

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / kone- ja laitossuunnittelu

Aaro Kukkurainen

ENNAKKOHUOLTOSUUNNITELMAN KEHITTÄMINEN HÖYRYVOIMALAITOKSELLA

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka

KUKKURAINEN, AARO

Ennakkohuoltosuunnitelman kehittäminen höyryvoimalaitoksella

Insinööri

52 sivua + 2 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Jukka Spets (KyAMK)

Huoltopäällikkö Matias Hietanen (ABB Oy)

Toimeksiantaja

ABB Oy

Huhtikuu 2010

Avainsanat

ennakkohuoltosuunnitelma, kunnossapito, RCM

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ennakkohuoltosuunnitelmaa Myllykoski Paper Oy:n tehdasalueella sijaitsevalla Vamy Oy:n höyryvoimalaitoksella.

Ennakkohuoltosuunnitelmaa ja sen toteuttamiseen liittyvää kunnossapitojärjestelmää päivitettiin vastaamaan paremmin laitoksen ja henkilökunnan tarpeita, täydennettiin havaittuja puutteita sekä luotiin pohjaa tulevaisuuden kehityshankkeita varten käyttäen hyväksi ABB:n käyttämiä työkaluja.

Ennakkohuoltosuunnitelmaan tehtiin lukuisia lisäyksiä ja muutoksia sekä parannettiin järjestelmän käytettävyyttä. Virheellisiä ja vanhentuneita järjestelmän tietoja korjattiin. Työn tuloksina jäi voimalaitoksen käyttöön mm. kirjallisia ohjeita kuten kiinteän polttoaineen linjaston työkansio asiakirjapohjineen. Näin luotiin hyvä pohja jatkaa ennakkohuollon kehittämistä jatkuvan parantamisen periaatteella.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

KUKKURAINEN, AARO

Development of Preventive Maintenance Plan for a  
Steam Power Plant

Bachelor's Thesis

52 pages + 2 pages of appendices

Supervisors

Jukka Spets, Senior Lecturer (KyAMK)

Matias Hietanen, Maintenance Supervisor (ABB Oy)

Commissioned by

ABB Oy

April 2010

Keywords

preventive maintenance plan, maintenance, RCM

The purpose of this Bachelor's work was to improve the preventive maintenance plan at Vamy's steam power plant in Myllykoski Paper's paper mill's factory area.

The power plant's preventive maintenance plan and the content of its information system were updated to better serve the plant and its personnel. Known deficiencies were fixed and a sound foundation for future development projects was created using ABB's tools and procedures.

Numerous changes and additions were made to the preventive maintenance plan and its data system's usability. As a result, the power plant acquired instructions in writing and several changes to its maintenance schedules, work instructions and inspection routes.

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin ABB Servicen Myllykosken yksikölle, joka vastaa Vamy Oy:n voimalaitoksen kunnossapidosta. Haluan kiittää kaikkia työkomennukseni aikaisia työtovereita sekä työn ohjaajia.

3.4.2010 Kotka

Aaro Kukkurainen

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

MERKIT, LYHENTEET JA TERMIT

1 JOHDANTO .....	7
2 YHTEISTYÖN PUITTEET .....	7
2.1 Myllykoski Paper Oy .....	7
2.2 Vattenfall Oy .....	8
2.3 Vamy Oy .....	8
2.4 ABB Oy .....	8
2.5 ABB Full Service ® .....	9
2.6 Maximo 6® .....	9
3 KUNNOSSAPITO .....	10
3.1 Mitä on kunnossapito? .....	10
3.2 Kunnossapidon tärkeimmät mittarit .....	11
3.3 Kunnossapidon jaottelu .....	14
3.3.1 Korjaava kunnossapito .....	14
3.3.2 Ehkäisevä ja ennustava kunnossapito .....	14
3.3.3 Parantava kunnossapito .....	14
3.4 Vikaantuminen .....	15
3.4.1 Vikaantumisen syyt .....	15
3.4.2 Vikaantumismallit .....	17
3.4.3 Vikaantumisen P-F-käyrät .....	20
3.5 Kunnossapidon strategioita .....	22
3.5.1 TPM (total productive maintenance) .....	22
3.5.2 RCA (root cause analysis) .....	24
3.5.3 RCM (reliability centered maintenance) .....	27
4 KUNNOSSAPITO VAMY OY:N VOIMALAITOKSELLE .....	35
4.1 Lähtötilanne ja kunnossapidon taustaa .....	35
4.2 Kunnossapidon ja ennakkohuollon suurimmat haasteet .....	36
4.3 Kunnossapidon tietojärjestelmän läpikäynti .....	37
4.4 RCM-projekti .....	46
5 YHTEENVETO .....	49

LÄHTEET

LIITTEET

1. ABC-luokittelu höyryvoimalaitoksella flow-kaaviona
2. Laitemäärät ja prosentiosuudet höyryvoimalaitoksen laitteista, kriittisyysluokat 1-5

## MERKIT, LYHENTEET JA TERMIT

A = Availability, käytettävyys

Arttu® = Artekus Oy:n valmistama kunnossapito-ohjelmisto

CBM = Condition based monitoring, kuntoon perustuva ennakkohuolto

FMECA = Failure mode, effects, criticality analysis, vikatyypin- vaikutus- ja kriittisyysanalyysi

FTR = Fixed term replacement, määräaikainen vaihtotoimenpide

KNL = Käytettävyys, tuotantonopeus, laatu – OEE:n suomenkielinen vastine

KPA = Kiinteä polttoaine(linja)

Maximo® = IBM:n valmistama kunnossapito-ohjelmisto

MDT = Mean down time, keskimääräinen seisonta-aika

MTBF = Mean time between failure, keskimääräinen vikaväli

MTTFF = Mean time to first failure, keskimääräinen aika ensimmäiseen vikaan

MTTR = Mean time to repair, keskimääräinen toimintakuntoon palautusaika

OEE = Overall equipment efficiency, käytettävyyden, tuotantonopeuden ja laadun tulo

OTF = Operate to failure, käytetään laitetta aina vikaantumiseen asti

PM = Preventive maintenance, ehkäisevä kunnossapito

RCA = Root cause analysis, juurisyyanalyysi

RCM = Reliability centered maintenance, luotettavuuskeskeinen kunnossapito

TPM = Total productive maintenance, kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito

$\lambda$  = Failure rate, vikataajuus, vikojen lukumäärä aikajaksolla jaettuna aikajakson pituudella

## 1 JOHDANTO

Myllykoski Paper Oy:n Myllykosken paperitehtaan (Vamy Oy:n) voimalaitoksen kunnossapito ulkoistettiin 2007 muun paperitehtaan kunnossapidon myötä ABB Oy:lle. Kunnossapidosta vastaava yksikkö on ABB Servicen Myllykosken yksikkö.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää voimalaitoksen kunnossapitoa käytännön kokemusten, olemassa olevien ohjeiden, opinnäytetyön aikana loppuun saatetun kriittisyysluokittelun sekä laitetoimittajien suositusten ja huolto-ohjeiden pohjalta. Työssä otettiin erityisesti huomioon vuonna 2010 toteutettava voimalaitoksen RCM-pilottihanke.

## 2 YHTEISTYÖN PUITTEET

### 2.1 Myllykoski Paper Oy

Myllykoski Oy on perheomistuksessa oleva kansainvälinen paperiteollisuusyhtiö. Myllykoski Oy:n Myllykosken paperitehdas perustettiin 1892 nimellä Myllykoski Träsliperi Aktiebolag. Nimi muutettiin Myllykoski Oy:ksi 1971. Yrityksostojen kautta Myllykoskella sijaitsevan paperitehtaan nimeksi tuli Myllykoski Paper Oy ja emoyhtiön nimeksi Myllykoski Oy vuonna 1993. Emoyhtiö Myllykoski Oy käsittää seitsemän paperitehdasta ja sen vuosittainen tuotantokapasiteetti on yhteensä noin 3 miljoonaa tonnia paperia ja se työllistää noin 2500 henkeä.

Myllykoskella sijaitseva tehdas Myllykoski Paper Oy tuottaa päällystämättömiä, kiillotettuja SC-paperilaatuja ja päällystettyjä MWC-paperilaatuja, joita käytetään syväpaino- ja offsetpainotuotteissa, kuten aikakauslehdissä, luetteloissa, mainosliitteissä ja esitteissä.

Myllykoskella on käytössä 3 paperikonetta. Vuosittainen tuotantokapasiteetti on noin 330 000 tonnia päällystämätöntä painopaperia (SC) ja hieman yli 200 000 tonnia päällystettyä painopaperia (MWC). Tehdas työllistää noin 540 henkeä. [1]

## 2.2 Vattenfall Oy

Vattenfall on Euroopan viidenneksi suurin sähköntuottaja ja suurin lämmöntuottaja ja se työllistää noin 33000 henkeä. Suomessa työntekijöitä on noin 530. Vattenfall on perustettu Trollhättan kanava- ja vesilaitoksen uudelleenjärjestelyjen myötä vuonna 1909. Vattenfallista tuli osakeyhtiö 1992 ja sen omistaa kokonaisuudessaan Ruotsin valtio. [2]

## 2.3 Vamy Oy

Vamy Oy on Vattenfall Oy:n tytäryhtiö. Myllykoski Paper Oy:n käyttämä prosessihöyry tuotetaan Vamy Oy:n voimalaitoksella joka sijaitsee Myllykoski Paper Oy:n tehdasalueella. Yhteistyö Myllykoski Paper Oy:n kanssa alkoi 1999.

Voimalaitos tuottaa noin 900 GWh/a höyryä sekä 190 GWh/a sähköä. Voimalaitoksen neljä kattilaa käyttävät polttoaineena yhteensä noin 15 % tehdaspolttoaineita, 25 % ulkopuolista biopolttoainetta, 25 % turvetta ja 35 % maakaasua. Käytössä olevat kattilat ovat K6 (100 MW, maakaasu), K7 (88 MW, biopolttoaineet) sekä apukattilat K8 ja K9 (45 MW kumpikin, maakaasu). Höyryturbiini VP2 on teholtaan 10 MW ja höyryturbiini VP4 22,5 MW. K6 on valmistunut vuonna 1989, uusi osa K7 ja K8/K9 vuonna 2001, turbiini VP2 60-luvulla ja uusin turbiini VP4 2009. [3;4]

## 2.4 ABB Oy

ABB Oy on ASEA:n ja Brown Boverin 1988 tapahtuneen sulautumisen kautta syntynyt suuri sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä. ABB:n palveluksessa on yli 120 000 henkilöä noin 100 maassa. ABB Oy toimii Suomessa yli 40 paikkakunnalla työllistäten yhteensä noin 7000 henkeä. ABB:n juuret Suomessa jatkuvat aina Gottfrid Strömbergin perustamaan sähkötarvikeliikkeeseen joka perustettiin vuonna 1889 ja jonka ASEA osti 1987. ABB Service tarjoaa laajan valikoiman elinkaaripalveluja varaosista kunnossapitoon, koulutukseen, laitepäivityksistä etävalvontaan ja tekniseen tukeen, aina laajamittaiseen ABB Full Serviceen ®. [5]



## 2.5 ABB Full Service ®

Full Service-kumppanuuden pohjana on pitkäaikainen tuottavuuteen perustuva sopimus jossa vastuu koko tuotantolaitoksen kunnossapidosta ja kehittämisestä siirtyy ABB:lle. ABB:n globaali kokemus eri tuotantoprosesseista ja teknologiasta mahdollistaa erityisen tuotantotehokkaan perustan laitoksen koko elinkaaren huomioivalle ja ennakoivalle laite- ja järjestelmäkunnossapidolle.

Myllykoski Paper Oy ja ABB Oy sopivat 2006 Myllykosken paperitehtaan kunnossapidon siirtymisestä ABB Oy:lle vuoden 2007 alusta lähtien. Kunnossapidon luovutuksen yhteydessä siirtyi noin 175 henkilöä ABB:n palvelukseen ns. vanhoina työntekijöinä. Näin vahva paikallisosaaaminen säilyi. Myllykoski Paper ja ABB olivat tehneet jo pitkään yhteistyötä. ABB oli toimittanut Myllykoskelle mm. laite- ja järjestelmäkunnossapitoa. Laadittu viisivuotissopimus on osa Myllykoskin Paperin kannattavuuden parantamisohjelmaa. [6;7]

## 2.6 Maximo 6®

Maximo on IBM:n Tivoli®-tuoteperheeseen kuuluva kunnossapitojärjestelmä. Myllykoski Paper Oy:n kunnossapidon ulkoistumisen myötä siirryttiin Artekus Oy:n (nykyisin Solteq Oy) valmistamasta Arttu®-kunnossapitojärjestelmästä ABB:n käyttämään Maximo 4:ään. Maximo 4 päivitettiin 2008 - 2009 nykyiseen versioon Maximo 6:een. Maximo on Java-pohjainen Internet-selaimella käytettävä hyvin monipuolinen ja modulaarinen kunnossapitojärjestelmä, jota käytetään ABB:llä mm. laitteiden, töiden ja resurssien hallintaan, ostoihin, tuntikirjanpitoon ja raportointiin.

Koska ABB käyttää Maximoa globaalisti, on toimipistekohtainen räätälöinti järjestelmän päivittämisen ja ylläpidon kannalta lähes mahdotonta. Siksi Maximo sisältää paljon useissa toimipisteissä tarpeettomia toimintoja ja ominaisuuksia kun taas käyttäjä- tai käyttöyhteisökohtainen muokkaaminen ja paikalliset toiveet voidaan toteuttaa vain hyvin rajatusti tai ei ollenkaan. Myös Maximon lokalisointi on jäänyt vajaaksi: osa ohjelman osista on osin suomeksi ja osin englanniksi ja suomenkielisissä osissa on kirjoitusvirheitä.

Arkikäyttäjän näkökulmasta harmillisista puutteistaan huolimatta Maximo on kuitenkin hyvin monipuolinen ja kattava järjestelmä. Kunnossapidon asioista Maximoa käytetään laitehierarkian, laitekorttien, ennakkohuoltotöiden ja ennakkohuoltotöiden aikataulutuksen, työsuunnitelmien, ennakkohuoltoreittien, turvallisuussuunnitelmien, työpyyntöjen ja työmääräysten sekä tuntikirjanpidon hoitamiseen.

### 3 KUNNOSSAPITO

#### 3.1 Mitä on kunnossapito?

Kunnossapidon on perinteisesti käsitetty olevan vikojen korjausta. Vaikka vikakorjaus onkin osa kunnossapitoa, se ei ole kunnossapidolle määritelmänä riittävä. Kunnossapito on määritelty standardissa SFS-EN 13306 seuraavasti:

*Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.*

Kunnossapidoksi on laskettava kaikki toimet, jotka johtavat laitteen toimintakunnon ylläpitämiseen, laitteen käytön turvallisuuden ylläpitoon, laitteen laaduntuoton takaamiseen, laitteen elinjakson hallintaan, laitteen käyttöolosuhteitten pitämiseen määrättyissä rajoissa, laitteen palauttamiseen alkuperäiseen kuntoon, laitteen modernisointiin, suunnitteluheikkouksien korjaamiseen ja käyttö- ja kunnossapitotaitojen kehittämiseen. Yksittäisinä toimenpiteinä näihin sisältyvät yleensä tarkastamista, puhdistamista, mittaamista, koekäyttöjä, voitelua, määrättyjen osien ja komponenttien vaihtoja sekä ennalta aikataulutettuja, tarpeelliseksi käytön aikana havaittuja ja yllättäen tapahtuneen vikaantumisen määräämiä korjaus- ja kunnostustoimenpiteitä. [8, 13-16]

Hyvän kunnossapitostrategian tarkoituksena on saavuttaa laitteiden kunnan, turvallisuuden ja laadukkaan toiminnan ylläpysyminen kustannustehokkaasti. Toisin sanoen kunnossapidolla pyritään mahdollisimman hyvään käytettävyyteen ja tuotannon kokonaistehokkuuteen.

Suomessa kunnossapitoon käytetään vuositasona yhteensä noin 24 miljardia euroa, joista julkisella sektorilla 10 miljardia euroa ja yksityisellä sektorilla noin 14 miljardia euroa. Kunnossapidon parissa työskentelee noin 200000 henkeä. Kunnossapidon osuus liikevaihdosta on erityisen suuri metsä- ja energiateollisuudessa (6-10 % liikevaihdosta). [9]

### 3.2 Kunnossapidon tärkeimmät mittarit

#### **Käytettävyys (Availability)**

Kunnossapidon keskeisimpiä käsitteitä on käytettävyys. Käytettävyydellä tarkoitetaan jonkin laitteen tai järjestelmän toimintakyvyn astetta tarkastelujaksolla tai todennäköisyyttä, että laite on toimintakunnossa vaaditulla hetkellä. Käytettävyyden peruskaava on tarkastelujakson pituuden ja toimintakyvyttömyyden kokonaisajan erotus jaettuna tarkastelujakson pituudella. Käytettävyyden osatekijöitä ovat luotettavuus (toimintavarmuus), huollettavuus ja huoltovarmuus.

#### **Luotettavuus (Reliability)**

Luotettavuudella ja toimintavarmuudella tarkoitetaan laitteen kykyä toimia vikaantumatta vaaditun ajan. Korkean luotettavuuden perustekijöitä on mm. laitteen suunnittelu oikeaan käyttöympäristöön. Laitteen suunnittelun tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista ja komponenttien luotettavia. Osahankintojen laadunvarmistus, valmistusprosessin valvonta ja laadunhallinta, oikein noudatettu ja hyvin suunniteltu ennakkohuolto sekä käyttäjien riittävä perehtyminen laitteen hallintaan ovat tärkeitä osatekijöitä toimintavarmuuden ylläpitämisessä. Luotettavuuden parametreja ovat mm. keskimääräinen vikaväli (MTBF), keskimääräinen aika ensimmäiseen vikaan (MTTFF) ja vikataajuus  $\lambda$ .

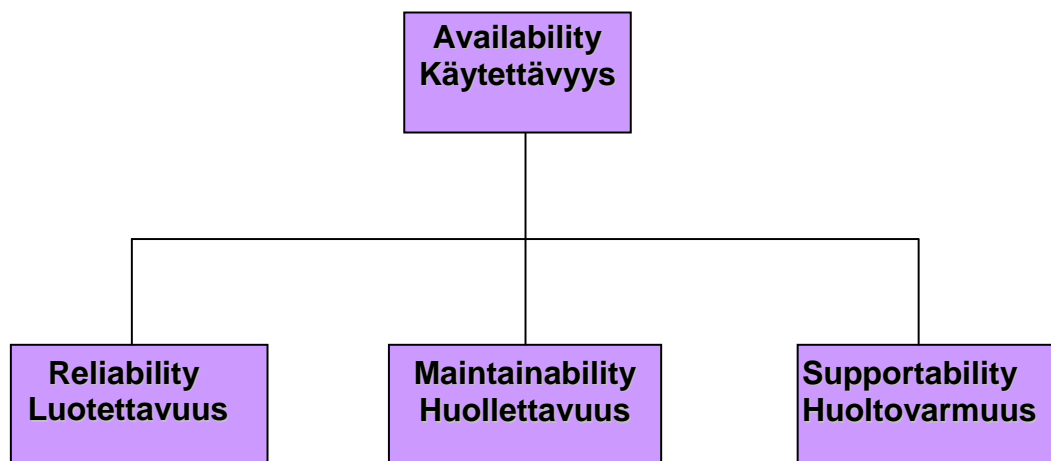
#### **Huollettavuus (Maintenability)**

Huollettavuudella tarkoitetaan laitteen kykyä palautua vikatiloista toimintakuntoon. Huollettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. laitteen luokse päästävyys, käsittelyn

helppous sekä testauksen ja vikadiagnosoinnin vaivattomuus. Muita tärkeitä tekijöitä ovat mm. korjaamisen ja huollon mahdollisuus vakiotyökaluilla, standardiosat ja suuri keskenään vaihtokelpoisten komponenttien määrä, vähäinen kalibroinnin tarve ja luonnostaan vähäinen ennakkohuollon tarve. Huollettavuuden parametreja ovat aktiivinen korjausaika (MTTR), henkilömäärä toimenpidettä kohden ja työtuntien määrä käyttötunteja kohden.

### **Huoltovarmuus (Supportability)**

Huoltovarmuudella tarkoitetaan laitteen huollon (huoltajien) kykyä ja valmiuksia. Huoltovarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. varaosien riittävyys, nopea osien saataavuus, asianmukaiset välineet ja työtilat, asiantunteva ja riittävästi koulutettu henkilöstö sekä helposti saatavat ja ajantasaiset dokumentit. Parametreja huoltovarmuudelle ovat mm. korjauksen odotusaika, hallinnolliset viiveet ja varaosien puuteriski.



*Kuva 1: Käytettävyyden osatekijät [10].*

### **Tuotannon kokonaistehokkuus (KNL)**

Kunnossapidon ulkoisista tavoitemuuttujista (PSK7501) yksi tärkeimmistä on tuotannon kokonaistehokkuus. KNL on suomenkielinen vastine englanninkieliselle termille OEE (overall equipment efficiency). Kokonaistehokkuus koostuu kolmesta osatekijästä, käytettävyydestä (K), toiminta-asteesta eli tuotantonopeudesta (N) ja laatuertoimesta

(L). Koska OEE/KNL on helposti seurattava ja yksinkertainen mittari, on se laajasti käytössä kohtuullisen karkeasta jaottelustaan huolimatta.

Seisokkihäviöt (K):

- Vikaantumisesta aiheutuvat laitteiden seisokit.
- Säädot ja asetukset (työkalujen tai tuotteen vaihtuminen tms.).

Nopeushäviöt (N):

- Vajaakäynti ja lyhyet pysähdykset, kuten antureiden toimintavirheet, häiriöt laitteiden syötöissä tai poistoissa, ruuhkautumat työkuluilla tms.
- Laitteen suunnitellun ja toteutuneen tuotantonopeuden ero eli alentunut kokonaistuotantonopeus.

Laatuhäviöt (L):

- Hylyistä ja korjattavista laatuvirheistä aiheutuvat prosessipuutteet.
- Laitteiden käynnistämisestä vakiintuneeseen tuotantoon aiheutuvat laatuhäviöt ennen prosessin vakiintumista. [8]

Tulossa lasketaan K-kertoimella, kuinka tehokasta on työajan käyttö minuutteina, N-kerroin ilmaisee, kuinka tehokasta tuotanto on ollut (kpl, tonnit tms. kapasiteetista) ja laatukerroin (L) kertoo, kuinka suuri osa tuotteista voidaan toimittaa eteenpäin (prosentteina). Tuotannon kokonaistehokkuus on vaikea pitää optimaalisena. Koska mittarit kerrotaan keskenään, tulee näennäisesti kohtuullisesta tuloksesta (sekä K, N että L 90 % maksimista) tuloksi kehnohko 72,9 %. Yli 90 %:n kokonaistehokkuus vaatisi jo 98,7 % jokaisessa kategoriassa. VTT:n Kari Komosen mukaan keskiarvo KNL:lle Suomessa on noin 74 %. KNL ei myöskään painota erikseen kustannuksia, suora tulo jättää laatukerroimen vaikutuksen kustannuksiin todellista pienemmäksi. Jos laatu on heikkoa, tuhlautuu paljon raaka-aineita myyntiin kelpaamattomien tuotteiden muodossa. Samalla kuitenkin kaikki tuotannon kulut on jo aiheutettu. [8, 40]

### 3.3 Kunnossapidon jaottelu

#### 3.3.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon menetelmin palautetaan vikaantuvan osan tai komponentin toimintakunto. Korjaava kunnossapito voi olla joko suunnittelematonta (häiriökorjaus, tilapäiskorjaus) tai suunniteltua (laitteen tai komponentin kunnostaminen). Korjaavaan kunnossapitoon sisältyviä toimia ovat mm. vianmääritys, vian tunnistaminen, vian paikallistaminen, vian korjaus, tilapäiskorjaus ja toimintakuntoon palauttaminen.

#### 3.3.2 Ehkäisevä ja ennustava kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito pyrkii seuraamaan kohteen suorituskykyä päämääränään vähentää laitteen vikaantumisen todennäköisyyttä tai koneen tai koneenosan toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito on sekä säännöllistä että aikataulutettua ja sitä tehdään joko jatkuvasti tai määritellyn tarpeen mukaan. Tulosten perusteella voidaan laatia suunnitelmia ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä tehokkaammin.

Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyviä toimia ovat mm. tarkastukset, kunnonvalvonta, määräystenmukaisuustarkastukset, visuaaliset tarkastukset ja toiminnalliset testaukset, käynninvalvonta ja trendianalyysit käyttö- ja vikaantumistiedoista. Termeinä ennalta ehkäisevä kunnossapito painottuu enemmän laitteen käyttöiän pidentämiseen, ennakkoiva kunnossapito vikaantumisen ajankohdan määrittämiseen.

#### 3.3.3 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon ryhmitteleminen on vaikeaa, koska useiden ryhmien työt ovat osittain päällekkäisiä toisten ryhmien töiden kanssa. Pääjako tehdään karkeasti kolmeen pääryhmään. Ensimmäisen ryhmän toimissa voidaan esimerkiksi vaihtaa kohteeseen uudempia komponentteja varsinaista laitteen suorituskykyä muuttamatta. Toisessa ryhmässä muutoksilla ja korjauksilla pyritään parantamaan laitteen luotettavuutta. Kolmannen ryhmän työt käsittävät modernisoinnit joilla pyritään parantamaan kohteen suorituskykyä. Modernisoinnit tulevat yleensä kysymykseen silloin, kun tuotteitten

elinkaaret ovat huomattavasti tuotantolaitteiston elinkaarta lyhyempiä (esimerkiksi periteollisuus).

### 3.4 Vikaantuminen

#### 3.4.1 Vikaantumisen syyt

Vikaantuminen tapahtuu harvoin vain yhdestä, tarkasti rajatusta syystä. Yleensä vähintään myötävaikuttamassa on useita tekijöitä, kuten käyttöympäristön olosuhteita tai käyttäjien toimintatapoja. Yleensä on kuitenkin erotettavissa pääsyy, jonka vaikutusta muut syyt ovat kasvattaneet ja nopeuttaneet. Vikaantumisen syiden tunteminen toimii perustana vikaantumisilmiöiden torjuntakeinojen hallintaan. Vikaantumiseen vaikuttaa yleensä vähintään yksi seuraavista elementeistä:

- **Ylikuormitus.** Ylikuormitus on laitteelle määritettyjen suoritusarvojen jatkuva tai tilapäinen ylittäminen. Ylikuormitus voi olla mekaanista rasitusta, ylimääräistä lämpökuormaa, tehonsiirtoa, jännitteitä, sähkövirtaa, kemiallisten aineiden pitoisuuksia jne.
- **Väsyminen.** Materiaalin väsyminen, joka johtuu joko kuormitusvaihtelusta tai lämpötilan vaihtelusta. Perustuu kappaleissa olevista virheistä liikkeelle lähtevään särön kasvuun, esimerkiksi kulkuneuvot, voimansiirto, nostolaitteet ja dynaamisesti kuormitetut kantavat rakenteet. Kuormitus voi olla oikein mitoitettua (mitoitettu oikein mutta laite on jo elinkaarensa loppupuolella) tai ylimitoitettua.
- **Onnettomuus.** Ulkoisista syistä johtuva isku, kastuminen, kemikaaleille altistuminen tms. Voi aiheuttaa joko välittömän vikaantumisen tai voi olla tapahtuessaan huomaamaton ja vaarattoman tuntuinen aiheuttaen kuitenkin piilevän vian alun.
- **Inhimillinen virhe.** Inhimillinen virhe voi johtua taitamattomuudesta eli koulutuksen puutteesta, välinpitämättömyydestä tai jopa tahallisesta tuottamuksesta.
- **Kuluminen.** Kuluminen on seurausta kahden toisiinsa kosketuksissa olevan pinnan liukumisesta toisiinsa nähden, esimerkiksi liukukiskot, laakeripinnat ja saranat.

- **Korroosio.** Korroosiollla on useita eri esiintymismuotoja. Korroosio on kaikessa kunnossapidossa keskeisesti esillä.
- **Abraasio.** Abraasio on kyseessä silloin, kun pintaa naarmuttaa ja siitä hioo materiaalia pois kappale, jolla on suurempi kovuus, esimerkiksi voitelemattomat tai ylikuormitetut laakeripinnat.
- **Eroosio.** Eroosio on kyseessä silloin kun pintaa kuluttavat suurella nopeudella virtaavassa nesteessä olevat kiinteät partikkelit.
- **Komponenttien ikääntyminen.** Komponenttien ja materiaalien käyttöiän ominainen lyheneminen voi tapahtua kemiallisista tai muista syistä. Esimerkiksi kumituotteet, jotkin muovit (ultraviolettisäteily, otsoni) ja paristot ikääntyvät. [13]

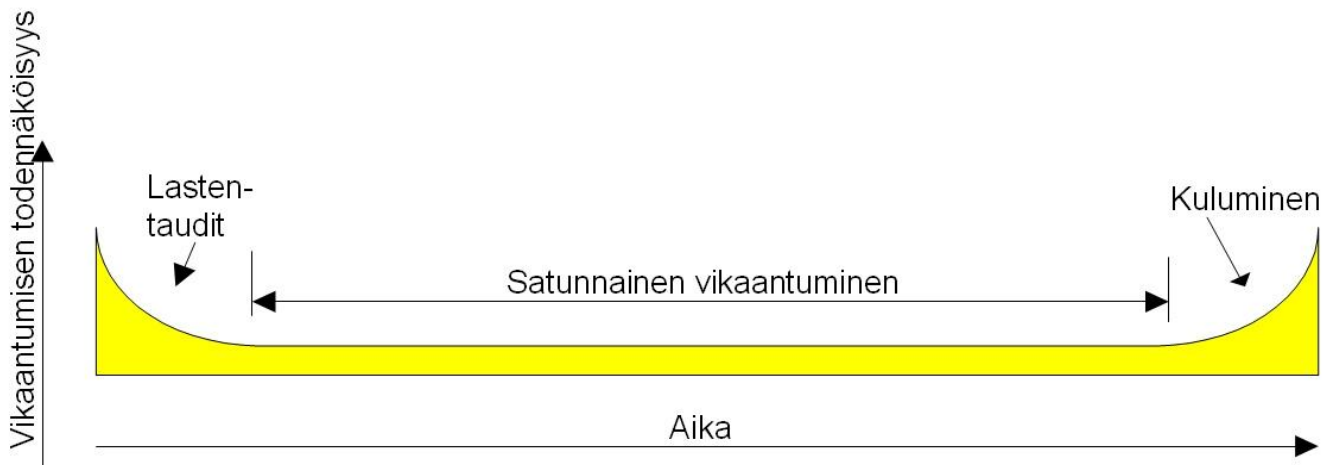
Japanissa vikaantumista ja vikaantumisen syitä on tutkittu perusteellisesti. Japanilaiset TPM:n kehittäjät ovat listanneet vikaantumiselle viisi pääsyitä:

- **Laitteita käytetään väärin.** Joko ei tunneta oikeita toimintatapoja, standardoiminen on vajaata tai käyttöhenkilöstön asenne ohjeiden noudattamiseen puutteellista. Käyttäjät kyllä huomaavat oireita vikaantumisesta mutta eivät tee asialle mitään koska korjausta ei mielletä käyttäjän toimenkuvaan kuuluvaksi. Raportointi saattaa olla työlästä ja raportointityökalujen käyttötaito heikkoa.
- **Käyttäjien ja kunnossapitäjien ammattitaito on liian kapea-alaista** ja keskittyy korjaamisiin. Tarkastuksissa ei havaita oireilevia vikoja ja laitetta käytetään ja jopa kunnossapidetään väärin. Usein väärinkäyttö on tahatonta ja hyvässä uskossa tehtyä joten sitä on vaikea havaita.
- **Laitteen ikääntymisen myötä esiin tulevaa toimintakyvyn heikkenemistä** ei havaita tai korjata tai se hyväksytään.
- **Laitteen käyttöolosuhteet eivät ole optimaaliset.** Kaikki ylimääräiset rasitustekijät voivat kuormittaa laitetta tarpeettomasti.
- **Laitteen suunnittelussa ei huomioitu tarpeeksi laitteen käyttöympäristöä** tai laite on jälkikäteen sijoitettu toisenlaiseen käyttöympäristöön kuin mihin se on alun perin suunniteltu. [8, 61]



### 3.4.2 Vikaantumismallit

Vikaantumisella tarkoitetaan jonkin laitteen tai komponentin tilan muutosta siten, että se ei enää vikaantuneena kykene suorittamaan siltä odotettua toimintoa. Näin ollen vikaantumisen voi käsittää monella tavalla. Vielä 1960-luvulla ajateltiin, että kaikkien laitteiden vikaantumista voidaan mallintaa kylpyammetta muistuttavalla käyrällä.



Kuva 2: Vikaantumisen kylpyammemalli (kirjoittajan muokkaama kuva).

Tämä todennäköisyyskäyrä (P-käyrä) käsitettiin suhteellisen symmetriseksi käyräksi, jossa on selvät piikit alussa (lastentaudit) ja lopussa (laite on kulutettu loppuun).

Lastentauteja ei voida parantaa niinkään säännöllisellä kunnossapidolla vaan kertaluontoisilla toimenpiteillä, kuten esimerkiksi laitteiston toimintojen, materiaalien ja työn laadun, kuljetuksen, varastointimenetelmien, asennuksen ja käyttöönoton tarkistaminen sekä muutosten hallinta- ja suunnittelukäytänteiden noudattaminen.

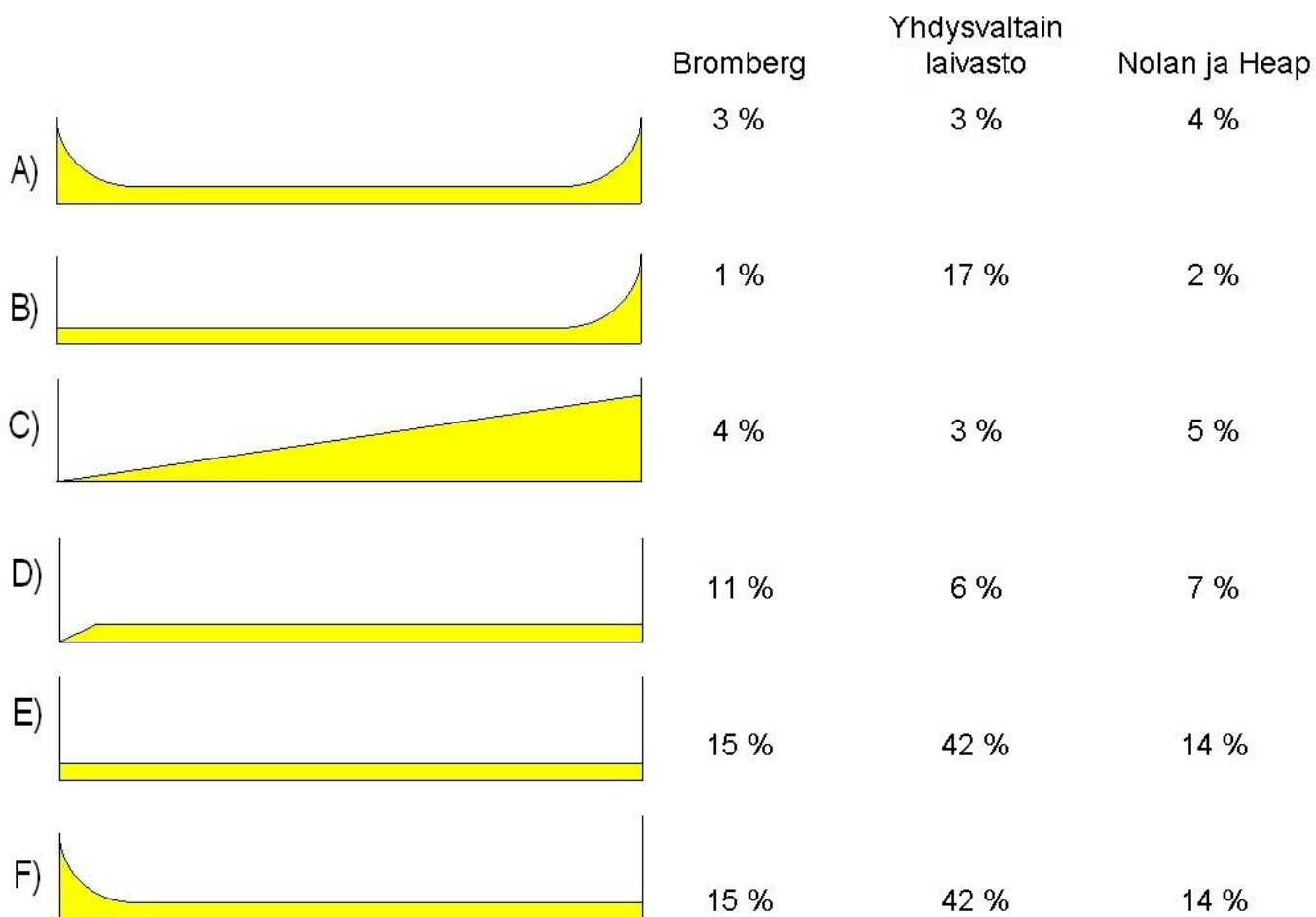
Satunnainen vikaantuminen kattaa suurimman osan vikatyypeistä (jopa 70 %). Satunnainen vikaantuminen liittyy yleensä elektroniikkaan, laakereihin sekä hydrauliiikka- ja paineilmalaitteisiin. Säännölliset huollot saattavat jopa lisätä vikaantumisastetta aiheuttamalla lastentauteja muutoin vakaassa järjestelmässä. Toimenpiteitä ovat esimerkiksi puhtauden, toiminta- ja kunnossapitostandardien noudattaminen ja laitteiden suojauksen tarkistaminen. Kunnonvalvonnan tilaa tulee arvioida ajan kuluessa, ja jos ei voida enustaa vikaantumista luotettavasti, tulee vikaantumisen jälkeisiä toimia kehittää. Kun

vikaantumisen seuraukset on otettu huomioon, laitteen käyttöä jatketaan vikaantumiseen asti, minkä jälkeen vaihdetaan vikaantuneet osat uusiin.

Kun vikaantuminen johtuu joko hankauksesta, eroosiosta, korroosiosta tai hapettumisesta tai näiden yhdistelmästä (esimerkiksi ruuvikuljettimet, pumppujen siipipyörät ja uunien tulenkestävät materiaalit), on kuluminen suoraan verrannollinen laitteeseen kohdistuvaan jatkuvaan kuormitukseen. Laite voidaan kunnostaa säännöllisesti tai tehtävä voidaan jättää suorittamatta, mikäli tiedot ovat paikkansapitäviä. Nykyisin käytetään kuutta P-käyrän mallia, jotka löydettiin 1960-luvulla F. S. Nolanin ja H. Heapin toimesta RCM-ajattelun alkuvaiheessa. [10]

### **Aikaan perustuva kuluminen ja vikaantuminen**

Kuvan 5 malleista A-C esittävät käyttöaikaan verrannollista kulumista. Mallissa A on alussa paljon lastentauteja ja elinkaarensa päässä oleva laite vikaantuu voimakkaasti. Malli B:ssä ei ”lastentauteja” esiinny. Malli C edustaa tapausta jossa vikaantuminen on tasaisesti kasvavaa käyttöajan myötä.



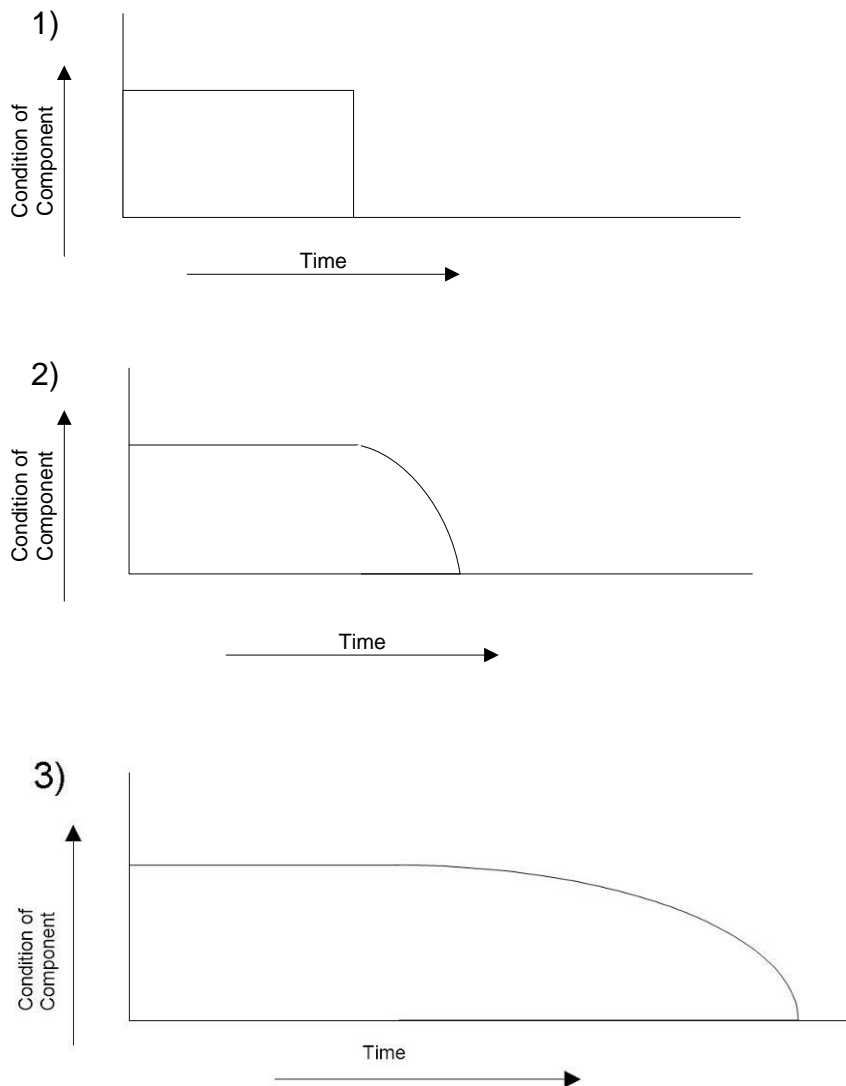
Kuva 3: Kuusi vikaantumismallia (kirjoittajan muokkaama kuva).

### Satunnainen vikaantuminen

Mallit D-F kuvaavat satunnaista vikaantumista. Malli D:ssä on alussa hyvin vähän vikoja, mutta sen jälkeen vikaantuminen tasaantuu ”normaalitasolle”. Malli E:ssä vikaantuminen on tasaista läpi koko laitteen käyttöään. Mallissa F ”lastentauteja” on paljon, mutta ajan kuluessa vikaantuminen vakiintuu. Kun tiedetään komponentin todennäköisin vikaantumishetki, kyetään sille kohdistamaan oikeat huoltotoimenpiteet ja ajoittamaan ne optimaalisesti. [10]

### 3.4.3 Vikaantumisen P-F-käyrät

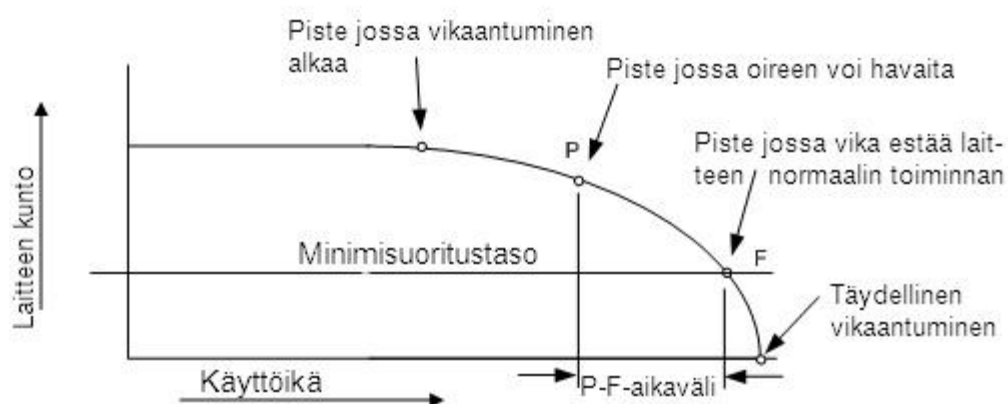
Todennäköisyyskäyrät kertovat, milloin jokin kohde vikaantuu ja P-F (potential failure to failure)-aikaväli kertoo, miten se vikaantuu. P-F-aikaväli voidaan ymmärtää ”varoitusaikana”, aikavälinä pisteestä, jolloin vikaantuminen voidaan havaita, pisteeseen, jolloin laite vikaantuu niin, ettei se voi suorittaa sille määrättyä toimintoa. Jotta voidaan valita sopivat ennakkohuoltotoimet, on laitteen vikatyypin sijoitettava johonkin kolmesta P-F-oletusvälistä.



Kuva 4: P-F-käyrien kolme oletusväliä. Kirjoittajan muokkaama kuva.

Käyrän 1 mukainen vikaantumistilanne ei anna lainkaan ennakkovaroitusta toimintakyvyn menetyksestä. Tämän kaltaisessa tapauksessa ei kunnonvalvontaan perustuva huolto ole tehokasta ja ennakkohuoltotoimenpiteillä ei ole suurta vaikutusta. Käyrän 1 mukaisesti vikaantuva laite on esimerkiksi hehkulamppu (laite toimii oireilematta aina ylittävänsä totaaliseen vikaantumiseen asti). Käyrän 2 mukaisessa tilanteessa varoitusaikaa on, mutta se ei riitä korjauksen aikatauluttamiseen ja suunnitteluun. Käyrän 2 mukaan voi vikaantua esimerkiksi kuljetinkangas (laite toimii oireilematta kunnes havaitaan repeämä, joka etenee ilmaantumisen jälkeen nopeasti). Kulumisaika on lyhyt tai toimitusajat pitkät. Käyrän 3 mukaisessa tapauksessa (olettaen, että vikaantumista valvotaan) on toiminnallisen vikaantumisen ja vikaantumisen ensioireiden välillä riittävästi aikaa suunnitella huoltotoimenpiteet ja seurata tilanteen kehittymistä. Käyrää 3 noudattaa esimerkiksi laakeri (helposti ennustettava kuluminen, selkeästi seurattavissa olevat oireet vikaantumisesta ja tarkasti ennustettava käyttöikä).

Laitekohtaisten P-F-käyrien määrittäminen ja varoitusaajan arvioiminen helpottaa tarkastusmenetelmien ja tarkastustiheyden valitsemista. Väli kuvaa aikaikkunaa, jonka aikana laitteen huoltotoimenpiteet on suunniteltava ja ajoitettava käytäntöön niin, ettei laite ole poissa käytöstä.



Kuva 5: P-F-käyrä (kirjoittajan muokkaama kuva).

[10-12]

### 3.5 Kunnossapidon strategioita

#### 3.5.1 TPM (total productive maintenance)

TPM, total productive maintenance, kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito, on japanilaisen Seeichi Nakajiman ideoima kunnossapitostrategia, joka tähtää tuotannon koneitten toimintaolosuhteiden optimointiin ja ylläpitoon. TPM korostaa kokonaisvaltaisuutta seuraavin termein:

- Kokonaistehokkuus: pyrkimys tehokkuuteen mitattuna taloudellisilla mittareilla.
- Kokonaiskattavuus: kunnossapitotarpeen pienentäminen, huollon ja korjaustoimintojen helpottaminen rakenteita muuttamalla sekä ehkäisevällä kunnossapidolla.
- Kokonaisvaltainen osallistuminen: kaikki osallistuvat optimaalisten toimintaolosuhteiden ylläpitämiseen.

TPM:ään kuuluu selkeä 12-kohtainen kehitysohjelma, jonka oletettu siirtymä vie vähintään kolme vuotta. [8]

Kehitysaste	Taso	Kuvaus
Valmistautuminen	1. Ylimmän johdon päätös TPM:n käyttöönotosta	Virallinen ilmoitus TPM:n käyttöönotosta; artikkeleita yrityksen lehdessä
	2. Aloita koulutuksen ja TPM:n esittely	Johto: seminaarit Työntekijät: Luennot
	3. Perusta TPM:n tukioorganisaatio	Jokaiselle organisaatiotasolle perustetaan TPM:n työryhmä; perustetaan keskitetty johtoryhmä
	4. Määrittele toimintasuunnitelma ja tavoitteet	Nykytilanneanalyysi; tavoitteiden asetanta
	5. Laadi kirjallinen "Master-suunnitelma" TPM:n käynnistämisestä	Laaditaan yksityiskohtainen käynnistämisuunnitelma
Toteutuksen valmistelu	6. Käynnistä TPM	Projekti esitellään sidosryhmille: asiakkaat, alihankkijat, tytäryritykset
Toteutus	7. Paranna yksittäisten laitteiden tehokkuutta	Valitaan pilottilaitteita; muodostetaan projektiryhmiä
	8. Luo kunnossapito-ohjelma käyttöhenkilöstölle	Käytetään seitsemän askeleen menetelmää; koulutetaan käyttöhenkilöstöä
	9. Luo aikataulutettu huolto-ohjelma kunnossapito-osastolle	Otetaan huomioon määräaikainen- ja ennakkoivakunnossapito, k.pidon ohjaus, varaosat, työkalut, piirustukset ja työohjeet
	10. Jatka käyttö- ja kunnossapito-taitojen kehittämistä	Vaihdetaan kokemuksia eri alueiden koulutusvastaavien kesken
	11. Ota kunnossapito huomioon hankintavaiheessa, luo hankintaohje	Kunnossapitotarpeen ennakointi; luo vastaanottotarkastukset; LCC analyysit
Vakiinnuttaminen	12. Täydellinen TPM:n käyttöönotto ja tason korottaminen	Asetetaan korkeammat tavoitteet (PM palkinto)

Kuva 6: Esimerkki TPM-kehitysohjelmasta [15].

Nakajimalla oli viisi perusajatusta: lisätään laitteiden tehokkuutta karsimalla häviöitä suunnittelun avulla, parannetaan olemassa olevia ehkäisevän ja ennustavan kunnossapidon menetelmien tasoa, määritetään vaatimustasot koulutettujen käyttäjien tekemille

huolto- ja puhdistustöille, lisätään kunnossapidon ja käytön henkilökunnan taitoja ja motivaatiota yksilö- ja ryhmätason koulutuksella, sekä aloitetaan ehkäisevät kunnossapitotoimet mukaan lukien suunnittelun ja hankintojen kehittäminen. TPM jakaa tuotannon häiriötekijät pelkistäen kuuteen häiriölähteeseen ja ryhmittelee ne kolmeen ryhmään KNL:ää vastaavasti.

TPM on tehokas työkalu, mutta siihen sitoutuminen on usein kevyttä. TPM-asiantuntijat arvioivat, että kaksi kolmesta projektista epäonnistuu joko osittain tai kokonaan. Koska TPM-ajattelu muuttaa perinteistä näkemystä käyttäjien ja kunnossapitäjien välillä, on TPM vaikeaa viedä jyrkästi käyttäjiin ja kunnossapitäjiin jaettuun työympäristöön. [8,16]

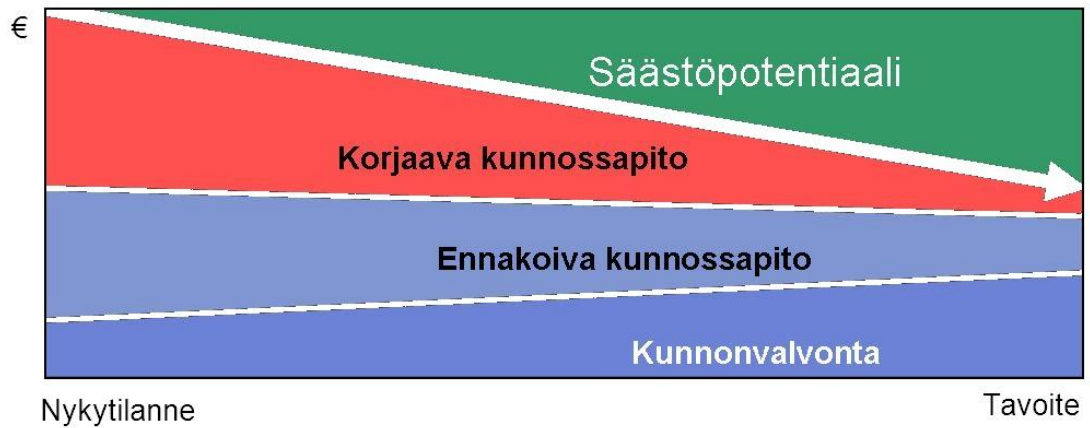
### 3.5.2 RCA (root cause analysis)

RCA, root cause analysis eli juurisyyanalyysi on nimitys analyttisille tarkasteluille joilla ehkäisemään toistuvia vikoja tutkimalla perusteellisesti vian ilmenemisen perimmäinen syy. Näillä tarkasteluilla tavoitellaan ennakkohuoltoresurssien tarkempaa kohdentamista. Tunnetuimpia juurisyyanalyysejä ovat mm. 5x Miksi (Sakiichi Toyoda) ja kalanruotomalli (Kaoru Ishikawa).

Huolellisesti toteutetulla ja sisäistetyllä juurisyyanalyysin käytöllä voidaan saavuttaa seuraavia etuja:

- Parempi turvallisuus ja ympäristöystävällisyys
- Parempi suorituskyky
- Parempi kunnossapidon kustannustehokkuus
- Pidempi käyttöikä kalliille laitteille
- Kattavampi tietojärjestelmä
- Parempi yksittäisten työntekijöiden motivaatio
- Parempi yhteistyökyky

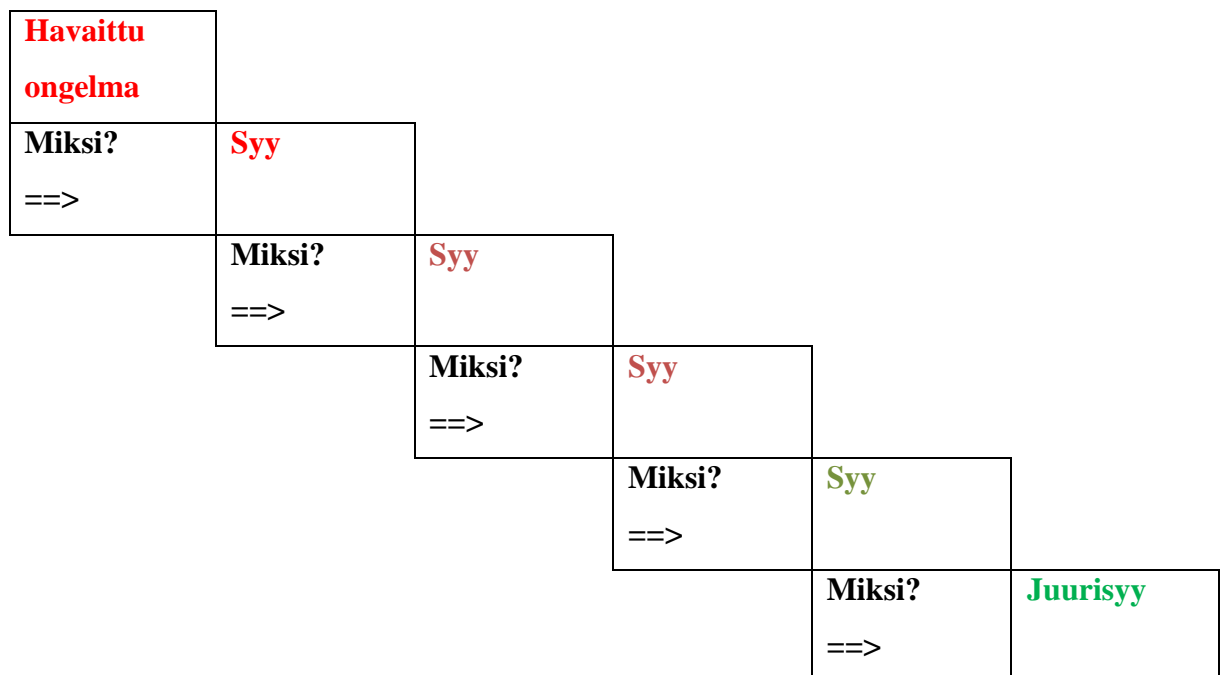




Kuva 7: RCA-kustannussäästöpotentiaali (kirjoittajan muokkaama kuva).

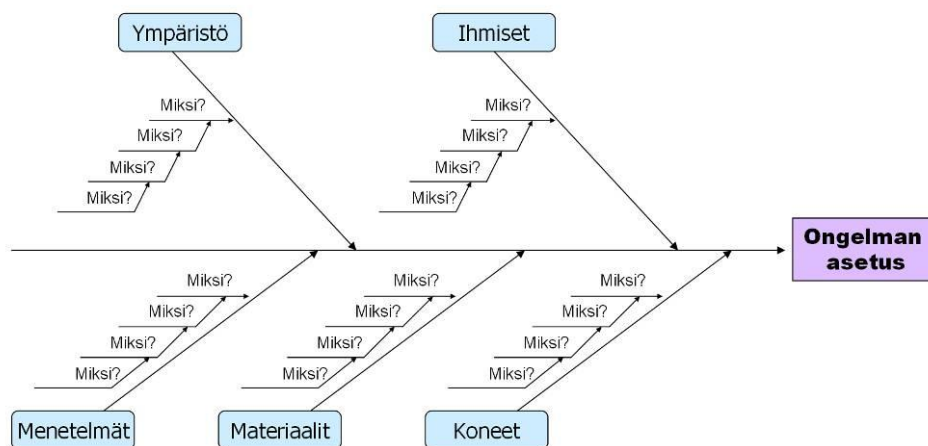
Yksi juurisyyanalyysin käytetyimmistä menetelmistä on Sakiichi Toyodan 5x Miksi-menetelmä. Menetelmä perustuu yksinkertaisesti jatkuvaan kyselemiseen todellisen juurisyy selvittämiseksi.

Taulukko 1: 5x Miksi.



Käytännössä 5x Miksi tehdään kahdessa osassa: Ensin pyritään palauttamaan koneen, laitteen tai linjan toimintakunto heti vian tapahduttua. Sen jälkeen pyritään estämään saman vian uusiutuminen. Yhden juurisyy sijaan näkyvien ongelmien taustalla on

usein monia mahdollisia syitä (systeemi). Viisi kyselykierrosta on vain perusoletus. Kysymisen voi lopettaa sellaiseen syyhyn, johon ei voida itse vaikuttaa, esimerkiksi jos vikaantuminen on osatoimittajan huonolaatuisen laitteen syytä. Kaoru Ishikawa käytti menetelmänä ns. kalanruotomenetelmää, jossa neljä kysymyskierrosta tehdään jokaisen mahdollisen vaikuttaja-alueen (ympäristö, ihmiset, materiaali, menetelmät ja koneet) kohdalla.



Kuva 8: Kaoru Ishikawan kalanruotomalli. [10].

Juurisyiden tyyppisiä on kolme: fyysiset juuret (jokin vikaantui), inhimilliset juuret (koska joku teki tai ei tehnyt jotain) ja organisaatiolliset juuret (jokin sai jotkut tekemään jotain). Yleisiä fyysisiä juurisyitä ovat mm. ylikuormitus (virhetoiminto, vahinko), väsyminen (epätasapaino, väärä suuntaus, resonanssi, materiaali), korrosio (väärä materiaali, prosessikemikaalit, ympäristö, vuodot) ja kuluminen (voitelu, likaantuminen, väärin suunnattu, liika kuormitus). Yleisiä inhimillisiä juurisyitä ovat mm. väärin muistaminen (tilataan väärät komponentit), virhearviot ja väärät valinnat, testi- ja toimintavirheet (kuvitteellinen osaaminen, väärä ohjeistus) sekä tilannesokeus (hyväksytään virheet tai ei eroteta niitä). Yleisiä organisaatiollisia virheitä ovat mm. puutteet johtamisjärjestelmässä tai lähestymistavassa, jotka sallivat inhimillisten virheiden jatkuvan tarkistamattomina, huono kommunikointi, toimintamalleja ei ole määritetty kunnolla tai koulutusta ei järjestetä tarpeeksi, puutteelliset tekniset tiedot, virheelliset kannustimet, kuluneet tai väärät työkalut, virheellinen priorisointi sekä ylikuorma työstä ja havaitut ei-halutut työt.

Juurisyyntä tai juurisyiden löydyttyä voidaan esittää neljä peruskysymystä:

- Miten estetään tapahtumien uusiutuminen?
- Miten minimoidaan tapahtuman seuraukset?
- Mitä mahdollisia hyötyjä toimenpiteistä on?
- Miten seurataan ja todennetaan toimenpiteiden vaikutukset?

Juurisyiden poistamiseen voidaan noudattaa viittä peruskäytäntöä:

- **Uudelleensuunnittelu – Design Out (DO):** Eliminoidaan suunnittelemalla vian mahdollisuus.
- **Ehkäisevä kunnossapito – Preventive Maintenance (PM):** Mitä voidaan tehdä komponentin eliniän maksimoimiseksi (esim. puhdistus, voitelu, säätö)?
- **Kuntoon perustuva kunnossapito – Condition Based Monitoring (CBM):** Mitä voidaan tarkastaa tai valvoa, jotta ennakoituaan hyvissä ajoin alkavat vikaantumiset ja saadaan ne suunnitellusti ja hallitusti korjattua?
- **Määräaikainen vaihto – Fixed Term Replacement (FTR):** Vaihetaan tietyin määrävälillä komponentti uuteen riippumatta sen kunnosta. Soveltuu hyvin komponenteille ja laitteille joiden luokse ei pääse muulloin kuin seisokkien aikana, tai komponenteille, joiden vikaantumisaika (MTTFF) on hyvin tiedossa.
- **Ajetaan vikaan – Operate to Failure (OTF):** Annetaan komponentin vikaantua, mutta varmistetaan, että seuraukset ovat minimaaliset. [10]

### 3.5.3 RCM (reliability centered maintenance)

RCM, reliability centered maintenance, luotettavuuskeskeinen kunnossapito on saanut alkunsa 1960-luvulla Federal Aviation Agency, Yhdysvaltain ilmailuviraston toimesta. Nolan ja Heap eivät olleet tyytyväisiä olemassa olevien vikaantumismallien ajatuksiin ja niiden pohjalta rakennettuihin kunnossapitosuunnitelmiin vaan tutkivat lentokoneiden vikaantumismalleja tarkemmin. Aikaisemmin ei ennakko- ja huoltoista saatu tyydyttävää käyttövarmuuden parantamista, joten työryhmä kehitti uuden ajattelumallinsa pohjalta MSG1 (maintenance steering group)-toimintaohjeen, joka julkaistiin 1967 Boeing 747:n kunnossapito-ohjelmassa. Nimen RCM toimintamallille antoi United Airlines 1974. RCM-metodin teki tunnetuksi John Moubray joka oli mukana kehittämässä teollisuuden tarpeisiin sopivampaa ohjelmaa MSG2:a. Alkuperäinen RCM-metodi on hyvin

raskas, joten usein käytetään ”kevennettyä” versiota, jota kutsutaan yleisnimellä streamlined RCM, SRCM. Näissä hyväksytään jonkin verran oletuksia ja muissa sovelluksissa käytettyjä ratkaisuja riittävän tarkkoina omaan käyttöön. [8, 125]

### **RCM:n päämäärät**

RCM on metodi, jonka avulla suunnitellaan kunnossa pidettävän kohteen kunnossapito seuraavien keskeisten päämäärien mukaan:

- Priorisoidaan prosessien laitteet ja näin kohdistetaan kunnossapito sellaisiin laitteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan (yleensä kustannukset, laatu, ympäristö ja turvallisuus).
- Selvitetään laitteiden vikaantumismekanismit ja luodaan pohja oikeaoppisten, tehokkaiden kunnossapitomenetelmien käytölle.
- Kunnossapidon piiriin saatetaan myös prosessin toimiessa passiivisina olevat turvalaitteet, rajakytkimet yms.
- Laaditaan toimintaohjeet käytettäväksi vikaantumisen varalta sellaisille laitteille, joille ei löydy tehokkaita ehkäisevän kunnossapidon menetelmiä.
- Koneiden henkilökunta oppii seuraamaan kriittisten laitteitten ja komponenttien toimintaa.
- Kohdistetaan kunnossapito sinne, missä sitä tarvitaan. Näin voidaan laskea kunnossapidon kustannuksia, parantaa prosessin luotettavuutta sekä laitteitten luotettavuutta.

Kun tuotantovälineiden kunnossapitovaatimuksia tarkastellaan laitteen toiminnan pohjalta (eikä siis sen pohjalta mikä laite on kyseessä vaan mitä sen oletetaan tekevän) muuttuvat kunnossapitovaatimukset yleensä merkittävästi. Näin kohdennetaan kunnossapidon resurssit mahdollisimman optimaalisella tavalla.

### **Riskianalyysi**

Analyysityökaluna käytetään usein työkalua FMECA. FMECA on riskikartoitusmenetelmä, joka ottaa huomioon seurauksiltaan vakavimmat vikaantumiset ja keskittyy niihin. FMECA arvioi riskejä vikojen havainnoitavuuden, vakavuuden ja yleisyyden tulo-

na. Tätä vertailuarvoa kutsutaan riskiluvuksi. Jos esimerkiksi jokainen muuttuja saa arvon yhdestä kymmeneen, tulee mahdolliseksi riskiluvuksi yhdestä tuhanteen. Tämä skaalaa laitteet riskin suuruuden mukaan.

### **RCM-prosessin vaiheet**

RCM-prosessi määrittelee, mitä on tarpeellista tehdä, jotta mikä tahansa tuotantoväline jatkuvasti tekee sille omistajansa määrittelemää toimintoa senhetkisessä toimintaympäristössä. RCM-prosessissa tärkeimpänä asiana pidetään toiminnan varmistamista. John Moubray pitää ohjenuorana seitsemää kysymystä, jotka tulisi esittää jokaisen laitteen arvioinnin yhteydessä:

- Mitkä ovat laitteen toiminnot ja suorituskykystandardit sen tämänhetkisessä käyttöympäristössä?
- Mitä tapahtuu, kun laite rikkoontuu; mitkä toiminnot jäävät tapahtumatta?
- Mikä aiheuttaa laitteen toiminnon puuttumisen tai vajaatoiminnan?
- Mitä tapahtuu vikaantumisen yhteydessä?
- Mitä vahinkoa vikaantuminen aiheuttaa?
- Mitä voidaan tehdä kunkin vikaantumismallin havaitsemiseksi riittävän ajoissa tai vikaantumisen estämiseksi?
- Mitä tehdään, jos sopivaa ehkäisevää toimenpidettä ei löydy?

Neljä ensimmäistä kysymystä selvittää, mihin kunnossapitotoimen kannattaa keskittää. Viides kysymys priorisoi kohteet. Laitteiden luokitteluun ja riskiarviointeihin on saatavilla kaupallisia työkaluja, jotka helpottavat käsiteltävien laitteiden valintaa. Kaksi viimeistä kysymystä etsii toimintakeinot vikaantumisen vaikutusten hallintaan. [8, 127]

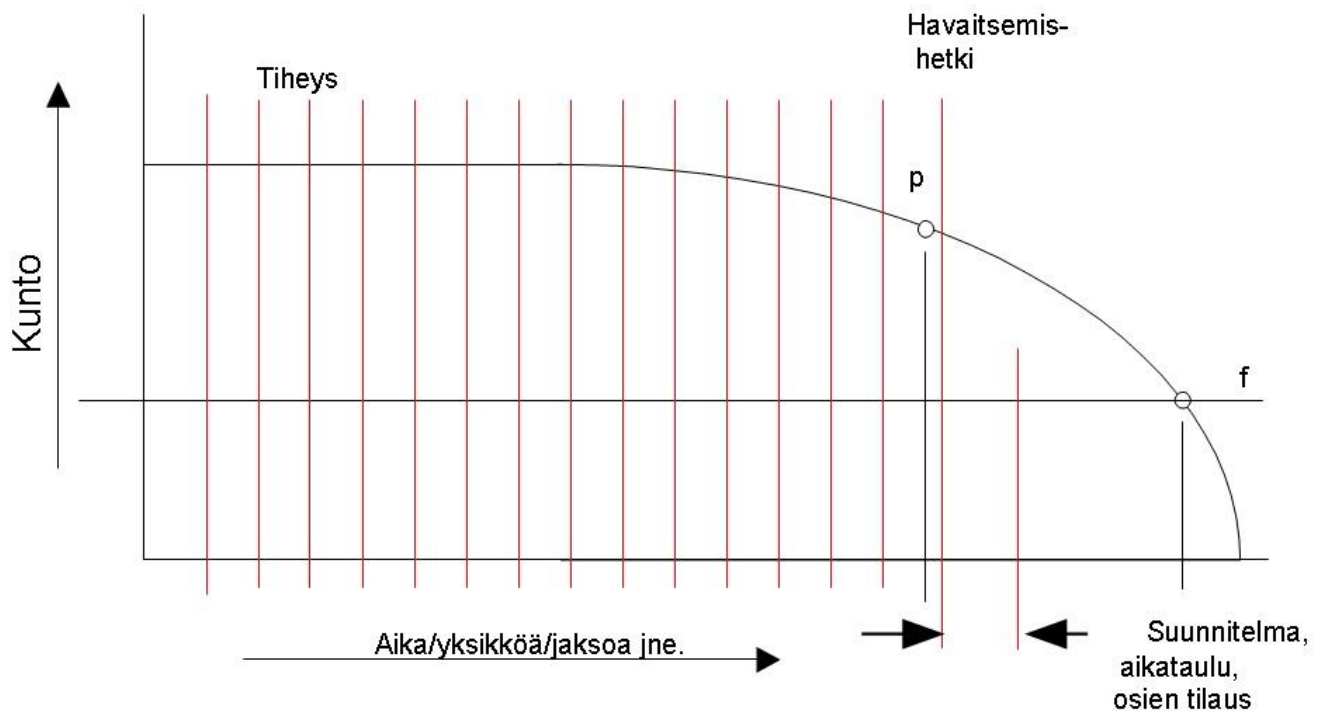
RCM-prosessi viedään läpi seuraavassa järjestyksessä:

1. Tietojen kerääminen
2. Toimintojen määrittäminen
3. Toiminnallisten vikojen osoittaminen
4. Käyttöympäristön määrittäminen
5. Kunkin toiminnallisen vian vikatyypin tunnistaminen
6. Vikojen vaikutusten kuvaaminen

7. Vian käyttäytymisen määrittäminen
  8. Kunnossapitotehtävän valitseminen
  9. Tapahtumatiheyden määrittäminen
  10. Tehtävien ryhmitteleminen
  11. Tehtävien tarkkojen tietojen määrittäminen ja vieminen järjestelmään
- [11]

### Oikean tarkastusvälin määrittäminen

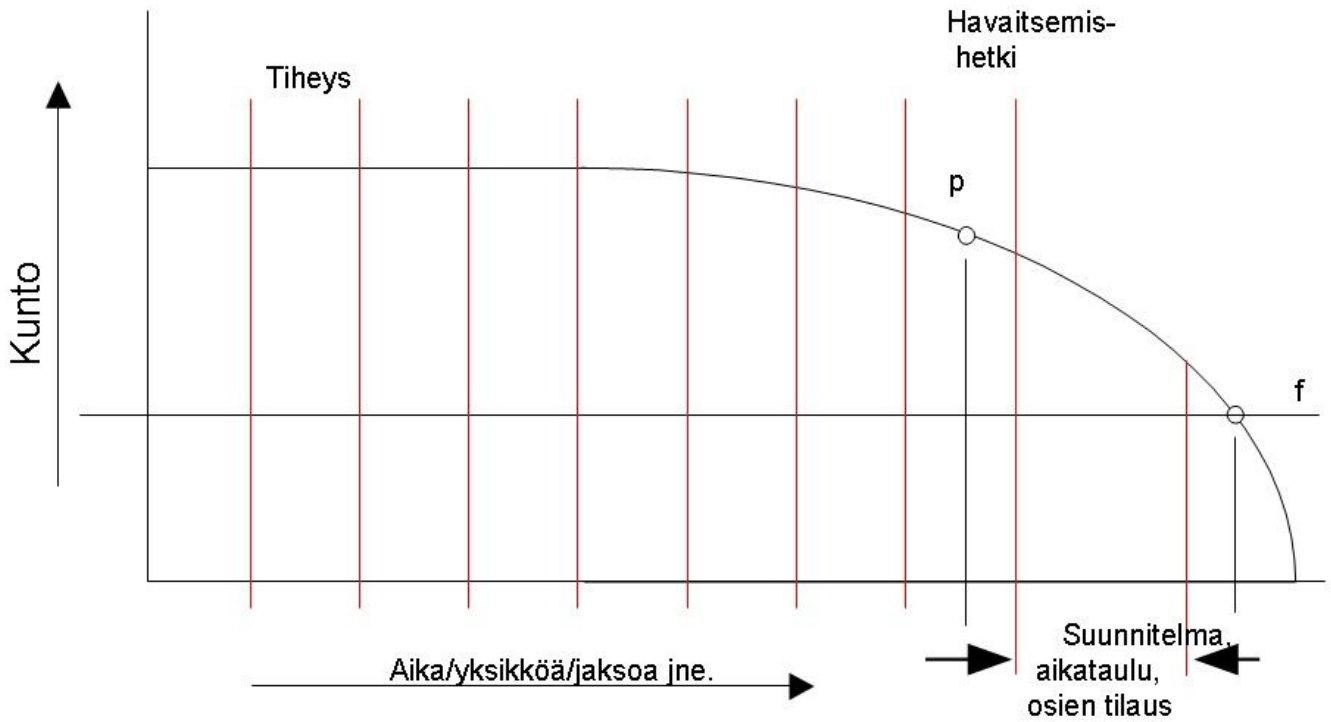
Vikaantumisen havaitsemista ja sen kehittymisen seuraamista on osattava aikatauluttaa oikein. Liian tiheä tarkastusväli hukkaa miestyötunteja ja jopa materiaalia (jos esimerkiksi tiivisteitä joudutaan vaihtamaan aina tarkastuksen yhteydessä), kun taas tarkastusten laiminlyöminen voi johtaa laitteen täydelliseen vikaantumiseen.



Kuva 9: Liian tiheä tarkastustiheys [11].

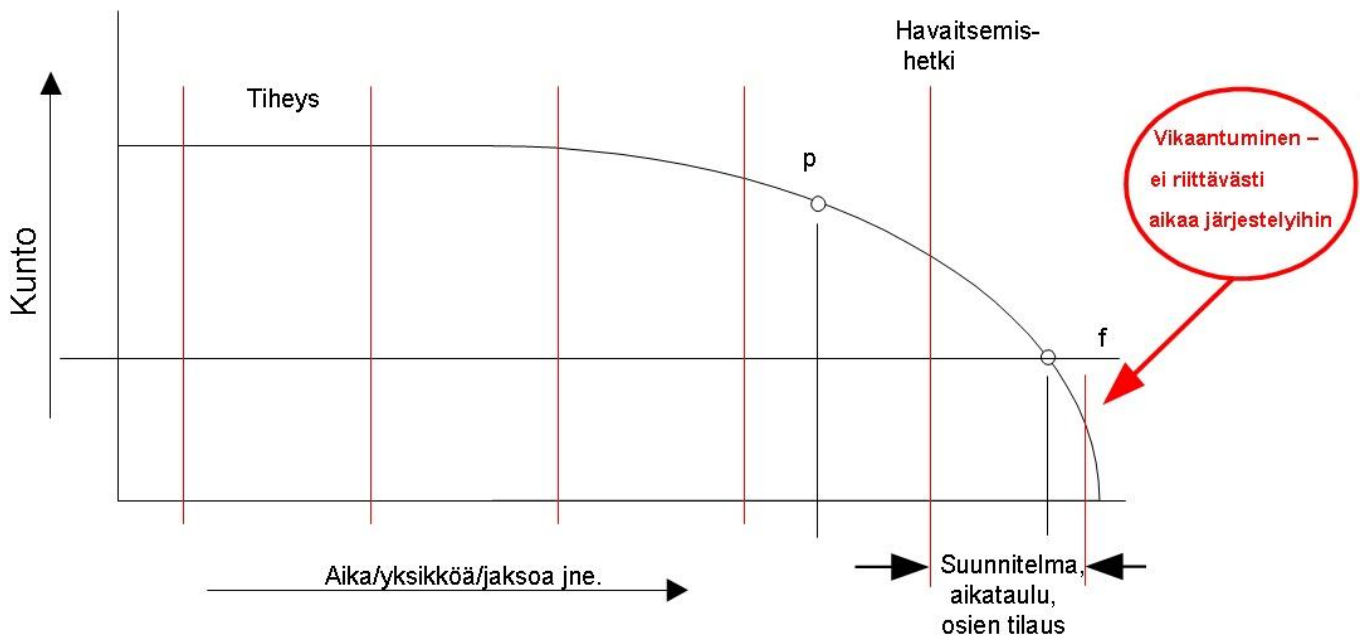
Liian tiheä tarkastusväli antaa kyllä paljon pelivaraa suunnitella huoltotoimenpiteet hyvissä ajoin ennen toimintakyvyn menetystä, mutta kustannukset ovat epäedulliset.

P-F-aikaväli antaisi varaa vikaantumisen havaitsemiseen myöhemmässäkin ajankohdassa. Seurauksena on tuhlaantuneita resursseja liiallisesta tarkastamisesta.



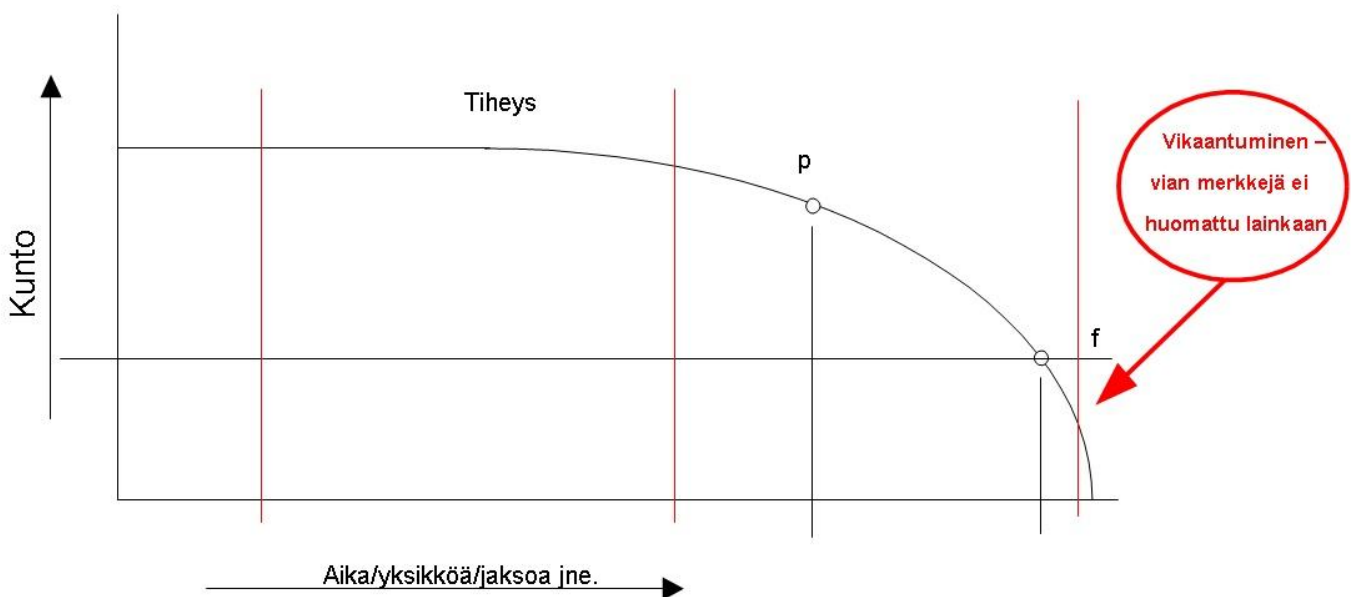
Kuva 10: Ideaalinen tarkastustiheys [12].

Ideaalinen tarkastelutiheys on sekä kustannustehokas että varma. Havaitsemishetkestä on vielä paljon aikaa toiminnon menettämiseen, mutta tarkastuksia ei tehdä tarpeettomasti.



Kuva 11: Niukasti liian harva tarkastelutiheys [12].

Niukasti liian pieni tarkastelutiheys antaa kyllä aikaa havaita piilevä vikaantuminen ennen toiminnon menettämistä, mutta ei jätä tarpeeksi aikaa korjaavien toimenpiteiden järjestämiseen siten, että laitetta voitaisiin ajaa suunniteltuun korjaukseen asti. Seurauksena on lyhytaikainen tuotantokyvyn menetys.

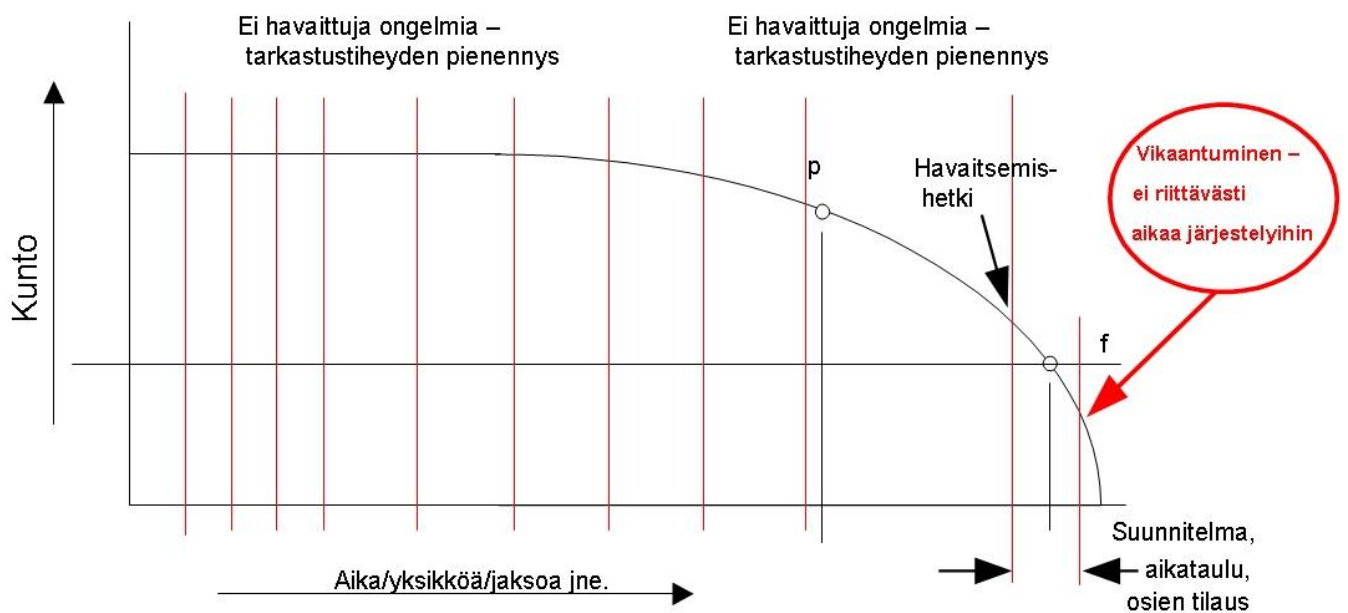


Kuva 12: Liian harva tarkastelutiheys [12].



Selvästi liian harva tarkastelutiheys johtaa siihen, että seuranta ei ehdi antaa minkäänlaista varoitusta piilevästä vikaantumisesta. Laite vikaantuu yllättäen, eikä minkäänlaisia valmisteluja ole ehditty aloittaa. Seurauksena on suuri tuotannonmenetyks.

Vaikka tavoitteena on tarkastustiheyden pitäminen niin harvana kuin mahdollista mutta kuitenkin tarpeeksi varautumisaikaa antavana, on vaarana, että varovaisessakin tarkastelutiheyden kasvattamisessa tehdään liian nopeita muutoksia. On tärkeää tuntea vikaantumismallit, jotta voidaan ennustaa sekä lähtökohtaisesti kohtuullisen tarkka tarkasteluväli että säätää tarkasteluväliä maltillisesti aiheuttamatta suuria tuotantotappioita järjestelmän petettyä.



Kuva 13: Varoitus tarkastelutiheyden harventamisesta kokemuksen perusteella [12].

Jos tarkastelutiheys on valittu aluksi liian tiheäksi ja jää paljon harventamisvaraa, voidaan tuudittautua liikaa harventamisen onnistumisen tuomaan luottamukseen. On muistettava, että yleensä alkavan vikaantumisen havaittavissa olevasta ajankohdasta vikaantuminen jatkuu huomattavasti nopeammin aina toiminnon menettämiseen asti.

## RCM:n käyttökelpoisuus

RCM on erityisen tehokas työkalu sellaisten laitteiden ennakkohuollon parantamiseen, jotka kuluvat ennustettavalla ja helposti mitattavalla tavalla, kuten pumput, puhaltimet, laakerit jne. Esimerkiksi elektronisten osien ja komponenttien, joiden kuntoa on vaikea määrittellä, käyttöikä on vaikea vaikuttaa RCM:n avulla.

Myös laitteet, joilta vaaditaan täysin ehdotonta luotettavuutta, ovat käytännössä mahdollisia pitää luotettavasti kunnossa millään normaalilla kunnossapitostrategialla. Tällöin joudutaan käyttämään hyvin raskaita ja kalliita erikoismenetelmiä:

- Redundanttius eli varmentaminen 100 % suorituskykyisellä laitteella tai laitteistolla. Esimerkiksi lentokoneissa on yleensä aina kolminkertaiset navigointijärjestelmät ja ydinreaktoreissa tuplatut hätäjärjestelmät.
- Vikasietoisten komponenttien käyttö. Esimerkiksi raju ylityöntäminen, jossa jos selkeästi vaurioitunut rakenne kestää vielä käyttöä.
- Käytön monitorointi. Määrättyjä raja-arvoja seurataan jatkuvasti ja rakenteet tarkastetaan välittömästi, jos jokin raja-arvo ylitetään, esimerkiksi voima-anturit lentokoneiden laskutelineiden rakenteissa.
- Uudelleensuunnittelu. Laite suunnitellaan uudelleen siten, että riittävä luotettavuus saavutetaan. Jos se ei ole mahdollista, on suunniteltava koko järjestelmä uudelleen tai sitä ei käytetä ollenkaan.
- Erikoiskomponenttien käyttö. Käytetään vain monikertaisen varmennuksen omaavia sertifioituja komponentteja, esim. ilmailu- ja sotilaskäyttöiset vrt. siviilikäyttöiset komponentit.

Kun TPM sisältää runsaasti tiimityöskentelyä sekä kunnossapitäjien ja käyttöhenkilöstön yhteistyötä, ei tätä RCM:ssä ole. RCM rajautuu tiukasti kunnossapitotarpeen määrittämiseen ja kunnossapitotehtävien valinnan työkaluksi, jotka puolestaan puuttuvat TPM:stä. Siksi menetelmät täydentävät hyvin toisiaan. Kun RCM-prosessi on käyty läpi oikeaoppisesti, voidaan olettaa jopa 40 % – 70 %:n pudotus työmäärässä.

[8, kts. kpl 9 ja 11]

## 4 KUNNOSSAPITO VAMY OY:N VOIMALAITOKSELLE

### 4.1 Lähtötilanne ja kunnossapidon taustaa

Kunnossapito Vamy Oy:n voimalaitoksella hoidetaan pääsääntöisesti laitoksen oman kunnossapito-osaston voimin. ABB:lla on myös tehdasalueella ns. reserviryhmä, jonka miehitys ei ole vakituisesti sijoitettu mihinkään tiettyyn kohteeseen. Tästä reserviryhmästä on kuitenkin yksi sähköasentaja käytännössä aina voimalaitoksella.

Voimalaitoksen kunnossapito-osasto käsittää mekaanisen puolen sekä automaatio- ja sähköpuolen työnjohtajineen. Mekaanisessa kunnossapidossa on kaksi koneasentajaa, joista toinen toimii myös voiteluhuollon erikoismiehenä. Mekaanista kunnossapitoa johtaa huoltopäällikkö Matias Hietanen, joka toimi myös suorana esimiehenäni ja opinäytetyöni ohjaajana. Automaatio- ja sähköpuolella on kaksi vakituista ja yksi reserviryhmäläinen. Sähkö- ja automaatiolaitteiden kunnossapitoa johtaa huoltoinsinööri Eero En. Myös muita alueella tehdasalueella työskenteleviä ABB:läisiä perehdytetään voimalaitoksen kunnossapidon erityispiirteisiin, jotta esimerkiksi lomakaudet ja sairaspousoitukset eivät vaikuttaisi huoltovarmuuteen. Erityisesti suuremmissa tuotantoseisauksissa tehtävien suurten huolto- ja korjaustöiden aikana käytetään myös ulkopuolista työvoimaa.

Käyttävän kunnossapitajan periaatetta toteutettiin voimalaitoksella kohtuullisella asteella. Käyttömiehet tekevät rutiininomaisesti tarkastuskierroksia sekä huolehtivat laitoksen yleisestä siisteydestä lastaus- ja purkupaikoilla, kuljettimilla ja tuotantotiloissa. Käyttöhenkilöstö teki myös omia työpyyntöjään Maximoon. Työpyynnöistä kunnossapitohenkilöstö teki työtilauksia ja, kun työt oli suoritettu, sulki työtilaukset ja hoiti tunti- ja ostokirjanpidon. Myös voimalaitoksen prosessierotukset (laitteen eristäminen esim. höyryverkosta tai sähköliitännöistä turvallisen työskentelyn varmistamiseksi) kuuluivat voimalaitoksen käyttöhenkilöstön tehtäviin. Vaikka laitoksella ei ollut erikseen käytössä TPM:ää, tämä jaottelu noudattaa pitkälti sen periaatteita.

Kunnossapidon tietojärjestelmänä toimivaan Maximoon siirtyminen oli tuonut mukanaan myös ongelmia. Ensimmäinen siirto Artusta Maximon versioon 4 pakotti teke-

mään laitetietokantaan ja vikahistoriaan ei-toivottuja muutoksia. Esimerkiksi laitteitten kuvaukseen käytettävä kenttä oli Maximo 4:ssä lyhyempi kuin Artussa, joten nimikkeitä piti lyhentää. Myös laitehierarkioiden osittain erilaiset määritelmät aiheuttivat paljon tiedon pois jäämistä Maximosta. Historiatiedot ovat kyllä tallella ulkoisessa tietokannassa, mutta eivät Maximossa. Jotkut ennakkohuoltotyöt olivat myös ”särkyneet” siirron yhteydessä ja vaativat uuden ohjeistuksen ja aikataulutuksen ja joskus myös kohdentamisen oikealle paikalle. Kunnossapidon tilaus-toimitusprosessi eli vian tai puutteen havaitseminen, työpyynnön tekeminen, työtilauksen tekeminen, vian tai puutteen korjaaminen ja työtilauksen sulkeminen hoidetaan Maximon kautta.

Kunnossapidon jatkuva ja kokonaisvaltainen kehittäminen on yksi ABB:n perustoiminta-ajatuksista. Vuoden 2009 aikana valmistunut laitteiden ABC-kriittisyysluokittelu sekä tammikuussa 2010 aloitettu voimalaitoksen RCM-pilottihanke olivat kehittämisen painopisteenä tämän työn tekemisen aikana. Paperitehtaan puolella oli saatu päätökseen paperikone 7:n vastaava hanke. PK7:n projektista tehtyjä havaintoja käytettiin hyväksi voimalaitoksen puolella. Näin mahdollisiin ongelmakohtiin mm. hierarkian ja vikahistorian osalta voitiin varautua etukäteen.

#### 4.2 Kunnossapidon ja ennakkohuollon suurimmat haasteet

Kunnossapidon suurimmat haasteet muodostuvat yleensä käytettävyyden ylläpitämisessä kohtuullisin kustannuksin. Nykyaikana ei teollisuudessa enää pidetä mittavia kunnossapito-osastoja vaan tullaan toimeen hyvin pienellä vakiomiehityksellä. Laitoksen tyypistä johtuen oli kunnossapidossa ennakkohuollolla korostunut merkitys. Tuotannon varmuus korostuu ja kunnossapito- ja ennakkohuoltotöillä on taipumus kasaantua tehtäväksi tuotantoseisausten aikana. Laitoksen oma sekä kunnossapidon henkilökunta ovat erittäin kokeneita, mutta heitä on määrällisesti vähän. Vamy Oy:n tapauksessa käytettävyys oli hyvällä tasolla mutta kunnossapidosta kertyi kustannuksia paljon.

Kunnossapidon tietojärjestelmän tietokannat: hierarkia, laitekortit, työsuunnitelmat jne. olivat päässeet hieman sotkeentumaan. Joitain laitteistoja puuttui kokonaan, joitain jo poistettuja oli jäänyt hierarkiaan mukaan ja osia hierarkiasta oli todella hankala käyttää.

Esimerkiksi voimalaitoksen käyttöhenkilökunta ajautui tekemään työtilauksia hierarki-an todellista kohdetta ylemmille tasoille.

Ennakkohuoltotöitä oli kierrossa hyvin suuri määrä ja osa töistä oli pudonnut kierrosta kokonaan. Yleensä näissä tapauksissa itse työ tehtiin määräajoin, mutta tietojärjestelmässä viimeisimmät merkinnät olivat vanhentuneita. Voimalaitoksen varaosia ei ollut aiemmin pidetty Maximon varaosanimikkeinä ja varaosien hallinta haluttiin siirtää Maximoon samalla, kun siirrettäisiin varasto fyysisesti Myllykoski Paperin keskusvarastolle.

Koska tulevasta RCM-projektista oli päätetty, aloitettiin toteutustavalle tarvittavan pohjan luominen Maximon siivoamisella, puuttuvien laitteistojen lisäämisellä tietojärjestelmään, muuttuneiden laitetietojen päivityksellä, ennakkohuoltotöiden läpikäynnillä ja työsuunnitelmien sekä aikataulutuksen tarkastamisella. Tiettyjen laitteiden huolto-ohjeita haluttiin tarkentaa ja laatia niistä huoltokansiot tehtyjen töiden ja ennakkohuoltojen seuraamiseksi myös paperilla.

#### 4.3 Kunnossapidon tietojärjestelmän läpikäynti

Koska kunnossapidon suunnittelu ja töiden hallinnan ensisijainen työkalu on Maximo, valtaosa työskentelystä tehtiin sillä. Varsinaiseen Maximoon tietokoneohjelmana ei tehty muutoksia. Ohjelmallisten muutosten tekeminen ei olisi edes ollut mahdollista paikan päältä. Muutokset tehtiin Vamyn laite- ja muihin tietokantoihin Maximon ehdoilla.

##### **Toimintopaikkahierarkia ja laitekortit**

Laitehierarkia koostuu toimintopaikoista, joilla on looginen, yksilöity tunnus. Toimintopaikalla voi olla useita laitteita. Automaatiojärjestelmillä on omaa logiikkaansa noudattava järjestys omana haaranaan päälaitehierarkiassa. Esimerkiksi toimintopaikkatunnus VFM0804061402 (TURVESIILON PURKAIN CSR-7 KÄÄNTÖMOOTTORI 1) koostuu osista.

*Taulukko 2: Hierarkian toimintopaikan tunnuksen muodostuminen.*

<b>VF</b>	Vattenfall
<b>VFM</b>	Vattenfall, voimalaitos, Myllykoski
<b>VFM08</b>	KPA-käsittely ja lietteen käsittely
<b>VFM0804</b>	KPA-varastosiilot ja kuljettimet
<b>VFM080406</b>	Turvesiilo 2000 m <sup>3</sup>
<b>VFM08040614</b>	Turvesiilon purkain CSR-7
<b>VFM0804061402</b>	CSR-7:n kääntömoottori 1

Esimerkkitoimintopaikkaa seuraava vapaa rinnakkainen toimintopaikka olisi tässä tapauksessa VFM0804061204, joka noudattaa parillisten juoksevien numeroiden loogista järjestystä. Aina tämä logiikka ei ollut pysynyt mielessä ja toimintopaikkoja jouduttiin usein perustamaan uudelleen oikeisiin paikkoihin ja tekemään laitekorttien siirtoja uutta, todellista hierarkiaa vastaavaksi.

Toimintopaikkoja on hierarkiassa runsaasti varsinaisia laitekortteja enemmän. Tämä johtuu hierarkian tarkkuusvaatimuksesta: kaikista laitteista ei ole tarvetta perustaa erillistä laitekorttia, mutta esimerkiksi työtilauksia on voitava kohdentaa tarkalleen tiettyyn toimintopaikkaan. Esimerkiksi K7:n palovesilinjasto käsitti satoja toimintopaikkoja mutta ei ainuttakaan varsinaista laitekorttia.

Laitehierarkian tarkkuus on tärkeää työtilauksia ja työpyyntöjä laadittaessa, töitä suunniteltaessa ja varaosatieitoja määriteltäessä. Myös käytettävyyden ja hakujen kannalta tarkat ja täsmälliset kuvaukset ja tiedot ovat tärkeitä. Tutkimus- ja tilastokäyttöön laaditut analyysit vaativat erittäin suurta tarkkuutta luotettavien tulosten saamiseksi. RCM:n kannalta oli tärkeää saada tarkkoja tietoja eri laitteiden vikaantumisista, työtilausten määristä, työtuntimääristä ja kustannuksista sekä siitä, olivatko työt hälytystöitä. Mikäli

työtilaukset eivät kohdistu oikeille laitteille tai kohdistuvat liian korkealle tasolle hierarkiassa, ei kustannuksia ja työmääriä voida määrittää luotettavasti tilastojen pohjalta.

Laitehierarkiasta siivottiin paljon merkintäeroja, kirjoitusvirheitä ja yleisestä linjasta poikkeavia merkintöjä. Vaikka tietojärjestelmän hakutoiminnot eivät erittele isoja ja pieniä kirjaimia (hakutoiminto ei ole ”case-sensitive”), ne hakevat vain tarkkoja merkijonoja. Kuvauksessa ”VP2” on eri asia kuin ”VP 2”, ”VPII” tai ”VP II”, vaikka kaikkia neljää eri merkintätapaa oli käytetty. Useita laitenimiä muutettiin vastaamaan voimalaitoksen virallisia kaavioita ja laiteluettelaita. Vanhan tekniikan pakottamia, usein todella epäselviä lyhenteitä kirjoitettiin auki käytettävyyden parantamiseksi.

Samassa hierarkian haarassa olevia, kuvaukseltaan identtisiä laitteita nimettiin siten, että ne on helppo yksilöidä selkokielisestä kuvauksesta. Esimerkiksi melko tiheästi mekaanista kunnossapitoa työllistäviä kattila K7:n nuohoimia on yhteensä 34 kappaletta, ja kaikilla oli hierarkiassa sama kuvaus. Käyttöhenkilöstön piti tarkistaa jokainen hierarkian haara yksi kerrallaan kohdistaa työtilaus oikealle laitteelle. Tilannetta hankaloitti se, että nuohoimet eivät ole hierarkiassa numerojärjestyksessä. Toimintopaikkoja muuttamalla saatiin jokainen nuohoin yksilöityä korkeammalla tasolla (ei tarvetta tarkastaa jokaista laitekorttia yksi kerrallaan), jolloin työtilausten kohdistaminen oikealle laitteelle nopeutui. Vaarana on, että henkilöstö mieltää hierarkian epäluotettavaksi tai epäkäytännölliseksi ja työpöyryntö ja työtilaukset ajautuvat ylemmille tasoille hierarkiassa aiheuttaen huomattavaa vääristymää tilastoissa. Koska kunnossapitohenkilöstö löytää kokemuksensa avulla epätarkkojenkin työpöyryntöjen oikeasti tarkoittamat laitteet, ei epätarkkuus tällaisissa tapauksissa korjaannu itsestään.

Laitehierarkiaan tehtiin lisäyksiä mm. uuden VP4-höyryturbiinin puuttuvia toimintopaikkoja, Cummins-varavoimadiesel generaattoreineen, seulotun petihiekan järjestelmä kattila K7:lla ja biopoltoainesiilon polttoainejakaja. Hierarkiasta poistettiin päällekkäisiä hierarkian haaroja ja purettuja laitteita. Haarautuneiden hierarkian osien korjaamisessa jouduttiin korjaamaan myös useita laitekortteja ja ennakkohuoltosuunnitelmia vastaamaan ajantasaista laitehierarkiaa.

Toinen laajamittaisempi hierarkiamuutos tehtiin kattila K7:n ja K7:n savukaasujen käsittelyn laitehierarkiaan, kun niissä havaittiin huomattavaa päällekkäisyyttä. Laitteet olivat sinänsä oikeilla paikoillaan hierarkiassa, mutta harhaanjohtavasti eri ylätasojen alla. Tämän seurauksena tehtiin työtilauksia samalle laitteelle satunnaisesti kummankin hierarkian puolelle. Samalla laitteiden löytäminen hierarkiasta oli hankalaa. Järjestelmän laitesierrot koskivat lähes 200 hierarkian toimintopaikkaa ja useita kymmeniä laitteita. Myös ennakkohuoltotöitä jouduttiin kohdentamaan uudelleen ja yhdenmukaistamaan aikataulutusta ja työohjeita.

Osa muutoksista toteutettiin massa-ajoilla etukäteen laadittujen taulukoiden perusteella. Massa-ajona tehtiin esimerkiksi 4910 erillisen laitteen kriittisyysluokan ajo laitekortteihin. Massa-ajoja varten laadin listat ja toimitin ne ns. Maximo Key Userille, joka on käyttäjätukea tarjoava, kokeneempi ja koulutetumpi paikallisesti nimetty käyttökilö. Massa-ajot tehtiin erillisillä järjestelmätyökaluilla joihin normaalikäyttäjällä ei ole käyttöoikeuksia. Massa-ajolistojen laatimisessa tuli ottaa huomioon, että massa-ajot Maximoon eivät ota kantaa hierarkiajärjestykseen, eli ajettavan laitehierarkian tason voi lisätä vain, jos sille määritelty ylätaso on jo olemassa. Toisin sanoen laitteet tuli lisätä ”laittepuun tyvestä latvaan” ja se on otettava huomioon toimintopaikkatunnuksia määriteltäessä. Monimutkaisissa lisäyksissä tämä tarkoittaa usean listan käyttöä järjestyksessä. Työn päättyessä Maximo käsitti voimalaitoksen puolella hierarkiassa noin 12000 toimintopaikkaa ja yli 8000 tarkempaa laitekorttia.

### **Vanhat ennakkohuollot ja työsuunnitelmat**

Ennakkohuoltojen osalta käytiin läpi samanlainen tarkastelu kuin laitehierarkian kohdalla. Tunnuksia ja kuvauksia yhdenmukaistettiin, virheellisiä merkintöjä korjattiin, puuttuvia tietoja lisättiin ja tarpeettomat tai purettuihin laitteisiin kohdistuvat ennakkohuollot lopetettiin. Ennakkohuoltotöiden ja työsuunnitelmien vastuuhenkilöt muutettiin vastaamaan nykyistä organisaatiota. Myös yhtiön turvallisuustavoitteiden mukaisesti jokaisen työsuunnitelman ensimmäiseksi vaiheeksi muutettiin kehoitus työturvallisuuden varmistamiseen ennen työskentelyn aloittamista. Työsuunnitelmien osalta suurimmat muutokset olivat viittaukset turvallisuuteen, työnjohtajien tunnusten saattaminen ajan tasalle sekä 80 prosessierotustyöohjeen korvaaminen yhdellä viitteellä. Koska ero-



tustyöt eivät ole varsinaisesti kunnossapitotöitä, eikä niitä tehdä määräajoin, ei niiden pitämisenä listattuna kunnossapidon tietojärjestelmässä hyödytty mitään. Kaiken lisäksi erotustyöt kuuluvat käyttöhenkilöstön tehtäviksi. Erotustöistä on olemassa omat, Vamy Oy:n henkilökunnan ylläpitämät erotustyöohjeet.

### **RCA:n hyödyntäminen ennakkohuoltojen tarkastamisessa**

Maximon ominaisuuksien laajennuksen yhteydessä käyttöön tulevassa workflow- työohjauksessa on olemassa automaattiominaisuus, joka pakottaa laatimaan RCA-analyysin aina, kun laaditaan BR-työ laitteelle, jonka kriittisyysluokka on 5. Tämän ominaisuuden käyttöönoton myötä saadaan enemmän ja tarkempaa tietoa laitteiden vikaantumismalleista. Toistaiseksi RCA-analyysit on laadittu höyryvoimalaitoksella vain koeluontoisesti muutamista tapauksista. Höyryvoimalaitoksella juurisyyanalyysijä oli tehty niukasti, ja analyysien vähäisen määrän takia ei niistä saatu juuri lisätietoja muuten kuin vika historian muodossa. Myös paperitehtaan puolella tehtyjen analyysien tarkastelu avasi ajattelumalleja vikaantumisia ja ennakkohuollon keinoja pohtiessa.

### **Töiden reitittäminen**

Työn alkaessa Maximossa oli voimalaitoksen puolella lähes 1900 erillistä ennakkohuoltotyötä, joiden määrää oli tarkoitus karsia huomattavasti. Näin suuren erillisten töiden määrän hallinta on hyvin hankalaa, mikä oli osaltaan johtanut töiden kierrosta jälkeen jäämiseen ja vanhentumiseen. Tavoitteen saavuttamisessa on RCM tärkein työkalu, mutta projektia valmisteltaessa tehtiin pohjatyönä muutoksia ennakkohuoltosuunnitelmiin. Rutiininomaisten, usein toistuvien töiden reitittämistä vietiin eteenpäin ottamalla mukaan uusien laitteiden ennakkohuoltoja reiteinä sekä korvaamalla vanhoja, erillisiä ennakkohuoltotöitä reiteillä aina, kun se oli soveltuva. Myös hyvin samankaltaisia ennakkohuoltoja muutettiin tehtäväksi samalla aikataululla yhden työn alle.

Reitittämisellä yhdistettiin useita samankaltaisia työtehtäviä yhden ennakkohuoltotyön alle siten, että rutiininomaista tehtäviä, samankaltaisia töitä koottiin yhdeksi listaksi ja järjestettiin loogiseksi ”kulkureitiksi” laitoksella. Esimerkiksi toistuvat, samoilla työkaluilla

tehdyt anturien tarkastuskierrokset ja pyörivien laitteiden rasvauskierrokset on helppo ryhmittää alueellisesti.

Reitittäminen helpottaa jatkuvien rutiinien hallintaa ja työkuormien tasapainottamista. Reitit ovat loogisina kokonaisuuksina myös helpompi ohjeistaa esimerkiksi kesälomittajia varten. Esimerkiksi voiteluhuolto sisältää yhdeksän reittiä ja ne aikataulutettiin helposti luettavaan viikkokalenteriin, joka laadittiin vuoden 2011 loppuun saakka. Voiteluhuollosta puuttuneet työt pyrittiin ensisijaisesti lisäämään reittien varrelle. Esimerkkinä useiden irrallisten ennakkohuoltotöiden kokoamisesta on kattila K7:n nuohointen öljynvaihtotyöt. Entiset 34 erillistä työtä omine aikataulutuksineen ja ohjeineen korvattiin yhdellä ennakkohuoltoreitillä.

### **Varaston siirto ja varaosanimikkeet**

Tavoitteena oli saada ostot ja laitteiden varaosien tilaus kokonaan Maximon alaisuuteen. Tärkeimpien laitteiden varaosat haluttiin liittää laitekortin tietoihin. Kaikille varaosille määriteltiin nimiketunnukset ja nimikkeitä listattiin näiden laitteistojen alle siten, että laitehierarkiaan saatiin vietyä laitteen varaosatieidot ja varaosien saldot. Tavoitteena oli, että varastosta otot tehtäisiin aina työtilaukselle kunkin laitteen kohdalla. Samalla saataisiin saldotiedot ajantasaistettua ja automaattiset tilausrajat otettua käyttöön. Kun varastoa ja varaosia hallinnoidaan samalla järjestelmällä kuin kunnossapitotöitä ja laitteitakin, saadaan yksinkertaistettua toimintatapoja ja parannettua esimerkiksi seisokkistöiden suunnittelua. Maximon alaisuudessa olevaan varastoon voi myös tehdä työtilausta laatiessa saldovarauksia. Saldovaraukset takaavat, että monta päällekkäistä työtä ei kilpaile samoista varaosista.

Vamy Oy:n laitteiden varaosat siirrettiin höyryvoimalaitoksen tiloista Myllykoski Paper Oy:n keskusvarastolle. Osat kirjattiin ns. takonumeroja varten listaan höyryvoimalaitoksen tiloissa ja vietiin keskusvarastoon varastohenkilöstön hyllytettäväksi. Samalla luotiin varaosanimikkeet Vamy Oy:n tavaroille Maximoon listan perusteella. Samalla tehtiin nopea inventointi varaosanimikkeiden määristä.

### **ABC-analyysi voimalaitoksella**

RCM:n käyttöönottoa varten tehtiin voimalaitoksella ABC-analyysi jossa käytettiin kriteereinä asiakkaan tarpeita siten, että luokan A laitteiden vikaantuminen johtaa välittömään höyrypulaan ja paperikoneiden pysähtymiseen. Luokan B laitteiden vikaantumisen johtaa höyryn tuoton menettämiseen viimeistään kahdeksan tunnin sisällä. Luokan C laitteiden vikaantuminen johtaa höyryn tuoton menettämiseen yli kahdeksan tunnin päästä vikaantumisesta. RCM-pilottivaiheen käsiteltäväksi kohteeksi valittiin kiinteän polttoaineen linja polttoainesiloilta aina kattila K7:n tulipesään saakka. [liite 1] Koska tämä valinta oli ennustettavissa jo ennen tammikuun 2010 RCM-pilottiprojektin aloituspalaveria, otettiin huomioon siihen kuuluvien laitteiden analyysit valmistelemissä töissä jo syksyllä.

### **Laitteiden kriittisyysluokittelu**

Laitteille tehtiin ABC-analyysin lisäksi myös kriittisyysluokittelu, jossa jaettiin laitteet luokkiin 1 – 5 laitteen vikaantumisen seurauksien mukaan. Luokkaan 1 kuuluvat laitteet, joiden vikaantumisella ei ole käytännön vaikutuksia tai laitteet joita ei voida sijoittaa mihinkään muuhun luokkaan. Luokan 2 laitteet aiheuttavat vikaantuessaan seurauksia, mutta eivät vaikuta prosessiin. Luokan 3 laitteilla on vikaantuessaan prosessiin laadullisia vaikutuksia. Luokan 4 laitteet aiheuttavat vikaantuessaan kattilan välittömän alasajon. Luokan 5 laitteet aiheuttavat vikaantuessaan riskin ympäristölle tai turvallisuudelle.

Valtaosa laitteista kuuluu luokkaan 3, mikä on normaali jakauma teollisuuslaitoksissa. Luokkiin 1 ja 5 kuuluu suhteellisen vähän laitteita. [liite 2]

### **Ennakkohuoltojen ja tarkastusten aikatauluttaminen**

Ennakkohuoltojen oikea jaksottaminen on yksi kustannustehokkuuden kulmakivistä. Ennakkohuoltojen läpikäyminen painotettiin analyyseissä tärkeimmiksi todettuihin laitteisiin. Tärkeimmät laitteet ovat ABC-analyysin ja riskianalyysin yhdistämisestä saadut ryhmittelyt A5, A4, B5 ja B4.

Ensisijaisesti tarkistettiin, että kaikkien tärkeimmiksi arvioitujen laitteitten ennakkohuollot ovat ajan tasalla ja työt olivat aikataulutettuina ja mukana työkierrossa. Myös jaksotukseen haluttiin kiinnittää huomiota. Laitteiden erilaiset vikaantumistaajuudet ja -alttiudet otettiin huomioon eri laiteryhmien ennakkohuoltojen kohdalla. Laitteille on määritelty vikaluokat niitten vikaantumisen perusteella. Laitekortissa on kenttä vikaluokkaa varten. Joidenkin laitteiden tarkastukset on määritelty viranomaisten toimesta (kemikaaliasetus, paineestiaksi luettavat laitteet jne.).

Muissa tapauksissa noudatettiin kokemuksen perusteella hyväksi havaittuja tarkastus- ja huoltovälejä. Myös työkuorman tasainen jakaminen otettiin huomioon. Seisauksiin aikataulutettiin vain sellaisia ennakkohuoltoja, joita ei voida muulloin tehdä ja sellaiset laitehuollot, joita voidaan tehdä ympäri vuoden, jaettiin mahdollisimman tasaisesti.

Muutamissa tapauksissa ennakkohuoltoväliä pidennettiin varovasti. Koska ei haluttu riskeerata tarkastusvälin liiallista pitenemistä, olivat muutokset hienovaraisia. KPA-linjaston kohdalla laadittiin uusi, tarkempi ohje tarkastuskierron suorittamisesta laitekohtaisine ohjeineen. Kevyet visuaaliset tarkastukset linjattiin tehtäväksi joka kerta kun laitteella tehdään kunnossapitotöitä. Suurin tarkastusvälin harvennus tehtiin paineilman jakelun suodattimien tarkastus- ja vaihtotöille. Koska paineilma on laadultaan erinomaista, suodattimien vaihtojen väliä pidennettiin 52 viikosta 104 viikkoon automaatioasentajien kokemusten perusteella. Voiteluhuollon töihin tehtiin eniten aikataulutusmuutoksia sekä tasaamaan työkuormaa että mahdollistamaan tuotantoseisauksien aikaiset huollot.

Maximosta pyrittiin siivoamaan pois kaikki tarpeeton ja ylläpitämään laitehierarkiaa, laitekortteja, ennakkohuoltotöitä ja työsuunnitelmia siten, että kaikki merkinnät ovat yhteisen linjan mukaisia. Yksinkertaisia pikkumuutoksia ei kirjattu erikseen ylös, mutta kaikki merkityksellisemmät muutokset ja lisäykset kirjattiin Excel-taulukkoon. Taulukkoon tuli yli 1300 muutosta. Myös taulukkoon kirjaamattomia muutoksia tuli huomattavasti, esimerkiksi pelkästään ennakkohuolloista vastaavien työnjohtajien tunnusten muutoksia nykyistä organisaatiota vastaavaksi tuli noin 300 kappaletta. Massa-ajojen muuttuneiden tietueiden määrä kasvaa useisiin tuhansiin.

## **VP4 laitetiedot ja ennakkohuollot**

Höyryvoimalaitoksen uusimman höyryturbiinin, eli VP4:n laitetietoja täydennettiin. Laitehierarkiaan piti perustaa toimintopaikat korkea-, väli- ja matalapainehöyrylle, jäähdytysvedelle ja korkea-, väli- ja matalapainelauhteille sekä jatkuvan akseli- ja laakerivärähtelymittauksen antureille. Myös joitain apulaitteita lisättiin laitekortteineen. Hierarkiaa täydennettäessä VP4:n pi-kaavioista löytyi virheellisiä merkintöjä, jotka korjattiin käyttöhenkilöstön kanssa.

VP4-höyryturbiinin ennakkohuoltosuunnitelmat voitiin laatia suoraan vastaamaan paperikone 7:n RCM-projektin viitoittamaan malliin. Perusajatuksena oli, että ei laadita suurta määrää yksittäisiä ennakkohuoltotöitä pyörimään jaksotuksineen sekaisin vaan luotaisiin sopivin kokonaisuuksin hallittavia paketteja tarkemmilla työsuunnitelmissa. VP4:n kohdalla jaottelu tehtiin itse turbiinin, vaihteiston sekä generaattorin ennakkohuoltoihin tiimeittäin. Jokainen osakokonaisuus sai 1 – 2 ennakkohuoltosykliä voitelun, mekaanisen kunnossapidon, automaatiolaitteiden kunnossapidon ja sähkömiehen vastuulla. Näin saatiin pidettyä ennakkohuollot hallittavassa muodossa ja määrältään pieninä kokonaisuuksina. Huoltosyklien pieni määrä ei kuitenkaan tarkoita että laitteita huollettaisiin entistä vähempää.

Työn päättyessä Maximossa oli voimalaitoksen puolella noin 1700 kappaletta aktiivista ennakkohuoltotyötä, noin 300 aktiivista työsuunnitelmaa sekä 18 käytössä olevaa ennakkohuoltoreittiä. Tärkeintä on, että tietueet ovat selkeämpiä ja tiedot tarkempia.

## **Kiinteän polttoaineen linjaston ennakkohuollon tarkentaminen**

Koska kiinteän polttoaineen käsittely on laitteita voimakkaasti kuluttavaa, helpottaa säännöllinen ja tarkkoja mittaustuloksia sisältävä seuranta arvioimaan oikeaa hetkeä tehdä suurempia kunnostustöitä. Vaikka vikaantuminen on melko helposti ennustettavaa, on korjaus hyvin kallista, jos sitä joudutaan tekemään suunnitellun aikataulun ulkopuolella. Myös tiettyjen osien toimitusaika on poikkeuksellisen pitkä. Pääosa laitteista on asennettu 2001, joten odotettavissa on laitteiston kulumisen takia enemmän ja kalliimpia töitä.

KPA-linjalle laadittiin laitetoimittaja Raumaster Oy:n edustajan päivän kestäneen koulutuskierroksen, laitekohtaisten huolto-ohjeiden ja käytännön kokemusten pohjalta tarkastusohjeistus. 140-sivuisessa tarkastusohjeessa on 55 eri laitteen määräaikaistarkastuskohteet sanallisoin ohjein sekä tarvittaessa selventävin kuvin. Jokaiselle laitteelle laadittiin samalla tarkastuskortti, joka voidaan tulostaa mukaan työpisteelle mentäessä. Ohjeistus ja työkortit jätettiin ABB:n palvelimelle avoimessa muodossa kaikkien saataville. Ohjeet jätettiin vapaasti muokattaviksi tulevaisuuden tarpeita varten.

Jokaisen laitteen työkortti sisältää tarkastuslistan kyseisen laitteen tarkastuskohteista, toleransseja, mittoja ja ohjeita sekä avoimet kentät, joihin voidaan kirjata tilattuja korjauksia. Tulosteita varten laadittiin kansiot, joihin voidaan kerätä kunkin työn jälkeen täydennetty työkortti. Näin saadaan selkeää, konkreettista tietoa laitteiston kunnosta, huoltohistoriasta ja muista havainnoista. Tulevaisuudessa vastaavat tiedot voidaan kirjata sähköisesti.

#### 4.4 RCM-projekti

Itse RCM-pilottiprojekti aloitettiin voimalaitoksella tammikuussa 2010. Tarkoituksena oli viedä RCM-prosessi läpi määrätyllä alueella ja myöhemmin laajentaa menetelmä koskemaan koko laitosta. Projektin pilottivaihe aikataulutettiin valmistumaan kesällä 2010 ja laajennuksen aikatauluksi alustavasti 2011 - 2012. Pilottipalaverissa alueeksi valittiin KPA-linjasto varastosiiloilta kattila K7:n tulipesään asti. Jotta projektiin saataisiin mahdollisimman paljon kokemusta ja näkemyksiä, RCM-työryhmään valittiin niin tuotannon työntekijöitä, kunnossapidon työntekijöitä kuin toimihenkilöitäkin.

## Tavoiteasetanta

KPA-linjasto valittiin, koska sillä ilmeni paljon vikaantumisia ja kunnossapitokulut olivat korkeat, vaikka käytettävyyttä olikin kyetty pitämään yllä hyvin. RCM-pilotin tavoiteasetannaksi määriteltiin:

- Kunnossapitokustannusten alentaminen suhteessa aikakäytettävyyteen
- Ennakoivan kunnossapidon töiden määrän kasvattaminen suhteessa korjaavan kunnossapidon töiden määrään.

Aikakäytettävyydestä ei haluttu tinkiä. Vuoden 2009 seurannan perusteella aikakäytettävyys koko KPA-linjastolla oli kuukausittain 97,37 % - 100 %. Kumulatiivinen, koko vuoden aikakäytettävyys oli 99,64 %.

Tavoiteasetannan määrittelyn ja käsiteltävän alueen rajaamisen jälkeen aloitettiin tietojen keräys ja laitteiden vikaantumisen mallintaminen kaupallisella ELMAS-ohjelmalla vikapuuksi. Vikapuun ideana on rakentaa toiminnoista puuhierarkia siten, että juuressa on päätoiminto jonka haaroissa on osatoimintoja. Osatoiminnot on jaettu tarpeelliseen määrään omia osatoimintojaan. Tätä jaottelua kutsutaan top-down-jaotteluksi sen mukaan miten varsinaiset juurisyyt jäsentyvät. Top-down-jäsentelyssä vikapuun oksien päistä löytyy aina juurisyy toimintojen menettämiselle. Se voi olla esimerkiksi jonkun osakokonaisuuteen kuuluvan kuljettimen laakeroinnin pettäminen. Toimintojen kahdentaminen ja tärkeys otetaan huomioon solmujen välisillä OR- ja AND-ehdoilla. Näin esimerkiksi 100-prosenttisesti kahdennetun laitteiston kohdalla toisen menettäminen ei vielä johda kyseisten laitteiden toiminnallisuuden menettämiseen.

ELMAS-vikapuulla simuloidaan kunkin mahdollisen vikaantumisen aiheuttamia kustannuksia. Kustannuksiin lasketaan mukaan varaosakustannukset, työkustannukset sekä toteutumatta jääneen tuotannon kulut. Huolella täytetty vikapuu antaa laskemalla analyysin siitä, mitkä viat tulevat kaikkein kalleimmiksi. Koska laskenta vaatii hyvin tarkkaa tietoa kustannuksista, vikaantumistaajuuksista, korjausajoista ja mahdollisesti alentuneesta käytettävyydestä, oli projektin pohjustus tehtävä tarkasti. On vapaasti valittavissa, kuinka syvällisesti analyysiä tehdään. Mitä tarkemmin prosessin toiminnot on ja-

oteltu, sitä tarkempi mutta työläämpi analyysi on. Etenkin pilottiprojektissa saadaan kohtuullisessa ajassa paremmat tulokset pitämällä analyysin syvyys kohtuullisena.

Analyysin valmistuttua voidaan alkaa etsiä toimenpiteitä joilla ehkäistään toiminnon menettämiseen johtavia vikoja. KPA-linjasto sisältää runsaasti kohteita, joiden vikaantumiseen voidaan vaikuttaa ennakkohuollolla, kuten moottorit, vaihteet, kuljettimet, ruuvit, kolat ja laakeroinnit.

ELMAS-vikapuun ohessa työkaluna käytettiin FMECA-analyysiä, vaikka työskentely painottuikin ELMASiin. FMECA on hyvä työkalu erottelmaan tärkeimpiä laitteita muiden seasta. Tuhansia laitteita käsittävästä kokonaisuudesta on vaikea hahmottaa eroja eri laitteiden kriittisyyden välille, koska käytännössä laitteilla voi olla sama kriittisyysluokka, vaikka toinen on kalliimpi korjata, vika-alttiimpi ja vikaantuessaan suurempi riski ympäristölle.

RCM:n edistymistä seurataan ABB:n kehitysryhmän vetämänä ns. gate-mallilla jossa on määritelty karkeasti vaiheet ja projektin aikataulus. Aina kun yksittäinen vaihe on todettu valmiiksi, kuitataan se työn vaihe tehdyksi ja siirrytään seuraavaan osakokonaisuuteen. Seurannan ”portit” antavat kohtuullisen kuvan siitä, kuinka pitkälle projekti on edennyt vaiheissa mitattuna.

RCM-projekti osoittautui monimutkaisemmaksi ja laajamittaisemmaksi kuin oli odotettu ja työskentely ehti tämän työn päättyessä tiedonkeruun ja vikaantumismallien määrittelyn asteelle. Ennakkotöistä johtuen kuitenkin osa tulevaisuuden työvaiheista on jo aloitettu.



## 5 YHTEENVETO

Ennakkohuoltosuunnitelma on jo keskikokoisella voimalaitoksella hyvin laaja. Voimalaitoksen kunnossapidon erityispiirteinä on mm. suhteellisesti suuri painelaitteiden ja hyvin kuumien laitteiston osien määrä. Myös laitoksen toiminnan luonne luo toimivalle ennakkohuollolle paljon vaatimuksia. Esimerkiksi kattiloiden alasajot tai höyryverkon osien erottaminen vikakorjauksia varten on hyvin kallista, hidasta ja riskialtista, joten ennakkohuollolta vaaditaan paljon. Myös alati kiristyvät kunnossapitobudjetit luovat haasteita joka puolella maailmaa ja kaikilla aloilla.

Ennakkohuoltojärjestelmä Maximon käytettävyyttä parannettiin niin paljon kuin voitiin ilman ohjelmallisia muutoksia. Tämän työn alkaessa Maximo ei ollut tuttu tuntikirjanpitoa lukuun ottamatta. Laaja hierarkia tuhansine laitteineen ja sekavan oloinen ennakkohuoltosuunnitelma hankaline lyhenteineen tuntui suurelta haasteelta. Tietojärjestelmän ulkopuolinen osuus työstä, ohjeiden päivittäminen kunnossapitohenkilöstön käytännön kokemusten, laitevalmistajien ohjeiden ja laitoksen omien määräysten perusteella sujui kuitenkin hyvin ja työn edetessä Maximolla työskentely oli koko ajan sujuvampaa. Myös Maximon ominaisuuksien laajentaminen oli käynnissä samaan aikaan ja järjestelmään tuli kokeneillekin käyttäjille uusia ominaisuuksia.

Työskentelyn tuloksena voimalaitokselle jäi useita tuhansia pieniä ja suurempia muutoksia, uusia ennakkohuoltotöitä, ennakkohuoltoreittejä ja työohjeita tietojärjestelmän puolelle, sekä kirjalliset ohjeet kiinteän polttoaineen käsittelylaitteiston tarkastuksista. Ennakkohuoltotöiden aikataulutusta ja työohjeita saatiin parannettua. Tämä työ loi osaltaan hyvän pohjan ennakkohuoltojen kehittämiseksi jatkossakin jatkuvan parantamisen hengessä.

KPA-linjaston tarkastusohje otettiin käyttöön heti sen valmistuttua. Varaosatietojen hyödyntäminen aloitettiin sitä mukaa kuin tietojen täydentäminen eteni. Muiden Maximon uusien ominaisuuksien hyödyntäminen vie varmasti jonkin aikaa, koska opeteltavaa on niin työntekijöillä kuin johtajillakin.

Työskentelyaika kului nopeasti ja viihdyin erittäin hyvin. Toivon, että tietojärjestelmän systemaattinen käyttö kehittyy jatkossakin. Tämä vaatii jonkin verran omistautumista henkilöstöltä. Valmistuessaan RCM-projekti ja Maximon ominaisuuksien laajentaminen ja käyttöönotto avaavat uusia mahdollisuuksia tehostaa ennakkohuoltoa.

## LÄHTEET

1. Myllykoski Paper Oy:n internetsivut. Saatavissa:

<http://www.myllykoski.com/FI/Myllykoski+Group/Myllykoski+Paper/frontpage.htm>

[viitattu 4.1.2010].

2. Vattenfall Oy:n internetsivut. Saatavissa:

[http://www.vattenfall.fi/www/vf\\_fi/vf\\_fi/584273tieto/584481vatte/584545konse/index.jsp](http://www.vattenfall.fi/www/vf_fi/vf_fi/584273tieto/584481vatte/584545konse/index.jsp)

[viitattu 4.1.2010].

3. Vattenfall Oy:n uutisarkisto. Saatavissa:

[http://www.vattenfall.fi/www/vf\\_fi/vf\\_fi/582841yksit/582889tuott/583017kauko/1146865ajank/1272546lxmlpx/index.jsp](http://www.vattenfall.fi/www/vf_fi/vf_fi/582841yksit/582889tuott/583017kauko/1146865ajank/1272546lxmlpx/index.jsp)

[viitattu 4.1.2010].

4. Raumaster Oy:n kansio Vamy Oy Myllykosken voimalaitos, Polttoaineen ja tuhkan käsittelylaitteet, Proj.1092,1101 ja 1609.

5. ABB Oy:n internetsivut, esittely. Saatavissa:

<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad01467/3484f40bd9f21d70c125719400456d3e.aspx>

[viitattu 28.12.2009].

6. ABB Full Service ®. Saatavissa:

<http://www.abb.com/service/seitp335/97c20a58890fe2ccc1257576004b5e20.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

[viitattu 10.11.2009].

7. ABB Servicen Pikaiset- henkilöstötiedote. Saatavissa:

[http://www300.abb.com/global/gad/gad00899.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/835f56a9de3ea502c125750700203384/\\$FILE/Pikaset%20182008.pdf](http://www300.abb.com/global/gad/gad00899.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/835f56a9de3ea502c125750700203384/$FILE/Pikaset%20182008.pdf)

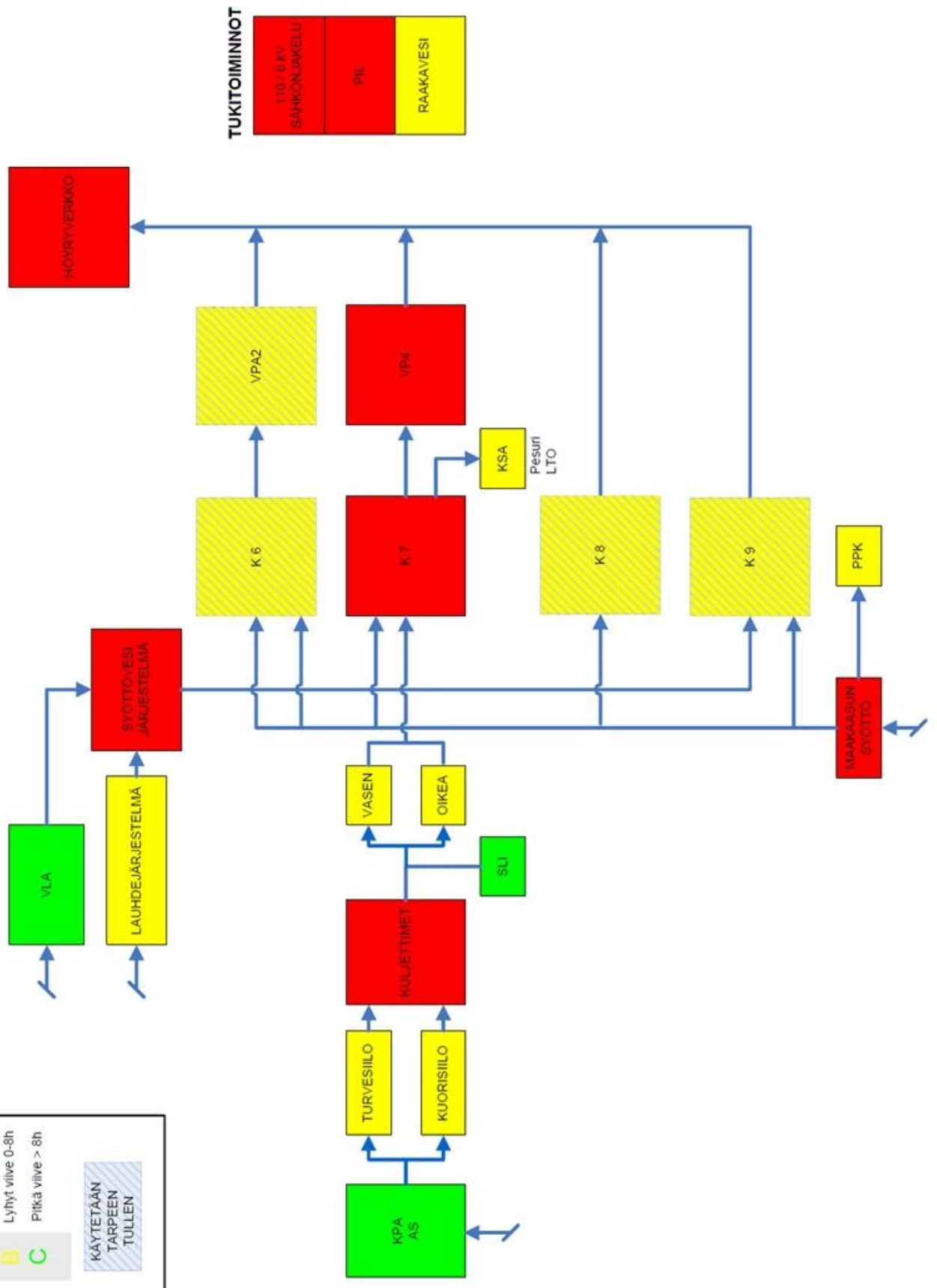
[viitattu 25.11.2009].

8. Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T., 2007. Kunnossapito, KP-Media Oy.
9. Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry:n internetsivut, diasarja. Saatavissa:  
[http://www.promaint.net/general/Uploads\\_files/Kunnossapito\\_2007\\_180407.pdf](http://www.promaint.net/general/Uploads_files/Kunnossapito_2007_180407.pdf)  
[viitattu 1.12.2009].
10. Kujala, J-P., ABB Oy, 2008. RCA-koulutus, ABB:n RCA-koulutusmateriaali.
11. Kleine, B., ABB Oy CMRP, 2006. RCM-training material, ABB:n RCM-koulutusmateriaali.
12. Paakkonen, J., ABB Oy FS-Kehitys, 2009. Luotettavuuden kehittäminen, Myllykoski, luentokalvosarja.
13. Opetusministeriön verkko-oppimateriaali, vika-analyysit. Saatavissa:  
[http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_6-1\\_vikojen\\_analysointi.html](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_6-1_vikojen_analysointi.html)  
[viitattu 10.1.2010].
14. Opetusministeriön verkko-oppimateriaali, kunnossapito-ohjelmat. Saatavissa:  
[http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_7-3\\_kunnossapito-ohjelman\\_suunnittelu.html](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_7-3_kunnossapito-ohjelman_suunnittelu.html)  
[viitattu 10.1.2010].
15. Opetusministeriön verkko-oppimateriaali, TPM. Saatavissa:  
[http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_5-4\\_tuottava\\_kunnossapito.html](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_5-4_tuottava_kunnossapito.html)  
[viitattu 11.1.2010].

HÖYRYVOIMALAITOS; ABC-LUOKITTELU FLOW-KAAVIONA

A välttön pysäytys  
B Lyhyt viive 0-8h  
C Pitkä viive > 8h

KÄYTETÄÄN TARPEEN TULLEN



**TUKITOIMINNOT**

110 kV SAHKONJÄVELLÄ

PIL

RAAKAVESI

### Laitteiden kriittisyysluokat höyryvoimalaitoksella

Kriittisyysluokka	Laitteiden lukumäärä	
1	127	1,53 %
2	1111	13,35 %
3	6237	74,92 %
4	578	6,94 %
5	272	3,27 %
	8325	

