

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Henry Ojala

**PAPERIKONELINJAN TUOTTAVUUDEN PARANTAMINEN KUNNOSSAPIDON
KEINAIN**

Lappeenrannassa 24.11.2019

Tarkastaja: Professori Juha varis

Dosentti Harri Eskelinen

Ohjaaja: Kunnossapitopäällikkö Anssi Koivula

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Henry Ojala

Paperikonelinjan tuottavuuden parantaminen kunnossapidon keinoin

Diplomityö

2019

86 sivua, 40 kuvaa, 7 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastaja: Professori Juha Varis
Professori Harri Eskelinen

Hakusanat: kunnossapito, RCM, luotettavuuskeskeinen kunnossapito, käytettävyys, vikavaikutusanalyysi, kriittisyysluokittelu, kunnossapito-ohjelma

Kunnossapitoa on ryhdytty pitämään kehitettävissä olevana kohteena, eikä pelkästään pakollisena kustannuseränä. Tämän ansioista on havaittu, että kunnossapidolla on merkittävä vaikutus yrityksen toiminnan kannattavuuteen ja kilpailukykyyn. Nykyisin pyritään saavuttamaan tehokkaasti toimiva kunnossapito, jossa mahdollisimman pienillä kustannuksilla voidaan saavuttaa riittävän suuri laitteiden käyttövarmuus.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda UPM Kymin paperikone 8:n tuotantolinjan jälkipään kriittisimmille laitteille kunnossapito-ohjelma, joka on luotu RCM-menetelmää eli luotettavuuskeskeistä kunnossapitomenetelmää hyödyntäen. Tuotantolinjan laaja vastuualue ja vanheneva laitekanta on tuottanut kunnossapidolle haasteita. Tällä hetkellä tuotantolinjalla suoritetaan paljon reagoivaa kunnossapitoa ja käytettävyystavoitteisiin ei olla päästy kunnossapidon osalta. Uusien kunnossapito-ohjelmien tavoitteena on parantaa tuotantolinjan käytettävyyttä ja kunnossapidon suunnitelmallisuutta eli vähentää reagoivaa kunnossapitoa.

Tarkasteltavat laitteet valittiin laitteista aiheutuneiden suunnittelemattomien kunnossapitoseisokkien, toteutuneiden kunnossapitotilausten lukumäärän, toteutuneiden kunnossapidon kustannuksien ja toteutuneiden asentajien työtuntien perusteella. Valituille laitteille suoritettiin kriittisyysanalyysi, jossa tarkasteltavan alueen toimintopaikat jaettiin kriittisyysluokkiin. Kriittisyysluokat kuvaavat toimintopaikkojen kriittisyyttä käytettävyyden, laatutekijöiden, turvallisuusvaikutusten, ympäristövaikutusten ja kunnossapidon kannalta.

Kriittisyysluokittelun jälkeen toimintopaikkojen laitteille suoritettiin vikavaikutusanalyysi, jonka tarkoituksena oli tunnistaa kohteiden seurauksiltaan vakavimmat vikamuodot. Vikavaikutusanalyysi suoritettiin laitteiden kriittisille komponenteille. Kunnossapito- ja huolto-ohjelma kehitettiin tärkeimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi ja havaitsemiseksi.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Henry Ojala

Improving productivity by the means of maintenance in paper machine line

Master's thesis

2019

86 pages, 48 figures, 7 tables and 2 appendixes

Examiner: Professor Juha Varis
Professor Harri Eskelinen

Keywords: maintenance, RCM, reliability-centered maintenance, availability, failure mode and effect analysis, critical analysis, maintenance program

Today, maintenance is a subject that can be developed and not only a mandatory cost subject. As a result, it has been found that maintenance has a significant impact on the company's profitability and competitiveness. Nowadays, efforts are being made to achieve efficient maintenance in order to minimize costs and achieve enough availability.

The objective of the research was to create a maintenance program for production line of the paper machine 8 of UPM Kymi paper mill. The maintenance program has been utilized RCM method. The production line has created many challenges for maintenance. There is a lot of reactive maintenance on the production line, and availability targets cannot be reached. The aim of the new maintenance programs is to improve the availability of the production line and reduce reactive maintenance.

The devices to be examined were selected for the following reasons: amount and duration of maintenance unplanned shutdown, number of maintenance work orders, maintenance costs and based on the hours worked by installers. The selected devices were subjected to a criticality analysis and categorized into criticality categories. The criticality categories describe the criticality of the devices in terms of availability, quality factors, safety impacts, environmental impacts and maintenance impacts.

After the criticality analysis, the devices were subjected to failure mode and effect analysis. Failure mode and effect analysis solved the most serious types of equipment failure. The maintenance program was developed to prevent and detect major malfunctions.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty UPM-Kymmene Oyj:n Kymin paperitehtaalle.

Diplomityö oli erittäin antoisa ja opettava kokemus sekä aihe oli erittäin mielenkiintoinen. Haluan erityisesti kiittää työn tarkastajaa kunnossapitopäällikköä Anssi Koivulaa, joka on mahdollistanut diplomityön sekä antanut ohjausta ja tukea. Haluan myös erikseen kiittää työn tarkastajaa professori Juha Varista. Lisäksi haluan kiittää kaikkia muita, jotka ovat olleet, jollain tavalla osallisena työn eri vaiheissa.

Henry Ojala

Lappeenranta 13.11.2019

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	9
1.1	Tutkimustavoitteet ja -ongelmat	9
1.2	Tutkimuskysymykset	10
1.3	Tutkimusmenetelmät	10
1.4	Kohdeyrityksen esittely	11
1.5	Tutkimuksen rajaus	11
2	KUNNOSSAPITO YLEISESTI	12
2.1	Kunnossapidon kustannukset.....	14
2.2	Käyttövarmuus ja tuotannon kokonaistehokkuus	17
2.3	Kunnossapitolajit	20
2.3.1	Häiriökorjaus	20
2.3.2	Ehkäisevä kunnossapito	21
2.3.3	Parantava kunnossapito ja kunnostaminen	22
2.4	Kunnossapitostrategiat.....	23
2.4.1	TPM	25
2.4.2	Tuotanto-omaisuuden hoitaminen, Asset Management.....	27
3	VIKAANTUMINEN JA KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELU	33
3.1	Vikaantumismallit.....	34
3.2	Vikaantumisen syyt ja toimet vikaantumisia vastaan	36

3.3	Ehkäisevän kunnossapidon suunnittelun periaatteet.....	37
3.4	Yleisimmät riskianalyysimenetelmät.....	39
3.4.1	Vika- ja vaikutusanalyysi.....	39
3.4.2	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi	40
3.4.3	PSK 68000 Laitteiden kriittisyysluokittelu.....	40
4	LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO, RCM.....	43
4.1	RCM -analyysin vaiheet ja päämäärät	44
4.2	RCM-prosessissa käytetyt vikojen seuraukset ja niiden hallinta.....	45
4.3	Työtehtävien suunnittelu RCM-periaatteiden mukaisesti.....	46
5	PK8-TUOTANTOLINJAN KRIITTISTENLAITTEIDEN TUNNISTAMINEN JA KUNNOSSAPIDON NYKYTILANNE	51
5.1	PK8-tuotantolinja.....	51
5.2	UPM Communication Papers kunnossapitostrategia.....	52
5.3	Kunnossapito-organisaatio ja kunnossapidon nykytilanne.....	52
5.4	Kriittisten laitteiden valinta	55
6	KUNNOSSAPITO-OHJELMAN TOTEUTUS	63
6.1	Kriittisyysluokittelun toteutus.....	63
6.2	Kriittisyysluokittelun tulokset.....	65
6.3	Vikavaikutusanalyysi.....	67
6.4	Kunnossapito-ohjelman teko	69
7	TULOKSET	71
7.1	Kriittisten laitteiden tunnistaminen.....	71
7.2	Kunnossapitostrategian arviointi ja kehitysehdotukset.....	73
7.3	Huolto-ohjelman käyttöönotto ja kunnossapidon jatkuva kehittäminen	78
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	80
	Lähdeluettelo.....	83
	LIITTEET	

Liite I: Esimerkit kriittisyysanalyysistä

Liite II: Esimerkit vikavaikutusanalyysistä

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

K	Käytettävyys
KNL, OEE	Tuotannon kokonaistehokkuus
L	Laatukerroin
MDT	Keskimääräinen seisokkiaika
MES	Tuotannonohjausjärjestelmä
MTBF	Keskimääräinen vikaväli
MTTR	Keskimääräinen korjausaika
N	Toiminta-aste
PSK	Standardisointiyhdistys
RCM	Luotettavuus keskeinen kunnossapito
RTF	Käyttö hajoamiseen asti
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä
SFS	Suomen standardiliitto
TPM	Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito
VVA	Vika- ja vaikutusanalyysi
VVKA	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi

1 JOHDANTO

Teollisuudessa esiintyvä kova kilpailu edellyttää yritysten jatkuvaa kehittymistä. Koneiden halutaan pyörivän yhä nopeammin, pidempään ja samalla huolloille varattuja korjausaikoja lyhennetään. Tämä aiheuttaa kunnossapidolle paineita ylläpitää laitteiden kunto riittävän luotettavalla tasolla, joten kunnossapidon toimintatapoja joudutaan jatkuvasti kehittämään. Kunnossapidon kehittämiseksi on kehitelty erilaisia menetelmiä, joilla pyritään vastamaan nykyaikaisiin vaatimuksiin. Yksi tällaisista menetelmistä on RCM (Reliability Centered Maintenance) eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito, jolla pyritään määrittelemään kustannustehokkaimmat ja käyttökelpoisimmat kunnossapitotehtävät riskien minimoimiseksi. RCM -menetelmää hyödyntäen pyritään saavuttamaan tehokkaasti toimiva kunnossapito, jolloin pystytään parantamaan tuotantolaitteiden käytettävyyttä ja luotettavuutta. Näin tuotantokatkoksista ja tuotantolaitteiden heikkenemisistä syntyvät menetykset saadaan minimoitua. Nykyisin myös kunnossapidon ja tuotannon henkilöstön yhteistyötä vaaditaan tuotantolaitoksilla entistä enemmän. Perinteinen ajattelutapa ”minä käytän, sinä korjaat” on alkanut tulla tiensä päähän ja nykyään tuotantohenkilöstönkin odotetaan osallistuvan entistä enemmän kunnossapidollisiin töihin, kuten koneen toimintakunnon valvomiseen ja toiminta edellytysten vaalimiseen. Tässä tutkimuksessa pyritään kehittämään UPM Kymin paperikone 8:n tuotantolinjan kunnossapitotoimintaa RCM -menetelmää hyödyntäen.

1.1 Tutkimustavoitteet ja -ongelmat

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää UPM Kymin paperikone 8:n tuotantolinjan kunnossapidon ja käyntiasteen kannalta kriittisimmät kohteet tuotantolinjan jälkipään laitteista ja suunnitella näille laitteille ennakkohuoltosuunnitelmat RCM -työkalua hyödyntäen. Tällä hetkellä tuotantolinjalla ei ole olemassa kattavia ennakkohuoltosuunnitelmia ja osittain tämän takia linjalla suoritetaan paljon reagoivaa kunnossapitoa. Lisäksi kunnossapidolle asetettuihin käytettävyydestavoitteisiin on ollut haasteellista päästä lähivuosina. Lopullisten tulosten ansiosta toivotaan, että kunnossapidon ja käytettävyyden kannalta tuotantolinjan kriittisimmät kohteet ja niiden laitteet tunnistettaisiin. Kohteille luotujen ennakkohuoltosuunnitelmien toivotaan helpottavan kunnossapitoresurssien keskittämistä, sinne missä niitä eniten tarvitaan ja parantavan

kunnossapito-organisaation tehokkuutta, tekemällä kunnossapitoasentajien työpäivistä suunnitellumpia ja aikataulutetumpia. Tämän lisäksi käyttöhenkilöstön roolia laitteiden toimintakunnon ylläpitämisessä pyritään kasvattamaan luomalla käyttäjille soveltuvia laitteiden tarkastuskierroksia. Näiden toivotaan johtavan suunnittelemtomien seisokkien määrän ja yllättävien laiterikkojen vähenemiseen, jolloin tuotantolinjan käytettävyys ja tuottavuus paranisi.

1.2 Tutkimuskysymykset

Päätavoitteen täyttymisen todentamiseksi tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin kunnossapidon kehittämiseen liittyviin tutkimuskysymyksiin.

- Miten kunnossapidon toimintaa pitäisi kehittää käytettävyysasteen parantamiseksi?
- Miten pystyttäisiin siirtyä reagoivasta kunnossapidosta enemmän ennakoivaan ja ehkäisevään kunnossapitoon?
- Miten edellä esitetyt voitaisiin toteuttaa ilman, että nykyiset kunnossapitokustannukset kasvavat?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä käytetään tietokannoista, haastatteluista ja tehtaalla tehdyistä havainnosta koostuvaa aineistotriangulaatiota. Tutkimuksen ydin on tietokannat, jotka tarjoavat koneiden laitetiedot, varaosatiedot, vikahistoriatiedot sekä tiedot suunnittelemtomista seisokeista. Tutkimuksen aikaisilla ryhmähaastatteluilla kunnossapidon ja tuotannon kokemuspohjainen tieto tuotiin esiin. Haastattelut koostuvat yhdessä yrityksen tuotannon ja kunnossapidon henkilöstön kanssa käydyistä kriittisyysanalyysipalavereista. Tehtaalla tehtävä havainnointi sekä työntekijöiltä kyseleminen antavat näkemyksen olemassa olevan dokumentaation ja todellisen tilanteen yhtymäkohdista ja poikkeavuuksista. Kuvassa 1 on esitetty aineistotriangulaatiota havainnollistava kuva.



Kuva 1. Aineistotriangulaatiossa esitetyt tutkimusmenetelmät ovat tietokannat, haastattelut ja havainnointi

1.4 Kohdeyrityksen esittely

UPM syntyi vuonna 1995, kun Kymmene Oy, Repola Oy ja sen tytäryhtiö Yhtyneet Paperitehtaat Oy yhdistyivät. Konsernin juuret sijoittuvat kuitenkin jo 1870-luvulle, jolloin ensimmäiset puuhiomot, paperitehtaat ja sahalaitokset käynnistyivät. (UPM Biofore). Nykyisin UPM-Kymmene Oyj on biometsäteollisuusyritys ja sillä on tuotantoa 12 eri maassa. Sen liikevaihto on nykyisin noin 10 miljardia ja se työllistää yhteensä 19100 työntekijää. (Tietoa meistä 2018.)

1.5 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus on rajattu koskemaan UPM-Kymmene Oyj:n Kymin paperitehtaan paperikone 8:n tuotantolinjan jälkipäätä. Työssä otetaan huomioon vain mekaaniset ja hydrauliset laitteet sekä sähkömoottorit.

2 KUNNOSSAPITO YLEISESTI

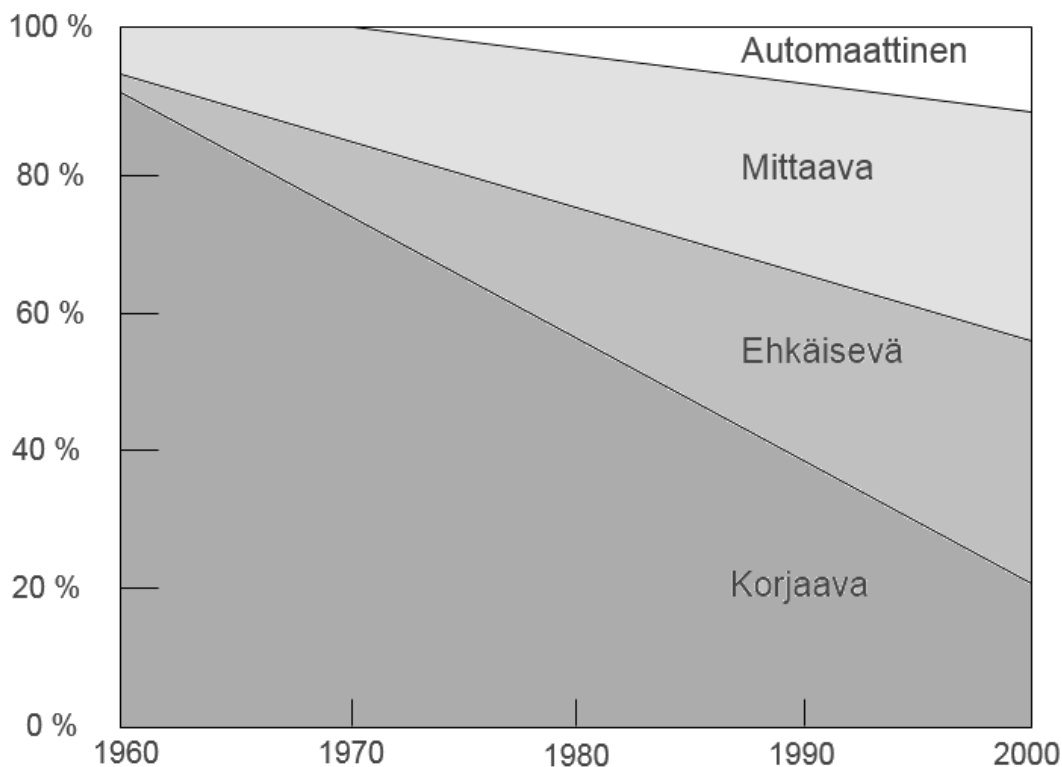
Mikkonen kirjoittaa (Mikkonen et al. 2009, 152), että kunnossapitoa suoritetaan kohteisiin, joilla on jokin haluttu toiminto sekä suorituskykyvaatimus ja kunnossapidon tehtävänä on varmistaa, että nämä molemmat toteutuvat. Standardissa PSK 6201 on määritelty kunnossapito seuraavasti:

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (PSK 6201, 2).

Nykyaikaisessa kunnossapidossa koneen käyttäjällä on päävastuu omasta koneestaan. Tällä pyritään siihen, että käyttäjä ”omistaisi” oman henkilökohtaisen tuotantolaitteistonsa, jolloin tuotantolaitteistoa huollettaisiin todennäköisemmin kuin omaa omaisuutta. Samalla pyritään siihen, että kunnossapito-osaston laitteistojen käyttäjiä opastava rooli kasvaa. (Järviö 2007, 18) Järviö käyttääkin (Järviö & Lehtiö 2012, 17) kunnossapidosta termiä tuotanto-omaisuuden hoitaminen ja toteaa laitteiden toimintakunnon olevan jokaisen henkilön vastuulla, joka on kyseisen tuotanto-omaisuuden kanssa tekemisissä. Näin jokainen ryhmä osallistuu laitteiden toimintakunnon ylläpitämiseen omalla tavallaan. Käyttöhenkilöiden vastuulle jää koneiden asianmukainen käyttö, toimintakunnon valvominen ja toimintaedellytysten vaaliminen, kun kunnossapito-osasto vastaa vaativimmista toimenpiteistä, kuten korjaukset ja vaativa kunnonvalvonta.

Kunnossapidon oleellisin tehtävä on aina ollut pitää tehtaan pyörät pyörimässä. Kunnossapidon rooli, painopisteet ja merkitys ovat kuitenkin vaihtuneet vuosikymmenten kuluessa. Aikaisemmin kunnossapitoa pidettiin pakollisena kustannuksena, johon ei juuri voitu vaikuttaa ja kunnossapitotoiminta on ollut pääsääntöisesti korjaavaa kunnossapitoa. Nykyisin kuitenkin kunnossapidon vaikutus tuotannon tehokkuuteen, laatuun ja kustannuksiin on havaittu, jonka myötä ehkäisevän, mittavaan ja automaattisen kunnossapidon osuudet ovat kasvaneet ja samalla korjaavan kunnossapidon osuus on vähentynyt. Tämä kehitys on esitetty kuvassa 2. Muutos on mahdollistanut suuremmat

tuotantomäärät ja paremman laadun, mutta se on samalla pääsääntöisesti kasvattanut kunnossapidon kokonaiskustannuksia. Oleellista kuitenkin on, että kunnossapitokustannukset valmiissa tuotteessa pienenevät. (Järviö 2007, 11-14).

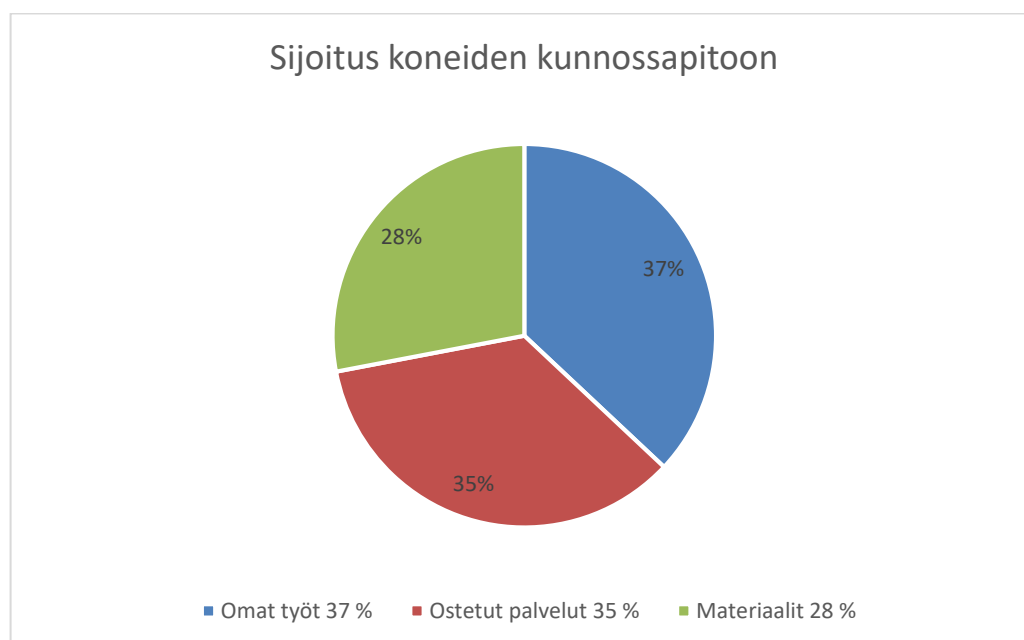


Kuva 2. Kunnossapidon trendien kehitys (mukailtu Aalto 1997, 17)

Kunnossapidon tehokkuutta ja laatua mitataan usein tunnusluvuilla. Tunnuslukujen avulla pystytään kertomaan, kuinka hyvin tavoitteet on saavutettu, arvioimaan kunnossapitoa eri näkökulmista ja vertailemaan muihin vastaaviin yksiköihin. (PSK 7501, 32). Tunnuslukujen on syytä olla mahdollisimman konkreettisia, jotta jokainen yrityksen henkilöstöstä ymmärtää oman työnsä merkityksen tunnuslukujen mittareissa. Liiketoiminnan toimintamallit ohjaavat kunnossapidon liiketoimintaa ja liiketoiminnan tuottavuus syntyy tuottojen ja kustannusten erotuksena. Tuotantolaitoksen tehtävä on tuottaa hyödykkeitä mahdollisimman tuottavasti, mikä on myös kunnossapito-osaston tärkein päämäärä. (Järviö & Lehtiö 2012, 179)

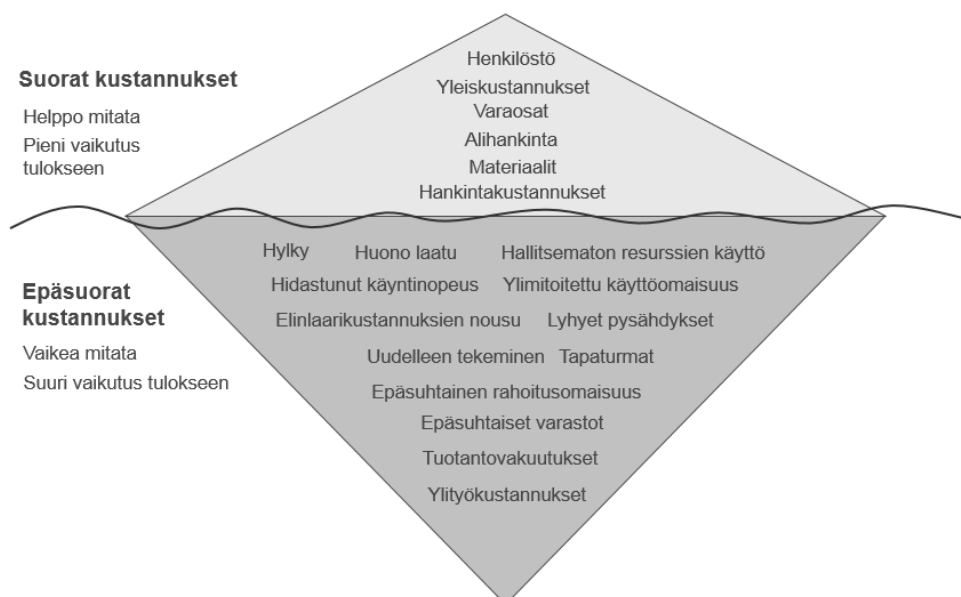
2.1 Kunnossapidon kustannukset

Kunnossapidon kustannukset muodostavat merkittävän osan teollisuuden kokonaiskustannuksista. Kunnossapitokustannusten osuus teollisuudessa vaihtelee pääsääntöisesti välillä 15 – 40 %, mutta joillakin teollisuuden aloilla ne voivat olla jopa 70 %. (Moblely 2002, 1) Kunnossapidon kustannukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin. Suorat kustannukset koostuvat palkoista, varaosista, hankintakustannuksista, varastointikustannuksista, materiaaleista, alihankinnasta ja muista kunnossapidon yleiskustannuksista, jotka ovat helposti seurattavissa. Kunnossapitoyhdistyksen suorittamassa tutkimuksessa (2005) selvitettiin Suomessa suorien kustannusten jakaantuminen koneiden kunnossapidossa. Tutkimuksessa jaettiin suorat kustannukset kolmeen osioon, jotka olivat omat työt, materiaalit ja ostetut palvelut. Omaan työhön on laskettu palkkakustannukset, resurssit (tilat, koneet, työkalut, jne.) ja pääoma- sekä yleiskustannukset. Materiaaliosuus pitää sisällään varaosat sekä aineet ja tarvikkeet, jotka ovat ostettu erillisinä. Ostettuihin palveluihin kuuluvat alihankittu työ ja näiden urakoihin sisältyvät materiaalit. (Järviö & Lehtiö 2012, 33) Kuvassa 3 on esitetty suorien kustannusten jakaantuminen.



Kuva 3. Koneiden kunnossapidon kustannusten jakaantuminen Suomen teollisuudessa (mukailtu, Järviö & Lehtiö 2012, 33)

Kuvassa 4 on esitetty jäävuorimallina suorien ja epäsuorien kustannusten jakaantuminen. Pinnan alla on esitetty epäsuoria kustannuksia, joita ovat muun muassa huono laatu, tuotantokatkokset, hylky ja hidastunut käyntinopeus. Nämä epäsuorat kunnossapidon kustannukset katsotaan johtuvan tehottomasta ja riittämättömästä kunnossapidosta ja niiden vaikutus kokonaistulokseen on selvästi suorista kustannuksista suurempi, mutta niiden vaikutus kokonaistulokseen on vaikeammin määritettävissä. (Al-Najjar & Alsyouf 2004, 643)



Kuva 4. Kunnossapidon kustannukset jäävuorimallina (mukailtu Järviö & Lehtiö 2012, 180-181)

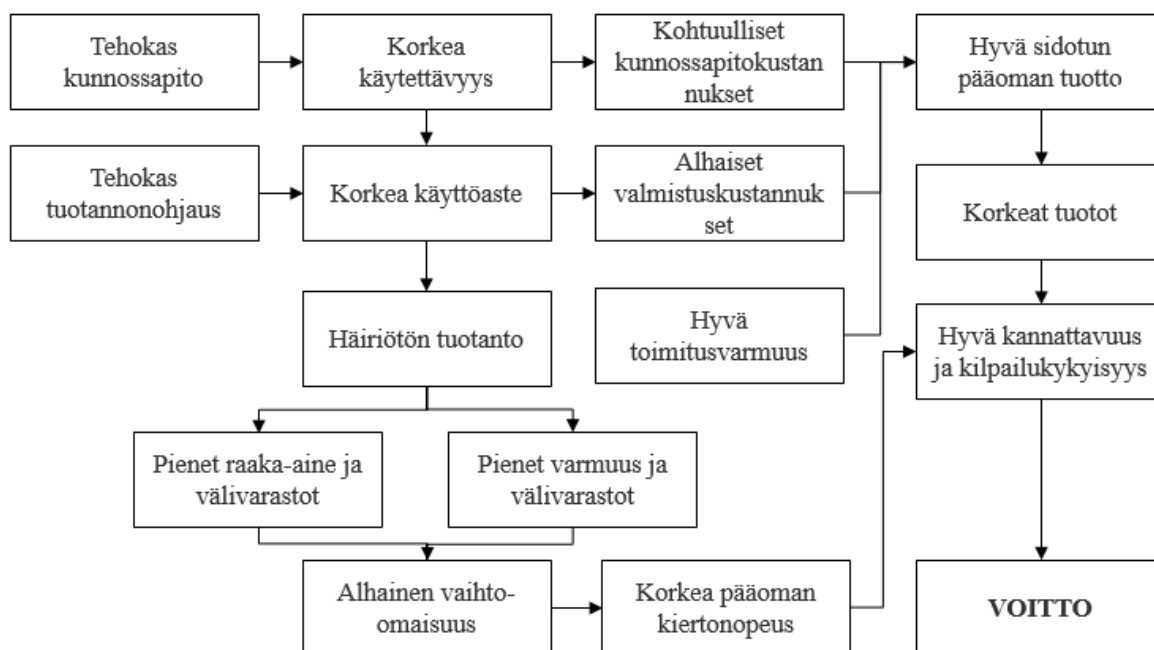
Perinteinen ongelma on ollut, että on keskitytty pelkästään suorien kustannusten seuraamiseen, vaikka niiden kokonaisvaikutus kannattavuuteen on suhteellisen pieni. Tämä on vahvistanut virheellistä käsitystä, että kunnossapito on pelkästään kustannuserä, eikä kehitettävissä oleva kohde, jolla voidaan parantaa itse tuotannon tehokkuutta ja laatua. (Al-Najjar & Alsyouf 2004, 643) Kirjallisuudessa on nimetty kunnossapidon kuusi suurta tappiotekijää: (Nakajima 1989, 28-30)

- Laiteviat
- Asetukset ja säädöt

- Tyhjäkäynti ja pienet tuotantokatkokset
- Alentunut tuotantonopeus
- Prosessihäviöt (laatuvirheet ja uusintatyö)
- Käynnistyshäviöt

Näiden kuuden suuren tappiotekijän sekä tehottoman kunnossapidon vaikutus esitettyihin epäsuoriin kustannuksiin on merkittävä. Näiden lisäksi häiriötilanteiden puutteellista dokumentointia pidetään yhtenä suurimpana kunnossapidon ongelmista, sillä se estää häiriöiden todellisiin ongelmiin puuttumisen ja kasvattaa tehottoman kunnossapidon osuutta, koska puutteellisen dokumentoinnin takia laitevikoihin reagoiminen on hitaampaa. Näin puutteellinen dokumentointi kasvattaa merkittävästi kuuden suuren tappiotekijän osuutta, mikä johtaa epäsuorien kunnossapidon kustannuksien kasvuun.

Kun laitteet käyvät tehokkaasti ja varmasti toimitus varmuus paranee, kiertonopeus kasvaa sekä valmis- ja välivarastojen tarve vähenee. Näiden ansiosta saavutetaan kokonaisuudessaan alhaisempi kustannustaso ja pienempi sitoutuneen pääoman määrä, mikä johtaa parempaan kannattavuuteen ja voittoon. Oikein hoidettu kunnossapito ei ole siis pelkkä kustannuslaji. (Lapinleimu et al. 1997, 361) Kunnossapidon vaikutus yrityksen tulokseen on kuitenkin välillinen ja sen vaikutusketju on varsin pitkä, minkä takia tuottojen näkeminen tuloksesta vaatii kokemusta ja ammattitaitoa. (Järviö 2007, 16) Kunnossapidon vaikutuksia kannattavuuteen ja kilpailukykyyn selventää kuva 5, jossa havainnollistetaan kuinka tehokkaan kunnossapidon ja tuotannonohjauksen ansiosta mahdollistetaan suurempi voitto.



Kuva 5. Kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen ja voittoon (mukailtu lähteestä Järviö & Lehtiö 2012, 27)

2.2 Käyttövarmuus ja tuotannon kokonaistehokkuus

Tuotantolaitoksen tehokkuutta voidaan mitata yksinkertaisesti toteutuneen tuotannon määrällä, mikä on määritelty kuvassa 6. (Järviö 2007, 31)



Kuva 6. Tuotantolaitoksen tehokkuus ja sen osatekijät (PSK 7501 2010, 6)

Toteutunut tuotanto riippuu sen teknisistä ominaisuuksista ja käyttövarmuudesta. Teknisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan koneen huippu nopeutta sekä suurinta mahdollista käynnissä oloaika. Käyttövarmuudella tarkoitetaan kohteen olevan siinä tilassa, että se kykenee tarvittaessa suorittamaan tietyissä olosuhteissa vaaditun toiminnon, kun vaaditut resurssit

ovat saatavilla. (PSK 9101 2018, 2) Käyttövarmuus voidaan jakaa kolmeen siihen vaikuttavaan osatekijään:

- toimintavarmuus, joka kuvaa kohteen kykyä suoriutua vaaditusta toiminnosta vaaditun ajanjakson ajan
- kunnossapitovarmuus, joka kuvaa kunnossapito-organisaation kykyä suoriutua vaaditulla ajanjaksolla vaaditusta tehtävästä tehokkaasti
- kunnossapidettävyydellä kuvataan, kuinka helposti kohde on pidettävissä ja palautettavissa tilaan, jossa pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. (PSK 6201 2011, 8)

Käyttövarmuutta voidaan mitata koneelle jälkikäteen ja sitä voidaan muun muassa havainnollistaa toteutuneella käyntiajalla. (PSK 6201 2011, 8) Käyttövarmuus muodostuu käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön yhteisvaikutuksen tuloksesta (Järviö & Lehtiö 2012, 195). Käyttövarmuuden mittareita käytetään toiminnan johtamiseen, joiden avulla voidaan esimerkiksi asettaa tavoitteita, tehdä vertailua eri yksiköiden välillä tai pyrkiä löytämään yrityksen parannusta vaativat kohteet. Käyttövarmuuden hallinnan kannalta yleisesti käytettyjä käyttövarmuuden mittareita ovat:

- Kokonaiskäytettävyys
- Kunnossapidollinen ominaiskäytettävyys
- Häiriötön käytettävyys
- Kunnossapidosta johtuva toiminnallinen käytettävyys
- Toimintavarmuus
- Tuotannon kokonaistehokkuus, KNL
- Keskimääräinen vikaantumisväli, MTBF
- Keskimääräinen häiriötoipumisaika, MTTR (PSK 9101 2018, 3)

Mittareita käytetään työkaluina, kun yrityksen kunnossapitostrategiaa valitaan tai kun suunnitellaan yksittäisten laitteiden kunnossapitoa. Kunnossapidolle tunnuslukumittariston rakentamisen ongelmana on, että kunnossapidon tulos muodostuu pääosin kunnossapidon

epäsuorista kustannuksista. Tämän takia kunnossapitoa on haastava mitata yksinkertaisilla ja yksiselitteisillä tunnusluvuilla. (Aalto 1997, 50-51)

Tuotannon kokonaistehokkuutta (KNL) pidetään kunnossapidon ulkoisista tavoitemuuttujista yhtenä tärkeimpänä. (PSK 6201 2011, 5) Tuotannon kokonaistehokkuutta sovelletaan aina prosessin ominaispiirteiden mukaan ja se pitää sisällään käytettävyyden (K), toiminta-asteen (N) ja laatukertoimen (L). (Järviö & Lehtiö 2012, 20-22) Käytettävyys tarkoittaa, että kohde on siinä tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavalla. Tunnuslukutarkastelussa käytettävyydellä tarkoitetaan keskimääräistä käytettävyyttä tietyllä aikavälillä. (PSK 6201 2011, 5) Käytettävyyttä mitattaessa huomioidaan ainoastaan se aika, jolloin käyttömiehistö on ollut tehtaalla tai laitos on ollut korjausseisokissa. Standardin PSK 7501 mukaan käytettävyys lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$K = \frac{KÄYNTIAIKA}{KÄYNTIAIKA+SEISOKKIAIKA} \quad (1)$$

Toiminta-asteella tai nopeudella (N) tarkoitetaan, kuinka lähellä tuotantolinjan teoreettista parasta mahdollista nopeutta pystytään ajamaan. Teoreettisen huippunopeuden määrittäminen on kuitenkin usein vaikeaa sillä siihen vaikuttavat monet tekijät, kuten tuotejakaumat, raaka-aineen laadut tai yms., joten ratkaisut valitaan aina tuotantolinjakohtaisesti. Kun teoreettinen maksimisuorituskyky on valittu, niin voidaan laskea toiminta-aste standardin PSK 7501 mukaisesti. (Järviö & Lehtiö 2012, 20-22) Toiminta-asteen (N) laskenta esitetty kaavassa 2.

$$N = \frac{TUOTANTOMÄÄRÄ}{NIMELLISTUOTANTOKYKY * TUOTANTOAIKA} \quad (2)$$

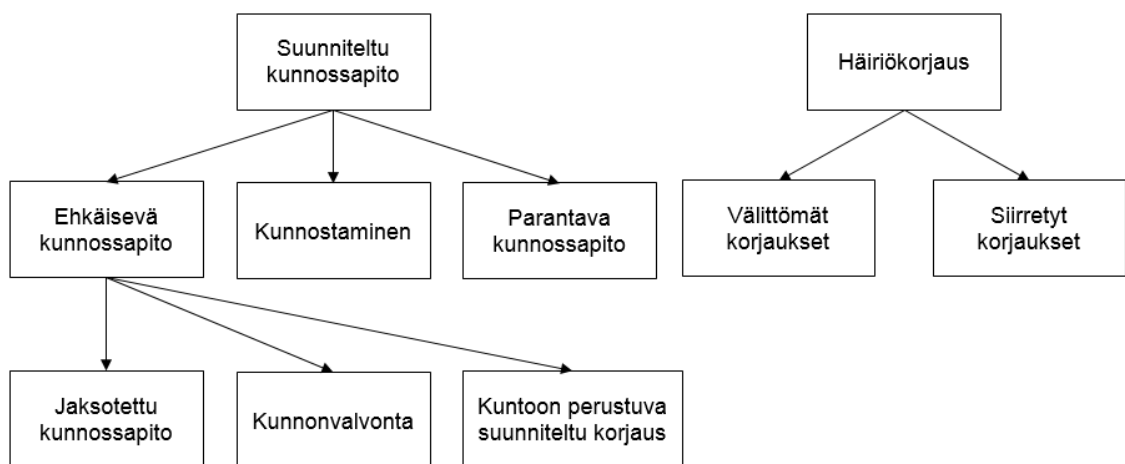
Laatukertoimella (L) pyritään mittaamaan sitä, kuinka suuressa osassa tuotantomäärästä on jonkinlaisia laadullisia puutteita. Laatutekijöihin päästään parhaiten käsiksi, kun suoritetaan laitoksen sisäistä laadunvalvontaa, jossa jokainen osaprosessi on asiakas edelliselle osaprosessille ja valvoo vastaanottamansa tuotteen laatua ja raportoi tästä edelliselle osaprosessille. (Järviö & Lehtiö 2012, 23-24) Standardissa PSK 7501 on laskettu laatukerros kaavan 3 mukaisesti

$$L = \frac{\text{TUOTANTO-HYLÄTTY TUOTANTO}}{\text{TUOTANTO}} . \quad (3)$$

Näillä tunnusluvuilla pyritään seuraamaan häiriökehitystä ja kunnossapidon vaikutusta luotettavuuden saamiseksi. Yksittäiset tunnusluvut eivät kuitenkaan riitä antamaan kokonaiskuvaa kunnossapidosta, vaan siihen tarvitaan useamman tunnusluvun samanaikaista tarkastelua. (Aalto 1997, 50-51)

2.3 Kunnossapitolajit

Kunnossapito voidaan esittää kunnossapitolajeittain. Kunnossapitolajit voidaan jakaa kahteen pääryhmään suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen. Suunniteltu kunnossapito on ennen vikaantumista tapahtuvaa kunnossapitoa ja se pitää sisällään ehkäisevän kunnossapidon, kunnostamisen ja parantavan kunnossapidon. Häiriökorjausta suoritetaan vikaantumisen jälkeen, joko välittömänä tai siirrettynä korjauksena. Kuvassa 7 on esitetty PSK 7501 -standardin mukaiset kunnossapitolajit.



Kuva 7. Kunnossapitolajit standardia (PSK 7501 2010, 32) mukailten.

2.3.1 Häiriökorjaus

Häiriökorjaus on kunnossapitomuodoista yksinkertaisin ja helpoiten havaittavissa. Usein vikaantuminen aiheuttaa prosessin pysähtymisen ja vaatii välitöntä korjausta. Tällöinen vikaantuminen tulee yritykselle usein kalleimmaksi, koska vikaantumisesta saattaa syntyä

tuotantomenetyksiä, joista aiheutuvat kustannukset ovat usein selvästi suuremmat, kuin vauriosta aiheutuneesta korjauskustannukset. Osan häiriökorjauksista on mahdollista siirtää korjausseisokeille, jolloin ylimääräisiä tuotantomenetyksiä ei synny. (Aalto 1994, 28; ABB 2000, 3) Standardissa PSK 7501 häiriökorjaus määritellään seuraavasti:

”Häiriö on vika, joka estää kohteen toiminnan suunnitellulla tavalla. Häiriökorjaus on häiriön poistamiseksi suoritettua kunnossapitoa. Häiriön aiheuttaman seisokin aikana tehty muu kunnossapito on seisokkikunnossapitoa.” (PSK 7501, 16)

2.3.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on ennakoivaa kunnossapitoa ja sen tarkoituksena on ehkäisevällä toimenpiteillä estää yllättävät vauriot ja niistä johtuvat yllättävät käyttökatkokset. (ABB 2000, 3) Standardissa PSK 7501 standardissa määritellään ehkäisevän kunnossapito seuraavasti:

”Ehkäisevä kunnossapito koostuu jaksotetusta kunnossapidosta, kunnonvalvonnasta ja kuntoon perustuvasta suunnitellusta korjauksesta. Kunnonvalvontaan kuuluvat visuaalinen ja automaattinen tarkkailu, tarkastus ja toiminnallinen testi.” (PSK 7501, 16)

Ehkäisevän kunnossapidon määrän optimoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi kunnossapidon ja tuotantolaitoksen kokonaiskustannuksiin. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu jaksotettu kunnossapito, kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus. (PSK 7501 2010, 32) Nämä pitävät sisällään muun muassa seuraavat toiminnot:

- toimintaolosuhteiden vaaliminen
- tarkastukset
- suunniteltu korjaaminen
- modernisoinnit. (Järviö & Lehtiö 2012, 96)

Systemaattisuuteen perustuva jaksotettu kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon yksi tärkeimmistä työkaluista. Se on määritelty PSK 6201 -standardissa seuraavasti:

”Ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin esimerkiksi käyttö- tuntien, kalenteriajan, tuotantomäärän tai energian käytön mukaisesti ilman edeltävää toimintakunnon tutkimusta.” (PSK 6201 2011, 22)

Jaksotusten aikavälit käyttäjät suunnittelevat usein kohteen valmistajan kanssa ja luo kohteille omaan järjestelmään sopivat huoltomenettelyt. Näistä kertyviä tuloksia ja kokemuksia pyritään keräämään ja analysoimaan, jotta huoltoja ja niiden jaksojen väliä voidaan kehittää jatkossa. (Aalto, 1997, 31) Analyysien avulla pyritään pienentämään vikaantumisien hajontaa ja kasvattamaan keskimääräisiä vaihtovälejä. (Lapinleimu et al., 1997, 370) Jaksotettujen huoltojen suunnittelussa on hyvä käyttää keskimääräistä vikaväliä eli MTBF (Mean Time Between Failure). Keskimääräinen vikaväli lasketaan PSK 7501 -standardin mukaan kaavalla 4.

$$MTBF = \frac{KOKONAISAIKA}{HÄIRIÖIDEN LUKUMÄÄRÄ} \quad (4)$$

Kunnonvalvontaa voidaan tehdä kohteen toimiessa tai seisokin aikana. Kunnonvalvonnan avulla pyritään havainnoimaan laitteen kuntoa ja havaitsemaan vikaantumiset erilaisten tekniikoiden avulla, joita ovat muun muassa värähtelyanalyysit, öljyanalyysit sekä IR-kuvaus. (ABB 2000, 3)

Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan tuotantolaitteen toiminnan hallintaa etsimällä vikoja, jotka eivät ole vielä pysäyttäneet laitetta. Havaittujen vikaantumisien ansiosta pystytään suorittamaan kohteiden suunniteltua korjausta. (PSK 6201 2011, 23)

2.3.3 Parantava kunnossapito ja kunnostaminen

Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on joko parantaa koneen epäluotettavuutta uudelleensuunnittelulla tai korjauksilla, kasvattaa koneen suorituskykyä, jossa usein uusitaan kone sekä valmistusprosessi tai uusia alkuperäisiä osia uudenaikaisiksi, joilla ei varsinaisesti pyritä nostamaan laitteen suorituskykyä. (Järviö 2012, 51) Parantavassa kunnossapidossa käytetään usein juurisyyanalyysiä, jonka avulla pyritään löytämään vikaantumisen syy ja poistamaan se. Tavoitteena poistaa vian aiheuttamat seuraukset ja estää vian toistuminen tulevaisuudessa (ABB 2000, 3) Parantava kunnossapito sekä vikojen

analysointi on ehkäisevää kunnossapitoa, mutta niitä ei kannata sisällyttää ehkäisevän kunnossapidon joukkoon, koska ne ovat luonteeltaan kertaluontoisia ”investointitöitä” ja niiltä puuttuu jatkuva säännöllinen toiminta. (Järviö 2007, 58) Standardissa PSK 6201:2011 määritellään parantava kunnossapito seuraavasti:

”Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa.” (PSK 6201 2011, 23)

Kunnostamisella tarkoitetaan kohteen kunnostamista korjaamalla. Se määritellään standardissa PSK 6201 seuraavasti:

”Kuluneen tai vaurioituneen käytöstä pois otetun kohteen palauttaminen käyttökuntoon korjaamalla.” (PSK 6201 2011, 23)

2.4 Kunnossapitostrategiat

Kunnossapitostrategia määritetään, kun tehdään kunnossapitotoiminnan suunnittelu. Kunnossapitostrategialla tarkoitetaan toimintamallia, jonka avulla pyritään saavuttamaan kunnossapidolle asetetut tavoitteet. Kunnossapitostrategiassa määritellään kunnossapidon vaatimat henkilöresurssit, kunnossapidon tilat ja välineet, laitteiston teknisen tiedon hallinnan sekä kunnossapidon materiaalitoiminnot (PSK 6201 2011, 13). Käyttövarmuuden merkitys on kasvanut tuotantolaitoksissa entistä oleellisemmaksi asiaksi. Laitteiden vikaantumisista johtuvat tuotantokatkokset aiheuttavat pääsääntöisesti aina suurimmat menetykset ja kustannukset, joten uusia tehokkaampia kunnossapitomenetelmiä on etsittävä ja niitä kehitettävä. Kunnossapitostrategialla voidaan vaikuttaa kunnossapidon kustannuksiin, ja uutta laitetta tai konetta hankittaessa huomioimalla koneen vaikutus käyttövarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen (ABB, 2004, 1). Lisäksi Grondys toteaa, että tehokkaan varastonkierron varmistamiseksi yrityksellä on oltava selkeä kunnossapitostrategia (Grondys ym. 2014, 194).

Laitteiden kunnossapitostrategia voi perustua esimerkiksi vikatilanteisiin reagoivana, ennakoivana tai ennustavana kunnossapitona. Kehittyneemmissä kunnossapitostrategioissa kuitenkin yhdistellään edellä mainittuja kunnossapitostrategioita ja niitä sovelletaan laajempiin kokonaisuuksiin. Lisäksi kehittyneemmissä kunnossapitostrategioissa

organisaatiolla on mahdollisuus analysoida tarkemmin laitteistonsa kuntoa ja kehittää kunnossapitoa tuotetun tiedon avulla, organisaatiolle valitun strategian ohjaamana. (Manzini et al. 2010, 71-72.)

Kehittävällä kunnossapidolla pyritään kunnossapidon jatkuvaan kehittämiseen ja muokkaamiseen. Jatkuvaan kehitykseen päästään kyseenalaistamalla jatkuvasti kunnossapitoon liittyviä asioita, toimintamalleja ja miettimällä niiden soveltuvuutta tuotantolaitokselle. Lisäksi täytyy kyseenalaistaa syvään juurtuneita tapoja ja tottumuksia. (Fedele 2011, 12) Tämmöisiä pidemmälle kehitettyjä kunnossapitostrategioita ovat muun muassa luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM) ja kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito (TPM). (Manzini et al. 2010, 71-72.)

Järviö (Järviö, 2012, 112) jakaa kunnossapitostrategioiden toimintamallit kolmeen eri kategoriaan. Ensimmäiseen kategoriaan kuuluu laatujohtannaiset strategiat, jotka keskittyvät työtehtävien oikein suorittamiseen jo ensimmäisellä kerralla. Tähän kategoriaan kuuluu muun muassa Six sigma. Toisessa kategoriassa keskitytään pitkälti motivoimaan käyttäjää huolehtimaan koneestaan ja rakentamaan tiivistä yhteistyötä yrityksen eri osastojen kesken. Tähän kategoriaan kuuluva kunnossapitostrategia on muun muassa paljon käytetty TPM. Kolmannessa kategoriassa pyritään valitsemaan tehokkaat kunnossapitostrategiat laitteille ja tähän kuuluva kunnossapitostrategia on muun muassa RCM. Näiden lisäksi on kehitelty Asset Management, joka perustuu kolmannen kategorian periaatteisiin, mutta siinä huomioidaan markkinatilanteesta johtuvat laitteiden käyttöasteen muutokset, jotka otetaan huomioon kunnossapitotarpeissa.

Kaikissa kunnossapitostrategioissa ovat omat hyvät ja huonot puolensa. Kun yrityksen kunnossapitostrategiaa laaditaan, niin on hyvä tuntea muiden kunnossapitostrategioiden perusteet, sillä näistä voi saada oppia yrityksen kunnossapitosuunnitelmaa suunniteltaessa. (Järviö, 2007, 50) Robson jakaa artikkelissaan kunnossapitomenetelmät taulukon 1 mukaisesti. Taulukossa otetaan huomioon myös jokaisen menetelmän toimintatapa, hyödyt ja haitat.

Taulukko 1. Kunnossapitomenetelmien toimintatapa, hyödyt ja haitat (muokattu lähteestä Robson et al. 2013, 109)

Kunnossapito- menetelmät	Toimintatapa	Hyödyt	Haitat
RTF	Laitteen kriittisyys määritelty matalaksi. Se on helppo korjata ja vikaantumista ei aiheudu merkittäviä seurauksia.	Yksinkertainen toimintatapa ja ei vaadi merkittäviä resursseja.	Viat esiintyvät satunnaisesti.
Ennakoiva kunnossapito	Laitteita korjataan tai vaihdetaan säännöllisesti. Vikavälit tunnetaan ja voidaan havaita.	Yksinkertaisia ja korjaamiseen helppo kouluttaa henkilöstöä.	Oikean korjausvälin määrittäminen hankalaa. Liian aikainen korjaus vie aikaa ja resursseja. Liian myöhäinen voi johtaa vaurioon.
Kuntoon perustuva kunnossapito	Pyritään havaitsemaan oirehtivat viat ennakkoon, jotta laitteet voidaan korjata ennakkoon.	Vältytään pahoilta ja yllätyksellisiltä vahingoilta, sekä tuotannon menetyksiltä.	Joidenkin kohteiden mittaaminen mahdotonta ja usein mittausvälineet kalliita.
TPM	Pyitään eliminoimaan kaikki vikaantumiset puuttamalla jo pienimpiinkin vajavuuksiin.	Kasvattaa tuotannon ja kunnossapidon yhteistyötä. Yksinkertainen lähestymistapa. Puhtaat koneet ja selvät ohjeet toiminnan ylläpitämiselle	Aikaa vievää ja aluksi hyödyt voivat olla pienet panoksiin nähden. Helppojen huoltotöiden jakaminen tuotannolle voi olla haastavaa.
RCM	Määritetään laitteen mahdolliset vikaantumistavat ja niiden kriittisyydet.	Erittäin menestynyt toimintatapa lentokone-teollisuudessa.	Aikaa vievä. Prioriteetit täytyy olla kunnossa. Erittäin analyyttinen ja vaatii, että henkilöstö on koulutettu hyvin.
Juurisyy-analyysi	Laitteen hajotessa etsitään juurisyy laitteen hajoamiselle ja poistetaan sen toistumisen mahdollisuus jatkossa	Kunnossapidon resursseja saadaan kohdistettua laitteisiin, jotka hajoavat. Jos toiminta jatkuu vikaantumisten määrä pienenee merkittävästi-	Reaktiivinen toimintatapa. Vaatii paljon resursseja.

Tämän työn strategiakonseptiksi on valittu RCM. RCM-kunnossapitostrategiaa käsitellään tarkemmin omassa luvussa 6.

2.4.1 TPM

Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito (Total Productive Maintenance, TPM) on Japanista lähtöisin oleva kunnossapitokonsepti. TPM yhdistää useat kunnossapitostrategiat

ja sen avulla pyritään parantamaan tuotannon käyttöastetta, tuotteiden laatua ja toiminnan turvallisuutta. TPM-strategian onnistuessa saadaan siis parannettua laitteiden tuottavuutta, vähennettyä laatupoikkeamia ja pidennettyä laitteiden käyttöikää (Fedele 2011, 12–13; Manzini et al. 2010, 73.)

TPM-strategian keskeisiä päämääriä ovat seuraavat asiat:

- Tuotantomenetysten ja -virheiden havaitseminen ja poistaminen
- Käyttäjäkunnossapidon merkityksen kasvattaminen ja vain haastavimpien korjaus- tai huoltotoimenpiteiden siirtäminen kunnossapito-osastolle. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tulee laatia suunnitelma käyttäjäkunnossapito-ohjelmasta.
- Suunnitelmat ennakoivasta kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta. Tämän kohdan tavoitteena on erityisesti parantaa vikatilanteisiin reagoimista ja ennustaa tuotantolaitteen vikaantumisia.
- Käyttäjien kunnossapitotaitojen, kykyjen sekä laitteiston hallinnan kehittäminen
- Kasvattaa tuotannon ja kunnossapidon tiivistä yhteistyötä

(Fedele 2011, 40; Manzini et al. 2010, 74–75.)

TPM-filosofia eroaa erityisesti muista sen takia, että siinä yritetään maksimoida käyttäjien tehokkuus ja laatu. Tämän takia TPM on lähtökohtaisesti enemmän tuotantostrategia kuin kunnossapitostrategia. (Mikkonen et al. 2009, 32) Käyttäjien aktiivisella osallistumisella koneiden tarkastukseen saadaan aikaiseksi merkittävä tarkastusvoima, jolloin pienemmän kunnossapito-osaston raskaus vähenee. Tästä käytetään nimitystä käyttäjien itsenäinen kunnossapito. (Nakajima 1989, 21) TPM-strategiassa pyritään nolla hajoamisiin korostamalla äkillisten, toiminnan pysähdyttävien häiriöiden poistamisen lisäksi perehtymällä toimintaa hidastavien, piilevien vikojen todellisiin syihin. (Nakajima 1989, 7)

Nakajima (1989, 210) on kehittänyt seitsemän kohdan järjestelmän, jolla itsenäiseen kunnossapitoon tulisi päästä:

1. Perusteellinen puhdistaminen
2. Likaantumisen aiheuttajien poistaminen
3. Puhdistus- ja voitelustandardit
4. Perusteellinen tarkastaminen

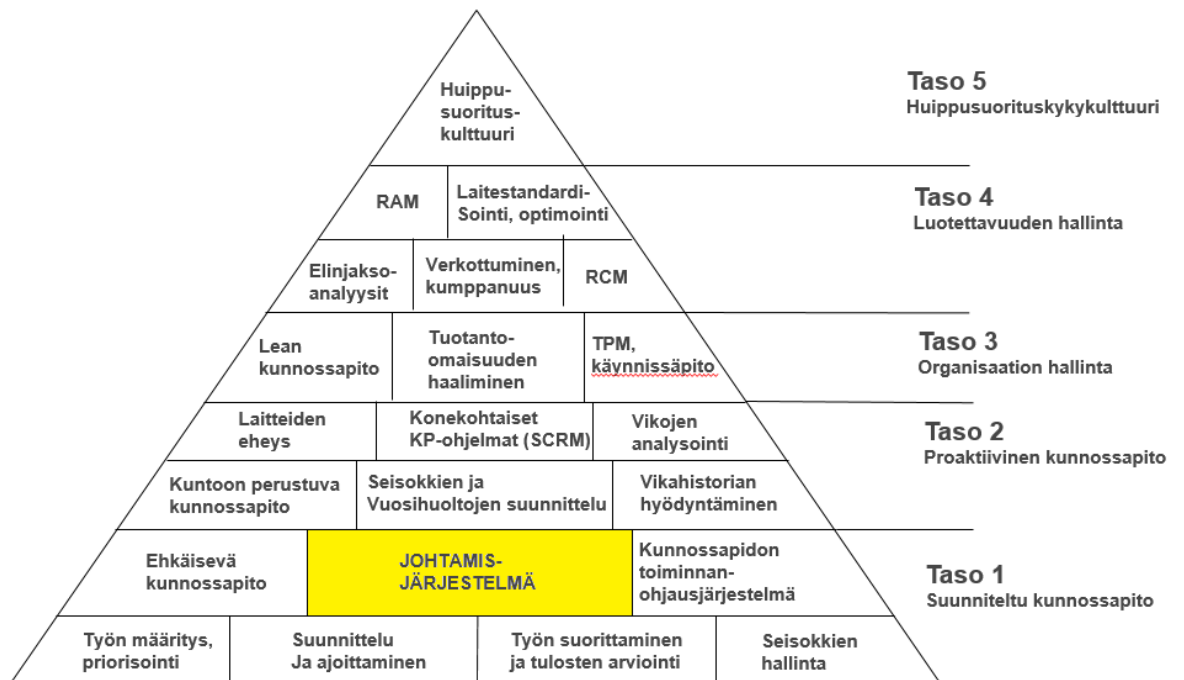
5. Itsenäinen tarkastaminen
6. Työpaikan organisointi ja siivous
7. Täydellinen itsenäisen kunnossapito-ohjelman implementointi

TPM:n soveltamista käytäntöön hyödynnetään OEE (Overall Equipmen Effectiveness) -mittaria eli KNL-mittaria. OEE tarjoaa numeeriset mittarit tuotantolaitteiden arvioimiselle käytettävyyden, tehokkuuden ja laadun osalta. (Manzini et al. 2010, 74-75) Kun kunnossapito suoritetaan oikea-aikaisesti ja se on hyvin mitoitettu tuotantolaitteille ovat koneiden käytettävyyden parempi sekä tuotteet ovat laadullisesti hyväksytyjä. Koneiden virheet ja pysähdykset näkyvät siis OEE-arvon laskuna. (Manzini et al. 2010, 75-76)

2.4.2 Tuotanto-omaisuuden hoitaminen, Asset Management

Tuotanto-omaisuuden hoitamisen (Asset Management) päämääränä on pitää tuotanto-omaisuus siinä kunnossa, että liiketoiminnalliset tavoitteet saavutetaan mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Jotta päämääriin päästään on huomioitava koko kunnossapidettävien kokonaisuus liiketaloudellisista, tuotannollisista ja kunnossapidollisista näkökulmista. Lisäksi kaikkien tuotanto-omaisuuden hoitamisen liittyvien osa-alueiden täytyy olla kunnossa, kuten päivittäisen työskentelyn hallinta, ehkäisevän kunnossapidon hallinta, toimiva yhteistyö yrityksen eri osastojen välillä sekä koneiden on toimittava luotettavasti. (Järviö, 2012, 122)

Kunnossapidon näkökulmasta tuotanto-omaisuuden hoitamisen päätavoitteet ovat yrityksen tuottokyvyn ylläpito ja parantaminen, omaisuuden arvon säilyttäminen ja markkina-arvon optimointi sekä toimintaan liittyvien ympäristö- ja turvallisuustavoitteiden saavuttaminen. (Mikkonen, 2009, 86) Tuotanto-omaisuuden hoidosta voidaan käyttää SAMI-yhtiön (Strategic Asset management INC.) kehittämää viisi tasoista pyramidia, jossa jokaiselle omat vaatimuksensa kunnossapidon johtamisen, hallinnan ja toiminnallisuuden suhteen. Pyramidissa tavoitteena on saavuttaa lopulta ylin taso eli huippu suorittamisen kulttuuri. Kunnossapidon tasoja kuvaava pyramidi on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kunnossapidon tason (mukailtu SAMI Corporation, 2012)

Tasolla 1 kunnossapidon toiminnan perustana toimii johtamisjärjestelmä ja sen avulla johdetaan ja hallitaan kunnossapidon toimintoja. Taso pitää sisällään suunnitelmallisen kunnossapidon hallinnan menetelmät ja tehtävät. Kunnossapidontoimintaa ohjaa valittu kunnossapitojärjestelmä, jota yritys on sitoutunut käyttämään kaikilla kunnossapitolajien alueilla. (Järviö, 2007, 94) Taulukossa 2 on esitetty tason 1 kriteerit aloittajalle ja huippuosaajalle.

Taulukko 2. Taso 1 suunnitelmallisen kunnossapidon arviointi (mukailtu Järviö, 2012, 123)

	Aloittaja	Huippuosaaja
Taso 1 Suunniteltu kunnossapito	<ul style="list-style-type: none"> • Kunnossapitoa ohjaavat häiriötyöt • Kunnossapito on korjaamista • Työtilausjärjestelmä on tehoton • Palveluaste on heikko • Yhteistyö ei toimi käytön kanssa • Asiakaspalvelu on heikkoa 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaikki työtehtävät priorisoituja • Suurin osa työtehtävistä on suunniteltuja ja aikataulutettuja (70 - 80 %) • CMMS täydessä käytössä, integroituna hankinnan ja varastojen kanssa • JOT, varaston kierto min. 2x • Käyttäjät tilaavat ja tarkastavat työt • EH-reitit suunniteltu ja se toimii

Tasolla 2 kunnossapito on muuttunut enemmän ennakoivan kunnossapidon suuntaan, joka edellyttää kunnossapidon toiminnan muuttamista järjestelmäsidoonaiseksi ja analyyttisemmäksi. Toiminnanohjausjärjestelmä kasvattaa kaikkien osa-alueiden informaatiota ja mahdollistaa paremmin kunnossapitotoimien tehokkuuden arvioinnin. Samalla pystytään ohjaamaan kunnossapidon toimintaa kattavilla mittareilla. (Järviö 2007, 94) Taulukossa 3 on esitetty tason 2 kriteerit aloittelijalle ja huippuosaajalle.

Taulukko 3. Taso 2 suunnitelmallisen kunnossapidon arviointi (mukailtu Järviö 2012, 123)

	Aloittaja	Huippuosaaja
Taso 2 Proaktiivinen kunnossapito	<ul style="list-style-type: none"> • Kaikki työtehtävät priorisoituja • Suurin osa työtehtävistä on suunniteltuja ja aikataulutettuja (70 - 80 %) • CMMS täydessä käytössä, integroituna hankinnan ja varastojen kanssa • JOT, varaston kierto min. 2x • Käyttäjät tilaavat ja tarkastavat työt • EH-reitit suunniteltu ja se toimii 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunnonvalvonta perustuu riskianalyysiin • Ennustavilla menetelmillä minimoidaan korjaukset, seisokkiajat sekä kustannukset • Proaktiivisia toimintoja käytössä • EH-data tallennettu toiminnanohjausjärjestelmään

Tasolla 3 kunnossapidon ja tuotannon henkilöstön yhteistyö tiivistyy. Kunnossapidon toimintaa keskittyy enemmän haastavampiin kunnossapito- ja kunnonvalvontatöihin, kun tuotantohenkilöstö ottaa pääasiallisen vastuun yksinkertaisemmista kunnossapitotöistä. (Järviö 2007, 94) Taulukossa 4 on esitetty tason 3 kriteerit aloittelijalle ja huippuosaajalle.

Taulukko 4. Taso 3 organisaation hallinnan arviointi (mukailtu Järviö 2012, 123)

	Aloittaja	Huippuosaaja
Taso 3 Organisaation hallinta	<ul style="list-style-type: none"> • Koulutus erillään KP-toiminnasta • Laatuohjelmat eivät paranna toiminnan laatua • Puutteellinen tiimien välinen yhteistyö • Toiminta ei ole systemaattista tai järjestäytyntä 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiimit toimivat itseohjautuvasti • Jatkuva parantamisen kulttuuri • Käytöllä ja kunnossapidolla yhteiset yhteistyö- ja kehitysohjelmat • Kannustusjärjestelmät toimivat • Kunnossapitäjien ja käyttäjien osaaminen korkealla tasolla

Tasolla 4 pyritään kehittämään prosesseja, laitteita ja menetelmiä, jotta saavutettaisiin mahdollisimman korkea luotettavuus prosessille, saataisiin kasvatettua laitevikojen ennustettavuutta ja viritettyä koneet mahdollisimman tehokkaiksi. (Järviö 2007, 95) Taulukossa 5 on esitetty tason 4 kriteerit aloittelijalle ja huippuosaajalle.

Taulukko 5. Taso 4 sisään rakennetun luotettavuuden arviointi (mukailtu Järviö 2012, 123)

	Aloittaja	Huippuosaaja
Taso 4 Luotettavuuden hallinta	<ul style="list-style-type: none"> • RCM on otettu käyttöön tuloksettomasti • Ammatilliset raja-aidat hankaloittavat resurssien yhdistelyä • Analysoitaessa puuttuu pikkutarkkuus • Alihankkijoiden määrää pienennetään 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosessin elinjakson hallinta • Raportointi perustuu taloudellisten tekijöiden selvittämiseen • Kunnossapitotietoa käytetään trendianalyyseissa ja ennustamisessa • Alihankkijat osallistuvat luotettavuuden kehittämiseen

Tasolla 5 tuotanto-omaisuuden hallintamenettelyt ovat käytössä ja tuotantokapasiteetti, käyttö ja käytettävyys on optimoitu. Toimintaa kehitetään jatkuvasti kunnossapidon sekä yrityksen johdon toimesta. Toimintateho on asetettu vastaamaan markkinoiden kysyntää. Yrityksen johto, kunnossapidon henkilöstö ja tuotannon henkilöstö toimivat tiiviisti yhteistyössä. (Järviö 2007, 95) Taulukossa 6 on esitetty tason 5 kriteerit aloittelijalle ja huippuosaajalle.

Taulukko 6. Taso 5 huippusuorituskyvykkulttuurin arviointi (mukailtu Järviö 2012, 123)

	Aloittaja	Huippuosaja
Taso 5 Huippusuoritus- kyvykkulttuuri	<ul style="list-style-type: none"> • Yrityksen ja kunnossapidon johdot eivät pysty linjaamaan toiminnan tavoitteita • Tuotantotavoitteet lyhytjänteisiä markkinatilanteiden takia • Huipputehoja ei saavuteta, koska esimerkiksi sisäisiä kitkoja 	<ul style="list-style-type: none"> • Toiminnanohjausjärjestelmät ovat integroituneet • Tuotantokoneet automatisoituja ja varustettu automaattisilla kunnossapito-ominaisuuksilla • Elinjakso analyysit ja elinjakson pidentäminen • Automatisoitu ja imuohjattu tuotantojärjestelmä

3 VIKAANTUMINEN JA KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELU

Vikaantuminen on tapahtuma tai tapahtumaketju, joka aiheuttaa laitteissa vikoja, kun laite ei kykene suorittamaan toimintoaan vaaditulla tavalla on se vikatilassa. Vika ei ole koskaan syy, vaan vika on aina jonkin asian seuraus. (Järviö & Lehtiö 2012, 72-75) Nykyään kunnossapidon on tärkeämpää estää laitteiden vikaantuminen kuin korjata vikoja. Kun laitteet ovat oikein suunniteltu ja valmistettu sekä niitä käytetään ja ylläpidetään asianmukaisesti oikeissa olosuhteissa laitteiden rikkoontumisia ei pitäisi tapahtua. Laiterikkoja voidaan vähentää merkittävästi, kun vikojen kehittymisketjuihin päästään käsiksi tarpeeksi aikaisin. Viat jaotellaan häiriöihin ja vaurioihin. Häiriössä kohde ei ole rikki mutta korjaustarve on syntynyt ja kohdetta täytyy esimerkiksi säätää. Vauriossa kohde on jo kerennyt rikkoutua ja se korjataan korjaavan kunnossapidonkeinoin. Vaurioiden ja häiriöiden perusteella pystytään määrittämään komponenttien vikaväli sekä vaurioitumisten perusteella elinikä.

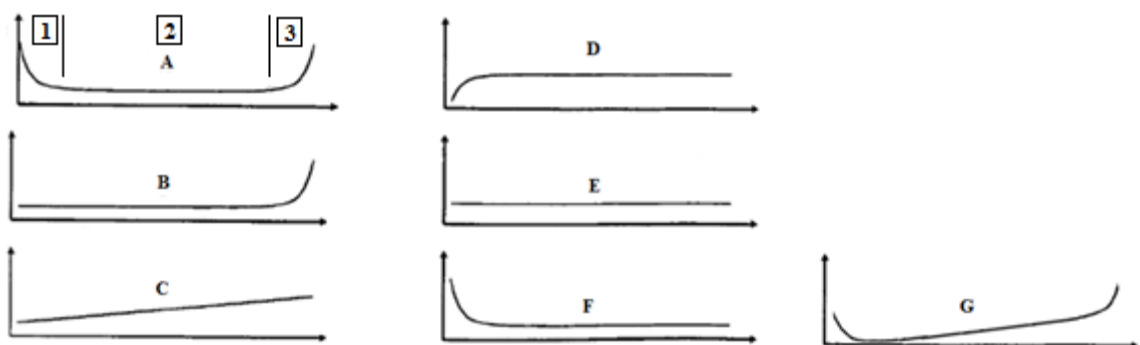
Reagoivaa kunnossapitoa on vaikea johtaa, jotta kunnossapito-organisaatio toimisi tehokkaasti ja tuottavasti, on sen oltava hallittua ja systemaattista. Hyvän kunnossapidon yksi tunnusmerkeistä on, että 80 % työkuormasta tiedetään jo kolme viikkoa etukäteen, jolloin kunnossapitotyöt ovat pääasiassa suunniteltuja ja aikataulutettuja. Ehkäisevän kunnossapidon suunnittelua pidetään kunnossapidon eräänä vaikeimpana osa-alueena ja sen yksi suurimmista haasteista on työn tekemisen kirjavuus. Töiden tarkalla suunnittelulla pystytään kuitenkin yhtenäistämään kunnossapitäjien työtavat, jolloin töiden tekeminen perustuu kokemuseräiseen suunnitteluun ja yhtenäiseen ohjeistoon. Näin pystytään välttämään tilannetta, jossa jokainen kunnossapitaja toimii pelkästään oman osaamisensa ja kokemuksensa puitteissa, minkä ansiosta myös kokeneempien kunnossapitoyöntekijöiden työtaakka keventyy, kun kunnossapitotyöt voidaan jakaa tasaisemmin kaikille kunnossapitoyöntekijöille. Edellisen lisäksi koulutetut kunnossapitoyöntekijät voivat myös keskittyä vaativimpiin tehtäviin, kun käyttöhenkilöstö on helpompi kouluttaa tekemään hyvin suunnitellut helpommat rutiinityöt. Hyvin suunniteltujen töiden ansiosta työt sujuvat jouhevammin, töiden väliin jäävät viiveet vähenevät ja laitteiden vikaantuminen saadaan parempaan hallintaan. (Järviö & Lehtiö 2012, 96-100)

3.1 Vikaantumismallit

Perinteisen käsityksen mukaan laitteiden vikaantumisen ja eliniän on ajateltu noudattavan kuvassa 9 esitetyn kylpyammeen muotoista A-vikaantumismallia, josta voidaan erottaa kolme eri vaihetta:

1. Alkuajan vikaantumiset
2. Vakiintunut taajuus
3. Kulumisesta ja ikääntymisestä johtuva vikaantuminen. (Biolini 2010, 6-7.)

Pelkästään tällä oletuksella ei kuitenkaan saatu vikaantumisia hallintaan. Lentokoneteollisuudessa vaihdettiin säännöllisesti peräti 85 % lentokoneen osista, mutta vikaantumisia esiintyi silti, joten vikaantumiset eivät voineet noudattaa pelkästään A-vikaantumismallia. Nykyisin on löydetty seitsemän erilaista vikaantumismallia, joista kolme vikaantumismallia A, B ja C perustuu aikaan tai työjakson määrään ja kolmessa vikaantumismallissa D, E ja F katsotaan vikaantumisen olevan satunnaista. Seitsemäs G-vikaantumismalli on suhteellisen uusi malli, jota on havaittu etenkin tietokoneen oheislaitteissa. (Järviö & Lehtiö 2012, 76-78) Laitteiden vikaantumismallit on esitetty kuvassa 9, jossa vaaka-akseli esittää aikajanaa ja pystyakseli vikatapahtumien määrää.



Kuva 9. Vikaantumismallit (mukailtu, Järviö & Lehtiö 2012, 97)

Kaikki vikaantumismallit mukailevat A-vikaantumismallin vaiheita pienin eroin. Vikaantumismalleilla A ja F vikatiheys on suurempi elinkaaren alussa ja näiden vikaantumisen todennäköisyys laskee nopeasti. Vikaantumiset alussa ovat kuitenkin

satunnaisia ja johtuvat usein materiaalin heikkoudesta, asennusvirheistä tai tuotantoprosessista. D-vikaantumismallilla vikaantuminen on taas ensimmäisessä vaiheessa epätodennäköisempää. Toisessa vaiheessa kaikkien muiden vikaantumismallien paitsi C ja G vikatiheys on vakioitunut. Näistä molemmilla vikaantumisen todennäköisyys kasvaa lineaarisesti. Kolmannessa vaiheessa vikaantuminen kiihtyy, kuten vikaantumismalleilla B, A ja G on esitetty. (Biolini, 2010, 6-7.)

Useat tutkimuslaitokset ovat tutkineet kuuden ensimmäisen vikaantumismallin esiintymistä eri vuosikymmenillä lentokoneiteollisuuden, laivateollisuuden ja sukellusveneteollisuuden aloilla ja näistä on saatu kuvan 10 mukaiset tulokset. (Järviö & Lehtiö 2012, 76-78)

Vikaantumismallit	UAL 1968	Broberg 1973	MSP 1982	Submepp 2001
A	4 %	3 %	3 %	2 %
B	2 %	1 %	17 %	10 %
C	5 %	4 %	3 %	17 %
D	7 %	11 %	6 %	9 %
E	14 %	15 %	42 %	56 %
F	68 %	66 %	29 %	6 %
	Siviililentokoneet	Siviililentokoneet	Laivat	Sukellusveneet

Kuva 10. Vikaantumismallien esiintyminen eri tutkimuslaitosten tutkimuksissa

Teollisuudessa vikaantumisten oletetaan noudattavan parhaiten lentokoneiteollisuudessa mitattuja lukuja. Näistä noin 80 % on satunnaisia vikoja eli D-, E- ja F-mallin vikoja. Satunnaisesti vikaantuville malleilla kannattaa soveltaa kunnossapitostrategiana kunnonvalvontaa, tarkastuksia ja voitelua. RCM -asiantuntijan Moubryn mukaan vikojen esiintyminen jakaantuu seuraavasti: ennustettavia vikoja on 10-20 %, oireiden perusteella ajoissa löytyviä vikoja 30-40 % ja lopuissa vikaantumista ei voida ennakoita (Järviö & Lehtiö 2012, 78-80) Näistä ennustettavista vioista puolet ovat sellaisia, että ennakoivien menetelmien käyttö ei ole mielekästä, joten ennakoivan kunnossapidon keinoin voidaan löytää vain noin 10 % vioista. (Järviö 2007, 47-48) Brittiläinen TPM-asiantuntija Peter Willmott esittää, että vioista voidaan poistaa 40 % pitämällä koneen toimintaympäristö ja olosuhteet asianmukaisena, 20 % päivittäisillä tarkastuskäynneillä sekä käyttämällä konetta oikein, 25 % toimivalla ennakkohuolto-ohjelmalla ja kunnonvalvonnalla sekä 15 % korjaamalla koneen rakenteita ja komponenttien luotettavuutta. (Järviö & Lehtiö 2012, 92)

Edellä esitetyt tulokset kyseenalaistavat aikaan tai käytön määrään perustuvan kunnossapidon. Nykyisissä kunnossapitostrategioissa kuten TPM -kunnossapitostrategiassa laitteiden tarkastaminen on jatkuvaa, jolloin vikaantuminen pyritään havaitsemaan mahdollisimman ajoissa. RCM -kunnossapitostrategiassa pyritään myös etsimään vian oireita ja vikaantumisia. RCM -tarkastusvälit mitoitetaan reagointiajan mukaan.

3.2 Vikaantumisen syyt ja toimet vikaantumisia vastaan

Japanilaiset TPM:n kehittäjät ovat tutkineet laitteiden vikaantumisia perusteellisesti ja heidän mukaansa laitteiden vikaantumiselle on olemassa viisi pääsyitä:

- laitteita ei käytetä oikealla tavalla ja alkaviin vikojen oireisiin ei reagoida
 - vian oireet tulkitaan väärin ja kunnossapito toteutetaan väärin
 - laitteen ikääntymisen myötä esiintyvät toimintakyvyn heikkenemisiä ei havaita, ne hyväksytään tai niitä ei korjata
 - laitteiden käyttöolosuhteet eivät ole optimaalisia. Laitteiden likaantuminen usein aiheuttaa laitteiden ylimääräistä lämpenemistä tai liikeratojen muutoksia
 - laitteen suunnittelussa on epäonnistuttu ja laite ei sovellu prosessiin
- (Järviö 2007, 48)

Vian oireiden lukeminen on yleensä hankalaa ja niitä saatetaan tulkita väärin. Monesti alkavia oireita pidetään vain vanhenemiseen liittyvinä ilmiöinä tai niitä ei pidetä riittävän vakavina, jotta niihin kannattaisi reagoida. Myös tarkastukset saattavat olla liian yleisluontoisia sekä likaisiin ja vaikeasti päästäviin tarkastuspisteisiin ei haluta mennä. Monet laiterikot aiheutuvat tämmöisistä piilevistä laitevioista. Piilevät viat saattavat vaikuttaa ”normaaleilta”, mutta ovat usein koneen rikkoontumisen suurin syy, kun niitä ei hoideta ajoissa. Piilevät viat voidaan jakaa fyysisiin ja psykologisiin piileviin vikoihin. Fyysiset piilevät viat voivat aiheutua puutteellisista tarkastuksista, huonosta vikojen analysoinnista tai vaikeasti tarkastettavista kohteista. Psykologiset piilevät viat johtuvat, että viat jätetään tietoisesti huomioon ottamatta, vaikka ne tunnistettaisiin, ongelmat aliarvioidaan ja ongelmaan ei reagoida riittävän hyvin. Näiden lisäksi kunnossapidon toiminta saattaa olla painottunut pääosin korjausten tekemiseen, jolloin vikojen oireiden selvittämiseen ei olla kunnossapidon osalta panostettu. Puuttumalla edellä mainittuihin kohtiin voidaan parantaa laitteen luotettavuutta. Puuttumalla pelkästään tekniikoihin ja

laitteiden rakenteellisiin muutoksiin ei voida saavuttaa laitteen vikaantumattomuutta. Häiriötön laitteen toiminta voidaan saavuttaa, kun pystytään toteuttamaan seuraavat viisi välttämätöntä toimintaa jatkuvasti ja tarkasti:

- ylläpidetään laitteen toimintakuntoa (puhdistus, voitelu, suuntaukset, liitosten kiristäminen)
- noudatetaan laitteelle suunniteltuja käyttöolosuhteita
- palautetaan laitteen toiminnot uutta vastaavaan kuntoon
- muutetaan suunnittelusta johtuvat virheet
- kehitetään käyttö ja kunnossapitotaitoja.

(Järviö & Lehtiö 2012, 81-83)

3.3 Ehkäisevän kunnossapidon suunnittelun periaatteet

Suunnitellun kunnossapidon on arvioitu olevan jopa 10 kertaa kustannustehokkaampaa kuin suunnittelematon kunnossapito. (Järviö & Lehtiö 2012, 103) Lisäksi suunnitellun kunnossapitotyön on todettu olevan 4-10 kertaa tehokkaampaa kuin suunnittelemattoman kunnossapitotyön. (Järviö 2007, 60) Yksi kunnossapidon tehtävä on vähentää kunnossapidon tarvetta ja kaiken kunnossapidon toiminnan tavoitteena on tähdätä laitoksen ja tuotantoprosessin mahdollisimman häiriöttömään ja kustannustehokkaaseen toimintaan. Tavoite pitää sisällään kunnossapito-ohjelman optimoinnin eli pyrkiä tekemään oikeita asioita oikeaan aikaan ja laadukkaasti. (Laine 2010, 39)

Kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelu perustuu normaalisti laitteen aikaisempiin vikaantumiskokemuksiin, varaosien käyttömääriin ja koneen valmistajan suosituksiin. (Mikkonen et al. 2009, 146.) Usein laitteen parissa työskennelleet henkilöt osaavat antaa luotettavimman näkemyksen kyseisen laitteen vikaantumistavoista. Jokaisessa edellä mainituista suunnittelun perusteissa ovat kuitenkin omat ongelmansa ja ne voivat jopa ohjata kunnossapidon toimintaa väärään suuntaan. (Mikkonen et al. 2009, 154)

Vikahistoriatieto ja varaosahistoriatieto kertoo juuri kyseisen laitteen ongelmat ja viat kyseisessä toimintaympäristössä. Vikaantumiskokemukset ovat usein subjektiivisia, tiedot ovat usein puutteellisia ja raportointi on ollut heikkoa. Lisäksi vikojen tulkinnessa ja analysoinnissa on saatettu epäonnistua. Edellä mainitun takia vikahistoriatietoihin on syytä

suhtautua kriittisesti. Niiden avulla voidaan kuitenkin analysoida ja suorittaa toimenpiteitä ongelmakohtiin. (Laine 2010, 130.)

Usein valmistajien ohjeissa on tavoiteltu ylikorostettua varmuutta ja määritetyt huolto-ohjeet sekä huoltovälit ovat ylimitoitettuja. Näin valmistajat ovat halunneet varmistaa laitteensa moitteettoman toiminnan. (Järviö & Lehtiö 2012, 100) Lisäksi laitevalmistajilla on harvoin ollut käytössä laitteiden käyttödataa, jolloin huolto-ohjelma on vain insinöörien paras arvaus varaosien todennäköisestä kestosta. Varaosa- ja huoltoliiketoiminta voi muodostaa myös merkittävän osan laitevalmistajan liikevaihdosta, jolloin se voi kannustaa huolto-ohjelmien ylimitoitukseen. (Laine 2010, 124)

Ennakkohuoltoa varten on tärkeä tunnistaa laitteen vikaantumiset ja vikaantumisten vaikutukset. Vikaantumiset, jotka vaarantavat turvallisuuden tai ympäristön, aiheuttavat tuotantokatkoksen, korjauskustannukset ovat suuret tai jonka vikaantumista ei voida jostain muusta syystä sallia, tulee kohdistaa eniten kunnossapitoresursseja. (Järviö & Lehtiö 2012, 166.) On arvioitu, että 20 % laitteista aiheuttaa 80 % vioista ja kunnossapidon tulee ohjata resursseja myös näihin kriittisiin laitteisiin. (Järviö & Lehtiö 2012, 118) Laitteille on luotu erilaisia kriittisyysanalyysseja. Kriittisyysanalyysien tarkoituksena on määrittää laitteiden kriittisyydet ja auttaa keskittämään kunnossapidon resursseja niihin kohteisiin, joiden seuraukset organisaation toimintaan ovat suurimmat ja jättää vähemmälle huomiolle kohteet, joista syntyvät seuraukset ovat vähäisempiä tai niitä ei synny ollenkaan. Kaikista kriittisimpiin kohteisiin on mahdollista muun muassa soveltaa järeämpiä keinoja, kuten uudelleensuunnittelu, vikasietoisten rakenteiden käyttöä tai laitteen varmentamisella. (Järviö & Lehtiö 2012, 166.) Ehkäisevään kunnossapitoon sovelletuista analyysistä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 3.4. Kunnossapitomenetelmien valinta ja suunnittelu tulee kuitenkin optimoida jokaiselle laitteelle erikseen. (Laine 2010, 39) Liian vähäinen kunnossapito tai väärin menetelmien käyttö aiheuttavat kalliita häiriökorjauksia, mitkä heikentävät tuotantolaitteiston käytettävyyttä ja hyötysuhdetta sekä kasvattaa työ- ja ympäristöturvallisuuden vaaraa. Ylimitoitettu kunnossapito on taas kallista ja turha kunnossapito, kuten ehjän laitteen purkaminen ja kokoaminen saattavat kasvattaa laitteen vikaantumisen riskiä. (Mikkonen et al. 2009, 139).

3.4 Yleisimmät riskianalyysimenetelmät

Vuosikymmenten aikana luotettavuuden analysointiin on kehitetty useita eri menetelmiä. Riskianalyysilla pääpiirteittäin pyritään selvittämään riskien kohteet, luonteet, niiden toteutumisen todennäköisyys ja vaikutuksien laajuudet. Riskit voivat liittyä ympäristöön, turvallisuuteen tai tuotantoon. (SFS-IEC 60300-3-9 2004, 24.) Ohessa on esitetty muutama yleisesti käytössä oleva riskianalyysimenetelmä, joista vika- ja vaikutusanalyysia sekä PSK 6800 standardin mukaista riskianalyysimenetelmää on sovellettu tässä työssä.

3.4.1 Vika- ja vaikutusanalyysi

Kansainvälisissä ja kansallisessa standardissa on määritelty, että kaikkien ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteiden täytyy olla perusteltuja toiminnan kannalta. Tällöin on tärkeä tunnistaa huoltokohteiden mahdolliset vikamuodot ja niiden vaikutukset tuotantoon, turvallisuuteen sekä ympäristöön. VVA:ssa eli vika- ja vaikutusanalyysissä määritetään alimmalle määritettävissä olevalle komponentti- tai osajärjestelmätasolle ensisijaiset vioittumistavat. VVA menetelmä on pääasiassa laadullinen arviointi ja siinä pääasiassa pyritään vastaamaan sanallisesti seuraaviin kohtiin:

- Laite
- Laitteen tehtävä
- Laitteen tunnus
- Vaurioitumistavat
- Vaurioitumisen syy
- Vaurion vaikutukset
- Vaurion havaitsemistavat
- Sanallinen arvio vian merkittävydestä ja vaihtoehtoiset varokeinot
- Huomautukset

Näillä kohdilla pyritään selvittämään vikaantumisten, toimintahäiriöiden, käyttörajoitusten ja suorituskyvyn heikkenemisen väliset yhteydet. VVA:lla voi tehokkaasti tunnistaa komponentit, jotka aiheuttavat koko järjestelmän vikaantumisen sekä, sillä pystytään tunnistamaan komponentit, joihin inhimilliset tekijät vaikuttavat erittäin herkästi. Näiden tunnistaminen vaatii kuitenkin komponenttien ja toiminnan perinpohjaista tuntemista. VVA

on harvoin itsessään riittävä ja sitä täydennetään muilla vaikutusanalyysimenetelmillä. (SFS 5438 1988, 11)

3.4.2 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi

VVKA eli vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi on VVA:n kanssa hyvin vastaavanlainen riskianalyysimenetelmä, mutta siihen on lisätty vian vaikutuksen luokittelu kriittisyyden perusteella. Kriittisyydelle on määritelty yleensä viisi eri tasoa. Kriittisyystason arvioimiseen käytetään yleensä kriittisyysmatriisia, josta on esitetty esimerkki kuvassa 11. Kriittisyysmatriisiin pystyakselilla kuvataan tapaturman vakavuutta ja vaaka-akselilla vian esiintymisen todennäköisyyttä.

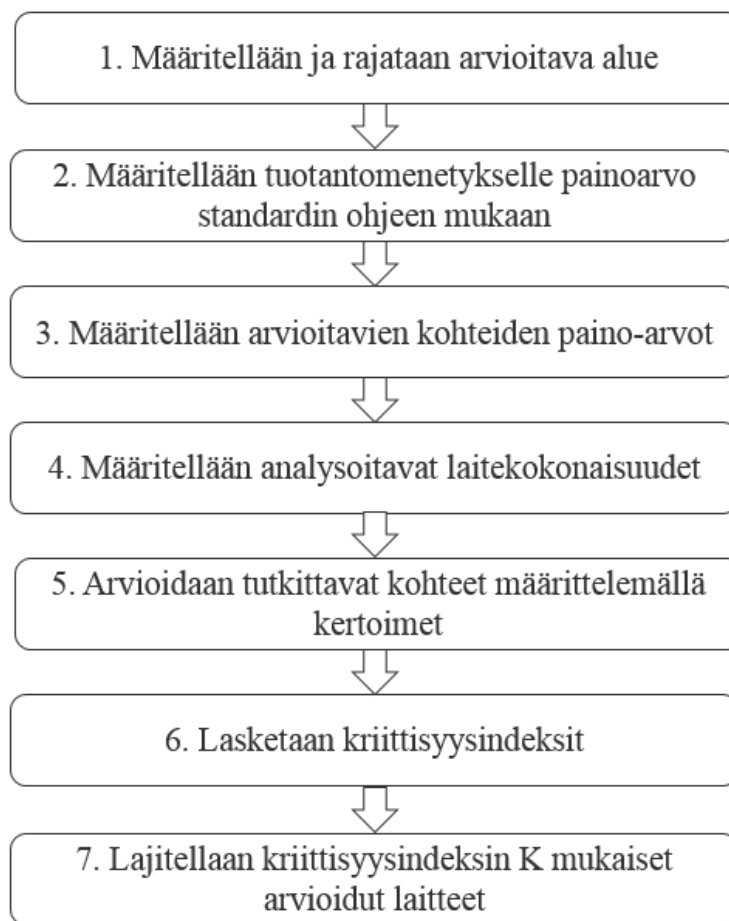
	Kriittisyys- tasot				
Tapahtuma, joka saattaa aiheuttaa järjestelmän ensisijaisen toimintatavan puuttumisen johtaen järjestelmän tai sen ympäristön huomattaviin vahinkoihin ja kuolemantapauksiin ja muuten vakaviin henkilövahinkoihin.	IV				
Tapahtuma, joka saattaa aiheuttaa järjestelmän ensisijaisen toimintatavan puuttumisen johtaen järjestelmän tai sen ympäristön huomattaviin vahinkoihin ja kuolemantapauksiin ja muuten vakaviin henkilövahinkoihin.	III				
Tapahtuma, joka saattaa aiheuttaa järjestelmän ensisijaisen toimintatavan puuttumisen johtaen järjestelmän tai sen ympäristön huomattaviin vahinkoihin, mutta vähäpätöisiin henkilövahinkoihin.	II				
Tapahtuma, joka huonontaa järjestelmän suorituskykyä, mutta ei vahingoita järjestelmää merkittävästi eikä aiheuta huomattavia henkilövahinkoja.	I				
		hyvin pieni	pieni	keski- suuri	suuri
	vian esiintymistodennäköisyys				

Kuva 11. Kriittisyysmatriisi (SFS 5438 1988, 2)

3.4.3 PSK 68000 Laitteiden kriittisyysluokittelu

Standardissa PSK 6800 määritetty laitteiden kriittisyysluokittelu määrittelee laitteiden kriittisyyden taloudellisten vaikutusten, henkilöturvallisuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Pääsääntöisesti sitä kuitenkin käytetään taloudellisten vaikutusten perustella ja sitä on usein käytetty kunnossapitosuunnitelman lähtötietona. Taloudellisissa vaikutuksissa otetaan huomioon tuotannon menetys, laatu- ja kustannukset ja korjaus- tai

seurauskustannukset. Tuotannon menetys pitää sisällään menetetyn tuotantoajan, joka on aiheutunut suunnittelemattomasta seisokista. Laatumenetyksissä ovat ylimääräiset toimenpiteet, joilla tuotteen laatu saadaan alkuperäiselle suunnitellulle tasolle sekä laaturvirheen takia tuotteesta saatava pienempi hinta. Korjauskustannukset syntyvät laitteen vikaantumisen yhteydessä. Seurauskustannuksia aiheutuu, jos laitteen vikaantuminen johtaa laitteen vaurioitumiseen tai jonkin toisen laitteen vikaantumiseen. Laitteiden kriittisyysluokittelussa käydään kuvan 12 mukaiset vaiheet läpi.



Kuva 12. Laitteiden kriittisyysluokittelun vaiheet (mukailtu PSK 6800 2008, 3)

Esimerkki laitteiden kriittisyyteen vaikuttavista tekijöistä ja ohjeellisista lukuarvoista on esitetty taulukossa 7. Taulukko on jaettu kohteisiin, painoarvoon, vikaantumisväliin, kertoimeen ja valintakriteeriin. Lopullinen kriittisyysluokka lasketaan kaavalla 5.

Taulukko 7. PSK 6800 standardin esimerkki laitetaso kriittisyyden tekijöistä

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotanto- ja laatuvaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seurauksenkustannukset $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauksenkustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.		
	$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)		
	$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)		
	$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)		
	$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)		

$$K = p * (W_s * M_s + W_e * M_e + W_p * M_p + W_q * M_q * W_r * M_r) \quad (5)$$

Jos laitteen riski kohdistuu turvallisuuteen tai ympäristöön, niin täytyy sen suuruuden selvittämiseksi käyttää yleisesti hyväksytyjä riskianalyysimenettelyjä ja niistä saatavien tulosten avulla pienentää riski viranomaisten haluamalle tasolle. (PSK 6800 2008, 2-3)

4 LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO, RCM

RCM (Reliability Centered Maintenance) eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito on alun perin kehitetty apuvälineeksi lentokoneiteollisuuden tarpeisiin, sillä lentokoneiteollisuudessa tarvittiin systemaattinen menetelmä koneiden käyttövarmuuden edistämiseksi, jotta matkustajien turvallisuutta pystyttiin parantamaan. Aikaisempi lentokoneiteollisuuden kunnossapidon toimintatavan käsitys perustui siihen, että koneen jokainen komponentti heikkenee aikanaan ja vain peruskunnostuksella tai komponenttien vaihtamisen avulla voitiin varmistaa toiminnan luotettavuus. Tällä toimintatavalla ei saatu kuitenkaan vikaantumisia hallintaan ja vikaantumisten lähtökohdat jouduttiin kyseenalaistamaan. (Järviö & Lehtiö 2012, 77 ja 161-162)

RCM:n kaksi perusideaa on olla vaarantamatta laitoksen toimintaa mahdollisimman vähällä kunnossapidolla sekä suunnitella ja kehittää laitteita niin, että niiden kunnossapidettävyyden ja käyttövarmuus paranee. RCM-analyysin avulla pyritään siis määrittelemään kustannustehokkaimmat ja käyttökelpoisimmat kunnossapitotehtävät riskien minimoimiseksi. Tämä mahdollistetaan tunnistamalla tehtaassa kriittiset laitteet ja suorittamalla systemaattista kunnossapitoa, joiden myötä pyritään poistamaan kaikki epäoleellinen kunnossapito. RCM on jatkuva prosessi ja sillä pyritään löytämään tehokkaimmat kunnossapitomenetelmät koneille tai sen osalle. Tärkeää on tuntea prosessit ja laitteet, jotta jokaiselle komponentille voidaan valita oikea kunnossapitostrategia. (Duffuaa & Raouf 2015, 247)

4.1 RCM -analyysin vaiheet ja päämäärät

RCM strategian mukaisessa kunnossapidossa kunnossapidon perusaskeleet toteutetaan seitsemän portaisen asteikon mukaisesti. Kunnossapidon eräänä peruslähtökohtina on ymmärtää, miten laite toimii, ylläpitää laitteen suorituskyky käyttäjän hyväksymällä tasolla sekä tuntea laitteen toimintaympäristö (Manzini et al. 2010, 72–73) Kuvassa 13 on esitetty RCM -analyysin vaiheet.



Kuva 13. RCM-analyysin vaiheet kunnossapitosuunnitelman laadintaan (muokattu, Manzini et al. 2010, 72-73)

Näistä ensimmäiset neljä kohtaa määrittää sen, mihin kunnossapitotoimia kannattaa keskittää, viidennessä kohdassa priorisoidaan laitteet ja kahdella viimeisellä kohdalla pyritään määrittämään tehokkaimmat kunnossapidon toimintamallit laitteiden vikaantumisten ja vikaantumisista johtuvien seurauksien minimoimiseksi (Järviö & Lehtiö 2012, 164). Onnistuessaan RCM-analyysillä voidaan ennustaa laitteiden vikaantumiset luotettavasti ja laatia tarkkoja laitekohtaisia kunnossapitosuunnitelmia, joiden avulla pystytään oikea-aikaisesti ehkäisemään turhia tuotantokatkoksia. (Fedele 2011, 39.) Lisäksi RCM-analyysin hyvin onnistuessa yritys voi saavuttaa seuraavat päämäärät:

- Vikaantumiset havaitaan ajoissa jatkuvan kunnonvalvonnan ansiosta, jolloin koneen käyttöaste paranee, koska varsinaisia vaurioita ei pääse syntymään.
- Kunnonvalvonnalla korvataan ennakoiva kunnossapito, jolloin ennakoivaa kunnossapitoa tehdään vain silloin, kun sitä oikeasti tarvitaan ja tämän myötä kunnossapitokustannukset laskevat.
- Koneelle tehtävä kunnossapito on yksilöity vastaamaan sille ominaisia tarpeita, jotka on selvitetty koneelle tehdyn vikaantumisvaikutus- ja kriittisyysanalyysin perusteella.
- RCM-työkalua hyödyntämällä kunnossapidosta ja laitteistosta aiheutuvia kustannuksia voidaan pienentää vuositasolla jopa 30 – 50 %. Tämän myötä myös elinkaaren aikaiset kustannukset laskevat.
- Laitteille määritetyt kunnossapitosuunnitelmat ovat jatkuvassa muutoksessa ja niitä kehitetään kunnonvalvonnan tuottaman tiedon mukaan sekä laitteen roolin muuttuessa. Kunnossapito on joustavaa ja kykeneväinen reagoimaan tuotannon muutoksiin, sillä uudet vikaantumisvaikutus- ja kriittisyysanalyysit muokkaavat vain laitteelle yksilöityä kunnossapitosuunnitelmaa.

(Al-Turki et al. 2014, 14.)

4.2 RCM-prosessissa käytetyt vikojen seuraukset ja niiden hallinta

RCM-prosessia käytettäessä vioista aiheutuvat seuraukset jaetaan neljään ryhmään. Näitä hyödynnetään kunnossapidon strategisessa päätöksenteossa. Jakamalla seuraukset esitelyjen kohtien mukaisesti, voidaan kunnossapidon toiminta keskittää niihin kohteisiin, joiden seuraukset ovat suurimmat.

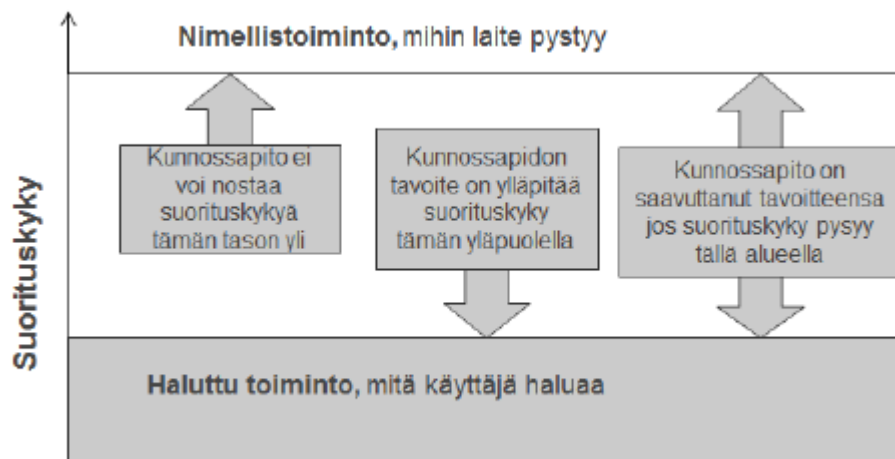
- Piilevien vikojen seuraukset: Piilevät viat eivät aiheuta suoraan seurauksia, mutta mahdollistavat ketjureaktion syntymisen, joista saattaa aiheutua useita vikaantumisia, jotka voivat aiheuttaa merkittävät seuraukset.
- Turvallisuus- ja ympäristöseuraukset: Vikojen aiheuttamat turvallisuusseuraukset syntyvät, jos vikaantuminen altistaa henkilötapaturmalle. Ympäristöseurauksia syntyy, jos vikaantuminen aiheuttaa erilaisia säädöksiä ylittäviä päästöjä tai haittoja
- Toiminnalliset seuraukset: Vikaantumisella on tuotantoon vaikuttavia seurauksia. Se saattaa heikentää laitteen käytettävyyttä tai tuotteen laatua.

- Ei-toiminnalliset seuraukset: Vikaantumisesta ei aiheudu turvallisuuteen, ympäristöön tai tuotantoon liittyviä seurauksia. Seurauksista syntyy vain korjauskustannuksia.

Näitä vikaantumisesta aiheutuvia seurauksia hallitaan proaktiivisilla tehtävillä tai toimintaohjeilla. Proaktiiviset tehtäviä suoritetaan ennen kuin vikaantuminen on aiheuttanut laiterikkoja. RCM:ssa proaktiiviset tehtävät on jaettu jaksotettuun korjaukseen, jaksotettuun uusimiseen ja kunnonvalvontaan. Tässä osiossa kunnonvalvontaan sisältyy ennustava- ja ehkäisevä kunnossapito sekä kunnonvalvonta. Toimintaohjeita käytetään, kun laitteelle ei ole mahdollista määrittellä tehokasta ehkäisevää toimintamallia. Toimintaohjeissa määritetään ohjeet, miten toimitaan, kun laite lopettaa toimintansa. Tähän kuuluvat muun muassa vian etsintä ja korjaava kunnossapito. (Järviö & Lehtiö 2012, 166-167)

4.3 Työtehtävien suunnittelu RCM-periaatteiden mukaisesti

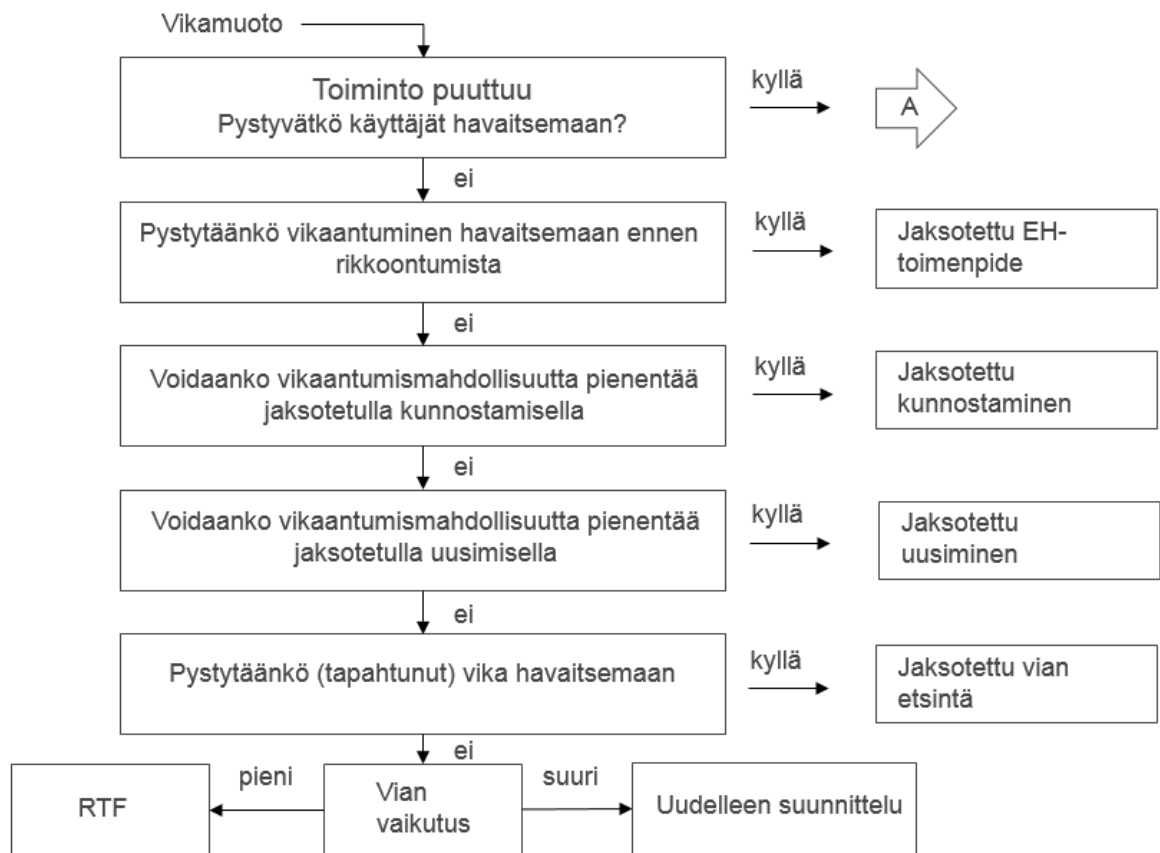
Jokaiselle laitteelle määritetään toiminnot ja niille käyttäjät asettavat minimisuoritus-tason. Kunnossapito pyrkii pitämään laitteen suorituskyvyn määritetyn minimisuoritus-tason (Järviö 2000, 24-25) Kuva 14 havainnollistaa kunnossapidon tavoittelemaa suorituskykyä laitteiden toiminnoille.



Kuva 14. Laitteen toimintojen tavoiteltu suorituskyky (Järviö 2000, 25)

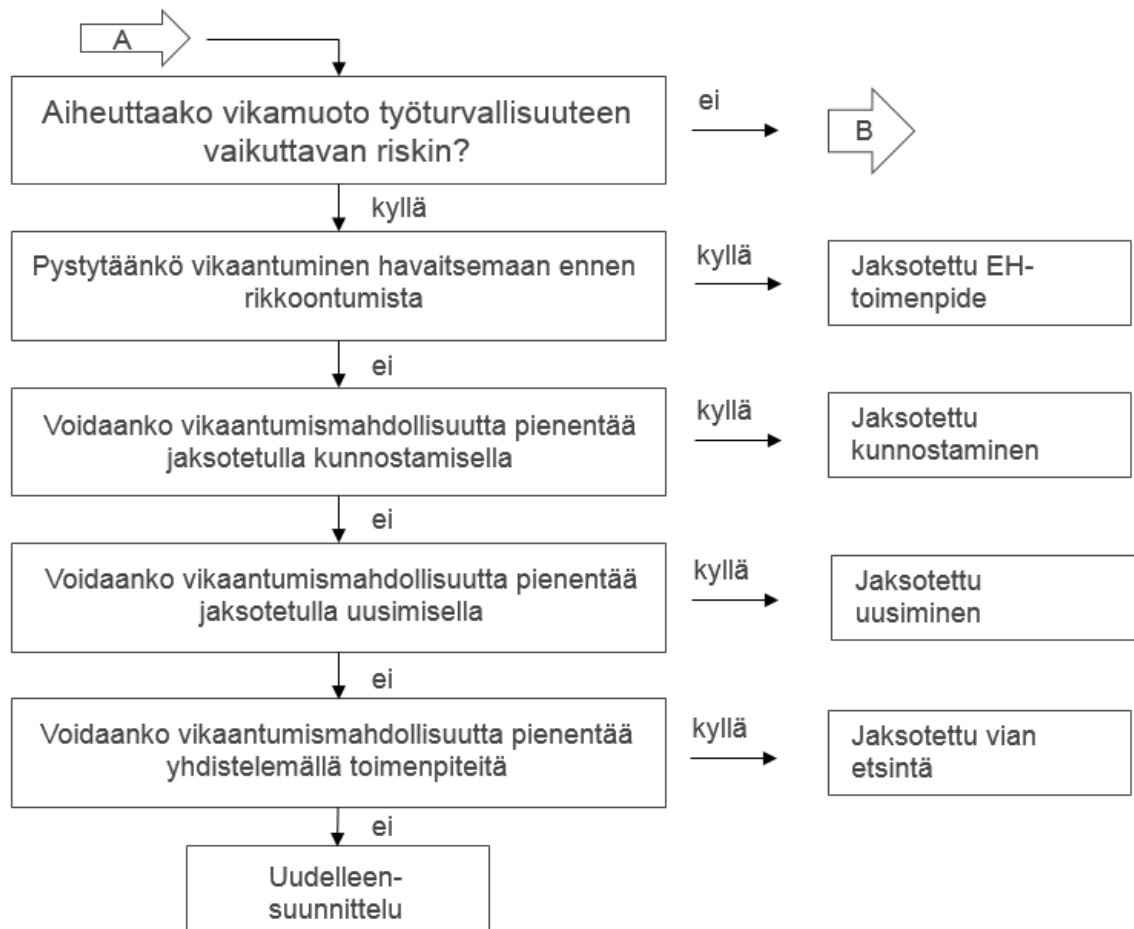
Kun toiminnot ja niiden suorituskykyvaatimukset on määritetty niin, toiminnot asetetaan tärkeysjärjestykseen, jonka jälkeen toiminnoille määritetään vikamuodot, jotka viedään päätöksentekokaavioon. Ensimmäisessä vaiheessa määritetään se, että pystyykö

käyttöhenkilöstö havaitsemaan vikamuodon ja sen mukaan määräytyvät käytetyt kunnossapitotoimet. Kaikki toimenpiteet tulee myös arvioida sen mukaan, ovatko ne teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattava toteuttaa. Esitetyistä päätöksentekokaavioista nämä arviointikohdat on jätetty pois piirustusteknisistäsyistä. (Järviö & Lehtiö 2012, 168-170) Ensimmäisestä vikamuodon havaitsemisen vaiheista on esitetty kuva 15.



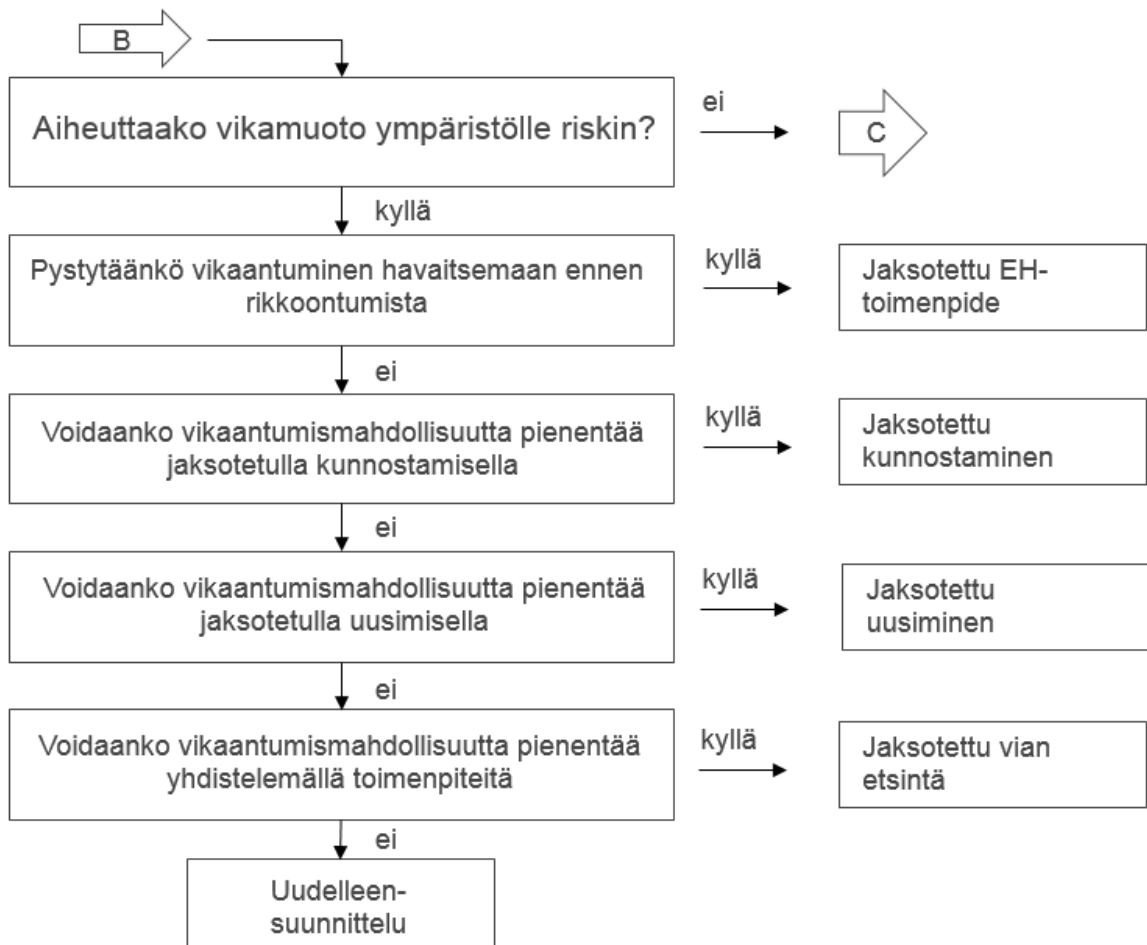
Kuva 15. Ensimmäinen vaihe RCM-päätöksentekokaaviossa, vikamuodon havaitseminen (mukailtu Järviö & Lehtiö 2012, 170)

Mikäli vikaantumista ei pystytä havaitsemaan ajoissa tulee arvioida vian vaikutukset ja suunnitella toimintaohje vikaantumisen tapahtuessa, kuten toimintasuunnitelman laatiminen tai varaosien säilytys varastossa. Mikäli vikamuoto pystytään havaitsemaan, niin siirrytään RCM-päätöksentekokaaviossa toiseen vaiheeseen, jossa arvioidaan vikamuoto työturvallisuuden näkökulmasta. (Järviö & Lehtiö 2012, 170-171) Toisesta vaiheesta on esitetty kuva 16.



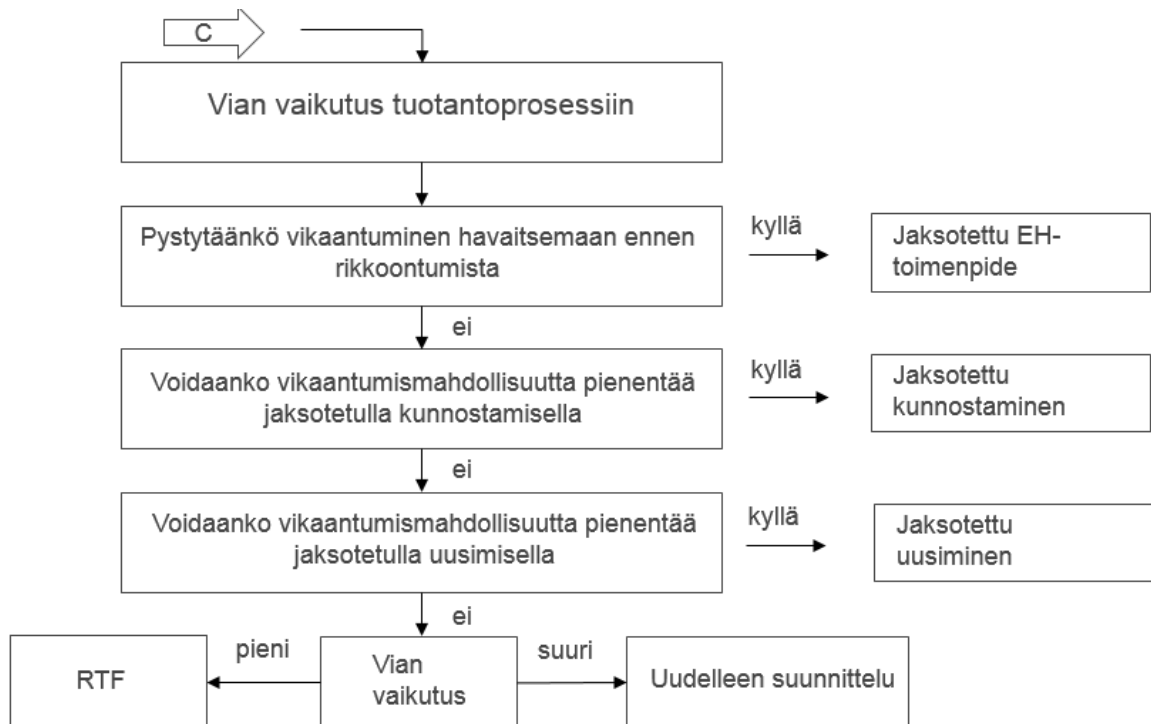
Kuva 16. Toinen vaihe RCM-päätöksentekokaaviossa, turvallisuus (mukailtu Järviö & Lehti 2012, 170)

Jos vikamuoto ei vaaranna työturvallisuutta voidaan siirtyä tarkastelemaan vikamuotoa ympäristövahinkojen näkökulmasta. Tätä vaihetta havainnollistetaan kuvalla 17.



Kuva 17. Kolmas vaihe RCM-päätöksentekokaaviossa, ympäristövahingot (mukailtu Järviö & Lehtiö 2012, 170)

Jos vikamuoto ei aiheuttanut ympäristölle riskiä, niin voidaan siirtyä viimeiseen vaiheeseen, mikä käsittelee vian vaikutusta tuotantoprosessiin ja tästä aiheutuviin taloudellisiin seurauksiin. Erilaisia vaikutuksia tuotantoprosessiin ovat esimerkiksi tuotannon määrä ja laatu, toimitusvarmuus sekä korjaus- ja epäkäytettävyyuskustannukset. (Järviö & Lehtiö 2012, 172) Kuvassa 18 havainnollistetaan neljännen vaiheen vaihteita.



Kuva 18. Neljäs vaihe RCM-päätöksentekokaaviossa, taloudellinen merkitys (mukailtu Järviö & Lehtiö 2012, 170)

Kuvista voidaan havaita, että jos vikamuodoilla ei ole vaikutusta työturvallisuuteen, ympäristövahingoille tai seurannaisvaikutukset ovat pienet, niin vikaantuminen voidaan sallia. Jos kustannukset ovat suuret, on järkevää suunnitella laite uudelleen.

5 PK8-TUOTANTOLINJAN KRIITTISTENLAITTEIDEN TUNNISTAMINEN JA KUNNOSSAPIDON NYKYTILANNE

Tästä luvusta eteenpäin keskitytään kohdeyritykseen. Luvussa käydään paperikone 8:n tuotantolinja pintapuolisesti läpi ja perehdytään UPM Communication Papers Oyj:n käytössä olevaan kunnossapitostrategiaan. Lisäksi perehdytään tarkemmin kohdeyrityksen kunnossapidon nykytilanteeseen ja selvennetään sitä, kuinka tarkasteltavat kohteet ovat valittu kriittisyysluokitteluun.

5.1 PK8-tuotantolinja

Kymin PK8-tuotantolinjalla on monipuolinen paperikone ja sillä valmistetaan sekä päällystettyä paperia (WFC) ja päällystämätöntä paperia (WFU). Tuotantolinja koostuu kokonaisuudessaan paperikoneesta (PK8), välirullaimista (VR1 ja VR2), päällystyskoneesta (C3), superkalanterista (K1), mattakalanterista (K2), pituusleikkureista (PL1 ja PL2), paperirullien kuljettimista ja rullapakkaamosta (RP1).

Välirullaimilla korjataan paperikoneelta syntyneet paperirullien viat, kuten reiät, jotta päällystyskoneen ajon jatkuvuus pystytään varmistamaan. Päällystyskoneella paperin pinnalle sivellään pigmenttiä ja sideaineita sisältävää pastaa. Kalantereilla parannetaan paperin pintaominaisuuksia, säädetään paksuutta ja tasataan paksuusprofiilia. Pituusleikkurien päätehtävät ovat pituusleikkaus ja asiakasrullien muodostus. Rullapakkaamossa rullat pakataan kuljetusta ja säilytystä varten. Rullakuljettimilla kuljetetaan asiakasrullia eteenpäin vaihevaiheelta. Tuotantolinjalla konerullia kuljetaan tampuurivaunuilla sekä nostureilla. Pituusleikkureiden jälkeen asiakasrullia kuljetetaan vaunukuljettimella ja lamellikuljettimilla. (KnowPap, 2015).

Paperikone 8:n valmistaa linjan koko paperituotannon, josta paperi kuljetetaan tampuurivaunulla jälkikäsitteilyalueelle, missä päällystämätön paperi siirretään suoraan pituusleikkureille. Päällystetyt lajit kulkevat välirullaimien, päällystyskoneen sekä super- tai mattakalanterin läpi pituusleikkureille. Paperikone 8:n tuotannosta on noin 70 % päällystettyä paperia ja näistä päällystetyistä papereista superkalanteroidaan noin 60 % ja

lopun mattakalanteroidaan. Pituusleikkureiden jälkeen paperi kuljetetaan vaunukuljettimella (VK) rullapakkaukseen, jossa rullat pakataan ja siirretään välivarastoon.

5.2 UPM Communication Papers kunnossapitostrategia

Uusin kunnossapitostrategia on päivitetty vuonna 2017. Kunnossapitostrategiassa esitetyn vision mukaan päätoiminnan katsotaan koostuvan käytöstä, kunnossapidosta ja hankinnasta sekä varastojen hallinnasta. Näin kunnossapidon katsotaan kuuluvan UPM:n ydinosiin. Kunnossapidon tärkeimmät tavoitteet ovat käytettävyyden ja kustannustehokkuuden parantaminen. (UPM 2017.)

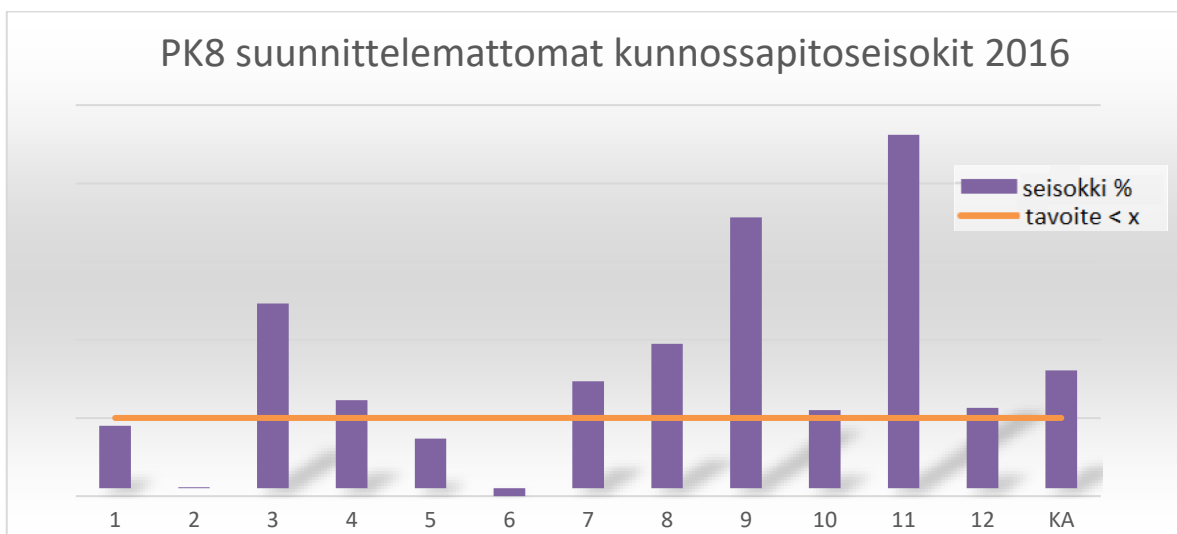
5.3 Kunnossapito-organisaatio ja kunnossapidon nykytilanne

Kymin paperitehtaalla kunnossapito-organisaatio on jaettu mekaaniseen kunnossapitoon, automaatiokunnossapitoon, kunnonvalvontaan, voitelu- ja mekatroniikkaryhmään. Mekaaninen- ja automaatiokunnossapito on jaettu alueryhmiin, jotka vastaavat arki päivisin oman alueensa tuotantolinjan kunnossapidosta. Kunnonvalvonta, voitelijat ja mekatroniikkaryhmä ovat koko tehtaan yhteisiä kunnossapitoryhmiä. Muina aikoina koko tehtaan kunnossapidosta vastaa vuorokorjausryhmä, jonka pääasiallisena tehtävänä on hoitaa häiriökorjaukset päivävuoron ulkopuolella. Kunnossapitoasentajien lisäksi eri laitteille on koulutettu käyttökunnossapitomiehiä, jotka pyrkivät valvomaan laitteiden kuntoa, suorittamaan säätöjä ja pyrkivät reagoimaan äkillisiin häiriötilanteisiin pääasiassa päivävuoron ulkopuolella. Tehtaan ulkopuolista työvoimaa käytetään pääasiassa putkisto- ja säiliötöissä, telinetöissä, linjaustöissä ja joissain suuremmissa kunnostustöissä.

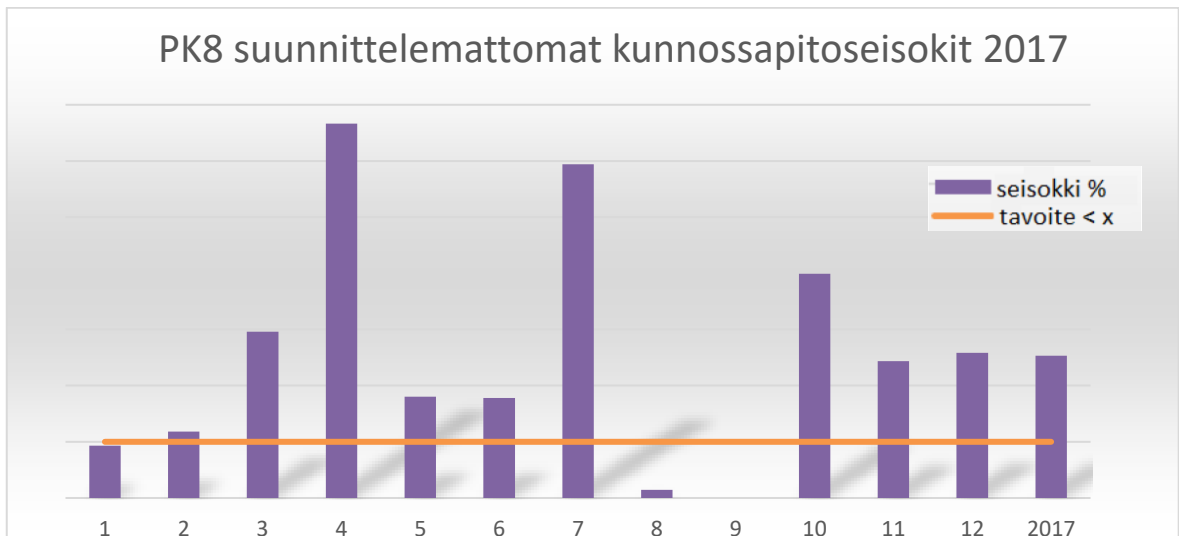
Tarkempia ennakkohuolto-ohjelmia ei juurikaan ole olemassa paperikone 8:n tuotantolinjan mekaanisen kunnossapidon puolella. Mekaanisella kunnossapidolla on käytössä yleisluonteisia konekierroksia isoille aluekokonaisuuksille, kuten esimerkiksi koko paperikoneelle tai jälkikäsitteilyalueelle. Näistä kuitenkin puuttuu monia oleellisia asioita, kuten suoritettavat toimenpiteet, tarkemmat kohteet ja tarkempi tieto milloin tehty toimenpide on suoritettu. Näiden käyttö ei perustu niinkään systemaattiseen toimintaan vaan näitä suoritetaan, jos asentajalle jää esimerkiksi työn valmistuttua ylimääräistä aikaa. SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä ilmaantuu myös automaattisesti ennakkohuoltotöitä, mutta nämä ovat peruja vanhasta järjestelmästä ja ne eivät ole käytössä. Ennakkohuolto on siis

pääasiassa kunnonvalvojen suorittamaa säännöllisiä mittauksia ja näistä saatuihin tuloksiin reagointia.

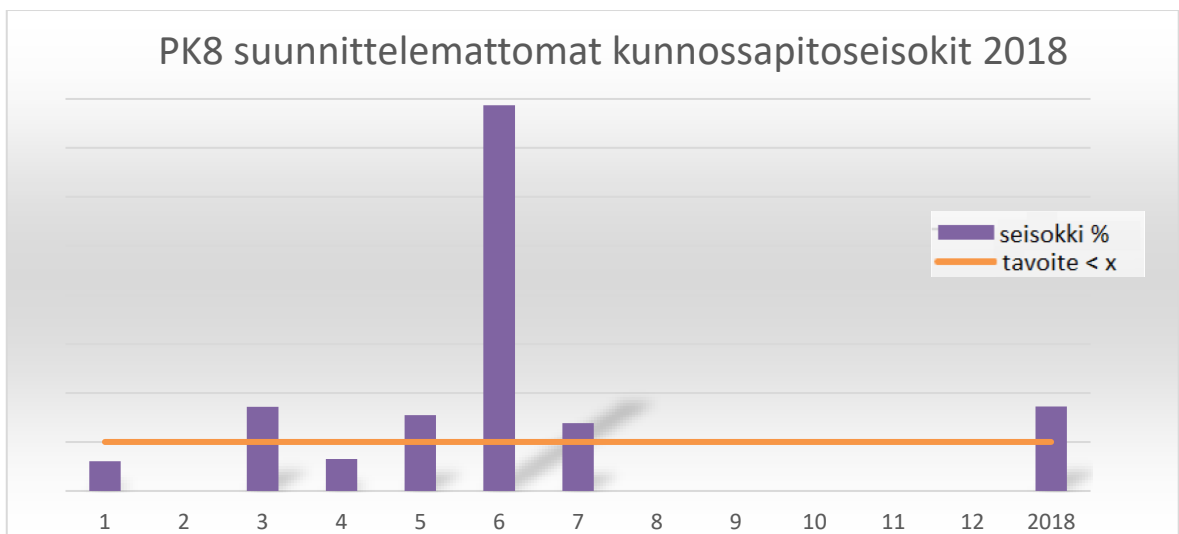
Yksi paperikone 8:n tuotantolinjan kunnossapidolle asetetuista tavoitteista liittyy kunnossapidosta johtuviin suunnittelelattomiin seisokkeihin. Tavoite on, ettei suunnittelelattomien kunnossapitoseisokkien kokonaiskestot ylittäisi tavoiterajaa, kun suunnittelelattomiin kunnossapitoseisokkeihin käytetty aika suhteutetaan paperikoneen mahdolliseen käytettävissä olevaan aikaan. Kuvissa 19, 20, ja 21 on esitetty kuukausitasolla vuosien 2016, 2017 ja 2018 kunnossapidosta johtuvien suunnittelelattomien seisokkien aika suhteutettuna käytettävissä olevaan aikaan. Oranssi viiva kuvaa asetettua tavoitetta, numeroidut pylväät kuvaavat kuukausia ja viimeinen pylväs kertoo kuluneen vuoden keskiarvon.



Kuva 19. Vuoden 2016 kunnossapidosta johtuvat suunnittelelattomat seisokit ja asetettu tavoiteviiva.



Kuva 20. Vuoden 2017 kunnossapidosta johtuvat suunnittele mattomat seisokit ja asetettu tavoiteviiva.



Kuva 21. Vuoden 2018 kunnossapidosta johtuvat suunnittele mattomat seisokit ja asetettu tavoiteviiva.

Kuvista voidaan havaita, että tarkasteltavalla ajankohdalla asetettuihin tavoitteisiin ollut haasteellista päästä. Tavoitteet on saavutettu ainoastaan yhtenätoista kuukautena kolmestakymmenestäkahdesta. Myös vuositasoilla tavoitteet on jäänyt saavuttamatta ja huonoimmillaan ne ovat vuositasolla olleet yli 2,5 kertaiset tavoitteisiin nähden.

5.4 Kriittisten laitteiden valinta

Tässä tutkimuksessa keskitytään tuotantolinjan jälkikäsitteilyalueeseen eli paperikoneen jälkeiseen alueeseen, johon kuuluvat välrullaimet (VR 1 & 2), päällystyskone (C3), superkalanteri (K1), mattakalanteri (K2), pituusleikkurit (PL 1 & 2), vaunukuljetin (VK) ja muut rullakuljettimet. Tutkimuksen rajausta pohdittaessa oltaisiin haluttu ottaa huomioon kaikki jälkikäsitteilyalueen laitteet, mutta alueen ollessa laaja, pyrittiin prosessista tunnistamaan järjestelmän toiminnan, käytön ja kunnossapidon kannalta tärkeimmät kohteet. Näille valituille kohteille tullaan suorittamaan jatkossa tarkemmat analyysit käytettävyyden ja kunnossapidon kehittämiseksi.

Tutkimustyössä keskeisimpiä tavoitteita oli parantaa tuotantolinjan tuottavuutta sekä hallita kunnossapitokustannuksia. Edellä mainittujen tavoitteiden perusteella tarkempaan kriittisyysluokan tarkasteluun valittiin laitteet seuraavien kohtien mukaan:

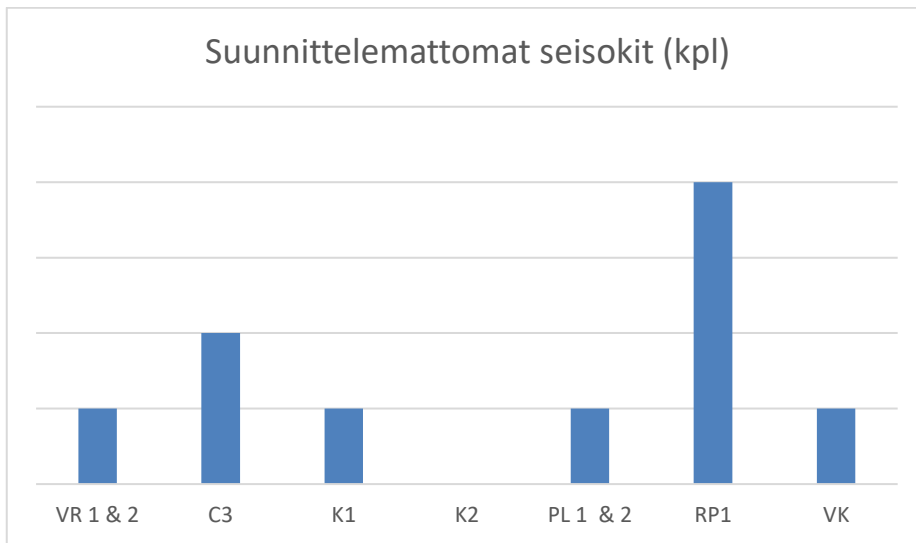
- Laitteesta aiheutuneiden suunnittelemtomien kunnossapitoseisokkien lukumäärä sekä näistä aiheutunut kokonaisuus
- Laitteelle toteutuneiden kunnossapitotilausten lukumäärä
- Laitteelle toteutuneet kunnossapidon kustannukset (työtunnit ja varaosat)
- Laitteelle toteutuneet asentajien työtunnit

Edellä mainittujen kohtien lisäksi on pyritty huomioimaan, kuinka kriittinen jälkipään laite on eli pystytäänkö laite ongelmatilanteessa kiertämään esimerkiksi paperin lajinvaihdolla. Kaikissa kohdissa on huomioitu, seuraavat kunnossapidon osa-alueet; mekaaninen kunnossapito, automaatiokunnossapito ja mekatroniikka. Suunnittelemtomien kunnossapitoseisokkien selvittämiseen käytettiin GMES-tuotannonohjausohjelma sekä DIARY-päiväkirjaa. GMES on MES (Manufacturing Execution System) -tason tuotannonohjausjärjestelmä. MES määrittää liiketoiminnan ja valmistuksen väliseksi rajapinnaksi ja se kertoo valmistustoimintojen aikataulun, tilausten käynnistymisen, huomioi satunnaiset tapahtumat, mukauttaa tuotantosuunnitelmat ja seuraa toiminnan etenemistä (Blanc et al. 2008, 317). DIARY on yhtiön sisäinen päiväkirja, jonne jokainen yhtiön työntekijä voi kirjoittaa merkintöjä havainnoimistaan asioista, kuten esimerkiksi laitteiden vikailmoitukset, paperilajien vaihto tai tuotannon katkon syistä. Muiden kohtien tarkastelussa on käytetty SAP-toiminnanohjausjärjestelmää. SAP on

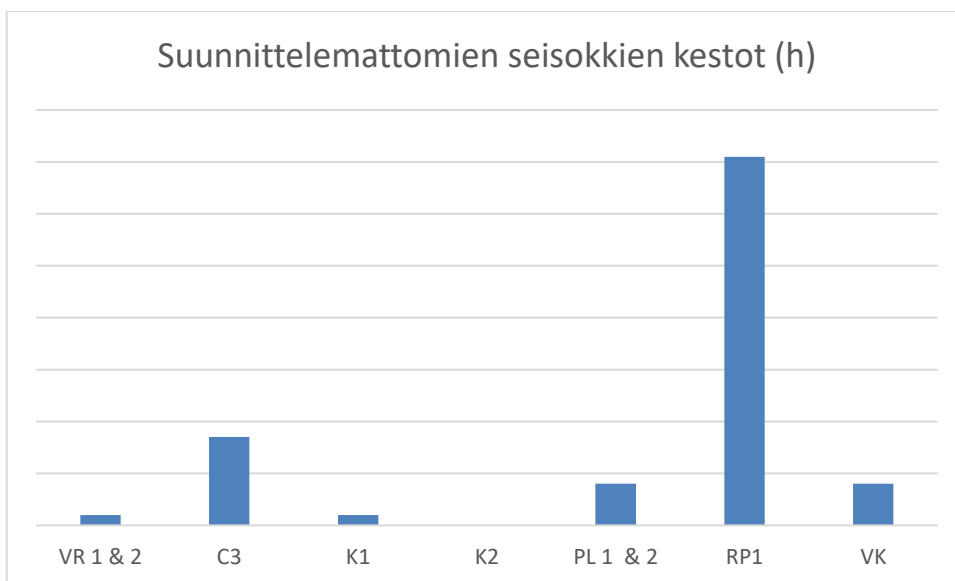
toiminnanohjausjärjestelmä, jolla pyritään kytkemään yrityksen eri toiminnat yhteen, kuten kunnossapito, tuotanto, materiaalin hallinta, tuotannon suunnittelu, myynti ja HR (Ibrahim 2010, 2-3).

Suunnittelemttomien seisokkien tarkasteluajanjaksoksi on valittu vuoden 2017 alusta vuoden 2018 elokuuhun. Ennen vuotta 2017 suunnittelemttomien seisokkien kirjaukset ovat hyvin vajavaisia GMES:ssa. Vuotta 2017 paperikoneella on ollut myös useita tilauspulaseisokkeja ja kunnossapidosta aiheutuvia suunnittelemttomia seisokkeja on saatettu merkitä tämän syyn alle. Merkinnät DIARY -päiväkirjassa on tästä asiasta myös hyvin puutteellisia ennen vuotta 2017. Muiden kohtien tarkasteluajanjaksoksi on valittu 2015 vuoden alusta vuoden 2018 elokuuhun. Kaikkia kunnossapitotyötilauksia ei olla merkitty SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä tarkoille toimintopaikoille, mikä heikentää aineiston luotettavuutta, mutta voidaan olettaa, että kunnossapitotyötilaukset on pääasiassa merkattu vähintään oikeille laitteille, joten aineistoja voidaan pitää riittävän luotettavana johtopäätöksien tekoon.

Jälkipään aiheuttamat suunnittelemttomat seisokit johtuvat paperikoneelle syntyneestä tampouritelojen puutteesta eli rautapulasta, jolloin paperikoneella ei pystytä rullaamaan valmista paperia uudelle rullalle ja paperikone joudutaan pysäyttämään. Rautapulat aiheutuvat usein monen asian saman aikaisesta tai peräkkäisestä vaikutuksesta, kuten esimerkiksi laiterikoista, paperikoneella aiheutuneista katkoista tai paperin läpivienti ongelmista. Suunnittelemttomille kunnossapitoseisokeille löytyi kuitenkin aina pääasiallinen laite, jonka takia rautapulaan on ajauduttu. Suunnittelemttomat kunnossapitoseisokit ja niiden kokonaiskestot jakaantuvat laitteille seuraavien kuvien 22 ja 23 mukaisesti. Suunnittelemttomien kunnossapitoseisokkien kohdalla molempia välirullaimia sekä molempia pituusleikkureita ei olla eritelty omiksi kohdiksi vaan ne on yhdistetty.



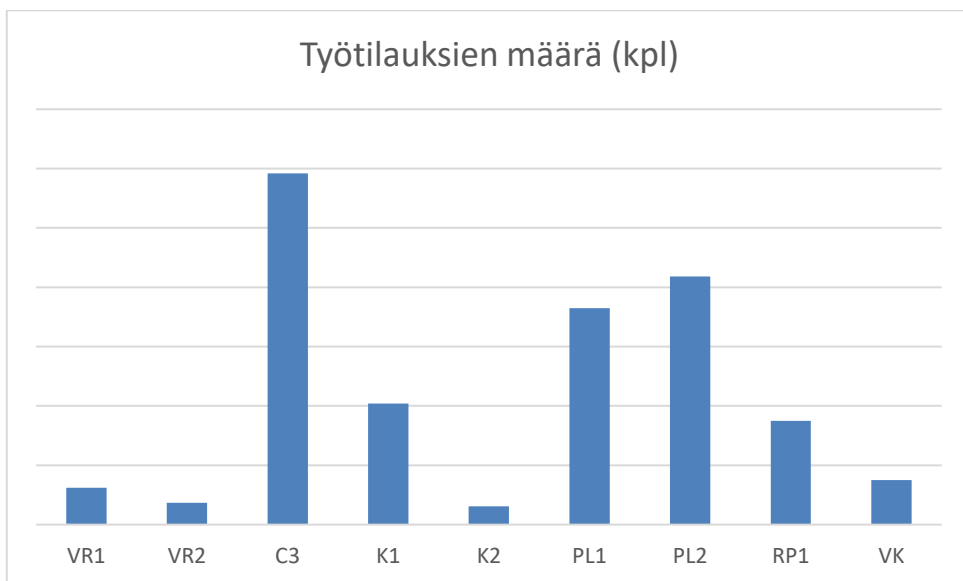
Kuva 22. Jälkipään suunnittelemattomat kunnossapitoseisokit alkaen vuoden 2017 alusta ja päättyen vuoden 2018 elokuuhun.



Kuva 23. Jälkipään suunnittelemattomat kunnossapitoseisokkien kokonaiskestot alkaen vuoden 2017 alusta ja päättyen vuoden 2018 elokuun loppuun.

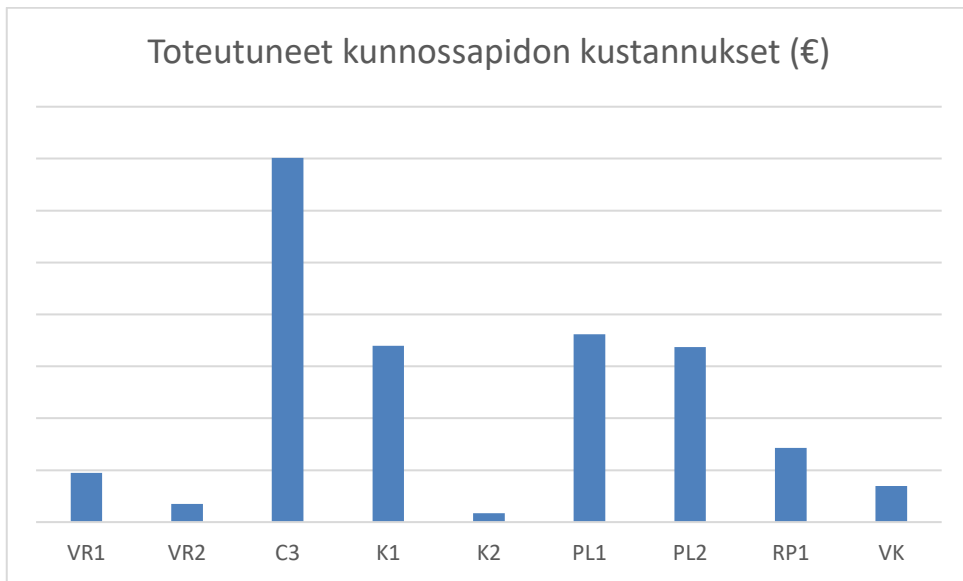
Kuvista nähdään, että suurin ongelma suunnittelemattomien kunnossapidon seisokkien suhteen on ollut rullapakkaus. Se on aiheuttanut kappalemäärältään 40 % kaikista jälkipään laitteiden suunnittelemattomista kunnossapitoseisokeista. Rullapakkauksesta aiheutuneiden suunnittelemattomien seisokkien kokonaiskesto on lisäksi noin 66 % kaikista tuotantolaitoksen jälkipään laitteiden aiheuttamista suunnittelemattomista kunnossapitoseisokeista.

Paperikone 8:n tuotantolinjan jälkipäähän tehdyt työtilaukset, joihin on reagoitu eli kunnossapitotyötilaukset, jotka sisältävät kustannuksia jakaantuvat kuvan 24 mukaisesti. Toteutuneet työtilaukset johtuvat pääasiassa laitteiden vikaantumisista ja korkea työtilausten määrä kertoo lyhyemmästä keskimääräisestä vikavälistä MTTF, mikä heikentää laitteiden käytettävyyttä.



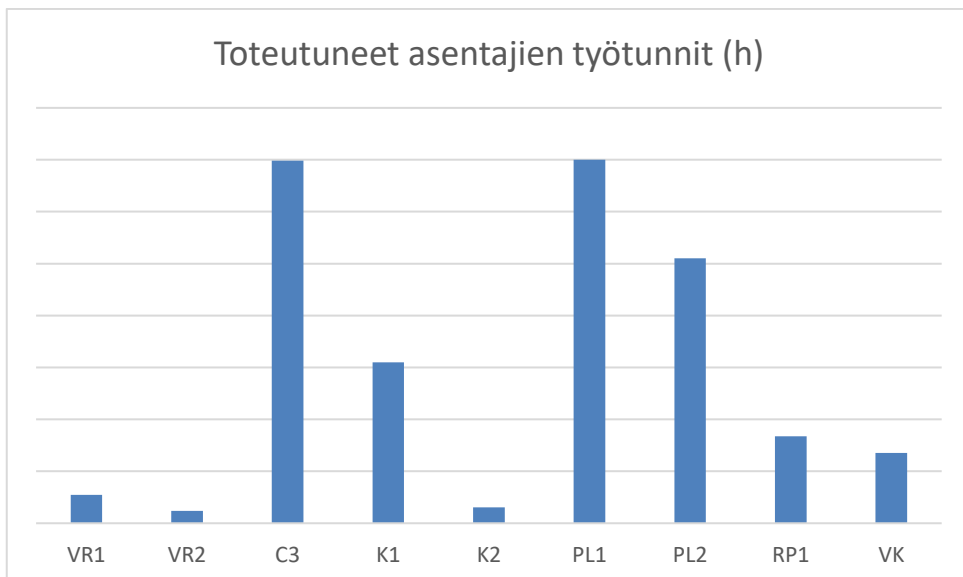
Kuva 24. Toteutuneiden työtilauksien lukumäärä 2015 alusta 2018 elokuun loppuun.

Kunnossapidonkustannuksia on tarkasteltu kuvassa 25. Kunnossapitokustannukset koostuvat suorista kunnossapidonkustannuksista, joita ovat omien kunnossapitoasentajien henkilötyötunnit, ulkopuolelta tilattu työ sekä materiaalikustannukset. Kunnossapitokustannukset eivät siis ota kantaa muun muassa tuotantokatkoksista aiheutuviin epäsuoriin kustannuksiin, jotka ovat usein suoria kunnossapitokustannuksia suuremmat. Kunnossapitokustannuksien tarkastelulla on tarkoituksena kuitenkin tunnistaa kohteet, joilla suorat kustannukset ovat korkeat.



Kuva 25. Toteutuneet kunnossapidon kustannukset vuoden 2015 alusta 2018 elokuun loppuun.

Kuvassa 26 on tarkasteltu miten kunnossapitoasentajien työtunnit jakaantuvat jälkipään laitteille. Tällä kohdalla on pyritty selvittämään, millä laitteilla on kunnossapitoasentajia eniten työllistävät vaikutukset.

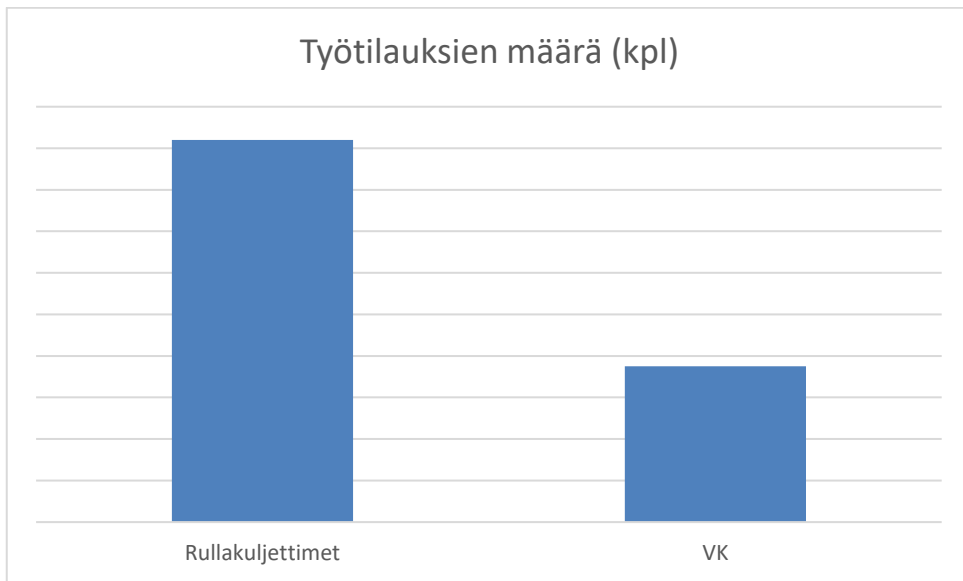


Kuva 26. Toteutuneet kunnossapidon asentajien työtunnit vuoden 2015 alusta 2018 elokuun loppuun.

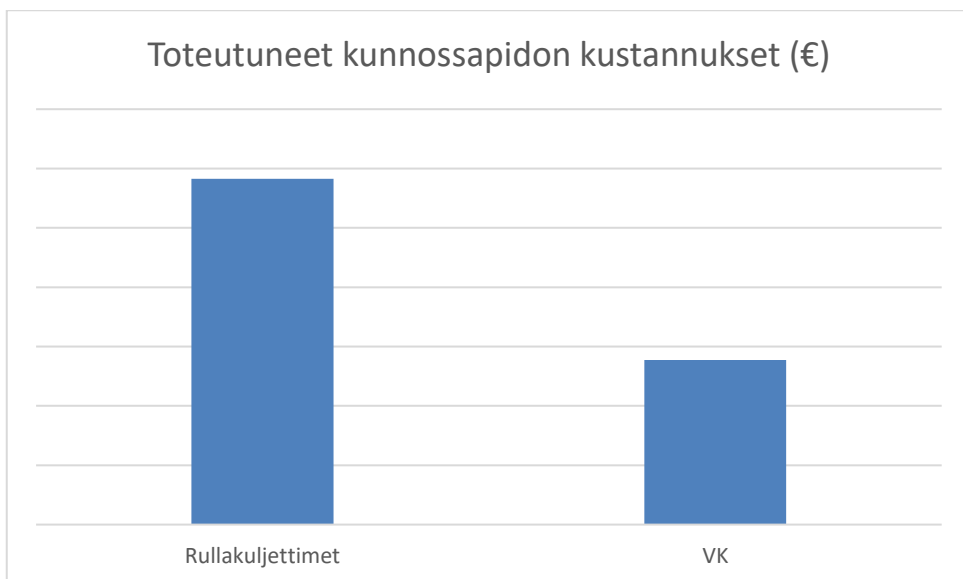
Toteutuneita työtilauksia on pituusleikkureille tehty yhteensä eniten. Pituusleikkureille tehdään noin 40 % kaikista jälkipään laitteille toteutuneista työtilauksista. Toiseksi eniten toteutuneita työtilauksia on tehty päällystyskoneelle, jolle tehdään noin 30 % kaikista jälkipään laitteiden työtilauksista. Kunnossapidon kustannukset ovat suurimmat päällystyskoneella ja pituusleikkureilla. Päällystyskone ja pituusleikkurit aiheuttavat 66 % jälkipäänlaitteiden kokonaiskustannuksista, mistä molempien osuudet ovat suunnilleen saman suuruiset. Pituusleikkureiden on työllistönyt melkein 50 % kaikista jälkipään laitteista, kun seuraavaksi eniten on päällystyskone noin 28 %.

Tuloksia tarkastellessa havaitaan, että eniten ongelmia aiheuttavat päällystyskone ja pituusleikkurit. Kun esitettyjä tuloksia lähdetään vertailemaan päällystyskoneen ja pituusleikkureiden välillä on syytä huomioda, että päällystyskone on pituusleikkureita huomattavasti suurempi kokonaisuus, jossa on enemmän toimintopaikkoja ja arvokkaampia komponentteja, kuten teloja, jotka vaurioituessaan aiheuttavat suuria yksittäisiä kustannuksia. Yhdistämällä pituusleikkureiden luvut voidaan todeta, että pituusleikkureille on toteutunut enemmän työtilauksia kuin päällystyskoneelle. Pituusleikkureiden yhteiset kustannukset ovat päällystyskoneen kanssa vastaavat, mutta pituusleikkureiden asentajia työllistävä vaikutus on huomattavasti suurempi, kuin päällystyskoneella.

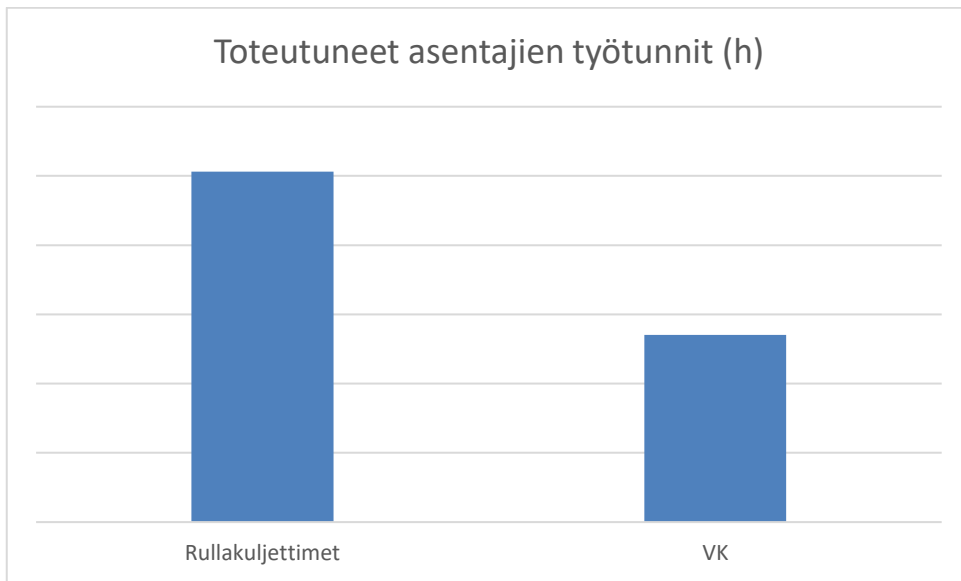
Edellä mainittujen lisäksi on hyvä vertailla vaunukuljetinta muihin kuljettimiin. Kuvissa 27, 28 ja 29 tarkastellaan vaunukuljettimesta aiheutuneita toteutuneita työtilauksia, kunnossapidon kustannuksia sekä asentajien työtunteja. Tuloksia on verrattu muihin kuljettimiin pituusleikkureiden ja välivaraston välillä. Rullakuljettimet pitävät sisällään muun muassa toistakymmentä lamellikuljetinta ja useita pysäyttämiä ja työntimiä.



Kuva 27. Vuoden 2015 alusta 2018 elokuun loppuun toteutuneiden työtilauksien määrä kaikille kuljettimille pituusleikkureiden ja välivaraston välillä sekä erikseen vaunukuljettimelle.



Kuva 28. Vuoden 2015 alusta 2018 elokuun loppuun toteutuneiden kunnossapidon kustannuksien määrä kaikille kuljettimille pituusleikkureiden ja välivaraston välillä sekä erikseen vaunukuljettimelle.



Kuva 29. Vuoden 2015 alusta 2018 elokuun loppuun toteutuneiden asentajien työtunnit kaikille kuljettimille pituusleikkureiden ja välivaraston välillä sekä erikseen vaunukuljettimelle.

Vaunukuljettimelle on toteutunut työtilauksista noin 40 % kaikista käsiteltävistä työtilauksista. Vaunukuljetin on aiheuttanut noin 47 % kaikista rullakuljettimien kokonaiskustannuksista sekä siihen on käytetty noin 53 % kaikista rullakuljettimiin kohdistuneista työtunneista.

Edellä esitettyjen kriteerien perusteella oli tavoitteena määrittää alueen laitteet, joiden kunnossapidon ja kunnossapidon kehittämisen kannalta on kannattavinta sijoittaa resursseja. Kun otettiin huomioon kunnossapidollisista syistä aiheutuneet suunnittelemattomat seisokit, kustannukset, työtilausten lukumäärä ja käytetyt asentajien työtunnit, niin tässä tutkimuksessa tarkempaan tarkasteluun on valittu rullapakkaus, pituusleikkurit ja vaunukuljetin. Rullapakkaus oli aiheutunut eniten suunnittelemattomia kunnossapidon seisokkeja. Pituusleikkureille kohdistui suuri määrä työtilauksia, niillä oli isot kokonaiskustannukset ja ne työllistivät kunnossapitoasentajia eniten. Vaunukuljettimen toimintavarmuus on tuotantolinjan kannalta hyvin tärkeää. Lisäksi muihin pituusleikkureiden ja välivaraston välisiin kuljettimiin verrattuna sillä oli paljon toteutuneita työtilauksia, toteutuneita kunnossapidon kustannuksia ja toteutuneita asentajien työtunteja.

6 KUNNOSSAPITO-OHJELMAN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi työssä käytetyt kriittisyysluokittelun toteutusvaiheet, käytetyt kriteerit sekä tarkastellaan saatuja tuloksia. Kriittisyysluokittelun perusteella toteutettiin laitteilla vikavaikutusanalyysi, josta kerrotaan myös tarkemmin tässä luvussa. Näiden perusteella toteutettiin kohdelaitteille kunnossapito-ohjelma, joka oli tämän työn yksi päätavoitteista.

6.1 Kriittisyysluokittelun toteutus

Kriittisyysluokittelussa muodostettiin ryhmä, jonka kanssa laitteiden kriittisyysluokittelu toteutettiin. Ryhmässä haluttiin hyödyntää laitteiden käyttäjien sekä kunnossapitäjien osaamista. Näin taattiin, että molempien näkökulma tulee huomioitua. Ryhmän osallistujamäärä haluttiin pitää pienenä, jotta asiat etenivät jouhevasti ja palavereihin oli helpompi saada kaikki samanaikaisesti paikalle. Kriittisyysluokittelut toteutettiin edellisessä kappaleessa määritetyille kriittisille laitteille ja se suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa käytiin pituusleikkureiden kriittisyysluokittelu läpi ja toisessa rullapakkauksen sekä vaunukuljettimen. Molemmissa kriittisyysluokitteluissa oli vastaavat henkilöt paikalla, mutta ensimmäisessä palaverissa ollut kunnossapitöpäällikkö korvattiin jälkimmäisessä palaverissa kunnossapitoinsinöörillä. Kuvassa 30 on esitetty tarkemmin ryhmän jäsenet. Tutkimuksen tekijä toimi kriittisyysluokitteluissa projektin vetäjänä. Kriittisyysluokittelun käytännön vaiheessa projektin vetäjä oli määritellyt toimintopaikoille alustavat vikatyypit ja näille määriteltävistä tekijöistä vaihtoehdot. Alustavat arviot perustuivat toimintopaikkojen vikatietohistoriaan, valmistajien huoltokirjoihin sekä muiden tehtaiden vastaaviin tuloksiin. Näitä alustavia määrittelyksiä muutettiin kriittisyysanalyysiryhmissä tarpeen mukaan.



Kuva 30. Kriittisyysanalyysien ryhmäkoonpano

Laitteet on jaettu toimintapaikkoihin niiden pääsääntöisten toimintojensa perusteella. Toimintopaikat on jaettu vielä tarkemmin toimintapaikkojen alle alatoimintapaikkoihin tarkempien toimintojen perusteella. Alatoimintapaikoille suoritettiin kullekin kriittisyysluokittelu lukuun ottamatta toimintapaikkoja, jotka eivät suoraan liittyneet prosessiin, kuten esimerkiksi hoitotasot tai nostopalkit. Alatoimintopaikat sisältävät usein useampia laitteita, jolloin kaikki laitteet perivät kyseiselle toimintapaikalle määritetyn kriittisyysluokan. Työssä on käytetty UPM:n omaa kriittisyysluokittelua, joka on muotoiltu yritykselle sopivaksi PSK 6800 standardin mukaisesta kriittisyysluokittelusta. PSK 6800 mukainen kriittisyysluokittelu on esitetty tarkemmin kappaleessa 3.4.3. Yrityksen käyttämässä kriittisyysluokittelussa määrittämisen oletus on todennäköinen vakava vika. Tämän lisäksi kriittisyysluokittelussa on käytetty UPM:n sisäisesti määrittelemiä oletusrajoituksia voitelulle, varaosien saatavuudelle, kahdennetuille laitteille, korjausajalle, korjaustöiden kustannuksille, laatu- ja katemenetysvaikutuksille sekä viiveajalla paperikoneen pysähtymiseen.

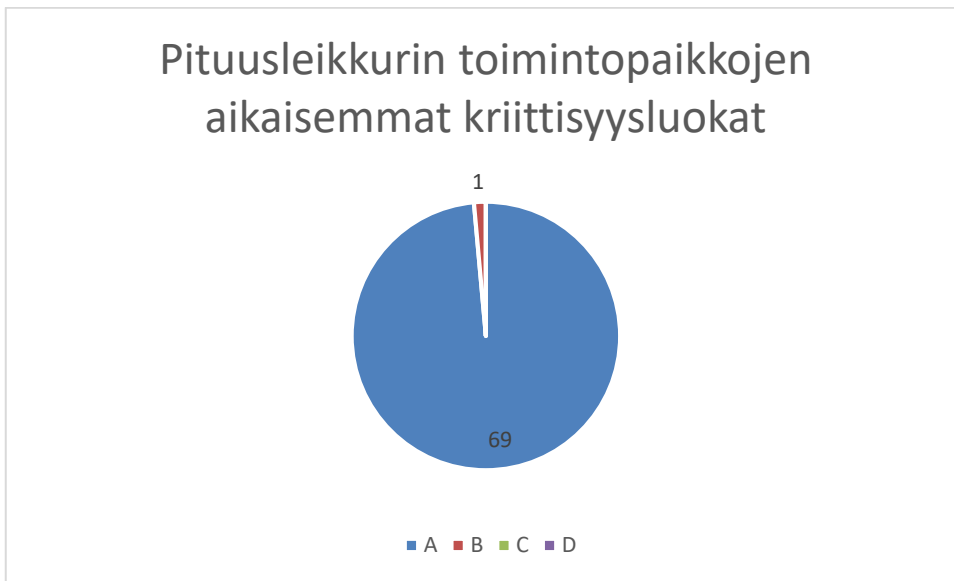
Kriittisyysluokkien tuloksena jokaiselle tarkasteltavalle toimintopaikalle määritettiin A-, B-, C- tai D-kriittisyysluokkaryhmä kohteen kriittisyyden mukaan. Kriittisyysluokittelusta on esitetty esimerkki liitteessä A. Kriittisyysluokittelussa tuotannon keskeytymiseen vaikuttava viiveajan arviointi oli varsinkin pituusleikkureille haastavaa. Laitteen vaurioituessa paperikoneen pysähtymiseen vaikuttaa muun muassa olemassa oleva vapaiden tampuureiden tilanne ja onko muut jälkipään laitteet toimintakunnossa. Viiveajan arvioinnissa päätettiin käyttää kriittistä tilannetta, jossa laitteen rikkoutuminen aiheuttaa hyvin nopeasti paperikoneen pysähtymisen.

6.2 Kriittisyysluokittelun tulokset

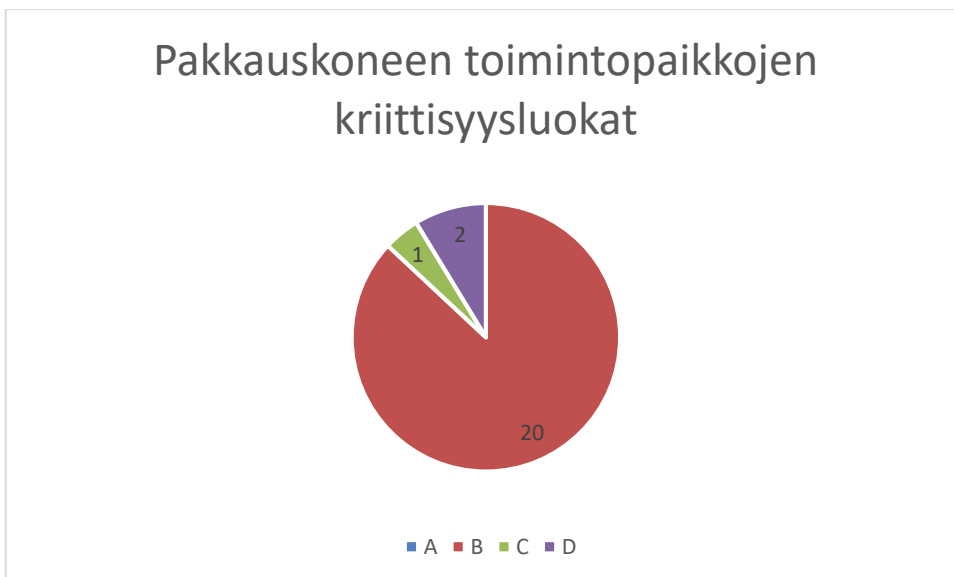
Kriittisyysanalyysi toteutettiin pituusleikkurilla yhteensä 70 toimintopaikalle, pakkauskoneella 23 toimintopaikalle ja vaunukuljettimella yhdelle toimintopaikalle. Vaunukuljetin arvioitiin A-kriittiseksi laitteeksi, mille oli aikaisemmin määritelty C-kriittisyysluokka. Pituusleikkurilla sekä pakkauskoneella uudet kriittisyysluokat jakaantuivat seuraavien kuvien 31 ja 33 mukaisesti ja aikaisemmin määritetyt kriittisyysluokat on esitetty kuvissa 32 ja 34.



Kuva 31. Pituusleikkurilla toimintopaikkojen kriittisyysluokat jakaantuivat kuvan mukaisesti



Kuva 32. Pituusleikkurille aikaisemmin määritetyt toimintopaikkojen kriittisyysluokat



Kuva 33. Pakkauskoneella toimintopaikkojen kriittisyysluokat jakaantuivat kuvan mukaisesti



Kuva 34. Pakkauskoneelle aikaisemmin määritetyt toimintopaikkojen kriittisyysluokat

Tuloksista voidaan havaita, että aikaisemmin lähes kaikki pituusleikkurin toimintopaikat olivat määritetty A-kriittisyysluokkaan. Nykyisen arvion mukaan A-kriittisyysluokan ehdot täyttivät kuitenkin vain viisi toimintopaikkaa. Lisäksi tulosten mukaan suurin osa toimintopaikoista kuuluivat kuitenkin B-kriittisyysluokkaan, joita oli yhteensä 55 kappaletta. C- ja D-kriittisyysluokan toimintopaikkoja oli yhteensä viisi kappaletta, joita ei aikaisemmassa kriittisyysluokittelussa esiintynyt ollenkaan. Pakkauskoneella nykyinen ja vanha kriittisyysluokittelu olivat hyvin vastaavanlaiset. Kummassakin reilusti suurin osa toimintopaikoista kuuluivat B-kriittisyysluokkaan ja loput kuuluivat alempiin kriittisyysluokkaryhmiin.

6.3 Vikavaikutusanalyysi

Vikavaikutusanalyysi suoritettiin toimintopaikkojen alla oleville laitteille ja tarkemmin laitteiden kriittisille komponenteille, sillä laitteiden komponenttien vioittumistavat aiheuttavat laitteen vikaantumisen. Tämä vaihe oli työn työllistävin vaihe ja aiheutti myös työssä huomattavia haasteita. Toimintopaikkoja oli käytetty suhteellisen vähän verrattuna laitteiden määrään, jolloin yhden toimintopaikan alla oli usein useita laitteita ja laitteet pitivät sisällään useita komponentteja. Laitteiden alta löytyvät komponenttiluettelot olivat kuitenkin usein puutteellisia ja osaluettelot eivät välttämättä sijainneet oikean toimintopaikan alla, jolloin osaluettelon etsiminen vaati työaikaa.

Vikavaikutusanalyysin tarkoituksena oli saada parempaa tietoa tapahtumien, vikojen ja vikojen aiheuttajien syy-seuraus-suhteista. Tavoitteena oli löytää kriittisille vikaantumismuodoille ehkäisevät kunnossapitotoimenpiteet- ja -strategiat, jotta laitteiden käytettävyyttä saadaan parannettua ja korjaavan kunnossapidon määrää pienennettyä.

Tehtaan kunnossapito-organisaation määrärahat ovat viime aikoina olleet pääsääntöisesti laskussa, jolloin pienentyvien resurssien ohjaaminen oikeisiin kohteisiin on entistä tärkeämpää. Uusilla toimenpiteillä saavutetut hyödyt tulee kuitenkin olla käytettyjä resursseja ja kustannuksia suuremmat, joten määritetyt toimenpiteet on arvioitava toteuttavuuden ja sopivuuden kannalta.

Tietojen määrittämisessä käytettiin kvalitatiivista lähestymistapaa eli asiat määritettiin sanallisesti. Jokaisessa kohdassa hyödynnettiin laitteiden vikatietohistoriaa ja laitteiden huoltokansioita. Vikatietohistoriasta pystyi helposti selvittämään ajankohdat, jolloin laitteille oli luotu ja toteutettu työtilaus sekä kussakin työtilauksissa käytetyt varaosat. Vikatietohistoria on kuitenkin puutteellista, eikä kaikkia tehtyjä kunnossapitotöitä ole merkitty tai ne on saatettu merkitä väärälle toimintopaikalle. Kaikkiin kunnossapitotyötilauksiin ei välttämättä ole merkitty kaikkia tehtyjä toimenpiteitä. Suuri ongelma oli myös, että nykyisin ennakkohuoltotyöt ovat yleisluontoisia konekierroksia, jotka on merkitty isoille toimintopaikoille ja ne eivät pidä sisällään tarkempien toimenpiteiden määrittelyä. Työtilauksista löytyy järjestelmän luomia tarkempia ennakkohuoltotöitä, mutta nämä eivät kuitenkaan ole käytössä. Huoltokirjoista pystyi selvittämään valmistajien antamat arviot useimmille kulutusosien vaihtoväleille, huoltoväleille tai tarkastusväleille. Valmistajan arviot ovat kuitenkin usein ylimitoitettuja, ja niiden täysimittainen toteuttaminen ei ole olemassa olevilla resursseilla mahdollista, koska tuotantolinjalla on monia muita kohteita, jotka vaativat myös kunnossapitotoimia. Valmistajien antamia arvioita voidaan pitää kuitenkin suuntaa antavina.

Vikavaikutusanalyysissä ensimmäisenä määritettiin laitteiden toiminnot. Kun laitteiden pää- ja aputoiminnot ovat tiedossa, niin voidaan määrittää erilaiset toiminnalliset vikaantumiset, mitkä estävät toimintojen toteutumisen. Mahdolliset vikamuodot etsittiin toimintopaikkojen laitteiden komponenteista, jotka vaikuttavat olennaisesti laitteen vaaditun toiminnon toteutumiseen. Tämän jälkeen vikamuodoille määritettiin tavat, joilla ne ilmenevät sekä syyt

vikaantumisten aiheutumiselle. Näiden perusteella määritettiin vikamuodolle ehkäisevät ja korjaavat toimenpiteet sekä keskimääräinen korjausaika ja vikaantumisväli. Määritetyt korjausajat ja vikaantumisvälit ovat arvioita, sillä toiminnanohjausjärjestelmästä saatava tieto ei ollut riittävää siihen, että voitaisiin tarkasti määrittää korjausaika ja vikaantumisväli. Kaikki vikamuodot eivät välttämättä esiinny tarkasteltavalla ajanjaksolla tai ne esiintyvät vain kerran, jolloin vikaväli joudutaan arvioimaan täysin. Myös kaikkia kunnossapitotoimenpiteitä ei ole kirjautunut järjestelmään tai ne ovat kohdistettu väärille toimintopaikoille. Vikavaikutusanalyysissä käytettiin valmista lomakepohjaa, johon tiedot kerättiin. Analyysissä käytetty esimerkkitapaus VVA-lomakkeesta on esitetty liitteessä B. Tulosten avulla määritetyt ehkäisevän kunnossapidon kehitysratkaisut on tarkoitus kirjata kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään toimintopaikoittain huolto-ohjelmien muodossa.

Toimintopaikan keskimääräiselle vikaantumisvälille voidaan laskea arvio määrittämällä tarkasteluajanjakso toimintopaikalle. Tarkasteluajanjakso jaetaan toimintopaikalle kohdistettujen kunnossapitotyötilausten määrällä. Edellisessä kappaleessa esitetyn takia tätä tapaa ei voida pitää kovinkaan luotettavana tuloksena, koska toiminnanohjausjärjestelmään merkittyjen kunnossapitotyötilausten voidaan olettaa olevan puutteellisia. Järjestelmästä löytyvät kunnossapitotyötilausten korjausajat ovat myös suuntaa antavia. Järjestelmä mittaa työtilaukselle kirjauduttua aikaa eli ennen työn aloittamista asentaja kirjaa itsensä kyseiselle työtehtävälle ja työn suoritettua hän kirjaa itsensä ulos työtilaukselta. Usein uloskirjaus on jäänyt tekemättä, jolloin uloskirjaus syntyy vasta, kun asentaja poistuu työpaikalta ja näin korjausajat saattavat näyttää järjestelmässä todellista suurempina.

6.4 Kunnossapito-ohjelman teko

Tämän työn päätavoitteena oli luoda kohde alueelle ennakkohuolto-ohjelma, joka perustuu toimintopaikkojen kriittisyysluokitteluun sekä eri laitteille tunnistettuihin vikaantumismekanismien ehkäisemiseen. Tarkasteltavat laitteet valittiin kriittisyysluokitteluun kappaleessa 5.4 määritettyjen kohtien mukaisesti. Näille laitteille suoritettiin kriittisyysanalyysi sekä erikseen vika- ja vaikutusanalyysiin. Analyysien tuloksena saatiin laitteille uusi huolto-ohjelma, joka on esitetty toimintopaikoittain seuraavissa luvuissa. Aikaisemmin määräaikaistarkastukset olivat vain yleisluontoisia konekierroksia, joiden huoltosuunnitelmien lisätiedot puuttuivat kokonaan tai ne olivat

kuvattu hyvin lyhyesti. Näiden töiden suorittaminen perustuikin pitkälti asentajien ammattitaitoon ja kokemuksiin. Yksi selkeä kehityskohde olikin määräaikaistöiden tarkempi vaiheistaminen, jolloin työsuunnittelija ja käyttöhenkilöstö pystyvät jatkossa sopimaan riittävän ajan määräaikaistarkastuksiin. Näin kierros ehditään suorittamaan täydellisesti ja tärkeimmät vikamuodot tulee huomioitua. Määrittämällä tarkasti määräaikaistarkastuksiin tarvittavat resurssitarpeet voidaan arvioida suunnitellun kunnossapitoimenpiteiden kustannukset ja verrata niitä yllättävän vikaantumisen aiheuttamiin kustannuksiin. Jos suunnitellun kunnossapitoimenpiteiden kustannukset ovat pienemmät kuin yllättävän vikaantumisen aiheuttamat kustannukset, on määräaikaistarkastusten käyttö perusteltua. Toinen selkeä kehityskohde oli käyttäjäkunnossapidon roolin kasvattaminen kunnossapidon tarkastustöissä etenkin pituusleikkureilla. Pituusleikkurit sisältävät paljon säännöllistä tarkastusta vaativia kohteita, joiden toimintakunnon tarkastaminen onnistuu hyvin laitteen käyttäjäkunnossapidolta.

Vikavaikutusanalyysissa määritetyt ehkäisevät toimenpiteet jakaantuivat määräaikaistarkastuksiin, käyttäjien jatkuvaan seurantaan, voiteluihin ja kunnonvalvontaan. Aikaisemmista määräaikaistöistä puuttui toimenpiteiden tarkempi vaiheistaminen. Uusissa määräaikaistarkastuksissa on pyritty vaiheistamaan toimenpiteet tarkemmin, jolloin työsuunnittelija ja käyttöhenkilöstö pystyvät jatkossa sopimaan riittävän ajan määräaikaistarkastuksiin. Määräaikaistyöt on muodostettu laitteittain, jossa jokaiselle laitteelle on muodostettu omat kokonaisuudet määräaikaistöille. Tavoitteena ennakkohuollon toimenpiteillä on ehkäistä toiminnallisten vikaantumisien syntymiset sekä havaitsemaan potentiaaliset vikaantumiset riittävän ajoissa. Määräaikaistarkastuksia tai huoltoja ei kuitenkaan haluta suorittaa liian usein, koska liian raskas ennakkohuoltosuunnitelma kuluttaa tarpeettomasti kunnossapidon resursseja. Täytyy myös huomioida, että tuotantolinjalla on paljon muita laitteita, jotka vaativat myös huolto- ja korjaustoimenpiteitä. Käyttäjätarkastuksiin on kuitenkin lisätty kohteet, jotka vaativat jatkuvaa tarkastelua.

7 TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tarkasteltavan alueen tutkimustyöntuloksia. Tulokset on jaettu kahteen kokonaisuuteen: kriittisten laitteiden tunnistamiseen ja kunnossapitostrategian tarkasteluun sekä sen kehitysehdotuksiin.

7.1 Kriittisten laitteiden tunnistaminen

Kriittisyysluokitteluun valittiin laitteet sen mukaan, kuinka paljon ne olivat aiheuttaneet suunnittelemattomia kunnossapitoseisokkeja, kunnossapitotyötilauksia, kokonaiskustannuksia ja asentajien työtunteja. Näiden kohtien avulla pyrittiin tunnistamaan alueen kriittiset laitteet, mitkä vaikuttivat eniten tuotantolinjan kokonaistoimintaan, kunnossapitokustannuksiin sekä laitteisiin, jotka työllistivät asentajia eniten.

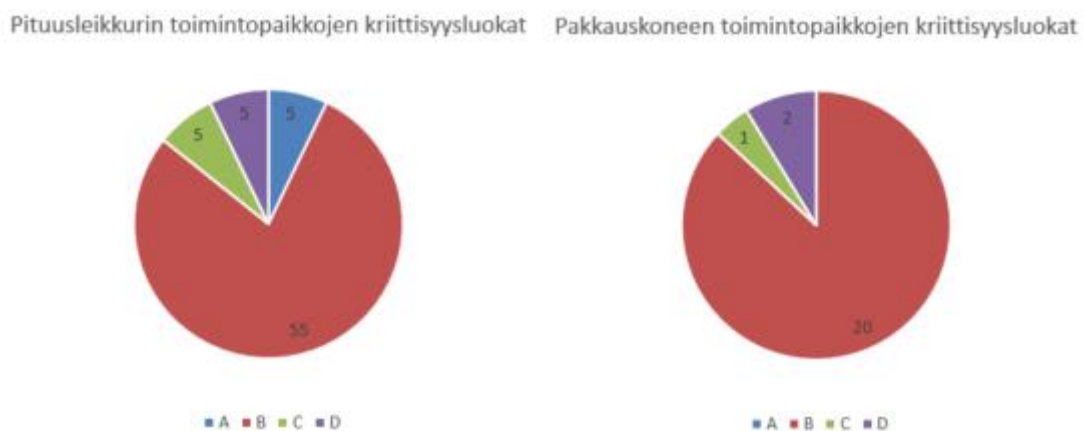
Tuotantolinjan toimintavarmuuden parantaminen oli yksi tutkimuksen keskeisistä tavoitteista. Toimintavarmuutta tarkasteltiin kunnossapidollisista syistä aiheutuneiden suunnittelemattomien seisokkien lukumäärien ja kestoajojen mukaan. Jälkipään laitteiden suunnittelemattomien kunnossapitoseisokkien lukumäärät ja kestoajat selvitettiin GMES-tuotannonohjausjärjestelmästä ja näille haettiin tarkennuksia DIARY-päiväkirjaan tehdyistä merkinnöistä.

Toinen tutkimuksen keskeisistä tavoitteista oli kunnossapitokustannusten hallitseminen. Kunnossapitokustannuksia tarkasteltiin laitteille toteutuneiden kustannusten mukaan, mikä piti sisällään varaosista, asentajien työtunneista ja alihankinnoista aiheutuneet kokonaiskustannukset. Lisäksi selvitettiin erikseen laitekohtaiset kunnossapitoasentajien käytetyt työtunnit, jotta pystyttiin arvioimaan mitkä laitteet työllistivät eniten kunnossapitoasentajia. Kaikki edellä mainitut selvitettiin helposti SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä. SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä selvitettiin myös laitekohtaisesti toteutuneet kunnossapitotyötilauksien lukumäärät. Työtilauksien tarkastelulla pyrittiin havainnollistamaan laitteiden vikaantumisherkkyyttä, jolla on vaikutusta laitteen käytettävyyteen.

Tarkempaan kriittisyysluokittelun sekä vika- ja vaikutusanalyysin tarkasteluun valittiin rullapakkaus, pituusleikkuri ja vaunukuljetin. Rullapakkaus oli aiheuttanut eniten suunnittelemattomia kunnossapitoseisokkeja. Pituusleikkuri työllisti eniten asentajia, sille oli kohdistunut paljon toteutuneita kunnossapidon työtilauksia sekä sille oli kohdistunut suuri osa jälkipään laitteiden kokonaiskustannuksista. Vaunukuljettimella oli muihin kuljettimiin nähden paljon toteutuneita työtilauksia, kunnossapidon kustannuksia ja asentajien työtunteja.

Kriittisyysluokittelu toteutettiin UPM:n omalla kriittisyysluokittelutyökalulla ja sitä oli tekemässä tuotantoalueen tuotanto- ja kunnossapitohenkilöstö. Toimintopaikoille määriteltiin kriittisyysluokka todennäköisen vakavan vian mukaan, jossa huomioitiin korjausaika, viiveaika paperikoneen pysähtymiseen, laatu- ja katemenetysvaikutukset, turvallisuusvaikutus, ympäristövaikutus, kunnossapitokustannukset ja vikaantumisväli. Toimintopaikat jaettiin neljään eri A-, B-, C- ja D-kriittisyysluokkaan toimintopaikan kriittisyyden perusteella. Toimintopaikan alapuolella olevat laitteet perivät toimintopaikalle määrätyn kriittisyysluokan.

Vaunukuljetin piti sisällään vain yhden toimintopaikan ja se määriteltiin A-kriittisyysluokkaryhmään. Pituusleikkurin ja pakkauskoneen toimintopaikat jakaantuivat kuvan 35 mukaisesti. Molemmilla laitteilla B-kriittisyysluokkaryhmän kriteerit täyttivät suurin osa toimintopaikoista.



Kuva 35. Pituusleikkurin ja pakkauskoneen toimintopaikkojen kriittisyysluokat

Kriittisyysluokittelussa viiveajan määrittäminen paperikoneen pysähtymiseen osoittautui haasteelliseksi, sillä vikaantumisen sattuessa pysähtymiseen vaikuttaa monet asiat. Kriittisyysluokittelun viiveajassa päätettiin käyttää kriittistä tilannetta, jossa paperikone pysähtyy melko nopeasti laiterikkojen tapahduttua. Kokonaisuudessaan kriittisyysluokittelu osoittautui nopeaksi tavaksi luokitella suuriakin määriä toimintopaikkoja, kun alustavat vikatyyppit on määritelty toimintopaikoille ennakkoon. Kriittisyysluokittelussa saadut tulokset vastasivat suurimmalta osalta työryhmän näkemyksiä.

7.2 Kunnossapitostrategian arviointi ja kehitysehdotukset

Huolto-ohjelma päivitettiin vika- ja vaikutusanalyysin perusteella. Tuloksena saatiin pituusleikkurille, pakkauskoneelle ja vaunukuljettimelle yhteensä 21 kappaletta kunnossapitoasentajien suoritettavia määräaikaistöitä. Lisäksi pituusleikkurille luotiin käyttöhenkilöstön suoritettavia käyttäjätarkastuksia sekä voitelijoiden suoritettavia voitelutöitä. Pakkauskoneelle ja vaunukuljettimelle luotiin ainoastaan määräaikaistöitä. Määräaikaistyöt koostuvat pääasiassa haastavammista tarkastustöistä ja ne suoritetaan pääasiassa vain kerran vuodessa. Käyttäjätarkastuksia pyrittiin kokoamaan kohteita, joiden kunto vaatii säännöllisiä tarkastuksia ja joita myös käyttöhenkilöstö pystyy suorittamaan. Voitelutöitä luotiin yhteensä 10 kappaletta, jotka ovat ehdotuksia olemassa oleviin voitelureitteihin. Kaikki työt on pyritty jakamaan toimintopaikkojen mukaan, jolloin saman toimintopaikan tehtävät tulevat kerralla suoritettua. Määräaikais- ja voitelutöissä on pyritty määrittämään jokaisen toimenpiteen ajalliset kestot ja asentajien lukumäärät. Kaikki työt koostuvat ajallisesti eri mittaisista kokonaisuuksista, mutta kaikkien määritettyjen töiden kokonaisuudet kestävät korkeintaan yhden työpäivän eli kahdeksan tuntia. Toimenpiteiden ajallista kestoa on tarkoitus tarkentaa, kun töiden suorittamisesta saadaan kokemuksia. Käyttäjätarkastuksissa jätettiin tarkoituksella merkitsemättä toimenpiteiden kestot, sillä niitä on tarkoitus suorittaa säännöllisesti aina sopivan tilaisuuden tullen. Olemassa olevia voitelureittejä ei lähdetty päivittämään, mutta työssä esitetyt voitelureitit ovat kehitysehdotuksina nykyisille voitelureiteille.

Pituusleikkurin kokonaistoiminta jaettiin osakokonaisuuksiksi sen päätoimintojen mukaan, joille määräaikaistyöt, käyttäjätarkastukset ja voitelutyöt määritettiin. Pituusleikkurin päätoimintoja katsottiin olevan aukirullaus, päänvienti ja kiinnirullaus. Päätoiminnot pitävät sisällään useampia määräaikaistöitä, käyttäjätarkastuksia ja voitelutöitä, mitkä on jaettu

päätoimintojen tarkempien osa-alueiden mukaan. Päätoimintojen lisäksi konerullien siirtokiskoille luotiin omat määräaikaistarkastustyö, käyttäjätarkastustyö ja voitelutyöt. Kokonaisuudessaan pituusleikkurille luotiin yhteensä yhdeksän määräaikaistyötä, kolmetoista käyttäjätarkastustyötä ja yksitoista voitelutyötä. Kuvassa 36 on esitetty esimerkki aukirullaimelle luoduista määräaikaistöistä. Määräaikaistöitä tehtiin aukirullaimelle yhteensä neljä kappaletta. Jokaisessa määräaikaistyössä on kerrottu tarkempi työkohde, vaatiiko työ seisokin, kuinka usein työ tehdään, työvaiheen, työvaiheen kuvauksen, tarvittavien työntekijöiden lukumäärän ja arvioidun työnkestoajan.

Määräaikaistyö 1	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
Aukirullaimen käyttö	1	Turvaerotus	2	0,5
Vaatii seisokin	2	Levyjarrujen tarkastus: 1. Jarrujen yleinen kunto 2. Vuodot 3. Jarrun keskisyys jarrukiekon suhteen 4. Kiinnitykset 5. Kitkapinnan paksuus ja ettei kitkapinta ole lasittunut	2	2
Tehdään 1 vuoden välein	3	Tampuuri kytkimen puhdistus ja hampaiden tarkastus	2	1
	4	Tarkista pukkien korko (pukit samalla tasolla)	2	2,0
	5	Moottorin puhdistus	2	0,5
	6	Vaihteen visuaalinen tarkastus: 1. Öljyvuodot 2. Kuori 3. Laakerit ja hammaspyörät tarvittaessa	2	1
	7	Kiinnitysten tarkastus	2	0,5
	8	Turvaerotuksen purkaminen	2	0,5
		Kesto yhteensä		8,0
Määräaikaistyö 2	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
Aukirullauspukit	1	Turvaerotus	2	1
Vaatii seisokin	2	Linjaus	3	6
Tehdään 1 kerran 5 vuodessa	3	Turvaerotuksen purkaminen	2	1
		Kesto yhteensä		8
Määräaikaistyö 3	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
Saumauslaite	1	Turvaerotus	2	0,5
Vaatii seisokin	2	Ketjujen ja ketjupyörän tarkastus. Ketjujen voitelu	2	2
Tehdään 1 vuoden välein	3	Sivukanava puhaltimen ilmansuodattimen tarkastus	2	0,5
	4	Imutelan nivellaakerien tarkastus	2	1
	4	Laakeroinnin tarkastus tarvittaessa	2	1
	5	Johdekiskon tarkastus	2	1
	6	Turvaerotuksen purkaminen	2	0,5
		Kesto yhteensä		6,5
Määräaikaistyö 4	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
Esileikkausosa ja terälaitteet	1	Turvaerotus	2	0,5
Vaatii seisokin	2	Siirtoruuvien hammashihnan tarkastus	2	0,5
	3	Rainan lukitusrullien ja kumirullien tarkastus. HUOM! Lukitusrullien tulee asettua tasaisesti koko vaipan pituudeltaan keskitelää vasten	2	1
Tehdään 1 vuoden välein	4	Tarkista esileikkausosan suorakaidejohteen (siirtotanko) suoruuus ja puhdistu	2	1
	5	Tarkista nivelakselin ja telansiirtotunkkien väliset kiinnityslaiipojen kiinnitysruuvit	2	1
	6	Turvaerotuksen purkaminen	2	0,5
		Kesto yhteensä		4,5

Kuva 36. Määräaikaistyöt aukirullaosalle

Aukirullaimelle tehtiin myös kolme käyttäjätarkastusta ja voitelutyötä, mitkä ovat esitetty kuvissa 37 ja 38. Käyttäjätarkastuksissa on määritetty tarkempi kohde, työn suoritusjaksotus,

työvaihe ja vaiheen kuvaus. Voitelutöissä on kerrottu tarkemmat työkohteet, vaatiiko toiminta seisokin, suoritussykli, työvaihe, työvaiheen kuvaus, työntekijöiden lukumäärä ja työvaiheen kesto.

Käyttäjätarkastus 1	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto
Aukirullaus		1 Seuraa käytön vaihteen: Lämpötilaa Öljymäärää Mahdollista tärinää		
Säännöllisesti		2 Tarkista vaihteen läpi menevän hydraulisylinterin: Vuodot Liike		
		3 Tarkista koneen suuntaisen siirron hydraulisylinterin: Vuodot Liike		
		4 Tarkista aukirullauspukien kiskot: 1. Ei esiinny pursetta 2. Eivät ole väljät 3. Ei isoja kolhuja		
		5 Tarkista, että aukirullauspukin lukitusvivut liikkuvat samanaikaisesti		
Käyttäjätarkastus 2	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto
Saumaushite		1 Turvareotus		
Säännöllisesti		2 Saumauspään terien kunto		
		3 Tarkista saumauspään hammashihnan: Kireys ja kunto		
		4 Tarkista saumauspään hihnakiristimien kunto		
		5 Jos saumausliitos on huono tarkista: 1. saumauspään keskikappale kunto ja asento 2. ohjainpelti kunto ja asento 3. kärjen kunto ja asento 4. teipin kireys jousimittarilla, rullalta vedettäessä pitäisi purkautua 4 N voimalla 5. nivelmekanismien kirkkakytkimen kireys. Kireyden oltava suurempi kuin teippien yhteinen kireys		
		6 Rainan erottimien asennon, sekä paineilmasylinterien toiminnan ja vuotojen tarkastus.		
Käyttäjätarkastus 3	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto
Esileikkauksessa ja teräslaitteet		1 Tarkista Alaterä: 1. Yleinen kunto 2. Pyörii helposti käsin. 3. Laakereista ei johdu liiallista väljyystä 4. Ohjaislevyt eivät kosketa reunimaisia alateriä 5. Sähkökaapelit ja pneumaattikaletkut ovat hyvässä kunnossa		
Säännöllisesti		2 Tarkista yläterä: 1. Yleinen kunto 2. Laakerointi on kunnossa ja painettu kevyesti alas 3. Jos värähtelee löysää sylinterin kiinnitysmutteria 4. Tarkista navan aksiaaliliike		
		3 Tarkista teräslaitteiden paineilmasylinterien: Vuodot Liike		
		3 Puhdista teräslaitteiden moottorit		
		4 Tarkista terien siirtolaitteen: 1. Jarrut pitävät ja ettei jarrupalkeet vuoda 2. Liikettä ohjaavat johderullat ovat kunnossa		
		5 Puhdista terien paikannuksen magneettinauha (puhallus) viikottain ja pyyhi krt/kuukausi		
		6 Tarkista ettei reunanauhapellit työnnä rinaa leikkauspöydän kahden pötkätelan väliin		

Kuva 37. Säännöllisesti tehtävät käyttäjätarkastukset

Voitelutyö 1	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
Aukirullauspukit		1 Turvaerotus	1	0,5
Vaatii seisokin		2 Liukujohteiden rasvaus ja tarkastus (sivuttaissiirto ja koneen suuntainen)	1	2
Tehdään 1krt 2 vuodessa		3 Ruuvitunkin napaelementin rasvan vaihto	1	1
		4 Turvaerotuksen purkaminen	1	0,5
		Kesto yhteensä		4
Voitelutyö 2	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
Saumauslaite, rainanirro		1 Turvaerotus	2	0,5
Vaatii seisokin		2 Imutelan laakeripesien voitelu	1	2
1krt 2 vuodessa		3 Esileikkauksen siirtoruuvien voitelu	1	1
		4 Levitystelan nostokarojen voitelu	1	0,5
		5 Turvaerotuksen purkaminen	1	0,5
		Kesto yhteensä		4,5
Voitelutyö 3	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
Aukirullain, käyttö		1 Turvaerotus	1	0,5
Vaatii seisokin		2 Vaihteen öljyn vaihto	1	2
		Käytön kytkin: tarkastus puhdistus voitelurasvan vaihto	1	1,5
Tehdään 1kerran 3 vuodessa		4 Turvaerotuksen purkaminen	1	0,5
		Kesto yhteensä		4,5

Kuva 38. Voitelutyöt aukirullaosalle

Pakkauskone pitää sisällään monta pienempää toimintoa. Toimintojen mukaan pakkauskoneelle määritettiin yhteensä kaksitoista määräaikaistyötä. Omat määräaikaistyöt määritettiin tunnistin- ja mittausasemalle, keskitysasemalle, askelkuljettimelle, yläpuoliselle pysäyttimelle ja monirullapuristimelle, syöttöpöydälle, syöttökaseteille, syöttötelastoille, taittolaitteelle, sisä- ja ulkoheadmaticille sekä päätypuristimelle. Esimerkki pakkauskoneen määräaikaistyöstä on esitetty kuvassa 39.

Syöttötelasto 1, 2 ja 3				
Määräaikaistyö 16	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
1krt/vuodessa	1	Turvaverotus	2	0,5
	2	Syöttötelaston, syöttökasetin, aukirullaustelineen ja vetoakseliston ja painotelan vaihdemoottorit 1. Tarkista mahdollinen öljyvuoto: - Akselitiivisteestä - Moottorin laipasta - Vaihteen laipasta - Toisioakselin tiivisteestä 2. Tarkista mahdolliset vaihteen ja planeettavaihteen kuoren murtumiset 3. Tarkista ruuvien kireydet 5. Tarkista laakerointi tarvittaessa (rullaava tai jauhava ääni) 6. Tarkista hammaspyörät tarvittaessa (naputtava ääni)	2	2,5
	2	Uretaanitela ja painotelat 1. Tarkista uretaanitelan pinta 2. Tarkista uretaanitelan laakerointi 3. Tarkista painotelan laakerointi	2	1,5
	3	Tarkista paineilmasylinterien: 1. Liike 2. Vuodot 3. Kiinnikkeiden kunto	2	0,5
	7	Turvaverotuksen purkaminen	2	0,5
		Kokonaiskes		5,5

Kuva 39. Syöttötelaston määräaikaistyöt

Vaunukuljetin on jaettu vain yhteen toimintopaikkaan ja sille luotiin yksi muutaman viikon välein tehtävä ja yksi vuoden välein tehtävä määräaikaistyö. Nämä määräaikaistyöt on esitetty kuvassa 40. Vaunukuljettimelle suoritettiin jo ennestään viikoittain tehtävää määräaikaistyötä, mutta siitä puuttui tarkempi ohjeistus.

Määräaikaistyö	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
Määräaikaistyö 16 Purkausasema, lastausase 1krt/vuodessa	1	Turvaerotus	2	0,5
	2	Vaunukuljettimen, lastausaseman ja purkausaseman vaihdemoottori 1. Tarkista mahdollinen öljyvuoto: - Akselitiivisteestä - Moottorin laipasta - Vaihteen laipasta - Toisioakselin tiivisteestä 2. Tarkista mahdolliset vaihteen kuoren murtumiset 3. Tarkista ruuvien kireydet 5. Tarkista laakerointi tarvittaessa (rullaava tai jauhava ääni) 6. Tarkista hammaspyörät tarvittaessa (naputtava ääni)	2	1,5
		Käytön ketjujen: 1. Kireyden tarkastus		
	3	2. Kunnan tarkastus	2	1
	4	Lastausasema 1. Kehdon vipujen laakereiden tarkastus 2. Pysäyttimen laakereiden tarkastus 2. Vastaanottimien varsien tarkastus murtumilta 3. Paineilmasyntereiden liikkeiden ja vuotojen tarkastus	2	0,5
	5	Johteet 1. Lastausaseman johteiden tarkastus 2. Vaunukuljettimien johteiden tarkastus 3. Purkausaseman johteiden tarkastus	2	2
	6	Purkausaseman laakereiden tarkastus		0,5
	7	Kaarteiden uretaanipyörät tarkastus: 1. Pyörivät normaalisti 2. Uretaanipinta ei ole irronnut	2	1,5
	8 Turvaerotuksen purkaminen	2	0,5	
				8
Määräaikaistyö 16	Työvaihe	Vaihe	Lkm	Kesto
Määräaikaistyö 16 Vaunukuljetin 1krt / 2 viikko	1	Turvaerotus	2	0,5
	2	Kuljetinketju tarkastus: 1. Ketjun tapit ovat ehjät 3. Ketjun kireys	3	3
	3	Vaunujen ja väliwaunujen tarkastus: 1. Ketjukiinnikkeet eivät ole irronneet tai mutterit poikki 2. Ohjausrullat pyörivät normaalisti ja pintavaurioita ei esiinny 3. Kantopyörät pyörivät normaalisti 4. Turvavaijerit ja sen kiinnitykset ovat ehjiä	3	4
	8	Turvaerotuksen purkaminen	2	0,5
				8

Kuva 40. Vaunukuljettimen määräaikaistyöt

7.3 Huolto-ohjelman käyttöönotto ja kunnossapidon jatkuva kehittäminen

Luodut määräaikaistyöt, käyttäjätarkastukset ja voitelutyöt on tarkoitus kirjata SAP-toiminnanohjausjärjestelmään ja ottaa käyttöön vuoden 2020 aikana. Kaikki määräaikaistyöt vaativat laiteseisokin, joten käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön yhteistyö ja tiedonvaihto on tärkeää töiden suunnittelun suorittamisen kannalta. Työt on tarkoitus jakaa kalenterivuodelle tasaisesti, jotta tarkastustöiden kuormitus ei kasva kerralla liian suureksi, sillä tuotantolinja pitää sisällään useita muita laitteita, jotka työllistävät myös asentajia. Työssä käytetyt menetelmät kuvaavat ainoastaan laitteiden nykytilannetta, joten on tärkeää pitää kriittisyysluokittelujan tasalla. Huolto-ohjelmia tulee myös päivittää niistä saatujen kokemusten mukaan, kuten esimerkiksi työn kestoa, vaiheistuksia tai tarkastusten sisältöä.

Tutkimustyön aikana nousi esille, että laitteiden nimikeluettelot saattoivat olla hyvinkin puutteellisia tai osa nimikkeistä sijaitsi väärällä toimintopaikalla. Nimikeluettelon päivittäminen ajan tasalle helpottaa ja nopeuttaa sekä työnjohtajan, työnsuunnittelijan ja kunnossapitoasentajien työskentelyä. Lisäksi, kun aletaan suunnittelemaan nimikkeiden varastointitarpeita tarkemmin kriittisyyden mukaan, olisi nimikeluettelo oltava kunnossa.

Pituusleikkureiden toimintopaikkarakenne on luotu hyvin epäselväksi, mistä oli ajoittain haasteita löytää haluttu laite. Tämä on myös saattanut aiheuttaa sen, että pituusleikkureille määritetyt työtilaukset ovat paljon harvemmin kohdistettu tarkalle alatoimintopaikalle, kuin esimerkiksi pakkauskoneella. Vaunukuljettimella oli määritetty vain yksi toimintopaikka, jonka alapuolelle oli liitetty kaikki komponentit, jolloin oikean komponentin löytäminen ja valitseminen vaatii kokemus pohjaista tietoa.

Diplomityön yhteydessä tarkasteltiin kunnossapitotyötilauksia. Osaan kunnossapitotyötilauksiin oli kirjattu tiedot tehdyistä kunnossapitotoimenpiteistä, mutta suuressa osassa kirjaukset olivat jääneet tekemättä. Tietojen kirjaaminen helpottaa huomattavasti historiatietojen keräämistä ja käsittelyä. Tällä hetkellä työtilauksissa ei esiinny kirjauskohtaa, johon asentaja voisi käydä kirjaamassa tekemänsä toimenpiteet, vaan kirjaaminen jää työnjohtajan tai työnsuunnittelijan vastuulle.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Paperikone 8:n tuotantolinjan vaatima käyttövarmuus, riittävä tuotteen laatu, vanheneva laitekanta ja kunnossapitoressurssien pienentäminen ovat luoneet haasteita nykypäivän kunnossapidolle. Rajallisten kunnossapitoressurssien takia kunnossapidon onkin oltava tehokasta ja se on oltava kohdistettu järkevästi, jotta seurauksiltaan vakavampia vikaantumisia voidaan ehkäistä. Tämän vuoksi tarkasteltavan alueen laitteet valittiin niiden kunnossapidon aiheuttamien suunnittelemattomien seisokkien, korjauskustannusten, vikaantumisherkkyuden ja kunnossapitoasentajia työllistävän vaikutuksen perusteella. Työssä keskityttiin paperikoneen jälkeiseen alueeseen ja laitteiksi valikoitui pituusleikkurit, vaunukuljetin ja pakkauskone.

Valituille laitteille suoritettiin kriittisyysanalyysi UPM:n omalla kriittisyysluokittelutyökalulla, joka pohjautuu PSK-standardin mukaiseen kriittisyysluokitteluun. Tarkasteltavan alueen toimintopaikat jaettiin kriittisyysluokkiin. Kriittisyysluokat määräytyivät todennäköisimmän vakavan vian mukaan, johon vaikuttivat korjausaika, viiveaika paperikoneen pysähtymiseen, laatu- ja katemenetysvaikutukset, turvallisuusvaikutus, ympäristövaikutus, kunnossapitokustannukset sekä vikaantumisväli. Kriittisyysluokittelun avulla pystyttiin tunnistamaan kohdealueen selvästi kriittisimmät laitteet. Kriittisyysluokittelusta saadut tulokset kuvasivat melko hyvin työryhmän käsitystä. Kriittisyysluokittelun onnistumisen kannalta on tärkeä, että työryhmään osallistuu kunnossapito- ja käyttöhenkilöstöä. Lisäksi ennen kriittisyysluokittelupalaveria ryhmän vetäjän on syytä suorittaa kattava tiedonkeruu.

Kriittisyysluokittelun jälkeen toimintopaikkojen laitteille suoritettiin vikavaikutusanalyysi. Vikavaikutusanalyysissä määritettiin laitteen toiminto. Toiminnon jälkeen määritettiin laitteen kriittiset komponentit, jotka saattavat aiheuttaa toiminnon vikaantumisen. Komponentin määrittämisen jälkeen määritettiin mahdolliset vian ilmentymistavat, vikamuodot ja vian syyt. Näiden perusteella pyrittiin määrittämään mahdolliset ehkäisevät ja korjaavat toimenpiteet. Lopuksi jokaiselle kohdalle arvioitiin keskimääräiset korjausajat, seisokkiajat ja vikaantumisvälit.

Tuotantolinjalla on käytössä tarkastustöinä yleisluontoiset konekierrokset. Konekierroksissa ei kuitenkaan ole vaiheistettu tarkemmin toimenpiteitä, joten ne perustuivat kunnossapitoasentajien kokemuspohjaiseen suorittamiseen tai työnjohtajan erikseen määrittämään tarkastukseen, jolloin niiden avulla ei pystytä toteuttamaan säännönmukaista tarkastustyötä. Kriittisyysanalyysin ja vikavaikutusanalyysin avulla määritettiin uudet huolto-ohjelmat kohdealueelle. Ohjelma pitää sisällään yhteensä:

- Määräaikaistarkastustyötä 21 kpl
- Käyttäjätarkastustöitä 12 kpl
- Voitelutöitä 10 kpl

Alustavan arvion mukaan uusien määräaikaistöiden suorittamiseen kuluu vuositasolla enemmän työtunteja, kuin aikaisemmin konekierroksiin on käytetty työtunteja, mutta päivitetty määräaikaistarkastukset ovat tarkemmin määriteltyjä ja siten myös tehokkaampia vikamuotojen ehkäisemiseksi. Lisäksi uusien määräaikaistarkastuksien avulla oletetaan laitteiden käyttövarmuuksien parantuvan ja vähentävän korjaavaa kunnossapitoa, jolloin kunnossapidon kokonaistyömäärä ja kustannukset pienenevät. Kun uusista määritetyistä töistä saadaan käytännön kokemuksia, voidaan niiden sisältöä optimoida. Tällä hetkellä määräaikaistyöt ovat pääosin vuoden välein suoritettavia tarkastustöitä.

Pituusleikkurilla on paljon säännöllisesti tarkastettavia osia ja sen käyttöolosuhteita pyrittiin parantaa TPM-menetelmän mukaisesti, jossa vastuuta laitteiden kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta haluttiin ohjata käyttökunnossapidolle. Määritetyt käyttäjätarkastustyöt koostuvat pääosin yksinkertaisesti tarkastus- ja puhdistustöistä. Käyttäjätarkastustöitä luotiin yhteensä 12 kappaletta, joita on tarkoitus suorittaa säännöllisen väliajoin. Voitelureitteihin ei määritetty muutoksia. Määritettyjen voitelutöiden avulla voidaan mahdollisesti kuitenkin kehittää olemassa olevaa voitelureittiä.

Vaunukuljettimelle määritettiin kaksi määräaikaistyötä, joista toinen suoritetaan noin kahden viikon välein ja toinen vuoden välein. Vaunukuljetin on hyvin vaurioaltis, jonka jatkuva toimiminen on tuotantolinjan kannalta tärkeää, joten se soveltui hyvin työn tarkasteltavaksi kohteeksi.

Pakkauskoneen vikaantuminen aiheuttaa hyvin nopeasti koko tuotantolinjan pysähtymisen. Pakkauskone koostui kuitenkin mekaanisesta näkökulmasta hyvin pitkäikäisistä ja helposti vaihdettavista komponenteista ja vaikka se oli aiheuttanut paljon suunnittelemattomia kunnossapitoseisokkeja, ne olivat johtuneet pääosin automaatiokunnossapidon vioista. Edellä mainitun takia pakkauskoneen ei katsota tarvitsevan yhtä paljon seurantaa mekaanisen kunnossapidon osalta, kuin pituusleikkuri ja vaunukuljetin.

Tutkimuksessa tarkasteltava alue oli hyvin laaja, joten vikavaikutusanalyysissa suoritettu vikamuotojen tarkastelu jäi yleisluontoiselle tasolle. Puuttuvat nimikkeet ja kunnossapitotyötilauksista puuttuvat merkinnät tehdyistä toimenpiteistä vaikeuttivat työn tekemistä ja heikensivät luotettavien tulosten saantia. Työssä käytetty RCM-menetelmä on kuitenkin selkeä toimintamalli kunnossapidon kehittämiseksi, ja menetelmä voi olla hyödyllinen etenkin paperikoneen kunnossapitoa kehittäessä, sillä siinä on huomattavasti enemmän kriittisiä komponentteja.

Tutkimuksessa kehitettyä kunnossapito-ohjelmaa ei ole vielä otettu käyttöön, joten sen vaikutuksia käytettävyyteen, suorituskykyyn ja kunnossapidonkustannuksiin ei voida vielä todentaa. Kun otetaan käyttöön kunnossapito-ohjelma, jota voi jatkuvasti arvioida ja päivittää, voidaan varmistaa, että kunnossapidon toimintaa voidaan jatkuvasti kehittää.

LÄHDELUETTELO

ABB, 2000, Teknisiä tietoja ja -taulukoita käsikirja [verkkodokumentti]. 9. painos. Kappale: Kunnonvalvonta ja huolto. Viitattu: 15.12.2018. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf

Al-Najjar, B., Alsayouf, I., 2004. Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: A case study. *European Journal of Operational Research* 157, s. 643-657

Al-Turki, U. M., Ayar, T., Yilbas, B. S. & Sahin, A. Z. 2014. *Integrated Maintenance Planning in Manufacturing Systems*. Lontoo: Springer Science+Business Media. 76 s.

Biolini, A. 2010. *Reliability engineering, Theory and practice*. German: Springer. 495 s.

Blanc, P., Demongodin, I. & Castagna, P. 2008. A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21, iss. 3, s. 330.

Duffuaa, S.O. & Raouf, A. *Planning and control of maintenance systems*. 2. edition. 2015. Springer International Publishing Switzerland. 348 s.

Fedele, L. 2011. *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*. Lontoo: Springer-Verlag London Limited. 479 s.

Grondys, K., Kadlubek, M. & Starostka-Patyk, M. 2014. The Management of the Inventories of Facturing Equipment Spare Parts in Polish Industrial Enterprises, Conference publication, *Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, s. 195–200.

Ibrahim, A. 2010. What organizations should know about enterprise resource planning. *European, Mediterranean & Middle Eastern Conference on Information Systems*, s. 1-10

Järviö, J. 2000. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito. 4. painos. Helsinki: KP-Media Oy. s. 192

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen T. & Åström T. 2007. Kunnossapito. 4. painos. Helsinki: KP-Media Oy. s. 283

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito - tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. painos. Helsinki: KP-Media Oy. s. 292

Knowpap. 2015. Paperitekniiikan oppimisympäristö. Versio 13.0. Päivitetty 1/2015. [Viitattu 05.03.2019]. Prowledge Oy, Helsinki. Saatavissa: <http://www.knowpap.com/suomi/index.htm>. Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjätunnuksen.

Laine, Hannu S. 2010. Tehokas kunnossapito - tuottavuutta käynnissäpidolla. KP-Media Oy. Kerava: Savion Kirjapaino Oy. 275 s.

Lapinleimu, Ilkka., Kauppinen, Veijo. & Torvinen, Seppo. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY. 398 s.

Manzini, R., Regattieri, A., Hoang, P. & Ferrari, E. 2010. Maintenance for Industrial Systems. Lontoo: Springer-Verlag London Limited. 479 s

Metsäteollisuutta pitkällä perinteellä 2015. [UPM:n www-sivuilla]. [Viitattu 20.12.2018]. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoameista/medialle/artikkelit/artikkelit/2015/09/upm---metsateollisuutta-pitkalla-perinteella/>

Mikkonen, Henry et al. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-Media Oy. Kerava: Savion Kirjapaino Oy. 606 s.

Mobley, R. K., 2002. Plant Engineering: Introduction to Predictive Maintenance (2nd Edition). Butterworth-Heinemann, 451 s.

Nakajima, S, 1989. TPM development program- implementing total productive maintenance. Cambridge, USA, Productivity press, 410 s.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK Standardointiyhdistys ry. 30 s. Vahvistettu 15.8.2011.

PSK 6800. 2011. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. 2. painos. PSK Standardointiyhdistys ry. 13 s. Vahvistettu 14.11.2018.

PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. painos. PSK Standardointiyhdistys ry. 32 s. Vahvistettu 16.09.2010.

PSK 9101. 2018. Käyttövarmuuden hallinta. Kerättävän tapahtumahistorian vähimmäiskentät. PSK Standardointiyhdistys ry. 30 s. Vahvistettu 24.4.2018.

Robson, K., MacIntyre, J. & Trimble, R. 2013b. Towards a Simpler Selection Process for Maintenance Strategies. International Journal of Business and Management. Vol 8, No. 6, s. 105-114.

The SAMI pyramid. 2019. [SAMI Corporatio [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [Viitattu 20.12.2018]. Saatavissa: <https://samicorp.com/the-sami-pyramid/>

SFS-IEC 5438. 1998. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 12 s. Vahvistettu 21.03.1998

SFS-IEC 60300-3-9. 2004. Luotettavuusjohtaminen: Teknisten järjestelmien riskianalyysi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 47 s. Vahvistettu: 30.06.2000

Tietoa Meistä. 2018. [UPM:n www-sivuilla]. [Viitattu 20.12.2018]. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/>

UPM. 2012. Kunnossapitostrategia. UPM:n sisäinen esitys – ei julkinen

Esimerkki otos kriittisyysluokittelusta

Tomionpaikka	Vikaryöpy [vapaa teksti]	Korjausaika	Vivosaika (PK:n pysähtymiset)	Laatu- Käsitelmäsuojakuv	Turvallisuusvaikutus	Turvallisuusvaikutus	Ympäristövaikutus	Kunnossapitokustannus	Vikaväli (MTBF)	Kriittisyysindeksi	Uusi kriittisyysluokka
PÄÄNVENTILATTEET	pääventiloinnin rikoukseen	8 - 24h	0 - 5 h	Ale 1000 €	Epätodennäköinen	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	10 000 - 20 000 €	0,5 - 2 vuotta	25,2	A
LIUKKU, POHJEN PYÖRÖTYS	syntymä	2 - 8h	Ei vaikutusta	Ale 1000 €	Epätodennäköinen	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	1000 - 10 000 €	Yli 10 vuotta	1	D

Esimerkki otos vikavaikutusanalyysistä

Liite tai osa	Toiminto	Komponentti	Vian ilmeneminen	Vikamuoto	Vian syy	Enkäsevätkötoimenpiteet	Korjaavatoimenpiteet	MTR	MOT	MTR	MOT
KYMS-54 9151 5201	Rullan pyöriminen ja pysähdys										
Aukkuilajin käyttö		Joustokytkin 10003103	Kytkimessä välilyttä	Kuluminen	Määräaikastrastikasutus: puhdistus;						
Aukkuilajin käyttö		Joustokytkin 10003103	Tärinä	skiläinen ylikuuma, voitelun puute	tarkastus	voitelu	Kytkimen tai joustolementtien vaihto	2	2	5	10
Aukkuilajin käyttö		Lieriövalvide 10018231	Laakernauro	Kuluminen	Voiteluaine / ikaantuminen	Voitelu/kunnonvalvonta	Laakerin vaihto	16	16	6	10
Aukkuilajin käyttö		Lieriövalvide 10018231	Öljy vuoto akselilla	Käilyminen	Kuluminen	Määräaikastrastikasutus	Akseliivivasteen vaihto	6	6	16	15
Aukkuilajin käyttö		Lieriövalvide 10018231	Hammastavuro	Kuluminen	Voiteluaine / ikaantuminen	Kunnonvalvonta	Hammastavuron vaihto	16	16	16	15
Aukkuilajin käyttö		Lieriövalvide 10018231	Kuoren murtuminen	Murtuminen	Aktiivinen ylikuuma / tärinä	RTF	Vaiheen vaihto	20	16	20	30
Aukkuilajin käyttö		Moottori 10005321	Laakeritika	Kuluminen	Voiteluaine / ikaantuminen	Kunnonvalvonta	Moottorin vaihto	8	8	8	10
Aukkuilajin käyttö		Moottori 10005321	Tärinä	Murtuminen	Peti murtunut ja moottori ositt. kumonvalvonta		Pedin korjaus	16	16	16	20
Aukkuilajin käyttö		Hammastavuroin VAL0090683	Kytin aukkiee tai murtuminen kytimessä	Urtallinen välis	Hampaat kuluneet	Määräaikastrastikasutus/puhdistus	Kytimen vaihto	12	12	8	10
Aukkuilajin käyttö		Hammastavuroin VAL0090683	Kytin aukkiee tai tärinä	Linjauvirhe	Linjau muuttunut vaihte nja	Määräaikastrastikasutus	Linjau	8	8	8	10
Aukkuilajin käyttö		Sylinteri 10880923	Vuotaa öljyä tai kytin ei	Tivisteavauro/kulumine	ikaantuminen	Vuotolen seuranta (käyttäjän)	Sylinterin vaihto	8	8	8	8
Aukkuilajin käyttö		Sylinteri 10880923	Takeritee	Kuluminen	ikaantuminen	Kunnonvalvonta	Sylinterin vaihto	8	8	8	8
Aukkuilajin käyttö		Levyjarru	Tambuuri ei pysähdy	Jarrupalojen kuluminen	Jarrupalat tustuneet, öljynty	Määräaikastrastikasutus	Jarrupalojen vaihto	4	4	4	2
Aukkuilajin käyttö		Levyjarru	Jarrupalat eivät puristu, tambuuri ei pysähdy	Tivisteavauro, linjavuoto tai hydraulipaine väärä	ikaantuminen / väärä puristus	Määräaikastrastikasutus	Jarrujen vaihto tai puistuspaineen säätö	4	4	4	2