



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**MIKKO SUUTAMA**  
**HIERTÄMÖN LAITTEIDEN KÄYTTÖVARMUUDEN JA KUNNOS-**  
**SAPIDON ARVIOINTI JA KEHITTÄMINEN**

Diplomityö

Tarkastaja ja aihe hyväksytty Teknis-  
ten tieteiden tiedekunnan kokouk-  
sessa 9. syyskuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

**MIKKO SUUTAMA:** Hiertämön laitteiden käyttövarmuuden ja kunnossapidon arviointi ja kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 122 sivua, 6 liitesivua

Marraskuu 2015

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Käyttöttekniikka, turvallisuustekniikka

Tarkastaja: professori Seppo Virtanen

Avainsanat: kunnossapito, kunnossapitostrategia, käyttövarmuus, käytettävyys, luotettavuuskeskeinen kunnossapito, RCM

Teollisuuden tuotantolaitteiden kunnossapidolla on merkittävä vaikutus yrityksen liiketoiminnan kannattavuuteen ja kilpailukykyyn. Tehokkaalla kunnossapidolla voidaan säästää tuotantojärjestelmän hyvä käyttövarmuus ja suorituskyky, jolloin on mahdollista hallita energia-, raaka-aine- ja työvoimakustannuksia. Kunnossapito on yrityksille kuitenkin merkittävä menoerä, jolloin kunnossapitoresurssit on kohdistettava ja mitoitettava tehokkaasti.

Tämän diplomityön tavoitteena on arvioida ja kehittää paperitehtaan hiertämön kunnossapitoresurssien käyttöä ja parantaa kunnossapidon suunnitelmallisuutta. Kunnossapidon rajalliset resurssit, käyttövarmuusvaatimukset ja vanheneva laitekanta ovat luoneet alueen kunnossapidolle haasteita, ja erityisesti yllättävistä vikaantumista aiheutuvaa korjaaavaa kunnossapitoa ja siitä aiheutuvia kustannuksia halutaan vähentää.

Kunnossapito tulee kohdistaa kohteisiin, joiden toiminnalla on suurin vaikutus koko järjestelmältä vaadittavaan toimintoon. Hierteenvalmistusprosessista luotiin käyttövarmuusmalli, jonka avulla tärkeimmät laitteet pyrittiin tunnistamaan. Käyttövarmuusmallin rakentamiseen käytettiin luotettavuuslohkokaavio- ja vikapuumenetelmää, joiden pohjalta mallia analysoitiin kvalitatiivisesti. Järjestelmän laitteita tarkasteltiin myös yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatavien kunnossapitotietojen ja –kustannusten perusteella. Tarkasteltavan alueen laitteet jaettiin kriittisyysluokkiin, jotka kuvaavat kohteiden tärkeyttä järjestelmän käytettävyyden, laaduntuottokyvyn, turvallisuustekijöiden sekä kunnossapidon kannalta.

Tärkeimmille kohteille suoritettiin vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi, jonka tarkoituksena on tunnistaa kohteiden seurauksiltaan vakavimmat vikamuodot. Kohteiden kunnossapito- ja huolto-ohjelmaa arvioitiin ja kehitettiin tärkeimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi ja havaitsemiseksi. Työn tuloksena hiertämön alueen laitteille luotiin huolto-ohjelma, jonka avulla kunnossapidon resurssit voidaan kohdistaa ensisijaisesti järjestelmän tärkeimmille osille ja vakavimmat vikamuodot pystytään havaitsemaan ajoissa. Diplomityössä käytettiin luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (*RCM*) toimintamallia, joka loi selkeän pohjan työn eri vaiheille ja toteutukselle.

## ABSTRACT

**MIKKO SUUTAMA:** Assessment and development of reliability and maintenance in thermo-mechanical pulp production plant

Master of Science Thesis, 122 pages, 6 Appendix pages

November 2015

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Machine Operation, Occupational Safety Engineering

Examiner: Professor Seppo Virtanen

**Keywords:** maintenance, maintenance strategy, dependability, availability, reliability-centered maintenance, RCM

Effective maintenance of production equipment is an essential part of profitable business and has a significant role in company's competitiveness. High level of performance and dependability of a production system can be achieved by optimized maintenance actions, and thus production costs can be effectively controlled. However, industrial maintenance demands a significant amount of resources, and maintenance actions should be well planned, effective and optimally allocated.

Aim of this study is to assess maintenance plan of a thermo-mechanical pulp production unit and find ways to optimize plant maintenance. Limited maintenance resources, aging production equipment and requirements for high availability and quality of the production have proved to be a challenge for plant's maintenance and operation. There is a clear need to reduce equipment breakdowns and the amount of unplanned corrective maintenance.

To achieve availability requirements and cost-effectiveness, maintenance resources should be directed to the most important sections of the production system. To identify these items, reliability model of the production process was constructed and analyzed. Maintenance data (such as maintenance costs and work orders) were gathered using ERP-system. Production equipment were also divided to classes that represent items' significance for the system, considering production availability, quality, costs and safety factors.

Most important items were further analyzed with a failure mode, effects and criticality analysis (*FMECA*). Objective of the analysis was to identify the most significant failure modes. Considering especially these failure modes, plant's current maintenance plan, strategy and allocation of maintenance resources were assessed and developed. Result of this study was an improved maintenance plan, in which the maintenance resources and actions are allocated and defined cost-effectively. Framework of the reliability-centered maintenance concept (*RCM*) formed the base structure of the study.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty UPM-Kymmene Oyj:n Kaipolan tuotantolaitoksella.

On tullut aika kiittää tämän diplomityön mahdollistaneita henkilöitä ja tahoja. Suuri kiitos kuuluu UPM Jokilaakson Tehdaspalvelun ja Kuidun tuotantoyksikön väelle, joiden ansiosta työn sisältö ja aihepiiri muodostuivat äärimmäisen kiinnostavaksi ja riittävän haasteelliseksi. Diplomityöprojekti olikin erittäin antoisa ja opettava kokemus.

Erityiskiitokset työn ohjauksesta, tuesta ja neuvoista kuuluvat työn ohjaajalle kehityspäällikkö Harri Latvaselle ja työn tarkastajalle professori Seppo Virtaselle. Aktiivisesta ja sitoutuneesta osallistumisesta työn eri vaiheisiin haluan kiittää Kuidun väkeä; Petri Ruusua, Jouni Mehtoa ja Panu Mäkelää. Kiitos kuuluu myös osaavalle kunnossapitotimille: Lauri Peltolalle, Ari Siukolalle, Reijo Hellgrenille, Risto Rämäselle ja koko Jänkälän väelle, sekä muille työssä minua auttaneille ja neuvoneille henkilöille.

Kotijoukkojen rooli opintojeni ja diplomityön tukemisessa on ollut myös tärkeä, ja haluankin siten vielä kiittää Riina-Kaisa Ruokolaa ja Anneli Suutamaa sekä lähimpiä ystäviäni kaikesta saamastani tuesta.

Tampereella 24.11.2015

Mikko Suutama

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen rakenne .....	2
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus .....	2
1.3	Tutkimuksen vaiheet, menetelmät ja työkalut.....	3
2.	KUNNOSSAPITO JA KÄYTTÖVARMUUS .....	5
2.1	Kunnossapidon merkitys ja kehitys teollisuudessa .....	5
2.2	Kunnossapidon kustannukset .....	7
2.3	Käyttövarmuus .....	9
2.3.1	Toimintavarmuus .....	10
2.3.2	Kunnossapidettävyyys .....	10
2.3.3	Kunnossapitovarmuus .....	11
2.3.4	Käytettävyyden laskenta .....	11
2.3.5	Laitteen tai osaprosessin käytettävyyden vaikutus prosessin käytettävyyteen.....	14
2.4	Käytettävyyys prosessin kokonaistehokkuuden tekijänä .....	15
2.5	Käyttövarmuus ja kunnossapito taloudellisina tekijöinä.....	16
2.6	Riskien arviointi .....	18
2.7	Vikaantumisen .....	20
2.7.1	Vikaantumismallit .....	23
2.7.2	Vikaantumisen estäminen .....	25
2.8	Kunnossapitostrategiat ja kunnossapidon tavoitteet .....	26
2.8.1	Korjaava kunnossapito .....	27
2.8.2	Ennakoiva kunnossapito .....	28
2.8.3	Ennustava kunnossapito .....	29
2.8.4	TPM – Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito .....	30
2.8.5	RCM – Luotettavuuskeskeinen kunnossapito.....	33
2.8.6	Muita kehysmalleja; Asset Management ja Business Centered Maintenance .....	38
2.9	Kunnossapitostrategian luonti .....	40
3.	ANALYYSIMENETELMÄT .....	42
3.1	Käyttövarmuusmalli .....	43
3.1.1	Luotettavuuslohkokaavio .....	44
3.1.2	Vikapuuanalyysi.....	46
3.1.3	Minimikatkosjoukot ja tärkeysmitat .....	48
3.2	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi VVKA .....	50
3.3	Kunnossapidon tunnuslukujen tarkastelu.....	51
3.4	Monitavoitteinen päätösanalyysi ja kriittisyyden arviointi työkaluna .....	52
3.4.1	Kriittisyysluokittelu, UPM:n malli .....	53
3.5	Kunnossapidon suunnittelu analyysien tulosten pohjalta.....	55

4.	HIERTÄMÖN TOIMINNALLINEN KUVAUS JA KUNNOSSAPIDON NYKYTILANNE.....	56
4.1	Toiminnallinen kuvaus ja alueen rajaus .....	56
4.1.1	Hakkeen kuljetus hiertämöille .....	57
4.1.2	Hakkeen käsittely.....	58
4.1.3	Jauhatus .....	58
4.1.4	Lajittelu .....	59
4.1.5	Rejektin käsittely, jauhatus ja lajittelu .....	60
4.1.6	Saostus .....	60
4.1.7	Valkaisu ja kemikaalien käyttö .....	61
4.1.8	Prosessinohjausjärjestelmä ja automaatio .....	61
4.1.9	Kiertovesi- ja lämmöntalteenottojärjestelmä .....	62
4.2	Hierteen valmistuskustannukset.....	62
4.3	Kunnossapito-organisaatio ja resurssit.....	64
4.3.1	Kunnossapidon nykyinen toimintamalli ja strategia .....	65
4.3.2	Kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmä.....	66
4.3.3	Kunnossapidon mittarit .....	67
4.3.4	Hiertämön alueen kunnossapidon haasteet .....	68
5.	KRIITTISTEN LAITTEIDEN TUNNISTAMINEN.....	69
5.1	Luotettavuusmallin ja vikapuun konstruointi.....	69
5.1.1	Hiertämön prosessin luotettavuuslohkokaavio .....	70
5.1.2	Vikapuun analysointi .....	73
5.2	Työtilausten ja vikojen määrä toimintapaikoittain.....	76
5.3	Kunnossapitokustannusten tarkastelu .....	78
5.3.1	Hakekentän kustannukset.....	81
5.3.2	Hakkeen käsittelyn kustannukset .....	82
5.3.3	Esilämmityksen ja jauhatuksen kustannukset .....	82
5.3.4	Lajittelun ja saostuksen kustannukset .....	83
5.3.5	Automaatiolaitteiden kustannukset .....	83
5.3.6	Muut kunnossapitokustannukset .....	83
5.4	Kriittisyysluokittelu.....	84
5.5	Tulokset.....	85
5.5.1	Hakkeen tuonti ja käsittely.....	85
5.5.2	Jauhatus ja latenssitornit .....	87
5.5.3	Lajittelu, rejektin jauhatus ja saostimet.....	88
5.5.4	Muut toiminnot sekä laiteryhvät .....	88
5.5.5	Yhteenvedo .....	89
6.	KUNNOSSAPITOSTRATEGIAN VALINTA .....	91
6.1	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi.....	92
6.1.1	Analyysin rajaus ja toimintojen määrittäminen.....	92
6.1.2	Vikamuotojen ja vikalogiikan selvittäminen .....	93
6.1.3	Vikamuotojen kriittisyyden määrittäminen .....	94

6.2	Nykyiset kunnossapitotoimenpiteet ja käyttöolosuhteet.....	97
6.2.1	Huoltosuunnitelmat.....	97
6.2.2	Tarkastukset ja jaksotettu huolto.....	99
6.3	Kunnossapitostrategian ja toimenpiteiden valinta.....	100
7.	TULOKSET.....	103
7.1	Kohdealueen kriittisten laitteiden tunnistaminen.....	103
7.2	Kunnossapitostrategian arviointi ja kehitysehdotukset.....	104
7.2.1	Haketornien purkaimet.....	104
7.2.2	Elevaattorit.....	105
7.2.3	Hakkeen siirto- ja jakoruuvit.....	106
7.2.4	Lokerosyöttimet.....	107
7.2.5	Jauhimet syöttöruuveineen.....	107
7.2.6	Ruuvisaostimet ja –puristimet sekä kiekkosastimet.....	108
7.2.7	Pumput ja sähkömoottorit.....	109
7.2.8	MAP-kuituanalyssaattori ja muut prosessimittaukset.....	110
7.2.9	Kunnonvalvonnan ja voiteluhuollon reittityöt.....	111
7.3	Huolto-ohjelman luonti ja käyttöönotto sekä kunnossapidon jatkuva parantaminen.....	112
8.	YHTEENVETO.....	114
	LÄHTEET.....	118

LIITE A: VIKA-, VAIKUTUS- JA KRIITTISYYSANALYYSILOMAKE

LIITE B: KRIITTISYYSLUOKITTELUTAULUKKO

LIITE C: KUNNONVALVONTAREITTIIEN PÄIVITYS

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

TMP	engl. <i>Thermo-mechanical pulp</i> , kuumahierre. Viittaa tässä työssä yleisesti hiertämöön
RCM	engl. <i>Reliability-centered maintenance</i> , luotettavuuskeskeinen kunnossapito
TPM	engl. <i>Total productive maintenance</i> , kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito
KNL, OEE	engl. <i>Overall equipment effectiveness</i> . Tuotantolinjan tai -laitteen kokonaistehokkuutta kuvaava mittaustapa
VVKA	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi
MTBF	engl. <i>Mean time between failures</i> . Vikaantumisten välinen keskimääräinen aika
MTTR	engl. <i>Mean time to repair</i> . Korjaukseen kuluva keskimääräinen aika
MTTF	engl. <i>Mean time to failure</i> . Korjauksen jälkeen seuraavaan vikaantumiseen kuluva keskimääräinen aika
P-F	engl. <i>Potential failure – functional failure</i> . Vikaantumisen alkamisesta toiminnalliseen vikaantumiseen kuluva aika
RTF	engl. <i>Run-to-failure</i> . Kunnossapidon malli, jossa laitetta käytetään vikaantumiseen asti
$A$	käytettävyys
$\bar{A}$	epäkäytettävyys
$I^B$	Birnbaumin tärkeysmita
$I^{RRW}$	riskin vähennys
$I^{RAW}$	riskin nousu
$I^{CR}$	kriittisyystärkeys



# 1. JOHDANTO

2000-luku on ollut Suomen ja koko Euroopan metsä- ja paperiteollisuudelle haasteellista aikaa. Liiketoiminnan kannattavuus on laskenut markkinatilanteen ja kustannustekijöiden vuoksi. Suomi on pystynyt aikaisemmin vastaamaan kilpailuun kasvattamalla paperikoneiden kokoa ja nopeutta, mutta enää tuottavuuden parantaminen tuotantoa lisäämällä ei ole mahdollista, koska paperin kysyntä on kääntynyt laskuun (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012). Paperin kysyntää ovat laskeneet erityisesti euroalueen taantuma ja lukulaitteiden, Internetin ja digitaalisen sisällön yleistyminen. Paperin kysynnän heikentymisen vuoksi markkinoilla on ylikapasiteettia, mikä on pakottanut metsä- ja paperiteollisuuden yritykset sopeuttamistoimiin ja kapasiteetin leikkauksiin.

Kilpailukyvyn parantamiseksi yritykset pyrkivät hallitsemaan tuotantotekijöiden, kuten energia- ja raaka-ainekustannusten sekä työn hinnan nousua. Tuotannon tulee olla tehokasta ja häviöiden pieniä, mikä tarkoittaa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkeaa käyttövarmuutta ja tehokkuutta. Tuotantolaitteiden käytettävyyden ja luotettavuuden parantaminen vaatii tehokasta kunnossapitoa, jonka avulla voidaan minimoida tuotannon keskeytyksistä ja heikentyneestä toiminnan tasosta aiheutuvat tappiot.

Paperiteollisuuden kannattavuushaasteet ja kapasiteetin leikkaukset ovat iskeneet myös Jokilaaksoon, sillä aikakauslehtipaperia valmistava Jämsänkosken paperikone PK5 ajettiin alas vuoden 2015 aikana. Tehtaiden vuotuinen tuotantokapasiteetti pieneni alasajon seurauksena yli 200 000 tonnia, ja se on tällä hetkellä 1 370 000 tonnia.

UPM:llä on Suomessa 27 tuotantolaitosta, joissa on henkilöstöä noin 8000. Jokilaakson tehtailla tarkoitetaan Jämsänkoskella ja Kaipolassa sijaitsevia tuotantolaitoksia. Näillä tehtailla on toiminnassa yhden paperikoneen alasajon jälkeen yhteensä 6 paperikonetta, henkilöstöä noin 850. Lisäksi molemmilla tehtailla on omat voimalaitokset, jotka tuottavat höyryä ja sähköä. Tehtaiden paperikoneet valmistavat painopaperia aikakausi- ja sanomalehtiin, sekä tarrapaperia pakkausteollisuuteen. Tärkeimpiä raaka-aineita ovat kuuksikuitupuu, sahaake ja kotikeräyspaperi (UPM Jokilaakso esittelymateriaali 2015).

UPM:n periaatteena ja visiona on, että kunnossapito, kunnossapidon suunnittelu ja johtaminen kuuluvat toiminnan ydinosaamiseen, joka halutaan säilyttää yrityksen hallinnassa. Kunnossapito ei kuitenkaan ole yrityksille ilmaista; se on kolmanneksi suurin kuluerä pääoma- ja raaka-ainekustannusten jälkeen (Järviö 2007). Kunnossapidon roolin kasvun myötä myös kunnossapitokustannukset ovat kasvaneet. Tällöin on tärkeää tehostaa kunnossapitoa ja optimoida ja kohdistaa kunnossapidon resurssit tuottavasti. Kunnossapitoa

ei nähdä enää ”pakollisena pahana”, sillä kunnossapidon suunnittelun avulla voidaan vaikuttaa merkittävästi laitteiden ja koko tuotantolinjan käytettävyyteen, mikä vaikuttaa koko yrityksen kannattavuuteen.

Diplomityön tutkimusympäristönä toimii Kaipolan tuotantoyksikön hiertämö, jossa valmistetaan kuumahierrettä raaka-aineeksi tehtaan kolmelle paperikoneelle, joiden yhteinen tuotantokapasiteetti on 750 000 tonnia vuodessa. Hierteen luotettava saatavuus ja tasainen, hyvä laatu ovat merkittävässä roolissa paperikoneiden laaduntuottokyvyn ja käytettävyyden suhteen. Häiriöt hierteen valmistuksessa saattavat aiheuttaa ajovaikeuksia paperikoneella, lopputuotteen laadun heikkenemisen tai pahimmassa tapauksessa paperikoneen tuotannon keskeytymisen. Hiertämön käyttövarmuuden, kokonaistehokkuuden sekä kunnossapidon suunnittelulla ja kustannustehokkuudella on siten vahva vaikutus koko tuotantoyksikön kannattavuudelle.

## **1.1 Tutkimuksen rakenne**

Diplomityön 1. luvussa käsitellään tiivistetysti tutkimustyön tavoitteet, tutkimusympäristön rajaus ja rakenne sekä tutkimuksessa käytettävät työkalut ja menetelmät. Työn teoreettinen tausta esitetään luvussa 2, jossa käsitellään yleisesti teollista kunnossapitoa, kunnossapitostrategioita sekä toimintamalleja kunnossapidon kehittämiseksi. Tämän lisäksi luvussa käsitellään käyttövarmuutta, käytettävyyden laskentaperiaatteita sekä vikaantumisen luonnetta. Tutkimuksessa käytettyjä analyysityökaluja ja niiden teoriapohjaa käsitellään luvussa 3.

Tarkasteltavaan alueen prosessi, toiminnot ja päälaitteet on esitetty luvussa 4, jossa käsitellään myös hiertämön kunnossapito-organisaatiota, kunnossapidon toimintamallia sekä kunnossapidon resursseja ja haasteita.

Luvuissa 5 ja 6 on esitetty työn keskeiset tulokset. Kohdealueen käyttövarmuuden ja kunnossapidon kannalta tärkeimpien laitteiden valintaa ja käytettyjä menetelmiä käsitellään luvussa 5. Tarkempi analyysi valituille kohteille on esitetty luvussa 6, jossa on käsitelty menetelmiä laitteiden vikamuotojen arvioimiseksi ja kunnossapitotoimenpiteiden valitsemiseksi, sekä arvioitu kohdealueen nykyisiä kunnossapitomenetelmiä analyysien tulosten valossa.

Tutkimuksen tulokset on käsitelty kootusti luvuissa 7 ja 8, joissa arvioidaan myös kohdealueen kunnossapidon kehittämistä tulevaisuudessa sekä diplomityön toteutusta.

## **1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus**

Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on löytää keinoja hiertämön kunnossapidon kustannustehokkuuden parantamiseen ja yllättävistä vikaantumisista johtuvan korjaavan

kunnossapidon määrän vähentäminen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että nykyiset kunnossapitoresurssit on kohdistettava oikein ja kunnossapitotoimenpiteiden on oltava tehokkaita. Tärkeänä tavoitteena nähdään myös prosessin käyttövarmuuden turvaaminen vähintäänkin nykyisellä tasolla, mikä nähdään haasteena laitteiston ikääntyessä ja tuotannon ja kunnossapidon resurssien vähentyessä. Käyttövarmuudella on myös olennainen merkitys hierteen valmistuksen kokonaistehokkuuden kannalta. Kun tuotanto ei häiriinny laiterikoista tai suoritus- ja laaduntuottokyvyn heikkenemisestä, säästetään myös valmistuskustannuksissa, sillä häviöt pienenevät ja prosessia voidaan ajaa optimoiduilla säädöillä.

Tutkimustyö rajattiin käsittämään hierteenvalmistuksen pääprosessin ja prosessilaitteiden käytettävyyden ja kunnossapidon tarkastelun. Hierteen valmistus on osa ”*Kuidun*” suunnitteluryhmän toimintoja, joihin kuuluvat myös puunkäsittelytoiminnot sekä raaka- ja jäteveden käsittelytoiminnot. Tarkasteltava alue määritettiin alkamaan hakkeenkuljetuslaitteista (haketornien purkaimet) ja päättymään valmiin hierteen varastointisäiliöihin (hierretornit). Alueen rajaus laitteineen on kuvattu tarkemmin luvussa 4.

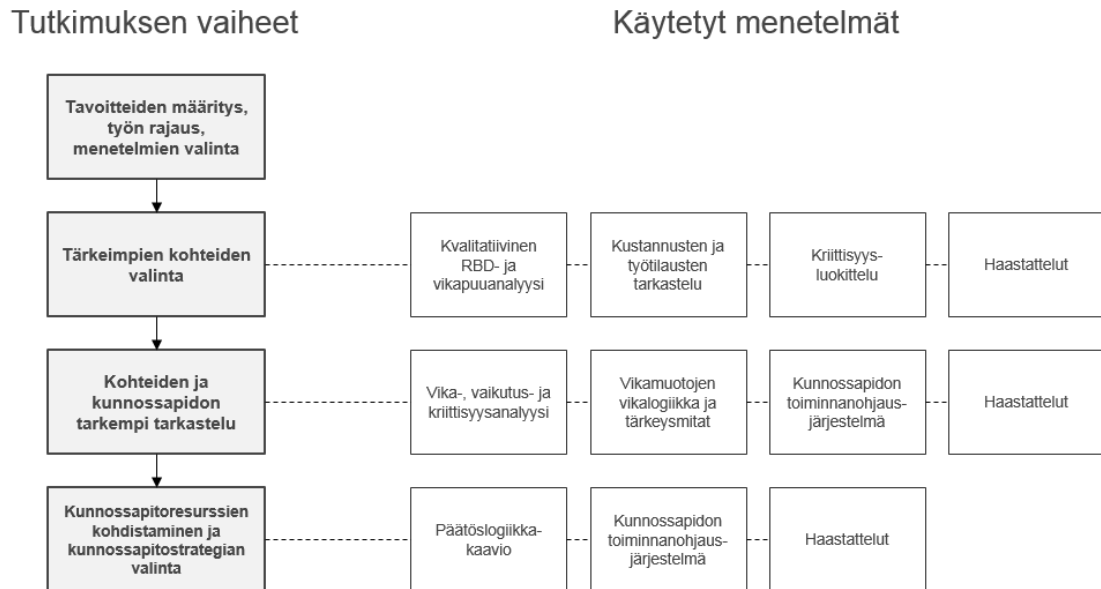
Hierteenvalmistusprosessin käyttövarmuuden tarkastelun tärkeimpänä tavoitteena on tunnistaa laitteet ja laiteryhvät, joilla on merkittävä vaikutus koko prosessin käytettävyyteen ja suorituskykyyn. Kohdistamalla kunnossapitoresurssit näihin kohteisiin voidaan varmistaa tärkeimpien kohteiden toiminnan taso ja laaduntuottokyky. Kunnossapidon kustannustehokkuustarkastelun tavoite onkin arvioida ja kehittää kunnossapitoresurssien kohdistamista kohteisiin, joissa kunnossapidon voidaan nähdä lisäävän tuottavuutta.

Kunnossapidon tarkastelemiseksi työssä arvioidaan myös lyhyesti käytössä olevia kunnossapidon mittareita. Tarkoituksena ei kuitenkaan ole tarkoitus luoda uusia tunnuslukuja, mutta mittareiden merkitys kunnossapidon kehittämiseksi halutaan pitää esillä. Varaosien varastoinnin tarkastelu rajattiin tutkimustyön ulkopuolelle, vaikka varaosien saatavuudella onkin olennainen merkitys käyttövarmuuteen kunnossapitovarmuuden osalta.

### **1.3 Tutkimuksen vaiheet, menetelmät ja työkalut**

Diplomityön rungoksi päätettiin valita yhdessä tehdaspalveluosaston kehityspäällikön sekä hiertämön tuotannon johdon kanssa luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (*RCM – Reliability Centered Maintenance*) mukainen kehysmalli. Vaikka menetelmä onkin enemmän luotettavuus- kuin kustannustehokkuuspainotteinen, sen sisältämät työvaiheet luovat selkeän pohjan tutkimustyölle. Koska hierteen ja paperin valmistuksen kannattavuutta halutaan parantaa, pyrittiin kustannusten tarkasteleminen ja kustannustehokkuuden kehittäminen pitämään tutkimustyössä esillä. Tämän vuoksi kunnossapidon kehittämistä haluttiin tarkastella myös kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapitokonseptin

(TPM – Total Productive Maintenance) oppien mukaisesti, joiden avulla pyritään vaikuttamaan tuotannon kokonaistehokkuuteen. Tutkimuksen rakenne sekä käytetyt menetelmät ja työkalut on esitetty kuvassa 1.1.



**Kuva 1.1: Tutkimustyön rakenne ja käytetyt menetelmät**

Koska hiertämön alue on laitteistomäärältään suuri, kartoitetaan diplomityön ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltavan alueen käytettävyyden ja kunnossapidon kannalta kriittisimmät laitteet, mihin myös RCM-menetelmä perustuu. Työn tavoitteet huomioiden erityistä huomiota laitteiden keskinäisessä arvioinnissa kiinnitetään laitteiden kunnossapitokustannuksiin sekä laitteiden merkitykseen prosessin toiminnan kannalta. Tarkasteltavasta prosessista luodaan käyttövarmuusmalli, jota kvalitatiivisesti analysoimalla pyritään tunnistamaan prosessin kokonaistoiminnon kannalta tärkeimmät kohteet.

Kun hiertämön käytettävyyden ja kunnossapidon kannalta merkittävimmät kohteet on selvitetty, voidaan näitä kohteita analysoida tarkemmin. RCM-toimintamallin mukaisesti kohteille suoritetaan vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi, jonka perusteella kohteiden kunnossapitoa arvioidaan ja kehitetään. Vikamuodot pyritään luokittelemaan niiden vaikutusten perusteella, jolloin kunnossapitotoimenpiteet voidaan kohdistaa seurauksiltaan vakavimpien vikamuotojen ehkäisemiseen.

Tutkimuksen viimeisenä vaiheena on lopulta arvioida kunnossapidon nykyistä toimintamallia saatujen tulosten valossa ja määrittää tarkasteltavien kohteiden kunnossapitostrategia ja huolto-ohjelma. Mahdolliset päivitykset ja uudet huolto-ohjelmat kirjataan toiminnanohjausjärjestelmään ja otetaan käyttöön.

## 2. KUNNOSSAPITO JA KÄYTTÖVARMUUS

Kunnossapidon voidaan yleisesti käsittää tarkoittavan jonkin asian (esimerkiksi laitteen, prosessin, rakennusten, tietokantojen, ympäristön) pitämistä toimintakuntoisina (Järviö 2007, s. 15). Teollisesta tai teollisuuden kunnossapidosta puhuttaessa kunnossapidon kohteena ovat tuotannossa tai sen aputoiminnoissa käytettävät koneet, laitteet ja järjestelmät (Komonen 2002, s. 15).

Standardi SFS-EN 13306 määrittää teollisuuden kunnossapidon käsittävän koneen tai laitteen kaikki elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, jotka ylläpitävät kohteen toimintakykyä tai palauttavat sen tilaan, jossa kohde pystyy suorittamaan siltä vaaditun toiminnon. Huoltojen ja korjausten lisäksi kunnossapito on siis myös johtamista, suunnittelua ja seurantaa, kuten kunnossapitostrategian valintaa ja noudattamista.

Kellyn (2006) mukaan kunnossapito on parhaalla tasolla, kun sen avulla saavutetaan haluttu tuotannon toiminnan taso, käytettävyys ja laatu (katso Salonen & Bengtsson 2011, s. 337). Kunnossapidon päämäärään voidaan myös Komosen (1998, s. 11) tapaan sisällyttää kustannusten minimointi, jolloin kunnossapidon tavoitteena on *korkea tuotantolaitteiden käytettävyys alhaisin kunnossapitokustannuksin*. Tällöin on myös järkevää käsitellä kunnossapidon roolia erityisesti näiden tekijöiden – käytettävyyden ja kustannusten – kannalta.

Käytettävyydestä ja käyttövarmuudesta puhutaan usein synonyymeinä, ja pienet erot suomen- ja englanninkielisessä kirjallisuudessa johtuvat osaksi sanojen käännettävyydestä. Yleisesti käyttövarmuus (*dependability*) kuvaa koneen tai järjestelmän luotettavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia, perustuen toimintavarmuuteen, kunnossapitovarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen. Käytettävyys (*availability*) on käyttövarmuuden kvantitatiivinen mittari. Se ilmoittaa todennäköisyyden, että kone tai järjestelmä tilassa, jossa se kykenee suorittamaan siltä vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa, olettaen että ulkoiset vaatimukset ovat saatavilla. Ulkoiset vaatimukset tarkoittavat esimerkiksi raaka-aineen tai käyttöenergian saatavuutta (SFS-IEC 50-191 1996; PSK 6201 2011). Käyttövarmuuden käsitteitä ja käytettävyyden laskentaa on käsitelty tarkemmin luvussa 2.3.

### 2.1 Kunnossapidon merkitys ja kehitys teollisuudessa

Kunnossapidon merkitys teollisuudessa on kasvanut huomattavasti muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana. Aikaisemmin kunnossapito on nähty teollisuudessa ”pakollisena

pahana”; kustannuksena, johon ei juurikaan voida itse vaikuttaa. Myöskään kunnossapidon ja tuotannon tehokkuuden ja laadun, kustannusten ja kokonaistuoton välillä ei ole nähty yhtäläisyyttä (Mobley 2002, s. 2; Kutucuoglu et al. 2001; s. 174; Salonen & Bengtsson 2011, s. 338).

Globaalit markkinat, kasvava kilpailu ja asiakkaiden tiukentuneet vaatimukset ovat kuitenkin luoneet yrityksille haasteita, ja ovat siten pakottaneet yritykset erottumaan kilpailijoistaan ja etsimään uusia keinoja toiminnan tehokkuuden parantamiseksi yrityksen jokaisella osa-alueella. Yrityksen osa-alueista etenkin kunnossapito on avainasemassa organisatoristen tavoitteiden, kuten laadun, tuotantomäärän ja luotettavuuden saavuttamisessa, minkä vuoksi myös kunnossapidon kehittäminen on ollut välttämätöntä (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 299; Al-Najjar 2007, s. 261; Mechefske & Wang 2003, s. 305). Yleinen suunta kunnossapidon kehityksessä onkin ollut selvä: reagoivasta, ainoastaan viikkojen ilmetessä toteutettavasta korjaavasta kunnossapidosta on siirrytty kohti proaktiivista kunnossapitoa, joka perustuu kunnonvalvontaan, tarkastuksiin ja huoltoväleihin (Swanson 2001, s. 237). Korjaava kunnossapito yksin ei usein esimerkiksi takaa tuotannon riittävää luotettavuutta ja nopeutta vastaamaan asiakkaiden vaatimuksista tiukentuneita toimitusaikoja (Järviö 2007, s. 12). Kunnossapidon kehitystä lähihistoriassa on kuvattu kuvassa 2.1.

Teollinen ympäristö	Yksinkertaiset työkalut	Koneellistuminen	Automatisaatio	Globalisaatio
Kunnossapitomenetelmät	”Korjataan sitten kun hajooa”, korjaava kunnossapito	Ennakoiva kunnossapito, työtilausten hallinta	Kuntoon perustuva kunnossapito, kunnonvalvonta, hallintajärjestelmät	Strategian optimointi, ulkoistaminen, informaatioteknologian kehittyminen
Vastuut	Kunnossapito koneen/työkalun käyttäjän vastuulla	Käyttö ja kunnossapito selkeästi erillään	Käytön ja kunnossapidon yhdistäminen	Kunnossapito ja käyttö tukevat toisiaan
Yleinen näkemys	”Pakollinen paha”	”Tekninen ongelma”	”Tuoton lisääjä”	”Kumppanuus”
	< 1950	1950-1975	1975-2000	2000 >

**Kuva 2.1: Kunnossapidon kehitys ja merkitys lähihistoriassa (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 301, muokattu)**

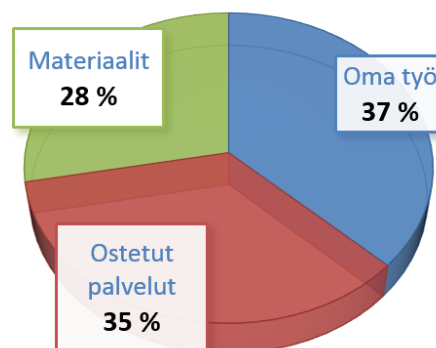
Kilpailukyvyyn takaamiseksi vaaditaan myös entistä enemmän kehittyneempää tekniikkaa ja kasvavaa automaatiotasoa (Aalto 1997, s. 19). Samalla uuden ja monimutkaisemman tekniikan hankintakustannukset ovat nousseet merkittävästi, minkä vuoksi kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi on kannattavampaa pyrkiä pitämään hankitut investoinnit käyttökelpoisina, luotettavina ja tehokkaina mahdollisimman pitkään, kuin hankkia hajonneen tilalle uutta (Pariazar et al. 2008, s. 4321; Smith & Hinchcliffe 2003, s. 14; Aalto 1997, s. 20; Waeyenbergh & Pintelon 2009; s. 633).

Vaikka teollinen kunnossapito onkin kehittynyt paljon, se jää edelleen tuotannon johtamisen, suunnittelun ja tuotantojärjestelmien kehittämisen varjoon. Mahdollisia syitä tähän on monia; edellä mainittu historiaan pohjaava käsitys kunnossapidon roolista ainoastaan kustannuspaikkana, kunnossapidon ja yrityksen muiden toimintojen vaikeasti määritettävä suhde sekä vaikeasti mitattavissa oleva onnistuneen kunnossapidon tuoma lisäarvo ja hyöty (Mechefske & Wang 2003, s. 305). Kunnossapidon roolin ja vaikutuksen hahmottamisen haasteellisuudesta voidaan esittää esimerkki: laitteen yllättävä rikkoontuminen on helppo asettaa huonon kunnossapidon syyksi, mutta toisaalta on vaikeampi nähdä laitteen hyvän käyntiasteen ja laaduntuottokyvyn johtuvan onnistuneesta kunnossapidosta (Al-Najjar & Alsyouf 2004, s. 644).

## 2.2 Kunnossapidon kustannukset

Kunnossapidon kustannukset ovat teollisuudessa merkittävä osa toiminnan kokonaiskustannuksia. Kunnossapitokustannusten osuus tuotantokustannuksista vaihtelee yleensä välillä 15–40 %, mutta voi olla joillakin teollisuuden aloilla jopa 70 % (Moblely 2002, s. 1; Pariazar et al. 2008, s. 4321; McKone & Weiss 1998, s. 335). Yritysten liikevaihdosta kunnossapitokustannukset muodostavat Euroopan maissa keskimäärin noin 3-5 %, Suomessa tämä luku on 5,5 % (Pariazar et al. 2008, s. 4321; Komonen 2002, s. 15).

Kunnossapidon kustannukset luokitellaan usein suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin, toisaalta voidaan puhua myös välittömistä ja välillisistä kustannuksista (Al-Najjar & Alsyouf 2004, s. 643; Järviö 2007, s. 135). Suorat kustannukset muodostuvat kunnossapitoorganisaation palkoista, pääomakustannuksista, varaosien varastoinnista, alihankinnasta ja muista vastaavista helposti seurattavista kustannuksista. Kunnossapitoyhdistyksen suorittamassa tutkimuksessa (2007) selvitettiin suorien kunnossapitokustannusten jakautuminen Suomen teollisuudessa (katso Järviö 2007, s. 27). Kustannusten jakautuminen on esitetty kuvassa 2.2.



**Kuva 2.2: Kunnossapitokustannusten jakautuminen Suomen teollisuudessa (Järviö 2007, s. 27, muokattu)**

Epäsuoria, eli välillisiä kustannuksia ovat esimerkiksi huonosta laadusta, tuotannon keskeytyksistä ja hitaudesta, takuumaksuista ja asiakkaiden tyytymättömyydestä aiheutuvat kustannukset (Todinov 2006, s. 312; Järviö 2007, s. 136; Komonen 1998, s. 11). Epäsuorien ja suorien kustannusten suhdetta havainnollistava kirjallisuudessa usein käytetty jäävuorikuva on esitetty kuvassa 2.3:



*Kuva 2.3: Kunnossapitokustannusten jäävuori (Järviö 2000, kts Heikkilä 2008, s. 13)*

Välillisten kustannusten mittaaminen on hankalaa, sillä selkeitä mittareita niiden arvioimiseen ei ole, tai ne ovat vaikeakäyttöisiä. Usein keskitytäänkin ainoastaan suorien kustannusten seuraamiseen, vaikka niiden vaikutus kannattavuuteen onkin pieni. Tämä on osaltaan luonut käsityksen siitä, että kunnossapito nähdään vain kustannuspaikkana, eikä niinkään kehityskohtena, jolla voidaan vaikuttaa itse tuotannon tehokkuuteen tai laatuun (Al-Najjar & Alsyouf 2004, s. 643). Epäsuorat kustannukset ovat todellisuudessa välittömiä kustannuksia huomattavasti suuremmat, ja suurempiin kustannussäästöihin ja kannattavuuteen päästäänkin epäsuoriin kustannuksiin vaikuttamalla (Järviö 2007, s. 136).

Kunnossapitokustannuksia käsitellään kirjallisuudessa usein laitteen elinkaarikustannusten (LCC, *Life-cycle Cost*) näkökulmasta, jotka voidaan jakaa ja määritellä monella eri tavalla (Heikkilä 2008, s. 12). Tyypillisesti elinkaarikustannukset jaetaan kuitenkin investointi-, käyttö-, kunnossapito- ja epäkäytettävyysskustannuksiin (Järviö 2007, s. 138).

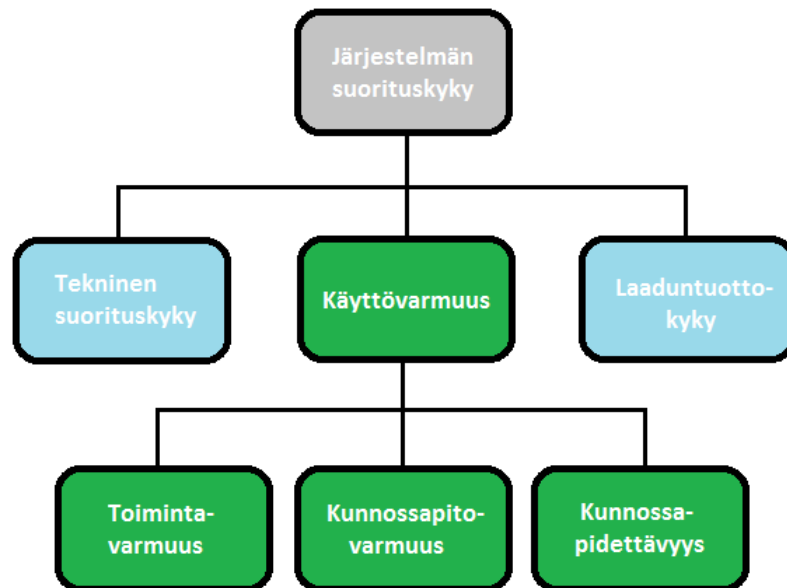


Elinkaarikustannustarkastelun hyödyt korostuvat etenkin uutta laitetta hankittaessa ja valittaessa, jolloin erilaisten laitteiden kokonaiskustannukset voidaan laskea, mikäli elinkaarikustannuksista on riittävästi tietoa.

Kuten edellä todettiin, valtaosa kunnossapidon kustannuksista syntyy epäsuorista kustannuksista, jotka ovat usein seurausta huonosta käytettävyydestä. Käytettävyyden parantamiseksi on panostettava kunnossapitoon, mikä vaatii suurempia kunnossapitoresursseja. Tällöin on löydettävä käytettävyyden ja kunnossapidon optimitaso, ja valittava tehokkaimmat kunnossapitostrategiat kunnossapitokustannusten optimoimiseksi. Aihetta on käsitelty tarkemmin luvussa 2.5.

## 2.3 Käyttövarmuus

Kun tarkastellaan jonkin järjestelmän suorituskykyä tai tehokkuutta, järjestelmän teknisen suorituskyvyn ja laaduntuotto-kyvyn ohella tehokkuuteen vaikuttaa järjestelmän käyttövarmuus. Näitä tekijöitä voidaan tutkia ja suunnitella analyyttisesti (Lyytikäinen 1987, s. 12). Tässä tutkimuksessa tarkoituksena on tarkastella järjestelmän tehokkuutta erityisesti käyttövarmuuden kannalta. Kuva 2.4 esittää käyttövarmuuden ja sen osa-alueiden vaikutuksen järjestelmän suorituskykyyn.



**Kuva 2.4: Järjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät**

Käyttövarmuuden muodostavat kolme eri osa-alueetta: toimintavarmuus, kunnossapitovarmuus ja kunnossapidettävyys (PSK 6201 2011; SFS-IEC 50-191 1996). Nämä käsitteet muodostavat yhdessä kohteen *luotettavuuden*. Luotettavuus on yleiskäsite, jolla kuvataan käyttövarmuutta ja siihen liittyviä tekijöitä (Kortelainen 1999, s. 4).

On järkevää jakaa käyttövarmuuskokonaisuus eri osa-alueisiin, sillä kokonaisuutta voidaan parantaa ainoastaan vaikuttamalla sen osiin. Jokaisen osa-alueen kehittäminen vaatii erilaisia menetelmiä ja välineitä. Käyttövarmuuden ja sen muodostamien osa-alueiden analysointi on tehokas työkalu kunnossapidon kehittämiseen, sillä sen avulla voidaan saada selville tärkeimmät toiminnot ja potentiaalisesti hyödyllisimmät kehityskohteet (Aalto 1997, s. 16).

### 2.3.1 Toimintavarmuus

Toimintavarmuus on kohteen kyky tai todennäköisyys suorittaa siltä vaadittu toiminto tiettyä ajanjaksona (PSK 6201 2011, s. 7). Toimintavarmuuteen vaikuttavat olennaisesti kohteen konstruktio ja tekniset ominaisuudet, sekä kohteen käyttöiän aikainen kuormitus ja käyttöolosuhteet. Kunnossapidon kannalta olennaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi vian etsinnän ja korjauksen helppous, sekä suorituskyvyn ylläpitäminen (Järviö 2007, s. 36; Kilpiö 2010, s. 5). Lyytikäisen (1996) mukaan laitteen hyvän toimintavarmuuden muodostavat mm. seuraavat ominaisuudet (katso Kortelainen 1999, s. 5):

- laite on suunniteltu oikeaan käyttöympäristöön ja -olosuhteisiin
- laitteen komponentit ovat luotettavia
- laite on yksinkertainen
- laitteen ennakkohuolto on hyvin suunniteltu ja toteutettu
- käyttäjä osaa käyttää laitetta oikealla tavalla

Toimintavarmuuden tärkeimpiä mittareita ovat keskimääräinen vikaantumisaika (*MTTF – Mean Time To Failure*) ja keskimääräinen vikaantumisväli (*MTBF – Mean Time Before Failure*) sekä vikataajuus ja vikojen lukumäärä tietyllä aikajaksolla (SFS-IEC 50-191 1996; Kortelainen 1999, s. 6).

### 2.3.2 Kunnossapidettävyyys

Kohteen kunnossapidettävyyden muodostavat kohteessa esiintyvien vikojen havaittavuus sekä kohteen huollettavuus ja korjattavuus. Kunnossapidettävyyys siis kuvaa kohteen ominaisuutta olla palautettavissa toimintakuntoon vikaantumisen ilmettyä (Järviö 2007, s. 37). Laitteen kunnossapidettävyyteen liittyviä tekijöitä ovat mm. (Kortelainen 1999, s. 6):

- laitteen luoksepäästävyys
- testaus ja diagnosointi
- korjauksen ja huollon vaatimat työkalut ja varaosat
- kalibroinnin tarve
- ennakoivan huollon tarve

Kunnossapidettävyyden mittareita ovat mm. korjausaika (*MRT – Mean Repair Time*), toipumisaika (*MTTR – Mean Time To Repair*) ja keskimääräiset kunnossapitotunnit (SFS-IEC 50-191 1996). Mittareina voidaan käyttää myös vian havaitsemisaikaa ja –viivettä, henkilöiden lukumäärää toimenpidettä kohden tai kunnossapidon työtuntien suhdetta käyttötunteihin (Kortelainen 1999, s. 6).

### 2.3.3 Kunnossapitovarmuus

Kunnossapitovarmuudella tarkoitetaan kunnossapito-organisaation kykyä palauttaa vioittunut laite toimintakuntoon, määrättyissä olosuhteissa ja vaaditulla ajanjaksona tai ajanhetkellä. Kunnossapitovarmuuden muodostavat kunnossapito-organisaation hallinto, henkilöstö- sekä materiaaliresurssit, käytössä olevat toimintaohjeet sekä –mallit (Järviö 2007, s. 38). Kunnossapitovarmuuteen parantavasti vaikuttavia tekijöitä ovat mm. (Kortelainen 1999, s. 6):

- asiantunteva ja koulutettu henkilöstö
- asianmukaiset välineet ja työtilat
- varaosien hyvä saatavuus
- ajan tasalla olevien dokumenttien saatavuus

Standardi SFS-IEC 50-191 määrittelee kunnossapitovarmuuden mittareiksi korjauksen odotusajan (*MWT – Mean Waiting Time*), hallinnollisen viiveen (*MAD*) ja logistisen viiveen (*MLD*). Myös varaosien puuteriski kuvaa kunnossapitovarmuutta (Kortelainen 1999, s. 6)

### 2.3.4 Käytettävyyden laskenta

Käytettävyys on käyttövarmuuden mittari, ja se ilmaisee minkä osan ajasta kohde on käytettävissä tarkasteltavalla ajanjaksolla. Käytettävyys  $A$  voidaan ilmaista toteutuneen ( $T_{op}$ ) ja suunnitellun ( $T_{pl}$ ) toiminta-ajan suhteena (Kortelainen 1999, s. 7; Lyytikäinen 1987, s. 62):

$$A = \frac{T_{op}}{T_{pl}} \quad (1)$$

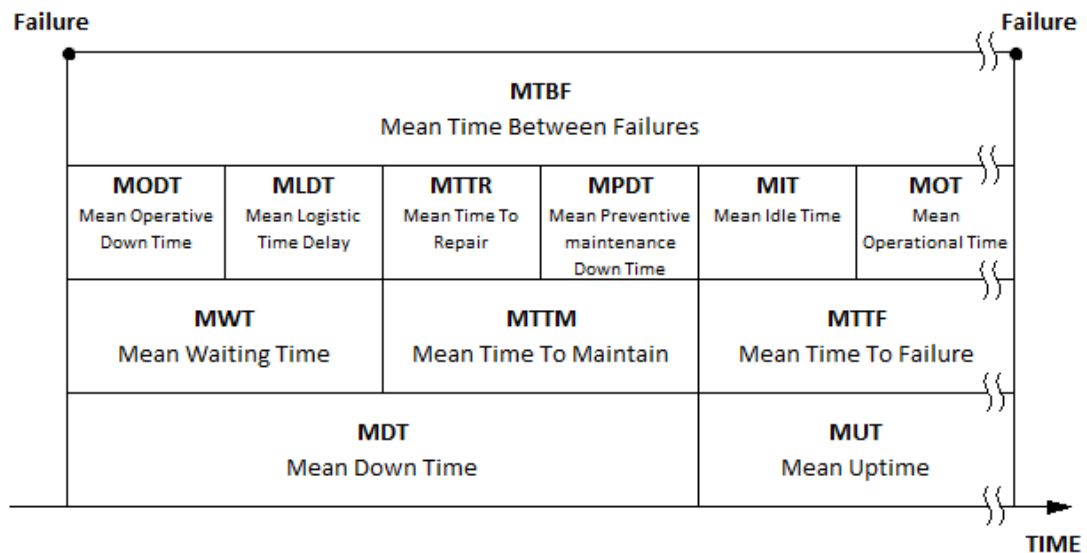
Epäkäytettävyys  $\bar{A}$  on käytettävyyden  $A$  komplementti, joten se voidaan ilmaista kaavalla

$$\bar{A} = 1 - A \quad (2)$$

Käytettävyys on siis todennäköisyys, että järjestelmä tai sen osa on käytettävissä millä tahansa hetkellä käyttöjakson aikana. Käyttöjakso voidaan määrittää käytettävyyden laskennassa monin eri tavoin, ja laskutavasta riippuen käytettävyys voi saada erilaisia tuloksia (Järviö 2007, s. 41). Paperi- ja sellutehtailla käytettävyyden laskennassa käytetään

useita erilaisia hyötysuhteita. Esimerkiksi paperikoneen käytettävyyttä voidaan kuvata *aikahyötysuhteella*, jossa verrataan tuotantoaikaa (aikaa, kun paperikoneen rullaimelle saadaan paperia) käytettävissä olevaan tuotantoaikaan. Käytettävissä oleva tuotantoaika on kalenteriaika, josta on vähennetty työehtosopimusten mukaiset vapaapäivät, suunnitellut seisokit sekä raaka-aine- tai energiapulasta johtuneet seisokit, tilauspulaseisokit, lakot ja onnettomuuksista johtuvat pitkät seisokit. Maksimaalinen käytettävä tuotantoaika voidaan kuitenkin määrittää eri tavoin (Kortelainen 1999, s. 10).

Käytettävyys voidaan toisaalta johtaa toiminta- ja kunnossapitovarmuuteen sekä kunnossapidettävyyteen liittyvien aikakäsitteiden ja mittareiden avulla. Kuvassa 2.5 on esitetty erilaisten aikakäsitteiden jakautuminen yhdelle vikaantumisvälille.



**Kuva 2.5: Aikakäsitteet (Aalto 1997, s. 72, muokattu)**

Aikakäsitteitä voidaan määrittellä monin eri tavoin ja jakaa kuvassa esitetyjä käsitteitä edelleen yhä pienempiin ja toiminnan osia tarkemmin kuvaaviin osiin. Tärkeimpiä aikakäsitteitä luotettavuusanalysoinnin kannalta ovat keskimääräinen vikaantumisaika MTTF, keskimääräinen vikaväli MTBF sekä keskimääräinen korjausaika tai toipumisaika MTTR. Usein keskimääräiseen korjausaikaan sisällytetään aktiivisen korjausajan lisäksi kunnossapitovarmuuden tekijöitä, kuten hallinnollinen ja logistinen viive sekä korjauksen odotusaika, jolloin MTTR kuvaa kokonaisuudessaan laitteen tai järjestelmän seisokkiaikaa (kuvassa MDT). Tällöin keskimääräinen vikaväli voidaan esittää kaavalla:

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (3)$$

tai kuten kuvassa 2.5, kaavalla:

$$MTBF = MTTF + MDT \quad (4)$$

Käytännössä keskimääräinen vikaantumisaika  $MTTF$  ja keskimääräinen vikaantumisväli  $MTBF$  ovat lähellä toisiaan, sillä usein korjausaika on hyvin pieni suhteessa vikaantumisaikaan. Käytettävyys voidaan laskea edellä mainittujen aikakäsitteiden avulla kaavalla (oletetaan, että keskimääräinen vikaväli ja vikaantumisaika ovat hyvin lähellä toisiaan):

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MDT} \quad (5)$$

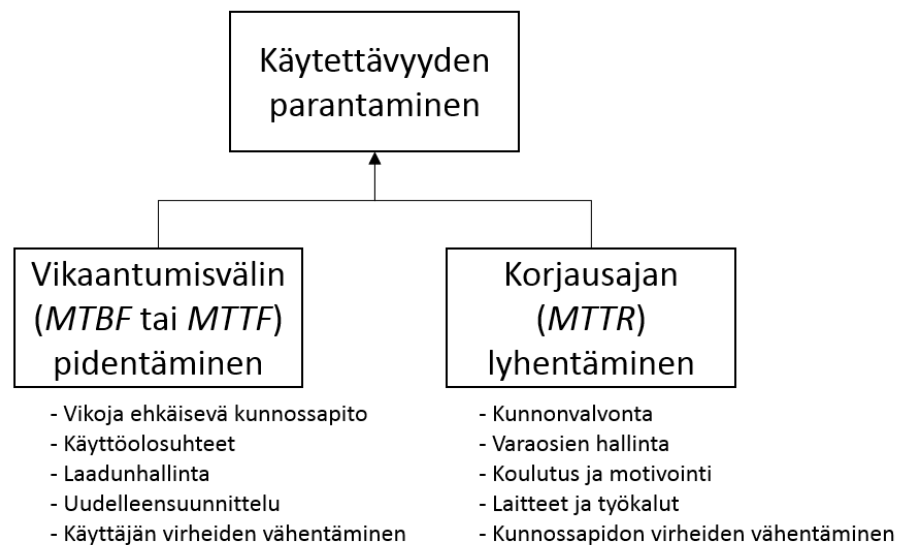
tai ottamalla tarkemmin huomioon kunnossapitovarmuuden ja kunnossapidettävyyden mittarit kaavalla:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR+MWT} \quad (6)$$

Tässä tutkimuksessa kunnossapitoon liittyvän datan niukkuuden vuoksi keskimääräiseen korjausaikaan sisällytetään myös kunnossapitovarmuuteen liittyvät tekijät, jotka siis muodostavat keskimääräisen odotusajan  $MWT$ . Tällöin käytettävyyden kaava saa muodon:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (7)$$

Lopulta siis kaksi parametria määrittävät prosessin tai laitteen käytettävyyden. Käytettävyyteen voidaan siten vaikuttaa joko kasvattamalla keskimääräistä vikaväliä, tai pienentämällä vikaantumisesta aiheutuvaa seisokkiaikaa. Usein käytettävyyden parantamiseksi on vaikutettava molempiin tekijöihin. Tämä saavutetaan vaikuttamalla niin toimintavarmuuteen, kunnossapitovarmuuteen kuin kunnossapidettävyyteenkin. Erityisesti tehokkaan ja oikein kohdistetun ehkäisevän ja kuntoon perustuvan kunnossapidon toimintamalli auttaa saavuttamaan halutun käytettävyyden tason, sillä sen avulla voidaan vaikuttaa yhtäaikaisesti järjestelmän osien luotettavuuteen ja kunnossapidettävyyteen (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 55). Kuvassa 2.6 on havainnollistettu käytettävyyteen ja sen parantamiseen vaikuttavia tekijöitä.



*Kuva 2.6: Käytettävyyden parantaminen (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 56, muokattu)*

### 2.3.5 Laitteen tai osaprosessin käytettävyyden vaikutus prosessin käytettävyyteen

Yksittäisen laitteen tai prosessin osatoiminnon vikaantuminen tai pysähtyminen ei aina aiheuta koko järjestelmän toiminnon keskeytymistä. Vikaantunut kohde voi esimerkiksi olla kahdennettu, jolloin rinnakkainen kohde alkaa suorittaa vikaantuneelta kohteelta vaadittua toimintoa. Esimerkkinä voidaan mainita rinnakkainen suodatin tai pumppu, tai esimerkiksi vikaantuneen prosessinohjauksen siirtäminen käsisäädölle (Kortelainen 1999, s. 14).

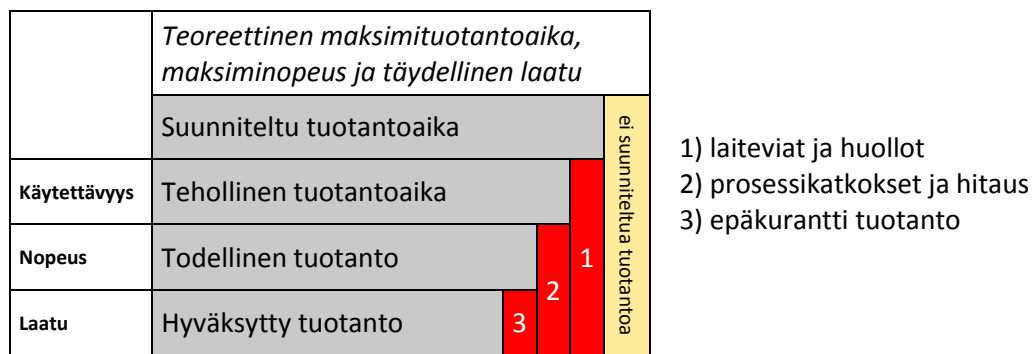
Prosessissa voi myös eri osastojen välillä olla säiliöitä, jotka toimivat varastoina eri osajärjestelmille. Varastot sallivat usein vähintään lyhyen ajan pysähtymisen osajärjestelmälle tai koneelle. Käytettävyyden laskennassa järjestelmän eri osastot tai toiminnot oletetaan toisistaan riippumattomiksi käytettävyyden suhteen; tällöin siis yksittäisen toiminnon epäkäytettävyys ei vaikuta muiden toimintojen käytettävyyteen. Peräkkäiset osatoiminnot tulkitaan käytettävyyden kannalta toisilleen ulkoisiksi toiminnan edellytyksiksi. Säiliöt ja varastot jatkavat siten niitä käyttävän osajärjestelmän käytettävyyssäikää sen verran, kun niiden tyhjenemiseen kuluu aikaa (Pursio 1999, s. 45)

Järjestelmän toimintaa voidaan myös pitää yllä vaihtamalla tuotettavaa tuotelajia, tai sopeuttaa tuotanto muuttuneeseen tilanteeseen, esimerkiksi pienentämällä tuotantonopeutta. Järjestelmän todellista käytettävyyttä ei yleensä voidakaan laskea pelkästään järjestelmän osien käytettävyyksistä. Huomioon on otettava järjestelmän osien ja laitteiden luotettavuustekniset rakenteet riittävän yksityiskohtaisen käyttövarmuusmallin avulla

(Kortelainen 1999, s. 14). Luotettavuusteknisiä rakenteita ja käytettävyyden laskentaa niiden pohjalta on käsitelty tarkemmin luvussa 3.1.1.

## 2.4 Käytettävyys prosessin kokonaistehokkuuden tekijänä

Kokonaistehokkuudella kuvataan koneen tai järjestelmän tehokkuuden suhdetta sen nimelliseen tai maksimaaliseen suorituskykyyn. Kokonaistehokkuus muodostuu kolmesta osatekijästä; käytettävyydestä (K), toiminta-asteesta, suorituskyvystä tai nopeudesta (N) ja laatukertoimesta (L) (Järviö 2007, s. 40; PSK 7501 2010, s. 7). Termistä käytetään myös englanninkielistä lyhennettä OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Käytettävyys kertoo kuinka suuren osan teoreettisesta tuotantoajasta pystytään käyttämään hyödyksi, toiminta-aste tai nopeus kuvaa tuotannon nopeutta ja laatukerroin kertoo miten suuri osa tuotannosta on laadullisesti hyväksyttävällä tasolla. Kuvassa 2.7 on esitetty kokonaistehokkuuden ja sitä alentavien tekijöiden muodostuminen:



**Kuva 2.7: Prosessin kokonaistehokkuuden muodostavat tekijät (Kilpiö 2010, s. 7, muokattu)**

Tuotannon tai yksittäisen koneen kokonaistehokkuus saadaan kertomalla ylläesitettyt tekijät keskenään. Tällöin esimerkiksi yksittäisen koneen käytettävyyden ollessa 90 %, tuotantonopeuden ollessa 80 % ja hyväksyttävän laadun osuuden ollessa 90 %, sen kokonaistehokkuusluku on 0,648. Koneen teoreettisesta maksimikapasiteetista tai tuotantokyvystä on siis tällöin käytössä ainoastaan noin 65 %. Koneen tehokkuuden parantamiseksi on vaikutettava jokaiseen kokonaistehokkuuden tekijään (Järviö 2007, s. 40).

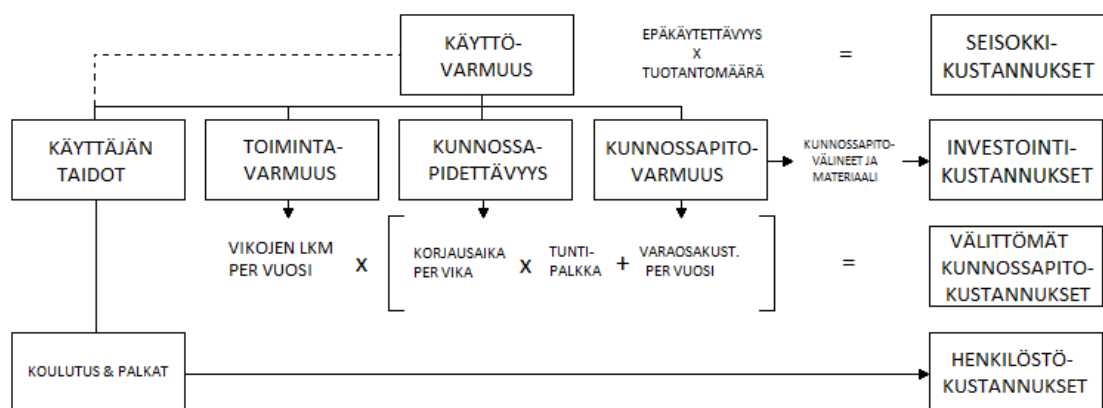
Edellä on käsitelty kunnossapidon ja käytettävyyden yhteyttä, mutta kunnossapidolla on myös vaikutus tuotannon nopeuteen ja laatutekijöihin, mikä korostuu kokonaistehokkuuden tarkastelussa. Huonosti kunnossapidetty tuotantolaite kärsii usein nopeus- ja laatuhäviöistä, mikä heikentää laitteen tai prosessin kokonaistehokkuutta (Al-Najjar 2007, s. 264). Erityisesti TPM-toimintamallissa otetaan huomioon kunnossapidon vaikutus tuotannon kokonaistehokkuuteen, kun kokonaistehokkuutta laskevia tekijöitä pyritään poistamaan.

Vaikka tässä tutkimuksessa tavoitteena ei ollut määrittää tutkittavan järjestelmän kokonaistehokkuutta, auttaa kokonaistehokkuuden käsite kuitenkin ymmärtämään kunnossapidon roolia koko tuotannon tehokkuuden muodostumisessa. Kokonaistehokkuuden tarkemmalla tarkastelulla ja kehittämisellä voidaan saavuttaa mm. seuraavia hyötyjä (Gilland et al. 1995, katso Tegelberg 2008, s. 43):

- tuotantolaitoksen tuottavuuden parantaminen pyrittäessä parantamaan sekä käytettävyyttä, suorituskykyä ja laatua hyvän kokonaistehokkuuden saavuttamiseksi
- tuotannon ”pullonkaula”-osastojen tunnistaminen ja siten tuotantokapasiteetin nostaminen
- prosessin laaduntuottokyvyn lisääminen kriittisten vikojen vähentämisellä
- kunnossapitotoimintojen kohdistaminen oikeisiin kohteisiin
- korjaavan kunnossapidon määrän ja korjausaikojen pienentäminen sekä kunnossapitokustannusten pienentäminen
- käynnissäpitotoiminnan kehittäminen, jolloin myös operaattorit osallistuvat tuotantolaitteiden huoltoon ja tarkkailuun
- tuotantolaitoksen eri osastojen välisen yhteistyön parantaminen

## 2.5 Käyttövarmuus ja kunnossapito taloudellisina tekijöinä

Edellä on mainittu käyttövarmuuteen vaikuttavia tekijöitä, sekä toisaalta kvantitatiivisia termejä käytettävyyden laskemiseksi. Käyttövarmuuteen vaikuttavat tekijät voidaan muuttaa kustannustekijöiksi, jolloin niiden vaikutusta voidaan helpommin arvioida yrityksen taloudelliseen lopputulokseen (Lyytikäinen 1987, s. 14). Kuvassa 2.8 on esitetty käyttövarmuustekijöiden ja kunnossapidon muuttaminen kustannustekijöiksi.



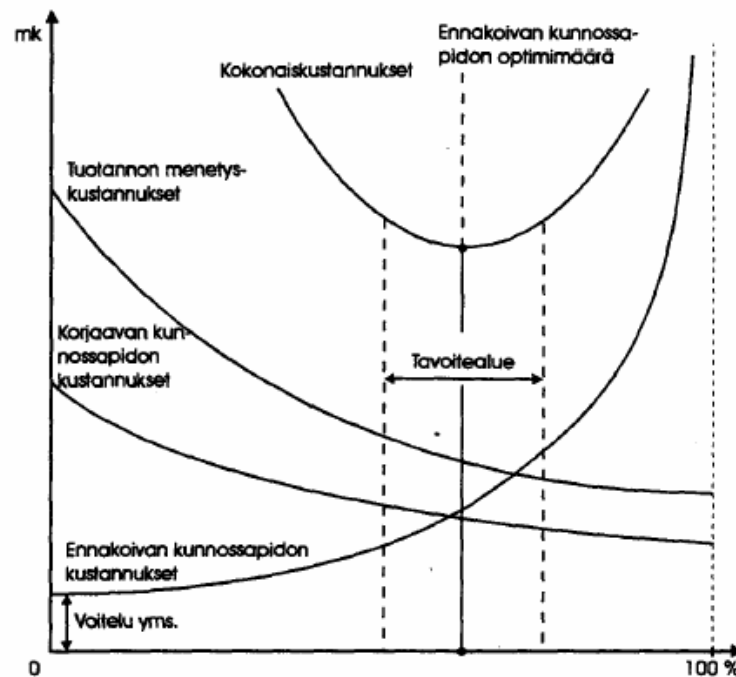
**Kuva 2.8: Käyttövarmuustekijät kustannusparametreiksi (Lyytikäinen 1987, s. 15, muokattu)**



Seisokkikustannukset (tai epäkäytettävyyuskustannukset) muodostuvat järjestelmän epäkäytettävyyssajan perusteella. Kuten aikaisemmin on mainittu, epäkäytettävyyuskustannuksiin voidaan laskea myös mukaan esimerkiksi viivästyneistä toimituksista tai imagon huononemisesta aiheutuvia kustannuksia, joiden arvioiminen on kuitenkin usein hankalaa. Välittömät kunnossapitokustannukset ja investointikustannukset muodostuvat käyttövarmuuden osa-alueiden tekijöistä. Järjestelmän käyttäjät muodostavat henkilöstökustannukset. Huomioitavaa kuitenkin on, että käyttäjillä on vaikutus myös järjestelmän käyttövarmuuteen omalla toiminnallaan, jonka laatu riippuu ohjauksesta, koulutuksesta sekä palkkauksesta (Lyytikäinen 1987, s. 16).

Kun järjestelmän käyttövarmuustavoitteiden ja kunnossapitokustannusten suhdetta tarkastellaan, nousee esiin ongelma kunnossapidon optimaalisesta mitoittamisesta. Kunnossapitoresurssien pienentäminen aiheuttaa tuotantojärjestelmän käytettävyyden heikkene-  
misen, mutta toisaalta korkeat luotettavuustavoitteet edellyttävät suurempia kunnossapito- ja hankintakustannuksia.

Käytettävyyttä ja tuotantolaitteen elinkaarikustannuksia tarkastellessa laitteen hankintakustannukset nousevat jyrkästi pyrittäessä korkeaan käytettävyyteen. Hankintakustannukset ovat siten niin korkeat, että hyvästä käytettävyydestä saavutettavat säästöt laitteen käyttö- ja kunnossapitokustannuksissa sekä epäkäytettävyyuskustannuksissa eivät kuitenkaan tuo riittävästi säästöä laitteen elinkaaren kokonaiskustannuksiin. Sama ilmiö toteutuu, kun tarkastellaan kunnossapitokustannuksia pyrittäessä kohti maksimaalista käytettävyyttä. Korkea käytettävyys edellyttää suuria resursseja ennakoivaan kunnossapitoon, ja vaikka siten korjaavan kunnossapidon ja tuotannon menetyksistä aiheutuvat kustannukset pienenevät, kokonaiskustannukset muodostuvat silti korkeiksi ennakoivan kunnossapidon kustannusten vuoksi. Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kokonaiskustannuksiin on esitetty kuvassa 2.9.

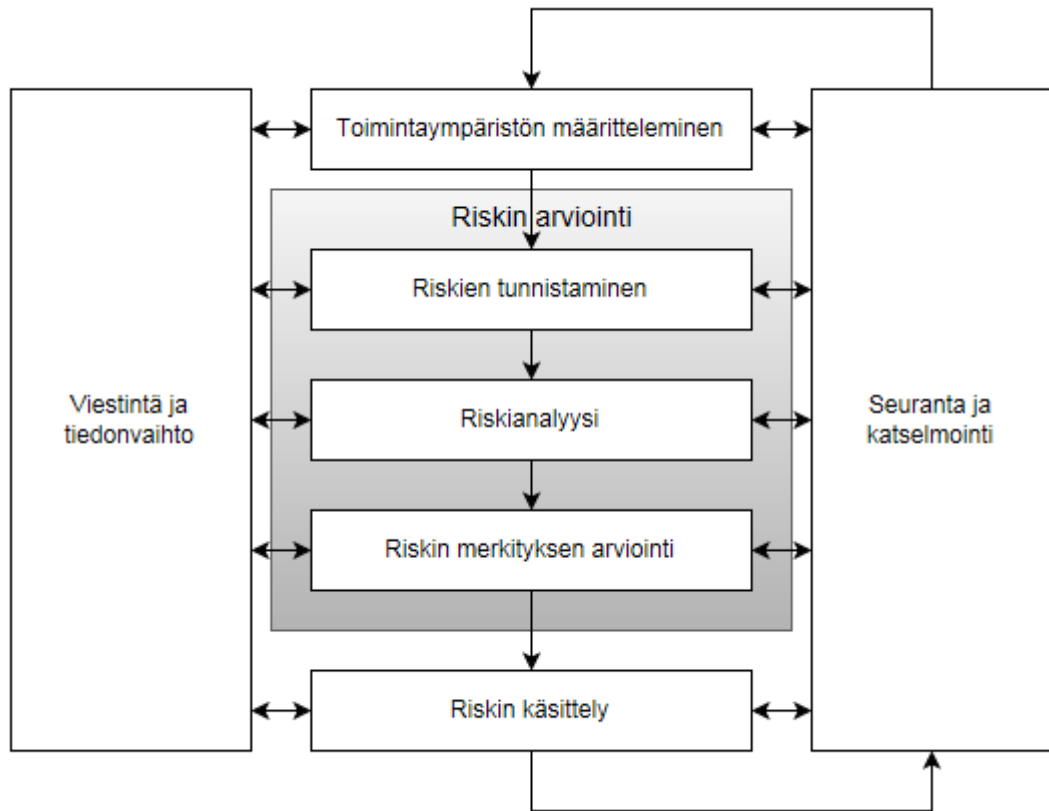


**Kuva 2.9: Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kokonaiskustannuksiin. X-akselilla kuvattuna järjestelmän käytettävyys, Y-akselilla kustannukset (Aalto 1997, s. 26)**

Kuvasta nähdään, että ennakoivan kunnossapidon määrälle voidaan määrittää optimitaso, jolloin toiminnan kokonaiskustannukset ovat alimmillaan. Tavoitealue on kuitenkin vaikea määrittää tarkasti, sillä sen määrittämiseen tarvitaan tarkkaa tietoa järjestelmän käytettävyydestä ja epäsuorista kunnossapitokustannuksista, kuten myös kunnossapitotoimenpiteiden vaikutuksista järjestelmän käytettävyyteen.

## 2.6 Riskien arviointi

Kaikkiin organisaation toimiin sisältyy riskejä, joita pyritään hallitsemaan riskienhallinnan keinoin tunnistamalla ja analysoimalla riskejä sekä tarvittaessa vaikuttamalla riskeihin (SFS-ISO 31000 2011, s. 6). Riskinarvioinnilla tarkoitetaan kokonaisuudessaan riskien tunnistamista, analysointia ja riskien merkityksen arviointia. Riskinarviointia voidaan käyttää myös kunnossapidon suunnittelemisessa, sillä analyysin tulosten perusteella voidaan parantaa kunnossapidon tehokkuutta ohjaamalla ja ajoittamalla kunnossapidon resurssit ja toiminnot merkittävimpien riskien pienentämiseksi. Luotettavuuskeskeisen kunnossapidon toimintamalli (RCM) käyttääkin riskinarviointia kunnossapitomenetelmien määrittämiseksi (Backlund & Hannu 2002, s. 78). Riskienhallintaprosessin sisältämät toiminnot on kuvattu kuvassa 2.10:



**Kuva 2.10: Riskienhallintaprosessi (SFS-ISO 31000 2011, s. 34, muokattu)**

Riskillä itsessään kuvataan epävarmuutta ja sen vaikutusta organisaation tavoitteisiin. Tavoitteilla voidaan tarkoittaa terveyteen, ympäristöön ja turvallisuuteen liittyviä näkökohtia, ja niitä voidaan soveltaa eri tasoihin (esimerkiksi projekti-, prosessi- tai tuotekohtaiset tavoitteet). Riski ilmaistaan usein tapahtuman todennäköisyyden ja tapahtuman vaikutusten yhdistelmänä. (SFS-OPAS 73 2011, s. 8). Yleisesti kirjallisuudessa riskin suuruus määritellään kaavalla:

$$R = pC \quad (8)$$

jossa  $p$  on riskiin liittyvän tapahtuman todennäköisyys ja  $C$  on tapahtuman seuraus. Seuraukset voivat olla hyvin erilaisia, ja ne voidaan ilmaista laadullisesti tai määrällisesti. Tapahtuman todennäköisyys voidaan määrittää yleisellä tasolla tai matemaattisesti (esim. todennäköisyys tai esiintymistäajuus tietyllä ajanjaksolla) (SFS-ISO 31000 2011, s. 18).

Riskienarvioinnin yhteydessä käytetään usein seuraus-todennäköisyysmatriisia, eli riskimatriisia. Sen avulla voidaan yhdistää jonkin tapahtuman seuraus ja todennäköisyys riskitasoksi tai riskiluokitukseksi. Se on tehokas seulontatyökalu, jonka avulla voidaan saada selville sellaiset riskit, jotka tarvitsevat tarkempaa analyysiä tai toimenpiteitä riskitason pienentämiseksi (SFS-EN 31010 2013, s. 148). Esimerkki riskimatriisista on esitetty kuvassa 2.11:

Todennäköisyysluokitus	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	II	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
		1	2	3	4	5	6
Seurausluokitus							

**Kuva 2.11: Riskimatriisi (SFS-EN 31010 2013, s. 152)**

Kuvassa riskiin liittyvän tapahtuman todennäköisyys ja seuraukset on esitetty luokitusluokien perusteella. Luokitukset voidaan siis määrittää kvantitatiivisesti tai laadullisesti, ja huomioon voidaan ottaa useita eri seuraustekijöitä. Riskin suuruus on esitetty kuvassa roomalaisin numeroin I-V. Tarvittavien toimenpiteiden laajuus voidaan määrittää riskin suuruuden perusteella.

## 2.7 Vikaantuminen

Laitteiden ja komponenttien luotettavuustekniset ominaisuudet vaikuttavat järjestelmän käyttövarmuuteen ja siten kunnossapidon suunnitteluun. Aikaisemmin kunnossapidon tärkeimmäksi tavoitteeksi nähtiin vikojen korjaaminen tehokkaasti. Nykyään painopiste on siirtynyt selkeästi vikojen ehkäisemiseen. Järviö (2007, s. 53) mainitseekin kunnossapito-organisaation tärkeimmäksi päämääräksi kunnossapidon määrän vähentämisen, mikä taas saavutetaan vikojen ehkäisemisellä.

Vikaantumisella tarkoitetaan tapahtumaa, jonka seurauksena järjestelmä, laite tai komponentti ei pysty suorittamaan siltä vaadittavaa toimintoa (PSK 6201 2011, s. 14). Kohteelta vaadittava toiminto käsittää myös määrällisen ja laadullisen näkökulman. Esimerkiksi käynnissäkin oleva pumppu voi olla vikaantunut, mikäli sen pumppausteho on liian alhainen (Järviö 2007, s. 34). Vika on määritetty standardeissa kohteen tilaksi, joka seuraa vikaantumisesta. Vikaantumisesta voi myös vian lisäksi seurata vaurio (aineellinen- tai henkilövahinko) ja häiriö (tuotannon menetys ja välitön korjaustarve) (SFS-EN 13306 2010, s. 14; PSK 6201 2011, s. 15). Standardeissa on myös esitetty tarkempia kuvauksia erilaisten vikaantumisten luokittelemiseksi:

- *kulumisesta johtuva vikaantuminen*, jonka todennäköisyys kasvaa käyttömäärän ja käytön rasittavuuden vaikutuksesta

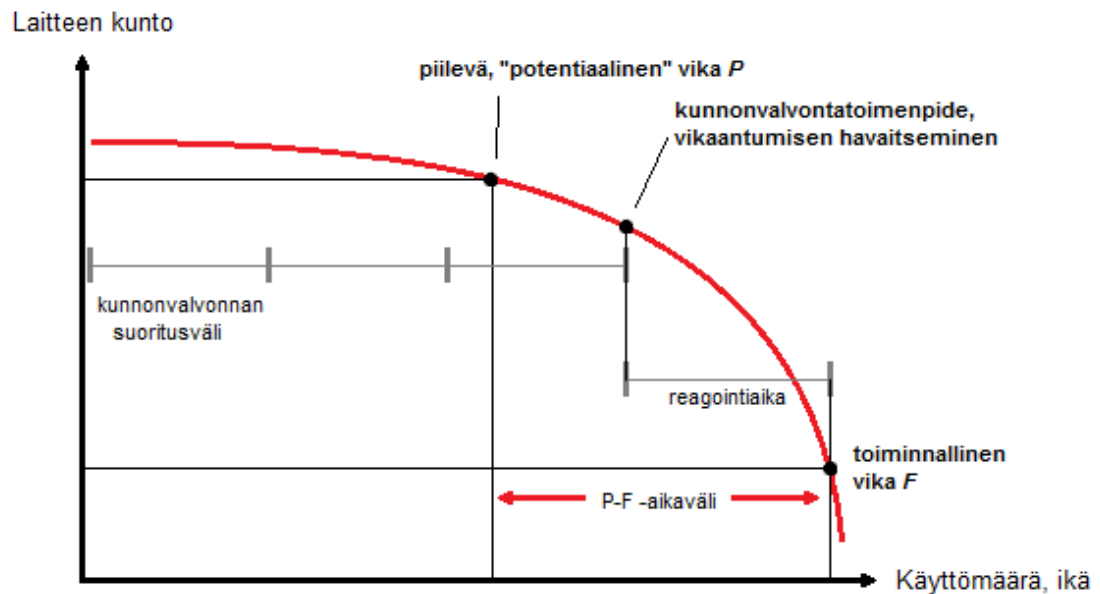
- *ikäntymisestä johtuva vikaantuminen*, jonka todennäköisyys kasvaa ajan kuluessa
- *huononeminen*, toimintaa heikentävät fyysiset muutokset ajan, käytön tai muun syyn seurauksena
- *äkkivikaantuminen*, tapahtuma, jota ei etukäteen voida ennustaa tarkastuksilla tai valvonnalla
- *piilevä vikaantuminen*, vikaantuminen, jota ei havaita normaalin käytön yhteydessä

Myös muita termejä on olemassa, mutta tässä yhteydessä on esitelty vain olennaisimmat termit vikaantumisen luonteen selventämiseksi. Samalla tavoin myös kohteen tilat – joita myös vika on – voidaan jakaa selvennykseksi eri luokkiin (SFS-EN 13306 2010, s. 18):

- *vika*, kohteen tila, jossa kohde ei pysty suorittamaan siltä vaadittua toimintoa
- *toimintakelpoisuustila*, jossa kohde pystyy suorittamaan siltä vaaditun toiminnon ulkoisten resurssien ollessa saatavilla
- *toimintakelvottomuustila tai sisäinen toimintakyvyttömyystila*, jossa kohde ei pysty suorittamaan toimintoa vian tai ehkäisevän kunnossapitotoimenpiteen vuoksi
- *ulkoinen toimintakyvyttömyystila*, jossa kohde on toimintakelpoisuustilassa, mutta ulkoiset resurssit eivät ole käytettävissä
- *piilevä vika*, joka ei ole havaittavissa
- *osittainen vika*, jolloin kohde voi suorittaa vain osan siltä vaadituista toiminnoista

Laitteet pyritään suunnittelemaan siten, että niiden toiminta on moitteetonta eikä vikaantumista tapahdu. Viat eivät muodostu itsekseen, vaan jokaisella vialla on oma synty- ja kehittymismekanisminsa (Järviö 2007, s. 53). Kunnossapidon suunnittelun ja toteutuksen kannalta onkin tärkeää tuntea kohteen vikaantumismekanismien kulku. Vian kehittyminen voidaan jakaa kolmeen perusvaiheeseen, jotka ovat vian alkua, kehittyminen ja lopulta vikaantuminen. Jokainen perusvaihe riippuu eri tekijöistä, ja jotta vikaantumista voitaisiin estää jokaisessa perusvaiheessa, on vaiheiden aikana käytettävä erilaisia menetelmiä ja keinoja (Aalto 1997, s. 73). Mitä aikaisemmin vian kehitysketjuun päästään vaikuttamaan, voidaan vaurioitumista tehokkaammin estää, jolloin myös kunnossapidon määrän tarve pienenee (Järviö 2007, s. 53).

Vikaantumisen eri vaiheita voidaan havainnollistaa P-F –käyrän (*Potential failure to Failure*) avulla. Vika on aluksi latenti, mutta jonkin ajan kuluttua vika alkaa oireilla. Tällöin vika vaikuttaa jollain tasolla kohteen toimintaan, mutta ei kuitenkaan estä sitä. Potentiaalinen, piilevä vika on kuitenkin tällöin havaittavissa. Lopulta vika etenee ja kasvaa, mikä aiheuttaa kohteen toiminnan tason laskun alle tavoitetason tai kohteen rikkoutumisen. P-F –aikavälillä kuvataan aikaa, joka kuluu vian alkamisesta toiminnalliseen vikaantumiseen. P-F –käyrä ja vikaantumisen eteneminen on esitetty kuvassa 2.12.



*Kuva 2.12: P-F -käyrä*

P-F –käyrästä voidaan määrittää tarvittava aikaväli määräaikaistarkastuksille, jotta vika havaitaan ajoissa ja kunnossapitotoimenpiteet ehditään toteuttaa ennen kohteen lopullista vikaantumista (reagointiaika). Tiheää kunnonvalvontaväliä käytettäessä vikaantuminen havaitaan lähellä potentiaalisen vian ilmenemispistettä, kun taas harvemmillä valvontavälillä vika saattaa olla kehittynyt pidemmälle, kohti toiminnallista vikaantumista.

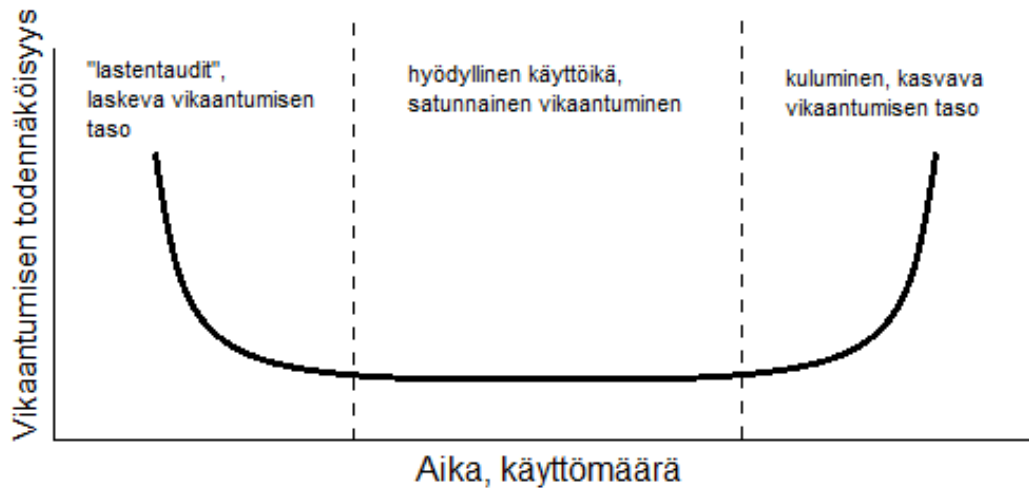
Oirehtivien ja piilevien vikojen havaitseminen ja poistaminen on usein vaikeaa, ja vaatii tehokkaita ehkäiseviä, proaktiivisia kunnossapitotoimenpiteitä. Oirehtivien vikojen alkuperä on usein syvällä laitteen rakenteessa, asennuksessa ja käytössä. Järviö (2007, s. 63) mainitsee joitakin oirehtivien vikojen yhteispiirteitä:

- viat eivät erotu ilman tarkkoja mittauksia
- vian seurausvaikutukset (esim. värähtely, lämpötilan nouseminen) ovat usein hyvin pieniä
- koneen käyttäjät raportoivat vioista harvoin, sillä vaikutukset ovat pieniä
- vikojen määrällinen arviointi on vaikeaa
- viat voidaan tunnistaa vertailemalla, jos samanlaisia laitteita on samoissa käyttöolosuhteissa

Oirehtivien vikojen havaitsemisella ja poistamisella on olennainen merkitys kohteen kokonaistehokkuuden kannalta, sillä viat alentavat usein tuotannon määrää tai laatua. Kun oirehtiva vika havaitaan ajoissa, korjaavat toimenpiteet voidaan suunnitella ja toteuttaa, mikäli aikaa jää riittävästi vian havaitsemisesta kohteen rikkoontumiseen. Moubayn (1997) mukaan oireilun perusteella on mahdollista löytää kaikista vikaantumisista noin 33 – 40 % (katso Järviö 2007, s. 56).

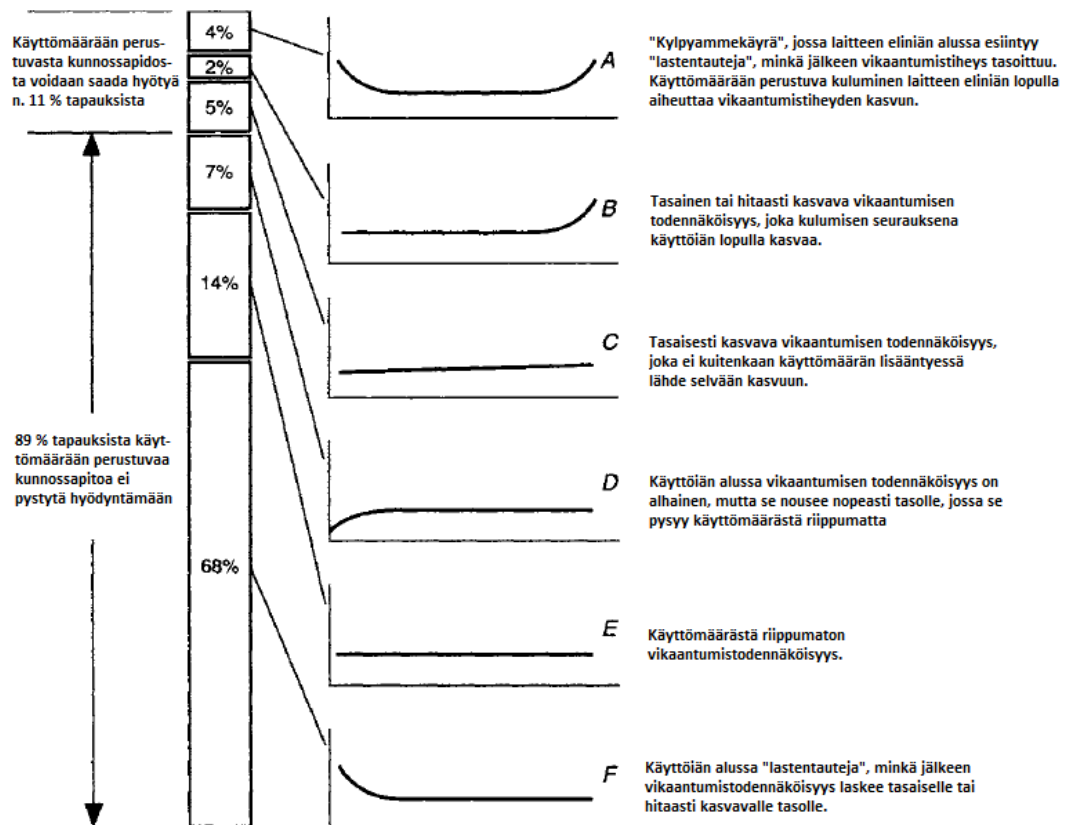
## 2.7.1 Vikaantumismallit

Vikaantumisen todennäköisyys on perinteisesti ajateltu riippuvan vahvasti laitteen eliniästä. Tällöin puhutaan ”kylpyammekäyrästä”, jossa vikaantumisen todennäköisyys on laitteen sisäänajokaudella ja eliniän loppupuolella suurimmillaan (Järviö 2007, s. 57). Kylpyammekäyrä on esitetty kuvassa 2.13:



*Kuva 2.13: Kylpyammekäyrä*

RCM-menetelmän kehityksessä mukana olleet Nolan ja Heap kyseenalaistivat kylpyammekäyrän, kun sen pohjalta suunnitellut lentokoneiden huolto-ohjelmat eivät tuottaneet haluttuja tuloksia. Omassa vikaantumistutkimuksessaan Nolan ja Heap löysivät kylpyammekäyrän lisäksi 5 muuta vikaantumismallia. Vikaantumismallit voidaan jakaa aikaan perustuviin, sekä satunnaiseen vikaantumiseen perustuviin mekanismeihin (Järviö 2007, s. 58). Vikaantumismallit ja eräs arvio niiden esiintymisestä on esitetty kuvassa 2.14.



**Kuva 2.14: Vikaantumismallit ja niiden esiintyminen (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 59, muokattu)**

Nykyään teollisuudessa käytettävät laitteet ovat rakenteeltaan ja tekniikaltaan monimutkaisia, eivätkä yksittäisten komponenttien vikaantumismekanismit olennaisesti muuta koko laitteen vikaantumismallia. Moubrayn (1997) mukaan teollisuudessa esiintyvistä viroista noin 80 % noudattaa satunnaiseen vikaantumiseen perustuvia malleja. Koska suurin osa vikaantumisista ei perustu laitteiden ikään tai käyttömäärään, ei kunnossapitoa kannata suunnitella täysin ennakoivan kunnossapidon menetelmien mukaisesti, joissa laitteille tehdään käyttöikä tai aikaan perustuvia huoltoja ja kunnostuksia (Järviö 2007, s. 59).

Ennakoivan, eli aikaan tai käyttömäärään perustuvan kunnossapidon haittapuolena voidaan nähdä liika kunnossapito. Laite altistetaan huoltojen yhteydessä vikaantumismekanismeille A ja F, joissa vikaantumisen todennäköisyys on eliniän tai käyttömäärän alussa korkealla. Tällöin laitteen vikaantumisen todennäköisyys siis kasvaa jokaisen huollon tai tarkastuksen jälkeen (Järviö 2007, s. 60). Moubrayn (1997) mukaan onkin suositeltavaa välttää laitteiden avaamista tai purkamista, ja pyrkiä tarkistamaan laitteet siten, että ne ovat toimintakunnossa tai jopa toiminnassa. Käytännössä tämä tarkoittaa tehokkaiden kunnonvalvonnan menetelmien käyttämistä (katso Järviö 2007, s. 60).



## 2.7.2 Vikaantumisen estäminen

Koneet on suunniteltu ja mitoitettu kestäväksi tietty elinikä, toimimaan tietyissä olosuhteissa ja tiettyjen rasitusten alaisena. Vikaantumisen on ennen ajateltu johtuvan pääasiassa huonosta suunnittelusta, mutta etenkin TPM-ajatusmalli on uudistanut käsitystä. Koneen asiallisella käytöllä, toimintaympäristöllä ja –olosuhteilla on suuri merkitys vikaantumisen ehkäisemisessä. Nakajiman (1989) mukaan laitteiden vikaantumiselle on viisi pääsyitä (katso Järviö 2007, s. 61):

- laitteiden käyttötavat eivät ole oikeita tai suhtautuminen laitteen kuntoon on väärä. Perinteisen ajatustavan mukaisesti laitteen käyttäjät eivät koe olevansa vastuussa laitteen kunnosta, joten oirehtivista vioista ei välitetä niin kauan, kun laite on toiminnallisesti kunnossa
- laitteiden käyttäjillä ja kunnossapitäjillä ei ole riittävää tietoa laitteen kunnossapidosta ja käytöstä. Tämän seurauksena kunnossapito painottuu korjauksiin, sillä oirehtivia vikoja ei havaita tai ne tulkitaan väärin
- laitteen ikääntymisen takia tapahtuvaa toimintakyvyn heikkenemistä ei huomata tai se hyväksytään
- laitteiden käyttöolosuhteet heikentävät laitteen toimintaa, käyttöä, kunnossapitoa ja vikojen havainnointia. Esimerkiksi lika ja pöly aiheuttavat lämpenemistä ja ylimääräiset tavarat ja varastot vaikeuttavat laitteen tarkastuspisteille pääsyä
- laitteen suunnittelu ei vastaa todellisia käyttöolosuhteita tai käytön rasituksia. Laite voi olla myös siirretty paikalleen toisesta käyttöympäristöstä- tai tarkoituksesta

Nakajiman (1998) mukaan edellä esitettyihin tekijöihin vaikuttamalla voidaan parantaa laitteiden luotettavuutta. Pelkästään rakenteisiin ja teknisiin menetelmiin vaikuttamalla vikaantumisia ei voida tehokkaasti estää, vaan huomioon on otettava edellä mainitut kohteen käyttöön ja käyttöolosuhteisiin vaikuttavat tekijät.

Tässä tutkimuksessa vikaantumisen tarkastelussa pyritään erityisesti ottamaan huomioon oikeat menetelmän vikaantumisen alkamisen ja oirehtivien vikojen havaitsemiseen, sekä toisaalta vikaantumisen ehkäisemiseen. Näin pystytään vaikuttamaan sekä käytettävyyteen, että kunnossapitokustannuksiin pienentämällä laitteiston korjausaikaa ja -kustannuksia sekä kasvattamalla laitteiden vikaantumisväliä. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon erilaiset vikaantumismallit tehokkaiden ja sopivien ehkäisevien kunnossapitotoimien valitsemiseksi, jotta ei sorruta ehkäisevän kunnossapidon ylimitoittamiseen.

## 2.8 Kunnossapitostrategiat ja kunnossapidon tavoitteet

PSK 6201 määrittelee kunnossapidon yleisiksi tavoitteiksi hyvän tuotannon kokonaistehokkuuden ja käyttövarmuuden. Kirjallisuudessa korostetaan myös kunnossapidon kustannusten osuutta kunnossapidon tavoitteissa. Komonen (2002, s. 15) nostaa teollisen kunnossapidon tärkeimmiksi tavoitteiksi tuotantolaitteiden hyvän käyttövarmuuden sekä kunnossapitokustannusten minimoimisen. Löfsten (2000, s. 47) määrittää yleisesti kunnossapidon tavoitteiksi kunnossapidon tuottavuuden maksimoimisen ja haluttujen tavoitteiden saavuttamisen minimikustannuksilla. Kunnossapidon kustannuksiin voidaan vaikuttaa kunnossapitostrategialla ja toisaalta uutta laitetta tai konetta hankittaessa huomioidamalla koneen vaikutus käyttövarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen (Heikkilä 2008, s. 18). Tässä tutkimuksessa keskitytään prosessin ja prosessilaitteiden käytettävyyden sekä kunnossapidon tehokkuuden ja kustannusten tarkasteluun lähinnä kunnossapitostrategioiden valinnan näkökulmasta.

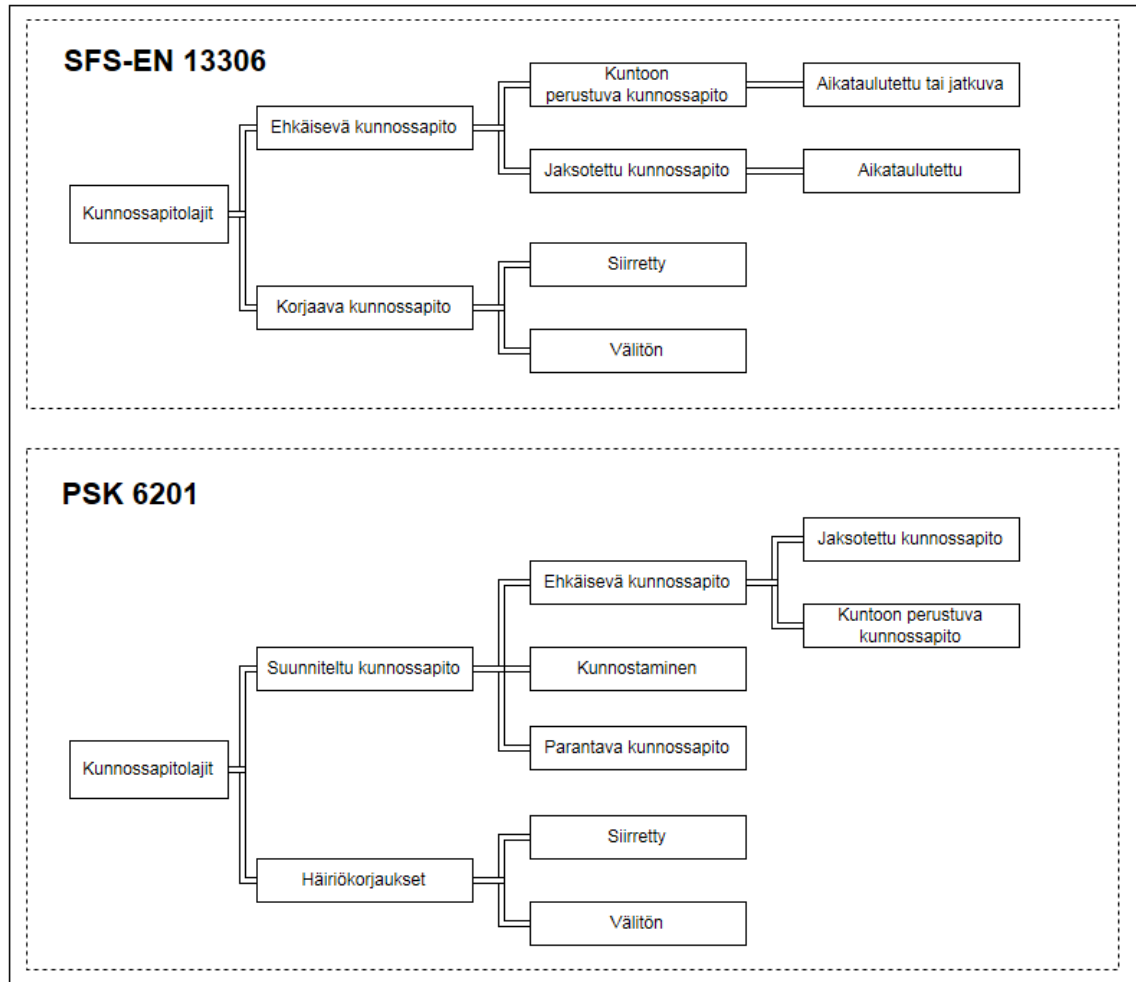
Kunnossapitostrategialla tarkoitetaan toimintamallia, jonka avulla pyritään saavuttamaan kunnossapidolle asetetut tavoitteet. Kunnossapitostrategia määrittelee kunnossapidon vaatimat henkilöstöresurssit, kunnossapidon tilat ja välineet, laitteiston teknisen tiedon hallinnan sekä kunnossapidon materiaalitoiminnot (PSK 6201 2011, s. 13). Kirjallisuudessa kunnossapitostrategia ei ole täysin vakiintunut käsite. Kunnossapitostrategialla voidaan tarkoittaa yksittäistä kunnossapitolajia tai useamman kunnossapidon elementin yhdistelmää (Heikkilä 2008, s. 20). Tässä tutkimuksessa kunnossapitostrategialla tarkoitetaan yksittäiselle laitteelle tai useamman laitteen muodostamalla ryhmälle määritettävää kunnossapidon toimintamallia - esimerkiksi kunnossapitolajia - tai toimintamallien yhdistelmää.

Kunnossapitostrategiat ja -lajit on ryhmitelty kirjallisuudessa osittain eri tavoin. Standardit PSK 6201 ja SFS-EN 13306 jakavat kunnossapitolajit korjaavaan ja ehkäisevään kunnossapitoon. Kunnossapitolajien jakaminen standardien mukaan on esitetty kuvassa 2.15 sivulla 27. Korjaavan kunnossapidon alaluokkia ovat välittömät häiriökorjaukset ja siirretyt korjaukset, ehkäisevän tai suunnitellun kunnossapidon alaluokkia ovat kuntoon perustuva ja jaksotettu kunnossapito. Swanson (2001) toisaalta jakaa kunnossapitostrategiat reaktiiviseen, proaktiiviseen ja aggressiiviseen kunnossapitoon. Tässä tutkimuksessa tarkasteltavia kunnossapitolajeja ovat:

- korjaava kunnossapito,
- ennakoiva (jaksotettu) kunnossapito,
- ennustava (kuntoon perustuva) kunnossapito

Kunnossapitolajien lisäksi tutkimuksessa on käsitelty kehittyneempiä kunnossapidon toimintamalleja, jotka pyrkivät tehostamaan yrityksen toimintaa ohjaamalla kunnossapidon tuotannon tehokkuuden, kokonaiskustannusten ja käyttövarmuuden kannalta oikeisiin

kohteisiin sekä auttamaan tehokkaan kunnossapitolajin valinnassa. Tutkimusympäristön tuotantoprosessin kunnossapidon tehostamiseksi on pyritty käyttämään erityisesti luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (RCM) ja kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon (TPM) toimintamallien periaatteita.



*Kuva 2.15: Kunnossapitolajit standardien SFS-EN 13306 ja PSK 6201 mukaisesti*

### 2.8.1 Korjaava kunnossapito

Perinteisin kunnossapidon ajatusmalli on korjaava kunnossapito. Korjaavan kunnossapidon käsitetään olevan reaktiivista, sillä laitteeseen tai koneeseen kohdistetaan kunnossapitotoimenpiteitä vasta silloin, kun se vikaantuu. Tällöin myös kulut muodostuvat ainoastaan silloin, kun jokin laite hajoaa (Mobley 2002, s. 2). Kunnossapidon miesvahvuus voidaan pitää koneiden käynnin aikana matalalla tasolla, sillä ennakoivaa tai ehkäisevää kunnossapitoa ei ole (Swanson 2001, s. 238).

Yksinkertaisen luonteensa vuoksi korjaavan kunnossapidon malli on ollut hallitsevassa asemassa eri kunnossapidon muotojen välisessä vertailussa, etenkin menneinä vuosikymmeninä (Aalto 1997, s. 17). Vaikka kustannukset muodostuvatkin korjaavassa kunnossapidossa vain vikaantumisen tapahtuessa, nousevat ne kuitenkin korkeiksi, sillä äkilliset vikaantumiset vaativat välittömiä toimenpiteitä käytettävyyden ylläpitämiseksi, minkä vuoksi varaosavarastojen, uusien laitteiden ja korjaustyön sekä menetetyn tuotannon kustannukset ovat korkeat (Mobley 2002, s. 3; Smith & Hinchcliffe 2003; s. 3). Laitteiden rikkoontuminen saattaa aiheuttaa myös muita aineellisia vahinkoja sekä kasvattaa työ- ja ympäristöturvallisuusriskiä (Swanson 2001, s. 238).

Koska korjaava kunnossapito reagoi ainoastaan toiminnallisiin vikaantumisiin, oirehtivat viat jäävät huomioimatta. Oirehtivat viat voivat aiheuttaa häviöitä tuotantomäärään ja -laatuun laskien kokonaistehokkuutta. Laitteiden - ja siten koko järjestelmän - kokonaistehokkuus saattaa olla kaukana maksimiarvostaan, sillä korjaava kunnossapito keskittyy ainoastaan häiriöiden ja vaurioiden korjaamiseen (Järviö 2007, s. 63).

Korjaavan kunnossapidon korkeiden kustannusten vuoksi vain harvoissa tuotantolaitoksissa käytetäänkin ainoana kunnossapidon muotona korjaavaa kunnossapitoa, ja silloinkin korjaavan kunnossapidon malliin sisällytetään yksinkertaisia huoltoja, kuten voiteluhuoltoa ja säätöjä (Mobley 2002, s. 2). Korjaavaa kunnossapitoa käytetään usein kohteissa, joiden toiminta ei ole tuotannon kannalta välttämätöntä ja korjauskustannukset ovat pieniä. Tällöin voidaan puhua myös RTF-toimintamallista (*Run-To-Failure*), jossa laitetta käytetään niin pitkään kuin mahdollista ennen sen täydellistä vikaantumista.

## 2.8.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva tai jaksotettu kunnossapito kuuluu ennustavan kunnossapidon ohella proaktiivisiin (ehkäiseviin) kunnossapitostrategioihin, joiden tarkoituksena on estää laitteiden vikaantuminen ja rikkoutuminen (Swanson 2001, s. 238; Prasanna et al. 2011, s. 1514). Ennakoiva kunnossapito perustuu ajastettuihin huoltoihin ja kuluvien komponenttien vaihtoihin. Huollot ja vaihtovälit suunnitellaan laitteiden ominaisuuksien ja tietojen, kuten vikaantumisvälin perusteella (Pariazar et al. 2008, s. 4322; Prasanna et al. 2011, s. 1514). Laitteille tehtävät määräaikaishuollot, jotka perustuvat aikaan tai käyttömäärään sisältävät tyypillisesti voiteluhuollon, kuluneiden osien vaihtamisen, puhdistamisen ja säätämisen (Swanson 2001, s. 238).

Huolto-, tarkastus- ja vaihtovälien suunnittelu optimaalisesti on kuitenkin vaikeaa, sillä laitteiden kuntoon ja vikaantumismekanismeihin pohjautuvaa täsmällistä tietoa on usein rajoitetusti saatavilla (Pariazar et al. 2008, s. 4322). Jotta vikaantumiset voitaisiin täysin estää ennakoivan kunnossapidon avulla, ajoitettujen kunnossapitotoimenpiteiden aikavälin tulee olla lyhyempi kuin lyhin mahdollinen vikaantumisväli. Tämän vuoksi huoltoja

tehdään kohteille, joilla olisi voinut olla vielä huomattava määrä käyttöikä, eli kunnossapitoa tehdään liikaa (Mechefske & Wang 2003, s. 306). Toisaalta määräaikaishuollot voivat myös lisätä laitteen vikaantumisen todennäköisyyttä (katso luku 2.7.1). Ennakoivan kunnossapidon heikkoutena voidaan myös nähdä tuotannon keskeytyminen suunniteltujen huoltojen toteuttamiseksi (Swanson 2001, s. 238).

### 2.8.3 Ennustava kunnossapito

Ennustavaa kunnossapitoa kutsutaan usein myös kuntoon perustuvaksi kunnossapidoksi, joka kuvaa hyvin sen luonnetta: kunnossapitotoimet kohdistetaan laitteelle silloin, kun sen kunto havaitaan heikentyneeksi erilaisten mittausten tai havaintojen perusteella (Swanson 2001, s. 238; Pariazar et al. 2008, s. 4322). Yleisesti käytettäviä mittauksia ja havainnointimenetelmiä ovat mm. tärinään, lämpötilaan ja prosessiparametreihin liittyvät mittaukset sekä voiteluaineanalyysit (Prasanna et al. 2011, s. 1514; Swanson 2001, s. 2001).

Ennustava ja kuntoon perustuva kunnossapito voidaan toisaalta myös käsittää erillisiksi kunnossapitolajeiksi. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitotoimenpiteen välitöntä suorittamista monitorointidatan perusteella, kun taas ennustavalla kunnossapidolla korostetaan kykyä ajoittaa kunnossapitotoimenpide optimaalisesti kohteen suorituskyvyn heikentymisen, tuotantoaikataulun ja resurssien suhteen (Wang et al. 2007, s. 154; Bevilacqua & Braglia 2000, s. 73). Tässä työssä ennustava ja kuntoon perustuva kunnossapito käsitetään kuitenkin yhdeksi kokonaisuudeksi.

Ennustava kunnossapito on tehokkainta, kun sitä sovelletaan kohteisiin, johon mittausmenetelmät soveltuvat parhaiten. Mittaustekniikkaa on erityisesti kehitetty pyörivien ja edestakaisin liikkuvien laitteiden ja koneenosien – kuten turbiinien, pumppujen ja kompressorien – seurantaan (Pariazar et al. 2008, s. 4322). Ennustavan kunnossapidon tehokkuus perustuukin pitkälti monitorointitekniikan soveltumiseen kohteelle ja saatavan mittausdatan oikeaan tulkitsemiseen. Mittaustekniikan rajoitukset ja kerättävän mittausdatan puutteellisuus ja laatu heikentävät ennustavan kunnossapidon tehokkuutta (Al-Najjar & Alsyouf 2003, s. 86).

Ennustavan kunnossapidon kiistämätön hyöty on, että kunnossapitotoimenpiteet voidaan ajoittaa juuri ennen kohteen toiminnallista vikaantumista sekä kohdistaa oikeisiin komponentteihin. Ylimääräistä kunnossapitoa ei tällöin tehdä, toisin kuin ennakoivan kunnossapidon strategiassa.

## 2.8.4 TPM – Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito

Kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon toimintamallin eli TPM:n (*Total Productive Maintenance*) lähtökohtana on luoda laitteille ja toiminnoille mahdollisimman hyvä suorituskyky ja tehokkuus optimaalisilla toimintaolosuhteilla (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 304; Järviö 2007, s. 111). TPM:n toimintamalli alkoi kehittyä 70-luvulla Japanissa, ja sen luojana tunnetaan Seiici Nakajima (McKone & Weiss 1998, s. 337; Järviö 2007, s. 111). Nakajiman mukaan TPM-ohjelma perustuu viidelle peruspilarille (katso Willmott & McCarthy 2001, s. 62; Järviö 2007, s. 111):

- laitteiden tehokkuutta laskevien häviöiden vähentäminen suunnittelulla ja toimintavaroilla
- olemassa olevan ehkäisevän ja ennustavan kunnossapidon parantaminen
- vaatimustasojen määrittäminen koulutettujen käyttäjien suorittamille huolloille ja puhdistuksille
- henkilöstön taitojen ja motivaation edistäminen koulutuksella
- ehkäisevien kunnossapitotoimien käyttöönotto ja suunnittelun kehittäminen

TPM-toimintamalli käsitetään myös aggressiivisen kunnossapidon malliksi, sillä jatkuva laitteiden suorituskyvyn parantaminen - eikä pelkästään ylläpitäminen - on sen keskeinen tavoite (Swanson 2001, s. 238). Toimintamallissa käytetään mittarina erityisesti kokonaistehokkuutta (*KNL, OEE*), ja tavoitteena onkin minimoida kokonaistehokkuusluvun muodostaviin *käytettävyyteen, laatuun* ja *nopeuteen* vaikuttavat häiriöt. Nämä häiriöt voidaan jakaa tarkemmin kuuteen merkittävään häviöön (*”the six major losses”*) (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 304; Swanson 2001, s. 239):

- laitteen vikaantumiseen,
- ylimääräisiin asennuksiin ja säätöihin,
- käynnin keskeytyksiin,
- alhaiseen tuotantonopeuteen,
- prosessihäiriöihin ja
- alhaiseen tuottoon

Eri tasojen käyttö-, suunnittelu- ja kunnossapitohenkilöstön yhteistyön korostaminen on kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon tunnistettavin erityispiirre, ja TPM-toimintamallia kutsutaankin tämän vuoksi myös kumppanuuslähtöiseksi malliksi (*engl. partnership approach*) (Swanson 2001, s. 239). Ajatuksena on, että esimerkiksi käytön ja kunnossapidon työntekijät kannustetaan toimimaan yhdenvertaisina, jolloin saadaan osaamista ja kokemusta molemmista ryhmistä kokonaistehokkuuden parantamiseksi. Resurssit kohdistetaan ensisijaisesti henkilöstön kouluttamiseen ja toimintatapojen kehittä-

miseen. Osaava henkilöstö, oikeat toimintatavat ja koneille optimoidut toimintaolosuhteet puolestaan parantavat fyysisen käyttöomaisuuden suorituskykyä, nostattaen siten kokonaistehokkuutta (Ahuja & Khamba 2008, s. 745).

TPM:n käyttöönottamiseksi ei ole yksityiskohtaisia ohjelmia, sillä yritysten toimintavoissa, henkilöstön rakenteessa, johtamismalleissa, tavoitteissa ja tuotantoprosesseissa on paljon eroja. Asiantuntijat ovat esittäneet erilaisia kehyksiä TPM:n jalkauttamiseksi ja mukauttamiseksi yrityksille sopivaksi. Kehitettyjä malleja yhdistää pyrkimys selkeyttää prosessia jakamalla TPM:n käyttöönotto eri vaiheisiin ja askelmiin (Ahuja & Khamba 2008, s. 726).

Eräs kehys tuottavan kunnossapidon kehitysohjelman luomiselle perustuu kolmeen vaiheeseen ja yhdeksään askelmaan, joiden avulla TPM-toimintamalli pyritään räätälöimään yritykselle sopivaksi. Kehitysohjelman vaiheet ovat *mittausvaihe*, *kuntovaihe* ja *kehitysvaihe* (Willmott & McCarthy 2001, s. 65; Järviö 2007, s. 113). TPM-menetelmä otetaan aluksi kokonaisuudessaan käyttöön vain pienelle osalle järjestelmän laitteista. Todennettujen onnistuneiden tulosten jälkeen voidaan menetelmä kohdistaa seuraaville laitteille. Ensimmäisenä käsittelyyn otetaan yleensä eniten kunnossapitoa vaativat tai vaikeasti kunnossapidettävät kohteet (Järviö 2007, s. 87). Tässäkin asiassa korostuu kunnossapidon resurssien keskittäminen tärkeisiin kohteisiin, joilla on olennainen merkitys prosessin käytettävyyden sekä kunnossapidon työmäärän ja kustannusten suhteen.

*Mittausvaihe* perustuu laitehistorian tietojen keräämiseen. Erityisesti kokonaistehokkuuden laskemiseen tarvittavan tiedon (käytettävyys, suorituskyky, laaduntuottokyky) selvittäminen on tärkeää, ja tämä onkin ensimmäinen askel. Vikahistoria ja laitteen käytössä havaitut ongelmat antavat tietoa kunnossapitotoimenpiteiden valintaan sekä toimivat myöhemmin vertailukohtana toimenpiteiden vaikutuksille. Toinen askel mittausvaiheessa on kokonaistehokkuuden selvittäminen. Kolmas askel on kokonaistehokkuuteen vaikuttavien häviöiden arvioiminen. Häviöiden aiheuttajat löytämällä voidaan kehittää keinoja kokonaistehokkuuden parantamiseksi (Willmott & McCarthy 2001, s. 79).

Willmottin ja McCarthy (2001) mukaan neljäs askel, eli kriittisyyden arviointi kuuluu *kuntovaiheeseen*. Kriittisyyden arvioinnin tarkoitus on löytää tarkasteltavasta kohteesta tärkeimmät laitteet, jolloin käytössä olevat resurssit voidaan priorisoida näille kohteille. Kriittisyyden arvioinnissa voidaan ottaa huomioon mm. laitteen toiminnan vaikutus prosessin käytettävyyteen, laatuun, työturvallisuuteen ja kustannuksiin. Kuntovaiheen seuraavat kaksi askelta käsittävät arvioinnin laitteiden kunnosta ja tehtävistä toimenpiteistä, kunnostussuunnitelman laatimisen sekä vastuuhenkilöiden ja aikataulun määrittämisen. Kuntovaiheen viimeinen askel on uusien kunnossapitosuunnitelmien ja huolto-ohjelmien laatiminen sekä kunnossapitajien ja käyttöhenkilöstön kouluttaminen.

Järviön (2007, s. 114) käsittelemässä mallissa kuntovaihe tulee ennen mittausvaihetta, jolloin kriittisyyden arvioinnin tuloksien perusteella voidaan keskittää laitetietojen kerääminen jo havaituille tärkeille laitteille. Kattava kriittisyyden arviointi vaatii kuitenkin itessään jo tietoja laitteiden historiatiedoista, joten vaiheiden järjestyksellä ei ole suurta merkitystä.

Kaksi viimeistä askelta kuuluvat *kehitysvaiheeseen*. Niihin kuuluvat ongelmanratkaisu sekä projektin aikana suunniteltujen toimintatapojen käyttöönotto. Ongelmanratkaisussa pyritään vaikuttamaan toimintaa heikentäviin syihin. Tärkeää on kuitenkin ymmärtää, että ongelmat eivät ole pelkästään koneperäisiä, vaan parannettavaa löytyy myös koneiden käyttäjien ja kunnossapitäjien toimintatavoista. Koulutus on siten tässä vaiheessa avainasemassa (Willmott & McCarthy 2001, s. 99; Järviö 2007, s. 115).

Onnistuneesta TPM-ohjelmasta saatavat edut ovat monipuoliset: parantuneen tehokkuuden, käytettävyyden, tuottavuuden ja laadun lisäksi työ- ja ympäristöturvallisuusriskit pienenevät. Myös työilmapiiri, eri sidosryhmien yhteistyö ja työmotivaatio paranevat (Ahuja & Khamba 2008, s. 745; Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 306). Monissa tutkimuksissa ja raporteissa (Windle 1993; Koelsch 1993; Teresko 1992; Suzuki 1992) TPM-ohjelman onnistuneesti käyttöönottaneet yritykset ovat saavuttaneet prosentuaalisesti merkittäviä parannuksia mm. käytettävyydessä, vikojen ehkäisemisessä, laadussa ja kunnossapitokustannuksissa (katso Ahuja & Khamba 2008, s. 746).

Kokonaisvaltaisessa tuottavassa kunnossapidossa on kuitenkin omat haasteensa ja heikkoutensa. Waeyenberghin ja Pintelonin (2002, s. 304) mukaan TPM-toimintamalli on luonteeltaan enemmän liikkeenjohdollinen ajattelutapa kuin yksityiskohtainen kunnossapidon toimintamalli. Vaikka TPM:ssä kunnossapidon osuus onkin merkittävä, tähtää se myös paljon kunnossapitoa laajempaan kokonaisuuteen. Se ei esimerkiksi esitä selkeää tapaa valita yksittäiselle kohteelle jotakin tiettyä kunnossapitolajia tai –suunnitelmaa. TPM:n rakentuessa vahvasti kokonaistehokkuuden optimoimiseksi myös kustannusnäkökulma saattaa jäädä vajavaiseksi. Järviö (2007, s. 112) tosin toteaa, että kokonaistehokkuutta ja luotettavuutta lisäämällä vähennetään vaikeasti mitattavien kustannusten aiheuttajia, jolloin todelliset kustannukset ja hyödyt on helpompi arvioida. Koska päätöksenteko perustuu pitkälti kokonaistehokkuuden muodostumiseen, kokonaistehokkuuden laske-miseksi tarvitaan hyviä ja luotettavia mittareita ja analyysejä, joiden luominen ja ylläpitäminen on usein haastavaa (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 9).

Kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon malli perustuu laatuohjelmiin ja koko yrityksen toimintatapojen kehittämiseen, mikä usein johtaa suureen muutokseen yrityksen tavoissa ja kulttuurissa. TPM:n toimintamalli joudutaan räätälöimään jokaiselle yritykselle yksilöllisesti, ja tämän vuoksi TPM:n mukaiseen toimintamalliin siirtyminen onkin pitkä ja mittava projekti, joka vie useita vuosia. Mikäli projektiin ei varata tarpeeksi resursseja



ja aikaa, eikä sen läpivientiin sitouduta, TPM-mallin käyttöönotto voi helposti epäonnistua. Järviön (2007, s. 121) mukaan on arvioitu, että 2 projektia kolmesta TPM-ohjelman läpiviemiseksi epäonnistuu täysin tai osittain.

### 2.8.5 RCM – Luotettavuuskeskeinen kunnossapito

RCM-menetelmä (*Reliability Centered Maintenance*) sai alkunsa lentokoneiden luotettavuuden ja huoltoon soveltuvan ennakoivan kunnossapidon kehittämishankkeesta 1960-luvulla. Stanley Nowlanin ja Howard Heapin vetämä työryhmä huomasi, että ennakoivilla kunnossapitotoimenpiteillä ei pystytty parantamaan kaikkien laitteiden luotettavuutta, sillä vikaantuminen ei aina ole ainoastaan ajasta riippuvaa. Työryhmä löysi erilaisia vikaantumismalleja, joiden perusteella huolto-ohjelmia suunniteltiin uusiksi. United Airlines laati työryhmän tulosten pohjalta raportin, joka antoi suuntaviivat siviili-ilmailun huolto-ohjelmien suunnitteluun. John Moubrey kehitti 1980-luvulla RCM-menetelmää soveltumaan teollisuuden tarpeisiin (Järviö 2007, s. 124; Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 302). Nimensä mukaisesti luotettavuuskeskeinen kunnossapito on ollut suosiossa korkeaa laitteiden ja järjestelmien luotettavuutta vaativilla aloilla, kuten ilmailussa, offshore- ja ydinvoimateollisuudessa (Rausand 1998, s. 121).

Smithin ja Hinchcliffen (2004, s. 66) mukaan RCM-menetelmällä on neljä keskeistä päämäärää:

- järjestelmän toiminnon takaaminen
- toimintoon vaikuttavien vikaantumismuotojen tunnistaminen
- järjestelmän osien ja vikamuotojen priorisointi
- ehkäisevien kunnossapitotoimenpiteiden valitseminen tärkeille komponenteille niiden vikaantumisen estämiseksi

Lisäksi Moubrey (1997) määrittää RCM:n tavoitteiksi myös koneiden käyttäjien kouluttamisen kriittisten vikaantumisten huomaamiseksi, sekä vikaantumista varten toimintaohjeiden laatimisen laitteille, joille ei pystytä määrittämään toimivaa ehkäisevän kunnossapidon menetelmää. Moubrey mainitsee myös kustannusnäkökulman, sillä kohdistamalla kunnossapito oikein voidaan laskea kunnossapitokustannuksia ja parantaa toiminnan tuottavuutta ja luotettavuutta (katso Järviö 2007, s. 125).

RCM-menetelmä pyrkii korjaamaan perinteiset ongelmat ehkäisevän kunnossapidon suunnittelussa. Tehokkaiden menetelmien ja työkalujen puutteessa jaksotettua kunnossapitoa tehdään tyypillisesti liikaa, Moubreyn mukaan jopa 40 %. Usein jaksotettua huoltoa tehdään täysin koneen valmistajalta saatujen suositusten varassa, jotka eivät kuitenkaan perustu kokemuksesta saatuun tietoon. Kun kone joudutaan avaamaan tarkastusta varten tai sille tehdään jaksotettu huolto, on aina olemassa riski, että vikaantumisen todennäköi-

syys nousee. Kunnossapidon kohdistamisessa on myös ongelmia, sillä kunnossapitotoimia ei osata priorisoida kohteisiin, joissa niistä saataisiin suurin hyöty käytettävyyteen ja siten kustannuksiin nähden (Järviö 2007, s. 123; Rausand 1998, s. 122).

Kuten TPM-toimintamallin läpivientiin, myös RCM-menetelmän toteuttamiseen on esitetty eri lähteissä erilaisia malleja. Mallit noudattavat kuitenkin samanlaista kaavaa; aluksi valmistaudutaan menetelmän käyttöönottoon ja varataan resurssit sekä rajataan tarkasteluun otettava alue, minkä jälkeen siirrytään kerättyjen tietojen pohjalta analysoimaan sekä priorisoimaan järjestelmässä esiintyviä toimintoja, laitteita ja vikaantumisia. Lopulta tärkeimpiin kohteisiin suoritetaan tarkempi analyysi, jonka perusteella pyritään valitsemaan kohteelle kunnossapito-ohjelma, jolla vikaantumiset estetään. Viimeisenä vaiheena on RCM-menetelmän käyttöönotto ja jatkuva seuranta (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 71; Rausand 1998, s. 122; Järviö 2007, s. 132).

Esimerkkinä tarkemmasta RCM-menetelmän läpiviennistä voidaan antaa Rausandin (1998, s. 122) esittämä malli, joka koostuu 12 eri vaiheesta:

1. Valmistautuminen, resurssien varaaminen, tiedon hankinta
2. Kohteen rajaus, analyysin tason määrittäminen
3. Valitun kohteen toimintojen määrittäminen ja toimintoon vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen
4. Kriittisten kohteiden tunnistaminen ja valinta
5. Tiedon kerääminen ja analysointi valituista kriittisistä kohteista
6. Vikaantumistapojen ja vikojen vaikutusten arviointi ja priorisointi
7. Kunnossapitotoimenpiteiden ja huoltotehtävien valinta
8. Kunnossapitotoimenpiteiden ajankohdan määrittäminen
9. Ehkäisevien kunnossapitotoimenpiteiden arviointi
10. Ei-kriittisten laitteiden käsittely
11. Järjestelmän käyttöönotto
12. Tiedon kerääminen ja jatkuva parantaminen

*Vaihe 1:* Projektin ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan hanketta vetävä ryhmä, joka muodostetaan sekä kunnossapito- että käyttöpuolen henkilöistä, tyypillisesti esimies- tai johtotasolta (Järviö 2007, s. 132). Projektille määritetään tavoitteet, sekä varmistetaan että tarvittavat tiedot menetelmän läpiviemiseen ovat saatavilla (Rausand 1998, s. 122).

*Vaihe 2:* RCM-menetelmän kohdealueeksi tulee rajata sellainen järjestelmä tai järjestelmän osa, jossa menetelmästä saatava hyöty on suurin, sillä menetelmän toteutus vaatii huomattavan panostuksen resurssien puolesta. Toisin sanoen, menetelmä tulisi ottaa käyttöön sellaisissa kohteissa, jotka työllistävät eniten kunnossapidollisesti tai joilla on suurin

vaikutus käytettävyyteen (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 134). Kohdetta rajatessa määritetään myös tarkasteltava taso: esimerkiksi tehdas-, järjestelmä-, osajärjestelmä- tai laite-taso. Yleensä järjestelmätaso nähdään luontevana ratkaisuna (Rausand 1998, s. 123).

*Vaihe 3:* Toimintojen määrittämisen tarkoituksena on saavuttaa ymmärrys tarkasteltavan järjestelmän osien toiminnoista, niiden vaatimuksista ja suhteesta muihin toimintoihin. Hyvänä työkaluna järjestelmän kokonaiskuvan hahmottamisessa ja toimintojen määrittämisessä voidaan pitää PI-kaavion, virtauskaavion tai luotettavuuslohkokaavion käyttöä (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 139).

Järjestelmässä esiintyvät toiminnot voidaan jakaa niiden luonteen mukaisesti eri luokkiin; päätoiminnot liittyvät suoraan järjestelmältä tai sen osalta vaadittuun tehtävään (pumpulla esimerkiksi nesteen pumppaus), sivutoiminnot liittyvät päätoiminnon suorittamisen mahdollistamiseen, suojaavat toiminnot estävät järjestelmän tai sen käyttäjän vahingoittumisen. Luokittelutapa voi vaihdella, mutta tärkeintä on tunnistaa kaikki järjestelmältä haluttuun tarkoitukseen liittyvät toiminnot (Rausand 1998, s. 124).

Kun toiminnot on tunnistettu ja selvitetty, määritetään ne vikaantumistavat, jotka estävät toimintojen toteutumisen. Vikapuun muodostaminen luotettavuuslohkokaavion perusteella on eräs työkalu, jolla toiminnalliset viat saadaan selvitettyä (Brauer 1987, s. 18; Rausand 1998, s. 125). Viat voidaan tässä vaiheessa myös pisteyttää esimerkiksi niiden vaikutuksen perusteella käytettävyyteen, kustannuksiin ja turvallisuuteen. Mikäli jokin toiminnallinen vikaantuminen havaitaan vaikutuksiltaan pieneksi, se voidaan jättää pois tarkemmasta analyysistä (Rausand 1998, s. 125).

*Vaihe 4:* Kriittisten kohteiden valinta voidaan suorittaa edellisessä vaiheessa vikaantumismallien luokituksen yhteydessä, mutta usein RCM-menetelmän läpiviennissä kriittisyystarkastelu tehdään omana vaiheenaan (Rausand 1998, s. 125). Kriittisyystarkastelun tarkoituksena on löytää järjestelmän toiminnon ja kunnossapidon kustannusten kannalta merkittävät laitteet. Järjestelmältä vaadittavan toiminnon kannalta kriittiset kohteet saadaan selville hyödyntämällä edellisessä vaiheessa saatuja tietoja toiminnallisista vikaantumisista. Kunnossapidollisesti merkittävät kohteet tunnistetaan vertailemalla kohteiden kunnossapidettävyyttä, kunnossapitokustannuksia, vikojen määrää ja ulkoisen työvoiman tarvetta. Yhdessä nämä toiminnon ja kunnossapidon kustannusten kannalta merkittävät kohteet muodostavat *kunnossapidollisesti merkittävät kohteet*. Kohteet valitaan usein käyttäen apuna vikapuuanalyysia, kriittisyysluokittelua tai vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiä (Brauer 1987, s. 18).

*Vaiheet 5 ja 6:* Kun toiminnalliset viat ja kunnossapidollisesti merkittävät kohteet on tunnistettu, pyritään vikaantumismuodot luokittelemaan niiden tärkeyden mukaan, jotta kunnossapitotoimenpiteet voidaan kohdistaa merkittävimpien vikojen ehkäisemiseksi. Usein

on tarpeellista hankkia lisää tietoa valituista kohteista ennen vikaantumismallien ja kunnossapitotoimenpiteiden tarkempaa analysointia. Vikaantumismallin huomioimisen lisäksi tärkeitä tietoja ovat mm. käytettävyyteen liittyvät tekijät, kuten keskimääräinen vikaantumis- ja korjausaika (Rausand 1998, s. 125). Brauer (1987, s. 19) esittää vikapuun kvalitatiivisen sekä kvantitatiivisen analysoinnin hyvänä työkaluna myös tässä vaiheessa, jolloin vikojen kriittisyys voidaan esimerkiksi laskea vian todennäköisyyden ja sen seurausten tulona tai tarkastelemalla minimikatkosjoukkoja. Usein vikamuotojen tärkeyden määrittämisessä käytetään apuna vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiä, jonka periaatteet ja toteutus on esitetty tarkemmin luvussa 3.2.

*Vaihe 7:* Kun tärkeimmät viat on saatu selville, pyritään löytämään kunnossapitotoimenpiteet, joilla vikaantuminen voidaan estää. Tärkeää on selvittää, voidaanko vikaantuminen estää tai havaita jollakin ennakoivan kunnossapidon keinolla (Rausand 1998, s. 127). Smith ja Hinchcliffe sisällyttävät tähän vaiheeseen myös kunnossapitotoimenpiteiden keskinäisen vertailun ja arvioinnin; kunnossapitotoimenpiteen tulee olla sekä kohteeseen soveltuva, että kustannustehokas. Soveltuva toimenpide todella estää, vähentää tai havaitsee vikaantumista, kustannustehokas toimenpide on kustannusten ja hyötyjen suhteen paras vaihtoehto valittavissa olevista toimenpiteistä. Ennakoivan kunnossapitotoimenpiteen vaatimat kustannukset eivät esimerkiksi saa olla korkeammat kuin vikaantumisesta johtuvat korjaus- ja epäkäytettävyyskustannukset.

Tärkeää oikeiden kunnossapitotoimenpiteiden valinnassa on tiedon kerääminen useista lähteistä; kokemusperäinen tieto kohteen kunnossapidosta, laitteen käyttö- ja vikahistoriatiedot sekä käyttöhenkilöstön ja koneen valmistajan tiedot on kaikki syytä ottaa huomioon. RCM-menetelmässä kunnossapitotoimenpiteen valintaan kerättyjen tietojen pohjalta käytetään yleisesti päätöslogiikkapuuta, jossa korostetaan käyttäjän havaintoja kohteen vikaantumisesta sekä kunnonvalvonnan menetelmiä (Rausand 1998, s. 129; Brauer 1987, s. 20, Smith & Hinchcliffe 2003, s. 114).

*Vaiheet 8 ja 9:* Rausand sekä Smith ja Hinchcliffe käsittelevät ennakoivan kunnossapidon toimenpiteiden jaksottamisen omana vaiheenaan. Vaikka olemassa onkin lukuisia malleja yksittäisen kunnossapitotoimen optimoimiseen, käytössä olevan rajatun tiedon, järjestelmän käyttövaatimusten ja kunnossapidettävien kohteiden määrän vuoksi yksittäisen toimenpiteen jaksotuksen optimointi jokaiselle laitteelle erikseen on käytännössä usein mahdotonta. Usein käytetäänkin ”huoltopaketteja”, joissa laitteelle suoritetaan samalla kertaa useampi tarkastus- tai huoltotoimenpide.

*Vaihe 10:* RCM-menetelmässä on tähän vaiheeseen mennessä keskitytty kunnossapidollisesti merkittävien kohteiden analysointiin ja kunnossapitotoimenpiteiden määrittämiseen. Muiden kohteiden vikaantumisesta ja kunnossapitoa ei voida kuitenkaan jättää täysin huomiotta. Rausandin (1998, s. 129) mukaan ei-kriittisten laitteiden osalta on syytä suorittaa kustannusanalyysi, joka saattaa paljastaa kustannuksiltaan korkean kohteen muiden

joukosta, jolloin kyseinen kohde on mahdollisesti syytä ottaa menetelmän muihin vaiheisiin mukaan.

*Vaiheet 11 ja 12:* Uuden kunnossapito-ohjelman käyttöönoton yhteydessä on syytä varmistaa kunnossapidon ja käytön henkilöstön riittävä osaamistaso, mikäli uusia työtehtäviä on määritetty ohjelmaan. Tarvittaessa mahdollisten turvallisuusriskien tunnistamiseksi voidaan käyttää erilaisia analyysimenetelmiä, kuten poikkeamatarkastelua (*HAZOP*) tai toimintovirheanalyysiä (Rausand 1998, s. 130).

Toiminnan jatkuvan kehityksen kannalta on tärkeää kerätä käytettävyystietoa järjestelmästä, ja verrata sitä aikaisempaan. Tällöin voidaan tehdä muutoksia mm. ennalta ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteiden jaksotukseen sekä itse toimenpiteisiin. Jokaisen merkittävän vikaantumisen yhteydessä on syytä verrata tapahtunutta vikaantumista aikaisemmin tehtyihin vika- ja vaikutusanalyysihin, ja pohtia tarvitseeko kunnossapito-ohjelmaa muuttaa (Rausand 1998, s. 130).

RCM-menetelmän läpiviennin hyötyjä luotettavuuden parantamisen ohella ovat muun muassa (Brauer 1987, s. 17):

- laadukkaiden kunnossapitosuunnitelmien kehittäminen selkeiden työkalujen ja analyysien avulla
- kun laitteiden kunnossapitosuunnitelmat on laadittu ja dokumentoitu perusteellisesti, kunnossapitosuunnitelman kehittäminen vastaavanlaisille laitteille on tulevaisuudessa helpompaa
- kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelussa on otettu huomioon kaikki kriittisiin laitteisiin ja järjestelmän toimintoihin vaikuttavat vikamuodot
- kunnossapitoresurssien optimoitu kohdistaminen
- kommunikoinnin ja ymmärryksen edistäminen yrityksen henkilöstötasojen välillä

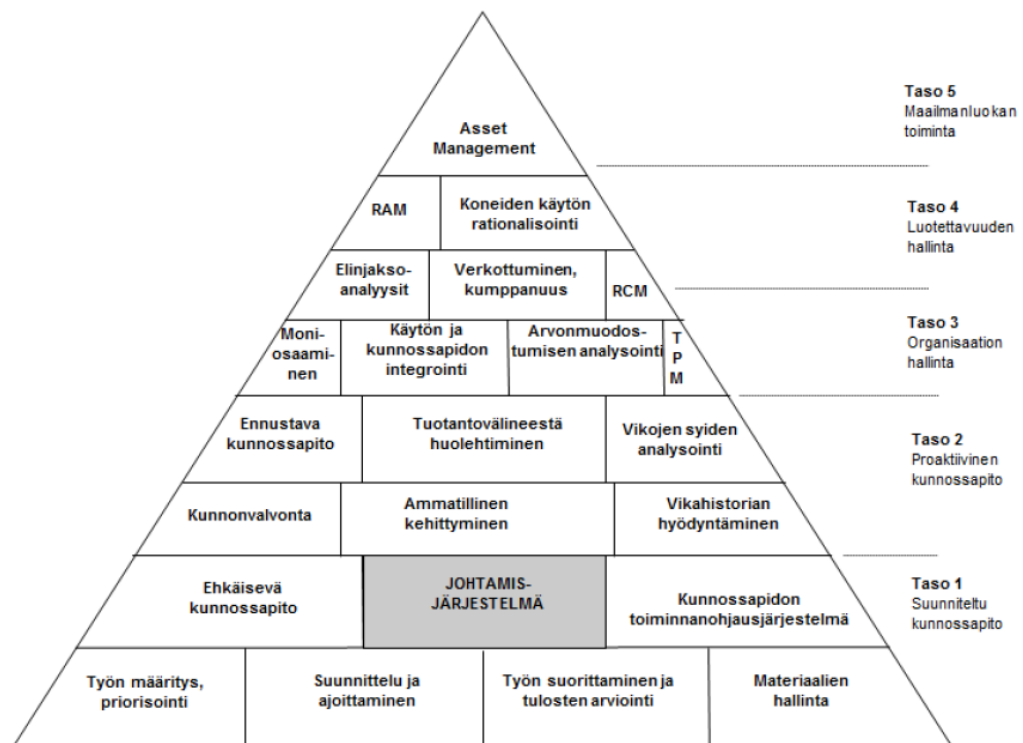
Ehkäisevien kunnossapitotoimenpiteiden tehokkaan kohdistamisen seurauksena rutiininomaisten työtehtävien määrän on mitattu putoavan 40 – 70 %. Kannattamattomista töistä luopuminen ja korjaavan kunnossapidon määrän väheneminen johtaa tehokkaampaan kunnossapitotoimintaan (Järviö 2007, s. 131).

Yhtenä RCM-menetelmän heikkoutena nähdään sen suorittamisen vaatimien resurssien ja tarvittavien tietojen määrän suuruus, etenkin monimutkaisemmissa tuotantojärjestelmissä. Piilevien vikojen ja monimutkaisten vikayhdistelmien tunnistaminen voi olla haastavaa, jolloin onkin tarvittaessa päivitettävä kunnossapitosuunnitelmaa, mikäli tällaisia vikoja ilmenee. Nimensä mukaisesti luotettavuuskeskeinen kunnossapito pohjautuu vahvasti juuri luotettavuuden maksimointiin, eikä kunnossapidettävyyttä tai kustannustehokkuutta tule välttämättä huomioitua tarpeeksi, vaikka ne usein ovatkin hyvän käytettävyy-

den ja luotettavuuden osatekijöinä ja seurauksina. Luotettavuuden korostaminen on loogisesti järkevää teollisuudessa, jossa riskit ovat suuria, kuten lentokone- ja ydinvoimateollisuudessa, mutta RCM-menetelmä voi muussa teollisuudessa osoittautua liian kalliiksi menetelmäksi (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 303).

## 2.8.6 Muita kehysmalleja; Asset Management ja Business Centered Maintenance

Asset Managementin tavoitteena on määrittää vaadittava kunnossapidon ja laitteiden toiminnan taso yrityksen liiketoiminnallisten tavoitteiden pohjalta, niin että kustannuksia syntyy mahdollisimman vähän. Toimintamallissa korostuu kaikkien kunnossapidon eri osa-alueiden huomioon ottaminen. Kunnossapidon tasoa kuvataan Asset Managementissa pyramidin avulla, joka on esitetty kuvassa 2.16 (Järviö 2007, s. 94).



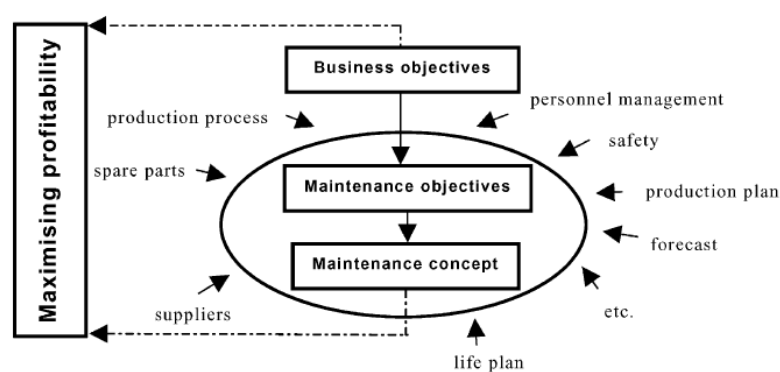
**Kuva 2.16: Kunnossapidon tasot Asset Management -toimintamallin mukaisesti (Järviö 2007, s. 94)**

Kuten pyramidin eri tasoista voidaan nähdä, Asset Management kokoaa eri kunnossapidon osa-alueista ja kehitysmalleista (esim. RCM-, TPM- ja elinjaksomalli) etenemismallin kohti *maailmanluokan toimintaa*. Asset Management koostuu 5 vaiheesta, joiden tarkoituksena on nostaa kunnossapito korkeimmalle tasolle, noudattaen pyramidissa esitettyä järjestystä (Järviö 2007, s. 94).

Kunnossapidon kehitysprojekti aloitetaan Asset Managementissa kunnossapidon nykytilan kartoittamisella ja tarkasteltavan järjestelmän todellisen kunnossapitotarpeen määrittämisellä. Tähän sisältyy mm. laitehierarkioiden luonti, jonka tarkoituksena on arvioida prosessin tai laitteiden kriittisyys, esimerkiksi seisokista aiheutuvien kustannusten perusteella. Työkaluna voidaan käyttää esim. vika- ja vaikutusanalyysiä. Kohteen kunnossapitostrategian valinta suoritetaan laitteen jälleenhankinta-arvon ja kriittisyyden perusteella, pyrkimyksenä kohdistaa kunnossapidon resurssit kohteisiin, joiden seisokin aiheuttamat kustannukset ja laitteiden hinnat ovat korkeat (Järviö 2007, s. 97).

Kuten voidaan havaita, Asset Management käyttää samoja menetelmiä kuin RCM- ja TPM-toimintamalli. Eräs Asset Managementin erityispiirre on kuitenkin kunnossapidon määrän ja laadun säätely. Tiivistettynä tämä tarkoittaa sitä, että kohteen luotettavuudelle asetetaan tavoitteet tuotantotavoitteiden perusteella. Halutun luotettavuustavoitteen perusteella ohjataan kohteeseen optimoitu määrä kunnossapitoa, jolloin tuotantotavoite pyritään saavuttamaan kunnossapidon optimikustannuksilla (Järviö 2007, s. 98).

Asset Management pyrkii siis suhteuttamaan kunnossapidon määrän ja laadun yrityksen tuotantotavoitteisiin. BCM-toimintamalli (*Business Centered Maintenance*) perustuu samalle ajatukselle; kunnossapidon tavoitteet luodaan tunnistettujen liikkeenjohdollisten tavoitteiden pohjalta. Tavoitteena on kunnossapidon tuottavuuden maksimointi, mikä on selkeä ero RCM-konseptiin, joka pyrkii teknisen suorituskyvyn maksimoimiseen. BCM-toimintamallin perusajatus on esitetty kuvassa 2.17 (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 303).



**Kuva 2.17: BCM-lähestymistapa (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 303)**

BCM-konsepti vaatii paljon tarkkaa informaatiota itse tuotantojärjestelmän, -prosessin ja -laitteiden lisäksi tuotannon ohjauksesta ja suunnittelusta, sidosryhmistä sekä tulevaisuuden näkymistä. Tuotantolaitoksen toiminnot eritellään omiksi yksiköiksi, joiden kunnossapitotarve määritellään lukuisten muuttujien perusteella. Vaikka BCM-menetelmässä pyritäänkin määrittämään kunnossapitokonsepti käytännönläheisesti, muuttuu lähestymistapa helposti erittäin raskaaksi informaatiotarpeen ja tuotantolaitoksen toimintojen keskinäisten monimutkaisten vuorovaikutusten vuoksi (Waeyenbergh & Pintelon 2002,

s. 303). BCM-ajatusmalli kuvaa kuitenkin hyvin kasvavaa ymmärrystä kunnossapidon roolista tuottavuuden lisääjänä ja kilpailuedun tekijänä.

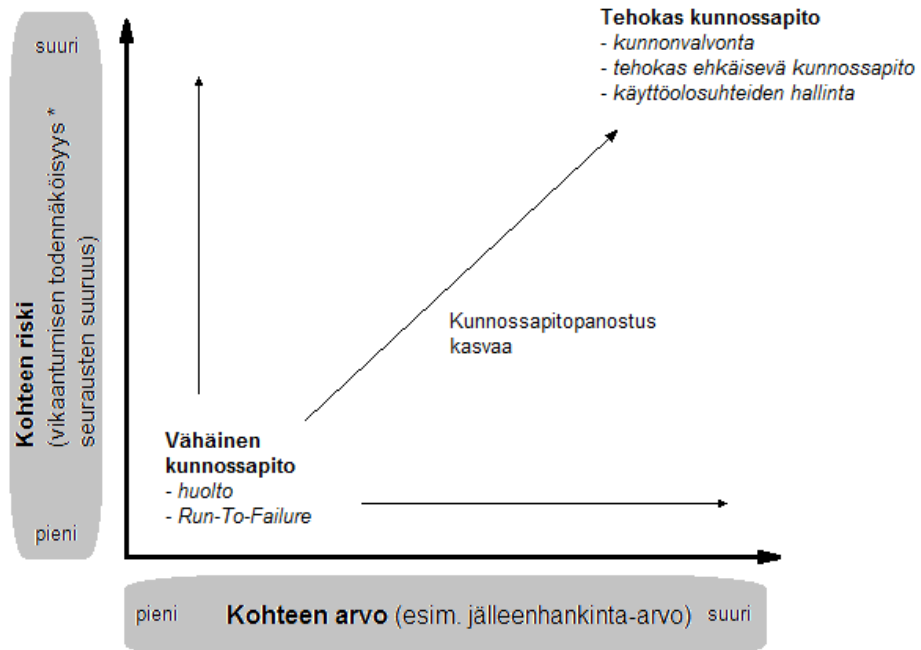
## 2.9 Kunnossapitostrategian luonti

Kunnossapitostrategian tulee vastata yrityksen määrittämiä sekä liikkeenjohdollisia että kunnossapidollisia tavoitteita, jotta kunnossapito olisi tehokasta ja tuottoisaa (Pinjala et al. 2006, s. 215). Edellä kunnossapidon tavoitteeksi määritettiin laitteiden hyvä käyttövarmuus sekä tuotannon kokonaistehokkuus, saavuttaen nämä optimikustannuksilla. Kunnossapitotoimenpiteiden kohdistamiseen ja valitsemiseen on olemassa runsaasti kehysmalleja ja kehittyneempiä työkaluja, kuten TPM- ja RCM-menetelmät. Kehittyneemmät työkalut on kuitenkin rakennettu vastaamaan tiettyjä yrityksen tavoitteita sekä soveltumaan tiettyihin järjestelmiin, prosesseihin, tekniikkaan ja laitteisiin. Tämän vuoksi monet yrityksen pyrkivät tänä päivänä luomaan oman, omaan toimintaansa sopivan kustomoidun kunnossapitokonseptin. Tunnetut ja yleisesti käytetyt menetelmät tarjoavat kuitenkin hyviä ideoita ja toimintamalleja kunnossapidon kehittämiseksi (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 302).

Sekä TPM-, että RCM-toimintamallissa kunnossapidon kehittäminen aloitetaan tärkeäksi koetuista järjestelmän osista tai laitteista, ja haluttujen tulosten synnyttyä menetelmää voidaan soveltaa järjestelmän muihin osiin (Järviö 2007, s. 124). TPM-toimintakehys perustuu pitkälti hyvän toimintaympäristön ja oikeiden työmenetelmien luontiin sekä käytön ja kunnossapidon yhteistyön rakentamiseen, kun taas RCM-menetelmässä keskitytään varsinaisten kunnossapitotoimenpiteiden määrittämiseen ja kohdentamiseen. Menetelmät ovat erilaisia, mutta täydentävät tehokkaasti toisiaan.

Teollisuudessa käytettävistä koneista ja laitteista vain osa on niin tärkeitä (joidenkin arvioiden mukaan noin 10 %), että niiden kunnossapidon suunnittelu kokonaisuudessaan kehittyneemmillä työkaluilla, kuten RCM-menetelmällä olisi kannattavaa (Järviö 2007, s. 85). Tämän vuoksi TPM- ja RCM-toimintamalleihin onkin sisällytetty järjestelmän tärkeimpien osien tunnistaminen, jotta kehitystyön ja kunnossapidon resursseja voidaan tehokkaammin kohdistaa ja hallita. Yleisesti kohteen kunnossapitopanostus määritetään viikaantumisen todennäköisyyden ja siitä aiheutuvien seurausten mukaan, perustuen siis viikaantumisen aiheuttamaan riskiin. Kunnossapitomenetelmän valintaa on havainnollistettu kuvassa 2.18.





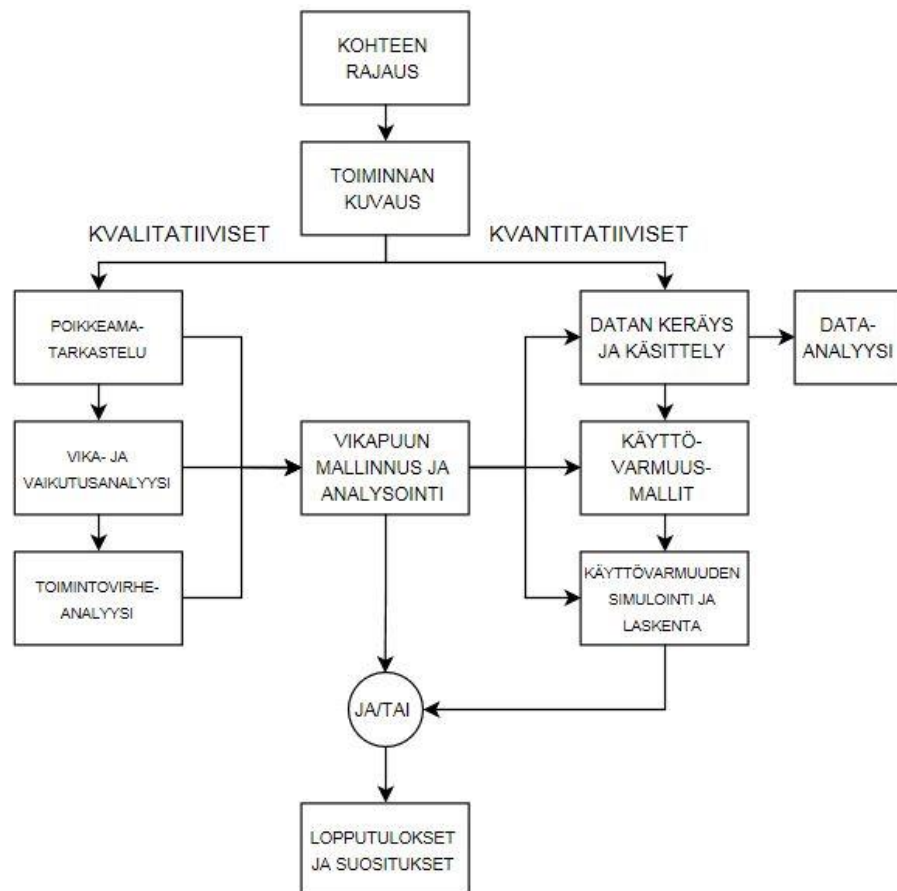
**Kuva 2.18: Kunnossapitomenetelmien valinta (Järviö 2007, s. 86, muokattu)**

Yllättäviä vikaantumisia ja korjaavan kunnossapidon tarvetta ei saada kokonaan poistettua, vaikka proaktiivisia kunnossapitostrategioita käytettäisiinkin tehokkaasti. Syynä on luvussa 2.7 käsitelty vikaantumismekanismien stokastinen luonne. Käyttämällä ehkäiseviä kunnossapitostrategioita ja parantamalla käyttöolosuhteita voidaan vähentää vikaantumisia ja siten myös korjaavan kunnossapidon määrää (Wang et al. 2007, s. 154).

Varsinainen yksittäisen laitteen kunnossapitosuunnitelma on usein yhdistelmä edellä esitettyjä kunnossapitolajeja, joista useat voivat olla yhtä aikaa käytössä. Jotta kunnossapito olisi onnistunutta ja kustannustehokasta, tulee jokaisen kunnossapitolajin vahvuudet ja heikkoudet tuntea sekä ottaa huomioon niiden soveltuminen kohteeseen (Waeyenbergh & Pintelon 2004, s. 395). Pyrkimyksenä on ehkäistä vikaantuminen, ja toisaalta kyetä huomaamaan vikaantuminen ajoissa.

### 3. ANALYYSIMENETELMÄT

Tiukentuneen kilpailutilanteen vuoksi teollisuuden kunnossapidon kehittäminen ja tehostaminen on tullut välttämättömäksi, ja siten myös kunnossapidon priorisointi ja toimenpiteiden ohjaaminen järkevästi on kasvavasti tärkeämmässä asemassa. Teknisten järjestelmien ja laitteiden vioittumista, kunnossapitoa ja käyttäytymistä voidaan tutkia erilaisin luotettavuus- ja käyttövarmuusteknisin analyysimenetelmin. Menetelmien avulla järjestelmän ja sen laitteiden suorituskyvystä ja toiminnasta eri tilanteissa voidaan saada sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista tietoa mm. kunnossapitostrategian määrittämiseksi (Lyytikäinen 1987, s. 9; Backlund & Hannu 2002, s. 77). Käyttövarmuusanalyysin rakenne ja kulku voidaan esittää kuvan 3.1 avulla.



**Kuva 3.1: Käyttövarmuusanalyysin vaiheet (Lyytikäinen 1987, muokattu)**

Käyttövarmuusanalyysin rakenne ja kulku riippuu paljon tarkasteltavan järjestelmän luonteesta ja saatavilla olevista tiedoista. Kvalitatiivisilla menetelmillä pystytään selvittämään järjestelmän esiintyvien vikojen syy-seuraussuhteita ja tapahtumaketjuja. Ylei-

sesti käytettyjä kvalitatiivisia metodeja ovat mm. poikkeamatarkastelu ja vika- ja vaikutusanalyysi. Kvalitatiivisten menetelmien etuna on, että niiden käyttö ei vaadi syvällistä käyttövarmuuskoulutusta, vaan ensisijaisesti hyvää prosessitietoutta (Lyytikäinen 1987, s. 21).

Käyttövarmuusmallit ovat pääsääntöisesti kvantitatiivisia menetelmiä, jotka perustuvat erilaisten tapahtumaketjujen tai järjestelmän tilojen todennäköisyyksien arviointiin. Käyttövarmuusmallien avulla voidaan tunnistaa järjestelmän kannalta kriittisimmät osajärjestelmät, laitteet ja komponentit sekä arvioida eri toimenpiteiden ja ratkaisumallien vaikutusta järjestelmän toimintaan. Yleisesti käytettyjä kvantitatiivisia menetelmiä ovat mm. vikapuumalli, luotettavuuslohkokaavio sekä erilaiset simulointimallit. Käyttövarmuusmallien laadinta vaatii todennäköisyysmatemaattista ja käyttövarmuusteknistä osaamista, ja monimutkaisten järjestelmien mallintamiseen käytetään yleensä myös laskentaohjelmistoja (Lyytikäinen 1987, s. 23).

Tässä luvussa esitettyjen analyysien ja menetelmien tarkoituksena on antaa tietoa järjestelmän käytettävyyteen ja kunnossapitoon merkittävästi vaikuttavista kohteista ja toiminnoista, joihin vaikuttamalla esiintyvät riskit pystytään tehokkaimmin minimoimaan.

### 3.1 Käyttövarmuusmalli

Koska kunnossapidolla on olennainen merkitys prosessin kokonaistehokkuuteen, kunnossapidon suunnittelemiseksi prosessijärjestelmän rakenteen lisäksi on tunnettava sen sisältämien osaprosessien ja komponenttien väliset toiminnot ja riippuvuudet (Rausand 1998, s. 124; Li et al. 2009, s. 7048). Järjestelmästä voidaan luoda käyttövarmuusmalli, joka kuvaa systeemin rakennetta ja toimintaa. Mallin avulla voidaan saatavilla olevien tietojen perusteella mm. tutkia järjestelmän eri osien huoltostrategioiden tai vikaantumiskäyttäytymisen vaikutusta koko systeemin toimintaan, määrittää kohteen optimaalinen huoltoväli tai tunnistaa järjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät kohteet (Kortelainen et al. 1998, s. 87; Lyytikäinen 1987, s. 55).

Lyytikäisen (1987, s. 56) ja Rausandin (1998, s. 125) mukaan tärkeimpiä ja useimmin käytettyjä mallintamismenetelmiä ovat muun muassa:

- käyttövarmuus- ja luotettavuuslohkokaavio
- vikapuuanalyysi
- simulointimallit

Käyttövarmuusmallia laadittaessa järjestelmän rakenteen lisäksi on tunnettava sen toiminta, minkä vuoksi malli laaditaan aina yhteistyössä käyttökäyttäjien kanssa. Järjestelmän käytettävyyden kannalta merkittävimmät laitteet voidaan yksinkertaisissa järjes-

telmissä tunnistaa ilman muodollista tai kaavamaista tarkastelua. Jos järjestelmässä esiintyy paljon redundanttisuutta ja puskureita, tarvitaan merkittävimpien laitteiden tunnistamiseen jotakin yllämainittua formaalia lähestymistapaa (Rausand 1998, s. 125). Tässä tutkimuksessa prosessijärjestelmää tarkastellaan luotettavuuslohkokaavion ja vikapuun avulla.

Luotettavuuslohkokaavio ja vikapuumenetelmä sopivat hyvin yhdessä käyttövarmuusmallin konstruointiin. Luotettavuuslohkokaavio on usein helppo muodostaa PI- tai virtauskaaviosta sekä käyttöhenkilöstöltä saataviin tietoihin perustuen. Luotettavuuslohkokaavion rakenteesta voidaan tunnistaa järjestelmän kokonaistoimintoon vaikuttavat todennäköisimmät häiriöt, joiden syy-seuraussuhteet voidaan puolestaan käsitellä tarkemmin vikapuuanalyysin avulla (Virtanen luentomoniste 2006, s. 17).

### 3.1.1 Luotettavuuslohkokaavio

Luotettavuuslohkokaavio (*engl. reliability block diagram, RBD*) on graafinen kuvaus tarkasteltavasta järjestelmästä, sen osista ja toiminnoista. Se esittää järjestelmän eri osien kytkennän toisiinsa järjestelmältä vaadittavan toiminnon toteutumisen kannalta (Aalto 1997, s. 81; Lyytikäinen 1987, s. 65). Luotettavuuslohkokaaviomenetelmässä järjestelmältä vaadittavan toiminnon käytettävyys johdetaan siis osajärjestelmien käytettävyydestä. Menetelmä on luonnollinen ja looginen kuvaus tarkasteltavasta järjestelmästä (Bourouni 2013, s. 68). Järjestelmän fyysinen rakenne voi kuitenkin olla näennäisesti erilainen kuin sen käyttövarmuusmalli, esimerkiksi luotettavuusteknisesti sarjaan kytkettyjen laitteiden järjestyksellä ei ole käyttövarmuusmallissa väliä (Lyytikäinen 1987, s. 58). Monimutkaiset järjestelmät voidaan pilkkoa pienempiin osajärjestelmiin, joilla jokaisella on oma vaadittava toimintonsa. Yhdessä nämä toiminnot toteuttavat lopulta koko järjestelmältä vaadittavan toiminnon, eli kokonaistoiminnon (Papazoglou 1998, s. 191).

Käytettävyyden määritelmän mukaan järjestelmä, järjestelmän osa, laite tai komponentti (tai yleisesti *kohde*) on käytettävissä, kun sen toiminta on halutulla tasolla, olettaen että ulkoiset resurssit ovat saatavilla. Ulkoisilla resursseilla tarkoitetaan esimerkiksi käyttöenergian tai materiaalin saatavuutta. Koska prosessijärjestelmän osat ovat eri tavoin (esim. materiaalivirta) toisiinsa yhteydessä, yksittäisen osan vikaantuminen voi aiheuttaa toiselle tai useammalle prosessin osalle ulkoisen toimintakyvyttömyystilan (SFS-EN 13306 2010, s. 20). Järjestelmän osaprosessien ja yksittäisten laitteiden kytkennät muodostuvat käytännössä putkilinjoista, kuljettimista ja muista laitteista, joiden avulla materiaalia ja energiaa siirretään osakokonaisuuksien välillä (Tommila et al. 1990, s. 50).

Luotettavuuslohkokaavion avulla järjestelmän osat kuvataan niiden luotettavuusteknisen rakenteensa pohjalta. Lohkokaaviomallissa yksi lohko voi edustaa osajärjestelmää, laitetta, komponenttia tai toimintoa (Lyytikäinen 1987, s. 65). Järjestelmän osat voivat olla

luotettavuusteknisesti toisiinsa nähden joko sarjassa, rinnan tai noudattaen ryhmärinnakkaisrakennetta, eli  $k/n$ -rakennetta (Kortelainen et al. 1998, s. 89).

Kuvan 3.2 lohkokaaviossa on esitetty luotettavuustekninen sarjarakenne. Sarjarakenteisen järjestelmän toiminnan edellytyksenä on jokaisen osajärjestelmän toiminta, eli yksikin järjestelmän osa aiheuttaa vikaantuessaan koko järjestelmän vikaantumisen.

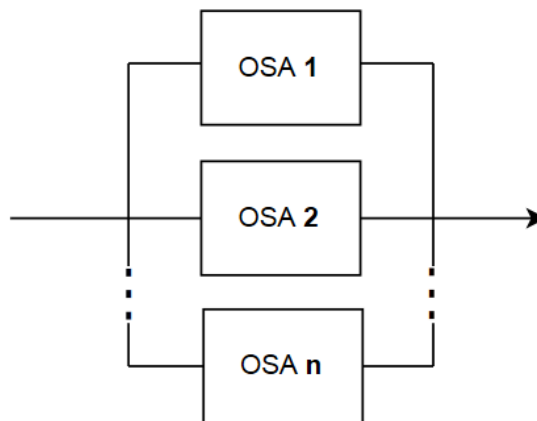


**Kuva 3.2: Sarjarakenteinen järjestelmä**

Sarjarakenteisen järjestelmän käytettävyys  $A_s$  lasketaan sarjarakenteen osien käytettävyyksien tulona kaavan 8 mukaisesti:

$$A_s = A_1 A_2 \dots A_n \quad (9)$$

Sarjarakenteisen järjestelmän käytettävyys on siis aina pienempi kuin yksittäisen osajärjestelmän käytettävyys. Rinnakkaisrakenteisessa järjestelmässä (kts. kuva 3.3) sen sijaan yksikin järjestelmän osa riittää takaamaan järjestelmän toiminnon.

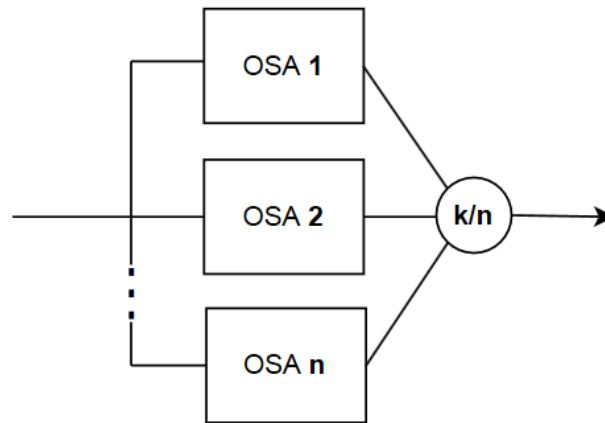


**Kuva 3.3: Rinnakkaisrakenteinen järjestelmä**

Rinnakkaisrakenteisen järjestelmän käytettävyys  $A_r$  lasketaan kaavalla:

$$A_r = 1 - (1 - A_1)(1 - A_2) \dots (1 - A_n) \quad (10)$$

Tällöin rinnakkaisrakenteisen järjestelmän käytettävyys on suurempi kuin sen yksittäisen osan käytettävyys. Eräs rinnakkaisrakenteen muoto on ryhmärinnakkaisrakenne (kuva 3.4), jossa  $n$  kappaleesta rinnan olevia komponentteja vähintään  $k$ :n komponentin on toimittava (Bourouni 2013, s. 69). Rakenteesta käytetään myös nimeä  $k/n$ -rakenne.

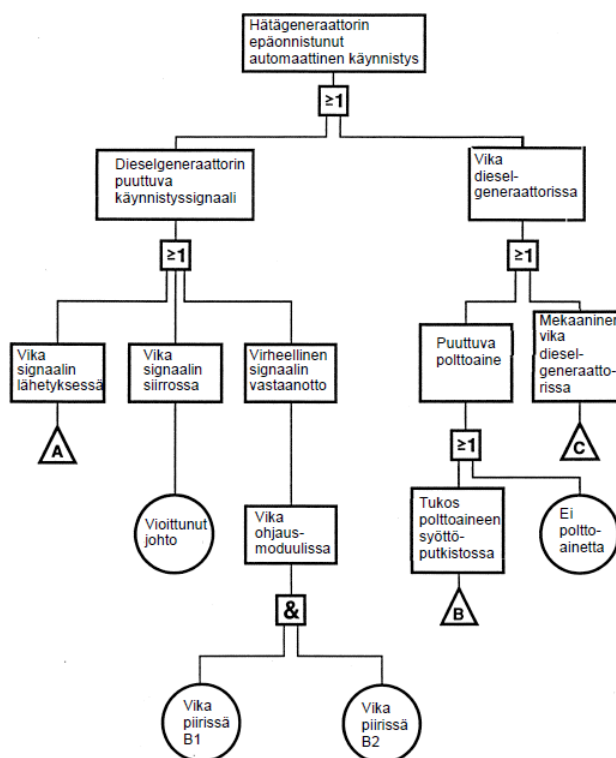


**Kuva 3.4: Ryhmärinnakkais-, eli  $k/n$ -rakenne. Toiminnan edellytys on, että vähintään  $k$  osaa  $n$ :stä mahdollisesta on toiminnassa**

Monimutkaisessa järjestelmässä esiintyy yleensä sarja- ja rinnakkaisrakenteiden yhdistelmiä. Tällöin järjestelmä on pilkottava pienempiin kokonaisuuksiin, jotta osajärjestelmien käytettävyydet voidaan laskea.

### 3.1.2 Vikapuuanalyysi

Vikapuuanalyysin avulla pyritään tunnistamaan ei-toivottuun tapahtumaan johtavat tekijät. Vikapuussa tarkasteltavaa ei-toivottua tapahtumaa kutsutaan huipputapahtumaksi (*TOP*-tapahtuma), johon vaikuttavat tekijät voivat olla muita tapahtumia, toimintoja tai yksittäisiä laitteita tai komponentteja. Huipputapahtumaan vaikuttavat tekijät kuvataan loogisena, askelittain alaspäin kasvavana rakenteena vikapuussa, jotka on kytketty toisiinsa loogisten operaattoreiden (esim. *AND*, *OR*, *k/n*, *NOT*) avulla. (SFS-IEC 60300-3-9 2000, s. 38; Virtanen luentomoniste 2006, s. 13). Havainnollistava kuva vikapuusta on esitetty kuvassa 3.5:



**Kuva 3.5: Vikapuun esimerkki (SFS-IEC 60300-3-9 2000, s. 40)**

Vikapuuanalyysin vahvuutena voidaan pitää sen järjestelmällisyyttä. Analyysi soveltuu teknisten vikaantumisten lisäksi myös inhimillisten virheiden tarkasteluun. Huipputapahtumalähtöinen ”Top-Down” lähestymistapa on hyödyllinen, sillä huomio keskittyy olennaisesti tähän ei-toivotun tapahtuman tekijöihin. Vikapuuanalyysi soveltuu hyvin käytettäväksi järjestelmiin, joissa on paljon keskinäisiä riippuvuuksia ja vaikutuksia. Kuvallisen esityksen vuoksi vikapuu antaa helposti ymmärrettävän kuvan järjestelmästä, sekä sen toimintoihin vaikuttavista tekijöistä. Kuitenkin vikapuun muotoutuessa suureksi, etenkin sen kvantitatiivinen käsittely hankaloituu, jolloin analyysi usein vaatii tietokoneohjelmistoja (SFS-IEC 60300-3-9 2000, s. 38).

Vikapuussa käytettävät loogiset operaattorit voidaan esittää luotettavuuslohkokaavion luotettavuusteknisinä rakenteina. Vikapuumalli käyttää siis samaa laskenta-algoritmia kuin luotettavuuslohkokaavio, joten sitä voidaan käyttää luotettavuuslohkokaavion sijasta tilanteissa, joissa lohko-kaavio on vaikea konstruoida. Myös vikapuun ja luotettavuuslohkokaavion yhdistelmiä voidaan käyttää käyttövarmuusmallin luonnissa, laskennassa ja analyysissä (Lyytikäinen 1987, s. 77).

Edellytyksenä vikapuun rakentamiselle on, että järjestelmän toiminnasta eri tilanteissa ja olosuhteissa ollaan hyvin perillä. Kun järjestelmän toimintaan vaikuttavat tärkeimmät viat, tapahtumat ja vaaratilanteet on selvitetty, rakennetaan jokaisesta järjestel-

män vikaantumiseen johtavasta tapahtumasta oma vikapuunsa. Vikapuuta jatketaan edelleen tapahtumista haarautuvia ”oksia” alaspäin, aina halutulle perustapahtumatasolle asti. Perustapahtuma on tyypillisesti tapahtuma, jonka todennäköisyys voidaan arvioida ja sen yksityiskohtaisempaan erittelyyn ei ole tarvetta. Tämän jälkeen järjestelmästä muodostettua vikapuuta voidaan tarkastella resursseista riippuen joko kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti (Lyytikäinen 1987, s. 77).

### 3.1.3 Minimikatkosjoukot ja tärkeysmitat

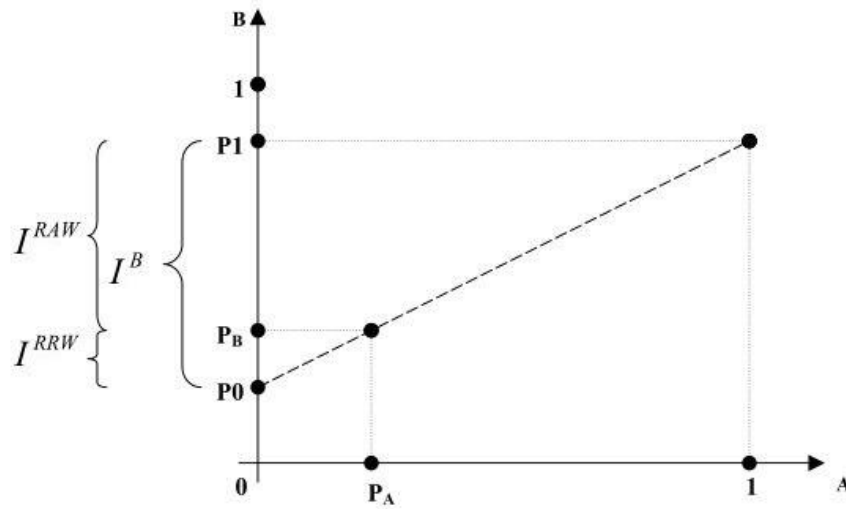
Kvalitatiivisessa vikapuun ja luotettavuuslohkokaavion analyysissä tarkastellaan perustapahtumia, joilla on suurin vaikutus kokonaistoiminnon tai TOP-tapahtuman toteutumiseen. TOP-tapahtumaan liittyvien syytapahtumien ja tapahtumien loogisten ehtojen määrittämisen avulla voidaan vikapuusta tai luotettavuuslohkokaaviosta tunnistaa kriittisimmät tapahtumaketjut, jotka yleisesti ovat osa minimikatkos- ja minimitoimintapolkujoukkoja (Lyytikäinen 1987, s. 67). Vikapuun katkosjoukot muodostuvat tapahtumista, jotka aiheuttavat TOP-tapahtuman toteutumisen. Vastaavasti luotettavuuslohkokaavion tapahtumia ja reittejä, jotka johtavat kokonaistoiminnon toteutumiseen kutsutaan toimintapolkujoukoiksi. Katkos- ja toimintapolkujoukkoja tarkastelemalla voidaan havaita, mitkä järjestelmän osat tai perustapahtumat vaikuttavat eniten tietyn tapahtuman toteutumiseen (Parikka & Säynätjoki 1998, s. 111).

Katkosjoukkoa kutsutaan minimikatkosjoukoksi, jos sitä ei voi enää pienentää ilman, että se lakkaa olemasta katkosjoukko. Yleisesti voidaan olettaa, että mitä pidempi minimikatkosjoukko on, sen epätodennäköisemmin se toteutuu. Tällöin etsimällä ja analysoimalla minimikatkosjoukkoja, voidaan järjestelmästä havaita kokonaistoiminnon kannalta tärkeimmät tapahtumaketjut ja perustapahtumat (Lyytikäinen 1987, s. 67). Minimikatkosjoukot voidaan yksiselitteisesti määrittää, kun tapahtumaketjujen mallintamisessa käytetään monotonista logiikkaa, eli mikä tahansa tapahtuma ollessaan tosi-tilassa edistää TOP-tapahtuman toteutumista. Tällöin logiikan loogiset kytkennät muodostuvat ehdoista OR, AND ja K/N (Virtanen luentomoniste 2006, s. 13).

Kvantitatiivisessa vikapuun (tai luotettavuuslohkokaavion) analyysissä perustapahtumien todennäköisyydet arvioidaan saatavilla olevien tietojen perusteella, minkä jälkeen voidaan laskea TOP-tapahtuman todennäköisyys ja selvittää TOP-tapahtumaan todennäköisimmin johtavat perustapahtumat (Virtanen et al. 2006, s. 506).

Erilaisten tärkeysmittojen avulla voidaan arvioida perustapahtumien tärkeyttä jonkin tapahtuman suhteen, tai arvioida perustapahtuman todennäköisyyden muutoksen vaikutuksia (Cheok et al. 1998, s. 215; Virtanen et al. 2006, s. 509). Olkoon  $A$  jokin perustapahtuma ja  $B$  siitä seuraava tapahtuma. Kuvan 3.6 mukaisesti tapahtuman  $B$  todennäköisyys riippuu perustapahtuman  $A$  todennäköisyydestä:





Kuva 3.6: Tärkeysmitat (Virtanen et al. 2006, s. 509, muokattu)

Kuvan 3.6 avulla voidaan havainnollistaa alla esitettyjä yleisimpiä tärkeysmittoja (Virtanen et al. 2006, s. 509). Birnbaumin tärkeysmitta  $I^B$  voidaan esittää kaavalla:

$$I^B = P1 - P0 \quad (12)$$

jossa  $P1$  on tapahtuman  $B$  todennäköisyys, kun perustapahtuma  $A$  toteutuu varmasti ja  $P0$  on tapahtuman  $B$  todennäköisyys, kun  $A$  ei voi tapahtua. Birnbaumin tärkeysmitta siis esittää kuinka paljon tapahtuman  $A$  todennäköisyyden muutos vaikuttaa tapahtumaan  $B$ .

Riskin vähennys  $I^{RRW}$  (Risk Reduction Worth – RRW) voidaan esittää kaavalla:

$$I^{RRW} = P_B - P0 = I^B * P_A \quad (13)$$

jossa  $P_B$  on tapahtuman  $B$  todennäköisyys, kun tapahtuman  $A$  todennäköisyys on  $P_A$ . Riskin vähennys kertoo siis kuinka paljon tapahtuman  $B$  todennäköisyys voi pienentyä jos tapahtuman  $A$  todennäköisyys pienenee nolnaan.

Vastaavasti voidaan määritellä riskin nousu  $I^{RAW}$  (Risk Achievement Worth – RAW), joka kuvaa kuinka paljon tapahtuman  $B$  todennäköisyys voi nousta, jos tapahtuman  $A$  todennäköisyys nousee maksimiinsa. Riskin nousu noudattaa siten kaavaa

$$I^{RAW} = P1 - P_B = I^B * (1 - P_A) \quad (14)$$

Kriittisyystärkeys  $I^{CR}$  kuvaa jonkin perustapahtuman osuutta tapahtumaan  $B$  johtaneista tapahtumista. Se on siis todennäköisyys, että perustapahtuma esiintyy vikaantumisen aiheuttamassa katkosjoukossa. Kriittisyystärkeys voidaan esittää kaavalla:

$$I^{CR} = 1 - \frac{P0}{P_B} = \frac{I^B * P_A}{P_B} = \frac{I^{RRW}}{P_B} \quad (15)$$

### 3.2 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi VVKA

Vika- ja vaikutusanalyysi on työkalu, joka on tarkoitettu merkittävästi järjestelmän luotettavuuteen vaikuttavien vikojen tunnistamiseen. Suomenkielisessä kirjallisuudessa analyysistä käytetään lyhennettä VVA. Analyysi voidaan laajentaa sisältämään myös vikojen kriittisyystarkastelu, jolloin analyysistä käytetään nimeä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA). Analyysi soveltuu ensisijaisesti laite- ja materiaalivikojen tarkasteluun, perustuen siten alimmalle komponentti- tai osajärjestelmätasolle (SFS 5438 1988, s. 2).

Järjestelmän toimintaan vaikuttavien vikojen tunnistamisen lisäksi analyysin tavoitteena on eri vikamuotojen luokittelu esimerkiksi vian havaittavuuden, testattavuuden ja huollettavuuteen liittyvien toimenpiteiden suhteen. Eri vikamuodoille määritetään vikaantumista estävät toimenpiteet, jotka voivat perustua kunnossapito-ohjelmaan, kohteen käyttöön tai suunnitteluun. Kriittisyysanalyysin avulla vikamuotojen seuraukset järjestelmän luotettavuuteen, korjauskustannukset ja muut seuraukset otetaan yhdistetysti huomioon, jotta ehkäisevät toimenpiteet voidaan kohdistaa merkittävimpien vikojen torjumiseksi (SFS 5438 1988, s. 2).

Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiä käytetään yleisesti RCM-menetelmän yhteydessä kriittisten vikaantumisten tunnistamiseksi ja ehkäisevän kunnossapito-ohjelman rakentamiseksi (Smith & Hinchcliffe 2003, s. 98; Rausand 1998, s. 126; Brauer 1987, s. 18). Analyysiä käytetään myös muissa kunnossapitostrategian valintaan pohjautuvissa työkaluissa (Waeyenbergh & Pintelon 2002, s. 308; Rosqvist et al. 2009, s. 106). Analyysiä voidaan standardin SFS 5438 mukaan käyttää myös mm. turvallisuusriskien tunnistamisessa, laitteiden sallittujen käyttöjaksojen ja tarkastusvälien määrittämisessä, vikoja ehkäisevien käyttöön liittyvien toimenpiteiden suunnittelemisessa sekä ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon kohdentamisessa.

Mikäli analyysillä tarkastellaan suurta joukkoa laitteita ja monimutkaista järjestelmää, työmäärä nousee helposti suureksi ja itse analyysin suorittaminen vaikeutuu huomattavasti, sillä järjestelmässä esiintyvää ja huomioon otettavaa yksityiskohtaista tietoa on suuri määrä. Analyysi on tehokkain silloin, kun sitä sovelletaan osiin, jotka vaikuttavat vikaantuessaan koko järjestelmän toimintaan (SFS 5438 1988, s. 3). Tämä on osasy siihen, miksi RCM-menetelmässä pyritään tunnistamaan järjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät laitteet ja toiminnot ennen vika- ja vaikutusanalyysin käyttöä.

Standardi SFS 5438 määrittelee vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin rakenteen ja vaiheet seuraavasti:

- (a) järjestelmän ja järjestelmän toimintojen määrittäminen
- (b) toiminnallisen mallin, kuten luotettavuuslohkokaavion laatiminen
- (c) analyysin suoritustason sekä dokumentoinnin määrittäminen

- (d) vikamuotojen, niiden syiden sekä seurausten määrittäminen
- (e) vikojen paljastumistavan ja eristämismahdollisuuksien määrittäminen
- (f) suunnitteluun ja käyttöön liittyvien varotoimenpiteiden määrittäminen
- (g) vioittumistapojen kriittisyyden määrittäminen
- (h) vikojen esiintymistodennäköisyyksien arvioiminen
- (i) useiden eri vikojen yhdistelmien tunnistaminen
- (j) toimenpiteiden määrittäminen

Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi suoritetaan käyttämällä analyysilomaketta, johon kootaan tarpeelliset tiedot edellä mainituista analyysin vaiheista. Tässä diplomityössä käytetty lomake on esitetty liitteessä A.

### 3.3 Kunnossapidon tunnuslukujen tarkastelu

Järjestelmän käytettävyyttä ja kunnossapidon tehokkuutta voidaan tarkastella myös erityisten kunnossapidon suorituskyvyn mittareiden avulla. Kunnossapidon suorituskykyä kuvaavat mittarit voivat olla taloudellisia, teknisiä tai organisatorisia (SFS-EN 15341 2007, s. 8). Kunnossapidon tehokkuuden mittaaminen ei olekaan tästä syystä helppoa, sillä mittareiden tulisi ottaa huomioon näkökulmat esimerkiksi käytettävyyden, teknisen suorituskyvyn, resurssien tehokkaan käytön sekä kustannustehokkuuden kannalta (Ruonala 2007, s. 60).

Tehokkaiden tunnuslukujen käytöllä voidaan mitata kunnossapidon ja järjestelmän nykytilaa, tutkia ja vertailla suorituskykyä, määritellä vahvuuksia ja heikkouksia sekä lopulta ohjata ja valvoa muutosprosessia, jonka avulla toimintaa pyritään tehostamaan (SFS-EN 15341 2007, s. 10). Sopivien mittareiden ja tunnuslukujen määrittäminen tulee kuitenkin tehdä tapauskohtaisesti, sillä kunnossapidettävien järjestelmien ominaispiirteet ovat hyvin erilaisia (Ruonala 2007, s. 61).

Kunnossapidon taloudellisten tunnuslukujen seuraaminen on yleensä luonteva tapa arvioida kunnossapidettävän järjestelmän suorituskykyä ja kunnossapito-organisaation tehokkuutta, sillä kustannuspaikkakohtaista tietoa on usein helposti saatavilla (Ruonala 2007, s. 60). Yleensä kunnossapitotyötunnit ja –materiaalit kohdistetaan toiminnanohjausjärjestelmän avulla jollekin tietylle paikalle tai tilille, minkä vuoksi tietojen kerääminen on helppoa. Rausandin (1998, s. 125) mukaan järjestelmän toiminnallisesti tärkeiden – eli käyttövarmuuteen olennaisesti vaikuttavien – kohteiden lisäksi kunnossapidon kehittämisessä tuleekin huomioida kunnossapitokustannuksiltaan tärkeät kohteet. Kunnossapidon taloudellisia tunnuslukuja ovat esimerkiksi kunnossapitokustannukset tuotettua tonnia kohti ja sisäisen ja ulkoisen kunnossapitohenkilöstön kokonaiskustannusten suhde.

Taloudellisten tunnuslukujen lisäksi voidaan seurata teknisiä tunnuslukuja, kuten yksittäisten laitteiden tai laitetyyppien vikojen kokonaismääriä, vikaantumistaajuuksia ja eri

laitteille kohdistettuja työtunteja ja töiden lukumääriä. Tällöin voidaan selvittää eri kohteiden kunnossapidon tehokkuuden taso, ja tunnistaa kunnossapidollisesti haasteellisimmat kohteet (Ruonala 2007, s. 61). Myös kunnossapitostrategiaa ja sen toteutumista voidaan seurata tunnuslukujen avulla. Tällaisia mittareita ovat mm (SFS-EN 15341 2007, s. 18; Ruonala 2007, s. 60):

- korjaavan kunnossapidon, ehkäisevän tai kuntoon perustuvan kunnossapidon määrän osuus kaikista kunnossapitotöistä
- ennakkohuollon piirissä olevien laitteiden osuus kaikista laitteista
- ajallaan toteutettujen kunnossapitotöiden osuus kaikista kunnossapitotöistä

### 3.4 Monitavoitteinen päätösanalyysi ja kriittisyyden arviointi työkaluna

Kriittisyysluokittelua käytetään työkaluna kunnossapitoressurssien ohjaamisessa ja kunnossapitostrategian valinnassa. Ongelmana kunnossapidon suunnittelussa ja kunnossapitolajin valinnassa on usein monen eri kriteerin (esim. käytettävyys, tuotantokapasiteetti, laatu, välilliset ja välittömät kustannukset, turvallisuus- ja ympäristöriskit) ottaminen monipuolisesti huomioon päätöksenteossa (Chan & Prakash 2011, s. 7045). Usein esimerkiksi kunnossapitolajin valinnassa tietyllä toimintamallilla vaikutetaan myönteisesti johonkin kriteeriin, mutta samalla toisen kriteerin perusteella tarkasteltuna toimintamalli ei olekaan optimaalinen (Triantaphyllou et al. 1997, s. 16).

Erilaisten kriteerien arvioimiseen ja yhdistämiseen kehitettyjä menetelmiä kutsutaan nimellä *monitavoitteinen päätösanalyysi* tai *monitavoitearviointi* (engl. *MCDM – Multi-Criteria Decision Making*) (Chan & Prakash 2011, s. 7044). Erilaiset monitavoitteiset päätösanalyysit ovat kuitenkin kiistanalaisia, eikä yksittäistä kaikkien tutkijoiden hyväksymää teoriaa ole onnistuttu löytämään. Tyypillisesti monitavoitearviointi koostuu kuitenkin kolmesta tunnistettavasta vaiheesta (Triantaphyllou et al. 1997, s. 17):

- (i) Määritetään kriteerit ja keskenään arvioitavat vaihtoehdot
- (ii) Annetaan numeeriset arvot kriteereille ja vaihtoehtojen vaikutuksille kuvaamaan kriteerien tärkeyttä ja arvioitavien vaihtoehtojen tehokkuutta
- (iii) Määritetään vaihtoehdoille ”järjestys” käsittelemällä numeerisia arvoja

Yksinkertaisin ja yleisimmin käytetty menetelmä numeeristen arvojen käsittelemiselle on painotettu summakaava (engl. *WSM – Weighted Sum Model*). Painotuksen avulla kriteerit voidaan asettaa tärkeysjärjestykseen (Triantaphyllou et al. 1997, s. 18).

Menetelmässä on kuitenkin heikkoutensa. Kvalitatiivisen tiedon esittäminen numeerisena on hyvin usein vaikeaa. Myös erilaisten laadullisten kriteerien vertailu toistensa suhteen

ja numeeristen painokertoimien määrittäminen on haasteellista. Painotettua summakaavaa tulisi käyttää ainoastaan silloin, kun kriteerit voidaan ilmoittaa samassa yksikössä (esim. kustannukset, aika, tuotantomäärä) (Triantaphyllou et al. 1997, s. 19).

Bevilacqua ja Braglia (2000, s. 75) tekemässä tutkimuksessa todetaan, että monitavoitearvioinnin (laitteiden kriittisyysluokittelu) suorittajat ja kunnossapito henkilöstö eivät aina näe menetelmää täysin luotettavana, etenkin mikäli kunnossapitostrategian valinta perustuu pelkästään analyysin numeerisiin tuloksiin. Erityisesti kriteerien väliset painokertoimet herättävät epäilyksiä ja niiden määrittäminen koetaan haasteelliseksi. Herkkyysanalyysin tekeminen analyysin tulosten epävarmuuden arvioimiseksi voi olla vaikea suorittaa, ja vaatii usein laskentaohjelmiston käyttöä. Monitavoitteisen päätösanalyysin (esim. laitteiden kriittisyysluokittelu) avulla on kuitenkin mahdollista luokitella vaihtoehdot tai kohteet selkeisiin ryhmiin. Kriittisyysluokittelun tulokset vastaavat yleensä odotuksia ja luokittelu nähdään hyvänä *apuvälineenä* kunnossapidon suunnittelussa (Bevilacqua & Braglia 2000, s. 75).

### 3.4.1 Kriittisyysluokittelu, UPM:n malli

UPM:n kriittisyysluokittelu perustuu standardissa PSK 6800 esitettyyn malliin. Olli Kanninen kehitti UPM:n kriittisyysluokittelumallin osana diplomityötään, jossa aiheena oli kunnossapito-ohjelman luominen sellutehtaalle RCM-menetelmän avulla (Kanninen 2013, s. 50).

PSK 6800 määrittelee kriittisyyden tarkoittavan ominaisuutta, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riskin suuruus itsessään tarkoittaa vikaantumisen vaikutuksen ja vikaantumisen todennäköisyyden tuloa. Jos kohde on kriittinen, siihen liittyvät riskit eivät ole hyväksyttävällä tasolla (PSK 6800 2008, s. 2).

Kriittisyysluokittelu on tarkoitettu käytettäväksi kunnossapidon suunnittelun työkaluna ja lähtötiedon tuottamisena (PSK 6800 2008, s. 3). Kaukaan sellutehtaalla sitä käytettiin RCM-menetelmän yhteydessä kriittisten laiteryhmien rajaamiseen. Tarkoituksena on rajata laitteet neljään ryhmään, jotka kuvaavat laitteen tärkeyttä kriteerien kannalta. UPM:n kriittisyysluokittelussa käytetyt kriteerit ovat:

- Tuotannon menetys
- Laatumenetykset
- Korjauskustannukset
- Vikaantumisväli
- Turvallisuusriski
- Ympäristöriski

Kriteerit on pisteytetty 4-5 eri tasolle (A,B,C,D tai E, joista A-luokka on kaikkein kriittisin), jotka kuvaavat yksittäisen laitteen vikaantumisen aiheuttamia seurauksia. Taso määrittyy laitteen vikaantumisen seurausten suuruuden mukaan. Esimerkiksi ”korjaus- ja seurantakustannukset”-tekijän tasot määritellään seuraavasti:

- A, jos kustannukset ovat yli 50 000 €
- B, jos kustannukset ovat 25 000 – 50 000 €
- C, jos kustannukset ovat 5 000 – 25 000 €
- D, jos kustannukset ovat 0 – 5 000 €
- E, jos kustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin

Kriittisyysluokittelutaulukko on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä B, josta selviää myös muiden kriteerien tasojen määrittely. Jokainen kriteeri pisteytetään tason perusteella. Pisteytyksessä on käytetty painotuskertoimia, joiden avulla kriteereiden merkitystä on säädetty halutulle tasolle. UPM:n kriittisyysluokittelussa painotetaan erityisesti tuotannon menetyksiä sekä korjauskustannuksia, sekä turvallisuus- ja ympäristöriskejä. Kriteerien eri tasojen pisteytys on esitetty kuvassa 3.7.

Tekijä Taso	Tuotannon menetykset	Laatukustannukset	Korjaus- ja seurantakustannukset	Vikaantumisväli	Turvallisuusriski	Ympäristöriski
A	8	4	8	4	10	10
B	6	3	6	3	7	7
C	4	2	4	2	4	4
D	2	1	2	1	2	2
E	0	0	0		0	0

**Kuva 3.7: Kriteerien tasojen pisteytys (Kanninen 2013, s. 51)**

Laittekohtainen pistemäärä muodostuu valittujen tasojen pisteiden keskiarvona, joka myös määrää laitteen lopullisen kriittisyysluokan. Kriittisyysluokkien raja-arvot on esitetty kuvassa 3.8.

Pisteiden ka.	Kriittisyysluokka
> 4	A
2,5 ≤ 4	B
1,5 ≤ 2,5	C
0 ≤ 1,5	D

**Kuva 3.8: Kriittisyysluokat raja-arvoineen**

Kriittisyysluokittelun avulla tarkasteltavan alueen laitteet voidaan jaotella ryhmiin, jotka kuvaavat laitteen tärkeyttä tuotantoprosessille ja sen vikaantumisen aiheuttamia seurauksia ja kustannuksia. Luokittelun avulla voidaankin käydä koko tarkasteltavan alueen laitekanta melko vaivattomasti läpi, ja saada suuntaa-antava käsitys laitteista, joiden kunnossapidon kehittämiseen ensisijaisesti kannattaa ohjata resursseja.

### 3.5 Kunnossapidon suunnittelu analyysien tulosten pohjalta

Käyttövarmuusanalyysin tuloksia voidaan käyttää järjestelmän käytön ja kunnossapidon parantamiseksi, esimerkiksi yksittäisen laitteen kunnossapidon optimoimiseksi. Analyysin tuloksena saatuja parannusehdotuksia tulisi arvioida ja seurata järjestelmä- ja kunnossapitoasiantuntijoiden kanssa. Toimenpiteiden seuraukset voidaan todentaa esimerkiksi keräämällä tietoa käytettävyydestä käyttövarmuuden sekä kunnossapidon mittareiden avulla.

Kunnossapitoresurssit voidaan kohdistaa järkevästi ja tehokkaasti riskipohjaisten analyysien tulosten perusteella. On tärkeää kuitenkin huomioida, että analyysimenetelmissä ja työkaluissa on eroja, ja tulokset voivat olla toisistaan poikkeavia (Backlund & Hannu 2002, s. 77). Myös analyysin suorittajalla tai suorittajilla on vaikutusta analyysien tuloksiin. Matemaattiset mallit – joiden etuina ovat perusteellisuus ja luotettavuus - vaativat suorittajaltaan korkeaa osaamista sekä myös kattavaa numeerista tietoa järjestelmän toiminnasta. Toisaalta ongelmia aiheuttavat myös ihmisten erilaiset arviointikriteerit kvalitatiivisia metodeja käytettäessä. Arvioijasta riippuen esimerkiksi loukkaantumisen tai ympäristövaurion merkitys riskinarvioinnissa voi saada hyvinkin erilaisia tuloksia (Järviö 2007, s. 134).

Tässä tutkimuksessa pyrittiinkin käyttämään erilaisia lähestymistapoja ja analyysejä kohdealueen kriittisten laitteiden määrittämiseksi, jotta erilaiset näkökulmat saataisiin kattavasti huomioitua. Käyttövarmuusmallin avulla pystyttiin selvittämään tietyn laitteen toiminnan vaikutus järjestelmän muihin laitteisiin, kun taas riskipohjaisilla analyyseillä otettiin huomioon esimerkiksi korjauskustannukset. Kunnossapidon tunnuslukuja käytettiin siltä osin kuin hyödyllistä tietoa oli saatavilla. Esimerkiksi toimintopaikkakohtaiset kunnossapitokustannukset pystyttiin selvittämään varsin helposti, vaikka tiedoissa saattaakin olla merkittävää epätarkkuutta. Lopulta kriittisyysluokittelun avulla voitiin summata edellä mainituista menetelmistä saadut tiedot, ja pohtia kriittisyysluokittelun soveltumista kriittisten kohteiden valintaan kunnossapidon kehittämisen ja resurssien kohdistamisen suhteen.

## 4. HIERTÄMÖN TOIMINNALLINEN KUVAUS JA KUNNOSSAPIDON NYKYTILANNE

Tässä luvussa käsitellään tarkemmin tämän diplomityön kohdealuetta; hiertämön prosessia, järjestelmää, päälaitteita sekä alueen kunnossapitoa. Hiertämön toiminnallinen kuvaus sisältää prosessikuvauksen ja käsittelee hiertämön päälaitteet. Alueen kunnossapitoa tarkastellaan kunnossapito-organisaation, kustannusrakenteen, ongelmakohtien, tunnuslukujen sekä toiminnanohjausjärjestelmän suhteen. Toiminnallinen kuvaus sekä tiedot järjestelmästä ja alueen kunnossapidosta muodostavat pohjan kriittisten laitteiden valinnalle ja siten myös koko alueen kunnossapidon kehittämiseksi.

Tarkasteltavalla hiertämön alueella toimii rinnakkain kaksi hiertämöä, jotka valmistavat massaa kolmelle paperikoneelle. Jokilaakson tehtailla paperikoneiden hiertämöt ovat yksi osa *Kuidun* alueryhmää, johon hiertämöiden lisäksi kuuluvat katkaisulaitos, kuorimo, puu- ja hakekenttä, raakavesipumppaamot, vesien- ja lietteenkäsittely sekä biologinen puhdistamo.

Massa valmistetaan haketetusta puuraaka-aineesta, joka syötetään puhdistamisen ja lämmityksen jälkeen jauhimen toisiaan vasten hyvin lähellä pyörivien terien väliin. Lämmön ja mekaanisten iskujen myötä hake hajoaa pienempiin osiin ja lopulta yksittäisiksi kuiduiksi, jotka jatkokäsitellään paperinvalmistuksessa käytettäväksi massaksi.

Jokilaakson hiertämöillä valmistetaan kuumahierrettä, josta käytetään lyhennettä *TMP* (*Thermo-mechanical pulp*). Kaipolan tuotantoyksikössä hiertämöitä on siis kaksi, joista käytetään nimitystä TMP 2 ja TMP 3. TMP 2 tuottaa massaa kahdelle luettelo- ja sanomalehtipaperia valmistavalle paperikoneelle, TMP 3:n hierre tehdään kevyttä päällystettyä painopaperia valmistavalle paperikoneelle. Hiertämöt sijaitsevat samassa tilassa, ja jakavat keskenään yhteisiä toimintoja, kuten esimerkiksi yhteisen valvomon.

### 4.1 Toiminnallinen kuvaus ja alueen rajaus

Toiminnallinen kuvaus muodostettiin hiertämön tuotantopäällikön, käyttöinsinöörin sekä ylimestarin haastatteluihin perustuen. Apuna käytettiin myös PI- ja virtauskaavioita sekä prosessikuvauskansiota. Osasta hiertämön toimintoja on luotu myös sähköisiä asiakirjoja, jotka on laadittu pääsääntöisesti hiertämön käyttöhenkilöstön ohjeistamiseksi. Toiminnallinen kuvaus muodosti pohjan työssä suoritettulle luotettavuusmallin rakentamiselle, sekä auttoi ymmärtämään hiertämän prosessin osajärjestelmien keskinäistä suhdetta.

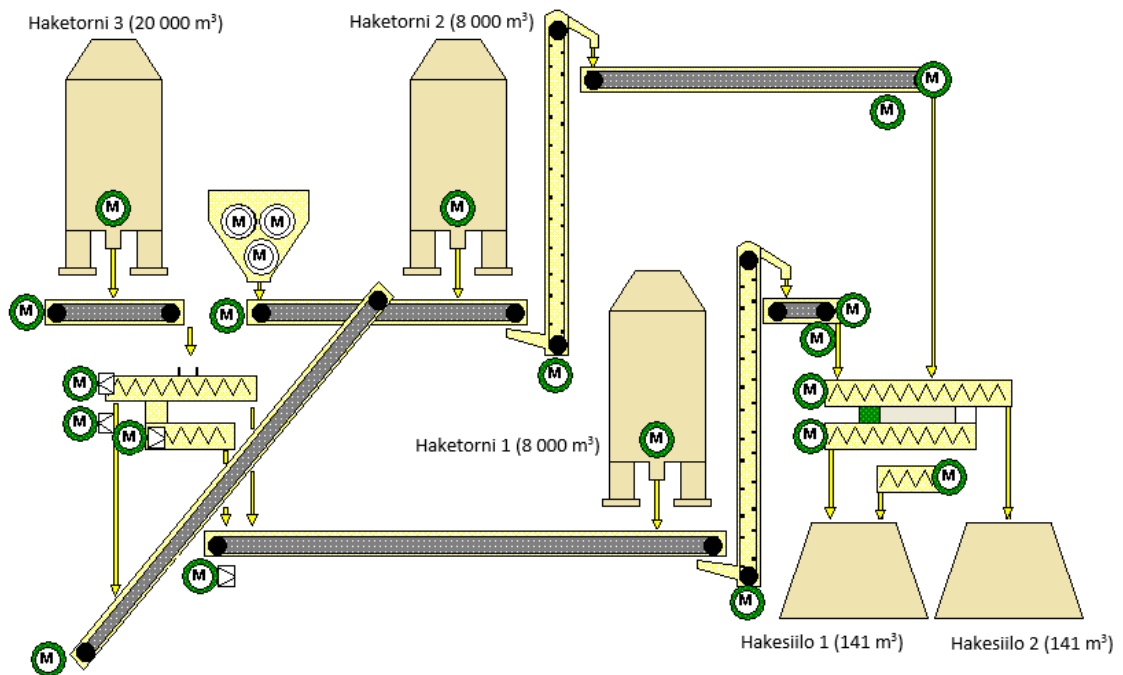


Tutkimustyö rajattiin käsittämään hiertämöiden laitteiden lisäksi hakekentän haketornien purkaimet sekä kuljettimet, joilla hake tuodaan hiertämöille. Seuraavissa luvuissa tarkasteltava alue on kuvailtu päälaitteineen ja –toimintoineen. Tiedot perustuvat haastatteluihin, prosessikuvauskansioihin sekä toimintokäsikirjaan, mikäli toisin ei mainita.

#### 4.1.1 Hakkeen kuljetus hiertämöille

Hake tuodaan kuljettimilla kuorimolta ja ostohaketerminaalista kolmeen haketorniin. Kuorimolla haketettu hake kuljetetaan haketorneihin 1 ja 2, tehtaan ulkopuolelta tuleva ostohake puretaan haketorniin 3. Tässä diplomityössä tarkasteltava alue alkaa haketornien purkaimista, joiden avulla hake puretaan hihnakuljettimille. Kuljettimet tuovat lopulta hakkeen hiertämön katolle, jossa syöttöruuvit jakavat hakevirran hiertämöiden omiin hakesiiloihin.

Haketornien 1 ja 2 purkaimet pudottavat hakkeen hihnakuljettimille, jotka sijaitsevat tornien alla. Kumpikin kuljetin vie hakkeen omalle elevaattorilleen, joiden avulla hake nostetaan hiertämön katolle vieville hihnakuljettimille. Hiertämön katolla hakevirrat syötetään ruuvien avulla hakesiiloihin. Haketornilta 3 otettava hake kuljetetaan hihnakuljettimella ryöstöruuveille, joilla hakevirta jaetaan tornien 1 ja 2 virtoihin. Hakekentälle varastoitu hake voidaan syöttää tarvittaessa pyöräkuormaajalla haketaskuun, josta se päätyy samalle kuljettimelle haketornin 2 syöttämään hakkeen kanssa. Hakkeen kuljetus hiertämölle on havainnollistettu kuvassa 4.1.



*Kuva 4.1: Hakkeen kuljetus hiertämöille. M-merkintä kuvaa päälaitteiden sähkömoottorikäyttöjä.*

### 4.1.2 Hakkeen käsittely

Molemmilla hiertämöillä on oma hakesiilonsa, josta hake syötetään siilojen pohjalla olevien purkuruuvistojen avulla hakepesureille. Hakesiiloissa haketta esilämmitetään höyryllä ja sinne palautetaan ylimääräinen hake haketta linjoille jakavilta jakoruuveilta. Hakepesureita on yhteensä neljä; kaksi molempien hakesiilojen yhteydessä. Hake pestään pesureilla hiekan, kivien ja muiden epäpuhtauksien poistamiseksi. Lisäksi hakkeen pesemisen avulla tasataan ja lisätään hakkeen kosteutta, ja siten voidaan pidentää jauhinten terien kestoikää.

Hakepesurissa hake pakotetaan pesuveden pinnan alle upotusruuveilla. Tässä yhteydessä vettä raskaammat epäpuhtaudet vajoavat romuloukkuun, josta kiintoaine poistetaan saostuskuljettimella jätekonttiin. Hake ja pesuvesi pumpataan hakepumpppujen kautta vedenerotusruuveille, jossa pesuvesi erotellaan hakkeesta. Vedenerotusruuveilta hake siirtyy jälleen ruuvien kautta jakoruuveille, joilla hake annostellaan jauhlinjojen esilämmittimien lokerosyöttimille. Jauhlinjoille menevän hakkeen määrä määräytyy lokerosyöttimien pyörimisnopeudesta, ja ylimääräinen hake jatkaa jakoruuveilta palautusruuvien kautta takaisin hakesiiloon.

### 4.1.3 Jauhatus

Jauhatuslinjoja hiertämöillä on yhteensä 7, joita ajetaan kaksivaiheisena (poikkeuksena 5-linja, jota pystytään ajamaan myös kolmivaiheisena). TMP 2:lla on kolme jauhlinjaa, TMP 3:lla linjoja on neljä. Jauhimet ovat keskenään samanlaisia, tyyppiä Jylhä SD-65. Jauhlinjojen kokoonpanoissa on eroavaisuuksia (esim. lokerosyöttimien koko), minkä vuoksi linjojen tuotantokapasiteeteissa ja jauhatuslaadussa on myös eroja.

Ennen kuin hake syötetään 1. vaiheen jauhinten teräváliin, se lämmitetään höyryllä jauhlinjan esilämmittimessä. Esilämmittimeen hake tulee jakoruuveilta lokerosyöttimen kautta. Lokerosyöttimen on hakkeen syötön lisäksi tarkoitus pitää paineellinen höyry esilämmittimessä. Lämmitetty hake puretaan esilämmittimen pohjalta purkausruuvien avulla jauhimen syöttöruuville, josta se edelleen syötetään laimennusveden kanssa jauhimen teräváliin. Jauhlinjan tuotanto määräytyy esilämmittimen purkausruuvien pyörimisnopeuden mukaan.

Hake hierretään jauhimessa teräkiekkojen välissä kuiduksi, joka puhalletaan 2. vaiheen jauhimen höyrynerotussykloniin prosessissa kehittyvän höyryn mukana. Syklonissa höyry erotetaan hierteestä ja massa puretaan syöttöruuvilla 2. vaiheen jauhimen teräváliin laimennusveden kanssa. Toisen vaiheen jauhimelta massa puhalletaan kehittyvän höyryn mukana linjan purkaussyklonille. 5-linjassa hake voidaan hiertää 3-vaiheisena käyttämällä käytöstä poistettua 4-linjan toista jauhinta, mutta yleensä linjaa ajetaan muiden tapaan 2-vaiheisena.



Latenssitorneista massa syötetään kunkin lajittelun painesihdeille, joita päälajittelussa on kahdessa portaassa. Painesihtien syöttöpumppu ohjaa sihdeille latenssitornilta saatavan massan lisäksi laimennusvettä. Painesihdeissä massa jaetaan akseptiin ja rejektiin. Aksepti syötetään painesihdeiltä saostukseen kiekkosaostimille, rejekti ohjataan toisen portaassa painesihdeille, joista jälleen aksepti ohjataan kiekkosaostimille. Rejekti kerätään lajittelulinjan erilliseen välivarastosäiliöön.

#### **4.1.5 Rejektin käsittely, jauhatus ja lajittelu**

TMP 2:n lajitteluista talteen otettu rejekti ohjataan esisaostimille, joissa hierre saostuu ja karkenee. Esisaostimilta rejekti ohjataan edelleen ruuvisaostimille (2 kpl per rejektilinja), joiden tarkoitus on edelleen nostaa rejektin kuiva-ainepitoisuutta rejektijauhimmille sopivaksi. Ruuvisaostimilla erotettu suodos ohjataan suoraan rejektipulppiin. Rejektijauhinlinjoja TMP 2:lla on kolme, joista yhtä voidaan ajaa kaksivaiheisena käytöstä poistetun 9-linjan 2. vaiheen jauhimen kanssa. Molempien hiertämöiden rejektijauhimet ovat tyyppiltään samanlaisia kuin päälinjojen jauhimet, lukuunottamatta yhtä pienempää, SD-52 – tyyppin jauhintaa.

TMP 3:n rejekti esisaostetaan neljällä kaarisihdillä, minkä jälkeen rejekti ohjataan välivarastosäiliön kautta rejektin ruuvipuristimille, joiden tarkoitus on sama kuin TMP 2:n ruuvisaostimilla. Ruuvipuristimilta rejekti syötetään ruuvien avulla rejektijauhimmille, joita TMP 3:n puolella on kolme, joista yksi on muita jauhimia pienempi. Normaalisessa ajossa pienin jauhin muodostaa oman linjansa ja kahta muuta jauhintaa ajetaan sarjassa.

Rejektijauhatuksessa hierre käyttäytyy vastaavasti kuin pääjauhatuksessa. Rejektijauhimmilla hierretty massa kerätään rejektipulppereihin, joista se ohjataan rejektin lajitteluun. Rejektin lajittelu toimii kuten päälajittelukin; painesihtien aksepti ohjataan kiekkosaostimille ja rejekti palautuu rejektinkäsittelyyn uutta jauhatuskierrosta varten.

#### **4.1.6 Saostus**

Saostuksen tarkoituksena on korvata hierteen joukossa oleva hiertämön kiertovesi paperikoneen omalla kiertovedellä. Näin pyritään estämään hiertämön kiertoveteen liunneen pihkan ja liunneen häiriöaineen kulkeutuminen paperikoneen kiertoveteen. Saostus tehdään kiekkosaostimilla, joita TMP 2:lla on kaksi ja TMP 3:lla yksi, jonka lisäksi varalla on yksi kiekkosaostin.

Kiekkosaostimille syötetään akseptimassaa pää- ja rejektilajittelun painesihdeiltä. Kiekkosaostimilla hiertämön vesi erotetaan hierteestä saostamalla hierre korkeaan sakeuteen kiekkosektoreihin, joista hierre irrotetaan sektoreista paperikoneen kiertovedellä. Paperi-

koneen vedellä laimennettu hierre pumpataan välivarastosäiliöön, jossa hierteen pH säädetään haluttuun tasoonsa lisäämällä säiliöön lipeää. Hierteestä erotettu hiertämön kiertovesi varastoidaan kiertovesisäiliöihin.

#### 4.1.7 Valkaisu ja kemikaalien käyttö

Hiertämöille käytetään kemikaaleja hierteen valkaisuun, valkaisun apuaineina sekä pihkan ja kipsin dispergointiin. Valkaisuun käytetään ditioniittia, joka valmistetaan hiertämöllä reaktioyksiköissä borinosta, lipeästä, rikkidioksidista ja vedestä. Valkaisun apuaineena käytetään kelaattia, joka passivoi valkaisutapahtumaa häiritseviä raskasmetalli-ioneja. Pihkan ja kipsin dispergointiaineita annostellaan jauhimien suihkuvesiin saostumien ehkäisemiseksi.

Ditioniitin valmistusyksiköt koostuvat kemikaalisäiliöistä ja –pumpuista. Hiertämöillä on käytössä 2 valmistusyksikköä, joita käytetään normaalitilanteessa yhtä kerrallaan. Yksiköiden kemikaalipumpuille on varapumput. Ditioniitti annostellaan hierteeseen kolmessa vaiheessa; ensimmäisessä vaiheessa ditioniitti lisätään jauhinlinjan jälkeiseen pulperiin, toisessa vaiheessa kiekkosuostimen jälkeen, ja viimeisessä vaiheessa valkaisutornissa.

#### 4.1.8 Prosessinohjausjärjestelmä ja automaatio

Koko hierteenvalmistuksen prosessia hallitaan hiertämöiden yhteisestä valvomosta. Prosessinohjausjärjestelmän avulla käyttöhenkilöstö seuraa järjestelmän tärkeitä prosessisuureita ja ohjaa prosessia. Prosessinohjausjärjestelmän avulla tarkkaillaan myös jauhatuksen ja jauhimien käyttäytymistä, kuten jauhimen värähtelyä, jauhinterien ikää, linjan tuotantotasoa ja energian kulutusta. Hierteen laadun kannalta tärkeimpiä prosessin hallintasuureita ovat:

- Jauhatussakeus, joka vaikuttaa kuidunpituuteen, jauhimen kuormitettavuuteen ja energian kulutukseen
- Massan suotautuvuus (*freeness*, CSF-arvo), jolle on määritetty eri tavoitetasot tilauskohtaisesti
- Jauhinten tehojako, jolla tasataan kuituun kohdistuvaa kuormitusta,
- Aksepti/rejektisuhde
- Valkaisun määrä

Hierteen laadunhallinnan kannalta prosessimittaukset ja –ohjaukset ovat hyvin tärkeässä asemassa. Epätarkkuus mittauksissa ja esimerkiksi venttiilien ohjauksissa ja asematiedoissa saattaa aiheuttaa suuriakin heittoja hierteen laadussa, ajettavuudessa ja itse prosessissa, mikä laskee järjestelmän kokonaistehokkuutta. Tämän vuoksi tässä tutkimustyössä

haluttiin huomioida prosessinohjauksen kannalta tärkeimmät mittaukset sekä prosessinohjauslaitteet.

Eräs tärkeimmistä laitteista prosessinohjauksen ja laaduntuottokyvyn kannalta on molemmilla hiertämöillä käytettävä MAP-kuituanalysointilaitte (Metso Pulp Analyzer). Sen avulla seurataan erilaisia massan ominaisuuksia, kuten freeness-arvoa ja kuituominaisuuksia.

#### 4.1.9 Kiertovesi- ja lämmöntalteenottojärjestelmä

Saostimilla erotettu suodos käytetään kiertovesijärjestelmässä prosessin sakeussäätöihin, laimennuksiin sekä suihkuvetenä eri kohteissa. Hiertämöillä on yhteensä 3 eri kiertovesijärjestelmää; yksi jokaista paperikonekohtaista lajittelua kohden, jotta paperikoneiden kiertovedet eivät sekaannu keskenään. Kiertovesisäiliöt on jaettu kahteen osaan: sameaan ja kirkkaaseen suodokseen. Samean suodoksen säiliön kiertoveden kiintoainepitoisuus on suurempi kuin kirkkaassa suodoksessa. Samean suodoksen puolelta vettä voidaan käyttää laimennuksena painesihtien syöttöpumpuille sekä laitteiden huuhteluvedeksi ja sakeussäätöihin. Kirkkaan suodoksen kiertovettä käytetään mm. suihkuvetenä kiekkosaostimilla ja jauhimilla.

Molemmilla hiertämöillä on oma lämmöntalteenottojärjestelmänsä. Lämmöntalteenottojärjestelmän (LTO) tehtävänä on kehittää syöttövedestä kylläistä höyryä paperikoneille käytettäväksi lauhduttamalla kuumahierreprosessista syntyvää höyryä. Syntyvien kuumien lauhteiden avulla lämmitetään mm. hiertämön kiertovettä ja LTO:n omaa syöttövettä. Kuumahierreprosessista saatava höyry otetaan talteen jauhimilta sekä pulppereilta. LTO-järjestelmässä kehitetty kylläinen höyry ohjataan tehtaan vastapaineverkostoon, jonka toimintaa ohjataan tehtaan voimalaitokselta. Päälaitteita LTO-järjestelmissä ovat suihkulauhduttimet, höyrystimet, syöttö- ja kiertoveden lämmittimet sekä lämmönsiirtimet.

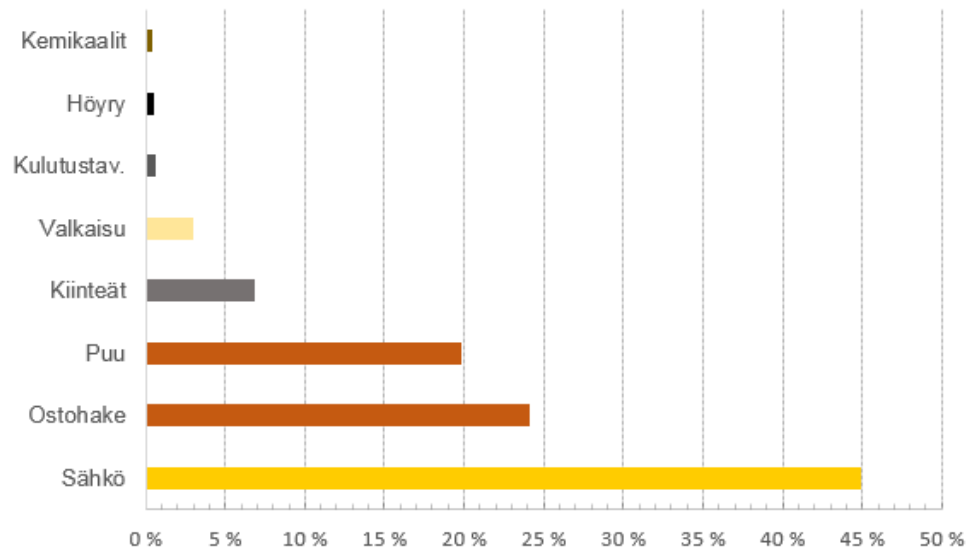
## 4.2 Hierteen valmistuskustannukset

Hierteen valmistuskustannukset vaikuttavat osaltaan paperinvalmistuksen kokonaiskustannuksiin ja siten liiketoiminnan kannattavuuteen. Hierteen valmistuskustannukset on jaettu muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Muuttuvia kustannuksia ovat:

- raaka-ainekustannukset (puu, ostohake)
- kemikaalit ja muu kulutustavara
- energia (sähkö, höyry)

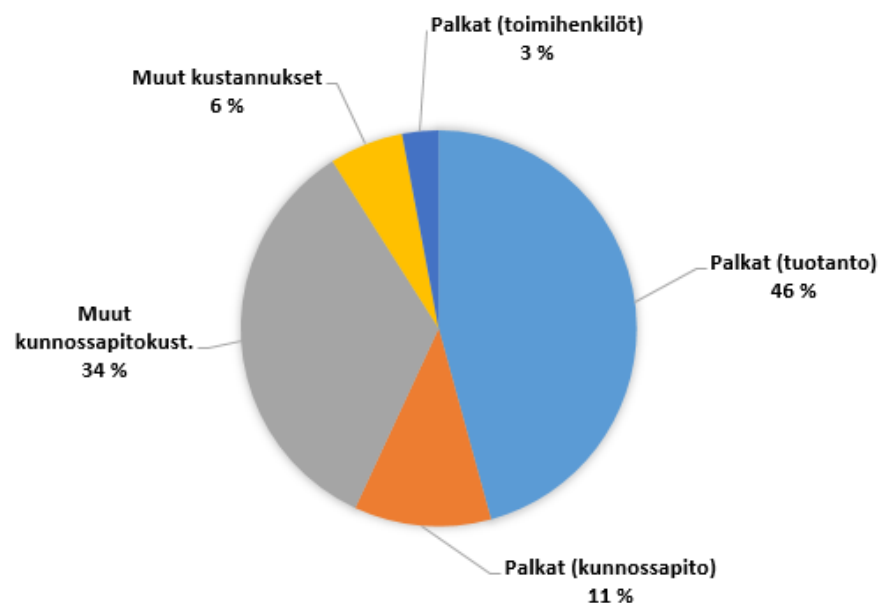
Kiinteät kustannukset muodostuvat kunnossapitokustannuksista ja käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön sekä toimihenkilöiden palkkakustannuksista. Kunnossapitokustannukset on edelleen jaettu materiaalikulutuksiin ja ulkoisen työvoiman kustannuksiin. Kuvassa

4.3 on esitetty vuoden 2014 hierteen valmistuskustannusten prosentuaalinen jakauma Kaipolan tuotantoyksikössä.



**Kuva 4.3: Hierteen valmistuskustannukset Kaipolan hiertämöillä**

Sähkö ja raaka-aineet muodostavat valtaosan hierteen valmistuskustannuksista. Ostohakkeen ja puun yhteinen osuus valmistuskustannuksista on noin 44 %, eli lähes yhtä paljon kuin sähkön osuus. Kiinteät kustannukset muodostavat valmistuskustannuksista noin 7 %. Kiinteät kustannukset voidaan edelleen pilkkoa osiin, kuvan 4.4 mukaisesti:



**Kuva 4.4: Hierteen valmistuksen kiinteät kustannukset, Kaipolan hiertämöt**

Kunnossapitokustannuksia kiinteiden kustannusten kokonaisuudesta on vajaa puolet. Suhteutettuna edelleen hierteen valmistuskustannuksiin, kunnossapitokustannusten osuus kaikista valmistuskustannuksista on siis noin 3 %. Määrä on hyvin pieni, mutta on huomioitava, että kunnossapitokustannuksissa mitataan ainoastaan suoria kustannuksia. Tehokkaalla kunnossapidolla voidaan vaikuttaa myös muihin valmistuskustannuksiin, esimerkiksi parantamalla tuotantolaitteiden laaduntuottoa ja nopeutta.

Hierteen valmistuskustannukset ovat nousseet Kaipolan tuotantoyksikössä noin 10 % viimeisen kymmenen vuoden aikana. Syynä kustannusten nousuun ovat olleet raaka-aineen ja erityisesti sähkön hinnankorotukset. Näiden kustannusten nousua on pyritty paikkaamaan vähentämällä kiinteitä kustannuksia, jotka ovatkin pienentyneet kymmenessä vuodessa noin 30 %. Paine kiinteiden kustannusten pienentämiseen on edelleen kova, ja etenkin kunnossapitokustannuksia seurataan tarkasti. Kun kunnossapitoresursseja joudutaan pienentämään, on haasteellista säilyttää tuotantolaitteiden käytettävyys halutulla tasolla. Tällöin kunnossapidon on oltava tehokasta ja oikein kohdistettua.

### 4.3 Kunnossapito-organisaatio ja resurssit

Jokilaakson tehtailla kunnossapito-organisaatio on jaettu automaatiokunnossapitoon ja mekaaniseen kunnossapitoon. Nämä osastot kuuluvat tehdaspalvelun organisaatioon, johon lisäksi kuuluu tehdassuojelu, laboratoriot, kiinteistöpalvelu ja suunnitteluosasto. Mekaaninen - ja automaatiokunnossapito on jaettu alueryhmiin, jotka vastaavat oman alueensa ja tuotantolinjansa kunnossapidosta. Koko tehtaan yhteisiä kunnossapitoryhmiä ovat lisäksi rakennuskorjaamo, ajoneuvokorjaamo sekä mekatroniikkaryhmä.

Hiertämön alue kuuluu *Kuidun* tuotantoyksikköön, jonka kunnossapidosta vastaavat mekaanisen kunnossapidon sekä automaatiokunnossapidon alueryhmät. Alueryhmä koostuu työsuunnittelijasta, aluemestarista sekä ryhmän asentajista. Mekaanisen kunnossapidon alueryhmässä on tilanteesta riippuen 1-4 työpäriä, automaatiokunnossapidossa noin 2 asentajaa. Kunnossapidon alueryhmät työskentelevät päivätyössä, minkä lisäksi tehtailla on osastojen välinen yhteinen vuorokorjausryhmä, jonka pääasiallisena tarkoituksena on toimia apuna häiriökorjauksissa päivävuoron ulkopuolella. Vuorokorjausryhmä koostuu yhdestä mekaanisen kunnossapidon asentajasta ja yhdestä automaatioasentajasta.

Ulkoista työvoimaa käytetään paljon putkisto-, säiliö- ja teräsrakennetöiden suorittamisessa sekä suuremmissa kunnostustöissä tai uusien laitteiden tai laitteistokokonaisuuksien asennustöissä. Tuotantolaitteiden kunnossapito ja kunnonvalvonta pyritään kuitenkin säilyttämään oman kunnossapitohenkilöstön hallussa, ja se nähdäänkin kunnossapidon ydintoimintana ja –osaamisena, jota korostetaan UPM:n kunnossapitostrategiassa.



Mekaanisen kunnossapidon alueryhmässä on yksi asentaja, joka suorittaa pääsääntöisesti kunnonvalvontaa. Vastaavasti yksi asentaja alueryhmästä tekee voitelutöitä ja öljynvaihtoja. Automaatiokunnossapidon ryhmässä yksi asentaja pyrkii tekemään työtilanteen sallissa määrää aikaistarkastuksia ja kalibrointeja automaatiolaitteille ennakkohuoltosuunnitelmien mukaisesti.

Varsinaisten kunnossapitoasentajien lisäksi osastojen käyttöhenkilöstössä on käyttökunnossapitomiehiä, joilla on kunnossapito-osaamista. Käyttökunnossapitohenkilöstö valvoo laitteiden kuntoa, suorittaa puhdistuksia ja säätöjä sekä kykenee reagoimaan äkillisiin häiriötilanteisiin päivätyöajan ulkopuolella.

Kuidun alueen kunnossapitokustannukset ovat muodostaneet noin 20 % koko Kaipolan tehtaan kunnossapitokustannuksista viimeisen neljän vuoden aikana. Tässä tutkimuksessa tarkasteltavan alueen kunnossapitokustannukset muodostavat noin puolet koko kuidun alueen kunnossapitokustannuksista, eli noin 10 % koko tehtaan kunnossapitokustannuksista.

### **4.3.1 Kunnossapidon nykyinen toimintamalli ja strategia**

UPM:n kunnossapitostrategia pohjautuu yhdessä tekemisen ajattelutapaan. Tuotanto nähdään sekä käytön, kunnossapidon, että ostotoiminnan muodostamana kokonaisuutena. Vahva visio on, että kunnossapito on osa UPM:n ydinosaamista, ja siten kunnossapidon johtaminen ja ydintoiminnot pidetään UPM:n hallinnassa. Kunnossapidon rooli on varmistaa, että tuotteiden ja palveluiden taso vastaa sisäisten ja ulkoisten asiakkaiden odotuksia, tavoitteenaan kilpailukyvyyn parantaminen lisäämällä turvallisuutta, laatua, sekä tuotanto- ja kustannustehokkuutta.

Kunnossapidon tärkeimmiksi tehtäviksi on strategiassa määritetty käyttöomaisuuden ylläpito sekä kunnossapitotoimenpiteiden kustannustehokas suunnittelu, toteutus ja kehittäminen. Kustannusten kannalta tärkeimmäksi tavoitteeksi ilmoitetaan kiinteiden kustannusten vähentäminen. Toiseksi tärkeimpänä tavoitteena nähdään kustannusten ja tuotantomäärän suhteen säilyttäminen vakiona, käyntiasteesta riippumatta. Jokilaakson tehdaspalveluosaston toiminnalliset tavoitteet perustuvat Jämsänkosken ja Kaipolan tehtaiden visioihin ja tuotantoyksiköiden kanssa sovittuihin tehokkuustavoitteisiin sekä UPM:n kunnossapitostrategiaan. Varsinaisiksi kunnossapitolajeiksi on määritetty ennakoiva, korjaava sekä parantava kunnossapito. Erityisesti kunnossapitotoiminnan suunnitelmallisuutta korostetaan strategiassa, kunnossapitolajista riippumatta.

Hiertämön alueen laitteiden vikoja ehkäisevä, ennakoiva kunnossapito perustuu pitkälti määrääkaikaisiin voitelu- ja öljynvaihtotöihin. Korjaava kunnossapito pyritään ajoittamaan mahdollisimman hyvin kunnonvalvontamittausten ja laitteiden toiminnan tason laskun perusteella. Jaksotettua, aikaan tai käyttömäärään perustuvaa huoltoa tai kuluvien osien

vaihtoa suoritetaan hyvin vähän. Aikataulutettuja tarkastuksia suoritetaan lähinnä automaatiolaitteiden huoltosuunnitelmien perusteella. Kunnossapito pyrkii siis toimimaan mahdollisimman ennustavasti, jolloin vikaantunut laite pyritään vaihtamaan laitteen kunnon heikentymisen, tuotannon tilanteen ja kunnossapitoresurssien suhteen parhaassa tilanteessa. Tällöin ylimääräisiä kustannuksia jaksotetuista huolloista tai komponenttien vaihdosta ei synny, eikä altisteta laitteita liialle kunnossapidolle. Tällä hetkellä ongelmaksi kuitenkin nähdään yllättävistä vikaantumisista aiheutuvat korkeat korjauskustannukset. Tämä kertoo, että kunnonvalvonnan avulla ei tällä hetkellä pystytä ennakoimaan vikamuotoja riittävän tehokkaasti.

Jotta ennustava kunnossapidon malli toimisi hyvin, täytyy kunnossapidon ajoittamiseksi olla hyvää tietoa laitteen toiminnasta ja vikaantumisen alkamisesta ja etenemisestä. Tällä hetkellä laitetta saatetaan käyttää niin kauan, että se lopulta rikkoontuu, vaikka vika olisikin ollut tiedossa. Syitä tähän voi olla monia; vian etenemisestä ei ole tarpeeksi tietoa kunnossapitoresursseja ei ole käytössä tai tuotantoa ei haluta katkaista laitteen korjaamiseksi. Toisaalta pelkän käynninaikaisen kunnonvalvonnan avulla kaikkien vikamuotojen alkamista ja etenemistä ei pystytä havaitsemaan.

### 4.3.2 Kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmä

UPM:n kunnossapito pohjautuu yrityksen eri toimintoja yhdistävään SAP-toiminnanohjausjärjestelmään, joka otettiin yrityksessä käyttöön vuonna 2010. Kun tuotantoprosessissa huomataan toiminnon heikkeneminen tai järjestelmän osan vikaantuminen, kirjataan tilanteesta toiminnanohjausjärjestelmään vikailmoitus. Kunnossapito-osasto jalostaa vikailmoituksesta työtilauksen, joka kohdistetaan kunnossapidosta vastaavalle osastolle. Työtilauksessa työlle varataan myös resurssit ja se aikataulutetaan.

Vikailmoitukseen määritetään minimissään kuvaus viasta ja se kohdistetaan jollekin toimintopaikalle. Kunnossapitoryhmän aluemestari tai työnsuunnittelija tekee vikailmoituksen perusteella työtilauksen, ja yleensä joutuu täydentämään vikailmoituksen tietoja. Oma kunnossapitohenkilöstö ”leimaa” itsensä työtilaukselle, jolloin toteutuneet kunnossapitotyötunnit kirjautuvat työtilaukselle. Työtilaukseen kirjataan myös työssä tarvittavat varaosat sekä tilataan tarvittaessa ulkoinen työvoima.

Koska työtilaukset ja vikailmoitukset kohdistetaan aina jollekin toimintopaikalle, pystytään toiminnanohjausjärjestelmän avulla seuraamaan kunnossapidon määrää ja kustannuksia toimintopaikkakohtaisesti. Myös työpiste (esimerkiksi mekaaninen kunnossapito, automaatiokunnossapito, käyttökunnossapito yms.) kirjataan aina työtilaukselle, mikä mahdollistaa työpistekohtaisen tarkastelun. Vikailmoitukseen ja työtilaukseen voidaan täyttää myös tietoa kunnossapitotoimenpiteen luokittelusta, toisin sanoen onko kyseessä

korjaava, ehkäisevä vai parantava kunnossapito. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan Joki-laaksossa käytetä vakiutuneesti.

Työtilaukseen saadaan siis sisällytettyä paljon tietoa, jonka avulla kunnossapitoa ja kunnossapidettäviä laitteita voidaan tarkastella. SAP on ollut tehtailla käytössä 4 vuotta, ja sen käytössä onkin vielä käyttäjäkohtaisesti suuriakin eroja. Viime vuosina on kuitenkin otettu askeleita toiminnanohjausjärjestelmän potentiaalinen hyödyntämiseksi kunnossapidon kehittämisessä. Toiminnanohjausjärjestelmänä SAP on kuitenkin kokemusten perusteella melko vaikeakäyttöinen, mikä rajoittaa siitä saatavien etujen käyttöä kunnossapidon kehittämisessä. SAP:n ehdottomana vahvuutena kunnossapidon suunnittelun kannalta on kuitenkin mahdollisuus kerätä ja tallentaa järjestelmään laaja-alaista tietoa vi-oista, korjauksista ja kustannuksista.

### 4.3.3 Kunnossapidon mittarit

Kunnossapidon kehittämiseksi myös UPM:llä on kasvavassa määrin alettu keräämään tarkempaa tietoa kunnossapidon tunnusluvuista. Suurimmassa roolissa on suunnitelmallisuus, joka korostuu useassa mittarissa. Suunnitelmallisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä kunnossapitotöiden ajoittamista esimerkiksi konelinjakohtaisiin seisokkeihin tai viikkotyölistoille. Suunnitelmallisuus toteutuu, kun kunnossapitotyö aloitetaan ja lopetetaan ajanjaksolla, jolle se on alun perin toiminnanohjausjärjestelmässä ajoitettu. Tällöin siis välitöntä korjausta vaativat yllättävät vikaantumiset laskevat suunnitelmallisuutta, minkä avulla voidaan arvioida korjaavan ja suunnitellun kunnossapidon suhdetta. Vastaavasti suunnitelmallisuutta seurataan myös ulkoisen työvoiman ja materiaalien varauksissa sekä työtilauskohtaisten kustannusten arvioimisessa.

Kunnossapitolajien välisen suhteen seuranta ei siis nykyisellään ole käytössä, vaikka toiminnanohjausjärjestelmän puolesta se olisikin toteutettavissa. Nykyään kunnossapidon suunnittelussa on kuitenkin aloitettu käyttämään korjaavaa kunnossapitoa kuvaavaa ”pikatyö”-koodia. Pikatyö tarkoittaa, että työ on aloitettava heti kunnossapitotyötilauksen luonnin jälkeen. Pikatyökoodin käyttö ja työn toteutuminen parantaa suunnitelmallisuutta, mikä kannustaa työnsuunnittelijoita ajoittamaan – tässä tapauksessa luokittelemaan työn erikseen kiireiseksi – myös välitöntä korjausta vaativat työt. Tällä tavoin pyritään siihen, että jokainen kunnossapitotyö on ajoitettu, ja pikatöiden määrää tarkkailemalla saadaan parempi käsitys korjaavan kunnossapidon määrästä. Käytännössä on kuitenkin vielä eroja eri osastojen välillä, mutta tulevaisuudessa käytännön vakiintuessa ja kerätyn datan lisääntyessä kunnossapitoa voidaan tarkastella entistä monipuolisemmin.

Muita seurattavia mittareita ovat esimerkiksi uusien työtilausten määrät, määräaikaistöiden suorittaminen, vikailmoitusten käsittelyaika (aika vikailmoituksen luomisesta työti-

lauksen luomiseen ja vapauttamiseen), käyttökunnossapidon työtunnit ja käyttökunnossapidon toteuttamat työtilaukset. Luonnollisesti myös kunnossapitokustannuksia seurataan yksikkö-, osasto- ja työpistekohtaisesti. Myös kunnossapitokustannusten jakautumista oman ja ulkoisen työvoiman sekä materiaalikustannusten suhteen seurataan.

#### 4.3.4 Hiertämön alueen kunnossapidon haasteet

Kunnossapito- ja käyttöhenkilön kanssa käytyjen keskustelujen perusteella hiertämön alueen kunnossapidollisina haasteina nähdään erityisesti oman kunnossapito henkilöstön rajoittunut määrä kunnossapitotöihin suhteutettuna, sekä kunnossapitokustannusten hallinta. Osa hiertämön ja kuidun osaston laitteista on vanhoja, ja laitteiden uusiminen ja suuremmat ”peruskorjaukset” ovat kalliita. Toisaalta investointeja laitteiden kunnossapidon ja toiminnan kehittämiseksi on vaikea saada, sillä investoinneista saatavia hyötyjä ei pystytä riittävän vakuuttavasti mittaamaan.

Kuten muillakin tehtailla, osastojen omat kunnossapitoryhmät toimivat suhteellisen pienellä miehityksellä. Kunnossapitotöitä on kuitenkin niin paljon, että esimerkiksi laakerointien huollot joudutaan yleensä teettämään ulkopuolisen työvoiman avulla, vaikka vastaaviin töihin olisikin ammattitaitoa ja osaamista alueen omassa kunnossapitoryhmässä. Ulkoisissa huolloissa ja kunnossapitotöissä on myös joidenkin asentajien mukaan selkeitä puutteita, jotka altistavat laitteita vioille. Kunnossapitotöiden suunnittelua ja tehokkaampaa oman henkilöstön käyttöä voitaisiin mahdollisesti parantaa kehittämällä laitteiden kunnonvalvontaa ja tarkastuksia, jolloin alkavista vikaantumisista saataisiin aikaisemmin tietoa. Ulkoisen työvoiman käyttö lisää myös työnsuunnittelijan työkuormaa, sillä tällöin aikaa kuluu perehdytyksiin, koulutuksiin, työn tilaamiseen ynnä muihin vastaaviin toimintoihin, joita oman henkilöstön kohdalla ei tarvitsisi tehdä.

Varsinaisten laiterikkojen lisäksi haasteena koetaan eräiden laitteiden osalta oirehtivista vioista johtuva toiminnan tason lasku. Erityisesti prosessia ohjaavien toimintojen kohdalla tämä nähdään ongelmana, sillä vaikutukset näkyvät hierteen laadussa, mikä voi aiheuttaa ajettavuusongelmia paperikoneilla. Esimerkkeinä tällaisista laitteista voidaan mainita sakeus- ja virtausmittaukset sekä prosessia ohjaavat MAP-kuituanalysaattorit.

Työn tavoitteena on erityisesti keskittyä vastaaviin kunnossapidon sekä tuotannon kannalta haasteellisten sekä kunnossapitokustannuksiltaan korkeiden kohteiden kunnossapidon kehittämiseen. Kehitys halutaan ohjata korjaavan kunnossapidon vähentämiseen, kunnossapidon suunnitelmallisuuden lisäämiseen sekä laitteiden käyttövarmuuden parantamiseen. Näillä kaikilla tekijöillä on myös vaikutus kunnossapitokustannuksiin, joiden pienentämiseen ja hallitsemiseen on annettu jatkuvasti painetta liikkeenjohdon tasolta.

## 5. KRIITTISTEN LAITTEIDEN TUNNISTAMINEN

Diplomityön tavoitteita ja rajausta pohdittaessa haluttiin ottaa koko hiertämön alueen prosessi ja laitteet huomioon. Rajaus käsitti kaikki laitteet ja toiminnot lähtien haketornien purkaimista ja päättyen hierretorneihin. Kuitenkin alueen ja järjestelmän ollessa suuri ja monimutkainen, pyrittiin prosessista tunnistamaan järjestelmän toiminnan, käytön ja kunnossapidon kannalta tärkeimmät kohteet. Tutkimustyön resurssit ja tarkemmat analyysit kohdistettaisiin ensisijaisesti kyseisille laiteryhmille käytettävyyden ja kunnossapidon kehittämiseksi. Vastaavasti myös kunnossapidon resursseja pyritään RCM-menetelmän mukaisesti kohdistamaan tärkeimmiksi havaittuihin kohteisiin.

Tärkeimpien laiteryhmien tunnistamiseen käytettiin useaa lähestymistapaa. Luotettavuusmallilla - joka rakennettiin luotettavuuslohkokaavion ja vikapuun avulla - pyrittiin tunnistamaan järjestelmän käytettävyyteen olennaisesti vaikuttavat laitteet ja laiteryhmät. Kunnossapidon kustannuksia ja työtilausmääriä toimintopaikoittain tarkasteltiin neljän vuoden ajalta, pyrkimyksenä tunnistaa kunnossapidollisesti vaikeimmat laitteet. Kriittisyysluokittelun avulla pyrittiin ottamaan erilaiset kriteerit (laitteen merkitys prosessille ja tuotantolaadulle, korjauskustannukset, vikaantumisherkyys) huomioon päätöksenteossa, jakaen laitteet neljään kriittisyysluokkaan, joiden avulla kunnossapito voidaan kohdistaa tärkeimpiin kohteisiin. Laitteiden kriittisyysluokittelussa käytettiin UPM Kaukaalla kehitettyä mallia, jonka käytöstä muualla halutaan kokemuksia.

### 5.1 Luotettavuusmallin ja vikapuun konstruointi

Kohdealueen rajaamisen jälkeen ensimmäinen vaihe oli luotettavuusmallin rakentaminen. Luotettavuusmallista saatavat tiedot toimivat pohjana työssä myöhemmin suoritettuille kriittisyysluokittelulle, toimintojen määrittämiselle sekä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysille. Lähtökohtana oli käyttövarmuusmallin rakentaminen luotettavuuslohkokaavion ja vikapuun avulla.

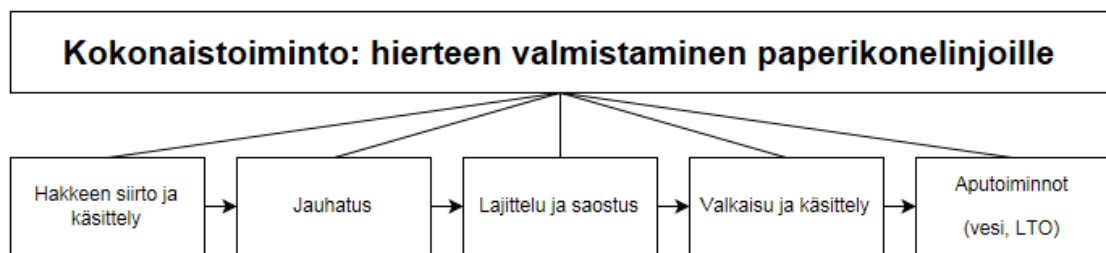
Hiertämön tuotantopäällikkö, käyttöinsinööri ja ylimestari olivat avainasemassa kokemuksensa ja osaamisensa vuoksi luotettavuusmallin sekä hiertämön toiminnallisen kuvauksen luomisessa. Apuna käytettiin myös PI-kaavioita, hiertämön prosessikuvauskansioita, toimintajärjestelmän sähköisiä asiakirjoja sekä prosessinohjausjärjestelmää, jonka selkeä, virtauskaaviota muistuttava käyttöliittymä antoi hyvän kokonaiskuvan hierteenvalmistuksen prosessista.

Luotettavuusmallin ja toiminnallisen kuvauksen tekeminen lisäsi huomattavasti ymmärrystä hiertämön prosessista ja osaprosessien keskinäisestä suhteesta. Tieto osoittautui hyödylliseksi myös tutkimustyön myöhemmissä vaiheissa.

### 5.1.1 Hiertämön prosessin luotettavuuslohkokaavio

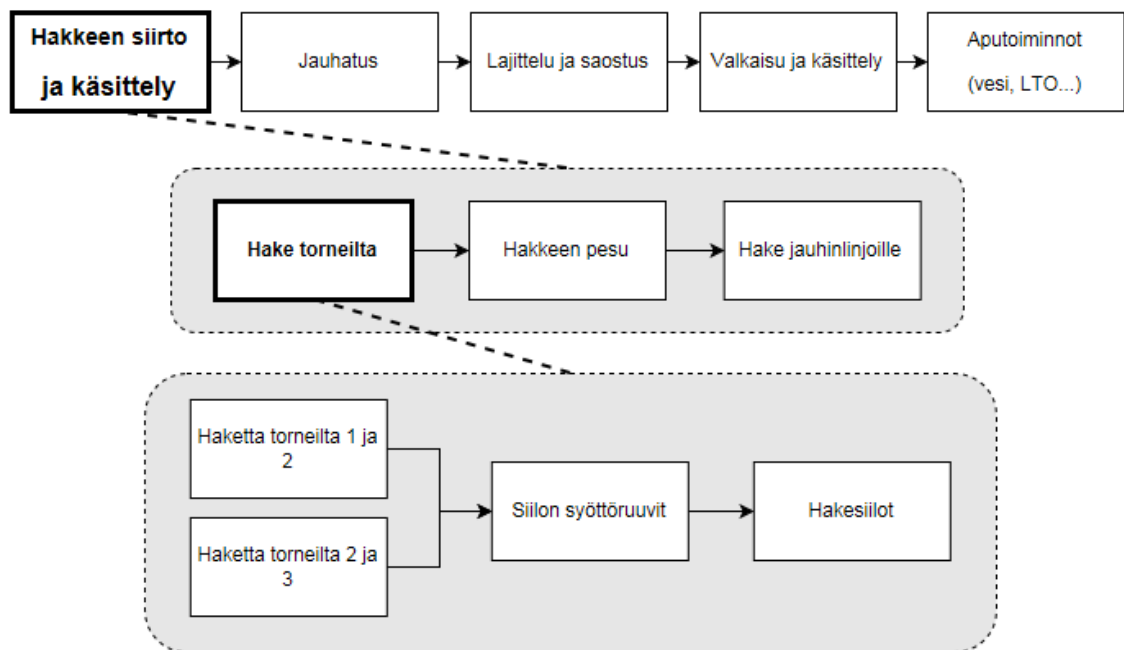
Luvussa 4.1 esitetyn toiminnallisen kuvauksen sisältämät toiminnot ja laitteet muodostavat luotettavuuslohkokaavion rajapintakaavion, joka toimii tarkastelun ja käyttövarmuusmallin rajauksena. Kokonaistoiminto, jonka toteutumisen suhteen järjestelmää tarkastellaan, muodostuu tarkasteltavan alueen osaprosessien ja laitteiden toiminnoista. Kokonaistoiminnoksi määritettiin hierteen valmistus kolmelle paperikoneelle. Kokonaistoiminto jaettiin osatoimintoihin, jotka edelleen jaettiin tarkempiin osiin, kunnes malli kuvaa riittävän hyvin järjestelmän toimintaa.

Tarkasteltava alue jaettiin aluksi viiteen osajärjestelmään, jotka ovat: *hakkeen siirto ja käsittely, jauhatus, lajittelu ja saostus, valkaisu ja käsittely* sekä *aputoiminnot*. Osajärjestelmien luotettavuuslohkokaaviot määritettiin siten, että osajärjestelmän toiminnon on oltava sillä tasolla, että kokonaistoiminto pystyy sen puolesta toteutumaan. Esimerkiksi lajittelun ja saostuksen osajärjestelmää ei nähdä toteutuneeksi, jos yhdenkin paperikoneen lajittelu on vikatilassa. Käytännössä osajärjestelmät siis muodostavat sarjarakenteen kuvan 5.1 mukaisesti. Jokaisen osajärjestelmän toiminnon on siis toteuduttava, jotta päätoiminto – hierteen valmistaminen kolmelle paperikoneelle – toteutuisi.



**Kuva 5.1: Hierteen valmistuksen kokonaistoiminto ja osajärjestelmät**

*Hakkeen siirto ja käsittely:* Kokonaistoiminnon toteutumiseksi hakekentältä on saatavaa riittävästi haketta hierteen valmistamiseksi. Normaalisti haketta puretaan haketorneista 1 ja 2, minkä lisäksi haketornista 3 purettu hake sekoitetaan haketornien 1 ja 2 hakevirtoihin jakoruuvien avulla. Hake siirtyy lopulta hiertämölle kahta hihnakuuljetinta pitkin. Haketta on mahdollista saada riittävästi kahdesta haketornista, kunhan haketorni 2 ja sitä vastaava kuuljetinlaitteisto on käytössä. Hakkeen siirron ja käsittelyn osatoiminnon luotettavuuslohkokaavion muodostuminen on esitetty kuvassa 5.2.



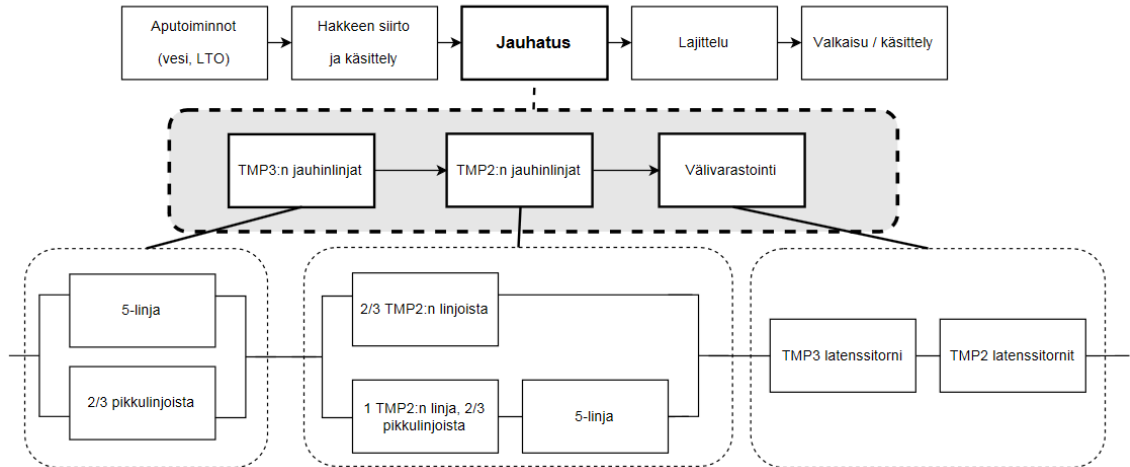
**Kuva 5.2: Hakkeen siirto ja käsittely, osatoiminnon luotettavuuslohkokaavion muodostaminen**

Vastaavalla tavalla muodostetaan luotettavuuslohkokaaviot myös muista osatoiminnoista. Osatoiminnot voidaan edelleen jakaa pienempiin osiin yksityiskohtaisuuden saavuttamiseksi, kuten yllä olevassa kuvassa on tehty. Alimpien tasojen luotettavuuslohkokaavion lohkoja käytetään myöhemmin vikapuuanalyysin TOP-tapahtumina, jonka perustapahtumat muodostuvat toimintoon liittyvistä toimintopaikoista. Tarkoituksena on tunnistaa laitteet ja tapahtumat, joilla on suurin vaikutus osatoiminnon toteutumiseen.

Hakkeen siirron ja käsittelyn osatoimintoon on sisällytetty myös omina osatoimintoinaan hakkeen pesu ja hakkeen siirtäminen jauhinlinjoille. Hake syötetään pesureihin hakesiiloista, joista hake puretaan purkuruuvistoilla hakepesurien syöttöruuveille. Molempien hiertämöiden hakesiilojen yhteydessä on kaksi hakepesuria, joista toinen on varalla. Kokonaistoiminnon toteutumisen kannalta molempien hiertämöiden hakkeenpesun on oltava käytössä. Hakepesureilta hake kuljetetaan siirtoruuvien avulla jauhinlinjoille. Ruuvien luotettavuusteknisen sarjarakenteen vuoksi jokaisen hakkeen jauhinlinjoille jakavan siirto- ja jakoruuvien on oltava toiminnassa.

*Jauhatus:* Hierteen valmistus kolmelle paperikoneelle vaatii riittävästi tuotantoa jauhinlinjoilta. Käytännössä ainakin osa molempien hiertämöiden jauhinlinjoista on oltava toiminnassa. Jauhatuslinjojen suhteen hiertämöt voivat kuitenkin toimia joustavasti, sillä massa voidaan ajaa jokaiselta jauhinlinjalta yhteen kolmesta latenssitornista, joista massa edelleen ajetaan paperikonekohtaiseen lajitteluun. Latenssitornien ja niiden yhteydessä olevien pumppujen on kuitenkin kaikkien oltava toiminnassa. TMP 3 pyrkii normaalisti

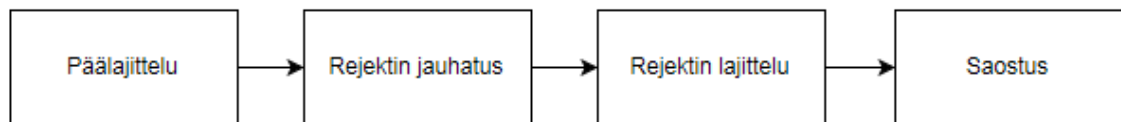
pitämään 5-linjan ajossa, mutta varalla on myös 3 pienempään tuotantoon kykenevää linjaa. Näistä kolmesta ”pikkulinjasta” riittää yleensä 2 korvaamaan jonkin toisen linjan. TMP 2:n puolella käytössä on 3 linjaa, joista normaalisti 2 on ajossa. Jauhatuksen luotettavuuslohkokaavio on esitetty kuvassa 5.3.



**Kuva 5.3: Jauhatuksen osatoiminnon luotettavuuslohkokaavio**

Yksittäisen, tai useammankaan jauhinlinjan vikaantuminen ei siis estä välttämättä kokonaistoimintoa toteutumasta. Merkittävimmissä asemassa on TMP 3:n 5-linja, joka kykenee suurimpaan tuotantoon. Jauhinlinjat ovat laitteistoltaan keskenään varsin samanlaisia, ja jauhinlinjan laitteet ovat keskenään luotettavuusteknisesti sarjassa.

*Lajittelu ja saostus:* Lajittelun ja saostuksen osatoiminto voidaan jakaa selkeyden vuoksi päälajitteluun, rejektin jauhatukseen, rejektin lajitteluun sekä saostukseen, kuten kuvassa 5.4. Päälajittelulinjoja on yksi jokaista paperikonetta kohti, joten yhdenkin päälajittelulinjan vikaantuminen estää päätoiminnon toteutumisen.



**Kuva 5.4: Lajittelun ja saostuksen osatoiminnon muodostuminen**

Päälajittelun tärkeimmät laitteet muodostuvat ensimmäisen ja toisen portaan painesihdeistä ja painesihkien syöttöpumpuista. Päälajittelun laitteet ovat luotettavuusteknisesti sarjassa, joten katkosjoukkojen perusteella ne ovat samanarvoisia, joskin kokonaistoiminnon kannalta merkittäviä, sillä jokainen laite muodostaa itsessään minimikatkosjoukon. Rejektijauhimet ovat tärkeämmässä asemassa verrattuna pääjauhatuksen jauhinlinjoihin, sillä ajovaihtoehtoja on vähemmän. Rejektin lajittelu toimii kuten päälajittelukin.



Lajittelun ja saostuksen osatoiminto voidaankin sarjarakenteensa vuoksi nähdä kriittisempänä kuin hakkeen siirron ja käsittelyn tai jauhatuksen osatoiminto. Lajittelu ja saostus on myös käyttöhenkilöstön kokemusten perusteella hiertämön pullonkulaosasto, joka usein rajoittaa tuotantokapasiteettia.

*Valkaisu ja käsittely:* Hierteen valkaisu tehdään ditioniitin avulla, joka valmistetaan valmistusyksiköissä hiertämöllä. Käytössä on kaksi reaktioyksikköä, joista normaalisti yksi on käytössä. Ditioniitin valmistusyksiköiden lisäksi hierteen valmistuksessa tarvittavia kemikaalilaitteita ovat kipsin ja pihkan dispergointiainepumput. Kipsin ja pihkan dispergointiaineet toimitetaan tehtaalle konteissa. Dispergointiaineella estetään pihkasta ja kipsistä aiheutuvia saostumia, jotka vaikeuttavat hierteen valmistusta, ja ne ovat välttämättömiä prosessin kannalta. Kemikaalien annostelussa on kuitenkin redundanttisuutta, sillä järjestelmässä on molemmille dispergointiaineille varapumput. Ditioniitin ja dispergointiaineiden lisäksi hierteen valmistuksessa käytetään myös kelaattia, jota käytetään valkaisuun apuaineena, mutta se ei ole kokonaistoiminnon kannalta välttämätöntä.

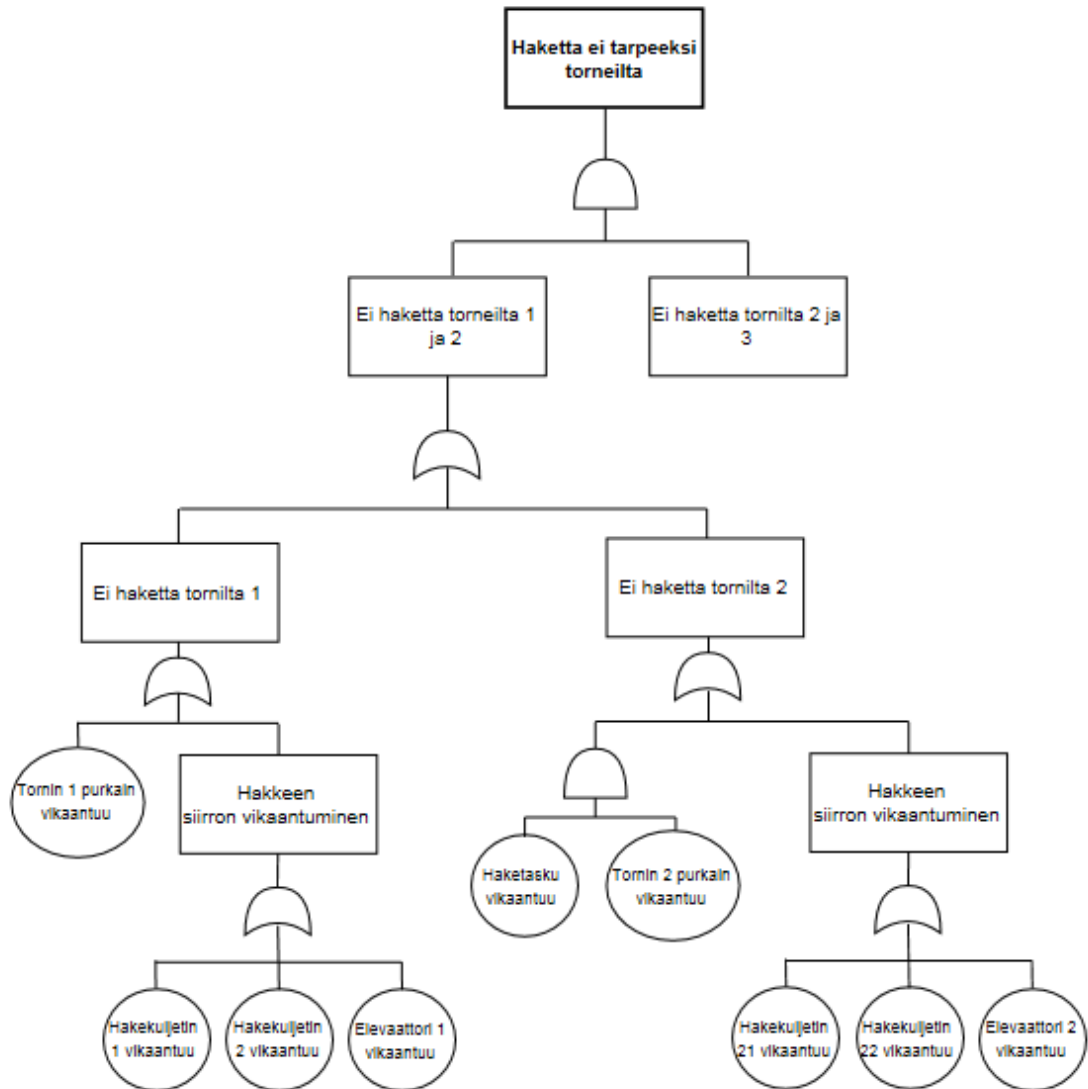
Molemmilla hiertämöillä on oma MAP-kuituanalysointinsa. Vaikka kuituanalysointin vikaantuminen ei katkaisekaan hiertämöiden tuotantoa, sillä on merkittävä vaikutus hierteen laatuun. Tämän vuoksi kuituanalysointoreiden toiminta nähdään välttämättömänä kokonaistoiminnon toteutumiseksi. Heittelyt hierteen laadussa aiheuttavat ajettavuusongelmia paperikoneella ja pahimmassa tapauksessa paperikoneen tuotantoa ei pystytä hyödyntämään paperin laatuongelmien vuoksi.

*Aputoiminnot:* Aputoiminnot käsittävät tässä tutkimuksessa lämmöntalteenotto- ja kiertovesijärjestelmän, joiden molempien on oltava toiminnassa. Molempien järjestelmien päälaitteet ovat luotettavuusteknisesti sarjarakenteisia, joten laitteet ovat keskenään samanarvoisia ja kokonaistoiminnon kannalta tärkeitä.

### 5.1.2 Vikapuun analysointi

Vikapuu rakennettiin jokaisesta luotettavuuslohkokaavion muodostamasta alimman tason toiminnosta erikseen, jotta vikapuun koko pysyi hallittavana. Vikapuiden TOP-tapahtumiksi valittiin siis lohkokaavion alimpien tasojen toimintojen vikaantuminen. Vikapuun perustapahtumat muodostettiin toimintopaikoista ja laitteista. Vikapuun analysointi suoritettiin kvalitatiivisesti tarkastelemalla minimikatkosjoukkoja, tarkoituksena havaita järjestelmän käytettävyyden kannalta merkittävimmät laitteet. Minimikatkosjoukkojen lisäksi analyysissä pyrittiin löytämään laitteet, jotka esiintyvät useissa katkosjoukoissa, sillä näiden laitteiden käytettävyyden parantamisella on yleensä suurin vaikutus koko järjestelmän käytettävyyteen. Vikapuiden muodostamista on havainnollistettu kuvassa 5.5, jossa on esitetty hakkeen siirron toiminnon vikapuun TOP-tapahtumana on tapahtuma,

jossa haketta ei saada siirrettyä riittävästi hiertämölle. Kuvasta on jätetty pois tapahtuman ”Ei haketta torneilta 2 ja 3” perustapahtumat tilan säästämiseksi.



**Kuva 5.5: Vikapuu yhdestä hakkeensiirron osatoiminnosta**

Koko hakkeen siirron ja käsittelyn osatoiminnosta muodostettu vikapuu sisältää perustapahtumia eli laitteita, jotka muodostavat vikaantuessaan itsessään minimikatkosjoukon. Tällaisia laitteita ovat:

- elevaattori 2
- hakekuljettimet 21 ja 22
- hakesiilojen syöttöruuvit
- TMP 2:n vedenerotusruuvi
- hakkeen siirto- ja jakoruuvit

Lisäksi haketornien 1 ja 3 purkaimet sekä muut kuljettimet esiintyivät useassa kahden kohteen muodostamassa minimikatkosjoukossa. Hakesiilojen purkuruuvien ja hakepesurien rinnakkaisrakenteen vuoksi kyseiset kohteet eivät ole muodostamiensa katkosjoukkojen perusteella niin merkittäviä, kuin yllämainitut kohteet. Se sijaan jokainen hakkeen siirto- ja jakoruuvi muodostaa oman minimikatkosjoukkonsa.

Vastaavasti muodostetaan vikapuut myös muista osatoiminnoista ja tarkastellaan perustapahtumia ja katkosjoukkoja. Jauhatuksen osatoiminnon osalta yhdenkään jauhinlinjan vikaantuminen ei estä kokonaistoimintoa toteutumasta, sillä linjoja on useampi varalla. Merkittävin jauhinlinja on 5-linja suurimman tuotantokykynsä takia, minkä vuoksi se esiintyykin muita linjoja useammassa kolmen linjan muodostamassa katkosjoukossa. Jauhinlinjan laitteet ovat luotettavuusteknisesti sarjassa ja siten keskenään samanarvoisia. Minimikatkosjoukon jauhatuksen osalta muodostavat latenssitornit sekoittimiseen ja pumppuineen. Jauhatuksen osalta voidaan siis määrittää tärkeimmiksi laitteiksi:

- 5-linja
- latenssitornit laitteineen

Päälajittelun osatoiminnon vikapuussa ei juurikaan esiinny luotettavuusteknisesti rinnakkaisrakennetta, joten kaikki laitteet ovat samanarvoisia ja kokonaistoiminnon kannalta merkittäviä. Lajittelun laitteiden ja toimintojen väliset säiliöt parantavat osaston käytettävyyttä. Vikapuuanalyysi suoritettiin kuitenkin vain kvalitatiivisesti, joten säiliöiden tarkempi vaikutus osatoiminnon käytettävyyteen jäi selvittämättä. Koska päälajittelun osatoiminto on lähes täysin sarjarakenteinen, täytyy laitteita vertailla muiden menetelmien avulla.

Rejektijauhimet ovat pääjauhinlinjojen jauhimia huomattavasti tärkeämpiä kokonaistoiminnon toteutumisen kannalta, sillä normaalissa ajotilanteessa kaikki rejektijauhimet ovat yhtä jauhinta lukuun ottamatta käytössä. Rejektin lajittelu toimii kuten päälajittelu, eli laitteet ovat luotettavuusteknisen sarjarakenteensa ansiosta samanarvoisia.

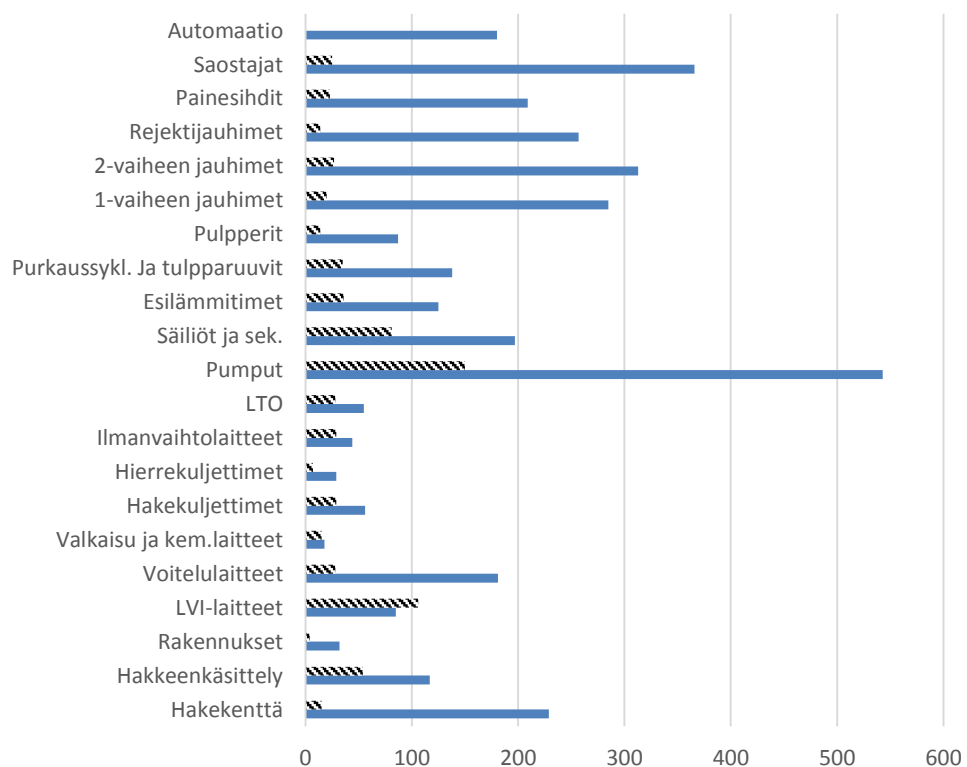
Saostuksen osatoiminnon laitteet ovat myös luotettavuusteknisesti sarjassa. TMP 3:lla on yksi kiekkosasto varalla, mutta sen tuotantokapasiteetti ei yksinään riitä takaamaan riittävästi hierrettä paperikone 6:n käyttöön. Sen avulla voidaan kuitenkin parantaa jonkin verran järjestelmän käytettävyyttä, koska varasaostin voidaan ottaa käyttöön, mikäli kiekkosastimen 1 toiminta heikkenee vaaditun tason alapuolelle.

Kemikaalilaitteiden osalta järjestelmässä on redundanttisuutta, sillä lähes kaikilla kemikaalipumppuilla on omat varapumppunsa. MAP-kuituanalyssaattorit muodostavat kuitenkin minimikatkosjoukon, sillä niiden toiminta on prosessille välttämätöntä. Myös LTO- ja kiertovesijärjestelmän päälaitteet (säiliöt ja pumput) muodostavat jokainen itsessään minimikatkosjoukon.

## 5.2 Työtilausten ja vikojen määrä toimintapaikoittain

Tarkastelemalla työtilausten ja vikailmoitusten määrää toimintapaikoittain saatiin selville kohteet, joiden voidaan ajatella olevan kunnossapidollisesti haasteellisia TPM-mallin op-pien mukaisesti. Vikojen määrä tarkastelujaksolla kertoo kohteen toimintavarmuudesta, joka on yksi käyttövarmuuden muodostavista osa-alueista. Korkea vikojen määrä kertoo lyhyemmästä keskimääräisestä vikavälistä MTTF, mikä taas kaavan 7 mukaisesti laskee käytettävyyttä, jos keskimääräinen korjausaika MTTR pysyy vakiona.

Toimintapaikoille kohdistetut vikailmoitukset ja työtilaukset saadaan selville toiminnan-ohjausjärjestelmästä. Vikailmoituksen tai työtilauksen laatija ei kuitenkaan välttämättä sijoita ilmoitusta tai tilausta kohteen varsinaiselle toimintapaikalle, mikä vääristää tilastoja jonkin verran. Esimerkkinä voidaan mainita automaattiventtiilit, joille jokaiselle on oma toimintapaikkansa, mutta venttiiliä koskeva vikailmoitus luodaan usein sen yhteydessä olevalle pumpulle tai säiliölle. Vikailmoitus saatetaan myös luoda ylemmän tason toimintapaikalle (esimerkiksi hiertämö kokonaisuudessaan), jos toimintopaikasta ei ole tietoa vikailmoitusta tehdessä. Työtilausten jakautuminen eri laiteryhmillä vuosien 2011–2014 aikana on esitetty kuvassa 5.6:



**Kuva 5.6: Työtilausten lukumäärän jakautuminen tarkasteltavalla alueella eri laiteryhmiä välillä. Sininen palkki kuvaa työtilausten määrää, ylempi raidoitettu palkki kuvaa toimintapaikkojen määrää.**

Työtilausten määrää tarkastellessa on huomioitava, että ylätoimintopaikat sisältävät eri määrän laitteita ja varsinaisia toimintopaikkoja. Kuvassa raidoitettu palkki kuvaa toimintopaikkojen määrää ja toinen palkki työtilausten määrää. Voidaankin havaita, että hiertämöiden päälaitteet, kuten jauhimet ja saostajat työllistävät toimintopaikkojen määrään suhteutettuna kunnossapidollisesti eniten.

Automaatiolaitteiden lukumäärää ei ole merkitty kuvaan, sillä niitä on alueella n. 4000. Automaatioposition omaavat toimintopaikat pitävät sisällään instrumenttipiirejä (prosessisuuremittaukset ja –säädöt), hydrauliiikka- ja pneumatiikkapiirejä, venttiilejä sekä prosessinohjaukseen ja –valvontajärjestelmään liittyviä laitteita ja komponentteja. Automaatiopositiot jakautuvat koko prosessin alueelle, eikä niitä käsitelty toimintopaikkatasolla.

Yksittäisistä toimintopaikoista selkeästi eniten työtilauksia on kohdistettu juuri kiekkosaostimille ja jauhimille. Kymmenen työtilausmäärältään suurimman toimintopaikan työtilaukset muodostavat noin 15 % osuuden kaikista työtilauksista. Näiden toimintopaikkojen osuus kaikista toimintopaikoista on noin 1,5 %. Työtilauksia on kohdistettu eniten seuraaville toimintopaikoille (suluissa työtilausten määrä tarkasteluajanjaksolla):

- Kiekkosaostin 2, TMP 2 (88)
- Jauhin 51, TMP 3 (71)
- Kiekkosaostin 1, TMP 2 (48)
- Jauhin 42, TMP 3 (47)
- Sihtirejektijauhin 1, TMP 3 (46)
- Rejektijauhin 1, TMP 2 (45)
- Jauhin 81, TMP 2 (45)
- Jauhin 71, TMP 2 (42)
- Kiekkosaostin 1, TMP 3 (37)
- Hakekuljetin 2 (37)

Työtilauksia tarkastellessa pyrittiin myös huomioimaan vikojen luonne. Esimerkiksi merkittävä osuus jauhimien työtilauksista liittyy jauhimien teräpalojen vaihtoon. Teräpalat kuluvat käytössä, ja ne vaihdetaan yleensä käyttötuntien perusteella. Teräpalojen vaihdon materiaalikustannukset kuuluvat tuotannon kustannuksiin, mutta vaihtotyön henkilötyötunnit näkyvät kunnossapitokustannuksissa. Terien vaihto suoritetaan yleensä suunnitellusti, jolloin prosessiin ei aiheudu häiriöitä. Teräpalojen vaihtoon liittyvät työtilaukset muodostavat noin puolet jauhimille kohdistetuista työtilauksista.

Vikailmoitusten ja työtilausten korkea määrä ei siis vielä itsessään tee toimintopaikasta järjestelmän toiminnon ja kunnossapidon kannalta kriittistä. Toimintopaikat ja niille sijoitetut laitteet ovat hyvin erilaisia, ja vikojen vaikutus kohteen toimintaan vaihtelee. Toimintopaikoille sijoitettujen laitteiden ja osien määrä vaihtelee myös paljon. Esimerkiksi hihnakuljettimissa on satoja kannatinrullia, joita joudutaan kulumisen vuoksi vaihtamaan.

Yksittäinen rulla kestää käytössä kauan, mutta rullien lukumäärän vuoksi työ on melko yleinen. Kuluminen huomataan usein helposti äänen perusteella ja vaihtotyö on nopea suorittaa, joten tuotantohäiriöt ovat vähäiset.

Vikailmoitusten ja työtilausten kirjaamisessa on myös käyttäjäkohtaisesti kuitenkin niin suuria eroja, että osalle vanhoista työtilauksista ei voitu määrittää varsinaista tarkempaa vikaa tai vian suuruutta. Hiertämöillä ei ole käytössä häiriönseurantajärjestelmää tai laitteiden käytettävyyden seurantaa, joten tuotantoon vaikuttaneista häiriöistä ja vioista ei ole minkäänlaista erillistä tilastoa. Laitteiden käytettävyyden laskentaa varten järjestelmästä ei ole helposti saatavilla luotettavaa tietoa korjausajoista. Laitteiden keskimääräisen korjausajan määrittämiseksi jokainen työtilaus olisi käsiteltävä erikseen ja siten arvioitava korjaukseen kulunut aika. Koska tarkasteltavana oli tässä työn vaiheessa koko hiertämön alue, ei keskimääräisen korjausajan ja vikaantumisvälin selvittämiseen ollut resursseja.

Myöhemmässä osassa tutkimusta tarkempaan rajaukseen mukaan otetuille toimintopaikoille ja laitteille suoritettiin vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi, jonka avulla erilaisia vikamuotoja käsiteltiin ja arvioitiin tarkemmin, jolloin myös voitiin esittää arviot korjaus- ja vikaantumisajoista.

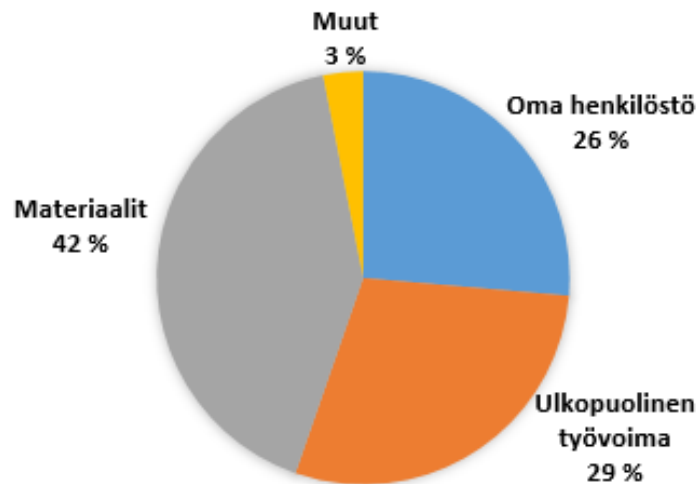
### **5.3 Kunnossapitokustannusten tarkastelu**

Kustannusanalyysissä tutkittiin kunnossapidon suoria kustannuksia vuosilta 2011–2014. Suorat kunnossapitokustannukset muodostuvat henkilötyötunneista (oma henkilöstö sekä ulkopuolelta tilattu työ) sekä materiaalikustannuksista. Kustannusten tarkastelun tarkoituksena on tunnistaa alueen toimintopaikat, joissa kustannukset ovat korkeat. Korkeat henkilökustannukset kertovat runsaasta ja siten mahdollisesti haasteellisesta kunnossapidosta, materiaalikustannukset sen sijaan kalliista tai herkästi hajoavista laitteista tai komponenteista.

Kustannukset eivät kuitenkaan ota kantaa järjestelmän käytettävyyteen, sillä kustannuksista ei käy ilmi esimerkiksi konerikon seurauksena menetetyn tuotannon arvoa. Päätöksiä kunnossapitoresurssien kohdistamisesta ei siten voida tehdä pelkästään toteutuneiden kunnossapitokustannusten perusteella, sillä kustannukset eivät kerro kohteen tärkeydestä prosessin kokonaistoiminnan kannalta. Vikaantumisista ja laitteiden toiminnan tason heikkenemisestä aiheutuvat epäsuorat kustannukset ovat usein suoria kustannuksia huomattavasti suuremmat.

Kunnossapidon budjetti muodostetaan suorien kustannusten perusteella. Budjetin ylittyminen on ollut hiertämön alueen ongelmana, joten suorien kustannusten tarkastelu nähtiin hyödylliseksi apumenetelmäksi ongelmakohtien löytämiseksi muiden menetelmien rin-

nalla. Suorat kustannukset muodostuvat oman kunnossapitohenkilöstön ja ulkoisen työvoiman palkkakustannuksista sekä materiaalikustannuksista. Hiertämön alueen kunnossapitokustannukset jakautuvat näiden kustannusten kesken kuvaajan 5.7 mukaisesti tarkastelun ajanjaksolla.

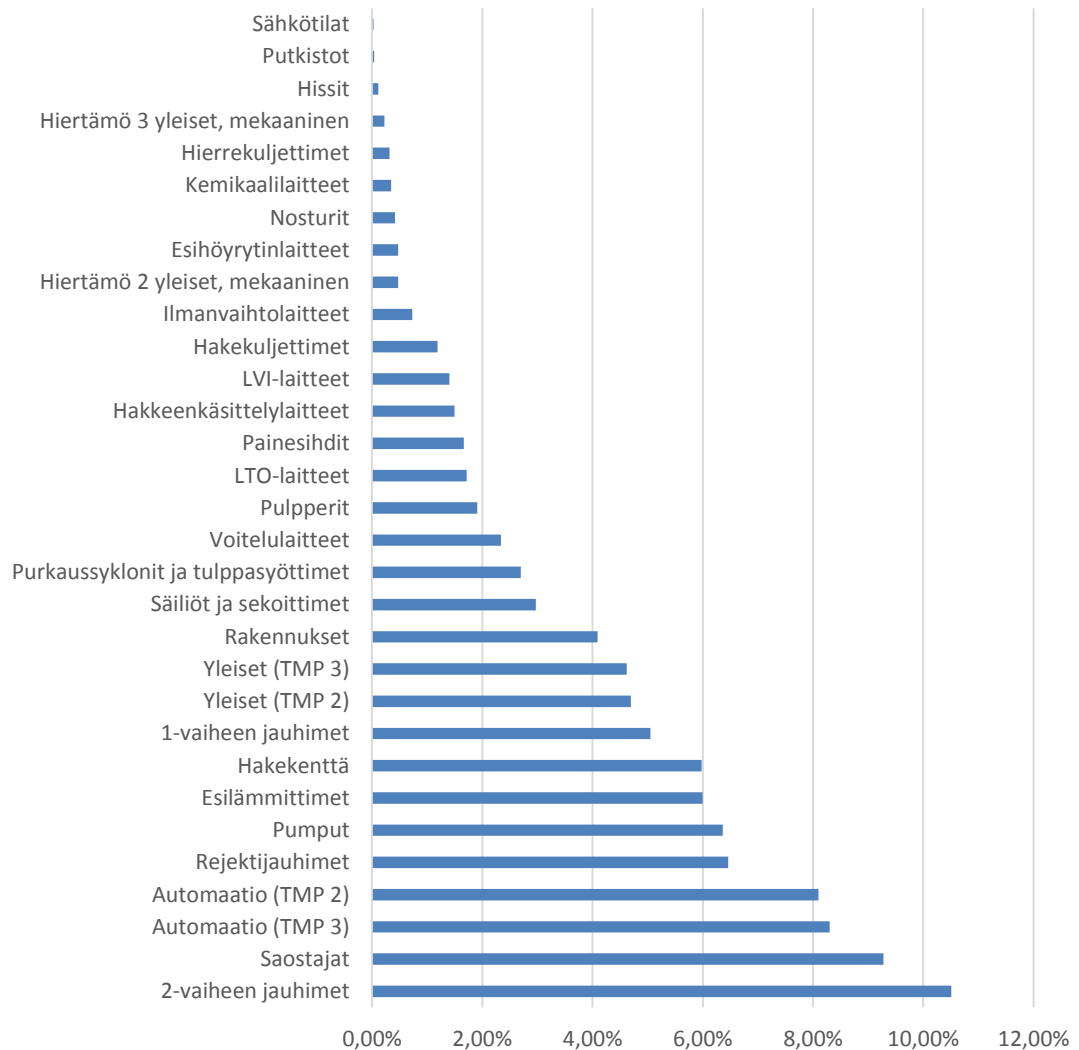


**Kuva 5.7: Hiertämön kiinteiden kunnossapitokustannusten jakautuminen**

Ostetut palvelut (alihankintatyö ja toimittajien materiaalit) muodostavat noin 29 % kunnossapitokustannuksista, oman kunnossapitohenkilöstön kustannusten osuuden ollessa noin 26 %. Materiaalikustannukset ovat noin 42 %. Jos kustannusten jakautumista verrataan sivulla 7 esitettyihin Suomen teollisuuden keskiarvoihin, huomataan, että hiertämön kunnossapidon materiaalikustannukset ovat jonkin verran keskiarvoa korkeammat, mutta oman työn ja ostettujen palveluiden suhde noudattaa yleistä teollisuuden keskiarvoa.

Toteutuneet kunnossapitokustannukset kirjautuvat toiminnanohjausjärjestelmään. Kunnossapitokustannukset muodostuvat yksittäisten työtilausten toteutuneista kustannuksista. Toiminnanohjausjärjestelmästä voidaan hakea kootusti kustannustiedot työtilauksissa käytettävien tietojen - esimerkiksi toimintopaikan - perusteella.

Kuvassa 5.8 on esitetty kustannusten jakautuminen eri kustannuskohteisiin tarkasteltavalla alueella. Tarkasteltava alue on jaettu toimintopaikkahierarkian mukaisiin kokonaisuksiin. Tehdasautomaation toimintopaikkoja ei ole kuvaajaan jaettu tarkemmin, sillä niiden rakennehierarkia on mekaanisia toimintopaikkoja monimutkaisempi, eikä työtilauksia kohdisteta säännönmukaisesti automaatiopositioihin. Kuvaajassa ei ole myöskään eritelty kunnossapito-osastojen kustannuksia, vaan jokaisen toimintopaikkakokonaisuuden alla on kootusti mekaanisen kunnossapidon, automaatiokunnossapidon, käyttökunnossapidon sekä muiden pienempien kunnossapito-osastojen (esimerkiksi mekatronikka- ja rakennusosasto) kustannukset.



**Kuva 5.8: Kunnossapitokustannusten jakautuminen laiteryhmittäin vuosina 2011-2014. Vaaka-akselilla kuvattuna laiteryhmän osuus kaikista kunnossapitokustannuksista.**

Kuvaajassa esiintyvät *yleiset* kohteet eivät ole varsinaisia toimintopaikkoja. Näihin kohteisiin kirjataan työtilaukset, joita ei voida tarkemmin kohdistaa tiettyyn toimintopaikkaan. Esimerkiksi työtilauksille kohdistamattomat henkilötyötunnit ja kunnossapitoryhmän työkaluhankinnat näkyvät näissä kohteissa. Joskus vikailmoituksen tai työtilauksen tekijä ei tiedä tarkkaa toimintopaikkaa, ja sijoittaa työtilauksen tai ilmoituksen ylemmälle toimintopaikalle.

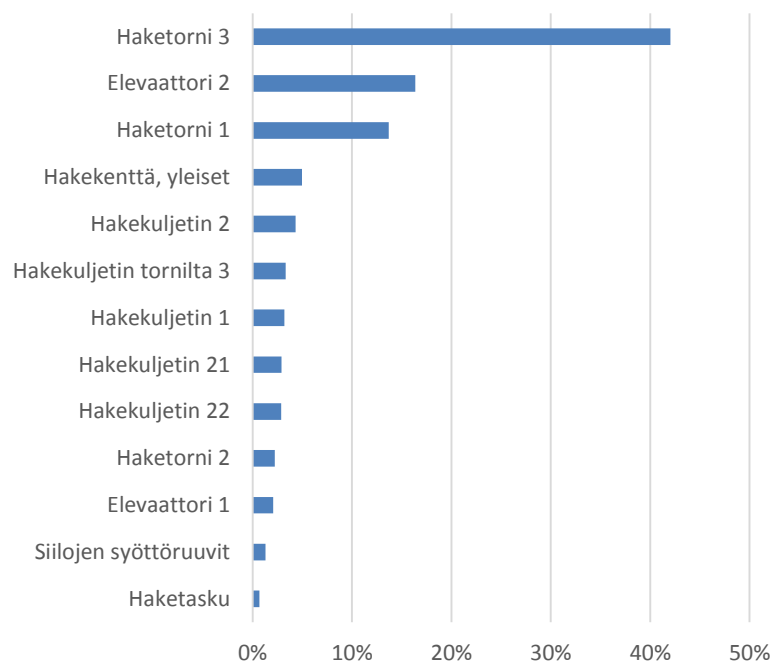
Kuvaajaa tarkasteltaessa pitää ottaa huomioon myös toimintopaikkakokonaisuuksien sisältämien kunnossapidettävien kohteiden määrä. Esimerkiksi pumpuille kohdistetut kustannukset muodostuvat noin 150 toimintopaikasta, kun taas lähes sama osuus kunnossapitokustannuksista jakautuu noin 30:lle esilämmittimien toimintopaikalle.



Kustannusten jakautumisesta voidaan kuitenkin nähdä, että hiertämön prosessin päälaitteet, kuten jauhimet ja saostajat, muodostavat merkittävän osan kunnossapitokustannuksista. Kunnossapidon tehostamista ei kannata kustannusmielessä kohdistaa laitteisiin, joiden osuus kunnossapitokustannuksista on hyvin pieni, sillä vaikka kunnossapitotarve ja –kustannukset saataisiin poistettua kokonaan, ei sillä olisi merkitystä koko alueen kunnossapitokustannuksiin. Tarkastelemalla yksityiskohtaisemmin kunnossapitokustannusten jakautumista toimintopaikoille voidaan havaita laiteryhmiä, joiden kunnossapidon kehittämisellä saavutetaan suurin hyöty kustannusten näkökulmasta.

### 5.3.1 Hakekentän kustannukset

Hakekentän laitteiden kunnossapitokustannukset muodostavat hiukan yli 6 % koko alueen kustannuksista tarkasteltavalla ajanjaksolla. Hakekentän kustannukset ovat muutamaa toimintopaikkaa lukuun ottamatta jakautuneet tasaisesti. Haketornin 3 purkain muodostaa valtaosan koko hakekentän laitteiden kustannuksista, ja se onkin koko hiertämön alueen kunnossapitokustannuksiltaan suurin toimintopaikka. Kunnossapitokustannusten jakautuminen hakekentän toimintopaikoille on esitetty kuvassa 5.9:



**Kuva 5.9: Hakekentän kustannusten jakautuminen. Vaaka-akselilla on esitetty kohteiden kustannusten prosentuaalinen osuus hakekentän laitteiden yhteenlasketuista kustannuksista.**

Myös elevaattorin 2 kustannukset ovat korkeat verrattuna vastaavaan elevaattoriin 1, mikä johtuu muutamasta suuremmasta huollosta. Haketornin 1 purkainlaitteisto on kolmanneksi suurin hakekentän toimintopaikka kunnossapitokustannuksiltaan. Sen sijaan

haketornin 2 kunnossapitokustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat. Purkaimia käytetään suurin piirtein yhtä paljon, mutta niiden rakenne eroaa hiukan toisistaan.

Kun kunnossapitokustannuksia verrataan edellisessä luvussa selvitettyihin työtilausmääriin, voidaan jo pelkästään lukuja vertaamalla päätellä kunnossapitotöiden luonne. Haketornin 3 purkaimen työtilausten määrä on koko hiertämön laitteiden tasolla melko alhainen, mutta se on silti kunnossapitokustannuksiltaan suurin kohde. Kunnossapitotyöt ovatkin olleet pitkäkestoisia korjaustöitä, joilla on varmasti ollut olennainen vaikutus myös järjestelmän käytettävyyteen ja suorituskykyyn. Vastaavasti hakekuljettimille on kohdistettu koko hiertämön tasolla paljon työtilauksia, mutta kunnossapitokustannukset ovat silti maltillisella tasolla, mikä kielii nopeista tai helpoista kunnossapitotöistä, joissa todennäköisesti vaihdetaan halpoja osia tai säädetään laitetta.

### **5.3.2 Hakkeenäsittelyn kustannukset**

Hakkeenäsittelylaitteiden osalta kunnossapitokustannukset ovat jakautuneet melko tasaaisesti. Hakkeen siirtoon käytettävien ruuvien muodostamat kunnossapitokustannukset ovat jonkin verran korkeammat kuin muissa osaston laitteissa, mutta eivät ole koko hiertämön laitteiden tasolla erityisen korkeat. Hakkeenäsittelylaitteet muodostavat kokonaisuudessaan melko pienen osan koko tarkasteltavan alueen kustannuksista; noin 1,5 %.

Suorien kunnossapitokustannusten perusteella hakkeenäsittelyn laitteiden kunnossapidon kehittämisellä ja vikaantumisten ehkäisemisellä on vaikea saavuttaa merkittäviä säästöjä, mutta laitteiden käyttövarmuudella voi olla silti huomattava vaikutus järjestelmän käytettävyyteen ja siten epäsuoriin kustannuksiin, mikä on pyrittävä arvioimaan toisen menetelmän avulla.

### **5.3.3 Esilämmityksen ja jauhatuksen kustannukset**

Esilämmitinlaitteiden kustannukset ovat melko korkeat, kun otetaan huomioon laitteiden lukumäärä. Ne ovat samaa tasoa kuin hakekentän laitteiden kunnossapitokustannukset, muodostaen noin 6 % koko hiertämön kunnossapitokustannuksista tarkasteluajanjaksona. Esilämmittimien lokerosyöttimien huollot aiheuttavat suuren osan esilämmitinlaitteiden kunnossapitokustannuksista.

Jauhinten kunnossapitokustannukset ovat selkeästi olennaisessa osassa kunnossapitokustannusten muodostumisessa. Kun lasketaan yhteen 1. ja 2. vaiheen jauhinten ja rejekti-jauhinten kunnossapitokustannukset, muodostavat ne yhdessä yli 20 % koko tarkasteltavan alueen kunnossapitokustannuksista. Kuten työtilausten arvioinnin yhteydessä mainittiin, noin puolet työtilauksista liittyy teräpalojen tarkastukseen tai vaihtoon. Koska teräpalojen normaalia kulumista ei voida laskea viaksi, teräpalojen materiaalikustannuksia ei

ole sisällytetty kunnossapitokustannuksiin. Kunnossapitoasentajien teräpalojen vaihtamiseen käyttämät henkilötyötunnit sen sijaan kirjautuvat jauhinten kunnossapitokustannuksiin. Suurin osa jauhinten kunnossapitokustannuksista (n. 67 %) muodostuu kuitenkin nimenomaan materiaalikustannuksista.

#### **5.3.4 Lajittelun ja saostuksen kustannukset**

Lajittelun päälaitteiden, eli painesihtien kustannukset ovat maltilliset. Sen sijaan saostuksen laitteiden kunnossapitokustannukset muodostavat yli 9 % tarkasteltavan alueen kunnossapitokustannuksista, vaikka kyseisiä laitteita on lukumäärällisesti vähän. Kustannukset sijoittuvat selkeästi kiekkosaostimiin, mutta myös ruuvisaostimien ja –puristimien huolloista aiheutuvat kustannukset ovat hiertämön laitteiden tasolla selkeästi keskiarvoa korkeammat.

#### **5.3.5 Automaatiolaitteiden kustannukset**

Automaatiolaitteiden kunnossapitokustannukset keskittyvät selkeästi instrumenttipiireihin sekä prosessinohjaus- ja valvontajärjestelmiin liittyviin kunnossapitotöihin. Instrumenttipiirien kunnossapitokustannuksista suurimman osan muodostavat virtausmittaukset ja –säädöt sekä analyysimittaukset ja –säädöt. Kustannukset ovat jakautuneet melko tasaisesti yksittäisille toimintopaikoille, mutta korkeimmat kustannukset ovat selkeästi MAP-kuituanalysaattorin kunnossapidossa.

Kuten aikaisemmin on mainittu, automaatiolaitteiden kunnossapitodatan käsittelyä vaikeuttaa se, että automaatiopositioihin liittyvät työtilaukset kirjataan usein mekaanisen laitteen toimintopaikalle. Mekaanisten toimintopaikkojen kunnossapitokustannuksia voidaan kuitenkin tarkastella myös vastuullisen työpisteen perusteella, jolloin nähdään kuinka iso osa toimintopaikan kustannuksista liittyy automaatiokunnossapitoon.

#### **5.3.6 Muut kunnossapitokustannukset**

Valkaisu- ja kemikaalilaitteet muodostavat vain hyvin pienen osan (n. 0,4 %) tarkasteltavan alueen kunnossapitokustannuksista, mikä selittyy osaltaan toimintopaikkojen, sekä niille kohdistettujen kunnossapitotyötilausten pienellä määrällä. Vaikka kemikaalilaitteet eivät kerättyjen tietojen perusteella kuormitakaan kunnossapito-organisaatiota tai -budjettia, on niiden toiminnan vaikutus tuotantoon ja hierteen laatuun otettava kuitenkin huomioon kunnossapitotoimenpiteitä kohdistettaessa.

Lämmöntalteenottojärjestelmän kustannukset muodostavat noin 1,7 % koko alueen kunnossapitokustannuksista. Merkittävä osa LTO-järjestelmän kustannuksista muodostuu

painelaitetarkastuksista sekä putkistojen pesujen yhteydessä tehtävistä luukkujen avauksista ja tiivisteiden vaihdoista. Päälaitteiden ja säiliöiden yllättäviä vikaantumisia ja korjauskustannuksia ei juurikaan ole.

Kiertovesijärjestelmä koostuu pääasiassa pumpuista, säiliöistä, venttiileistä ja mittauksista, joiden kustannuksia ei kuitenkaan tarkasteltu yhtenä kokonaisuutena. Koko hiertämön tasolla säiliöiden ja sekoittajien kunnossapitokustannukset ovat matalalla tasolla. Pumput aiheuttavat yhtenä laitekokonaisuutena huomattavan osan kunnossapitokustannuksista (n. 6,3 %), mutta pumppujen määrä on myös hyvin suuri.

## 5.4 Kriittisyysluokittelu

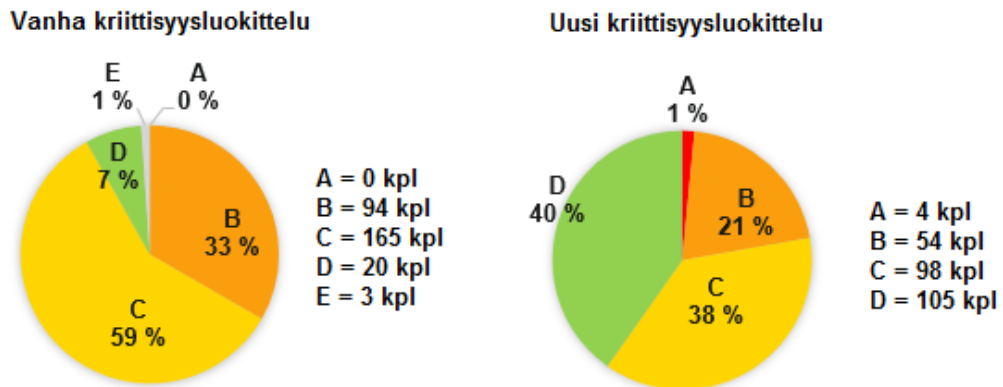
Kriittisyysluokittelu suoritettiin yhdessä hiertämön käyttöhenkilöstön (tuotantopäällikkö, käyttöinsinööri ja ylimestari) ja kunnossapitohenkilöstön (automaatiokunnossapidon työnjohtaja ja mekaanisen kunnossapidon työnjohtaja sekä työnsuunnittelija) kanssa. Tarkoituksena oli valmista työkalua käyttämällä tunnistaa tarkasteltavan alueen toimintojen ja kunnossapidon kannalta tärkeät kohteet.

Kriittisyysluokittelu suoritettiin luotettavuusmallin ja vikapuun rakentamisen sekä vikojen lukumäärän ja kunnossapitokustannusten tarkastelun jälkeen, minkä ansiosta luokittelua varten tarpeellista tietoa oli jo käsitelty. Koko työryhmällä oli tällöin kriittisyysluokittelua tehdessä parempi käsitys korjauskustannuksista, vikaantumisväleistä sekä laitteiden vaikutuksesta prosessin käytettävyyteen ja laatuun.

Kriittisyysluokittelun tuloksena jokainen tarkasteltava toimintopaikka sai kohteen kriittisyyttä kuvaavan luokituksen, kuuluen joko A-, B-, C- tai D-ryhmään. Mikäli toimintopaikka ei suoranaisesti liittynyt tuotantoprosessiin (esimerkiksi nosto-ovet), jätettiin ne luokittelematta. Hiertämön toimintopaikoilla on ollut luokitusjärjestelmä jo aikaisemmin käytössä, mutta koska kyseinen luokittelu on suunniteltu käytettäväksi paperikoneen laitteiden luokittelemiseksi, ei se anna selvää kuvaa hiertämön laitteiden keskinäisestä kriittisyydestä. Vanhassa luokittelussa kriittisyysluokka perustuu ainoastaan siihen, kuinka pian paperikoneen tuotanto pysähtyy laitteen vikaannuttua.

Käytännössä hiertämön laitteet jakautuivat käytössä olleella kriittisyysluokittelulla vain kahteen ryhmään, kuuluen joko B- tai C-kriittisyysluokkaan, minkä vuoksi laitteiden keskinäinen vertailu ja sen perusteella tehtävä kunnossapidon kohdistaminen on hankalaa. Tutkimuksessa suoritettuna kriittisyysluokittelun tuloksena laitteiden jakauma muuttui huomattavasti, mikä myös työryhmän mielipiteen mukaan kuvasi laitteiden merkitystä entistä tärkeysluokitusta paremmin. Tuotannon keskeytymisen lisäksi huomioitiin laitteen vikaantumistaajuus, korjauskustannukset, ympäristö- ja turvallisuusriskit sekä vikaantumisen vaikutus laatuun. Laatukriteerissä pyrittiin myös huomioimaan vikaantumisen vaikutus prosessin tehokkuuteen, esimerkiksi sähkönkulutuksen kannalta.

Luokittelussa ei käyty läpi automaatiopositioita. Oletus on, että kaikki mekaanisen toimintopaikan yhteydessä olevat laitteet (esim. automaattiventtiilit, säädöt, mittaukset) kuuluvat samaan kriittisyysluokkaan toimintopaikan kanssa. Kuvassa 5.10 on esitetty tarkasteltavan alueen laitteiden jakautuminen eri kriittisyysluokkiin aikaisemmassa luokittelussa ja työssä suoritetun kriittisyysluokittelun perusteella.



**Kuva 5.10: Vanhan ja uuden kriittisyysluokittelun tulokset**

Kriittisyysluokittelussa käytettävät kriteerit ja niiden keskinäiset painokertoimet aiheuttivat jonkin verran epäilystä työryhmässä. Erityisesti hierteen laatuun vaikuttavien tekijöiden arvioiminen oli useiden laitteiden kohdalla haastavaa. Monien laitteiden kohdalla erilaiset vikamuodot vaikuttavat hyvin paljon vikaantumisen seurauksiin. Kriittisyysluokittelussa ei kuitenkaan otettu huomioon erilaisia vikamuotoja, mikä vaikeutti myös seurausten pisteyttämistä. Kehitysehdotuksena kriittisyysluokitteluun voidaankin pitää kriteerien arvostelua *best-mean-worst* -asteikon mukaisesti, mikä ottaisi paremmin huomioon kohteiden erilaiset vikamuodot ja helpottaisi seurausten arviointia.

## 5.5 Tulokset

Käytettyjen menetelmien perusteella hierontämön laitteista valittiin kohteet, jotka ovat hierontämön käytettävyyden ja kunnossapidon kannalta merkittävässä asemassa. Tässä luvussa on lueteltu osatoimintokohtaisesti kriittisimmät toimintopaikat.

### 5.5.1 Hakkeen tuonti ja käsittely

Luotettavuusmallin ja vikapuun perusteella tärkeimmät hakekentän ja hakkeen käsittelyn laitteet ovat:

- elevaattori 2
- hakekuljetin 21

- hakekuljetin 22
- hiertämön katolla olevat hakesiilojen syöttöruuvit
- TMP 2:n vedenerotusruuvi
- jokainen hakkeen siirto- ja jakoruuvi

Kyseiset laitteet esiintyvät vikapuussa yksittäisinä minimikatkosjoukkoina, joten yhdenkin laitteen toimimattomuus estää hiertämöiden kokonaistoiminnon toteutumisen. Kokonaistoiminto määritettiin aikaisemmin olevan hierteen tuottaminen kaikille kolmelle paperikoneelle. Kokonaistoiminnon toteutumattomuus ei kuitenkaan tarkoita koko hiertämön tuotannon pysähtymistä. Yksittäisistä laitteista ainoastaan hiertämöiden katolla olevat hakesiilojen syöttöruuvien pitkäaikainen vikaantuminen estää raaka-aineen tuonnin molemmille hiertämöille, ja keskeyttää siten välivarastojen tyhjentyessä tuotannon.

Hakesiilojen syöttöruuvien luotettavuus on kuitenkin hyvä, eikä yllättäviä vikaantumisia ole juurikaan vikahistoriatietojen ja käyttöhenkilöstön kokemusten perusteella sattunut. Hakesiilojen syöttöruuvien kunnossapitokustannukset ovat alhaiset ja vikailmoitusmäärät vähäiset, ja kunnossapitotyöt on pystytty suunnittelemaan ja suorittamaan ajoissa kuntoon perustuvien mittausten perusteella. Vaikka syöttöruuvit ovat hiertämöiden toiminnan kannalta tärkeitä, ei niitä kuitenkaan nähty ongelmakohtana käyttövarmuuden ja kunnossapidon kannalta, sillä niiden käytettävyyks on hyvällä tasolla.

Vikailmoitusten ja työtilausten määrän perusteella esiin nousevat selvästi hakekuljettimet. Vikailmoitusten ja työtilausten tarkempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, että viat ovat pieniä, eivätkä vaikuta olennaisesti hakekuljettimien toimintaan. Kunnossapitotyöt muodostuvat suurimmaksi osaksi helpoista ja nopeista töistä, kuten kuljettimien kantorullien vaihdosta ja kaavareiden säädöstä. Myöskään kunnossapitokustannukset eivät merkittäviä suhteessa muihin laitteisiin. Kuljettimien hihnan vaihto on suuri työ, mutta hihnat ovat pitkäikäisiä, eivätkä vikaannu yllättävästi.

Haketornin 3 purkain muodostaa merkittävän osan hakekentän ja hakkeen käsittelyn kustannuksista, ja se on itse asiassa kunnossapitokustannuksiltaan koko tarkasteltavan alueen suurin toimintopaikka. Myös elevaattorin 2 ja haketornin 1 purkaimen kustannukset ovat muihin laitteisiin nähden korkealla tasolla. Elevaattorien ja haketornien kunnossapitotyöt ovat luonteeltaan suurempia korjaustöitä, joita ei normaalin käynnin aikana voida suorittaa vaikuttamatta heikentävästi tuotantoon. Haketornin 3 hakkeella on myös merkittävä vaikutus hierteen laatuun ja raaka-ainekustannuksiin.

Kun otettiin huomioon vikapuutarkastelu, kustannusten ja työtilausten määrä sekä kriittisyysluokittelu, hakekentän ja hakkeen käsittelyn laitteista päädyttiin lopulta valitsemaan seuraavat toimintopaikat tarkempaan tarkasteluun käyttövarmuuden ja kunnossapidon kehittämiseksi:

- Haketornien 1, 2 ja 3 purkaimet
- Elevaattorit 1 ja 2
- Hakkeen siirto-, jako- ja palautusruuvit sekä hakepesureiden syöttöruuvit

Haketornin 3 purkaimen lisäksi myös tornien 1 ja 2 purkaimet päätettiin ottaa jatkotarkasteluun, sillä purkainlaitteistojen rakenne on toisiinsa nähden hyvin samankaltainen. Tällöin kohteiden yksityiskohtaisempi tarkastelu ja ehkäisevien kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelu ei olennaisesti vaadi lisätyötä, vaikka samankaltaisia kohteita onkin useampi. Samasta syystä elevaattorin 2 lisäksi myös elevaattori 1 valittiin tarkempaan rajaukseen.

### 5.5.2 Jauhatus ja latenssitornit

Luotettavuusmallin perusteella jauhinlinjat eivät ole käytettävyyden kannalta kriittisiä, sillä linjoja pystytään ajamaan hiertämöiden välillä ristiin ja siten edes neljän linjan vikaantumisen ei välttämättä pysäytä tuotantoa. Kokonaistoiminnon kannalta tärkein linjoista on 5-linja, sillä se kykenee suurimpaan tuotantoon. 5-linjaa käyttämällä saavutetaan myös parempi hyötysuhde sähkönkulutuksen kannalta, mikä osaltaan pienentää hierteen valmistuksen kustannuksia.

Jauhinlinjojen laitteet ovat luotettavuusteknisesti sarjassa, joten kvalitatiivisesti vikapuuta arvioidessa jauhinlinjojen laitteet ovat samanarvoisia käytettävyyden kannalta. Työtilausten määrän sekä kunnossapitokustannusten perusteella esilämmittimien lokerosyöttimet sekä itse jauhimet syöttöruuveineen vaikuttavat kunnossapidollisesti ja siten myös käytettävyyden kannalta merkittävimmitä laitteilta.

Jauhinlinjoja kriittisempiä vikapuuta tarkastellessa ovat latenssitornit ja –pumput, sillä hierre kulkee niiden kautta paperikonekohtaiseen lajitteluun. Jokainen kolmesta latenssitornista laitteineen muodostaa vikapuun minimikatkosjoukon. Vikamääriltään ja kunnossapitokustannuksiltaan latenssitornit ja –pumput eivät kuitenkaan vaikuta ongelmallisilta, mutta hyvä käyttövarmuus on taattava laitteille jatkossakin.

Tarkempaan tarkasteluun pääjauhauksen laitteista valittiin seuraavat kohteet:

- 1. ja 2. vaiheen jauhimet syöttöruuveineen
- Esilämmittimien lokerosyöttimet
- Latenssitornien pumput

### 5.5.3 Lajittelu, rejektin jauhatus ja saostimet

Luotettavuusteknisen sarjarakenteensa vuoksi pää- ja rejektinlajittelun laitteet ovat samanarvoisia ja kokonaistoiminnon kannalta tärkeitä. Rejektijauhimet ovat pääjauhinlinjojen jauhimia kriittisempiä, sillä kaikki rejektijauhimet yhtä jauhinta lukuun ottamatta ovat normaalissa ajotilanteessa käytössä.

Painesihtien käytettävyys on käyttöhenkilöstön kokemuksen ja työtilausten määrän sekä kunnossapitokustannusten perusteella hyvällä tasolla, vaikka painesihdit ovatkin kokonaistoiminnon kannalta hyvin tärkeässä asemassa. Painesihdit vikaantuvat harvoin, ja usein alkava vikaantuminen havaitaan ajoissa, jolloin kunnossapitotoimenpiteet ehditään suunnittelemaan, eikä tuotanto häiriinny. Hierteen saostuksen laitteet ovat myös luotettavuusteknisesti sarjassa. Ruuvi- ja kiekkosaaostimille kohdistettujen työtilausten määrä sekä kunnossapitokustannukset ovat korkeat, ja käyttöhenkilöstön mukaan kyseisten laitteiden toiminnan tason lasku rajoittaa herkästi hiertämön tuotantokapasiteettia. Tarkempaan tarkasteluun päätettiin valita seuraavat laitteet:

- Rejektijauhimet
- Ruuvisaostimet
- Kiekkosaaostimet

### 5.5.4 Muut toiminnot sekä laiteryhmät

Lämmöntalteenottolaitteiston osalta ei paljastunut merkittäviä ongelmakohtia hiertämön käytettävyyden, prosessin laatutekijöiden tai kunnossapidon kannalta. LTO-järjestelmässä esiintyvät viat ovat usein pieniä vuotoja tai toiminnan hidasta heikentymistä, jotka voidaan korjata suunnitellusti. Kustannukset muodostuvat suurilta osin järjestelmän pesuista ja painelaitetarkastuksista, eivätkä ne hiertämön tasolla ole erityisen merkittäviä. LTO-laitteita ei siten valittu jatkoanalyysien kohteiksi.

Myös kemikaalilaitteet jätettiin pois jatkotarkastelusta, vaikka ne ovatkin hierteenvalmistuksen kannalta tärkeitä. Laitteissa ilmenee varsin vähän vikoja ja kunnossapitokustannukset ovat matalat, mikä kertoo tehokkaasta ja onnistuneesta kunnossapidosta.

Automaatiolaitteista virtaus- ja sakeusmittaukset haluttiin ottaa yhtenä kokonaisuutena tarkempaan analyysiin. Tarkoitus ei ole perehtyä yksittäisen mittauksen toiminnan parantamiseen, vaan käsitellä ja arvioida prosessimittausten nykyisiä kunnossapitotoimenpiteitä ja huoltosuunnitelmia. Molempien hiertämöiden MAP-kuituanalysointorit haluttiin ottaa jatkotarkasteluun niiden toiminnan tason parantamiseksi, sillä analysointorien toiminnassa ja huollossa on tiedostetusti ongelmia.



Järjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät pumput ja sähkömoottorit (erityisesti kiertovesijärjestelmän laitteet) otettiin myös yhtenä suurempana kokonaisuutena jatkotarkasteluun, sillä niitä on lukumääräisesti hiertämön alueella paljon, ja ne siten myös työllistävät kunnossapitohenkilöstöä ja aiheuttavat kustannuksia. Tavoitteeksi nähtiin erityisesti pumppujen ja sähkömoottorien käyttöolosuhteiden parantaminen ja kunnonvalvonnan arviointi.

### 5.5.5 Yhteenveto

Luotettavuusmallin ja vikapuun analysoinnin, työtilausten määrien ja kunnossapitokustannusten tarkastelun sekä kriittisyysluokittelun tavoitteena oli määrittää tarkasteltavalta alueelta laitteet, joiden kunnossapitoon ja kunnossapidon kehittämiseen on kannattavaa sijoittaa resursseja. Lisäksi kriittisyysluokittelun tuloksia haluttiin peilata muiden analyysien perusteella tehtäviin valintoihin, koska kriittisyysluokittelun käyttämisestä kunnossapitoresurssien kohdistamiseksi haluttiin kokemuksia.

Tarkasteltavalta alueelta valittiin kriittisiksi laitteiksi seuraavat laitteet ja laiteryhmät:

- Haketornien 1, 2 ja 3 purkaimet
- Elevaattorit 1 ja 2 laitteineen
- Hakkeen siirto-, ja jakoruuvit sekä hakepesurien syöttöruuvit
- Esilämmittimien lokerosyöttimet
- Jauhinten syöttöruuvit
- 1. ja 2. vaiheen jauhimet sekä rejektijauhimet
- Ruuvisaostimet ja –puristimet
- Kiekkosaostimet
- MAP-kuituanalyssaattorit
- Sakeus- ja virtausmittaukset
- Pumput ja sähkömoottorit (erityisesti tuotannon kannalta kriittisimmät)

Valitut laitteet vastasivat myös hyvin kriittisyysluokittelun tuloksia, kuuluen joko A- tai B-kriittisyysluokkaan. Kriittisyysluokittelun avulla voidaan käydä suurikin määrä toimintopaikkoja nopeasti läpi. Tärkeää kuitenkin on, että luokittelun suorittavassa työryhmässä on mukana sekä kunnossapidon että käytön henkilöstöä. Hyödyllistä myös on, jos luokittelun yhteydessä voidaan käydä läpi kerättyä dataa esimerkiksi työtilausten määrästä toimintopaikoittain tai laiteryhmittäin sekä toteutuneita kunnossapitokustannuksia. Tällöin vikaantumisen seurausten arviointi ei perustu pelkästään työryhmän edustajien omiin arvioihin.

Työn seuraavassa vaiheessa laiteryhmiä ja toimintopaikkoja käsitellään vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin avulla tarkemmin. Tarkoituksena on arvioida nykyisiä huoltotoimenpiteitä, kunnonvalvontaa sekä käyttöolosuhteita ja kriittisimpiä vikamuotoja kunnossapidon kehittämiseksi.

## 6. KUNNOSSAPITOSTRATEGIAN VALINTA

Kun hiertämön käytettävyyden ja kunnossapidon kustannusten kannalta merkittävimmät laitteet on tunnistettu, voidaan tarkemmat analyysit kohdistaa kyseisiin laitteisiin kunnossapidon ja käytettävyyden kehittämiseksi. Kunnossapidon kehittämiseen käytettiin RCM-menetelmään pohjautuvaa kehysmallia, joka perustuu pitkälti vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiin sekä kunnossapitostrategian valintaan VVKA:n tulosten ja päätöslogiikkaan pohjalta. Vikaantumisen ehkäisemiseksi ja vikaantumisvälin pidentämiseksi pyrittiin arvioimaan ja parantamaan koneiden käyttöolosuhteita TPM-toimintamallin mukaisesti.

Vika- ja vaikutusanalyysiä täydennettiin vikalogiikan mallinnuksella, jonka tarkoituksena oli saada parempaa tietoa tapahtumien, vikojen ja vikojen aiheuttajien syy-seuraussuhteista. Vikalogiikan avulla voidaan määrittää tarkemmin eri vikojen ja tapahtumien kriittisyys, jotta kunnossapitotoimet voidaan keskittää tehokkaasti suurimman vaikutuksen omaavan vikamuodon ehkäisemiseen.

Tarkoituksena on siis löytää kriittisille vikamuodoille ehkäisevät kunnossapitotoimenpiteet ja -strategia, joiden avulla järjestelmän käytettävyyttä saadaan parannettua ja korjattavan kunnossapidon määrää pienennettyä. Toisaalta kunnossapidolla saavutettujen hyötyjen tulee olla käytettyjä resursseja ja kustannuksia suuremmat, joten jokainen ehkäisevä kunnossapitotoimenpide on arvioitava toteutettavuuden ja sopivuuden kannalta.

Hiertämön – ja koko tehtaan - kunnossapito-organisaation resurssit ovat viime aikoina olleet jatkuvassa laskussa heikentyneen taloustilanteen vuoksi, joten vähäisten resurssien ohjaaminen oikeisiin kohteisiin on tärkeää. Merkittävimpien laitteiden kunnossapidon lisäksi arvioitiin myös muille kohteille määritettyjä ehkäisevän kunnossapidon resursseja. Käytännössä tämä tarkoittaa toiminnanohjausjärjestelmässä määritettyjen määräaikaistöiden sekä voitelu-, huolto- ja reittimittausten aikataulutuksen tarkastelua ja mahdollista uudelleenmäärittelyä.

Tarkastelujen avulla määritetyt ehkäisevän kunnossapidon kehitysratkaisut on tarkoitus kirjata kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään toimintopaikoittain huolto-ohjelmien muodossa, mikä selkeyttää varsinaista kunnossapitotyön suorittamista sekä työn suunnittelua.

## 6.1 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi

Hiertämön käyttövarmuuden ja kunnossapidon kannalta tärkeimmille kohteille suoritettiin vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi. Analyysin tarkoituksena oli löytää merkittävimmät toiminnalliset vikaantumiset ja vikamuodot, jotka heikentävät kohteen toimintaa (laatu, nopeus, tuotantomäärä) tai aiheuttavat turvallisuus-, omaisuus- tai ympäristöriskejä.

Koska tarkasteltava laitekanta oli nyt huomattavasti aiempaa rajatumpi, voitiin tarkasteltavien toimintopaikkojen vikoja ja kunnossapitokustannusten muodostumista tarkastella aiempaa yksityiskohtaisemmin. Vikahistoria selvitettiin toiminnanohjausjärjestelmään kirjatusta työtilauksista. Laitekansioita tutkimalla saatiin selville kohteiden käyttö- ja huolto-ohjeet, sekä tarkempaa tietoa laitteiden suorituskyvystä ja toiminnoista sekä tarvittavista huolloista ja säädöistä.

Sekä käyttö-, että kunnossapitohenkilöstöä oli mukana VVKA:n suorittamisessa. Tällöin kokemukseräistä tietoa on kattavasti saatavilla kunnossapitokustannuksista, korjausajoista, vikojen seurauksista prosessiin sekä vikojen havaitsemisesta. Vikojen seurausten selvittämistä auttoi myös aikaisemmassa tutkimuksen vaiheessa luotu luotettavuuslohkokaavio ja vikapuumalli. Vika- ja vaikutusanalyysi suoritettiin käyttämällä valmista lomakepohjaa, johon tiedot kerättiin. Analyysissä käytetty VVKA-lomake on esitetty liitteessä A.

### 6.1.1 Analyysin rajaus ja toimintojen määrittäminen

VVKA:n ensimmäiset vaiheet liittyvät järjestelmän rajaukseen ja sen toimintojen määrittämiseen. Lisäksi vaaditaan tietoa järjestelmän toimintojen välisistä suhteista, esimerkiksi luotettavuuslohkokaavion muodossa. Tässä tutkimuksessa analyysi rajattiin käsittämään aikaisemmassa vaiheessa, luvussa 5 selvitetty käytettävyyden ja kunnossapidon kannalta merkittävät toimintopaikat.

Käytännössä vioittumistapoja etsittiin siis toimintopaikalle sijoitetuista laitteista, jotka vaikuttavat olennaisesti toimintopaikalta vaaditun toiminnon toteutumiseen. Selvitetty vioittumistavat muodostuivat kokonaisen laitteen toiminnallisesta vikaantumisesta tai tarkimmillaan laitteen osan tai komponentin vioittumisesta. Vioittumistapa saattoi liittyä myös ulkoiseen tapahtumaan tai käyttöolosuhdetekijään (esim. hakkeen holvautuminen pakkasella haketorneissa).

Laitteiden toimintojen määrittäminen on tarkoitus antaa tarkempaa tietoa laitteilta vaadittavista toiminnoista ja aputoiminnoista, jotta erilaiset toiminnalliset vikaantumiset voitaisiin määrittää. Toiminnallisen vikaantumisen määrittämiseksi täytyi siis ensin selvittää kohteelta vaadittavan toiminnon taso.

Toiminnot määritettiin pitkälti käyttöhenkilöstön tietoihin ja kokemuksiin perustuen. Päätoimintojen lisäksi pyrittiin huomioimaan kohteilta vaadittavat aputoiminnot. Esimerkiksi pumpun aputoiminnoksi voidaan määrittää, että pumpattava neste ei vuoda ympäristöön. Laitteiden toimintojen määrittäminen osoittautui melko yksinkertaiseksi, ja tyypillisesti jokaista laitetta kohden määritettiin 1-2 päätoimintoa ja yksi aputoiminto.

Laitteiden toiminnon tasoa ei kuitenkaan määritetty numeerisesti (esim. pumpulta vaadittava tilavuusvirta), sillä sen ei koettu antavan merkittävästi lisäarvoa analyysille. Toiminnon tasossa otettiin kuitenkin huomioon tuotantomäärä, laatu sekä nopeus yleisellä tasolla, jotta nämä tekijät otettaisiin huomioon voittumistapoja etsittäessä.

### **6.1.2 Vikamuotojen ja vikalogiikan selvittäminen**

Kun laitteilta vaadittavat toiminnot oli määritetty, pyrittiin tunnistamaan ne vikamuodot, jotka estävät laitteelta vaadittavan toiminnon toteutumisen. Toimintojen määrittäminen auttoi vikamuotojen tunnistamisessa, ja monen toimintopaikan kohdalla vikamuotojen listaus osoittautui melko helpoksi. Jokaiselle vikamuodolle määritettiin paikalliset vaikutukset ja vian seuraukset koko järjestelmään.

Vikamuotojen seurausten lisäksi lomakkeeseen kerättiin tietoa vikamuodon havaitsemistavoista, käytetyistä kunnonvalvontamenetelmistä sekä vikaantumistodennäköisyydestä. Myös korjaustoimenpiteen vaatimat resurssit (korjausaika, kustannukset, ulkoisen työvoiman tarve) pyrittiin arvioimaan.

Vikamuotojen ja seurausten listaaminen analyysilomakkeeseen ei kuitenkaan ota kantaa vikalogiikkaan. Vikamuodon seurauksena saattaa jo itsessään olla vikamuoto, mikä vaikeuttaa vian todennäköisyyden ja kriittisyyden määrittämistä. Tämän vuoksi VVKA:ssa kerättyjen tietojen pohjalta tarkasteltavien kohteiden tarkempi vikalogiikka pyrittiin selvittämään erillisen vikapuuanalyysin avulla, jotta vikojen kriittisyysluokittelulle saataisiin enemmän painoarvoa.

Käytännössä työn aikaisemmassa vaiheessa luotua käyttövarmuusmallia laajennettiin siis kriittisten laitteiden osalta. Perustapahtumina ja vikapuun alimpina oksina toimivat siis vika- ja vaikutusanalyysissä selvitetty vikamuodot. TOP-tapahtuma määritettiin toimintopaikan vikaantumiseksi. Koska nyt tarkasteltiin ainoastaan kriittisiä toimintopaikkoja, pystyttiin kunnossapitodataa keräämään ja käsittelemään näiden kohteiden osalta tarkemmin. Toimintopaikoille ja toimintopaikan laitteille pystyttiin siten määrittämään käytettävyys ja epäkäytettävyys keskimääräisen vikaantumisvälin ja korjausajan perusteella.

Kuten aikaisemmin on mainittu, toiminnanohjausjärjestelmästä ei kuitenkaan saada riittävästi tietoa, jotta laitteiden käytettävyys voitaisiin määrittää luotettavasti. Jokaista vikamuotoa vastaava korjausaika jouduttiin arvioimaan, sillä toiminnanohjausjärjestelmään

ei kirjaudu korjaukseen kuluvaan aikaan, vaan kunnossapitotyön kokonaistunnit. Tällöin siis 6 tunnin kestävä korjaus kolmelta kunnossapitoasentajalta kirjautuu järjestelmään 18 tunnin työnä.

Keskimääräiselle vikaantumisvälille voidaan laskea arvio jakamalla tarkasteluajanjakso toimintopaikalle ja toimintopaikan laitteille kohdistettujen kunnossapitotyötilausten määrällä. Jälleen on huomioitava, ettei kaikkia kunnossapitotoimenpiteitä ole kohdistettu oikealle toimintopaikalle, joten vikaantumisvälin laskenta tällä keinoin on vain arvio. Keskimääräisen korjausajan määrittämiseksi on arvioitava jokaista työtilausta vastaava kunnossapitotyön kesto, joista voidaan laskea keskiarvo.

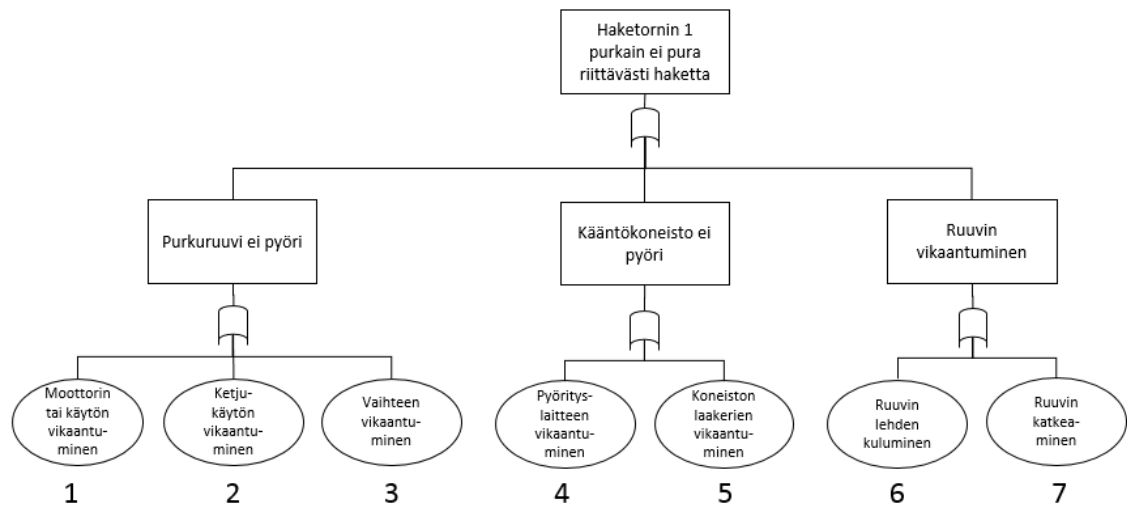
Toimintopaikan laitteille voidaan siis arvioida epäkäytettävyys määritettyjen keskimääräisen vikaantumisvälin ja korjausajan perusteella käyttämällä kaavoja 2 ja 7.

### **6.1.3 Vikamuotojen kriittisyyden määrittäminen**

Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysissä vikamuodot pyritään pisteyttämään niiden seurausten perusteella, jolloin kunnossapitotoimenpiteet voidaan kohdistaa merkittävimpien vikojen ehkäisemiseen ja havaitsemiseen. VVKA:ssa vikojen kriittisyys määritetään tyypillisesti riskimatriisin avulla, tai antamalla numeeriset arvot kriteereille ja seurauksille, kuten monitavoiteanalyysissä (kts. luku 3.4). Vikamuotojen vertailuun voidaan käyttää myös luvussa 3.1.3 esitettyjä tärkeysmittoja.

Tärkeysmittojen avulla voidaan tutkia perustapahtumien vaikutusta TOP-tapahtumaan. Kun tarkastellaan toimintopaikasta ja sen laitteista rakennettua vikapuuta, voidaan siis selvittää, mitkä vikamuodot vaikuttavat eniten toimintopaikalta vaadittavan toiminnon vikaantumiseen. Samoin voidaan tarkastella, kuinka suuri vaikutus toimintopaikan laitteiden epäkäytettävyydellä ja vikamuotojen todennäköisyydellä on koko toimintopaikan toiminnon vikaantumisen todennäköisyyteen. Tällöin voidaan saada selville, minkä vikamuodon todennäköisyyden pienentäminen on toimintopaikan käytettävyyden kannalta tärkeintä.

Toimintopaikkakohtaisen vikapuun perustapahtumat muodostuvat toimintopaikan sisältämien laitteiden toiminnoista tai vikamuodoista. Laitteiden eli perustapahtumien epäkäytettävyys voidaan laskea keskimääräisen vikaantumisvälin ja korjausajan perusteella, kuten edellä on esitetty. Kuvassa 6.1 on esitetty erään toimintopaikan vikapuurakenne.



**Kuva 2: Haketornin 1 purkaimen toiminnosta muodostettu vikapuuvu. Perustapahtumat, eli tunnistetut vikamuodot on numeroitu numeroin 1-7.**

Perustapahtumat muodostuvat siis toimintopaikan laitteiden vikamuodoista. Laitteiden käytettävyys ja epäkäytettävyys voidaan laskea toiminnanohjausjärjestelmästä saatavien tietojen perusteella. Yllä esitetyn vikapuun perustapahtumien 1-7 keskimääräiset korjausajat, vikaantumisvälit ja näistä aiheutuvat epäkäytettävyydet on esitetty alla olevassa taulukossa 6.1.

**Taulukko 6.1: Perustapahtumien keskimääräiset vikaantumisvälit (MTTF), korjausajat (MTTR) ja epäkäytettävyys ( $\bar{A}$ ). Tapahtuman 7 vikaantumisväli on vain arvio, sillä vikamuotoa ei ole tarkasteltavalla ajanjaksolla toteutunut.**

Perustapahtuma	MTTF (d)	MTTR (d)	$\bar{A}$
1	1460	0,667	0,0005
2	365	1,292	0,0035
3	487	0,306	0,0006
4	365	0,188	0,0005
5	730	3,000	0,0041
6	1460	1,667	0,0011
7	2920	5,000	0,0017

Taulukossa esitettyjä tuloksia ei voida kuitenkaan pitää kovin luotettavina, sillä korjausajat perustuvat ainoastaan arvioihin. Lisäksi toiminnanohjausjärjestelmästä on saatavilla tietoa ainoastaan 4 vuoden ajalta, minkä vuoksi jotkin vikamuodot esiintyvät ajanjaksolla ainoastaan kerran tai niiden vikaväli joudutaan arvioimaan täysin. Lisäksi etenkin pieniä, lyhytkestoisia kunnossapitotöitä ja häiriöitä ei ole lainkaan kirjattu toiminnanohjausjärjestelmään. Tämän vuoksi perustapahtumien ja koko toimintopaikan käytettävyys on

todellisuudessa laskettua arvoa pienempi. Määritettyjen perustapahtumien ja niihin liittyvän kunnossapitodatan perusteella voidaan laskea kuitenkin arvio toimintopaikan käytettävyydestä ja perustapahtumiin liittyvät tärkeysmitat. Tulokset on esitetty taulukossa 6.2.

**Taulukko 6.2: Perustapahtumien tärkeysmitat**

Perustapahtuma	Birnbaumin tärkeysmita	Riskin vähennys	Riskin nousu	Kriittisyystärkeys
1	0,989	0,0005	0,988	0,042
2	0,992	0,0035	0,988	0,292
3	0,989	0,0006	0,988	0,050
4	0,989	0,0005	0,988	0,042
5	0,992	0,0041	0,988	0,342
6	0,989	0,0011	0,988	0,092
7	0,990	0,0017	0,988	0,142

Toimintopaikan epäkäytettävyys:	0,012
Toimintopaikan käytettävyys:	0,988

Taulukon tuloksia tarkastelemalla voidaan havaita, että vikapuun luotettavuusteknisestä rakenteesta johtuen tärkeysmitoista saatava hyöty on rajallista. Vikapuun jokainen perustapahtuma muodostaa itsessään katkosjoukon. Tämän vuoksi jokaisen perustapahtuman riskin nousu on sama: jos perustapahtuman epäkäytettävyys nousee maksimiarvoonsa (1), nousee myös kokonaistoiminnon epäkäytettävyys maksimiarvoonsa (1). Toisin sanoen, minkä tahansa perustapahtuman epäkäytettyyden kasvaminen tai pieneneminen vaikuttaa kokonaistoiminnon käytettävyyteen yhtä paljon. Kriittisyystärkeyden avulla voidaan tarkastella millä todennäköisyydellä jokin perustapahtuma on syynä kokonaistoiminnon epäkäytettyyteen. Tässä tapauksessa selkeästi suurimmat epäkäytettyyden aiheuttajat ovat perustapahtumat 5 (kääntökoneiston laakerien vikaantuminen) ja 2 (ruuvipurkaimen ketjukäytön vikaantuminen).

Kunnossapitodatan epätarkkuuden ja tärkeysmitoista saatavan hyödyn rajallisuuden vuoksi vikamuotojen keskinäiseen vertailuun käytettiin lähinnä numeerista pisteytystä, kuten kriittisyysanalyysissä. Kriteerit ja kriteerien pisteytys valittiin samoiksi kuin kriittisyysluokittelussa, mutta riskin suuruus määritettiin kertomalla kriteerien pisteytykset vikamuodon todennäköisyyden pisteytyksellä. Tällöin tuloksena saatiin luku, joka kuvaa riskin suuruutta tai merkittävyyttä.

Kriittisten kohteiden kunnossapitosuunnitelmaa lähdettiin kehittämään erityisesti VVKA:n avulla merkittävimmiksi havaittujen vikamuotojen ehkäisemiseksi. Ennen varsinaisen kunnossapitostrategian ja huoltosuunnitelman luontia tai päivitystä selvitettiin ja arvioitiin hiertämön laitteiden nykyisiä kunnossapitosuunnitelmia, kunnonvalvontaa sekä käyttöolosuhteita.



## 6.2 Nykyiset kunnossapitotoimenpiteet ja käyttöolosuhteet

Kunnossapidon kehittämiseksi ja arvioimiseksi selvitettiin kohteiden nykyinen kunnossapito- ja huoltostrategia. Tarkoituksena on verrata nykyisiä kunnossapidollisia toimenpiteitä laitteiden valmistajien suosituksiin sekä arvioida kunnossapidon kohdistamista työn aikaisemmissa vaiheissa tunnistettuihin merkittäviin vikaantumisiin. Toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen määräaikaishuoltojen ja kierrosluonteisten töiden, kuten kunnonvalvontareittien ja voitelukierrosten suoritusväliä pyrittiin arvioimaan kohteen kriittisyyden, laitevalmistajien suositusten sekä kunnossapitajien kokemusten kannalta. TPM-menetelmän periaatteiden mukaisesti myös käyttöolosuhteet pyrittiin ottamaan huomioon merkittävimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi ja laitteiden toiminnan tehostamiseksi.

Kunnossapidon työnjohdon ja –suunnittelun henkilöstön lisäksi kunnonvalvontaan sekä voiteluhuoltoon erikoistuneet asentajat toimivat ensisijaisena tietolähteenä kohteiden kunnossapidon nykytilan kartoittamisessa. Kierrostöitä suorittavilla asentajilla oli myös hyvä näkemys laitteiden käyttöön ja käyttöolosuhteisiin sekä itse kunnossapitoon liittyvistä puutteista, jotka osaltaan voivat vaikuttaa laitteiden vikataipumuksiin.

### 6.2.1 Huoltosuunnitelmat

Hiertämön alueen ehkäisevän kunnossapidon työt koostuvat lähinnä voitelijan ja kunnonvalvontamittauksia tekevän asentajan määräaikaistöistä. Voitelu- ja kunnonvalvontamittauksien lisäksi alueen automaattilaitteilla (esim. automaattiventtiilit, prosessisuuremittaukset) on määräaikaista tarkistus- ja kalibrointitöitä, jotka ovat automaatiokunnossapitoryhmän vastuulla. Myös muutamille hiertämön päälaitteille tehdään yleensä seisokkien yhteydessä tarkastuksia, joista on kirjattu määräaikaistöitä toiminnanohjausjärjestelmään työnsuunnittelun helpottamiseksi.

Määräaikaistyöt ovat osa laitteille kohdistettuja huoltosuunnitelmia. Huoltosuunnitelmat koostuvat huoltoriveistä, jotka kuvaavat varsinaista työsuoritusta (esim. öljynvaihto, kunnonvalvontamittaus, tarkastus). Esimerkiksi voitelijan vastuulle asetettuja huoltorivejä toiminnanohjausjärjestelmässä on koko kuidun osaston alueella (ml. biologinen puhdistamo ja puunkäsittely) yhteensä 1186, tarkasteltavalla hiertämön alueella noin 800. Huoltorivit on pääsääntöisesti sijoitettu huoltosuunnitelmiin, joihin on kerätty yhteen samankaltaisten laitteiden huoltotoimenpiteitä. Kuvassa 6.2 on esitetty yksi huoltosuunnitelma huoltoriveineen, joka koostuu hakekuljettimien voitelutöistä.

Huoltosuunnitelma	Huoltorivin kuvaus	VastTyöp.	SR	Tilauslaji	Toimintopaikka	Toimintopaikan nimitys
KAI141M44000	KAI1-414400 KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM12	KAI1-4144	HAKEKULJETTIMIT
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414401	KUORIMO HAKEKULJETIN 1-SIILOLLE
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414430	HAKEKENTTÄ HAKEKULJETIN 22 HIER...
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414424	HAKEKENTTÄ HAKEKULJETIN 23 JAKO...
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414438	HAKEKENTTÄ HAKEKULJETIN 24
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414463	HAKEKENTTÄ HAKEKULJETIN HAKETO...
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-414466	HAKEKENTTÄ HAKEKULJETIN HAKETO...
	KULJETTIMIEN TELOJEN VOITELU	MVKUI	KUI	PM13	KAI1-434404	KUORIMO HAKEKULJETIN 1

**Kuva 6.2: Huoltosuunnitelma ja -rivit toiminnanohjausjärjestelmässä**

Huoltosuunnitelma ei siis välttämättä ole toimintopaikkakohtainen, vaan se voi käsittää useampia laitteita eri toimintopaikoilla. Huoltorivejä voidaan hakea toiminnanohjausjärjestelmästä toimintopaikan perusteella, jolloin saadaan selville toimintopaikan ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet. Kuvassa 6.3 on esitetty erään toimintopaikan määräaikaistyöt, joita siis voidaan kokonaisuutena pitää kohteen kunnossapito-ohjelmassa. Huomattavaa kuitenkin on, ettei huoltoriveihin sisälly kunnonvalvontamittauksia. Tämä johtuu siitä, että toiminnanohjausjärjestelmään on luotu määräaikaistyöt kunnonvalvontamittausreiteistä, jotka itsessään sisältävät monta mittauspistettä. Varsinaiset mittauspisteet näkyvät ainoastaan kunnonvalvontaohjelmassa, määräaikaistyö toimii siis käytännössä ainoastaan ”muistutuksena” kunnonvalvojalle.

Voitelijan ja kunnonvalvontamittauksia suorittavan asentajan määräaikaistöissä (töiden luonteesta johtuen puhutaan myös ns. *reittihuolloista*) on hyvin rajoitetusti tietoa. Töiden suorittaminen perustuukin pitkälti asentajien ammattitaitoon ja kokemuksiin sekä alueen laitteiden tuntemukseen. Toiminnanohjausjärjestelmään luodut kunnonvalvontamittaus-ten määräaikaistyöt toimivat käytännössä vain muistuttajina siitä, milloin mikäkin kunnonvalvontareitti tulee suorittaa. Tarkemmat tiedot reittien sisältämisestä kohteista ja mittauspisteistä ovat erillisessä kunnonvalvontaohjelmistossa, jota ainoastaan kunnonvalvontamittauksia suorittava asentaja käyttää. Kunnonvalvontaan ja voiteluhuoltoon liittyvän osaamisen keskittyminen ainoastaan muutamaan asentajaan vaikuttaa kunnossapito-varmuuteen. Tällöin esimerkiksi käyttöhenkilöstön sitouttaminen yksinkertaisiin valvonta- ja huoltotoimenpiteisiin parantaisi käyttövarmuutta, sillä osaavan työvoiman puutteen riski pienentyisi. Kunnonvalvojalla ja voitelijalla on omat varahenkilönsä, mutta usein varahenkilöitä joudutaan käyttämään muissa kunnossapitotöissä resurssien puutteen vuoksi.

Hiertämön kunnonvalvontareittien suoritustaajuus on 4 viikkoa, lukuun ottamatta hitaasti pyörivien laitteiden reittiä, jonka suoritusväli on 6 viikkoa. Reitit on rakennettu laitetyyppien mukaan; esimerkiksi jauhimille, painesihdeille ja pumpuille on omat reittinsä. Koska reittien suoritusväli on käytännössä sama, ei kunnonvalvontaa ainakaan tämän perusteella kohdisteta kohteen kriittisyyden perusteella. Voitelukierrosten suoritusväleissä on enemmän eroja, ja öljynvaihtovälit vaihtelevat kohteesta riippuen 2 vuodesta 5 vuoteen.

## 6.2.2 Tarkastukset ja jaksotettu huolto

Hiertämön alueella on muutamia laitteita, joiden huoltosuunnitelmaan on määritetty kunnonvalvontamittausten ja voitelutöiden lisäksi tarkempaan tarkastukseen liittyvä määräaikaistyö. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi haketornien 1 ja 2 purkaimet sekä elevaattorit 1 ja 2. Kyseiset toimintopaikat ovat rakenteeltaan monimutkaisia ja käsittävät monia komponentteja ja osia, joten kokonaisvaltaista tarkastusta ei voida suorittaa normaalin käynnin aikana. Kuvassa 6.3 on esitetty haketornin purkaimen huoltosuunnitelma.

Huoltosuunnitelma	Huoltorivin kuvaus	Vast..	SR	Tilauslaji	Toimintopaikka	Toimintopaikan nimitys
KAI1M001792	MÄÄRÄAIKAISTARKASTUS	MKUI	KUI	PM12	KAI1-414405	HAKESIILON 1 PURKAIN
KAI1M003753	VOITELU SÄHKÖMOOTTORI	MVK..	KUI	PM13	KAI1-414405	HAKESIILON 1 PURKAIN
KAI1T0108256	ÖLJYNVAIHTO KÄÄNNÖN VAIHDE	MVK..	KUI	PM12	KAI1-414405	HAKESIILON 1 PURKAIN
KAI1T0048154	ÖLJYNVAIHTO RUUVIN VAIHDE	MVK..	KUI	PM12	KAI1-414405	HAKESIILON 1 PURKAIN

**Kuva 6.3: Haketornin purkaimen kunnossapito-ohjelma**

Haketornin purkaimen huoltosuunnitelmaan on sisällytetty määräaikaistarkistus. Määräaikaistarkistuksen sisältö ja suorittaminen on kuvattu huoltosuunnitelman lisätietoihin melko lyhyesti, jolloin työn suunnittelun kannalta on vaikea arvioida tarkastuksen vaatimia resursseja, kuten aikaa ja henkilöstötarvetta. Tämän vuoksi määräaikaistarkistus suoritetaan pitkälti työnsuunnittelijan ja asentajien kokemuksiin perustuen, mistä johtuen tarkistuksen sisältö saattaa vaihdella. Tällöin on vaikea arvioida, kuinka tehokkaasti eri vikamuotojen syntymistä ja kehittymistä tarkastuksen avulla voidaan havaita.

Yksi selkeä kehityskohde onkin määräaikaistöiden tarkempi vaiheistaminen, jolloin työnsuunnittelija ja käyttöhenkilöstö pystyvät jatkossa sopimaan riittävän ajan määräaikaistarkistukseen, jolloin tarkastus ehditään suorittamaan täydellisesti, jotta tärkeimmät vikamuodot voidaan ottaa huomioon. Resurssitarpeet määrittämällä voidaan myös helposti laskea määräaikaistarkistuksen muodostamat kustannukset. Jos kustannukset suunnittelun korjaavan kunnossapitotoimenpiteen kanssa ovat pienemmät kuin yllättävän vikaantumisen aiheuttamat kustannukset, voidaan määräaikaistarkistus perustellusti oikeuttaa.

Jaksotettu huolto on määritetty hiertämön alueen laitteista ruuvisaostimille, joiden kohdalla huollon aikaväli on 5 vuotta. Ruuvisaostinten lisäksi aikataulutettu huolto on käytössä sihtirejektijauhimen tulppasyöttimelle, jonka huoltoväli on n. 2 vuotta. Muita jaksotettuja kunnossapitotöitä ovat esimerkiksi hihnakäyttöjen kiilahihnojen määräaikaistarkistusvaihto esisaostimille sekä osalle hakkeen siirto- ja jakoruuveista.

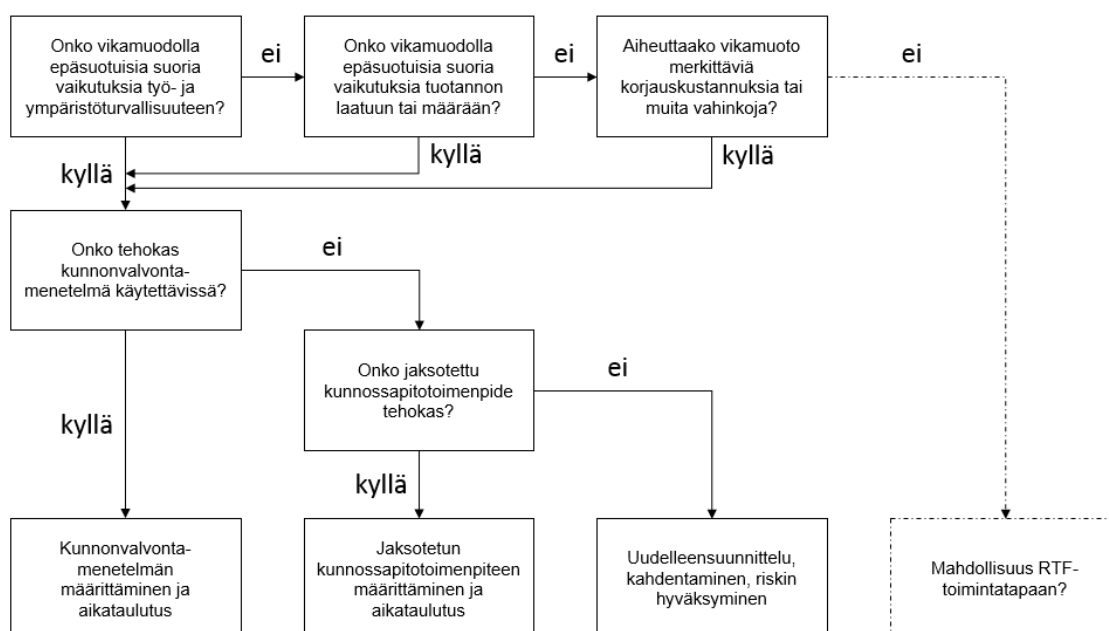
Yllä mainittuja käyttömäärään ja –aikaan perustuvia jaksotettuja huoltoja ei kuitenkaan säännöllisesti tehdä, sillä niitä ei koeta hyödyllisiksi tai niiden suorittamiseen ei ole aikaa tai resursseja. Kun toiminnanohjausjärjestelmässä on määräaikaistöitä, joita ei edes pyritä suorittamaan, saattaa tärkeitäkin määräaikaistöitä jäädä tekemättä. Tämän vuoksi tavoit-

teena onkin, että toiminnanohjausjärjestelmän kaikki määräaikaistyöt arvioidaan ja tarvittaessa päivitetään. Päämääränä on, että kaikki määräaikaistyöt ovat tehokkaita, jolloin ne myös suoritetaan suunnitellusti.

### 6.3 Kunnossapitostrategian ja toimenpiteiden valinta

Kriittisten laitteiden kunnossapito-ohjelma arvioitiin nykyisen kunnossapitostrategian ja vika- ja vaikutusanalyysin pohjalta. Tarkoituksena oli erityisesti arvioida nykyisiä kunnossapitotoimenpiteitä kriittisimpien vikamuotojen ehkäisemisen ja havaitsemisen valossa ja tarvittaessa päivittää kohteiden huolto-ohjelmaa. Myös laitteiden käyttöön ja käyttöolosuhteisiin kiinnitettiin huomiota, sillä käyttöhenkilöstön panosta laitteiden toimintakunnon ylläpidossa haluttiin korostaa. Kunnossapito-ohjelman arvioinnissa ja määrittelemisessä oli mukana niin käytön kuin kunnossapidonkin henkilöstöä.

Toimenpiteiden valinta vikamuotojen havaitsemiseksi pyrittiin tekemään RCM-menetelmässä käytettävän päätöslogiikkakaavion mukaisesti. Päätöslogiikkakaavion mukaisesti kunnossapitostrategia valitaan vikamuodon kriittisyyden perusteella. Kuntoon perustuva kunnossapito on ensisijainen ratkaisu vikamuodon havaitsemiseen, mikäli se vain on soveltuva. Jos tärkeiksi havaittujen vikamuotojen kehittymistä ei voida riittävällä luotettavuudella havaita laitteen käyttäjien tai kunnonvalvontamittausten perusteella, on kohteelle syytä määrittää tarkempi tarkastustoimenpide. Päätöslogiikkakaavio on esitetty kuvassa 6.4.



**Kuva 3: Päätöslogiikkapuu kunnossapitostrategian valitsemiseksi (Whole Building Design Guide, muokattu)**

Mikäli kunnonvalvonta tai jaksotettu kunnossapitotoimenpide ei sovellu vikamuodon ehkäisemiseksi tai havaitsemiseksi, on harkittava järjestelmän tai laitteen uudelleensuunnittelua. Yksi vaihtoehto on kohteen kahdentaminen, joka tarkoittaa käytännössä usein varalaitteen lisäämistä järjestelmään. Jos vikamuodon seuraukset ovat pieniä, voidaan harkita Run-To-Failure –toimintamallia. Tällöin kohteen kuntoa ei aktiivisesti seurata eikä kohdetta huolleta, vaan se korjataan vasta sen vikaantuessa.

Kunnossapitostrategia ja varsinaiset toimenpiteet pyrittiin arvioimaan niiden teknisen toteutettavuuden, sopivuuden ja kustannusnäkökulman perusteella. Esimerkiksi määräaikaistarkastuksen vaatimat resurssit voidaan laskea riittävällä tarkkuudella melko helposti, ja verrata niitä yllättävän vikaantumisen aiheuttamiin kustannuksiin. Alla olevassa taulukossa 6.1 on esitetty erään kohteen määräaikaistarkistuksista ja niiden perusteella suunnitellusta kunnossapitotoimenpiteestä muodostuneet kustannukset, ja verrattu niitä yllättävästä vikaantumisesta aiheutuviin kustannuksiin.

***Taulukko 6.1: Suunnittelemtoman ja suunnitellun korjauksen kustannukset ja laitteen epäkäytettävyysaika. Kustannukset on skaalattu, eivätkä ne siis vastaa todellisia kustannuksia.***

#### **Haketornin purkaimen käyttöketjun katkeaminen**

##### **Suunnittelemtoman korjaus**

Korjaajien lkm	3 asentajaa
Korjauksen kesto	16 h
Osien hinta	4070 €
Työn hinta (sis. ylityöt)	3744 €

Korjauskustannukset	7833 €
---------------------	--------

Laite pois käytöstä	20 h
Suunnittelemtoman seisokki	20 h

##### **Suunniteltu korjaus**

Korjaajien lkm	3 asentajaa
Korjauksen kesto	10 h
Osien hinta	2713 €
Työn hinta	651 €
Määräaikaistarkastuksen kust.	610 €

Korjauskustannukset	3975 €
---------------------	--------

Laite pois käytöstä	12 h
Suunnittelemtoman seisokki	0 h

Kyseisen esimerkkitapauksen mukaan suunnittelematon korjaus tulee korjauskustannuksiltaan noin 2 kertaa kalliimmaksi kuin suunniteltu korjaus, vaikka määräaikaistarkastukseen kuuluva työ otettaisiin mukaan. Laskelmassa on otettu huomioon mahdollinen muiden osien vaurioituminen osien hinnassa. Merkittävä tekijä on myös vikaantumisesta aiheutuva laitteen suunnittelematon seisokki, joka lyhytkestoisenakin aiheuttaa muutoksia prosessiin, hierteen laatuun ja siten ajettavuuteen paperikoneella ja voi pahimmillaan aiheuttaa hierteen loppumisen paperikonelinjalta. Yleisesti voidaan olettaa, että kokonaisu toiminnon kannalta tärkeän laitteen vikaantumisen epäkäytettävyyskustannukset ovat suoria kustannuksia suuremmat.

Kohdealueen laitteiden päivitettyt kunnossapitostrategiat ja –toimenpiteet on esitetty laiteryhmittäin luvussa 7.

## 7. TULOKSET

Tässä luvussa on käsitelty kootusti tutkimustyön tuloksia sekä päivitetyn kunnossapito-ohjelman käyttöönottoa. Työssä oli kaksi selkeää kokonaisuutta: kriittisten laitteiden tunnistaminen sekä varsinainen kunnossapitostrategian tarkastelu ja mahdollinen parantaminen.

### 7.1 Kohdealueen kriittisten laitteiden tunnistaminen

Tarkasteltavalta alueelta pyrittiin RCM-menetelmän mukaisesti tunnistamaan kohteet, jotka ovat suurimmassa roolissa järjestelmän kokonaistoiminnon toteutumisen ja kunnossapitokustannusten kannalta. Kriittisten laitteiden valinta perustui prosessista luotuun käyttövarmuusmalliin sekä saatavilla oleviin kunnossapitotietoihin, kuten kunnossapitokustannuksiin ja –työtilauksiin. Alueen toimintopaikat luokiteltiin myös uuden kriittisyyslukittelutyökalun avulla neljään kriittisyysluokkaan.

Käyttövarmuusmalli luotiin pitkälti käyttöhenkilöstön haastattelujen ja prosessinohjausjärjestelmän perusteella. Luotu malli on luotettavuuslohkokaavion ja vikapuun yhdistelmä. Kokonaistoiminto jaettiin osatoimintoihin luotettavuuslohkokaaviomalliksi, josta jokaisesta osatoiminnosta luotiin vikapuumalli, jonka perustapahtumina ovat järjestelmän toimintopaikat. Käyttövarmuusmallia analysoitiin kvalitatiivisesti katkosjoukkoja tarkastelemalla, tarkoituksena löytää toimintopaikat, jotka herkimmin vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan.

Koska tarkasteltava järjestelmä on hyvin laaja ja monimutkainen, ei käyttövarmuusmallin kvantitatiiviseen tarkasteluun ollut resursseja. Kvantitatiivinen tarkastelu vaatisi tarkoituksenmukaisen työkalun käytettävyytlaskentaan ja käyttövarmuusmallin luomiseksi, sekä riittävästi käyttövarmuusdataa, jota on heikosti saatavilla kunnossapidon ja prosessin ohjausjärjestelmistä. Luodulla käyttövarmuusmallilla ei siten voitu huomioida osatoimintojen ja toimintopaikkojen käytettävyyttä tai vikaantumisesta aiheutuvia kustannuksia.

Koska kunnossapitokustannusten hallitseminen on yksi tutkimustyön keskeisimmistä tavoitteista, tarkasteltiin alueen toimintopaikkoja toteutuneiden kunnossapitokustannusten valossa. Kunnossapitokustannukset saadaan helposti selville toiminnanohjausjärjestelmästä, vaikka niissä esiintyykin jonkin verran epätarkkuutta. Vikaantumisesta aiheutuvia epäkäytettävyysskustannuksia on sen sijaan vaikea arvioida, mutta prosessin optimaalisella toiminnalla tiedostetusti merkittävä vaikutus hierteen valmistuskustannuksiin, etenkin energiakustannusten osalta.

Vastaavasti toimintopaikkakohtaisten kunnossapitotyötilausten määrä voitiin selvittää toiminnanohjausjärjestelmän avulla. Työtilausten määrä kertoo kohteen vikaantumisherkkyydestä, jolla on vaikutus toimintopaikan käytettävyyteen.

Kriittisten laitteiden tunnistamiseen käytettiin myös uutta UPM:n kriittisyysluokittelutyökalua, jossa kohteiden kriittisyysluokka määräytyy vikaantumisen aiheuttaman tuotannon menetyksen, laatuvaikutuksen, korjauskustannusten, turvallisuus- ja ympäristövaikutusten sekä vikaantumisen todennäköisyyden perusteella. Kriittisyysluokittelun käytöstä halutaan kokemuksia, joten sen soveltumista kunnossapidon suunnittelemisen työkaluksi pyrittiin arvioimaan.

Kriittisyysluokittelun suorittanut työryhmä näki erityisen haasteelliseksi tuotannon keskeytymisen ja laatutekijöiden arvioimisen. Hierteen valmistusprosessi riippuu paljon paperikoneilla ajettavista paperilajeista ja vaadittavasta tuotantomäärästä ja -laadusta, joten yksittäisen toimintopaikan vikaantumisen seurauksia on vaikea arvioida. Toimintopaikoilla voi esiintyä myös erilaisia vikamuotoja, joiden vaikutukset ovat erilaisia. Kriittisyysluokittelu osoittautui kuitenkin nopeaksi tavaksi luokitella suurikin määrä toimintopaikkoja, ja tulokset vastasivat suurimmilta osin työryhmän näkemystä.

Analyysien tulosten pohjalta valittiin joukko toimintopaikkoja, joiden kunnossapito-ohjelma ja –strategia otettiin tarkempaan tarkasteluun.

## **7.2 Kunnossapitostrategian arviointi ja kehitysehdotukset**

Kriittisiksi tunnistetuille toimintopaikoille suoritettiin RCM-menetelmän mukaisesti vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi tärkeimpien vikamuotojen löytämiseksi. Tärkeimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi ja havaitsemiseksi arvioitiin kohteiden nykyisiä kunnossapitotoimenpiteitä ja tarvittaessa huolto-ohjelmaa päivitettiin. Tuloksena saatiin uusi kunnossapito-ohjelma, joka on laiteryhmittäin esitetty alla olevissa luvuissa.

### **7.2.1 Haketornien purkaimet**

Haketornien merkittävimmät vikamuodot liittyivät ketjukäytön, käyttökoneiston ja vaihteen vikaantumiseen. Haketornien purkaimille 1 ja 2 on määritetty määräaikaistarkastus 1 vuoden välein suoritettavaksi, mutta käytännössä tarkastusta ei ole tehty säännöllisesti, sillä tarkastus vaatii haketornin tyhjentämisen. Kunnonvalvontamittauksia suoritetaan 30 päivän välein. Käynninaikaisella kunnonvalvonnalla pystytään havaitsemaan vaihteiden ja moottorien vikaantuminen, mutta ruuvien ja ketjukäytön kuntoa ei voida määrittää laitteiden ollessa käynnissä.



Kaikille haketornien purkaimille luotiin 2 erillistä määräaikaistarkistusta, joissa toisessa pyritään tarkastamaan erityisesti ketjukäytön laitteet ja komponentit. Tämä määräaikaistyö ei vaadi tornin tyhjentämistä eikä siten vaikuta olennaisesti hiertämön tuotantoon. Suuremmassa, harvemmin tehtävässä tarkastuksessa tarkastetaan ruuvin kunto ja sekä käyttökoneiston laakerit. Määräaikaistyöt vaiheistetaan toiminnanohjausjärjestelmään, jotta työhön osataan varata riittävästi aikaa sekä resursseja. Vaiheistetun määräaikaistyön kustannukset voidaan myös helposti laskea vuositasolla, kun tiedetään paljonko työn suorittamiseen kuluu työtunteja. Vaiheistus toimii myös muistilistana tarkastuksen sisällöstä työn suorittajille. Määräaikaistyöt on esitetty kuvassa 7.1.

<b>Määräaikaistyö 1</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(vaatii seisokin, ei siilon tyhjennystä)	1	Turvaerotus ja työluvat	2	1
	2	Ketjun kunnon ja kireyden tarkastus	2	0,5
Tehdään 1 v. välein	3	Ketjupyörien kunnon tarkastus	2	0,5
	4	Ketjun kiristyspyörän tarkastus	2	0,5
	5	Kytkimen tarkastus	2	0,5
	6	Laitteiden kiinnityksen tarkastus	2	0,5
	7	Moottorien puhdistus	2	1
	8	Turvaerotuksen purkaminen	2	1
		<b>Kesto yhteensä</b>		<b>5,5</b>
<b>Määräaikaistyö 2</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(seisokki ja siilon tyhjennys)	1	Turvaerotus ja työluvat	2	1
	2	Ruuvin kunnon tarkastus	2	1
Tehdään 2 v. välein	3	Ruuvin lehden mittaus	2	1
	4	Ruuvin laakereiden tarkastus	2	2
	5	Hatun laakerin tarkastus	2	2
	6	Turvaerotuksen purkaminen	2	1
		<b>Kesto yhteensä</b>		<b>8</b>

**Kuva 7.1: Haketornien määräaikaistyöt**

Haketornin 3 purkaimelle on asennettu on-line –värähtelyanturit, jotka välittävät mittausdataa prosessinohjausjärjestelmään. Vaihteen värähtelyarvoja voidaan seurata reaaliajassa hiertämön valvomosta. Mittaustulosten seuraamista ja analysointia tulisi kuitenkin kehittää, sillä selkeää toimintamallia ei tällä hetkellä ole. Määräaikaistyö luotiin myös 3-purkaimen kääntökehän laakerin ylimääräisen rasvan puhdistamiselle, sillä se aiheuttaa palokuormaa ja liukkaita purkaimen ympäristössä.

## 7.2.2 Elevaattorit

Elevaattorien merkittävimmät vikamuodot liittyvät elevaattorin hihnan sekä hihnaa ohjaavan rakenteen kuntoon. Hihnan vaihto on kallis työ, joten hihnan kunnon heikkene- mistä halutaan estää. Hihnan kuoppien ja ohjurirakenteen osien ja kiinnitysten irtoaminen

saattaa vahingoittaa hihnaa, joten erityisesti näiden osien kuntoa tulisi seurata. Moottorin ja vaihteen kuntoa pystytään tarkkailemaan riittävän luotettavasti kunnonvalvontamittausten avulla, joiden sykli on 30 päivää. Elevaattoreille on määritetty määräaikaistarkastus suoritettavaksi seisokin yhteydessä puolen vuoden välein, mutta tarkastuksen sisältöä ei ole määritetty riittävän tarkasti. Elevaattorin kuntoa voitaisiin myös valvoa käynnin aikana ja puhdistaa laitteet samalla hakepölystä. Elevaattoreille määritettiinkin toinen määräaikaistyö, jonka käyttökunnossapito voi suorittaa käynnin aikana. Määräaikaistyöt kestoineen on esitetty kuvassa 7.2.

<b>Määräaikaistyö 1</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(käynninaikainen tarkastus)	1	Tarkastusluukkujen avaus	2	1
	2	Veto-/taittopään puhdistus	2	0,5
Tehdään 2 krt vuodessa	3	Puhdistus tarkastusluukkujen kohdilta	2	0,5
	4	Hihnan ja kuoppien kunnon tarkastus Hihnan ohjuripuiden ja -rautojen	2	0,5
	5	tarkastus	2	0,5
	6	Tarkastusluukkujen kiinnitys	2	1
		<b>Kesto yhteensä</b>		<b>4</b>
<b>Määräaikaistyö 2</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(seisokki ja siilon tyhjennys)	1	Turvaerotus	2	1
Huom! Sisältää	2	<b>Määräaikaistyö 1</b>	2	4
määräaikaistyön 1	3	Laitteiden kiinnitysten tarkastus	2	0,5
	4	Hihnakäytön ja kytkimen tarkastus	2	0,5
Tehdään 2 krt vuodessa	5	Laakereiden tarkastus (jos tarve)	2	1
	6	Turvaerotuksen purkaminen	2	1
		<b>Kesto yhteensä</b>		<b>8</b>

*Kuva 7.2: Elevaattorien määräaikaistyö*

### 7.2.3 Hakkeen siirto- ja jakoruuvit

Molempien hiertämöiden siirto- ja jakoruuvit ovat tuotannon kannalta erittäin tärkeitä, sillä yhdenkin ruuvin vikaantuminen estää hakkeen syötön hiertämön jauhinlinjoille. Yllättäviä vikaantumisia tapahtuu kuitenkin harvoin, ja merkittävimpänä vikamuotona voidaan nähdä ruuvin akselin kuluminen ja katkeaminen, joka tosin on hyvin harvinaista. 9 viikon välein suoritettavilla kunnonvalvontamittauksilla havaitaan moottorien ja vaihteiden vikaantuminen, mutta ruuvien kuntoa on vaikeampi tarkkailla.

Hakeruuveille on määritetty määräaikaistyöt hihnakäyttöjen kiilahihnojen vaihdolle. Käytännössä näitä määräaikaistyöitä ei käytetä, sillä kunnonvalvontamittauksia tekevä asentaja pystyy valvomaan kiilahihnojen kuntoa, jolloin hihnat voidaan vaihtaa niiden kunnon perusteella. Kiilahihnojen määräaikaisvaihdot poistetaan siten toiminnanohjausjärjestelmästä. Molempien hiertämöiden ruuviryhmille määritetään seisokissa tehtävä

määräaikaistarkistus suoritettavaksi vuoden välein. Määräaikaistyö on esitetty kuvassa 7.3.

<b>Määräaikaistyö 1</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(vaatii seisokin)	1	Turvaerotus	2	1
	2	Moottorin puhdistus	2	2
Tehdään 1 krt vuodessa molempien hiertämöiden ruuviryhmille	3	Laitteiden kiinnitysten tarkastus	2	1
	4	Visuaalinen tarkastus luukuista	2	2
	5	Laakereiden tarkastus (jos tarve)	2	1
	6	Turvaerotuksen purkaminen	2	1
<b>Kesto yhteensä</b>				<b>8</b>

*Kuva 7.3: Hakeruuvien määräaikaistarkistus*

## 7.2.4 Lokerosyöttimet

Lokerosyöttimien merkittävin vikamuoto on syöttimen kuluminen sekä alalaakerin vikaantuminen. Molemmat vikamuodot havaitaan lokerosyöttimen toiminnan heikkenemisenä ja höyryn karkaamisena. Keskimääräinen vikaantumisväli on noin 30 kk, mutta lokerosyöttimien käyttöään kasvattamiselle ei kuitenkaan ole selkeitä keinoja.

Vaihteen ja moottorin kuntoa pystytään seuraamaan riittävän hyvin käynninaikaisilla kunnonvalvontamittauksilla, joita suoritetaan 9 viikon välein. Alalaakerin vikaantumisen havaitsemiseksi lokerosyöttimiin on lisätty piirtotappi, jonka seuraamisesta suositellaan tehtäväksi tarkempi ohjeistus.

Lokerosyöttimien ulkopinta ja lähiympäristö likaantuu helposti lämmön, höyryn ja hake-lastujen ja –purun seurauksena. Syöttimien ulkoiselle puhdistukselle luodaan määräaikaistyö käyttökunnossapidon suoritettavaksi, jolloin myös kunnonvalvonta helpottuu.

## 7.2.5 Jauhimet syöttöruuveineen

Jauhimien akselistojen vaihdot ja huollot muodostavat lähes puolet jauhimille kohdistetuista kunnossapitokustannuksista. Kriittisimmät vikaantumiset liittyvätkin siten akseliston kunnan heikkenemiseen, mutta akseliston käyttöikään vaikuttavien tekijöiden selvittäminen (esimerkiksi tiivisteveden, öljyn ja jauhatuksessa käytettyjen kemikaalien) ja analysointi vaatisi runsaasti tutkimusresursseja. Tämän tutkimuksen yhteydessä akselistojen vikaantumisvälin ja käyttöään kasvattamiselle ei siten löydetty toteutettavia keinoja.

Jauhinten kunnossapitoa voidaan silti tehostaa lisäämällä muiden töiden tai seisokin yhteydessä tehtäviä tarkastuksia. Terien vaihdon yhteydessä jauhimen vuoraus voidaan tarkastaa, ja tarkempi tarkastus ja korjaus voidaan suorittaa akseliston vaihdon yhteydessä. Vuorausten kunnan seuraamiseksi luodaan ylläpidettävä tarkastustaulukko.

Terienvaihdon yhteydessä voidaan tarkastaa myös syöttöruuvin tukkoisuus ja tarvittaessa pestä ruuvi. Syöttöruuviin kovettunut hake heikentää ruuvin toimintaa ja saattaa altistaa ruuvin laakeroinnin ja mekaanisen tiivisteiden vaurioille. Syöttöruuvien tiivistevesilinjojen tarkastus lisätään myös omalle määräaikaistyölleen. Mekaanisen tiivisteiden asennus on usein tilattu ulkopuolisilta urakoitsijoilta, mutta jatkossa työ pyritään tekemään oman henkilöstön voimin, jolloin saavutetaan säästöjä korjauskustannuksissa.

Jauhinten moottorit tulee lähettää ajoissa huoltoon, sillä huollon kustannukset muodostuvat moottorin kunnan perusteella. Jauhinmoottoreille määritetään myös määräaikaistyö visuaaliselle tarkastukselle ja kiinnitysten varmistamiselle.

## 7.2.6 Ruuvisaostimet ja –puristimet sekä kiekkosaostimet

Ruuvisaostinten ja –puristinten merkittävin vikamuoto on toiminnan heikkeneminen, mikä johtuu laitteen osien (ruuvi, sihtilevyt, laakerit) kulumisesta. Kulumisen on kuitenkin hidasta, eikä laitteissa esiinny juurikaan yllättäviä vikaantumisia. Moottorien ja vaihteiden sekä hihnakäyttöjen kuntoa pystytään seuraamaan käynninaikaisella kunnonvalvonnalla.

Eräs kulumista edistävä ja toimintaa heikentävä tekijä on ruuvisaostimien sihtilevyjen reikien tukkeutuminen, jonka vuoksi vettä saattaa päästä tunkeutumaan laakereille. Toimenpiteenä nähdään sihtilevyjen pesu seisokkien yhteydessä, jota TMP 2:lla tehdään säännöllisesti. Sama käytäntö on laajennettava myös TMP 3:n puolelle.

Ruuvisaostimille ja –puristimille on määritetty 5 vuoden välein tehtävä määräaikais-huolto toiminnanohjausjärjestelmään, mutta käytännössä saostimet ja puristimet huolletaan niiden kunnan perusteella, eikä kiinteään aikaväliin perustuvaa huoltoa nähdä kannattavana. Toiminnanohjausjärjestelmästä poistetaan siten määräaikaistyöt kuormittamasta turhaan työvarantoa.

Kiekkosaostimien käytettävyys ja toiminnan hyvän tason takaaminen on hierteenvalmistusprosessin kannalta merkittävässä roolissa. Kiekkosaostimien toimintaa heikentävät erityisesti saostussektoreiden pussien tukkeutuminen ja repeytyminen. Kriittisimmät vikamuodot liittyvät oskilloinnin, imupään ja suuttimien kunnan heikkenemiseen, jotka osaltaan aiheuttavat myös sektorien tukkeutumista.

Kiekkosaostimien käynninaikaisella kunnonvalvonnalla ei pystytä riittävän tarkasti tarkkailemaan saostimen sisäisten osien kuntoa. Tämän vuoksi kiekkosaostimille määritettiin 2 kertaa vuodessa tehtävä määräaikaistarkistus, jossa erityisesti tarkkaillaan oskillointimekanismin ja suuttimien kuntoa sekä saostimen pohjalla olevan repijäruuvin kuntoa. Käyttökunnossapidon seisokeissa suorittamaa oskillointisuihkujen tarkastusta ja avausta

tulee myös korostaa. Saostimien määräaikaistarkastuksen vaiheistettu työtilaus on esitetty kuvassa 7.4.

<b>Määräaikaistyö 1</b>	Työvaihe	Vaiheen kuvaus	Lkm	Kesto (h)
(vaatii seisokin)	1	Turvaerotus	2	1
	2	Telineiden asennus	2	1
Tehdään 2 krt vuodessa	3	Sektorien ja oskilloinnin tarkastus	2	2
	4	Imupään tarkastus (tarvittaessa)	2	4
	5	Repijäruuvien tarkastus	2	1
	6	Suutinhuolto (tarvittaessa)	2	2
	7	Laakereiden tarkastus (jos tarve)	2	1
	8	Moottorien puhdistus	2	1
	9	Turvaerot. ja telineiden purkaminen	2	1
<b>Kesto yhteensä</b>				<b>14</b>

*Kuva 7.4: Kiekkosaostimen määräaikaistarkastus*

Määräaikaistarkastuksen sisältö on laaja, joten työn suorittaminen yhden työpäivän aikana vaatii vähintään kaksi asentajaparia. Repijäruuvia ja imupäätä ei kuitenkaan välttämättä ole syytä tarkistaa kahta kertaa vuodessa, mikäli niiden toiminnassa ei ole havaittu muutoksia.

### 7.2.7 Pumput ja sähkömoottorit

Hiertämön tuotannon kannalta tärkeimpiä pumppuja käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena. Pumppujen kriittisimmät vikamuodot ovat laakeroinnin, mekaanisen tiivisteiden ja juoksupyörän vikaantuminen sekä pumppua käyttävän sähkömoottorin laakerivaurio. Pumppuille suoritetaan käynninaikaista kunnonvalvontaa 30 päivän välein, mutta silti yllättäviä vikaantumisia sattuu ajoittain. Erityisesti 3000 kierrosta minuutissa pyörivien pumppujen kunnonvalvontaa ja suunniteltua kunnossapitoa vaikeuttaa vikojen nopea kehittyminen.

Käyttöolosuhteilla - erityisesti hiertämön korkealla lämpötilalla ja kosteudella - nähdään olevan huomattava vaikutus pumppujen ja sähkömoottorien vikaantumisherkkyyteen. Laitteiden ympärille kerääntyvä lika lisää entisestään käyntilämpötilaa, joka heikentää öljyn voiteluominaisuuksia. Pumppujen mekaaniset tiivisteet likaantuvat usein massasta, ja vedelle saattaa tällöin muodostua ”silta” laakerointiin. Tiivistevesilinjojen ja -letkujen tukkeutuminen altistaa mekaanisen tiivisteiden vaurioille. Tiivistevesilinjojen rotametrit ovat monin paikoin likaisia, jolloin tiivisteveden riittävää virtausmäärää ei pystytä seuraamaan.

Käyttöolosuhteiden parantamiseksi toiminnanohjausjärjestelmään määritetään määräaikaistyöt sähkömoottorien ulkoiselle puhdistukselle sekä pumppujen mekaanisten tiivisteiden puhdistukselle ja tiivistevesilinjojen ja -rotametrien tarkastukselle. Turvallisuuden

vuoksi työt on tehtävä seisokeissa. Määräaikaistyö kohdistetaan vain tärkeimmille pumpuille ja moottoreille. Mikäli toimenpiteillä havaitaan olevan suotuisia vaikutuksia pumpujen toimintaan, voidaan käytäntö laajentaa useampien määräaikaistöiden muodossa muille hiertämön pumpuille tai pumppuryhmille.

Kriittisten pumppujen kunnonvalvonnan suoritustaajuutta ja sen mahdollista muuttamista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 7.2.9.

## 7.2.8 MAP-kuituanalyssaattori ja muut prosessimittaukset

MAP-kuituanalyssaattorin merkittävimmät vikamuodot liittyvät analyssaattorien osien liikaantumiseen ja tukkeutumiseen, joiden vuoksi analyysimittaus ei onnistu. Kuituanalyssaattorille suoritetaan 2 viikon välein huolto, jossa likaantuvat komponentit puhdistetaan. Käytännössä puhdistustoimiin joudutaan kuitenkin useammin, joten huollon määräaikaistyön suoritusväli pienennetään yhteen viikkoon. Analyssaattorin putkistorakenteeseen ja komponenttimateriaaleihin on onnistuttu tekemään toimintaa parantavia ratkaisuja, joten säännöllinen huolto ja puhdistus nähdään tärkeimpänä kunnossapitotoimenpiteenä.

MAP:n huolto on pääasiassa ainoastaan yhden automaatioasentajan vastuulla, mikä saattaa heikentää kohteen kunnossapitovarmuutta. Tehtaiden automaatioasentajat ovat saaneet koulutuksen kuituanalyssaattorin huoltoon, mutta kehitysehdotuksena nähdään myös käyttöhenkilöstön kouluttaminen huolto- ja puhdistustyöhön. Tällöin automaatioasentaja pystyisi suorittamaan vapautuneella ajalla muita automaatiolaitteiden määräaikaistöitä.

Hiertämön alueen prosessimittauksille on määritetty määräaikaista kalibrointi- ja tarkastustöitä. Töiden suoritusväli vaihtelee kohteiden mukaan kahdesta viikosta kahteen vuoteen. Tarkoitus on, että määräaikaistarkastukset saadaan suoritettua ajallaan, mutta usein muiden kiireellisempien töiden vuoksi osa tarkastuksista jää tekemättä. Prosessia ohjauksissa esiintyvillä häiriöillä voi olla kuitenkin olennainen merkitys hierteen laatuun ja siten tuotannon kokonaistehokkuuteen.

Automaatiolaitteiden määräaikaistarkastukset ja –tarkastukset tulisikin kohdistaa erityisesti tärkeimpiin prosessisuuremittauksiin. Prosessimittausten lukumäärän vuoksi tässä tutkimuksessa ei ollut kuitenkaan resursseja määrittää prosessimittausten kriittisyyttä mekaanisten toimintopaikkojen tapaan. Automaatiopositoiden määräaikaistöiden kohdistamisen, suoritusvälin sekä sisällön arviointi ja päivittäminen jää siten vain kehitysehdotuksen asteelle.

## 7.2.9 Kunnonvalvonnan ja voiteluhuollon reittityöt

Kunnonvalvonnan ja voiteluhuollon reittitöitä arvioitiin tarkasteltujen kohteiden kriittisyyden ja tärkeimpien vikamuotojen ehkäisemisen ja havaitsemisen kannalta. Kunnonvalvontaan ja voiteluhuoltoon erikoistuneet asentajat ovat aktiivisesti kehittäneet kunnonvalvonta- ja voitelureittejä omien kokemuksiansa pohjalta yhdessä ennakkohuoltosuunnittelijoiden kanssa, ja reitit nähdäänkin tasapainoisina ja oikein kohdistettuina.

Kaikki kunnonvalvontareitit yhtä lukuun ottamatta suoritetaan 30 päivän välein. Poikkeus on hitaasti pyörivien laitteiden kunnonvalvontareitti, joka suoritetaan 45 päivän välein. Reittien pisteet kattavat kaikki tärkeimmät toimintopaikat ja laitteet. Jäljelle jäävät kunnonvalvontakohteet on sijoitettu hierontämön kerroskohtaisiin reitteihin, jotka suoritetaan 3 viikon välein.

Kunnonvalvontamittausten suoritusväli on siis melko tiheä ei-kriittisille laitteille, jolloin reittien kohteita ja suoritustaajuutta muuttamalla voitaisiin vapauttaa kunnonvalvontaa suorittavan asentajan työpanosta kriittisiin kohteisiin. Irrottamalla kunnonvalvontareiteistä ei-kriittiset kohteet omille reiteilleen, joiden suoritusväli on 45–60 päivää, pystyttäisiin kunnonvalvontaa suorittavaa asentajaa käyttämään tehokkaammin seisokeissa tehtävissä tarkastuksissa. Kunnonvalvontaan ja reitteihin ollaan kuitenkin nykyisellään tyytyväisiä, joten reittien muuttaminen laitteille määritettyjen kriittisyysluokkien perusteella jää ainoastaan hahmotelman asteelle. Liitteessä C on esitetty eräs vaihtoehto kunnonvalvontareittien päivittämiseksi.

Toinen kunnonvalvontaa parantava, enemmän suunnittelua vaativa toimenpide on sitouttaa käyttöhenkilöstö tehokkaampaan kunnonvalvontaan. Käyttökunnossapitohenkilöstö seuraa nykyisellään laitteiden kuntoa lähinnä äänen ja lämpötilan perusteella. Koulutuksella ja kunnonvalvontalaitteiden hankinnalla käyttöhenkilöstölle voitaisiin määrittää suoritettavaksi esimerkiksi kriittisten pumppujen kunnonvalvontakerros. Tällöin mitausdataa saataisiin enemmän, mikä helpottaisi tulosten analysointia ja korjaavien kunnossapitotoimenpiteiden aikatauluttamista.

Voitelutöiden osalta ei nähdä selkeitä kehitystarpeita. Laitteiden öljynvaihtovälit noudattavat valmistajan ja laitetoimittajan suosituksia ja voitelija pystyy suorittamaan toiminnanohjausjärjestelmään kirjatut voitelutyöt. Koska osalle laitteista voidaan suorittaa öljynvaihto vain linjaseisokin yhteydessä, ei voitelija ehdi suuremmissa seisokeissa öljynvaihtojen lisäksi suorittamaan muita tarkastuksia. Tämän vuoksi olisikin hyödyllistä sitouttaa käyttökunnossapitohenkilöstöä myös öljynvaihtoihin, jolloin voitelijalle jäisi aikaa esimerkiksi öljyanalyysien tekemiseen.

### 7.3 Huolto-ohjelman luonti ja käyttöönotto sekä kunnossapidon jatkuva parantaminen

Luodut ja päivitettyt määräaikaistyöt kirjataan toiminnanohjausjärjestelmään, ja ne on tarkoitus vapauttaa käytettäväksi vuoden 2016 aikana. Useimmat uudet määräaikaistyöt liittyvät seisokeissa tehtäviin tarkastuksiin, joten käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön yhteistyö ja tiedonvaihto on tärkeää töiden suorittamiseksi suunnitellusti. Määräaikaistoille määritetään toiminnanohjausjärjestelmään riittävän suuri avaushorisontti, jotta työ ehditään riittävän ajoissa sopivaan seisokkiin. Avaushorisontin avulla siis määritetään, kuinka paljon aikaisemmin määräaikaistyö ilmestyy kunnossapitotyölistalle ennen kuin työ on ajateltu suoritettavaksi.

Huolto-ohjelman rakentaminen ja toimenpiteiden kohdistaminen perustui tässä diplomityössä vahvasti laitteiden kriittisyydelle. Käytetyt menetelmät laitteiden kriittisyyden määrittämiseksi kuvaavat ainoastaan nykytilannetta, joten on tärkeää pitää kriittisyysluokittelu ajan tasalla ja suhteuttaa mahdolliset muutokset kunnossapito-ohjelmaan. Huolto-ohjelmia ja määräaikaistöitä voidaan myös päivittää, kun niistä saadaan kokemuksia (esimerkiksi määräaikaistarkastusten sisältö, vaiheistus ja työn kesto). Mikäli järjestelmässä esiintyy yllättävä, seurauksiltaan vakava vikaantuminen, tulee määritettyä huolto-ohjelmaa arvioida vikaantumisen suhteen; oliko vika huomioitu kunnossapitotoimenpiteitä suunniteltaessa ja pitääkö huolto-ohjelmaa muuttaa?

Tutkimustyön aikana esille nousi myös alkuperäisen rajauksen ulkopuolelle jääviä aiheita, joilla kuitenkin voisi olla merkittävä vaikutus kunnossapidon kehittämiseen. Tarkoituksena ei kuitenkaan ollut määrittää kyseisiin aihealueisiin tarkempia toimenpide-ehdotuksia, vaan pohtia potentiaalisia hyötyjä joita voitaisiin saada toimintaa parantamalla, sekä toisaalta arvioida toimenpiteiden vaatimia resursseja. Esiin nousivat erityisesti kunnossapidon ja käytettävyyden mittarit ja tunnusluvut, joiden käyttö tutkimustyössä oli olennaisessa osassa. Toisaalta myös vikaantumiseen liittyvien tietojen ja kunnossapito-toimenpiteiden dokumentoinnissa nähtiin kehittämisen varaa.

Tällä hetkellä hiertämön alueen laitteiden käytettävyyttä ei tarkkailla, eikä prosessinohjausjärjestelmän avulla mitata laitteiden häiriöaikaa. Tämä vaikeuttaa koko järjestelmän käytettävyyden määrittämistä ja sen perusteella tehtävää käyttövarmuussuunnittelua. Lisäksi laitteiden luotettavasta käynnistä ja hyvästä suorituskyvystä saatujen hyötyjen seuraaminen on hankalampaa. Konkreettisenä esimerkkinä voidaan mainita energiatehokas 5-jauhinlinja, jonka käytöllä saavutetaan säästöjä hierteen valmistuskustannuksissa. 5-linjan todellista vaikutusta järjestelmän kokonaistehokkuuteen on kuitenkin vaikea arvioida, sillä linjan käyttöaikaa ja käytettävyyttä ei seurata. Laitteiden käytettävyyttä voitaisiin seurata mittaamalla prosessinohjausjärjestelmän avulla laitteen käyntiaikaa. Käytän-



nössä tämä vaatisi ohjelmallisyyksen prosessinohjausjärjestelmään sekä käyttöhenkilöstön sitouttamista jonkinasteiseen häiriöraportointiin, jotta mitatulle epäkäytettävyydelle voitaisiin määrittää syy.

Kuten aikaisemmin on todettu, kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään on mahdollista tallentaa tietoa hyvin kattavasti laitteiden vikaantumisista sekä kunnossapidon suorittamista tehtävistä. Tällä hetkellä tietojen kirjaamisessa on kuitenkin paljon käyttäjäkohtaisia eroja, eikä tarkempien tietojen kirjaamisesta nähdä saatavan erityistä hyötyä. Diplomityön yhteydessä suoritettu kunnossapitotyötilausten tarkastelu ja korjausaikojen arviointi osoitti, että työtilauksiin kirjatut tiedot tehdyistä kunnossapitotoimenpiteistä helpottavat huomattavasti historiatietojen keräämistä ja käsittelyä. Toiminnanohjausjärjestelmässä ei kuitenkaan nykyisellään ole sopivia kenttiä esimerkiksi korjausajan tai vikaantumisen syyn kirjaamiselle. Jos tehdystä kunnossapitotyöstä halutaan kirjata tietoa työtilaukseen, on se kirjoitettava vapaamuotoisena tekstinä omaan kenttäänsä.

Toiminnanohjausjärjestelmän avulla voitaisiin määrittellä jo nykyisellään, mihin kunnossapitolajiin työtilaus kuuluu. Kunnossapidon arvioinnin ja kehittämisen kannalta olisi hyödyllistä, jos kunnossapidon työtilauksia voitaisiin tarkastella korjaavan, ennakoivan ja kunnonvalvontaan perustuvan kunnossapidon suhteen. Tällä hetkellä työtilauksia ei luokitella kunnossapitolajin mukaan. Tällä hetkellä kehitteillä on kuitenkin toimintamalli, jonka tarkoituksena on vakiinnuttaa työtilausten luokittelu kunnossapitolajin mukaan. Lisäksi viime vuosina käyttöön otetut kunnossapidon suunnitelmallisuutta seuraavat mittarit alkavat tuottaa hyödyllistä tietoa. Tulevaisuudessa kunnossapitolajien välistä suhdetta ja kunnossapidon suunnitelmallisuutta voidaankin toivon mukaan käyttää tehokkaana apuna kunnossapidon suunnittelussa.

## 8. YHTEENVETO

Vanheneva laitekanta ja paineet kunnossapitobudjetin leikkaamiselle ovat luoneet haasteita hiertämön kunnossapidolle. Hiertämön käyttövarmuuden on pysyttävä vähintäänkin nykyisellä tasolla kunnossapitoresursseista riippumatta, sillä hierteen hyvä laatu ja luotettava saatavuus ovat merkittäviä tekijöitä paperikoneiden kannattavuudelle. Kunnossapitoresurssien rajallisuuden vuoksi kunnossapidon onkin oltava tehokasta ja kohdistettava tuottavasti. Tarkkailemalla ja hallitsemalla seurauksiltaan vakavimpia vikaantumisia voidaan vikaantumista ehkäistä ja suunnitella korjaavat kunnossapitotoimenpiteet ajoissa, jolloin minimoidaan epäkäytettävyys- ja korjauskustannukset.

RCM- ja TPM-menetelmien mukaisesti kunnossapito pitää kohdistaa tuotannon ja kunnossapidon kannalta tärkeimpiin kohteisiin. Tämän vuoksi hiertämön alueen laitteet pyrittiin luokittelemaan niiden vikaantumisherkkyuden, korjauskustannusten ja epäkäytettävyystekijöiden (tuotannon menetys ja laadun heikkeneminen) perusteella. Tärkeimpien laitteiden tunnistamiseen käytettiin käyttövarmuusmallia, toiminnanohjausjärjestelmästä saatavia kunnossapitotietoja (kunnossapitotyötilaukset ja –kustannukset) sekä kriittisyysluokittelutyökalua.

Tarkasteltavan alueen toimintojen ja laitteiden käyttövarmuusmalli luotiin luotettavuuslohkokaavio- ja vikapuomallien avulla. Rakennettua mallia arvioitiin kvalitatiivisesti katkosjoukot määrittämällä, jolloin tunnistettiin koko järjestelmän käytettävyyden kannalta tärkeimmät kohteet. Järjestelmän suuren koon ja käyttövarmuusdatan niukkuuden vuoksi käyttövarmuusmallin kvantitatiivinen analyysi ollut mahdollista, mikä rajoitti mallista saatavaa hyötyä. Luotu käyttövarmuusmalli kuvastaa lisäksi ainoastaan tilannetta, jolloin hiertämöllä valmistetaan hierrettä kolmelle paperikonelinjalle, vaikka paperikonelinjakohtaisia seisokkeja esiintyy. Mallin avulla ei myöskään voitu ottaa huomioon paperikoneilla ajettavien paperilajien vaihtelua, joiden vuoksi hierteenvalmistusprosessia joudutaan muuttamaan. Tarkemman käyttövarmuusmallin rakentaminen ja laajempi analyysi olisi myös vaatinut työkaluksi kyseiseen tarkasteluun sopivan ohjelmiston.

Kunnossapitokustannukset ja –työtilaukset saatiin toimintopaikoittain ja –laiteryhmittäin toiminnanohjausjärjestelmästä. Huomioon on kuitenkin otettava tiedon epätarkkuus, sillä työtilaus saattaa olla kohdistettu väärälle toimintopaikalle. Kustannuksia ja työtilausten määrää tarkastelemalla voitiin kuitenkin helposti löytää järjestelmän kunnossapidollisesti haasteellisimmat kohteet. PSK-standardiin pohjautuvan UPM:n kriittisyysluokittelutyökalun avulla tarkasteltavan alueen toimintopaikat jaettiin kriittisyysluokkiin, jotka kuvaavat kohteiden tärkeyttä tuotannon, laadun, korjauskustannusten ja turvallisuus- sekä ympäristöriskien kannalta. Kriittisyysluokittelun avulla toimintopaikkojen joukosta saatiin

erotettua selvästi kriteerien kannalta tärkeimmät kohteet, ja luokittelun tulokset kuvastivat melko hyvin työryhmän käsitystä. Kattava tiedonkeruu ja käyttö- sekä kunnossapitohenkilöstön osallistuminen kriittisyysluokitteluun on kuitenkin edellytys käyttökelpoisille tuloksille. Laitteiden jakautuminen kriittisyysluokkiin nykyisessä ja diplomityössä käytetyssä kriittisyysluokittelussa on esitetty sivulla 85.

Tärkeiksi tunnistettujen kohteiden kunnossapitoa ja vikaantumista tarkasteltiin tarkemmin vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin avulla. Vikamuotojen keskinäisen vertailun työkaluna pyrittiin käyttämään työkaluna vikapuuanalyysiä ja tärkeysmittoja. Toimintopaikkojen toiminnoista ja laitteista rakennettujen vikapuiden luotettavuustekninen rakenne sekä käyttövarmuustiedon rajallisuus ja epätarkkuus heikensi tärkeysmitoista saatavaa hyötyä. Ensisijainen keino vikamuotojen kriittisyyden arvioimiseksi olikin kriittisyysluokittelun kaltainen monitavoiteanalyysi. Vikamuodot luokiteltiin ja pisteytettiin siis samalla tavalla kuin toimintopaikat kriittisyysanalyysissä, jättäen varsinaisen luokkajaon pois.

Hiertämön nykyistä kunnossapito-ohjelmaa arvioitiin diplomityössä tunnistettujen tärkeimpien laitteiden ja vikamuotojen valossa. RCM-menetelmän mukaisesti vikamuotojen havaitsemisessa korostettiin kunnonvalvontaa ja käyttöhenkilöstön havaintoja. Mikäli kunnonvalvonta ei sovellu merkittävän vikamuodon riittävän luotettavaan havaitsemiseen, on kohteelle määritettävä tarkastus. Tarkastuksen tulee kuitenkin olla tehokas, eivätkä sen aiheuttamat kustannukset saa ylittää yllättävästä vikaantumisesta aiheutuvia kustannuksia.

Laitteille määritettyjä nykyisiä huolto-ohjelmia päivitettiin, sekä järjestelmään luotiin uusia määräaikaistöitä, jotka koostuvat pääasiassa seisokeissa tehtävistä tarkastuksista kriittisimpien vikamuotojen havaitsemiseksi. Aikaan perustuvat huoltotyöt ja osien vaihdot poistettiin järjestelmästä, sillä niitä ei ole aktiivisesti noudatettu eikä niitä nähdä kannattaviksi. Tärkeimpien laitteiden kunnossapito-ohjelman muutokset käsittävät:

- Päivitettäviä määräaikaistarkastuksia: 6 kpl
- Uusia määräaikaistarkastuksia: 17 kpl
- Poistettavia aikaan perustuvia vaihtoja tai huoltoja: 22 kpl
- Uusia käyttökunnossapidon tarkastus- ja puhdistustöitä: 6 kpl
- Uusia kunnossapidon tarkastus- ja puhdistuskierroksia: 4 kpl

Alustavan arvion mukaan uusien ja päivitettyjen määräaikaistöiden suorittamiseen kuluu vuositasona yhtä paljon työtunteja kuin vanhan kunnossapito-ohjelman sisältämiin määräaikaistarkastuksiin ja -vaihtoihin. Päivitetyt ja uudet määräaikaistarkastukset ovat kuitenkin sisällöltään tarkemmin määriteltyjä ja siten myös tehokkaampia tärkeimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi. Kun uusista määräaikaistöistä saadaan käytännön kokemuksia,

voidaan niiden sisältöä ja suoritustaaajuutta optimoida. Määräaikaistarkastusten tavoitteena on pienentää yllättävistä vikaantumisista aiheutuvan korjaavan kunnossapidon määrää, jolloin kunnossapidon kokonaistyömäärä ja kustannukset siis pienenevät.

Automaatiolaitteiden vikaantumista, toiminnan tasoa ja kunnossapitoa ei pystytty tarkastelemaan tutkimusresurssien puitteissa yksityiskohtaisesti. Jotta automaatiopositioiden kunnossapito-ohjelmaa voitaisiin arvioida ja resurssien kohdistamista kehittää, tulisi automaatiolaitteille suorittaa samankaltainen kriittisyysanalyysi kuin tässä työssä mekaanisille toimintopaikoille suoritettu tarkastelu. Automaatiopositioiden määräaikaistöiden suoritusvälien kestoa on pyritty optimoimaan tarkastelemalla laitteiden toimintaa aika ajoin, ja kriittisyysluokittelun käyttöä voidaankin ehdottaa käytettäväksi työkaluna suoritusvälien määrittämisessä.

Tärkeiden laitteiden vikaantumisherkkyyttä pyrittiin pienentämään käyttöolosuhteita parantamalla TPM-menetelmän mukaisesti. Vastuuta laitteiden kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta haluttiin ohjata käyttökunnossapidolle. Tarkasteltavan alueen tärkeimmille laitteille määritettiin kierrosluontoisia puhdistus- ja tarkastustöitä käyttökunnossapitohenkilöstön suoritettavaksi. Käyttökunnossapitoa ei kuitenkaan haluttu kuormittaa liikaa, sillä silloin kierrostyöt saattavat jäädä helposti tekemättä, sillä käyttökunnossapidon resurssit ovat rajalliset.

Kunnonvalvonta- ja voitelureitteihin ei määritetty muutoksia, vaikka etenkin kunnonvalvontaa ei kohdisteta nykyisellään laitteiden kriittisyyden perusteella. Kunnonvalvontareittien päivityksestä luotiin kuitenkin ehdotus, jonka avulla kunnonvalvontaa suorittavan asentajan työmäärää voidaan keventää, heikentämättä kuitenkaan tärkeimpien laitteiden kunnonvalvontaa. Tällöin kunnonvalvontaa suorittavan asentajan työpanos voidaan ohjata esimerkiksi seisokeissa tehtäviin tarkastuksiin tai tehostetussa seurannassa olevien laitteiden kunnonseurantaan.

Diplomityössä tarkasteltu alue on laaja, joten esimerkiksi laitteiden vikamuotojen tarkastelua ei voitu viedä kovin yksityiskohtaiselle tasolle. Kunnossapitotiedon rajallisuus ja käytettävyyssinformaation puute vaikeuttivat työn eri vaiheiden toteutusta ja luotettavien tulosten saantia. Toisaalta tämä ongelma korosti kyseisten tietojen roolia kunnossapidon ja tuotannon suunnittelussa ja kehittämisessä, niin kunnossapito- kuin käyttöhenkilöstön keskuudessa. Hiertämön organisaatiossa onkin vahva tahtotila kehittää kunnossapitoa, ja diplomityö lisäsi ymmärrystä kunnossapidon roolista koko toiminnan kannattavuuteen. RCM-menetelmä tarjosi selkeän toimintamallin kunnossapidon kehittämiselle, ja menetelmä voidaankin nähdä hyödyllisenä työkaluna myös muilla tuotantolinjoilla.

Diplomityössä kehitettyä kunnossapito-ohjelmaa ei ole vielä otettu käyttöön, joten sen vaikutuksia järjestelmän käytettävyyteen, suorituskykyyn ja kunnossapidon kustannuksiin ei voida arvioida. Tutkimuksen eri vaiheissa mukana ollut työryhmä uskoo kuitenkin,

että kohdistamalla kunnonvalvonta ja ehkäisevä kunnossapito tärkeimpien kohteiden merkittävimpien vikamuotojen ehkäisemiseksi ja havaitsemiseksi luo pitkällä aikavälillä kustannussäästöjä sekä parantaa hierteenvalmistusprosessin toimintaa. Käyttöön otettavan kunnossapito-ohjelman jatkuvalla arvioinnilla ja päivittämisellä varmistetaan myös tulevaisuudessa kunnossapidon tehokas toiminta.

## LÄHTEET

Aalto, H., 1997. Kunnossapitotekniikan perusteet. Rajamäki: KP-Tieto Oy, 96 s.

Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S., 2008. Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25(7), ss. 709-756

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, ss. 643-657

Al-Najjar, B., 2007. The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe the quantity the impact of vibration-based maintenance on company's business. *Int. J. Production Economics*, Vol. 107, ss. 260-273

Backlund, F., Hannu, J., 2002. Can we make maintenance decisions on risk analysis results? *Journal of Quality Maintenance Engineering*, Vol. 8(1), ss. 77-91

Bevilacqua, M., Braglia, M., 2000. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 70, ss. 71-83

Bourouni, K., 2013. Availability assessment of a reverse osmosis plant: Comparison between Reliability Block Diagram and Fault Tree Analysis. *Desalination*, Vol. 313, ss. 66-76

Brauer, D., 1987. Reliability-Centered Maintenance. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 36(1), ss. 17-24

Chan, F., Prakash, A., 2011. Maintenance policy selection in manufacturing firms using fuzzy MCDC approach. *International Journal of Production Research*, Vol. 50(23), ss. 7044-7056

Cheok, M., Parry, G., Sherry, R., 1998. Use of importance measures in risk-informed regulatory applications. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 60(3), ss. 213-226

Heikkilä, A., 2008. Teollisuusyrityksen kunnossapidon suorituskyvyn mittaus ja arviointi kunnossapitoa kehitettäessä. *Diplomityö*, 98 s.

Järviö, J., 2007. Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy, 283 s.

Kanninen, O., 2013. Kunnossapito-ohjelman rakentaminen RCM-menetelmän avulla. *Diplomityö*, 90 s.

- Kilpiö, A., 2010. Teollisuuslaitoksen käyttövarmuuden analysointikonsepti. Diplomityö, 47 s.
- Komonen, K., 1998. Teollisuuden kunnossapidon rakenne ja tehokkuus. Espoo: Libella Painopalvelu Oy, 189 s.
- Komonen, K., 2002. A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking. *Int. J. Production Economics*, Vol. 79, ss. 15-31
- Kortelainen, H., 1999. Paperi- ja selluteollisuuden käyttövarmuuden mittarit. Raportti BIS B005, 22 s.
- Kutucuoglu, K. Y., Hamali, J., Irani, Z., Sharp, J. M., 2001. A framework for managing maintenance using performance measurement system. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, ss. 173-195
- Li, L., Ambani, S., Ni, J., 2009. Plant-level maintenance decision support system for throughput improvement. *International Journal of Production Research*, Vol. 47(24), ss. 7047-7061
- Lyytikäinen, A., 1987. Käyttövarmuuskäsikirja. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita (678), 147 s.
- Löfsten, H., 2000. Measuring maintenance performance – in search for a maintenance productivity index. *Int. J. Production Economics*, Vol. 63, ss. 47-58
- McKone, K., Weiss, E., 1998. TMP: Planned and autonomous maintenance: Bridging the gap between practice and research. *Production and Operations Management*, Vol. 7(4), ss. 335-351
- Mechefske, C., Wang, Z., 2003. Using fuzzy linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 17(2), ss. 305-316
- Mobley, R. K., 2002. *Plant Engineering: Introduction to Predictive Maintenance* (2nd Edition). Butterworth-Heinemann, 451 s.
- Papazoglou, I., 1998. Functional block diagrams and automated constructions of event trees. *Reliability Engineering and System Safety* 61, ss. 185-214
- Pariazar, M., Shahrabi, J., Zaeri, M. S., Parhizi, S., 2008. A combined approach for maintenance strategy selection. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 8(23), ss. 4321-4329

- Parikka, R., Säynätjoki, M., 1998. Komponenttien kriittisyyden määrittäminen. Käyttövarmuuden ja elinjaksotuoton hallinta – VTT SYMPOSIUM 188, ss. 107-121
- Pinjala, S., Pintelon, L., Vereecke, A., 2006. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. *Int. J. Production Economics*, Vol. 104, ss. 214-229
- Prasanna, N. K. K., Akula, S., Desai, T. N., 2011. Integration of maintenance strategies for improved asset reliability and availability. 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, ss. 1514-1518
- PSK-6201, 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK-standardisointi, 30 s.
- PSK-6800, 2008. Laitteiden kriittisyyden luokittelu teollisuudessa. PSK-standardisointi, 13 s.
- PSK-7501, 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK-standardisointi, 32 s.
- Pursio, S., 1999. Tuotantolinjan käyttövarmuusmalli. Diplomityö, 85 s.
- Rausand, M., 1998. Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 60, ss. 121-132
- Rosqvist, T., Laakso, K., Reunanen, M., 2009. Value-driven maintenance planning for a production plant. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 94, ss. 97-110
- Ruonala, J., 2007. Pakkauslinjan kokonaistehokkuuden käyttövarmuuskeskeinen kehittäminen. Diplomityö, 115 s.
- Salonen, A., Bengtsson, M., 2011. The potential in strategic maintenance development. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 17(4), ss. 337-350
- SFS 5438, 1988. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA). Suomen standardisointiliitto, 12 s.
- SFS-EN 13306, 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen standardisointiliitto, 54 s.
- SFS-EN 15341, 2007. Kunnossapito. Kunnossapidon avaintunnusluvut. Suomen standardisointiliitto, 44 s.
- SFS-EN 31010, 2013. Riskien hallinta. Riskien arviointimenetelmät. Suomen standardisointiliitto, 166 s.



SFS-IEC 50-191, 1996. Sähköteknillinen sanasto. Luotettavuus ja palvelun laatu. Suomen standardisoimisliitto, 143 s.

SFS-IEC 60300-3-9, 2000. Luotettavuusjohtaminen. Osa 3: Käyttöopas. Luku 9: Teknisten järjestelmien riskianalyysi. Suomen standardisoimisliitto, 47 s.

SFS-ISO 31000, 2011. Riskienhallinta. Periaatteet ja ohjeet. Suomen standardisoimisliitto, 53 s.

SFS-OPAS 73, 2011. Riskienhallinta. Sanasto. Suomen standardisoimisliitto, 19 s.

Smith, A., Hinchcliffe, G., 2003. RCM – Gateway to World Class Maintenance. Butterworth-Heinemann, 362 s.

Suomen metsäteollisuuden kilpailukyky, 2002. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa (viitattu 25.10.2015): [https://www.tem.fi/files/32980/Indufor\\_Suomen\\_Metsateollisuuden\\_kilpailukykyNET.pdf](https://www.tem.fi/files/32980/Indufor_Suomen_Metsateollisuuden_kilpailukykyNET.pdf)

Swanson, L., 2001. Linking maintenance strategies to performance. *Int. J. Production Economics*, Vol. 70, ss. 237-244

Tegelberg, J., 2008. Osaprosessin luotettavuuden vaikutus paperikoneen kokonaistehokkuuteen. Diplomityö, 93 s.

Todinov, M. T., 2006. Reliability analysis based on the losses from failures. *Risk Analysis*, Vol. 26(2), ss. 311-335

Tommila, T., Toola, A., Viitamäki, P., 1990. Prosessin mallintaminen ohjausjärjestelmän suunnittelun lähtökohtana. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita (1099), 71 s.

Triantaphyllou, E., Kovalerchuk, B., Mann, G., Knapp, G. M., 1997. Determining the most important criteria in maintenance decision making. *Journal of Quality Maintenance Engineering*, Vol. 3(1), ss. 16-28.

UPM Jokilaakson esittelymateriaali, 2015. UPM Jokilaakso, sisäinen aineisto

Waeyenbergh, G., Pintelon, L., 2002. A framework for maintenance concept development. *Int. J. Production Economics* 77, ss. 299-313

Waeyenbergh, G., Pintelon, L., 2004. Maintenance concept development: A case study. *Int. J. Production Economics* 89, ss. 395-405

Waeyenbergh, G., Pintelon, L., 2009. CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development. *Int. J. Production Economics* 121, ss. 633-640

Wang, L., Chu, J., Wu, J., 2007. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *Int. J. Production Economics* 107, ss. 151-163

Willmott, P., McCarthy, D., 2001. *TPM – A Route to World Class Performance*. Butterworth-Heinemann, 248 s.

Virtanen, S., 2006. *Luentomoniste*. Tampereen Teknillinen Yliopisto

Virtanen, S., Hagmark, P.-E., Penttinen, J.-P., 2006. Modeling and analysis of causes and consequences of failures. *Reliability and Maintainability Symposium, RAMS '06*, ss. 506-511

## LIITE A: VIKA-, VAIKUTUS- JA KRIITTISYYSANALYYSILOMAKE

Lomake täytettynä kuvitellulla esimerkkitapauksella:

Laite	Tehtävä / toiminto	Toiminnallinen vikaantuminen	Vikaantunut komponentti / vikamuoto	Vian aiheuttaja, tarkempi kuvaus viasta	Vian vaikutus		Havaitsemistavat	Korjaustyön kuvaus (aika, työvoima ja kustannukset)
					Paikalliset vaikutukset	Seuraukset muuhun prosessiin		
Pumppu 1	Nesteen pumppaus	Ei tuotantoa	Juoksupyörä	Irtoaminen, kuluminen	Voi vaurioittaa pesää	Osaprosessi ei käytettävissä	Kunnonvalvonta, toiminnon heikentyminen	Pumpun huolto, 8 h, 2 asentajaa, 3000 €
			Laakerointi	Hajoaminen, huono linjaus	Akselin vaurioituminen	Osaprosessi ei käytettävissä	Kunnonvalvonta	Laakeroinnin vaihto, 4 h, 2 asentajaa, 1500 €
			Moottori	Ylikuumentuminen	Tulipalovaara, turvallisuusriski	Osaprosessi ei käytettävissä	Kunnonvalvonta	Moottorin vaihto, 4 h, 2 asentajaa, 1000 €
	Neste ei saa vuotaa	Vuoto	Putkivuoto	Tärinä	Turvallisuusriski	Ei seurauksia muuhun prosessiin	Visuaalinen havainto	Putken hitsaus, 4 h, 2 ulkop. asentajaa, 800 €

Lomakkeen loppuosa kriittisyyden määrittämiseksi, täytetty kuvitellulla esimerkkitapauksella:

	Tuotannon menetys	Laatu-kustannukset	Korjaus-kustannukset	Henkilö-, ympäristö- tai laitteistoriski	Vikaantumisväli	Pisteet
vikamuoto 1	D	D	C	D	D	8
vikamuoto 2	D	D	D	D	B	18
vikamuoto 3	D	D	D	E	C	10
vikamuoto 4	E	E	D	C	D	6

Kriteerien painotukseen on käytetty samoja pistemääriä kuin kriittisyysluokittelussa. Lopullinen vikamuodon kriittisyyttä kuvaava pistemäärä syntyy, kun vikaantumisväliä kuvaavalla pistemäärällä kerrotaan muiden kriteerien pisteiden summa.

## LIITE B: KRIITTISYYSLUOKITTELUKKA

	Tuotannon menetys	Laatukustannukset	Korjauskustannukset	Vikaantumisväli	Turvallisuusriski	Ympäristöriski
<b>A</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi, yli 24h	Laatukustannukset vastaavat pitkäaikaisia tuotannonmenetyksiä, yli 8h	Erittäin korkeat, yli 50 000e	Lyhyt, 0 – 0,5 vuotta	Vakava, voi aiheuttaa kuolonuhrin/-uhreja ja vakavan vaaratilanteen tehtaan ympäristössä	Vakava, voi aiheuttaa ympäristön ja lähialueiden saastumisen, palautuminen voi kestää vuosia
<b>B</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi, 10 – 24h	Laatukustannukset vastaavat merkittäviä tuotannonmenetyksiä, 3 – 8h	Korkeat, 25 000 – 50 000e	Lyhyt, 0,5 – 2 vuotta	Merkittävä, voi aiheuttaa kuolonuhrin/-uhreja	Merkittävä, voi aiheuttaa ympäristön sekä lähialueiden saastumista
<b>C</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi, 3 – 10h	Laatukustannukset vastaavat lyhytaikaisia tuotannonmenetyksiä, 1 – 3h	Keskinkertaiset, 5 000 – 25 000e	Pitkähkö, 2 – 5 vuotta	Kohtalainen, esim. vakava loukkaantuminen, josta jää pysyvä vamma	Kohtalainen, voi aiheuttaa ympäristön saastumista tehdassalueella, esim. suuri öljyvoto
<b>D</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi, alle 3h	Laatukustannukset vastaavat hetkellisiä tuotannonmenetyksiä, alle 1h	Vähäiset, 0 – 5 000e	Pitkä, yli 5 vuotta	Vähäinen, esim. lievä loukkaantuminen tai sairastuminen	Vähäinen, voi aiheuttaa ympäristön likaantumisen tehdassalueella, esim. pieni öljyvoto
<b>E</b>	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia	Ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin		Ei turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä

# LIITE C: KUNNONVALVONTAREITTIIEN PÄIVITYS

## Reitti 1: Hitaasti pyörivät laitteet

Suoritusväli: 45 päivää

Haketornin 1 purkain  
Haketornin 2 purkain  
Haketornin 3 purkain  
Sihtirej. tulppasyötin 1  
Sihtirej. tulppasyötin 2  
Sihtirej. purkaimen tulpparuuvi  
Purkainsykl. 5 tulpparuuvi  
TMP 2 Kiekkosaostin 1  
TMP 2 Kiekkosaostin 1 ruuvi  
TMP 2 Kiekkosaostin 2  
TMP 2 Kiekkosaostin 2 ruuvi  
TMP 3 Kiekkosaostin 1  
TMP 3 Kiekkosaostin 1 ruuvi

## Reitti 3: TMP 3:n jauhimet

Suoritusväli: 30 päivää

Sihtirejektijauhin 1  
Sihtirejektijauhin 2  
Sihtirejektijauhin 3  
Jauhin 11  
Jauhin 12  
Jauhin 21  
Jauhin 22  
Jauhin 31  
Jauhin 32  
Jauhin 42  
Jauhin 51  
Jauhin 52

## Reitti 5: TMP 3:n kriittiset pumput

Suoritusväli: 30 päivää

Hakepumppu 1  
Hakepumppu 2  
5-linjan laimennusvesipumppu  
Jauhinten laimennusvesipumppu  
1A-painesihtien syöttöpumppu  
2A-painesihtien syöttöpumppu  
3A-painesihtien syöttöpumppu  
4A-painesihtien syöttöpumppu  
LTO-piipun pohjapumppu  
Kaarisihtien syöttösäiliön 1 pumppu  
Kaarisihtien syöttösäiliön 2 pumppu  
Rejektin latenssisäiliön pumppu  
Rejektin ruuvipur. 1 syöttöpumppu  
Rejektin ruuvipur. 2 syöttöpumppu  
Rejektin ruuvipur. 3 syöttöpumppu  
Suihkuvesipumppu  
Kiekkosaostimen sakeamassapumppu  
Rejektin kaarisiht. Laimennusvesipumppu

## Reitti 2: Hakekuljettimet

Suoritusväli: 30 päivää

Elevaattori 1  
Elevaattori 2  
Kaikki hihnakuljettimet  
Siilojen syöttöruuvit (katolla)

## Reitti 4: TMP 2:n jauhimet

Suoritusväli: 30 päivää

Rejektijauhin 1  
Rejektijauhin 2  
Rejektijauhin 3  
Jauhin 61  
Jauhin 62  
Jauhin 71  
Jauhin 72  
Jauhin 81  
Jauhin 82  
Jauhin 92  
LC-jauhin

## Reitti 6: TMP 2:n kriittiset pumput

Suoritusväli: 30 päivää

Hakepumppu 1  
Hakepumppu 2  
Latenssitornin 1 pumppu  
Latenssitornin 2 pumppu  
Yösahtitornin pumppu  
1-1A-painesihtien syöttöpumppu  
1-2A-painesihtien syöttöpumppu  
2-1A-painesihtien syöttöpumppu  
2-2A-painesihtien syöttöpumppu  
Jauhinten laimennusvesipumppu 1  
Jauhinten laimennusvesipumppu 2  
Rejektin keräilyssäiliön 1 pumppu  
Rejektin keräilyssäiliön 2 pumppu  
Suihkuvesipumppu 1  
Suihkuvesipumppu 2  
Kiertovesipumppu 1  
Kiertovesipumppu 2  
Rejektissäiliön 1 pumppu

Hierretorni 1 pumppu  
Pulperi 5 pumppu  
Latenssitornin pumppu  
Rejektipulperin 1 pumppu  
Rejektipulperin 2 pumppu  
Rejektipulperin 3 pumppu  
Kiertovesipumppu  
Kiekkosaostimen suihkuvesipumppu  
Pumppaussäiliö 1 pumppu  
Saostimien imupumppu  
Jäähdytysvesipumppu 1  
Jäähdytysvesipumppu 2  
Jäähdytysveden palautuspumppu

**Reitti 7: TMP 3:n muut pumput**

Suoritusväli: 45 päivää

Hakepesuri 1 pumppu  
Hakepesuri 2 pumppu  
Lauhteen jäähdytyspumppu  
Hakkeen pesun rejektipumppu  
PK6-rejektipumppu  
PK6-rejektin pumppaussäiliön pumppu  
Lipeäpumput  
Kelaattipumput  
CSF-mittareiden kiertopumput  
  
Kipsin dispergointiainepumput  
  
Pulperin 1 pumppu  
Pulperin 2 pumppu  
Pulperin 3 pumppu  
Pulperin 4 pumppu  
Pihkan dispergointiainepumput  
KP-pesu pesuaineen annostelupumppu  
Borino-pumput  
  
Borol-pumput  
Ditioniittiyksikköjen pumput  
Tiivisteveden paineenkorotuspumppu  
Kuumien suodosten painesihtien pumppu  
PP-rejektin suodospumppu  
Kiekkosaostin 2 apumassapumppu  
Hierteen pumppaustornin pumppu  
Tasaussäiliön pumppu  
Hierretorni 1 PK7 pumppu  
Hierretorni 2 PK7 pumppu  
LTO-syöttövesipumppu 1  
LTO-syöttövesipumppu 2  
LTO-pesurien kierrätyspumppu  
Höyrystimen kierrätyspumppu  
LTO-pesupumppu  
LTO-pesulipeäpumppu

Rejektisäiliön 2 pumppu  
Hierretornin 1 pumppu  
Hierretornin 2 pumppu  
Hierresäiliön 1 pumppu  
Hierresäiliön 2 pumppu  
Rejektipulperin 1 pumppu  
Rejektipulperin 2 pumppu  
Rejektipulperin 3 pumppu  
Höyrystimen kierrätyspumppu  
LTO-pesurin kierrätyspumppu  
LTO syöttövesipumppu  
Tiivistevesipumppu 1  
Tiivistevesipumppu 2  
Jäähdytysvesipumppu 1  
Jäähdytysvesipumppu 2  
Rejektin p.säiliön 1 pumppu  
1-3A-painesihtien syöttöpumppu  
2-3A-painesihtien syöttöpumppu  
LC-jauhimen syöttöpumppu

**Reitti 8: TMP 2:n muut pumput**

Suoritusväli: 45 päivää

Hakepesuri 1 pumppu  
Hakepesuri 2 pumppu  
Hakkeen pesun rejektipumppu  
Pulperi 6 pumppu  
Pulperi 7 pumppu  
Pulperi 8 pumppu  
Pulperi 9 pumppu  
LC-pulperin pumppu  
Kiertoved. varastotornin pumppu  
Pulppereiden patolaatikoiden pumppu  
Rejektipulperin patolaatikopumppu  
LTO-pesupumppu  
Hönläpesurin pumppu  
Ditioniitin paineenkorotuspumppu  
Kiertoveden LTO-pumppu 1  
Kiertoveden LTO-pumppu 2  
Suihkulauhdutin 2 pumppu 1  
Kiekkosaostimen huuvan pesupumppu  
Korkeapainepesupumppu

Lauhesäiliön 1 pumppu  
Lauhesäiliön 2 pumppu  
Ditioniitin annostelupumput  
Jäähdytysyksikön kiertovesipumppu 1  
Jäähdytysyksikön kiertovesipumppu 2

**Reitti 9: Ruuvikuljettimet ja lokerosyöttimet**

Suoritusväli: 45 päivää

TMP3 hakesiilon ruuvit  
TMP3 vedenerotusruuvi 1  
TMP3 vedenerotusruuvi 2  
TMP3 Hakkeen siirtoruuvit 1-3  
TMP3 Hakkeen jakoruuvit 1-3  
TMP3 Hakkeen palautusruuvi  
TMP2 Hakesiilon tuuvit  
TMP2 Vedenerotusruuvi  
TMP2 Hakkeen siirtoruuvi  
TMP2 Hakkeen jakoruuvit 1-2  
TMP2 Hakkeen palautusruuvi  
Esilämmittimen lokerosyötin 6  
Esilämmittimen lokerosyötin 7  
Esilämmittimen lokerosyötin 8  
Esilämmittimen lokerosyötin 1  
Esilämmittimen lokerosyötin 2  
Esilämmittimen lokerosyötin 3  
Esilämmittimen lokerosyötin 5

**Reitti 11: Painesihdit ja saostimet**

Suoritusväli: 30 päivää

TMP2 painesihdit  
TMP3 painesihdit  
TMP2 suihkuveden painesihti  
TMP3 suihkuveden painesihti  
TMP3 kuumien suodosten painesihti

**Reitti 13: Ei-kriittiset**

Suoritusväli: 60 päivää

TMP3 hakepesuri 1  
TMP3 hakepesuri 2  
TMP3 hakepesun saostuskuljetin  
TMP2 hakepesuri 1  
TMP2 hakepesuri 2  
TMP3 rejektin kaarisihdit 1-4  
Hierteen pumppaustorni PK7  
TMP2 hakkeen pesuvesisäiliö  
TMP2 hakkeen pesun rejektisäiliö

**Reitti 10: Purkaussyklonit, tulpparuuvit, pulpperit**

Suoritusväli: 45 päivää

TMP2 purkaussyklonit 6-9  
TMP2 tulpparuuvit 6-9  
TMP3 purkaussyklonit 1-3  
TMP3 tulpparuuvit 1-3  
Pulpperit 1-3  
Pulpperi 5  
Pulpperit 6-9  
TMP2 rejektipulpperit 1-3  
TMP3 rejektipulpperit 1-3

**Reitti 12: Saostimet ja tärkeimmät säiliöt**

Suoritusväli: 45 päivää

TMP2 ruuvisaostimet  
TMP3 ruuvipuristimet  
TMP2 esisaostimet  
TMP2 latenssitorni 1  
TMP2 latenssitorni 2  
Yösähkötorni  
TMP3 latenssitorni  
TMP3 hierretorni 1  
TMP3 hierretorni 2  
TMP2 hierretorni 1  
TMP2 hierresäiliö 1  
TMP2 hierresäiliö 2

TMP2 kiertovesisäiliö 1  
TMP2 kiertovesisäiliö 2  
TMP2 rej. keräilisäiliö 1  
TMP2 rej. keräilisäiliö 2  
TMP2 rejektisäiliö 1  
TMP2 rejektisäiliö 2  
TMP2 LTO-syöttövesisäiliö  
TMP2 Lauhteenerotussäiliö  
TMP2 Tiivistevesisäiliö  
TMP2 rejektin pumppaussäiliö 1  
TMP2 kiertoveden varastotorni  
TMP2 LC-syöttösäiliö  
TMP3 hakkeen pesuvesisäiliö  
TMP3 hakkeen pesun rejektisäiliö  
TMP3 saostetun rejektin säiliö 1  
TMP3 saostetun rejektin säiliö 2  
TMP3 hierontämön jäähdytysvesisäiliö  
TMP3 kaarisihkien syöttösäiliö 1  
TMP3 kaarisihkien syöttösäiliö 2  
TMP3 rejektien latenssisäiliö  
TMP3 kiertovesisäiliö  
TMP3 tasaussäiliö  
TMP3 kiekkoastin 1 sakeamassasäiliö  
TMP3 hierteen pumppaussäiliö 2  
TMP3 ditioniittitorni  
TMP3 kuumien suodosten pumpp.säiliö