoista toisen maailmansodan syttymiseen lukeutuu kunnossapidon ensimmäiseen sukupolveen. Tuolloisen teollisuuden mekaaninen integrointiaste oli varsin matala. Kun yksittäisten laitteiden kärsimät häiriöt eivät aina suoraan näkyneet tuotannon katkoksina, voitiin vikaantuneet laitteet jättää seisokkiin. Työnjohdollisissa toimissa piirre näkyi siten, ettei laitevaurioita ehkäiseville toimenpiteille annettu kovinkaan suurta prioriteettia tuotantotaloudellisten kytkösten ollessa pieniä. (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

Ajalle ominaista oli laitteiden ylimitoittaminen suunnittelun suurilla varmuuskertoimilla. Yksinkertaiset laitteet olivat myös luotettavia ja helppoja huoltaa sekä korjata. Aikakauden edellä luetellut erityispiirteet huomioiden, ei systemaattisten ja tavoitteellisten kunnossapitojärjestelmien synnylle ollut muodostunut tarvetta vielä tässä vaiheessa, vaan huoltotoimenpiteet pitivät sisällään lähinnä voitelu-, puhdistus- ja säätötöitä. (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

### 3.1.2 Toinen sukupolvi

Toinen maailmansota aikaansai mullistuksen teollisuuden tuotantolaitoksissa, ja käynnistää samalla kunnossapidon osalta toisen sukupolven. Erilaisten sotavarusteiden, kuten myös tavanomaisien tarvikkeiden kysynnän voimakas vilkastuminen toi tuotantomäärien kasvatuspaineita tehtaille, joidenka osaavat koneenkäyttäjät kokennettiin samaan aikaan rintamalle. Kutistunutta työvoimaa ja kotirintamalta henkilöstöpulaan rekrytoitujen työntekijöiden heikompa kokemuspohjaa ryhdyttiin kompensoimaan kokoamalla koneita pidemmiksi tuotantoketjuiksi. Avaintekijöiksi tuotannon tasalaatuisuuden varmistamisessa, toisin sanoen työntekijöiden vaihteluvan osaamisen ja lukumäärän aiheuttamien poikkeamien minimoinnissa, nousivat mekaniisaatio- ja automaatioasteiden kasvattaminen. (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

Markkinatilanteen muuttuessa yhä kilpaillummaksi, alkoi yrityksissä hahmottua taloudellinen kytkös tuotantolaitosten tehokkaan käytön ja hyvän kannattavuuden välillä. 1960-luvulle saavuttaessa edellä mainittu riippuvuus koneiden korkeasta käyntivarmuudesta alkoi korreloitua konseptina ehkäisevästä kunnossapidosta, joka varhaisimmassa vaiheessaan koostui koneiden kiinteästi aikataulutetuista kunnostustöistä. Monimutkaistuva konekanta aiheutti kunnossapidollisesti kuitenkin uudenlaisen pulman vikaantumismekanismeissa. Ajoitettujen kunnostustöiden tarkoituksena on aina ollut lykätä kriittistä, tuotannon pysäyttävää vikaantumista aika-akselilla eteenpäin, mutta uusien tuotantoketjujen kompleksisuus alkoi näkyä nyt myös erilaisina katkoksia aiheuttavina elinjakson alkuvaiheen lastentauteina (KUVIO 6). (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

Kunnossapitokustannusten pyrkiessä kohoamaan voimakkaasti verrattuna muihin tuotantolinjojen käyttökustannuksiin, havaittiin pian tarve kunnossapidon työsuunnittelulle ja johtamiselle. Näin syntyneet kunnossapidon järjestelmälliset ohjausmenetelmät pyrkivät optimoimaan tuotantolinjojen käytävyyden ja kunnossapitoresurssien käytön välistä yhteyttä. Merkittävä askel siinä mielessä, että menetelmät kuuluvat yhä strategisen kunnossapidon käytänteisiin. (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

### 3.1.3 Kolmas sukupolvi

Uusiutuneet odotusarvot, uudet tutkimusmenetelmät sekä modernit tekniikat, ovat ne kolme kulmakiveä, jotka alkavat ajanlaskennallisesti 1970-luvun puolivälistä lähtien eriyttää kunnossapidon sisältöjä aikaisemmista sukupolvista. Teollisuuden muutosprosessien kiihdyttäessä teknologisten innovaatioiden avustamina kohti ilmailu- ja avaruusprojektien luomia käyttövarmuuskonsepteja, alkunsa saa myös kunnossapidon kolmas sukupolvi. (Moubray. 1997. s.2; Järviö, ym. 2011. s.17)

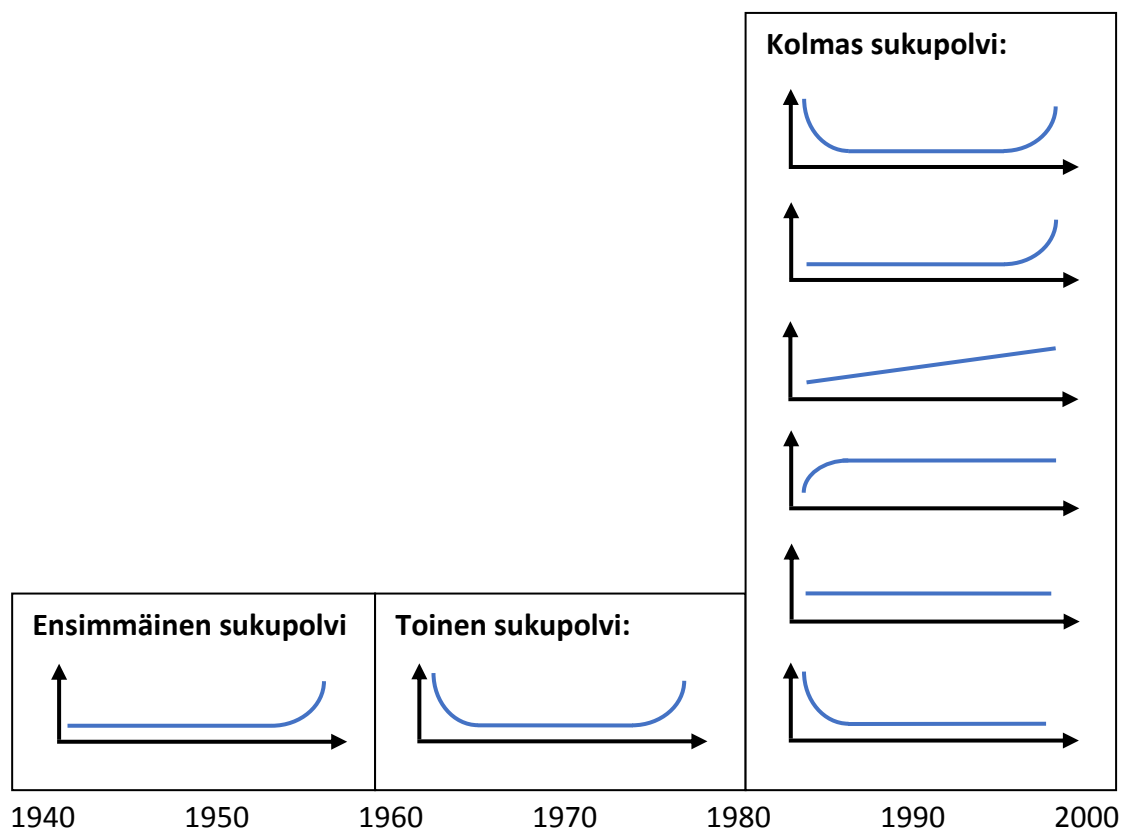
Kuviossa 5 esitetyt kunnossapidon odotusarvot kasvavat teollisuuden valmistavien yritysten tarpeesta tehdä tulosta hyvin laajasti kiristyvän kilpailun markkinoilla. Avaintekijöiksi kilpailussa pärjäämiselle alkoivat nousta laadun ja edullisen hinnan lisäksi myös osaaminen ja toimitusvarmuus, sekä yrityksen imago ympäristö- ja henkilöturvallisuusasioissa. Teollisuustaloudellisen kytköksen oivaltaminen aina vain enemmän pääomaa sitovien laitteiden ja sijoitetun pääoman tuoton maksimoinnin välillä johti tuotantolaitosten toiminnallisen tehokkuuden kasvattamiseen koneiden mekaniikka- ja automaatioastetta edelleen nostamalla. (Moubray. 1997. s.3; Järviö, ym. 2011. s.17-18)

Laskennallisesti sitä vähemmän tarvitaan teollisuuden konekantaan sidottua pääomaa, mitä tehokkaampaa näiden koneiden käyttö on. Kun samaan aikaan pyrittiin JIT (Just In Time) -toimintamallien avulla eroon eri valmistusvaiheita tukeneista puskurivarastoista, joiden kustannukset kohdistuivat viimein suoraan lopputuotteeseen, muuttui teollisuuden riippuvuus koneiden käynnissä pitoon aivan uudelleenlaiseksi. JIT -



mallien keinolla toimitusaikoja saatiin painettua kyllä alaspäin, mutta koneiden luotettavuudesta muodostui seuraava menestyksen avaintekijä. (Järviö, ym. 2011. s.18)

Osion alussa luetelluista kulmakivistä odotusarvot nivoutuivat tuotannon tekijöihin, joita avattiin jo edellisissä kappaleissa. Uudet tutkimusmenetelmät ja modernit tekniikat liittyvät puolestaan kunnossapidon kehitysharppauksiin. Kun alkujaan koneiden vikaantumisen ajateltiin olevan pelkästään käytön kuormittavuuden sekä määrän tekijöiden aiheuttamaa vanhenemista, ja toisaalta kunnossapidon toisen sukupolven myötä havahduttiin myös monimutkaistuvia koneita riivaaviin lastentauteihin, muodostui kolmannen sukupolven aikana mallit kaikkiaan kuudelle erityyppiselle vikaantumismekanismisselle. Kunnossapidon eri sukupolvien tunnistamia vikaantumismekanismeja on esitetty käyttömäärään ja -aikaan suhteutettuna kuviossa 6. (Moubray. 1997. s.4; Järviö, ym. 2011. s.18)



KUVIO 6. Vikaantumismekanismit kuvaajina. (Moubray. 1997. s.4)

Vikaantumismekanismien eriytymiseen sukupolvien välillä ovat johtaneet koneiden kehittyminen yksittäisistä työstölaitteista kohti useita teknologioita integroivia,

kompleksisia kokonaisuuksia. Kehittyneiden valmistusmenetelmien mahdollistama, lujempien materiaalien ja tarkempien suunnittelumetodien käyttö koneiden valmistuksessa, on pienentänyt koneiden iän ja/tai käyttömäärän yhteyttä vikaantumistodennäköisyyteen. Sen seurauksena kunnossapidon suunnitteluun ja työjohtoon alkoi muodostua erilaisia kunnossapitokonsepteja, joiden pyrkimys on kääntää ennakoidun huollon tehtävien fokus ”näin tehdään huoltotyöt oikein” -mallista muotoon ”näin tehdään oikeat huoltotyöt.” Menetelmien ydin on kunnossapidon kustannusten kurissapito, sekä hyödyttömien - jopa laitteen käyttöikää mahdollisesti vaarantavien töiden karsimisen pois tehtävälistoilta. (Moubray. 1997. s.4-5; Järviö, ym. 2011. s.18)

#### 3.1.4 Neljäs sukupolvi

Informaatioteknologioiden ja mikroelektroniikan innovaatioiden jalkautuminen kaikkien tekemiseemme käynnisti kunnossapidon neljännen sukupolven 1990-luvulla. Aiempia osioita peilaten, on sukupolvesta toiseen eteneminen kautta kunnossapidon historian aina kasvattanut tuotantolinjojen automatisointia, sekä erilaisten teknologioiden integraatiota. Neljäs kehitysaskel ei tee poikkeusta tähän sääntöön. (Järviö, ym. 2011. s.19)

Aina vain kompleksisemmat - muun muassa pneumatiikan, keinoälyn ja elektroniikan teknologioita sisältävät tuotantokoneet ovat muuttuneet paitsi aikaisempaa kalliimmiksi hankkia, myös aivan eri tavalla vaativiksi kunnossapitäjän osaamisen laajuuden ja syvyyden kannalta. Erilaisilla kunnossapitokonsepteilla kontrolliin saadut kunnossapidon kokonaiskustannukset alkavat näyttää merkityksettömiltä, kun rinnalla vertaillaan tuotantoprosessin pysähtymisen aiheuttamia puutekustannuksia menetetyntä katteen muodossa. Lähteen arvion mukaan tuotannonmenetyksen rahallinen arvo on nimittäin kunnossapito- ja korjauskustannuksia suurempi. (Järviö, ym. 2011. s.19)

Tuotteiden valmistuksessa käytettävien koneiden korkea hankintahinta, ja toisaalta tapamme kuluttajina vaatia moderneilta tuotteilta - kuten älypuhelimilta - aina vain kehittyneempiä ominaisuuksia, muodostaa tietyllä tapaa paradoksin valmistettavan tuotteen elinkaaren ja valmistuslinjan teknisen käyttöiän välille. Valmistuslinjan kun-

nossapitostrategiaa suunniteltaessa, problematiikkaa aiheuttaa valmistettavan tuotteen kysynnän sakkaaminen mahdollisesti kauan ennen sitä valmistavien koneiden kulumista loppuun. Kun yhtälöön lisätään koneiden mekaanisen kunnossapidon rinnalla tapahtuva, valmistuslinjoja ohjaavien järjestelmien kunnossapito, alkaa näiden linjojen ylläpitokyvyn hankkiminen kalliine testauslaitteineen olla kokonaisuutena mahdotonta perustella yritykselle itselleen. Taloudellisesti voikin olla järkevää jättää valmistusprosessien osaaminen ulkopuolisille. (Järviö, ym. 2011. s.19)

Mikä kunnossapitoa sitten ohjaa moderneissa tuotantolinjoissa? Ohjausjärjestelmiin kuuluvien tietoverkkojen, automaation ja näihin liittyvien ohjelmistojen ohella tuotantolinjojen toiminnasta saadaan palautetta myös prosesseja seuraavista käynninvalvontajärjestelmistä. Tällaiset järjestelmät keräävät tuotannon suorituskykytietoja erilaisilta sensoreilta, neuroverkoilta sekä sumean logiikan päättelyketjuilta. Tiedonkeruu mahdollistaa laitteiden elinikäanalyysit, joidenka avulla on määritettävissä vielä jäljellä oleva turvallinen käyttöjakso. Ja edelleen, mikäli linjalla havaitaan normaalia poikkeavaa toimintaa, käynnistyvät perussyyanalyysit poikkeaman syyn määrittämiseksi. Mikäli korjattavan kohteen paikallistaminen ei onnistu käynninvalvontajärjestelmältä ja käyttöhenkilökunnalta itsenäisesti, yhä laajemmin käytössä olevat etävalvontamenetelmät mahdollistavat asiantuntijaresurssien, kuten laitevalmistajan omien spesialistien tehokkaan käytön ja nopean vasteen maailman ympäri. (Järviö, ym. 2011. s.20)

Kappaleita summataksemme, voidaan kunnossapidon evoluutio läpi sukupolvien kietyttä kolmeen seikkaan. Niitä ovat: alati kasvava teknologioiden integraatioaste, kunnossapito henkilöstön tietotaidon eriytyminen ja syveneminen, sekä kunnossapitotyön johtamisen siirtymä rikkoutumiseen seisahtuneen koneen korjauksesta, kunnonvalvonnan ja projektoidun käyttömäärän menetelmiin pohjaavaksi, koneen käyttöhenkilökunnan suorittamaksi käynnissäpidoksi.

### 3.2 Kunnossapidon lajit

*Toimenpiteet, joilla todetaan kohteen toimintakunto, pidetään kohde halutussa toimintakunnossa tai saatetaan se haluttuun toimintakuntoon.* (PSK 6201.2011. s.21)

Oheinen suora lainaus samannimisen kappaleen avauksesta ottaa haltuun vikaantumisiin ja kunnonvalvontaan liittyvät korjaus- ja kunnossapitomääritykset eri standardeissa. Samalla se toisaalta paljastaa sekä PSK Standardisointiyhdistyksen, että Suomen standardoimisliitto SFS:n kunnossapidolliset katsantokannat rajoittuneiksi lähinnä vian havaitsemisperusteisiksi, ja jättää kunnossapidon uudistumisen osittain huomioimatta. Järviö nostaa tueksi väitteelle RTF -strategian (Run To Failure), modernisaatioiden sekä kunnossapidon analyysien ohittamisen standardeissa. Väite on kuitenkin jo osittain vanhentunut, sillä PSK 6201 standardin viimeisimmässä julkaisussa tuotantolaitteen häiriötilaan saakka ajamisen edullisuutta käsitellään Häiriökorjauksen kustannusvaikutus osiossa. (Järviö, ym. 2011. s.47; PSK 6201. 2011 s.21,25; SFS-EN 13306.2010. s.34)

Kunnossapidon käytänteet näyttävät siis päivittyvän viiveellä standardeihin, joten kattavin lopputulos kunnossapitolajien erittelyssä saadaan muodostamalla synteisiä standardeissa esitetyistä jakotavoista (KUVIO 7 & KUVIO 8). Soveltuvan lajinsa koostetusta joukosta löytävät myös RCM -menetelmän ennakoivat (ennen rikkoontumista tehtävät) ja reagoivat kunnossapitotoimet. (Järviö, ym. 2011. s.48)



KUVIO 7. Kunnossapitolajit (SFS-EN 13306.2010. s.34)



KUVIO 8. Kunnossapitolajit (PSK 7501.2010. s.32)

Karkea jako kunnossapitolajien osalta näyttää tapahtuvan toimien suorittamiseen ennen tai jälkeen vian ilmaantumisen, eli proaktiivisesti tai reaktiivisesti. Aineistoja yhdistelemällä kunnossapidon päälajeiksi voidaan näistä tunnistaa:

- huolto
- ehkäisevä kunnossapito
- korjaava kunnossapito
- parantava kunnossapito
- vikojen ja vikaantumisten selvittäminen.

(Gulati. 2013. s. 50-53; Järviö, ym. 2011. s.49; PSK 6201. 2011. s.21-24; SFS-EN 13306.2010. s.20-24)

### 3.2.1 Huolto

Standarditeksti määrittelee huolloksi sellaiset toimenpiteet, jotka liittyvät kohteiden puhdistamiseen, tarkastamiseen, säätämiseen, suodatinten ja öljyjen vaihtamiseen, sekä rasvauksiin ja muihin vastaaviin töihin. Jaksotetusta huollosta puhutaan silloin, kun huoltoa suoritetaan määrävlein. Määrävänä tekijänä suoritusajankohdille toimivat käyttömäärä tai käyttöaika, huomioiden myös käytön kuormittavuus kohteen rasiusta lisäävänä tai keventävänä tekijänä. (Järviö, ym. 2011. s.50; PSK 6201. 2011. s.22)

Jaksotetun huollon piiriin sisältyvät toimet limittyvät osittain päällekkäin ehkäisevän kunnossapidon tehtävien kanssa. Lisäksi varsinkin ulkomaisissa aineistoissa huollon tehtävät lukeutuvat paljolti kohteen operaattoreiden suorittamaan kunnossapitoon (OBM – Operator-Based Maintenance sekä autonomous maintenance). Viimeksi mainittu lukeutuu muun muassa japanilaisen TPM -kunnossapitofilosofian (Total Productive Maintenance) peruspilareihin, joka kokonaisuutena tähtää käyttöhenkilöstön sitouttamiseen käyttöomaisuuden korkean käytettävyyden tavoittelussa. Onkin esitetty, että 20 % vioista voidaan ehkäistä päivittäisillä, asianmukaisilla tarkastuskäytännöillä silloin, kun kohdetta käytetään muuten oikein. Eli tuntemalla kohteen ominaisuudet säännöllisten huoltorutiinien kautta läpikotaisin, voidaan alkavat viat havaita ennen niiden eskaloitumista suuremmiksi ongelmiksi. Näihin rutiineihin sisältyvät seuraavat jaksotetun huollon tehtävät:

- puhdistus
- voitelu
- kalibrointi
- kohteen operaattoreiden suorittama toimintaedellytysten vaaliminen, eli käyttäjäkunnossapito
- kuluvien komponenttien vaihtaminen
- toimintakyvyn palauttaminen.

(Gulati. 2013. s. 57-61; Järviö, ym. 2011. s.50 & 71; PSK 6201. 2011. s.22; SFS-EN 13306.2010. s.20-22)

### 3.2.2 Ehkäisevä kunnossapito

PSK 6201 esittää ehkäisevän kunnossapidon toimien olevan käyttöominaisuuksien ylläpitoa, heikentyneen toimintakyvyn palauttamista ennen vian syntymistä, sekä vaurioiden syntymisen estämistä kohteessa. Kunnossapidon tehtäviä valitsemalla, voidaan ehkäisevän kunnossapidon keinoin hallita vikaantumisen todennäköisyyttä ja kokonaisuuden toimintakykyä. Ehkäisevän kunnossapidon työnjohdollisen suunnittelun lähtötietoina käytetään analyyseja vikaantumisista. Tätä tietoa jalostetaan seuraamalla kohteen parametreja ja suorituskykyä ei-invasiivisin käynninvalvonnan mittauksin. Suoritettaviksi valitut toimet voidaan tehdä aikataulutetusti, niitä voidaan

suorittaa jatkuvasti, tai ehdollisena tilanteen niin vaatiessa. (Gulati. 2013. s. 52-53; Järviö, ym. 2011. s.50; PSK 6201. 2011. s.22)

Valikoitujen kunnossapitotehtävien vaikuttavuudesta kohteen toimintaan saadaan tietoa muun muassa testaamalla, laajemmilla tarkastuksilla, sekä määräystenmukaisuuteen vertaamalla. Tällaista toimintaa kutsutaan kunnonvalvonnaksi, ja sen tarkoituksena on edellä esitettyjen toimien tuottamien havaintojen avulla paljastaa kohteen toimintakunto, sekä oireilevat viat. Kunnonvalvontaa toteutetaan kohteen käynti- ja/tai seisokkiaikoina. Aivan vähäpätöisestä toiminnasta ei ole kyse, koska aineiston mukaan vioista 25 % on ehkäistävissä suorittamalla kunnonvalvontaa toimivan ennakkohuolto-ohjelma puitteissa. (Järviö, ym. 2011. s.50 & 71; PSK 6201. 2011. s.22; SFS-EN 13306.2010. s.24)

### 3.2.3 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon nimeä tulkiten, ja standardia mukaillen, sen tavoitteet liittyvät kohteen palauttamiseksi takaisin sellaiseen tilaan, jossa se kykenee jälleen suoriutumaan vaaditusta toiminnosta. Kyse on käyttökuntoon palauttamisesta siksi, että itse vikaantuminen sallitaan tapahtuvaksi. Valinta on perusteltu silloin, kun kohteelle ei ole sovellettavissa ehkäisevän kunnossapidon toimia kustannustehokkaasti, eivätkä vikaantumismekanismit itsessään pysty aiheuttamaan ympäristö- tai turvallisuusriskejä (KUVIO 9.) Kunnossapidon mittareiden näkökulmasta kohteen komponenteille voidaan laskea elinaika korjaavan kunnossapidon suoritusajoista johtamalla. (Järviö, ym. 2011. s.49; Moubrey. 1997. s.187 PSK 6201. 2011. s.23; SFS-EN 13306.2010. s.22)



KUVIO 9. Päätöksenteko toimintahäiriöiden tunnistuksessa (Moubray. 1997. s.186)

Korjaava kunnossapito voidaan jakaa suunnittelemattomiin häiriökorjauksiin, suunniteltuihin kunnostuksiin, sekä kuntoon perustuvaan, suunniteltuun korjaukseen. Nämä voivat pitää sisällään seuraavia toimia:

- vian paikallistaminen
- vian tunnistaminen
- vian määrittäminen
- tilapäinen korjaus
- välitön tai siirretty korjaus
- toimintakunnon ja käyttöturvallisuuden palautus.

(Järviö, ym. 2011. s.49; PSK 6201. 2011. s.23; SFS-EN 13306.2010. s.22)



### 3.2.4 Parantava kunnossapito

Standardit määrittävät parantavan kunnossapidon toimenpiteiden tarkoituksiksi kohteen kunnossapidettävyyden, toimintavarmuuden, turvallisuuden ja/tai luotettavuuden parantamisen alkuperäistä toimintoa muuttamatta. On esitetty, että korjaamalla kohteen rakenteita ja komponenttien luotettavuutta, voidaan poistaa 15 % vioista. Toimenpiteet jakautuvat kolmeen pääryhmään vaikutuslaajuutensa mukaan. Ensimmäinen pääryhmä on kohteen alkuperäistä konfiguraatiota vähiten muuttava, koska siinä vaihdetaan alkuperäisiä komponentteja tai osia uudempiin samankaltaisiin, paremmin saatavilla oleviin. Kohteen kokonaissuorituskyky ei näin toimimalla sinänsä muutu. (Järviö, ym. 2011. s.51 & 71; PSK 6201. 2011. s.23; SFS-EN 13306.2010. s.26)

Toisessa pääryhmässä muutoksen vaikuttavuus laajenee komponenttitasolta alikokonaisuuksiin erilaisten uudelleensuunnittelujen ja korjausten myötä. Näiden tarkoituksena on poistaa kohteen alkuperäisestä kokonaisuudesta suunnittelun heikkouksia, ja siten parantaa kohteen luotettavuutta. Toiminnan fokus ei tässäkään ole varsinaisen suorituskyvyn muuttamisessa. (Järviö, ym. 2011. s.51; Moubray. 1997. s.188)

Vaikuttavuudeltaan laajimpaan, kolmanteen pääryhmään lukeutuvat kohteen suorituskykyä muuttavat modernisaatiot. Modernisaatio, eli uudistaminen koskettaa yleensä kohteen lisäksi koko valmistusprosessia. Osiossa 3.1.4 nostettiin esille epäkohta nykyaikaisten tuotantolinjojen, sekä niiltä valmistuvien tuotteiden elinkaarien välisestä paradokseista. Kohteen modernisointi saattaa joissain tapauksissa olla taloudellisesti kannattavampaa, kuin hankkia täysin uusi ja romuttaa vanha. (Järviö, ym. 2011. s.51)

### 3.2.5 Vikojen ja vikaantumisten selvittäminen

Standardeja tutkimalla, sekä yleisimpiä kunnossapitostrategioita tarkastelemalla voidaan huomata vikojen ja vikaantumisten selvittämisen jääneen toistaiseksi vähäiselle painoarvolle. Yhdistelemällä ensiksi mainittujen sisältöjä, niissä tunnistetaan pääsääntöisesti kyllä ennakoivan, ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon rutiinit, mutta vikahistorioiden ja riskianalyysien hyödyntäminen jäävät huomioimatta kunnossapi-

don ohjaamisen työkaluina. Ehkä siksi, ettei tällaisia toimintoja ole perinteisesti mielletty kunnossapitoon kuuluviksi. (Järviö, ym. 2011. s.51; Moubray. 1997. s.171)

Ratkaisemalla vikojen perussyyt ja vikaantumisprosessit, voidaan vastaavien vahinkojen uusiutumisen estämiseksi määrittää ehkäiseviä toimenpiteitä. Analyysien tuottaminen vaatii perehtyneisyyttä käyttökelpoisiin menetelmiin, joten tätä erikoisosaamista kannattaa resursoida vain murto-osaan vikatapauksista. Tavanomaisimmat menetelmät vikojen ja vikaantumisten selvittämiseen ovat:

- vika-, materiaali- ja suunnitteluanalyysit
- mallintaminen
- vikaantumispotentiaalin kartoitus ja riskinhallinta
- perussyyn selvittäminen.

(Gulati. 2013. s. 68-69; Järviö, ym. 2011. s.51)

### 3.3 Kunnossapidon mittarit

Erilaisten tunnuslukujen mittarointi, sekä tulosten tulkinta, ovat modernissa liiketoiminnassa yrityksen elinehto kilpailluilla markkinoilla pärjäämisessä. Tunnusluvut ovat luonteeltaan joko ennustavia tai viiveellisiä. Ensiksi mainittu tarkastelee käynnissä olevaa prosessia, kun taas jälkimmäinen antaa palautteen vasta tarkasteluajankohdan jälkeen. Aikasidonnaisuudestaan huolimatta, tunnuslukujen kehitystrendit mahdollistavat toiminnan johtamisen haluttuun suuntaan. Tuotantolaitoksen tehokkuutta mittaava tunnusluku on kunnossapidon näkökulmasta toteutuneen tuotannon määrä (KUVIO 10). (Gulati. 2013. s. 291; Järviö, ym. 2011. s.51)



KUVIO 10. Tuotantolaitoksen suorituskyky osatekijöineen (Järviö, ym. 2011. s.35)

Koneiden tekninen suorituskyky ja käytön tehokkuus ovat kunnossapidollisen viitekehyyksen ulkopuolisia seikkoja. Kunnossapidon strategioiden valinnat ovat puolestaan suoraan verrannollisia saavutettavaan käytettävyyden arvoon. (Järviö, ym. 2011. s.35; O'Connor, ym. 2012. s.408)

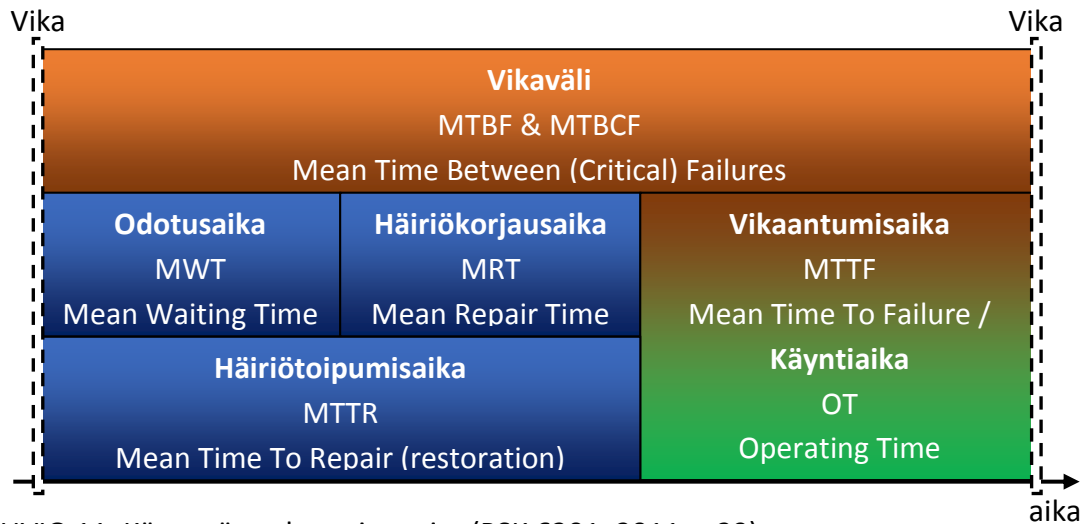
Ennen käytettävyyden, ja muiden kunnossapidon mittareiden lähempää tarkastelua, nostetaan esiin näistä arvoista useimpiin linkittyvä termi - vikaantumisaste. Vikaantumisaste,  $\lambda(t)$  määritellään oletettujen vikaantumisten lukumääräksi määrättyinä tarkastelujaksona,  $t$ . Tarkastelujakson pituus riippuu käytettävästä ennustemallista, joista yleisimmät ovat:

- MIL-HDBK-217F-käsikirjan malli - tarkastelujakso:  $10^6$  h
- Bellcore/Telcordia malli - tarkastelujakso:  $10^9$  h

(Department of Defense. 1991.; ITEM Software, Inc. 2007)

Mikäli ensimmäisen mallin mukaan ilmoitetaan  $\lambda$  lukuarvoksi kaksi, se tarkoittaa, että vikoja voidaan odottaa ilmaantuvaksi kaksi kappaletta miljoonan tunnin jaksoissa. MIL-HDBK-217F-käsikirjan lähempi tarkastelu paljastaa vikaantumisasteen määrittelyn taustalla olevan komponenttikohtaisesti listattuna myös ympäristö- ja kuormitustekijöitä. Useammista komponenteista muodostuvat alirakenteet, ja toisaalta alirakenteista edelleen rakentuvat, kokonaiset järjestelmät saavat laskennallisen arvonsa komponenttien vikaantumisasteiden summasta. (Department of Defense. 1991.; Gulati. 2013. s. 156; ITEM Software, Inc. 2007. s.3; O'Connor, ym. 2012. s.7)

Kunnossapidollisesti vikaantumisaste on lukuarvona siinä mielessä tärkeä, että se on kääntäen verrannollinen keskimääräisen vikaantumisvälin (MTBF) termille niiden kohteiden osalta, joille tehdään häiriökorjausta. Häiriökorjauksen ulkopuolisille kohteille vikaantumisasteesta saadaan johdettua puolestaan keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF). Mainitut kaksi, sekä muita käytettävyyden mitattavia suureita yhteyksineen on esitelty kuviossa 11. (Gulati. 2013. s. 156; ITEM Software, Inc. 2007. s.3; O'Connor, ym. 2012. s.7)



KUVIO 11. Käytettävyyden mittareita (PSK 6201. 2011. s.29)

### 3.3.1 Käytettävyys – Availability

Terminä käytettävyys määritellään standarditeksteissä kohteen kyvyksi olla sellaisessa tilassa, jossa vaadittu toiminto kyetään tarvittaessa suorittamaan tietyissä olosuhteissa, ja sillä oletuksella, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. SFS-EN 13306 kertoo ulkoisista resursseista suoraan lainaten seuraavaa: ”*Vaadittavat ulkoiset resurssit, muut kuin kunnossapidon resurssit, eivät vaikuta kohteen käytettävyyteen, vaikka kohde ei välttämättä ole käyttäjän suhteen käytettävissä.*” Suurena käytettävyys koostuu kuvion 12 tekijöistä. (PSK 6201. 2011. s.5; SFS-EN 13306. 2010. s.12)

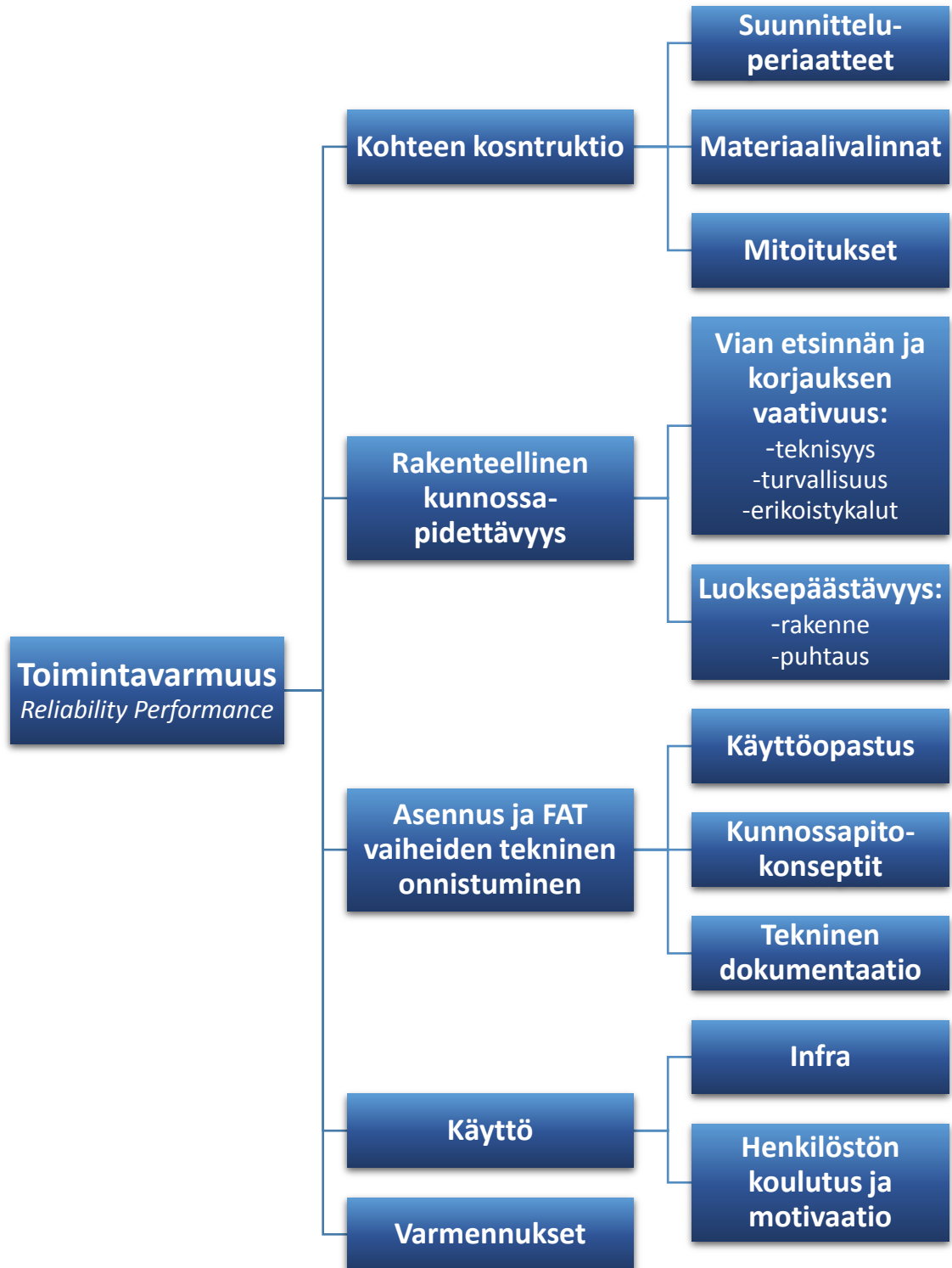


KUVIO 12. Käytettävyyden tekijät (PSK 6201. 2011. s.5)

Avataan seuraavaksi käytettävyyteen vaikuttavien tekijöiden sisältöjä. Tarkoitus on löytää lähdeaineistoista selkokielistä sisältöä laajentamaan standardien määritysten ymmärtämistä.

**Toimintavarmuus:**

Toimintavarmuus tarkoittaa käytettävyyden standarditekstistä irrotettuna osana kohteen ominaisuuksien muodostamaa kykyä vaaditun toiminnon suorittamiseksi vaaditun ajanjakson verran, ja määrättyissä olosuhteissa. Toimintavarmuuteen vaikuttavia seikkoja on eritelty kuviossa 13. (PSK 6201. 2011. s.7; SFS-EN 13306. 2010. s.12)

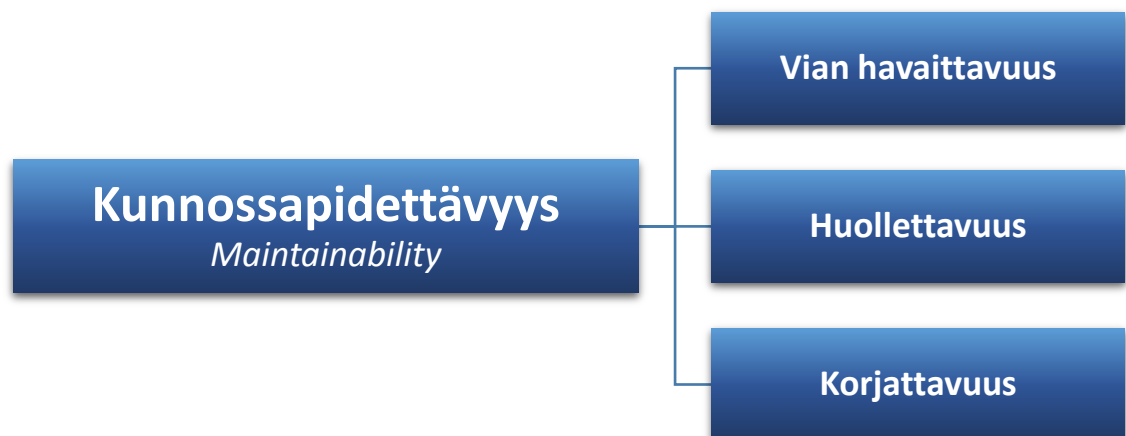


KUVIO 13. Toimintavarmuuden tekijät (Gulati. 2013. s. 157; Järviö, ym. 2011. s.36)

Toimintavarmuuden mittarina käytetään vikavälin arvoa. Lisäksi toimintavarmuus on määriteltävissä myös todennäköisyytenä. (Gulati. 2013. s. 157; Järviö, ym. 2011. s.36)

### **Kunnossapidettävyyys:**

Kunnossapidettävyyys on määritelty standardeissa eräänlaiseksi haarniskaksi toimintavarmuuden ympärille. Sillä tarkoitetaan kohteen kykyä olla ylläpidettävissä tai palautettavissa tilaan, jossa vaadittu toiminto voidaan suorittaa määritellyissä käyttöolosuhteissa silloin, kun kunnossapidon käytettävissä on suorittamiseen vaaditut menetelmät ja resurssit, kunnossapidolle määritellyissä olosuhteissa. PSK 7501 mukaan keskimääräinen korjausaika, eli häiriötoipumisaika, mittaa kohteen kunnossapidettävyyttä. Pienempi häiriötoipumisaika on verrannollinen kohteen parempaan, eli toisin sanoin helpompaan kunnossapidettävyyteen. Siihen vaikuttavia elementtejä ovat PSK 6201 listauksen mukaan: kunnossapidettävyyden todentaminen, luoksepäästävyys, vaihdettavuus, testattavuus, itsediagnostiikka, huollettavuus ja vian paikannettavuus. Järviö tekee jaon helpommin ymmärrettäviin kokonaisuuksiin, jotka ovat havainnollistettuna kuviossa 14. (Gulati. 2013. s. 158; Järviö, ym. 2011. s.37; PSK 6201. 2011. s.8; PSK 7501. 2010. s.29; SFS-EN 13306. 2010. s.12)



KUVIO 14. Kunnossapidettävyyden tekijät (Järviö, ym. 2011. s.37)

Vian havaittavuus on perustoimintoja tehokkaalle kunnossapidolle. TPM -menetelmä tavoittelee kohteen käyttäjien sitouttamista vikojen havainnointiin, kuten osiossa 3.2.1 esitetään. RCM -menetelmässä tätä toimintoa nimitetään termillä FF (Failure Finding). Vikojen havaitsemista voidaan toteuttaa erilaisilla käytön ja toiminnan testauksilla, kohteen sisäänrakennetuilla BIT -itsediagnostiikkajärjestelmillä (Built-in

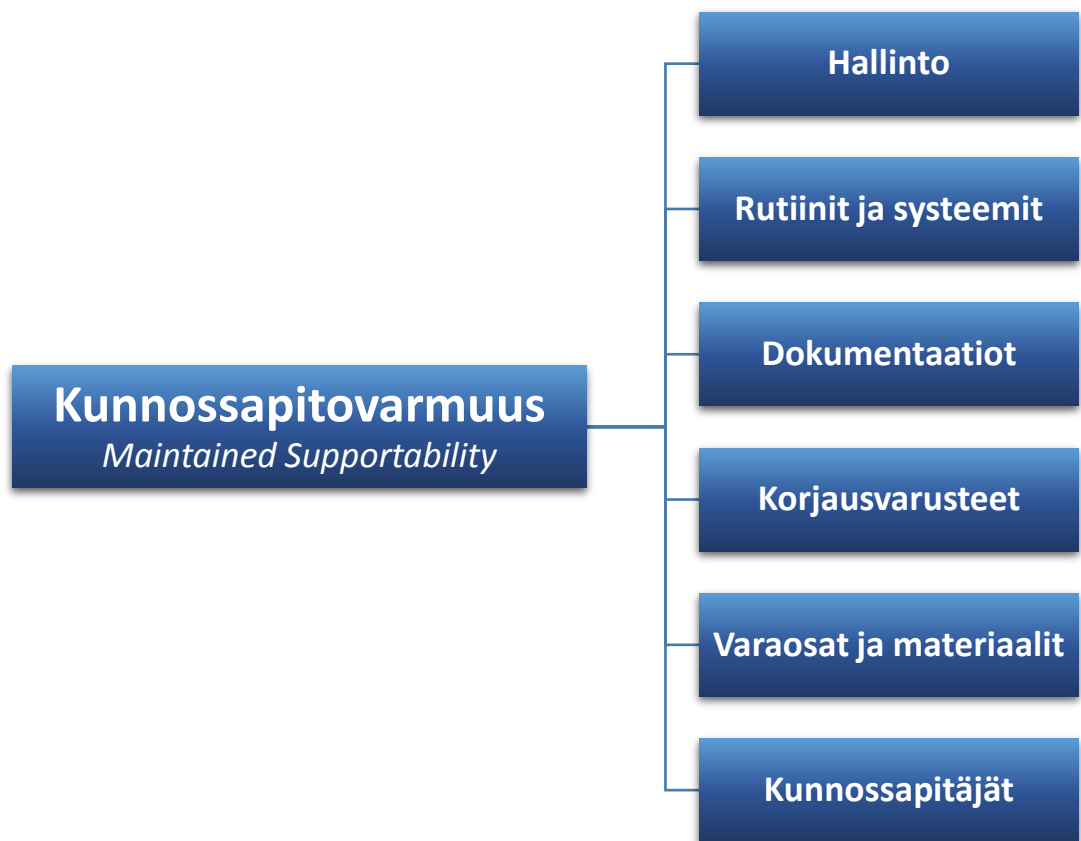
Test), sekä käyttöhenkilöstön proaktiivisella kunnonvalvontatoiminnalla. (Järviö, ym. 2011. s.37; O'Connor, ym. 2012. s.416-418)

Kohteen huollettavuuden puolesta on eniten tehtävissä suunnitteluvaiheessa. Valitsemalla standardisoituja komponentteja, varsinkin COTS, saadaan varaosien toimitusvarmuuteen joustavuutta, jolloin myös varaosien varastointitarve kevenee. Kun laite suunnitellaan lisäksi modulaariseksi, helpotetaan myös komponenttien vaihtoa, sekä mahdollistetaan vaikeiden asetusten ja säätöjen tekeminen usein jo ennen vaihto-osien toimitusta kunnossapidetäviin kohteeseen. Kunnossapidettävän kohteen ominaisuuksina kunnossapidon helppouteen vaikuttavat vielä luoksepäästävyys, sekä prosessin materiaalivirtojen reititettävyyden. Huomionarvoisesti itse kohde voi olla suunniteltu helppohoitaiseksi, mutta luoksepäästävyys esteiksi saattaa ajan kuluessa kertyä esimerkiksi likaa ja erilaisia väli- ja rojuvarastoja. (Järviö, ym. 2011. s.37-38; PSK 6201. 2011. s.8)

Korjattavuus on kohteen suunniteltujen ominaisuuksien, tukevan kunnossapitoorganisaation kyvyn, sekä kunnossapidon logistiikkapalveluiden summa. Siihen vaikuttavat kohteen luoksepäästävyys ja sen vaatimien valmistelujen - kuten purkamisen, puhdistamisen ja suojaerotusten määrä ennen korjaustoimenpiteitä, ajantasaisen ja oikeankielisen dokumentaation saatavuus, materiaalien, erikoistyökalujen ja varaosien logistiikkaketjun oikeaan aikaan oikeassa paikassa -varmuus, osallistuvan henkilöstön koulutus ja pätevydet, sekä kokoamisen, säätämisen ja testauksen vaatimus. Myös työturvallisuuden kohdekohtaisilla tekijöillä, kuten mastotyö, voi olla viiveitä aiheuttavia erikoisvaatimuksia korjauskohteessa. Hallinnollisesti korjattavuuteen vaikutetaan vielä raportoinnin ohjeistuksella ja dokumentaation päivityksillä, unohtamatta myöskään kerätyn datan ja kokemusten pohjalta tehtävää toimenpiteiden kehitystyötä. (Järviö, ym. 2011. s.38)

### Kunnossapitovarmuus:

Kunnossapitovarmuus kuvastaa kunnossapito-organisaation kykyä oikeiden tukitoimenpiteiden käyttöönsä asettamiseksi tarvittavassa paikassa, jotta vaaditut kunnossapitotoimenpiteet voidaan suorittaa tehokkaasti määrätyissä olosuhteissa, ja vaaditussa ajanhetkessä tai -jaksossa. Määrätyillä olosuhteilla viitataan sekä itse kohteeseen, että niihin paikkoihin, joissa kohdetta kunnossapidetään ja käytetään. Kunnossapitovarmuuden tekijät on esitelty kuviossa 15. (PSK 6201. 2011. s.7; SFS-EN 13306. 2010. s.10)



KUVIO 15. Kunnossapitovarmuuden tekijät (Järviö, ym. 2011. s.38)

Esitellyistä tekijöistä hallintoon kuuluvat organisaatio, sen avainhenkilöt sekä toiminnanohjausjärjestelmät mittareineen. Rutiinit ja systeemit rakentuvat selkeistä, jatkuvasti kehitettävistä parhaiden käytänteiden toimintaohjeista, kunnossapidon ja käytön välisestä kommunikoinnista ja yhteistyöstä, sekä laitevalmistajiin ja toimittajiin ylläpidettävästä, toimivasta yhteistyöstä. Dokumentaatiot pitävät sisällään ohjeistukset, niiden ylläpidon sisällön ajantasaisuuden ja oikeellisuuden laadunvalvomiseksi, sekä vertailukelpoiset vikahistoriat kunnossapidon kehittämisen lähtötiedoiksi. Korjausvarusteiksi lasketaan puolestaan omat työkalut, työlle varattavat erikoistyökalut



ja apulaitteet, sekä näiden saatavuus. Varaosat ja materiaalit linkittyvät kunnossapitovarmuuteen niiden saatavuuteen, hankintaan ja varastointiin liittyvien, työläiden ja kalliiden toimien kautta. Viimeiseksi, joskin ehkä tärkeimmäksi lenkiksi esitellystä ketjusta jäävät kunnossapitäjät. Motivoitunut ja asiakaspalveluhenkinen kunnossapitäjä, jonka tietojen ja taitojen ylläpitämisestä ja kehittämisestä huolehditaan, on yrityksen näkyvin käyntikortti - myös sisäisessä asiakkuudessa. Osaavia käsipareja on oltava oikeaan aikaan oikeassa paikassa myös riittävän monia, joten kunnossapitoorganisaation on pidettävä kunnossa myös oma henkilöstönsä. (Järviö, ym. 2011. s.38)

### **Käytettävyys empiirisenä mallina:**

Nyt kun ymmärrämme käytettävyyden taustalla vaikuttavia tekijöitä, on aika esitellä tälle kunnossapidon mittarille laskennallisia tuloksia tuottava malli. Matematiikan näkökulmasta, käytettävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat yksinkertaisimmillaan vain käyntiaika ja seisokkiaika. Näihin kumuloitavaksi katsotuista jaksoista repeävät sitten eri muodossa ilmoitettujen käytettävyyssarvojen keskinäiset erot. Laittevalmistaja ilmoittaa kohteen käytettävyyden yleensä inherenttinä käytettävyytenä ( $A_i$ ).

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Käyntiaika} + \text{Seisokkiaika}}$$

(Gulati. 2013. s. 158; PSK 7501. 2010. s.7)

Inherentti tarkoittaa kohteessa luonnostaan esiintyvää piirrettä tai ominaisuutta, jolloin - kohteen suorituskyvyn vaalimisen luontaisena osana - käyntiaikaan luetaan kuuluvaksi myös ehkäisevän kunnossapidon vaatima aika. Mallissa seisokkijaksi lasketaan ainoastaan korjaavan kunnossapidon häiriötoipumisaika. Kun seisokkiaikaan summataan ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon vaatima aika, saadaan yllä olevasta lausekkeesta tulokseksi kohteen saavutettu käytettävyys ( $A_a$  - Achieved Availability). Alla olevassa yhtälössä osoittajana on keskimääräinen aika kunnossapitotoimenpiteiden välillä (Mean Time Between Maintenance Actions). Nimittäjässä edelliseen summataan keskimääräinen kunnossapitotoimenpiteen vaatima aika.

$$A_a = \frac{MTBMA}{MTBMA + MMT}$$

(Gulati. 2013. s. 158; O'Connor, ym. 2012. s.409)

Todellisuudessa kohteen saavuttama käytettävyys jää molempia edellä esitettyjä matalammaksi. Kun kunnossapidon seisokkiaikoihin lisätään vielä kaikki viiveet - hallinnolliset tai logistiset, tiedonkeruun ja olosuhteiden vaatimat, sekä materiaali-, henkilöstö- ja työkalupuutosten aiheuttamat - saadaan yhtälöstä kohteen operatiivinen käytettävyys ( $A_o$ ). Tässä nimittäjän summatermi on muuttunut keskimääräiseksi kunnossapitoseisokin kestoksi (MDT - Mean Maintenance Downtime).

$$A_o = \frac{MTBMA}{MTBMA + MDT}$$

(Gulati. 2013. s. 158; O'Connor, ym. 2012. s.410)

Termien MTBMA, MMT ja MDT matemaattinen yhteys muihin kunnossapidon suuriin löytyy tutkimalla vikaantumisastetta,  $\lambda$ , ja ehkäisevän kunnossapidon suoritusastetta,  $f_{pm}$ , joka on ehkäisevän kunnossapidon suoritusyökin käänteisluku. Mitattavana terminä mukaan nousee vielä keskimääräinen ehkäisevän kunnossapitotoimenpiteen aika (MPMT - Mean Preventive Maintenance Time).

$$MTBMA = \frac{1}{\lambda + f_{pm}}$$

$$MMT = \frac{\lambda MTTR + f_{pm} MPMT}{\lambda + f_{pm}}$$

$$MDT = MMT + \text{aikaviiveet}$$

(O'Connor, ym. 2012. s.410)

Käytettävyyden arvo, kuten yhtälöistä voi tulkita, ilmaisee kohteen käytettävissä olon suhdetta epäkäytettävissä oloon. Laajan tuotantolaitosotannan keskimääräiseksi käytettävyysarvoksi annetaan aineistossa noin 95 %. Selkokielellä tällaiset kohteet ovat 9,5 h ajan käytettävissä jokaisessa 10 h jaksossa. (Gulati. 2013. s. 160)

### 3.3.2 Keskimääräinen vikaväli - MTBF

Keskimääräinen vikaväli (MTBF) on käyttövarmuuden perusmääreitä korjattaville kohteille. Luonteeltaan kertakäyttöisille kohteille vastaava määre on vikaantumisaika (MTTF). MTBF määrittää keskimääräisen ajan komponentin, alirakenteen tai kokonaisen järjestelmän vikaantumiselle. MTBF -arvoa käytetään yleisesti käyttövarmuusanalyysin lisäksi myös kohteen kunnossapidettävyyttä arvioitaessa. Osiossa 3.3 kerrottiin MTBF -arvon olevan johdettavissa vikaantumisasteesta. Näiden keskinäinen suhde on esitettyä alapuolella.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

(Gulati. 2013. s. 156; ITEM Software, Inc. 2007.)

Mikäli lambda tilalle sijoitettaisiin esimerkiksi 2 (vikaa) / 10<sup>6</sup> h, saadaan lausekkeesta vastaukseksi:

$$MTBF = \frac{1}{2/10^6 h} = 500\,000\,h$$

Työssä käsiteltävän järjestelmän käytettävyyden osalta mielenkiintoisempaa on kuitenkin käsitellä käytettävyysskatkon aiheuttavia, kriittisiä vikoja. Kriittisten vikaantumisten esiintymisvälin pidentämiseksi sovellettavia keinoja ovat alirakenteiden monistaminen, ylirajoittaminen sekä toiminnallisuuksien uudelleenjärjestely, eli reititys eri suoritusyksikköihin. Tässä työssä keskimääräistä kriittisen vikaantumisen väliä nimitetään lyhenteellä MTBCF. (Department of Defense. 1991.)

### 3.3.3 Keskimääräinen häiriötoipumisaika - MTTR

Lähteestä riippuen, on keskimääräinen häiriötoipumisaika esitetty joko muodossa Mean Time To Repair tai Mean Time To Restoration. Käyttövarmuuden näkökulmasta tämä suure pitää sisällään ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon korjaustyöt, mutta joissain lähteissä tähän lisätään myös kunnossapidon odotusaika (varaosalogistiikka, kunnossapidon henkilöstöresurssit ja niin edelleen). Joka tapauksessa mukaan lasketaan kohteen alasajosta, tai vikaantumisesta alkava, ja korjauksen valmistumiseen päättyvä ajanjakso. Keskimääräinen toipumisaika (MTTR) on näiden jaksojen keskiarvo. Se saadaan laskettua, kun kaikkiin korjauksiin kulunut, yhteenlaskettu aika jaetaan korjauskertojen lukumäärällä. Alla on esitettyä vielä keskimääräisen toipumisajan, keskimääräisen vikaantumisvälin ja keskimääräisen vikaantumisajan (MTTF) välinen suhde. (ITEM Software, Inc. 2007. s.4; PSK 6201. 2011. s.29)

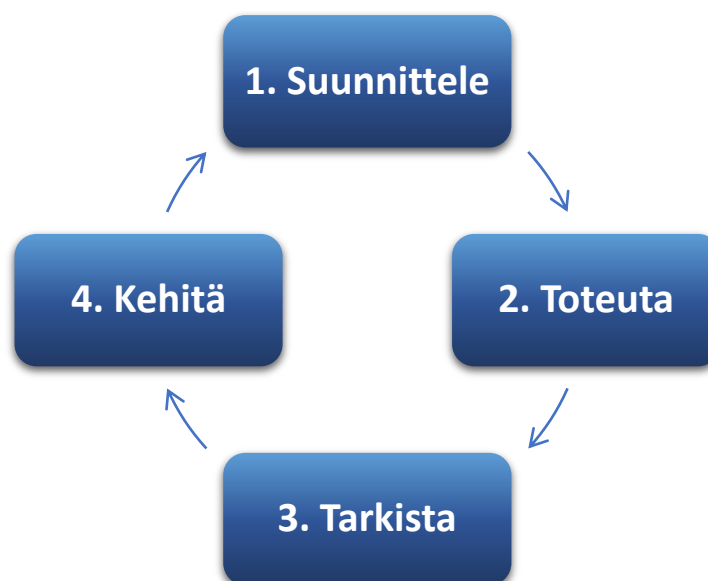
$$MTBF = MTTF + MTTR$$

MTTR -suureen haasteena on keskimääräisen ajan suhde tavallista pienempien tai tavallista suurempien korjausten yhteydessä. Kohteen vikahistorian kertyessä, kasvaa samalla MTTR -arvon luotettavuus kirjauskertojen riittävän kumuloitumisen myötä.

### 3.4 Laatuajattelun muovautuminen osaksi tavoitteellista kunnossapitoa

Pohdittaessa hyödykkeiden ja palveluiden tuottamista ohjaavia tekijöitä, tulee kannattavuus mieleen ensimmäisten joukossa. Länsimaisissa kulttuureissa vaatimus korkeasta kannattavuudesta koskettaa yhtä lailla yksityistä ja julkista sektoria. Siinä missä yksityisen sektorin yrityksiin pääomaa sijoittaneet vaativat sijoituksilleen parhaan mahdollisen tuoton, pyritään julkisella puolella tuottamaan palveluita entistä tehokkaammin ja pienemmällä resurssilla. Molemmissa tapauksissa summalausekkeen tulokselle toimii synonyyminä siis tehokkuus.

Laatuajattelun ja erilaisten laatujärjestelmien näkökulmasta toiminta on tehokasta silloin, kun se on järjestelmällistä, dokumentoitua ja suorittavalla joukolla on kyky oppia virheistä, eli mukautua. Mainituista viimeinen kiteyttää laatuajattelun oleellimmän sisällön: jatkuva parantaminen. Yrityksille ja yhteisöille - olivatpa ne sitten yksityisiä tai julkisia, tämä tarkoittaa toiminnan jatkuvaan kehittämiseen systemaattisesti pyrkivää ohjausjärjestelmää, sekä todennettavissa oleviin määreisiin pohjautuvan mittariston rakentamista ohjausjärjestelmän takaisinkytkennäksi. Menetelmän sisäistämisen helpottamiseksi se voidaan esittää kuvion 16 Demingin ympyrän muodossa, jota kutsutaan myös PDCA -sykliksi (Plan - suunnittele, Do - toteuta, Check - tarkista, Act - kehitä; tunnettu myös PDSA -syklinä, jossa Check = Study). (Deming. 2016.; Juran, ym. 2010. s.198-199; Smith, ym. 2004. s.189)

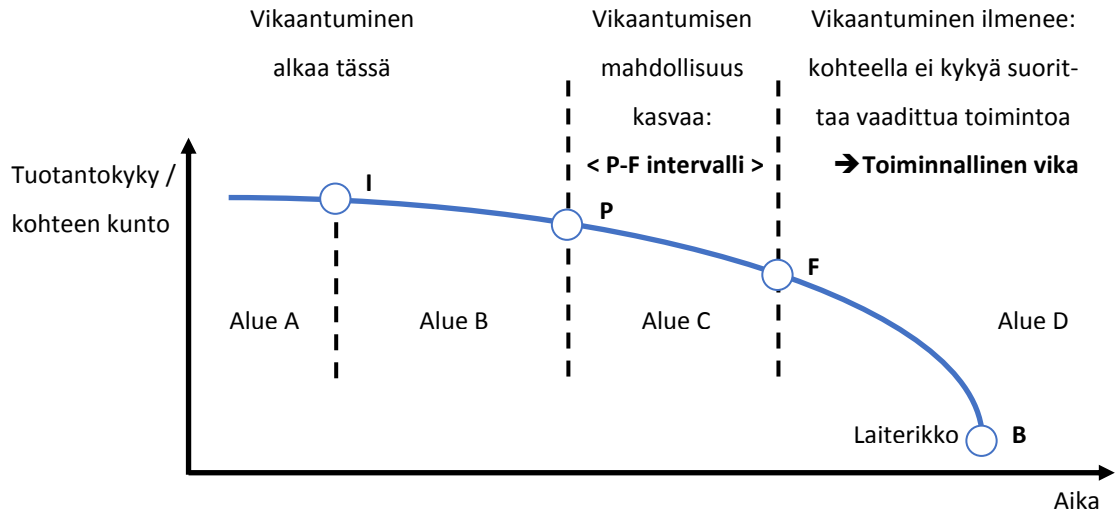


KUVIO 16. Demingin ympyrä (Smith, ym. 2004. s.189)

## 4. Toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito - RCM

Kohdekohtaisten kunnossapitokonseptien laadinnassa haastavinta on perinteisesti ollut ehkäisevän kunnossapito-ohjelman suunnittelu. Saatetaan ajatella, että ehkäisevän kunnossapidon tärkein tavoite on käyttöpääoman vaaliminen, jota tavoitellaan yhdistämällä aikaisempia kokemuksia laitevalmistajien huolto-ohjeisiin. Pintapuolisesti tarkasteltuna päämäärä vaikuttaa tavoittelun arvoiselta, mutta syvempi analyysi paljastaa näin rakennetun kunnossapitokonseptin usein turhan konservatiiviseksi - vallankin ehkäisevän kunnossapidon toimien määrässä ja suoritussykleissä. Väitteen tueksi RCM -menetelmän kehittäjänä ja asiantuntijana tunnettu John Moubray esittää, että mainitun kaltaisten kunnossapitokonseptien syklisen rutiinin toimista voidaan poistaa peräti 40 % -70 %:a soveltamalla RCM -menetelmää asianmukaisesti. Kunnossapidon taloudellinen tehokkuus paranee jättämällä tarpeettomat kunnossapidon toimet tekemättä pelkästään varmuuden vuoksi, tai koska näin on aina tehty. Samalla supistuu myös kunnossapidon inhimillisten erheiden tapahtumisen todennäköisyys töissä, joissa vikojen ehkäisyyn sijasta niiden kehittymistä tullaankin vahingossa jouduttaneeksi. (Gulati. 2013. s.220-225; Moubray. 1997. s.19)

Kuinka viat sitten syntyvät ja kehittyvät? Vikaantumisen mekanismia ajan ja tuotantokyvyn suhteen on avattu kuviossa 17. Alueella A kohde toimii hyvin, kunnes sen päätteeksi, kohdassa I (failure Initiates), vikaantuminen saa alkunsa - esimerkiksi materiaalivirheen, inhimillisen erheen tai voitelupuutteen vuoksi. Tässä vaiheessa virhe voi olla vielä pieni murtuma rakenteessa, partikkeli voiteluaineessa, tai jokin muu heikosti huomattavissa oleva ongelma. Alueen B aikana tuo ongelma alkaa nopeasti eskaloitua, ja muuttuu mahdolliseksi vikaantumiseksi kohdassa P (Potential failure). Alueen C päätteeksi, kohteen kyky suorittaa vaadittua toimintoa lakkaa kohdassa F (Functional failure) toiminnalliseen vikaantumiseen. Kohteen käyttöä voi olla edelleen mahdollista jatkaa alueen D rajoittuneen tuotantokyvyn tai toiminnallisuuden tilassa, kunnes kohde lopulta pysähtyy rikkoontumiseen kohdassa B (equipment Broken). (Gulati. 2013. s.224)



KUVIO 17. Vikojen syntyminen (Gulati. 2013. s.224)

Mahdollisen ja toiminnallisen vikaantumisen välistä aikaikkunaa kutsutaan P-F intervalliksi. Vikaantumisten tunnistaminen, sekä niiden korjaaminen ajallaan, olisi teoriassa mahdollista ajoittamalla ehkäisevän ja/tai kuntoon perustuvan kunnossapidon toimenpiteiden suorituskerrojen väli P-F intervallia lyhyemmäksi. Tämä on kuitenkin käytännössä mahdotonta, koska pisteiden P ja F sijainnit aika-akselilla ovat kaikkea muuta kuin muuttumattomia. Ilmaantumishetkeen vaikuttavat käyttöajan lisäksi myös vikaantumisten laatu ja olosuhdetekijät. RCM -menetelmän mukaisesti oleellista on tuntea prosessit ja laitteet sellaisella tasolla, että osataan identifioida kohteiden vikaantumistavat, sekä näiden vikaantumisten aiheuttamat vaikutukset toisissa komponenteissa ja kohteelta vaaditun toiminnon suorittamisessa. Tällä tavoin on mahdollista listata laitteet vikaantumisten seurausten vakavuuden mukaiseen järjestykseen, ja aloittaa kohteen kunnossapitokonseptin uudelleenlaadinta kriittisimmistä kokonaisuuksista alkaen. Korkeimpaan prioriteetti luokkaan lukeutuvat ympäristö- tai henkilöturvallisuusriskin, sekä tuotannon seisahtumisen aiheuttavien komponenttien kunnossapidollisten keinojen suunnittelu. Näin estetään riskitilanteiden muodostuminen jo ennen vikaantumisten syntymistä. Ei-kriittisten komponenttien osalta voidaan puolestaan pohtia, millaisten kunnossapidollisten toimien on ylipäänsä kannattavaa, kuten tehtiin osion 3.2.3 kuviossa 9. (Gulati. 2013. s.225; Järviö, ym. 2011. s.124; SFS-IEC 60300-3-11. 2001. s.9)

#### 4.1 RCM -menetelmän historia

RCM -menetelmän periaatteet päiväytyvät 1950-luvulle, mutta sen varsinaisen muotoutumisen katsotaan alkaneen 1960-luvulla. Tuolloin Yhdysvaltojen ilmailuvirasto, FAA (Federal Aviation Agency), päätti ryhtyä parantamaan siviililentokoneiden luotettavuutta ja turvallisuutta. Perustettiin lentokoneisiin sovellettavaa ennakoivaa kunnossapitoa kehittävä työryhmä, jota vetivät F. S. Nolan ja H. Heap. Ryhmä huomasi perusteellisissa testeissään, ettei ennakoivan kunnossapidon syklisellä suorittamisella juuri ollut vaikutusta luotettavuuden suhteen monimutkaisissa laitteissa, mikäli laitteen hallitsevien tai selvästi tunnistettavien vikaantumistapojen lukumäärä oli enemmän kuin yksi. Edelleen havaittiin, tutkimuksen viitekehysten mukaisesti, lentokoneiden koostuvan useasta sellaisesta komponentista, joihin toimivaa ja tehokasta ennakoivan kunnossapidon ohjelmaa ei ollut olemassa. Observaatioita seurasi seuraavaksi tutkimus lentokoneista löytyvien vikaantumismallien tunnistamiseksi. Työryhmä löysi tutkimuksen tuloksena osion 3.1.3 kuviossa 6 esitetyt, kuusi vikaantumismallia. Malleista kolme eivät ole aikariippuvaisia, joten kunnossapidon vanhat oletukset menivät ehkäisevän kunnossapidon osalta tässä vaiheessa uusiksi. (Härkönen, T. 2012.; Järviö, ym. 2011. s.124)

Vuonna 1967 julkaistiin Boeing 747-100 lentokoneen kunnossapito-ohjelman käsittävä toimintaohje MSG1 (Maintenance Steering Group). Koska tätä ensimmäistä uusien menetelmien toimintaohjetta pidettiin yleisesti periaatteiltaan onnistuneena, ryhdyttiin kehittämään seuraavan sukupolven ohjetta MSG2. Ohjetta sovellettiin nyt laajemman konekannan kunnossapito-ohjeissa. Mukana olivat tällä kertaa muiden muassa Suomessakin käytössä ollut Douglas DC-10, sekä MD-80/90, Boeing 757 / 777 ja muutamat Yhdysvaltain puolustusministeriön sotilaskoneet. Toimintaohjeen viimeisin päivitys, MSG3, kattaa kaupallisista lentokonemalleista suurimman osan. (Gulati. 2013. s.226; Järviö, ym. 2011. s.125)

Vuonna 1974 United Airlines -lentoyhtiö sai yhteydenoton Yhdysvaltain puolustusministeriöltä, jossa sitä pyydettiin valmistamaan raportti siviililentokoneiden huolto-ohjelmien suunnittelun suuntaviivoista. Seuraavana vuonna 1975, puolustusministeriö määräsi, että MSG -toimintaohjeisiin perustuva, Reliability-Centered Maintenance



(RCM) -otsikon alla kulkeva toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito-ohjelma saateen käyttöön kaikissa merkittävissä sotilasjärjestelmissä. United Airlinesin ja Yhdysvaltain puolustusministeriön sopimus tuotti lopulta RCM -metodien kantaoppaan vuonna 1978. Tätä ja MSG3 dokumentteja voidaan pitää nykyisen toimintavarmuuskeskeisen kunnossapitomenetelmän perustana. Aihetta käsitellään myös lukuisissa standardeissa, joista esimerkkeinä SFS-IEC 60300-3-11 ja MIL-STD-2173. (Gulati. 2013. s.227; Järviö, ym. 2011. s.125; MIL-STD-2173. 1986; SFS-IEC 60300-3-11. 2001. s.9)

RCM -menetelmän kehittyminen on ollut jo yli 40 vuotta kestävä, evolutionaarinen prosessi. Tänä aikana sen soveltamista on laajennettu lentävästä ja sotilaallisesta kalustosta energiasektorille, erityisesti ydinvoimaloihin, sekä öljynjalostukseen. Menetelmän tunnettuutta on parantanut muun muassa Nolanin ja Heapin projektiin osallistunut, englantilainen John Moubray, joka sovelsi RCM -metodit teollisuuden tarpeisiin. Moubrayn menetelmää nimitetään toisinaan termillä RCM2. Viime aikojen johtavia RCM -tietoisuuden lisääjiä ovat olleet Jack Nicholas ja Anthony (Mac) Smith. Näistä jälkimmäinen on tunnettu RCM -menetelmälle määrittelemistään suoritusaskeleista. (Gulati. 2013. s.227; Järviö, ym. 2011. s.125)

## 4.2 RCM prosessina

RCM prosessi auttaa määrittämään sellaiset tarpeelliset toimet, jotka mahdollistavat minkä tahansa koneen tai tuotantovälineen kyvyn suorittaa siltä vaadittua toimintoa vallitsevassa toimintaympäristössään. Toimet eivät välttämättä aina tähtää itse vikaantumisten estämiseen, vaan suurempi painoarvo on vikojen seurausten hallinnalla. Moubray kiteyttää kohde- ja laitekohtaisesti tehtävän määrittelyn seuraaviin seitsemään, RCM prosessiin liittyvään kysymykseen:

- mitkä ovat kohteelta vaaditut toiminnot ja niihin liittyvät suorituskykystandardit vallitsevassa toimintaympäristössä?
- mitkä kohteen toiminnalliset tavoitteet jäävät täyttymättä laitehäiriössä?
- mikä aiheuttaa kunkin toiminnallisen vian?
- mitä tapahtuu kunkin vian ilmaantuessa?
- millaisia seurauksia kullakin vikaantumisella on?

- mitä on tehtävissä kunkin vikaantumisen ennakoimiseksi ja ehkäisemiseksi?
- miten pitäisi toimia, jos ei löydetä käyttökelpoista ehkäisevää toimenpidettä?

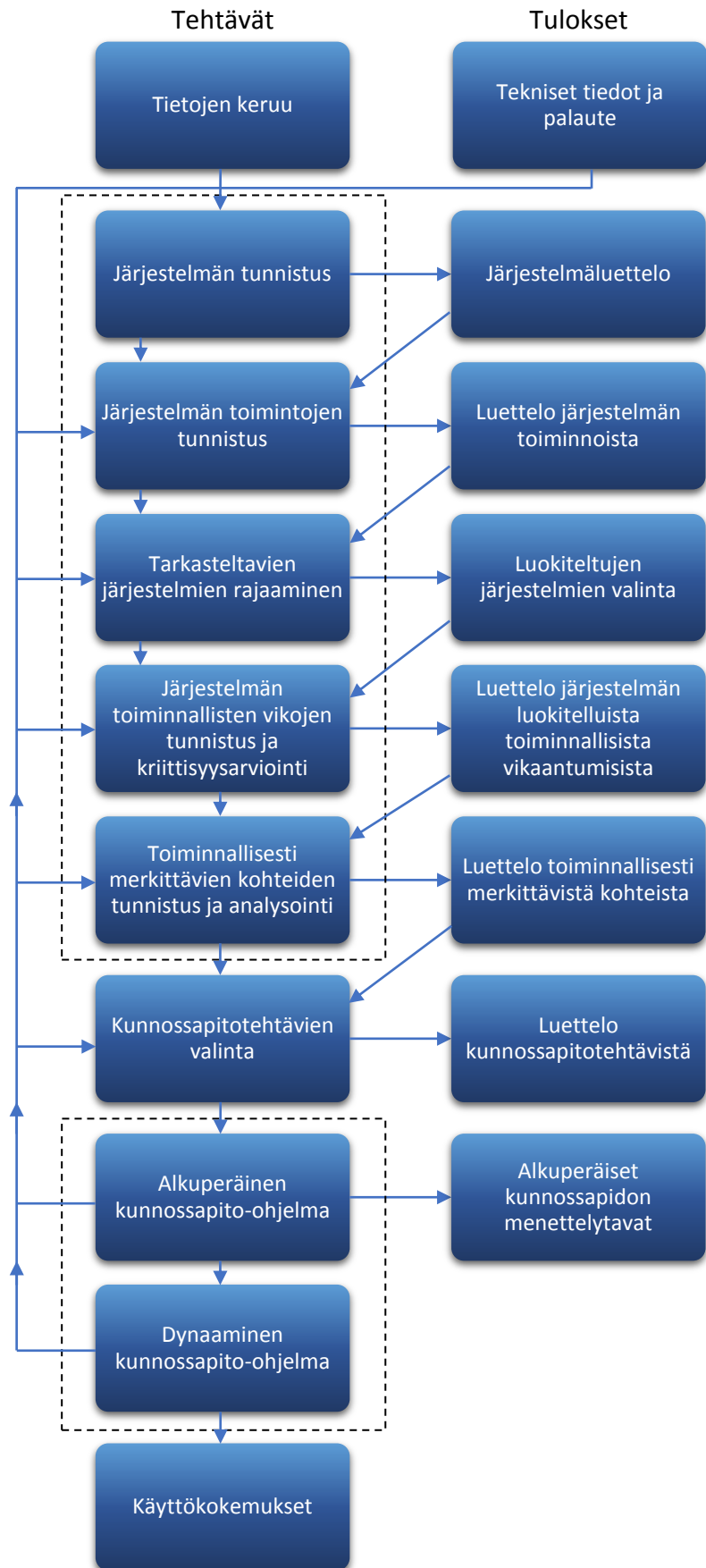
(Järviö, ym. 2011. s.127; Moubray. 1997. s.7)

Kysymyspatteristosta neljän ensimmäisen vastaukset osoittavat kohteisiin, johonka kunnossapitotoimet tulee keskittää, ja kysymyksistä viides priorisoi ne. Tehokkaimmat toimintamallit vikaantumisten ja vikojen vaikutusten hallintaan saadaan etsittyä kahden viimeisen kysymyksen avulla. Seuraamalla Smithin suoritusaskelmia, joita myös standardi SFS-IEC 60300-3-11 mukailee, ja Gulati laajentaa, voidaan löytää vastaukset Moubrayn esittämiin kysymyksiin. RCM prosessin suoritusaskelmien tehtävät ja tulokset on esitettyä kuviossa 18. Niistä voidaan erotella seuraavat vaiheet:

1. tarkasteltavan järjestelmän valinta ja lähtötietojen keräys
2. tarkasteltavan järjestelmän ja/tai osajärjestelmän rajojen määrittäminen
3. tarkasteltavan järjestelmän kuvaus ja mallinnus toiminnallisina lohkokaavioina
4. tarkasteltavan järjestelmän ja/tai osajärjestelmän toimintojen ja toiminnallisten vikojen selvittäminen
5. vika- ja vaikutusanalyysi, FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
6. kohdekohtainen päätöslogiikkapuuanalyysi vikaantumisten kategorisointiin
7. soveltuvien kunnossapitotehtävien valinta
8. kunnossapitotehtävien paketointi ja implementointi kunnossapito-ohjelmaksi
9. kunnossapito-ohjelman säilytys dynaamisena toiminnan jatkuvan parantamisen menetelmin.

(Gulati. 2013. s.229-230; Järviö, ym. 2011. s.121; SFS-IEC 60300-3-11. 2001. s.8;

Smith, ym. 2004. s.71-72)



KUVIO 18. RCM prosessin tehtävät ja tulokset (SFS-IEC 60300-3-11. 2001. s.24)

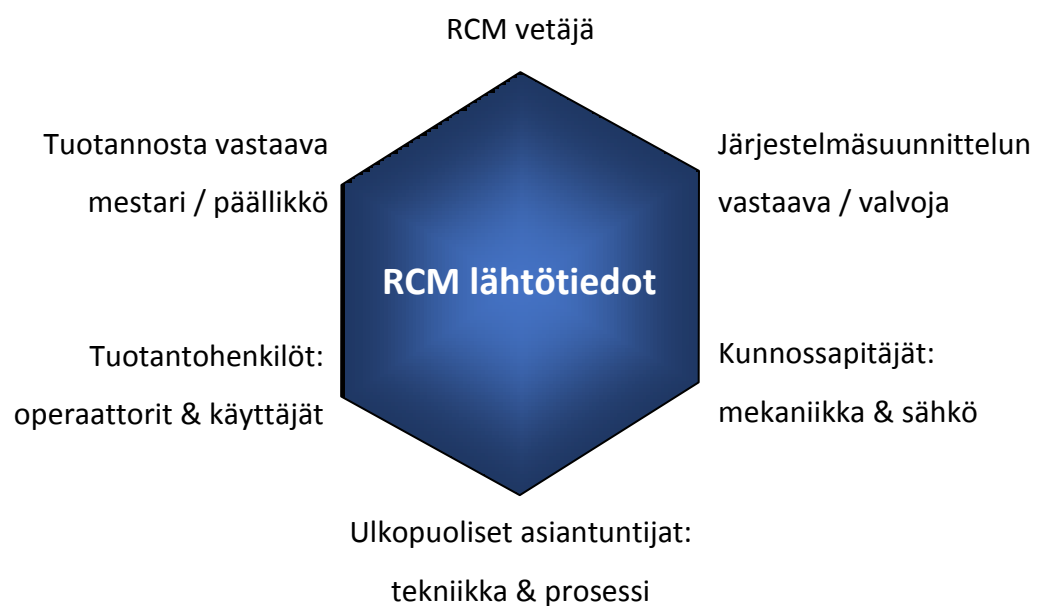
#### 4.2.1 Askel - järjestelmän valinta ja lähtötietojen keräys

Ensimmäisen askeleen aikana RCM -prosessia varten muodostettu ryhmä hankkii riittävät lähtötiedot tarkasteltavan järjestelmän analysoinnin suorittamiseksi. Prosessin edetessä käytössä on hyvä olla järjestelmän kaaviot, putkisto- ja instrumentointikaaviot, valmistajan käsikirjat, järjestelmän tekniset tiedot ja järjestelmäkuvaukset, sekä käyttöohjeet ja kunnossapitohistoria. Prosessin käynnistyessä, osallistuvan ryhmän on olennaisen tärkeää kyetä arvioimaan riittävän yksilöivällä tasolla tuotantolaitoksen tai kohteen suurimmat ongelmien aiheuttajat. Kelvollinen jako voidaan tehdä muun muassa Pareto-periaatteen mukaisesti, jossa 80 % seurauksista väitetään olevan peräisin 20 %:sta syistä. Ongelmien syiden lajittelukriteereinä käytetään esimerkiksi kunnossapidon laitteelle kohdistuneita kokonaiskustannuksia, käyttökatkosaikaa ja/tai vikaantumisten lukumäärää. Kun kaikkien järjestelmien joukosta on valittu suurimmat ongelmien aiheuttajat, voidaan arvioida RCM prosessin vaatima työpanos, ja saada samalla ryhmän ponnisteluille maalissa paras mahdollinen ROI (Return of Investment, sijoitetun pääoman tuotto). Aineistossa on listattu esimerkki kunnossapidon tietokannasta tuotetusta listauksesta, jota on tyypistetty taulukkoon 1. Näistä järjestelmistä on listan muutama ylimmäinen parhaita valintoja RCM -prosessiin poimittavaksi. (Gulati. 2013. s.230, 232,387)

TAULUKKO 1. Laitoksen viat ja KP-kustannukset kohteittain (Gulati. 2013. s.230)

Järjestelmä	Häiriöt lkm	Käyttökatkos- aika	KP-kustannus korjaava	KP-kustannus ehkäisevä	KP-kustannus kokonais
Kompressori	28	68,40	2 502 €	1 707 €	4 207 €
Nosturi, 150 T	24	74,87	2 728 €	1 705 €	4 433 €
NC -kone #3	20	55,20	2 040 €	1 285 €	3 325 €
Hiomakone	7	16,00	668 €	1 285 €	1 953 €
Hyd.järjestelmä	5	12,60	549 €	1 285 €	1 834 €
Lävistyspuristin	4	21,25	852 €	865 €	1 717 €
Trukki #2	3	8,00	388 €	865 €	1 253 €
NC -kone #1	2	7,80	381 €	865 €	1 061€

RCM ryhmän jäsenien valinta on onnistuneen RCM prosessin läpiviennin avaintekijöitä. Ryhmää ei tule koostaa pelkästään kunnossapidon piirissä työskentelevistä henkilöistä, koska useimpiin Moubrayn kiteyttämiin RCM:n peruskysymyksiin vastaus löytyy tuotannon tai järjestelmää käyttävien henkilöiden käytännön kokemuksista järjestelmän parissa. Heidän työpanostaan lähellä ovat erityisesti toimintoja, vaadittua suorituskykyä, sekä vikaantumisten vaikutuksia ja seurauksia koskettavat kysymykset. Ryhmä kannattaakin koostaa esimerkiksi kuvion 19 mukaisesti. (Gulati. 2013. s.230; Moubray. 1997. s.17)



KUVIO 19. Tyypillinen RCM projektiryhmän rakenne. (Moubray. 1997. s.17)

Aineistot suosittelevat ryhmän vetäjäksi poikkeuksetta jo runsaasti kokemusta omaavan RCM specialistin. Näiden ulkomaisissa teksteissä fasilitaattoreiksi (facilitator: helpottaja / edistäjä) kutsuttujen henkilöiden rooli on tukea ja ohjata ryhmää läpi RCM prosessin suoritusaskeleiden. Vetäjän tehtäviin kuuluu pitää huolta siitä, että RCM analyysi rajataan selkeästi, tehdään riittävän syvällisellä tasolla, ainuttakaan tärkeää kohdetta ei sivuuteta, ja työn edetessä koko analyysi tuloksineen dokumentoidaan asianmukaisesti. Vetäjän vastuulla on myös ryhmän sisäisten kitkojen hallinnointi siten, että matka kohti jaettua konsensusta tapahtuisi hyvässä järjestyksessä, samalla ryhmän jäsenten sitoutuneisuus ja syventyminen säilyttäen prosessin jatkamiseen. (Gulati. 2013. s.231; Moubray. 1997. s.17)

#### 4.2.2 Askel - järjestelmän ja/tai osajärjestelmän rajojen määrittäminen

Prosessin toisen askelman tarkoitus on tarkasteltavaksi valitun järjestelmän rajojen määrittäminen, sen kokonaisuus ja siihen oleellisesti liittyvät osajärjestelmät huomioiden. Rajojen määrittäminen tulee tehdä siten, ettei toisiaan lähellä olevien toimintojen välille pääse muodostumaan päällekkäisyyttä, eikä toiminnallisiin kokonaisuuksiin rakoja. Myöhempiä käyttöä ajatellen, täytyy tietojen dokumentointi olla sellaisella tasolla, että se vahvistaa aukottomasti analyysiin valitut osat myös tulevaisuudessa. Analyysin onnistumisen keskeisenä tekijänä, tietoihin tulee lisäksi eritellä täsmällisin termein mitä osien tulo- ja lähtörajausten välillä kulkee. (Gulati. 2013. s.232)

#### 4.2.3 Askel - järjestelmän kuvaus ja mallinnus toiminnallisella lohko-kaavioilla

Kolmannen askeleen toimenpiteitä ovat järjestelmän osien keskeisimpien yksityiskohtien tunnistaminen ja dokumentointi. Dokumentit koostuvat seuraavista tiedoista:

- kuvaukset tarkasteltavista kohdejärjestelmistä
- kohteiden alirakenteet ja komponenttilistaukset
- kohteiden mallinnus toiminnallisiksi lohko-kaavioiksi (FBD, Function Block Diagram)
- kohteiden tulo- ja lähtörajausten määrittäminen
- kohteiden vikahistoriat

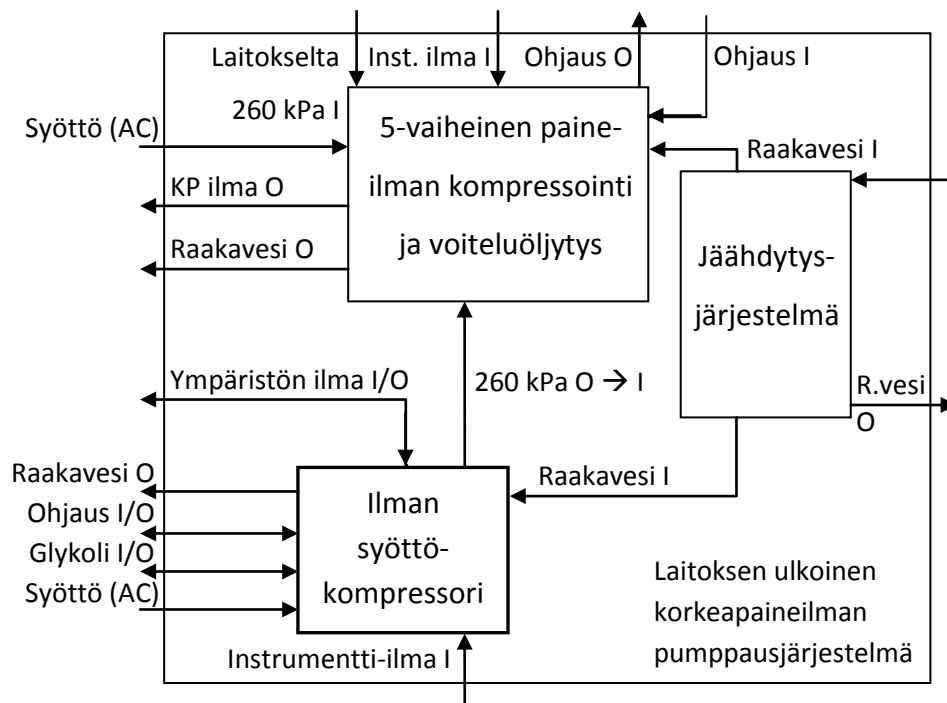
(Gulati. 2013. s.232)

Huolellisesti dokumentoitu järjestelmäkuvaus määrittelee tarkasteltavan järjestelmän lähtötilanteen ennen RCM analyysiä. Se toimii referenssipisteenä, johonka palataan silloin, kun ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteitä määritellään myöhemmin uudelleen - vallankin järjestelmän mahdollisten rakenteellisten ja toiminnallisten muutosten jälkeen. Yksityiskohtaisen järjestelmäkuvausten ja komponenttilistausten laadinta toimii samalla myös ryhmän monipuolisena perehdyttäjänä järjestelmän toimintojen ja rakenteiden läpikotaiseen tuntemukseen. Dokumentaation tiedoista voidaan tarvita jatkossa analyysin avuksi seuraavia asioita:

- redundantit toiminnot: laite- ja komponenttitasoin redundanssi, vaihtoehtoiset toimintatilat, suunnittelumarginaalit, sekä käyttäjän valmiudet ongelmien kiertämiseksi
- turva- ja laitesuojatoiminnot: laiteluettelo henkilö- ja laiteturvallisuutta suojaavista komponenteista, kuten logiikoiden estävät ja sallivat signaalit, hälytykset ja eristykset
- keskeiset ohjaus- ja valvontatoiminnot: yleiskuvaus järjestelmän ohjaustoiminnoista, korostaen erityispiirteitä lyhyesti, kuten automaatti- vs. manuaaliohjaus, keskus- vs. paikallisohjaus, sekä edellisten sovellettavissa olevat yhdistelmät.

(Gulati. 2013. s.232)

Dokumenttistalla seuraava kokonaisuus on toiminnallisten lohkokaavioiden mallinnus kohteista. Ne toimivat ylimmän tason esitysmuotona kohdejärjestelmän ja liittyvien viereisten järjestelmien merkittävimmistä tulo- (In) ja lähtörajinnoista (Out), kuten kuviossa 20 havainnollistetaan. (Gulati. 2013. s.233)



KUVIO 20. Toiminnallinen lohkokaavio, FBD (Gulati. 2013. s.233)

Kolmas askel päättyy järjestelmän vikahistorian keräykseen. Analyysiä varten hyödyllisin aikaikkuna järjestelmä- ja komponenttivioista on 2-5 vuotta taaksepäin. Vikahistoriaa tulisi hakea korjaavan kunnossapidon raporteista tai kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmästä. Käyttökelpoisin vikatapausten raporttimateriaali on kirjausmuodoltaan tasalaatuista, ja pitää sisällään laajat selvitykset vikaantumisen aiheuttajista, vikaantuneesta kohteesta, sekä suoritetuista korjaustoimenpiteistä. Aineiston mukaan näin ei usein kuitenkaan ole, jolloin ryhmän täytyy yhteistuumin kehittää parhaana arvauksena toimiva lista muutaman vuoden vikatapahtumista. Historiatietoon tai ryhmän yhteistyöhön perustuvaa vikahistorialistia käytetään apuna askleen 5 vika- ja vaikutusanalyysissä. (Gulati. 2013. s.234)

#### 4.2.4 Askel - toimintojen ja toiminnallisten vikojen selvittäminen

RCM -menetelmä tavoittelee - prosessiosion avausta toistaen - koneelta tai tuotantovälineeltä vaadittujen toimintojen säilyttämistä, joten RCM ryhmän oleellinen tehtävä on määrittää mitkä nämä järjestelmältä odotetut toiminnot, sekä niihin liittyvät suorituskykyvaatimukset ovat. Toimintaselostukset tulisi muotoilla siten, että niistä selviää kohdejärjestelmän toiminnon laatu ja suure. Eli kohde esimerkiksi: ”ylläpitää virtauksen 400 l/min kanavaan 25” tai ”säilyttää jäähdytysveden lämpötilan 45 °C:sta.” Huomionarvoista on katsantokannan säilyttäminen laiterakenteiden yläpuolella, etteivät selostukset epähuomiossa rajoitu yksittäisten komponenttien teknisten ominaisuuksien esittelyiksi. Jos toimintaselostusta lähestyy lohkokaaavion näkökulmasta, selostukset kertovat mitä ja missä määrissä liikkuu ulospäin kohdejärjestelmän lähtörajoista. (Gulati. 2013. s.234)

Toimintojen selvittämisen jälkeen, ryhmän täytyy määritellä millä eri tavoilla näiden toimintojen tuottama laatu ja suure voivat jäädä vaaditusta. Enemmistölle toimintoja pitäisi olla määriteltävissä useampia suorituskyvyn puutostiloja, jotka dokumentoidaan kyseiseen toimintoon liittyviksi, toiminnallisiksi vioiksi. Esimerkki tällaisesta dokumentista on taulukossa 2, joka on mukailtu aineiston listauksesta. (Gulati. 2013. s.235)



TAULUKKO 2. Toimintojen ja toiminnallisten vikojen listaus. (Gulati. 2013. s.235)

Toiminto	Toiminnallinen vika	Toiminnon / toiminnallisen vian kuvaus
1.0		Syöttää ympäristön ilmasta kompressoitua paineilmaa 2000 l/min @ 260 kPa kompressorille 93A/B
	1.1	Ei syötä ilmaa
	1.2	Virheellinen ilmanpaine
	1.3	Ilmaa syötetään normaaleista poikkeavissa käyttöolosuhteissa
2.0		Poistaa kompressoinnin aiheuttamaa lämpöä
	2.1	Ei kykyä kompressoinnin aiheuttaman lämmön poistoon
	2.2	Virheellinen kompressoinnin aiheuttaman lämmön poisto (liian suuri tai liian pieni)
3.0		Toimittaa ympäristön ilmasta suodatettua instrumentti- ja tiivisteilmaa vaadituin ominaisuuksin
	3.1	Ei toimita suodatettua ilmaa
	3.2	Ilma ei täytä vaadittuja ominaisuuksia (korkea tai matala paine, väärä puhtausaste)
4.0		Vastaa asianmukaisin signaalein (ohjaus, tila, hälytykset, turva- ja suojatoiminnot)
	4.1	Ei anna vastaussignaaleja
	4.2	Antaa väärä signaaleja

Toiminnallisten vikojen aiheuttamien suorituskykyputosten tasot voivat vaihdella vajaatoiminnasta aina toiminnan täydelliseen estymiseen saakka, joten niiden vaikutusmekanismit aiheuttavat myös eriasteisia seurauksia koko laitoksen mittapuulla. Kunnossapidon optimointiin tähtäävä RCM -menetelmä priorisoi kohdekohtaisia kunnossapitomenetelmiä, ja askeleessa 7 valitaan soveltuvimmat ennakoivan kunnossapidon toimet kaikkien vakavien toiminnallisten vikojen välttämiseksi. (Gulati. 2013. s.235)

#### 4.2.5 Askel - vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) on perinteisesti katsottu kuuluvan osaksi laadukasta järjestelmien suunnittelua. RCM prosessissa VVA:lla haarukoidaan järjestelmän suorituskyvyn kannalta kriittiset vikaantumistavat, joten varsin oikeutetusti sitä kutsutaan

aineistossa RCM -menetelmän sydämeiksi. Se on samalla prosessin vaiheista ensimmäinen, joka huomioi laitteistot toimintojen taustalla. VVA:n lähtötietoina on askeleessa 4 määriteltyjen toiminnallisten vikaantumisten ja niihin liittyvien, askeleen 3 laiterakenteista löytyvien komponenttien muodostama matriisi. Toiminnalliset viat järjestetään vaakariveille ja laiterakenteen kaikki komponentit pystysarakkeisiin. RCM ryhmän tehtävänä on selvittää, mitkä komponenttien ja toiminnallisten vikojen risteyskohdat ovat sellaisten potentiaalisten toimintahäiriöiden yhdistelmiä, jotka voivat johtaa toiminnalliseen vikaantumiseen. Yhdistelmien selvittämiseksi, on ryhmän edettävä matriisin läpi rivi riviltä, jokaisen yksittäisen komponentin asema rivikohtaisen toiminnallisen häiriön taustalla tutkien. Kun matriisin kaikki risteyskohdat on löydetty ja dokumentoitu, voidaan löydösten osalta edetä askeleen yksityiskohtaisempaan vaiheeseen, vika- ja vaikutusanalyysiin. (Gulati. 2013. s.236)

VVA vastaa RCM:n peruskysymykseen: mikä aiheuttaa kunkin toiminnallisen vian? Olennaisimpana tekijänä on määrittää jokaisen toiminnallisen vian taustalla vaikuttava vikamuoto. Vikamuodot ovat tapoja, joilla laite voi vikaantua. Ne voidaan jakaa kategorioihin esiintymistodennäköisyytensä mukaisesti. RCM ryhmä voi käyttää seuraavia kategorioita perusteena vikamuotojen tarkasteluun ottamisessa, hylkäämisessä tai sivuuttamisessa mahdollista myöhempää tarkastelua varten:

- Todennäköinen vikamuoto: vika esiintyy vähintään kerran kohteen elinjaksossa → mukana tarkastelussa. Vika esiintyy harvemmin kuin kerran kohteen elinjaksossa → hylätään tarkastelusta harvinaisena tapahtumana.
- Epätodennäköinen vikamuoto: luonteeltaan hypoteettinen, jopa fysiikan lakeja kumoava → hylätään tarkastelusta vikana, jota ei oikeastaan voi edes olla
- Korjattava vikamuoto: viat, joita ei ole mielekäästä hallita ehkäisevän kunnossapidon toimin.
- Inhimillisestä erheestä johtuvat: vikamuodot, jotka ovat mahdollisia vain ja ainoastaan inhimillisen erheen johdosta. Dokumentoidaan, mutta hylätään ehkäisevän kunnossapidon suunnittelutarpeen jatkotarkastelusta satunnais-tekijöidensä vuoksi. Mikäli vaikutukset oletetaan kriittisiksi, on arvioitava korjaavien ja lieventävien suojauskeinojen implementointia rakenteen tai ohjauslogiikan muutoksin. (Gulati. 2013. s.236)

Analyysiin valittuihin vikamuotoihin lukeutuvista vikaantumissyistä ryhmän tulee vielä päättää yksi tai kaksi todennäköisintä. Sitten vikaantumissyit kuvaillaan muutamalla sanalla määrittelemään: miksi vika tapahtuu. Työstäminen säilytetään vikaantumismuotojen juuritasolla, eli vian ilmaantuminen ei johdu välillisesti järjestelmässä tai laitoksessa toisaalla tapahtuvasta vikaantumisesta. Näin on käsitelty ensimmäinen V yhdistelmästä VVA. (Gulati. 2013. s.237)

Nyt kun kaikkien tarkasteluun mukaan otettujen vikamuotojen paikalliset vaikutukset on analysoitu, on aika laajentaa vaikutusten seurausten arviointireviiriä komponentitasolta järjestelmän toimintoihin, ja edelleen kohteen tai koko laitoksen tuotantokykyyn. Mikäli vikaantumisella arvioidaan olevan ympäristö- tai henkilöturvallisuusriskeihin kohottavia vaikutuksia, kirjataan niistä merkintä dokumentaatioon odottaen jatkotoimenpiteitä. Itse vaikutusanalyysi etenee vika-analyysin tapaan yksittäisiä vikaskenaarioita tutkien. Vian vaikutuksia analysoitaessa, huomioidaan järjestelmän kaikki redundanttiset toiminnallisuudet, jolloin useammat yksittäiset vikamuodot jäävät kohde- tai laitostasolla merkityksettömiksi. Tällaiset vikamuodot voidaan kirjata VVA:n perusteella matalan prioriteetin luokkaan, jolloin niitä ei siirretä askeleeseen 6, vaan alustavasti kunnossapitokategoriaan: vikaantumiseen saakka käytettävät, RTF (Run-To-Failure). RTF -kategorisointi ei tarkoita sitä, ettei komponentti olisi tärkeä, tai että kategorian komponentit voitaisiin yksinkertaisesti unohtaa, vaan niissä ilmaantuvien vikojen korjausta voidaan vähäisten kokonaisvaikutusten vuoksi askeleen 7 päätöksellä lykätä välittömien toimien sijaan myöhemmin hoidettaviksi. Mikäli kohde- tai laitostason vaikutuksia on kuitenkin odotettavissa, vikamuoto ohjataan askeleen 6 päätöslogiikkapuuanalyysin, LTA (Logic Tree Analysis) käsiteltäväksi tarkempaa prioriteettiluokittelua varten. Esimerkki vika- ja vaikutusanalyysin tuottamasta dokumentista lähdeaineistoa mukailleen on esitetty taulukossa 3. Taulukossa käytettyjä lyhenteitä ovat TV: Toiminnallinen Vika, Komp: komponentti, VM: Vika-Muoto, VS: Vikaantumisen Syy. LTA -sarakeessa X tarkoittaa kohteen siirtoa päätöslogiikkapuuanalyysiin, kun taas - merkittyjä kohteita ei siirretä. (Gulati. 2013. s.237)

TAULUKKO 3. Esimerkki VVA:n tuottamasta listauksesta (Gulati. 2013. s.236)

TV	Komp	Komp.kuvaus	VM	VM kuvaus	VS	VS kuvaus	Paikallinen	Kohde	Laitos	LTA
1.1	01	6,9 kV moottori	1.01	Laakeri jumiutuu	1.1.1	1) Likaantunut öljy 2) Puutteellinen voitelu	Ei syötä ilmaa C93A/B:lle	Ei syötä ilmaa C93A/B:lle	Paineilmaa ei käytettävissä	X
1.1	01	6,9 kV moottori	1.02	Laakeri kulunut	1.2.1	1) Normaali käyttö 2) Likaantunut öljy	Kohonnut lämpö ja värinä laakerissa	Pahin seuraus: Ei syötä ilmaa C93A/B:lle	Paineilmaa ei käytettävissä	X
1.1	01	6,9 kV moottori	1.03	Käämit oikosulussa / ei kontaktia	1.3.1	1) Vanheneminen/ likaantuminen 2) Lämpilyönti käämeissä	Moottori ei käy	Ei syötä ilmaa C93A/B:lle	Paineilmaa ei käytettävissä	X
1.1	01	6,9 kV moottori	1.04	RTD -piiri ääretön	1.4.1	Sisäinen vika mittauspiirissä	Ei lämpötilatietoa	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	-
1.1	01	6,9 kV moottori	1.05	Ilmavirtaus estyy	1.5.1	Likaantuminen	Moot. käy kuumana	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	-

#### 4.2.6 Askel - vikaantumisten kategorisointi päätöslogiikkapuuanalyysillä

Prosessin kuudes askel keskittyy vikaantumisten kategorisointiin, koska kaikki viat eivät ole järjestelmän turvallisen toiminnan kannalta yhtä merkittäviä. VVA:n tuottamaa informaatiota suodatetaan kuviossa 21 esitetyn päätöslogiikkapuun kysymyksin. Tämä mahdollistaa vikamuotojen taustalla olevien vikaantumissyiden ehkäisyyn käytössä olevia resurssien priorisoinnin. Päätöslogiikkapuuanalyysi leimaa vikaantumismuodot seuraavasti:

A - ensisijaiset vikamuodot

B - toiseksi ja sitä seuraavaksi merkittävimmät vikamuodot

C - vähäisen prioriteetin vikamuodot, joihin liittyvien komponenttien jättäminen ehkäisevän kunnossapidon toimintakehyksen ulkopuolelle voi olla perusteltua

D - vikamuodon perusteella RTF komponentti.

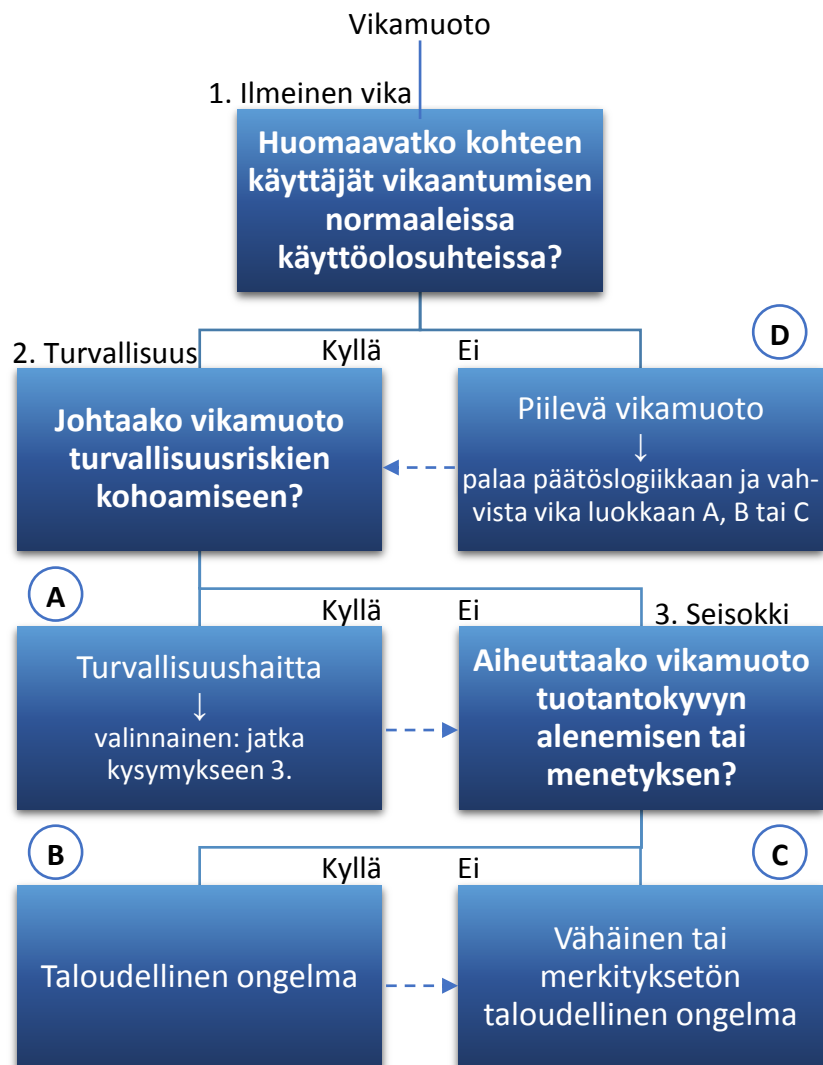
(Gulati. 2013. s.239)

Päätöslogiikkapuun kysymykset ovat seuraavat:

- Huomaavatko kohteen käyttäjät vikaantumisen normaaleissa käyttöolosuhteissa?** Kysymys tarkastelee käyttäjien kykyä havaita jotain poikkeavaa tapah-tuneen vikamuodon vaikutuksesta. Tärkeintä ei ole käyttäjien täsmällinen vi-kamuodon määrittämyskyky, vaan juuri poikkeavan toiminnan huomaaminen, jonka seurauksesta vianhaku aloitetaan. Tällaista kutsutaan näkyväksi vika-

muodoksi. Jos tapahtuman vaikutukset jäävät puolestaan käyttäjien tietoisuuden ulkopuolelle, tai vikaantuminen huomataan välillisesti vasta jonkin toisen toiminnon epänormaalissa käyttäytymisessä, on kyseessä piilevä vikamuoto.

2. **Johtaako vikamuoto turvallisuusriskien kohoamiseen?** Kysymyksessä tarkastellaan vikamuodon mahdollista kytköstä ympäristö- ja henkilöturvallisuusriskeihin. Aiempaa kerraten, nämä seikat lukeutuvat RCM -menetelmän korkeimpiin prioriteetteihin.
3. **Aiheuttaako vikamuoto tuotantokyvyn alenemisen tai menetyksen?** Viimeinen kysymys selvittää, voiko vikamuoto johtaa laitoksen tuotantokyvyn heikkenemiseen tai täydelliseen menetykseen esimerkiksi tuotantoseisokin aiheuttamana. (Gulati. 2013. s.239)



KUVIO 21. Päätöslogiikkapuuanalyysin rakenne (Gulati. 2013. s.238)

Askeleen 6 päätteeksi, on jokainen yksittäinen vikamuoto saanut kategorialeiman. Näkyvien vikojen osalta luokat ovat: A, B tai C. Piileviksi kategorisoitujen vikojen tapauksessa, viat vahvistetaan päätöslogiikan perusteella yhdistelmäluokkiin: A/D, B/D tai C/D. Leimoista A:n tai B:n sisältävät tapaukset saavat päähuomion siirryttäessä askeleeseen 7. Vastaavasti C ja C/D -leimatut käsitellään kunnossapito-ohjelman näkökulmasta hyvinä kandidaateina RTF -menettelyyn, joille ei juuri ehkäisevän kunnossapidon resursseja uhrata. (Gulati. 2013. s.240)

#### 4.2.7 Askel - kunnossapitotehtävien valinta

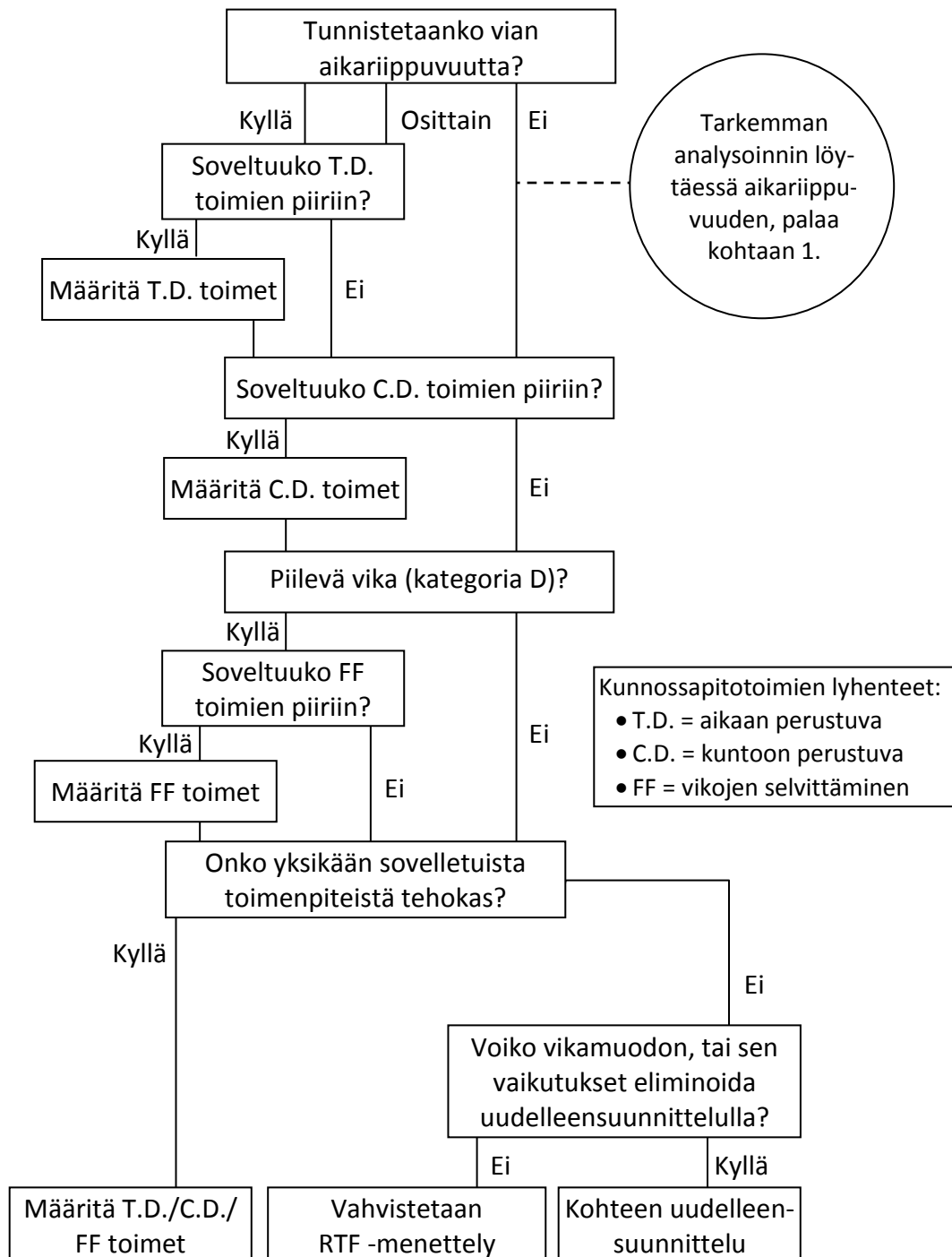
Askeleen 7 aikana haetaan vastauksia RCM:n peruskysymyksistä siihen, mitä on tehtävissä kunkin vikaantumisen ennakoimiseksi ja ehkäisemiseksi. RCM ryhmän kaikki tietotaito kohdistetaan parhaiten soveltuvien ja kustannustehokkaimpien toimien määrittämiseksi, joilla askeleessa 5 dokumentoitujen vikamuotojen vaikutukset eliminoidaan, lievennetään tai saatetaan näihin oleellisesti liittyvät komponentit vikaantumisten ennakkovaroitusten piiriin. Lisäksi ryhmä suorittaa uudelleentarkastelun myös askeleen 6 analyysin ulkopuolelle jättämiensä, koko järjestelmän toimintakyvyn kannalta vaikutuksiltaan vähäiseksi arvioimiensa kohteiden osalta. Ryhmän määriteltä uudet ehkäisevän kunnossapidon toimet, niitä verrataan vielä aikaisempaan kunnossapito-ohjelmaan. Näin voidaan varmistua siitä, missä kohdin kunnossapidon tehokkuutta on onnistuttu parantamaan ja optimoimaan. Tehtäviä tiivistäen, etenee askel 7 seuraavissa kolmessa vaiheessa:

- Kunnossapitotoimien valinta
- RTF -kandidaattien järjestyksen tarkastus
- Kunnossapitotoimien vertailu.

(Gulati. 2013. s.240)

Kunnossapitotoimien valintaa tehdessä, ryhmän jäsenten tulisi sivuuttaa aiemmat, liiaksi vakiintuneet käytänteensä ja ennakkoluulonsa ajatushautomon vapaasti virtaavan ja luovan toiminnan tieltä. Ajatuksista viltimmätkin huomioidaan, kun kullekin vikamuodolle valitaan soveltuvia, ehkäisevän kunnossapidon toimia kuviossa 22 esitetyn logiikkakaavion mukaisesti. Ennakoivan kunnossapidon specialistin konsul-

tointi saattaa olla hyödyllistä ryhmän omien näkemysten osuvuuden arvioinnissa, ellei tällainen henkilö kuulu ryhmään jo valmiiksi. (Gulati. 2013. s.241)



KUVIO 22. Valintalogiikkakaavio kunnossapitotoimille (Smith, ym. 2004. s.114)

Yksi kunnossapitotoimien valintalogiikkakaavion päätöksistä on vahvistaa vikamuodon RTF -menettely. Tähän ryhmään jo aikaisemmassa vaiheessa kandidaateiksi määriteltyjen komponenttien osalta suoritetaan vielä uudelleentarkastelu. Tällä kertaa

RTF määrittelyn järkevyyttä tarkastellaan toiminnallisten seurausten sijaan vikaantumiseen saakka käyttämisen aiheuttamien kustannusten suuruudella, määräysten mukaisuuksiin liittyvillä ongelmilla ja rikkomuksilla, sekundaaristen vikaantumisten synnyttämällä vaurioilla, takuu- ja vakuutusseuraamuksilla, sekä piilevien vikamuotojen näkyviksi vioiksi eskaloitumisten vaarallisuudella. Mikäli ryhmä arvioi jonkin tai jotkin edellä listatuista asianhaaroista seurauksiltaan vakaviksi, se voi päättää RTF -menettelyn hylkäämisestä, ja valita tilalle soveltuvan ennakoivan kunnossapidon toimen. (Gulati. 2013. s.241; Smith, ym. 2004. s.117, 120)

Ennen kuin RCM -prosessin osoittamia kunnossapitotoimia ryhdytään implementoimaan käytäntöön, täytyy RCM ryhmän vielä suorittaa näiden vertailu olemassa olevan kunnossapito-ohjelman toimiin. Oikeastaan koko RCM -prosessin näkökulmasta vaihe on ensimmäinen, jossa vanhan kunnossapito-ohjelman yksityiskohtaisempi tutkiminen on tarkoituksenmukaista. Vanha kunnossapito-ohjelma on oletettavasti rakennettu ehkäisevien kunnossapitotoimien osalta komponenttitasolle, kun taas RCM -analyysin tarkoitus on ollut löytää samat toimet vikamuototasolle. Tämä tuo omat haasteensa toimien vertailuun, kun olemassa olevia, komponenttitason toimia ryhdytään yhdistämään osaksi vikamuototason ehkäisemiseen tähtäävää rakennetta. Niiltä osin, kun vanhoja toimia voidaan soveltaa uudessa kunnossapito-ohjelmassa, pystytään vähentämään ylimääräisen tehtäväsuunnittelun määrää. Ryhmän jäseniltä vanhojen kunnossapitotoimien hyödyntäminen vaatii kuitenkin listojen huolellista tarkastelua, hyvää arvostelukykyä sekä laajaa kokemusta kunnossapidosta. (Gulati. 2013. s.241)

#### 4.2.8 Askel - kunnossapitotoimien paketointi kunnossapito-ohjelmaksi

RCM prosessin tunnistamien kunnossapidon optimointikeinojen ulosmittaamisen kannalta ratkaisevassa asemassa on askeleen 8 huolellinen läpivienti. Aineisto mainitsee useimpien RCM -prosessien epäonnistumisien liittyvän juuri uuden kunnossapito-ohjelman jalkauttamisessa kentälle. Tämän välttämiseksi, uuden kunnossapito-ohjelman täytäntöönpano tulisi tehdä käyttö- ja kunnossapitohenkilöiden näkökulmasta käytännöllisin, analyysin tuloksia kunnonvalvonnan ja ennakoivan kunnossapidon merkityksestä avaavin toimintaohjein. Mikäli toimiin liittyy useamman ammat-



tialan, kuten sähkö-, automaatio- tai mekaniikka-alan taitoja vaativia tehtäviä, voidaan joissakin maissa törmätä liittokohtaisten sopimusten vaatimukseen ammattiryhmäkohtaisesti vahvistetuista työohjeista. Kaikkien ammattiryhmien välistä yhteistyötä kuitenkin koordinoidaan kunnossapitotoimen ohjeen ylimmällä tasolla. Ideaalitulanteessa jokainen ohje tallennetaan kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään, josta ne jalkautuvat kyseisistä toimista vastaavien ryhmien työmääräimiksi RCM ryhmän laatiman aikataulun mukaisesti, tai kohteen kunnonvalvonnan havaitsemien löydösten perusteella. (Gulati. 2013. s.241-243)

#### 4.2.9 Askel - dynaaminen kunnossapito-ohjelma

RCM -menetelmä kieltäytyy olemasta luonteeltaan kertaluonteinen panostus pelkän analyysin läpiviemiseksi edellä listattujen prosessiaskeleiden muodossa. Sen päämääränä on johtaa ajattelutavan muutokseen siinä, ettei kunnossapidon kokonaisuuksia mielletä ja suoriteta enää muuttumattomina, aikoinaan kiveen hakattuina sääntöinä. Sen sijaan RCM -menetelmän tuottamaa kunnossapito-ohjelmaa voisi ennemminkin kuvailla dynaamiseksi ja oppivaksi, ikään kuin eläväksi olennoiksi, jonka toistuvan kehityssyklin muodostavat seuraavat vaiheet:

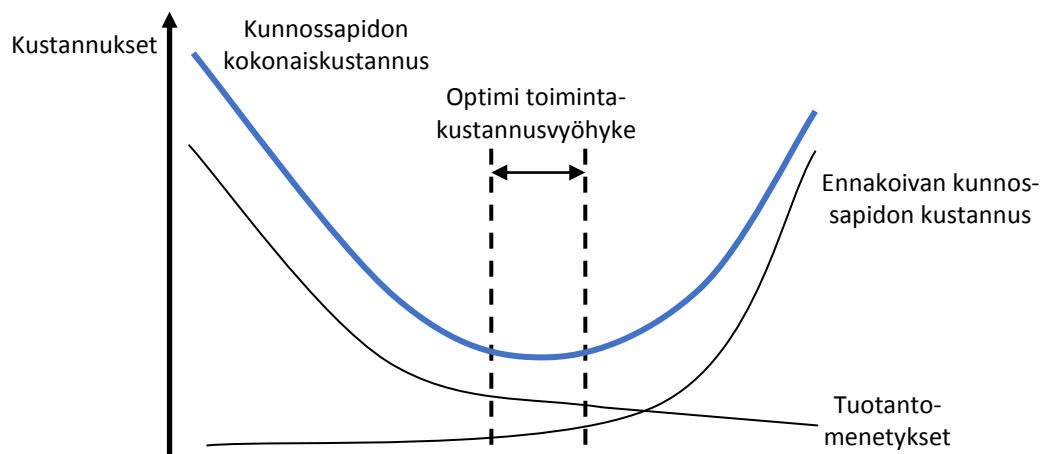
- Käytössä olevan kunnossapito-ohjelman validoinnilla vahvistetaan, että aiemmin tehdyt päätökset ovat yhä asianmukaisia
- Kunnossapitotoimien osuvuuden ja tehokkuuden yhteisvaikutuksen arviointi kumuloitunutta vikaistoriaa tarkastelemalla
- Oikaisujen teko kunnossapito-ohjelmaan, mikäli tarpeellista.

(Gulati. 2013. s.243)

Dynaaminen kunnossapito-ohjelma on omiaan varmistamaan toiminnan jatkuva parantaminen organisaation kustannustehokkuudesta tinkimättä. Se vaatii taustalleen soveltuvien mittareiden määrittämistä, sekä kaikkien henkilöstöryhmien sitoutumisen ponnisteluissa kohti yhteisiä tavoitteita. (Gulati. 2013. s.243)

### 4.3 RCM kunnossapitostrategian taustalla

RCM -menetelmä tuo avausosiota ja prosessin vaiheita kerraten systemaattisen lähestymiskulman niin uusien kunnossapidollisten vaatimusten laadintaan, kuin myös olemassa olevien kunnossapitokonseptien optimoimiseen. Kummassakin tapauksessa, RCM -analyysin läpiviennin tuloksena saadaan kunnossapito-ohjelma, joka koostuu teknisesti parhaiten soveltuvista ja samalla kustannustehokkaimmista kunnossapitotoimista, joiden ajoituksella vaalitaan kohteen kykyä vaaditun toiminnon suorittamiseksi - ympäristö- ja henkilöturvallisuusasioista tinkimättä. Vaaditun toiminnon suorituskyvyn säilyttäminen on suoraan verrannollinen kohteen toimintavarmuuteen, ja siten koko tuotantolaitoksen käytettävyyteen. Kaikkien kunnossapito-ohjelman teknisten valintojen taustalla on myös dokumentoitu päätösketju, joka muodostaa tärkeän osan jatkuvan prosessin mittarointia. Tekijöiden yhteisvaikutusta kustannuksiin avataan kuviossa 23. (Gulati. 2013. s.226)



KUVIO 23. Kunnossapitokustannusten optimointi (Järviö, ym. 2011. s.74)

RCM -menetelmä on siis analyyttisen armoton, sekä jatkuvana prosessina kurinalainen väline tulkitsemaan mukaan valikoitujen kohteiden tavoitteellisen osuuden täyttymistä valitussa kunnossapitostrategiassa. Kunnossapitostrategian sisällöistä, jotka määriteltiin osion 3 aluksi, RCM -menetelmän ulkopuolelle jäävät ainoastaan vahvistetut liikkeenjohdolliset keinot. Kuitenkin sen tarjoamat toiminnan mittarit toimivat takaisinkytkentänä johtamisjärjestelmään, jolla toimintaa lopulta ohjataan. Menetelmän analyyttisyyden ydin on siinä, että RCM tutkii kaiken, eikä oleta mitään. Tästä johtuen sen todetaan usein olevan raskas ja resursseja runsaasti sitovana myös kallis

alkuperäisessä muodossaan. Aineisto toteaa kaikista, tavanomaisen teollisuuden prosesseja koskettavista komponenttien ja koneiden vikaantumisista, vain noin 10 %:a tuotannon menetyksen taloudellisilta vaikutuksiltaan niin kriittisiksi, tai kohteet jälleenhankinta-arvoltaan niin kalliiksi, että kunnossapito-ohjelmien laadinta RCM -menetelmää käyttäen on kannattavaa. Pitää kuitenkin muistaa, että toimintaympäristö ratkaisee edellytetyn toimintavarmuuden kriittisyysasteen, jolloin RCM on turvallisuusvaatimuksiltaan korkeiden kohteiden paras, tai jopa ainoa käyttökelpoinen työkalu tavoitteellisen kunnossapidon taustalla. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi öljylautat ja atomivoimalat, sekä RCM:n alkuperälle uskollisesti, lentokoneet. (Järviö, ym. 2011. s.85-86, 125)

#### 4.4 RCM ja laatujohtaminen

Nimityksen RCM - Reliability Centered Maintenance - suora käännös alkuperäisestä olisi luotettavuuskeskeinen kunnossapito, jossa muodossa se esiintyy yhä varsin yleisesti suomenkielisissä artikkeleissa, kurssimateriaaleissa ja muissa julkaisuissa. Englanninkielinen termi: reliability voidaan luotettavuuden lisäksi kääntää osiossa 3.3.1 esitettyyn käytettävyyden komponenttiin: toimintavarmuus. Tämä on jo nykyään vakiintuneempi esitysmuoto, jossa toimintavarmuuskeskeisen kunnossapidon tuntee myös SFS-IEC 60300-3-11. Toimintavarmuus on luonteeltaan mitattavissa olevaa dataa, ja juuri mittaaminen huomioidaan osion 3.4 päätteeksi esitetyissä laatuajattelun keskeisimmissä sisällöissä. RCM:n voidaan siis tältä osin havaita soveltavan laatuajattelun malleja omalla tavallaan. Laatuun rinnastettavat asiat tunnistetaan standardeissa myös olennaisena osana tavoitteellisen kunnossapidon määritelmää. (Härkönen, T. 2012.; PSK 6201. 2011. s.5; SFS-EN 13306. 2010.s.8; SFS-IEC 60300-3-11. 2001.)

Laatuajatteluviittausta lisää avaten, on RCM -menetelmä päätöslogiikoinen omalta osaltaan ohjaamassa kunnossapitotoimintaa jatkuvan parantamisen metodiin. Koska menetelmän tehokas hyödyntäminen elää ja kasvaa sisään syötetyn tiedon jatkumosta, voidaan tätä tilastoitua dataa soveltaa kunnossapidon turvallisessa johtamisessa kohti käyttötoimintakustannusten minimiä. Dokumenttikirjausten kumuloituessa, kasvaa käsiteltävän datan määrä suureksi, ja se taas tuo mukanaan tiedon luotettavuuteen liittyvän pulman kirjausten keskinäisestä koherenttiudesta, eli tasalaatuisuudesta, ja sen kontrolloimisesta. Siinä missä laatuajattelut ottavat yleensä huomioon yrityksen eri organisaatiotasot, RCM -menetelmä soveltuu parhaiten kunnossapito-organisaation ohjaamiseen. Näin ollen menetelmästä ei voi puhua laatuajattelun järjestelmänä, vaan se on ennemminkin keino kunnossapidon laatujohtamiseen. (Härkönen, T. 2012.)

## 5. Laittevalmistajan kunnossapitokonseptin tarkastelu valikoiduin RCM -työkaluin

Kunnossapitokonsepti rakentuu - johdanto-osion määrittystä laajentaen - eri kunnossapitolajien (korjaava, ehkäisevä, kuntoon perustuva, opportunistinen, suunnitteluun perustuva jne.) lisäksi niistä toimista, joiden tarkoitus on edistää kohteen kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja oletettujen vikaantumisten ennustettavuutta. Viimeksi mainittuihin voidaan vaikuttaa muun muassa toimintojen monistamisella ja / tai reititettävyydellä, sekä itsediagnostiikkajärjestelmillä. Yleensä kunnossapitokonseptiin sisällytetään vielä kunnossapitotoimien jako eri tasoille, joista osa voi olla myös ulkoistettuja. (Waeyenbergh ym. 2001. s.2)

Yksinkertaisimmillaan kunnossapitokonsepti on silloin, kun kohdetta käytetään sen rikkoontumiseen saakka, jonka jälkeen häiriöilmoituksen saanut kunnossapitäjä hankkii tarvittavat työkalut, ohjeet, varaosat sekä tarvikkeet kohteeseen ja korjaa laitteen. Häiriökorjauksen valmistuttua, jatketaan toimintaa samalla mallilla seuraavan ongelman ilmaantumiseen saakka. Toisesta ääripäästä löytyvät puolestaan laatuajattelun teeseihin pohjautuvat, tavoitteellisen kunnossapidon mallit, jotka voivat olla integroitua koko organisaation laatuajatteluun, kuten Lean, tai sisältyä kunnossapidolliseen viitekehykseen - esimerkiksi edellisessä osiossa esitetyn RCM -menetelmän muodossa.

Tämän työn tavoitteisiin pääsemiseksi, käytetään RCM -menetelmän työkaluja hieinan virtaviivaistetusti. Järjestelmän täyden RCM -analyysin prosessinomaisen suorittamisen sijaan, keskitytään kohteen kriittisimpien toimintojen, sekä niihin liittyvien toiminnallisten vikojen tunnistamiseen ja löydettyjen vikamuotojen analysointiin. Lähtötietoina käytetään laitevalmistajan laatimaa dokumentaatiota, koska todellinen, juuri kyseisen järjestelmän käyttöön ja käyttöympäristöön perustuva statistiikka puuttuu. Informaatiota laajennetaan käytön aikana havaituilla vikaantumisilla. Aliosiot pitävät sisällään luottamuksellista tietoa, ja ne löytyvät tämän työn salassa pidettävästä liitteestä.

## 6. Käytettävyyden mittaaminen RAMT -menetelmällä

Työn tavoitteena oleva, laitevalmistajan määrittämän kunnossapitokonseptin käytettävyyksivaikutuksen arviointi, etenee muutostarpeiden analysointivaiheeseen mittaamalla järjestelmän toimintavarmuus ensin konseptin ohjeistusta orjallisesti noudattamalla. RCM - prosessin työkaluja virtaviivaistetusti käyttämällä saatiin määritettyä kaluston epäkäytettävyyttä aiheuttavat vikamuodot. Näiden esiintymistiheys arvioitiin muihin käytössä oleviin ja käytöstä jo poistettuihin järjestelmiin vertaamalla, vaihtoyksiköiden valmistajien ilmoittamista MTBF -arvoista laskemalla, sekä edellisten puuttuessa kokempohjaisesti ennustamalla. Määriteltyjen vikamuotojen seuraamisen lisäksi, laitevalmistajan esite antaa tämän opinnäytetyön kannalta lähtötiedoiksi seuraavat tiedot: MTBCF (Mean Time Between Critical Failure) = 3 500 h, käytettävyyssarvon > 99,9 %, sekä vuotuisen ehkäisevän kunnossapidon tarpeen = 30 h (ThalesRaytheonSystems. 2011.)

Tähän saakka kaikki määrittelyt ovat perustuneet ilmoitettuihin arvoihin ja arvioihin. Järjestelmän todellisen käytettävyyden, ja sen tekijöiden mittaamiseksi tarvitaan siis testimenettely. RAMT -menetelmä (Reliability, Availability, Maintainability, Testability) mahdollistaa järjestelmän suunnitellun käyttövarmuuden, kunnossapidettävyyden ja testattavuuden todentamisen. Listatut tekijät löytyvät osiossa 3.3.1 esitetystä käytettävyyden yhtälöissä. Mitattavien suureiden osalta voidaan soveltaa muun muassa seuraavia työkaluja:

- käyttövarmuus
  - mittaukseen perustuva MTB(C)F
  - vika- ja vaikutusanalyysi (VVA = FME(C)A)
  - menettely vikojen raportointiin ja korjaavien toimenpiteiden määrittämiseen, FRACAS (Failure Reporting And Corrective Action System)
  - rakenteen muutostarveanalyysi käyttövarmuuden näkökulmasta
- kunnossapidettävyyden
  - mittaukseen perustuva MTTR
  - rakenteen muutostarveanalyysi kunnossapidettävyyden näkökulmasta
  - vaatimusten erittely ja kehittäminen

- testattavuus
  - mittauspisteiden soveltuvuus vianhakuun, mukaan lukien sisäänrakennettu vikadiagnostiikka
  - vaatimusten erittely ja kehittäminen

(Fourth Factor Engineering, LLC. 2015.)

RAMT -menetelmä lukeutuu Ilmavoimissa KEVA2010 -tutkan teknisen koekäytön jaksoon. Ennen RAMT -testijakson alkua, osallistuvien järjestelmien toimintatila ja toimintakyky vahvistetaan vaaditut suoritusarvot täyttäväksi. Testin aikana esiintyvät ilmiöt kirjataan ylös kalustolle asetettujen vaatimusten täyttymisen analysoimiseksi. Suorituskykyyn liittyvät testitulokset käsitellään osana tämän työn salassa pidettävää liitettä.

## 7. Mittaustulosten analysointi

RAMT -testijakso konkretisoi järjestelmän käytettävyyden rakentuvan kuvion 24 kaltaisen mekanismin kuvitteelliseksi ulosottoakseliksi. Mittaustulosten analysoinnilla pyritään löytämään parannustarpeita mekanismeissa esitettyihin tekijöihin.



KUVIO 24. Järjestelmän käytettävyyteen vaikuttavia tekijöitä

Gulatin kunnossapidon parhaita käytänteitä esittelevää osiota sivuten, on kunnossapito-organisaation toiminnan parantamisen tavoitteena kasvattaa järjestelmän käyttövarmuutta kustannustehokkaasti. Samalla tullaan vaalimeeksi järjestelmän kykyä olla tilassa, jossa vaadittu toiminto kyetään tarvittaessa suorittamaan. Edellä kuvattu käytettävyyden kyky rakentuu testijakson perusteella seuraavista, aineistoa mukailevista taustatekijöistä:

1. inherentti käyttövarmuus → kuinka järjestelmä on suunniteltu?
2. operointiympäristö → kuinka järjestelmää käytetään?
3. kunnossapitokonsepti → kuinka järjestelmää kunnossapidetään?

(Gulati. 2013. s.5)



Inherenttiin käyttövarmuuteen vaikuttavat eniten järjestelmään suunnitteluvaiheessa valitut komponentit, ja niiden konfiguraatiot. Inherentin käyttövarmuuden tasoa ei voida merkittävästi kasvattaa ilman komponenttivaihdoksia järjestelmän rakenteessa, joten ensisijaiset käytettävyyden parannuskohteet löytyvät kahdesta muusta tekijästä. Näistä operointiympäristöön luetaan kuuluviksi järjestelmän käyttöolosuhteiden lisäksi sitä käyttävien operaattoreiden taidot ja kyvyt. Aineisto viittaa useiden tutkimusten osoittavan jopa yli 40 % vioista olevan peräisin järjestelmän käyttövirheistä. Tekijöistä kunnossapitokonseptin kontolle jää vastata järjestelmän käyttövarmuuden ylläpidosta, sekä käytettävyyden parantamisesta. Näitä tekijöitä analysoidaan tutkittavan järjestelmän osalta työn salassa pidettävässä liitteessä. (Gulati. 2013. s.5)

## 8. Pohdinta

Laitevalmistajien kunnossapitokonseptien vaikutukset liittyvien kohteiden käytettävyyteen mainitaan useammassa tämän opinnäytetyön lähdeaineistossa (Moubray, Smith..) tehokkuudeltaan kyseenalaisiksi. Perusteena varsinkin ehkäisevän kunnossapidon toimien kohdistamiseen ja aikataulutukseen viitaten, huolto-ohjelmat todetaan yleensä laadituksi viime tipassa ennen järjestelmätoimitusta. Hankaluuden mainitussa muodostaa se, ettei kunnossapitokonsepteihin liittyvien määritysten taustalla ole mitattuun statistiikkaan perustuvaa aineistoa. Tämän opinnäytetyön tehtäväasetelussa haluttiin tunnistaa kohdejärjestelmän valmistajan määrittämän kunnossapitokonseptin tekijöitä käytettävyyteen, sekä mitata sen noudattamisen vaikutusta järjestelmän sopimuksellisiin suorituskykyarvoihin.

Mielestäni työ avasi kohdejärjestelmän elinjaksonhallinnan näkökulmasta - tutkimuksen teoreettinen viitekehys säilyttäen - käyttötoimintaan liittyviä kunnossapito- ja turvallisuusrakenteita hyvin syvällisesti. Näistä elementeistä löytyy niitä tukevan kirjallisuuden lisäksi myös ohjedokumentteja, sekä ajankohtaisia standardeja, joidenka sisältöjä yhdistelemällä materiaalien sisällöt rakentuivat tukevaksi rungoksi tutkimusaiheen ympärille. Runsaan lähdeaineiston ja monia tutkimusvaiheita sisältävän aiheen riskinä saattaa olla taipumus jonkinasteiselle rönsyilylle. Vaikka tämän työn suoritusaike venyi pitkäksi, ja raportointi repesi laajaksi, kykenin nähdäkseni koostamaan laitevalmistajan kunnossapitokonseptin vaikutus käytettävyyteen -otsikon alle kuitenkin juuri oleellimmat termit, niiden keskinäiset suhteet, rajapinnan tutkimukseen liittyvään järjestelmään, sekä kunnossapitotoiminnassa huomioitavat laatuajat- telun ja -johtamisen periaatteet. Tunnistan tämän työn vuoksi ponnistellun kehityspro- sessin sysäyksen liikkeelle ajatusmallin muutoksen myös omaan päivittäistyöskente- lyyni kunnossapidon parissa. Kun aikaisemmin mielsin vikaantumisten estämisen ole- van kunnossapito-organisaation tärkeimpiä tehtäviä, tuo muuttunut ajatusmalli suo- siikin nyt seisokkikriittisten toimintojen käytettävyyden säilyttämistä käynnissäpidet- tävissä kohteissa.

Oman ammatillisen kehittymisen piiriin miellän myös RCM -menetelmään perehtymisen, jota mukailtiin osana tutkimuksen työkaluja. Menetelmän ammattilaista nyt päättävä projekti ei tee, mutta RCM -analyysin metodit tunnistan tehokkaiksi työkaluiksi siellä, missä tarvitaan kunnossapidon suunnittelua, huolto-ohjelmien ja -ohjeiden vaikuttavuuden arviointia sekä kehittämistä, teknisen ohjeistuksen ylläpitoa ja varaosasuunnittelua. Mainitun paletin hallitsija on asiantuntijatuen antajana oikea kunnossapidon ja järjestelmien elinjaksonhallinnan tehopelaaja, joka tuo aitoa lisäarvoa paitsi omalle, niin myös asiakkaiden kunnossapito-organisaatioille.

Henkilökohtaisten taitojen kehittymisen, sekä työlle asetettujen tutkimustavoitteiden täyttymisen ohella, tästä opinnäytetyöstä voitaneen hyödyntää vinkkejä myös vastaaviin projekteihin tulevaisuudessa. Työssä raportoidut, laajasti kunnossapidon teemoja avaava teoriaosuus, sekä analyysin mittauserot tuottanut tutkimusprosessi, osoittautuivat arvioni mukaan luotettaviksi työkaluiksi työlle asetetussa viitekehyksessä. Menemättä syvemmin tutkimusprosessin tuottamiin varsinaisiin mittauksilukuihin, voidaan niistä löytää yhtymäkohtia esimerkiksi tietoperustan esittämien tukiaineiston Pareto-periaatteeseen. Tarkastelujaksoa kasvattamalla, olisi hyvinkin oletettavaa yhdistää tunnistetut ongelmien aiheuttajat viitatun periaatteen 80 % / 20 % -sääntöön. Tähän, ja muihin työn nimeämiin faktoihin peilaten, voitaneen työssä esitettyä tutkimusprosessia soveltaa jatkokäyttöön puolustusalan lisäksi myös muiden toimialojen projekteissa, joidenka tavoitteena on tutkia ja tunnistaa eri teknologioita integroivista järjestelmistä, ja varsinkin niihin liittyvistä huoltokonsepteista, kohteen käytettävyyteen vaikuttavia elementtejä. Näiden elementtien tunnistamisen myötä, voidaan kunnossapito-organisaation toiminnan kehittämistä ohjata kohti kullekin jatkotutkimukselle asetettujen ongelmien ratkaisua - liittyivät ne sitten käytettävyyssarvon kasvattamiseen, tai kunnossapitokustannusten optimointiin. Ehkä tämän työn olennaisimpana havaintona, ongelmien tehokkaan ratkaisukyvyyn tuottamiseen liittyen, on syvän vuorovaikutuksen muodostamisen ja vaalimisen tärkeys. Tämä koskettaa yhteistyökumppaneiden lisäksi kaikkia yrityksen omia organisaatiotasoja, unohtamatta myöskään mahdollisia ulkoistettuja sidosryhmiä.

## Lähteet

Deming. 2016. The W. Edwards Deming Institute -verkkójulkaisu. Viitattu 02.04.2017.

<https://www.deming.org/theman/theories/pdsacycle>

Department of Defense. 1991. Military Handbook. MIL-HDBK-217F. Washington DC.

Fonecta. 2017. Millog Oy:n yritystiedot Finder.fi verkkójulkaisussa. Viitattu

02.04.2017.

<https://www.finder.fi/Teollisuuden+kunnossapitopalveluja/Millog+Oy/TAMPERE/taoustiedot/1239698>

Fourth Factor Engineering, LLC. 2015. Yrityksen verkkosivujen RAM-T -teoriasivu. Viitattu

02.04.2017. <http://www.fourth-factor-engineering.com/pages/ram-t>

Gulati, R. 2013. Maintenance and Reliability Best Practices. Second edition. New

York: Industrial Press Inc.

Härkönen, T. 2012. Kunnossapidon johtaminen luotettavuustietoa hyödyntäen. Pro-

maint lehti 3/2012.

Ilmavoimat. 2017. Ilmavalvontakaluston esittely Ilmavoimien verkkosivustolla. Viitattu

02.04.2017. <http://ilmavoimat.fi/ilmavalvontatutkat>

Ilmavoimat. 2017. Sotilasilmailun viranomaisyksikön esittely Ilmavoimien verk-

kosivustolla. Viitattu 02.04.2017. <http://ilmavoimat.fi/sotilasilmailun->

[viranomaisyksikko-svy-](http://ilmavoimat.fi/sotilasilmailun-viranomaisyksikko-svy-)

ITEM Software, Inc. 2007. Reliability Prediction Basics. Verkkójulkaisu. Viitattu

02.04.2017. <http://www.reliabilityeducation.com/ReliabilityPredictionBasics.pdf>

Juran, J.M. & De Feo, J.A. 2010. Juran's quality handbook - The complete guide to performance excellence. 6. p. New York: McGraw-Hill.

Järvio, J.; Piispa, T.; Parantainen, T. & Åström, T. 2011. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja, Nro 10. 4. p. lisäpainos. Helsinki: Copy-Set Oy.

Kauppalehti. 2017. Millog Oy:n yritystiedot Kauppalehden verkkojulkaisussa. Viitattu 02.04.2017. <http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/millog+oy/20518595>

Kosola J. 2007. Suorituskyvyn elinjakson hallinta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Sotatekniikan laitos. Julkaisusarja 5 Nro 7/2007. Helsinki: Edita Prima Oy Helsinki.

Lehto, M. 2012. Suomen ilmavoimien johtamisjärjestelmän evoluutio ilmasotateorian, kansallisten instituutioiden ja johtamisjärjestelmän ulkomaisen kehityksen näkökulmasta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos. Julkaisusarja 1 Nro 8. Tampere: Tampereen yliopistopaino - Juvenes Print.

MIL-STD-2173. 1986. Reliability-Centered Maintenance requirements for Naval aircraft, weapons systems and support equipment. Military Standard. Washington DC: Department of Defense.

Millog Oy. 2008. Millog Oy ja Maavoimat allekirjoittivat kumppanuussopimuksen Maavoimien materiaalin kunnossapidosta. Tiedote 19.06.2008. Viitattu 02.04.2017. [http://www.millog.fi/portal/fi/tiedotteet\\_ja\\_esitteet/tiedotteet/?bid=12](http://www.millog.fi/portal/fi/tiedotteet_ja_esitteet/tiedotteet/?bid=12)

Millog Oy. 2012. Yrityksen julkaisusarjan yleisesite. Viitattu 02.04.2017. [http://millog.smartpage.fi/fi/millog-yleisesite/files/millog\\_yleisesite\\_suomi\\_opti.pdf](http://millog.smartpage.fi/fi/millog-yleisesite/files/millog_yleisesite_suomi_opti.pdf)

Millog Oy. 2014. Millog Oy ja Puolustusvoimat allekirjoittivat kumppanuussopimuksen maavoimien ja merivoimien materiaalin kunnossapidosta. Tiedote 26.09.2014. Viitattu 02.04.2017. [http://www.millog.fi/portal/fi/tiedotteet\\_ja\\_esitteet/lehdistotiedotteet?bid=136](http://www.millog.fi/portal/fi/tiedotteet_ja_esitteet/lehdistotiedotteet?bid=136)

Millog Oy. 2017. Intranetin PowerPoint-diasarja: yritysesittely.

Millog Oy. 2017. Yrityksen esittely verkkosivustolla. Viitattu 02.04.2017.

[http://www.millog.fi/portal/fi/tietoa\\_meista/](http://www.millog.fi/portal/fi/tietoa_meista/)

Moubray, J. 1997. Reliability-centred Maintenance. Second edition. Reprinted 2002. Oxford: Butterworth-Heinemann.

O'Connor, P.; Kleyner, A. 2012. Practical Reliability Engineering. Fifth edition. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd

PSK 6201.2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. p. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry

PSK 7501.2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. p. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry

Puolustusministeriö. 2014. Sopimus maavoimien ja merivoimien materiaalin kunnossapidon kumppanuudesta allekirjoitettiin. Tiedote 26.09.2014. Viitattu 02.04.2017.

[http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/sopimus-maavoimien-ja-merivoimien-materiaalin-kunnossapidon-kumppanuudesta-allekirjoitettiin](http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/sopimus-maavoimien-ja-merivoimien-materiaalin-kunnossapidon-kumppanuudesta-allekirjoitettiin)

Puolustusvoimat. 2013. Ilmavalvontakaluston esittelysivu. Viitattu 02.04.2017.

<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/SU+Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Ilmavoimat/Perustietoa/Ilmavoimien+kalusto/Ilmavalvonta/Ilmavalvontatutkat>

Puolustusvoimien logistiikkalaitos. 2015. KEVA2010-huoltojärjestelmäkuvaus. Versio 1.5

Puolustusvoimien logistiikkalaitos. 2015. KEVA2010-raportointiohje. Versio 1.3

Ramentor Oy. 2015. Yrityksen verkkosivujen teoriaosuus. Viitattu 02.04.2017.

<http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/>

SFS-6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. 3.p. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. p. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-IEC 60300-3-11. 2001. Luotettavuuden hallinta. Osa 3-11: Sovellusohje. Toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

Smith, A.; Hinchcliff, G. R. 2004. RCM: Gateway to world class maintenance. Massachusetts: Elsevier Butterworth–Heinemann

Thales Group. 2016. MRR2010 Surveillance Radar, Radar System Maintenance Manual 61739754CA - 194. Edition 006.

ThalesRaytheonSystems. 2011. Valmistajan tuote-esite GM403 ilmavalvontatutkasta. Viitattu 02.04.2017.

[http://www.thalesraytheon.com/fileadmin/tmpl/Products/pdf/2012/GM400-June\\_2011.pdf](http://www.thalesraytheon.com/fileadmin/tmpl/Products/pdf/2012/GM400-June_2011.pdf)

Waeyenbergh, G. Pintelon, L. & Gelders, L. 2001. A stepping stone towards knowledge based maintenance. The South African Journal of Industrial Engineering. Vol 12, No 1 (2001)