



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Biojalostamon ennakkohuoltotoimenpiteiden valinta laiteluokittain

Onni Pikarinen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Onni Pikarinen

Nimeke
Biojalostamon ennakkohuoltotoimenpiteiden valinta laiteluokittain

Toimeksiantaja
UPM Kymmene Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli luoda suunnitelma pyörivien laitteiden ennakkohuoltotoimenpiteistä UPM:n Lappeenrannan biojalostamolla. Lisäksi tutkittiin kunnossapitotöiden raportoinnin parantamista ja sen mahdollisuuksia osana ennakkohuoltojen suunnittelua.

Tavoitteena oli tuoda suunnitelmallisuutta ja selkeyttä ennakoivien kunnossapitotöiden suorittamiseen sekä luoda pohja uusien laitteiden huolloille. Kohteena oleva laitteisto jaettiin laiteluokkiin, ja samat huoltotoimenpiteet osoitettiin pääasiassa kaikille laiteluokan objekteille. Opinnäytetyössä kartoitettiin kunnossapidon nykytilannetta, ja sen pohjalta arvioitiin sopivat toimenpiteet.

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin ennakkohuolto-ohjelma, jonka toimenpiteet lisättiin määräajoin generoituviksi työmääräyksiksi suunnitelman mukaan. Lisäksi luotiin ohjeistuksia sekä tehtiin muutoksia kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään. Työ suoritettiin kevään 2022 aikana.

Kieli
suomi

Sivuja 40
Liitteet 1
Liitesivumäärä 2

Asiasanat
ennakkohuolto, raportointi, kunnonvalvonta



THESIS
May 2022
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Onni Pikarinen

Title
Selection of Preventative Maintenance Plan Based on Machine Groups at UPM Lappeenranta Biorefinery

Commissioned by

Abstract

The purpose of this thesis was to create a preventive maintenance plan for rotating devices for UPM Lappeenranta biorefinery. In addition, the improvement of maintenance reporting and its potential use as part of preventive maintenance planning was studied.

The aim of this thesis was to establish planning methods and clarity to the performance of preventive maintenance work and to create a basis for the maintenance of new equipment. The target equipment was divided into equipment categories and the same maintenance procedures were assigned to mainly all equipment category objects. The current state of maintenance was surveyed, and appropriate measures were evaluated based on this survey.

As a result of this thesis, a preventive maintenance program was created, instructions were drawn up, and changes were made to improve the performance of the maintenance ERP system. The work was carried out during the spring of 2022.

Language
Finnish

Pages 40
Appendices 1
Pages of Appendices 2

Keywords
preventive maintenance, reporting, condition monitoring

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	5
1.2	Työn rakenne ja rajaus	6
2	Kaukaan tehdasintegraatti	6
2.1	Kaukaan tehtaas.....	6
2.2	UPM Biopolttoaineet	7
2.3	Lappeenrannan biojalostamo.....	8
3	Kunnossapito	9
3.1	Kunnossapitolajit.....	10
3.2	TPM	11
3.3	RCM	13
3.3.1	Run-to-failure	16
4	Kunnonvalvonta	18
4.1	Kunnonvalvonta yleisesti	18
4.2	Värähtelymittaukset	19
4.3	Ainetta rikkomaton koestus (NDT-menetelmät)	20
4.4	Kulumishiukkasanalyysi.....	21
4.5	Suorituskyvyn seuranta	21
4.6	Lämpökamera.....	22
5	Näyttöön perustuva omaisuudenhallinta (Evidence-based asset management).....	22
6	Raportoinnin ja historian hyödyntäminen kunnossapidossa	25
7	Biojalostamon ennakkohuolto-ohjelma	30
7.1	Työssä tarkasteltu laitteisto.....	31
7.2	Työskentelyvaihe	32
8	Töiden raportoinnin parantaminen	33
9	Tulokset	34
10	Pohdinta.....	36
	Lähteet.....	38

Liitteet

Liite 1

Biojalostamon ennakkohuoltotyöt

Keskeiset käsitteet

Aikaan perustuva kunnossapito	Kunnossapito, joka suoritetaan ennalta määrätyn ajan tai käytön mukaan.
EBAM	Evidence-based asset management (näyttöön perustuva omaisuudenhallinta) kts. s.24
Ennakoiva kunnossapito	Ennakoivat toimenpiteet vikaantumisen ehkäisyyn.
Jaksotettu korjaus	Ennalta määrätyn käytön tai ajan mukaan suoritettava kunnossapito. (SFS-EN 13306, 2017)
Jaksotettu uusinta	Ennalta määrätyn käytön tai ajan mukaan suoritettava laitteen tai komponentin uusinta. (SFS-EN 13306, 2017)
Korjaava kunnossapito	käsittää toimet kohteen palauttamiseksi toimintakykyiseksi vian havaitsemisen jälkeen. (SFS-EN 13306, 2017)
Kuntoon perustuva kunnossapito	Ehkäisevää kunnossapitoa, jossa kohteen suorituskykyä seurataan ja reagoidaan havaintojen mukaisesti
RCM	Reliability centered maintenance, kts. s. 14
Run-to-failure	kts. s. 17
TPM	Total Productive Maintenance, kts s. 12.
Vian etsintä	Vian etsintään kuuluu vian paikannus, tunnistus ja syiden selvittäminen. (SFS-EN 13306, 2017)

1 Johdanto

Ennakoiva kunnossapito auttaa vähentämään suunnittelemattomista seisokeista johtuvaa tuotannon menetystä ja kunnossapidon kustannuksia. Toisaalta ennakoivia huoltotöitä voidaan myös tehdä liikaa. Pahimmillaan tämä aiheuttaa vain kustannusten nousua, mutta tuotantolaitoksen käytettävyys ei parane enää merkittävästi tietyn pisteen yli mennessä. Kunnossapito-ohjelmaa luodessa on löydettävä kohteeseen sopivat toimet, jotka parantavat käytettävyyttä, mutta pitävät kustannukset kohtuullisina. Luotettavuutta päätöksen tekoon tuo useisiin lähteisiin tukeutuminen sekä niin kutsutun hiljaisen tiedon hyödyntäminen osana faktojen ja tunnuslukujen kanssa. Nämä seikat pyrittiin huomioimaan työn lopputuloksena syntyneessä ennakkohuolto-ohjelmassa.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Työn aihe tuli toimeksiantajalta vastaamaan todellista tarvetta. Biojalostamolla ei ollut varsinaista mekaanisen kunnossapidon ennakkohuoltosuunnitelmaa. Ennakoivia kunnossapitotoimia oli tehty, mutta nämä suoritettiin kunnossapidon toimihenkilöiden aiempien kokemusten ja muistin perusteella. Ennakoivia työtöitä oli luotu yksittäisiä kappaleita kunnossapidon järjestelmiin. Tavoitteena oli valita pyöriville laitteille sekä venttiileille oikeat toimenpiteet, jotta ennakoivan kunnossapidon määrä lisääntyy ja toisaalta korjaavan kunnossapidon määrä vähenee. Lisäksi työssä haluttiin lisätä ennakkohuoltojen täsmällisyyttä sekä toistuvuutta.

Lisäksi haluttiin vastata kysymykseen: ”Voidaanko raportointia hyödyntää osana ennakkohuolto-ohjelman suunnittelua?” Työssä tutkittiin kunnossapitotöiden raportoinnin mahdollisuuksia sekä luotiin toimintaohjeita ja käytäntöjä kohti laadukkaampaa raportointia.

1.2 Työn rakenne ja rajaus

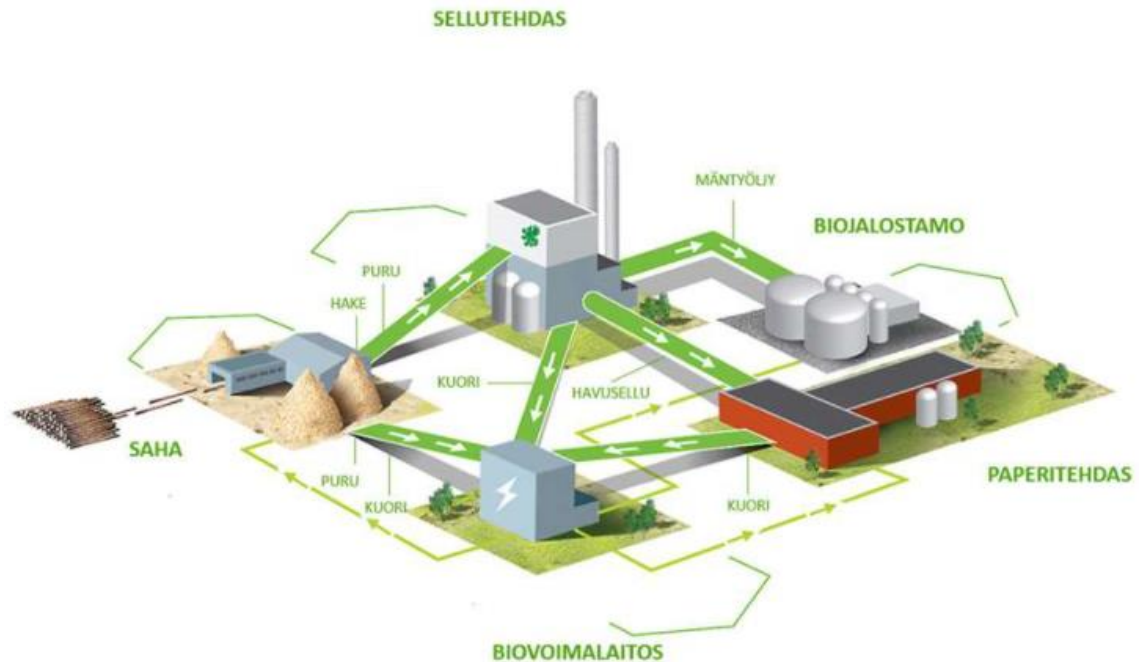
Työn teoriaosassa käsitellään aiheeseen liittyvää oleellista tietoa, joka toimii perustana käytännön osuudelle. Teoriaosuus koostuu yleisesti kunnossapitolajien esittelystä sekä tuottavan kunnossapidon ja luotettavuuskeskeisen kunnossapidon esittelystä. Lisäksi aiheena ovat kunnonvalvonta, näyttöön perustuva omaisuudenhallinta sekä kunnossapidon raportointi ja hiljainen tieto.

Opinnäytetyössä keskitytään pyöriviin laitteisiin eli pumppuihin ja puhaltimiin sekä venttiileihin ja lauhteenpoistimiin. Jotta aihe ei kasvanut liian suureksi, rajattiin pois staattiset laitteet sekä vetykompressorit.

2 Kaukaan tehdasintegraatti

2.1 Kaukaan tehtaat

UPM:n Kaukaan tehdasintegraatti on Lappeenrannassa sijaitseva monipuolinen metsäteollisuuden keskittymä. Alueella sijaitsevat paperitehdas, biojalostamo, saha, sellutehdas, biovoimalaitos, biologinen jäteveden puhdistamo sekä UPM:n Pohjois-Euroopan tutkimuskeskus. Integraatti toimii kiertotalouden edelläkävijänä. Tuotanto on suunniteltu siten, että eri tuotannoissa syntyvät tähteet ja sivuvirrat hyödynnetään alueen muissa yksiköissä. Resurssitehokkuus on yhtiön yksi strategian punaisista langoista. Esimerkiksi sahalla myyntiin kelpaamattomista pintalaudoista tehdään haketta ja hyödynnetään yhdessä sahanpurujen kanssa sellun valmistuksessa. Sellutehtaalla tähteenä syntyvä mäntyöljy käytetään biojalostamon raaka-aineena. Lisäksi eri tehtailta syntyneitä sivuvirtoja käytetään polttoaineena alueen biovoimalaitoksen kattilassa (kuva 1). Voimalaitos tuottaa omien tarpeiden lisäksi myös Lappeenrannan kaupungille energiaa ja kaukolämpöä. (UPM 2017.)



Kuva 1. Kaukaan tehtaiden kiertotalous (UPM Pulp 2022)

Kaukaan tehtailla työskentelee noin 1000 UPM:n työntekijää sekä satoja alihankkijoiden työntekijöitä. Integraatin alueella toimiva biovoimalaitos sekä sellutehtaan soodakattila tuottavat lämpöenergiaa koko alueella sekä noin 80 % alueen toimijoiden käyttämästä sähköenergiasta. (UPM Pulp 2022)

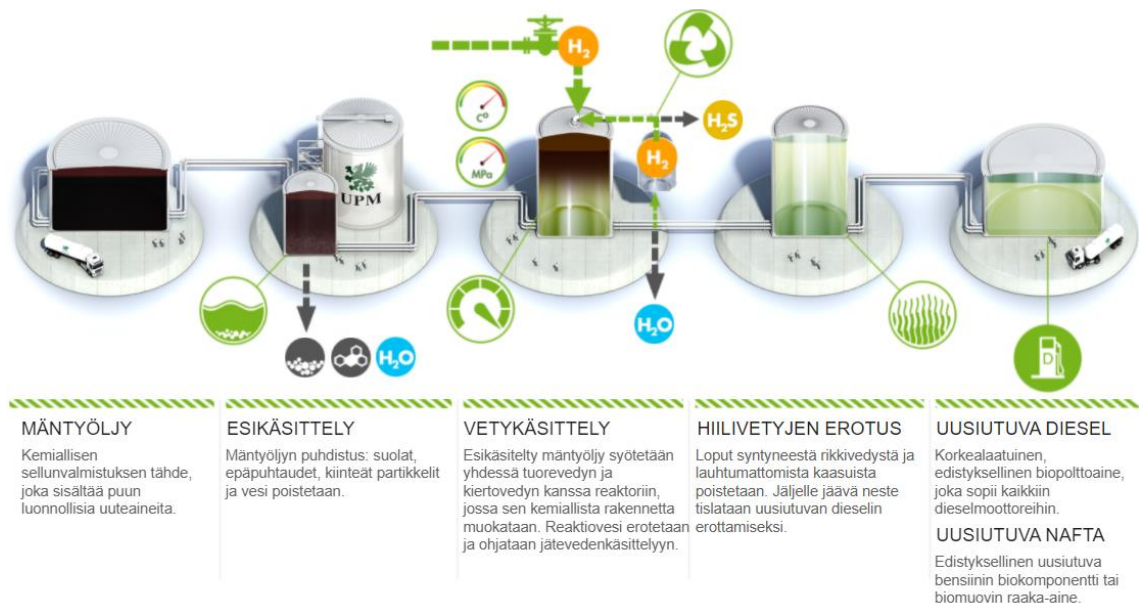
2.2 UPM Biopolttoaineet

UPM Biopolttoaineet valmistaa uusiutuvia biopolttoaineita liikennekäyttöön ja petrokemianteollisuudelle. Yhtiö on sitoutunut avustamaan asiakkaidensa taistelua ilmastonmuutosta vastaan tarjoten keinoja pienentää hiilijalanjälkeä sekä fossiilisten raaka-aineiden käyttöä. Lappeenrannan Kaukaan tehdasintegraatissa sijaitseva biojalostamo tuottaa vuodessa noin 130 000 tonnia uusiutuvia polttoaineita – UPM BioVernoa. Kyseessä on maailman ensimmäinen kaupallisen mittakaavan biojalostamo. (UPM 2022.) Valmistuksen raaka-aineena käytetään raakamäntyöljyä, joka saadaan sellun valmistuksen tähteenä. Suuri osa raaka-aineesta saadaan yhtiön omilta sellutehtailta, muun muassa viereiseltä Kaukaan sellutehtaalta. (UPM Biofuels 2022a).

2.3 Lappeenrannan biojalostamo

Vuonna 2008 UPM ilmoitti uuden strategiansa, jossa selvitettiin kasvumahdollisuuksia biopolttoaineiden valmistuksessa. Näin yhtiö ryhtyi tutkimaan mäntyöljyn mahdollisuuksia polttoaineiden jalostuksessa, ja vuonna 2012 aloitettiin Lappeenrannan biojalostamon rakennustyöt. Laitoksen kaupallinen tuotanto alkoi tammikuussa 2015. (UPM Biofuels 2022b.)

Prosessi alkaa raakamäntyöljyn esikäsitteilyllä, jossa poistetaan epäpuhtaudet, suolat, vesi ja kiinteät partikkelit. Tämän jälkeen puhdistettu mäntyöljy käsitellään korkean lämpötilan ja paineen alaisena vetykäsitteilyn reaktoreissa, jossa syötteen kemiallista rakennetta muutetaan yhdessä tuorevedyn ja kiertovedyn kanssa. Tuorevety valmistetaan jalostamon omalla vetylaitoksella ja sen paineistus tapahtuu tuorevety- ja kiertokaasukompressoreilla. Seuraavaksi poistetaan loput lauhtumattomista kaasuista, ja rikkivedyt. Tuotteet erotellaan jalostamon tislauksosassa. Prosessin myötä eroteltu vesi ohjataan tehdasintegraatin jätevedenkäsittelyyn (kuva 2). Lopputuloksena on puupohjainen ja täysin liikennekelppoinen uusiutuva diesel sekä uusiutuva nafta. (UPM Biofuels 2022a.)



Kuva 2. Biojalostamon prosessikuvaus (UPM Biofuels 2022a).

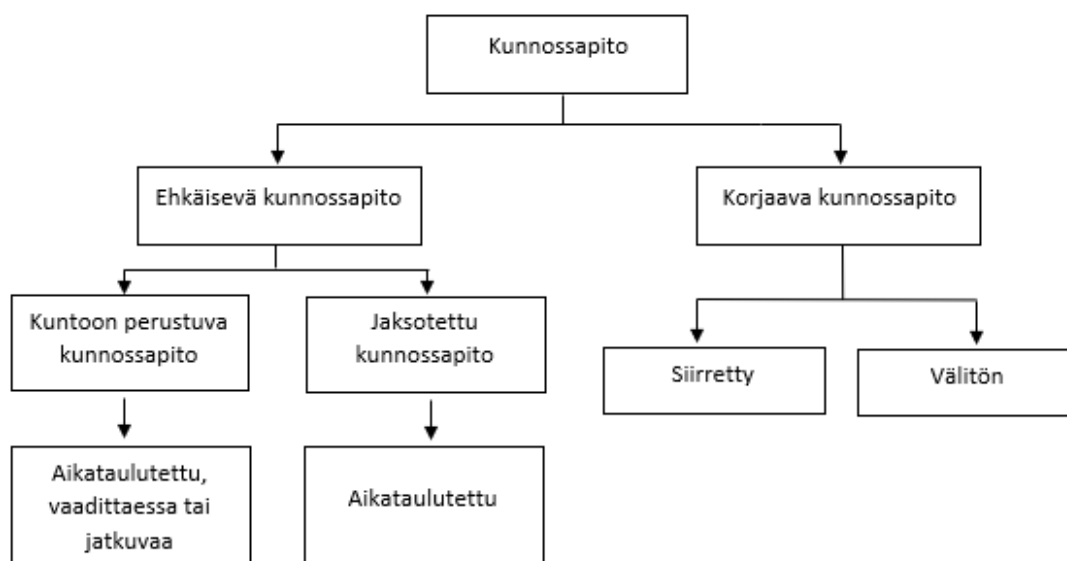
Jalostamon sivuvirtoina saadaan lisäksi myös pikeä ja tärpähtiä. Yhtiö arvioi UPM BioVernon vähentävän kasvihuonepäästöjä noin 80 % verrattuna fossiiliseen dieseliin. Koska raaka-aineena toimii mäntyöljy, ei tuote kilpaile ruuan tuotannon kanssa. (UPM Biofuels 2022c.)

3 Kunnossapito

Kunnossapidon yleisenä haasteena on ehkäisevän kunnossapidon suunnittelu. Ilman toimivia työkaluja ja menetelmiä kunnossapidon suunnittelussa joudutaan tukeutumaan valmistajien ohjeisiin sekä käytännön kokemukseen, joten kunnossapitotoimenpiteitä tulee tehdä liikaa. (Järviö & Lehtiö 2017, 163.) Vuonna 2008 teknologiainfo haastatteli tuotannon ja kunnossapidon johtohenkilöitä kysyen, mitä he kokevat kunnossapidon haasteena. Esiin nousi tarpeita parantaa tuotantolaitteiden kokonaistehokkuutta sekä käytön ja ylläpidon optimointia. Suomen tuotantolaitteissa haasteena on vanheneva konekanta, sillä uusia investointeja ei tehdä enää riittävästi. Kilpailu asettaa lisää paineita, koska jo ennestään vanhaa konekanta kuormitetaan yhä enenevässä määrin. Haasteltavien mukaan tilanne vaatii systemaattista työtä kunnossapidon toimintamallien ja strategioiden parantamiseksi. Kehitystä haasteiden eteen on tapahtunut, mutta ei riittävästi. Samainen haastattelu toistettiin 10 vuotta myöhemmin ja haasteet näyttävät ajankohtaisilta edelleen tänä päivänä. (Tennilä, 2019.)

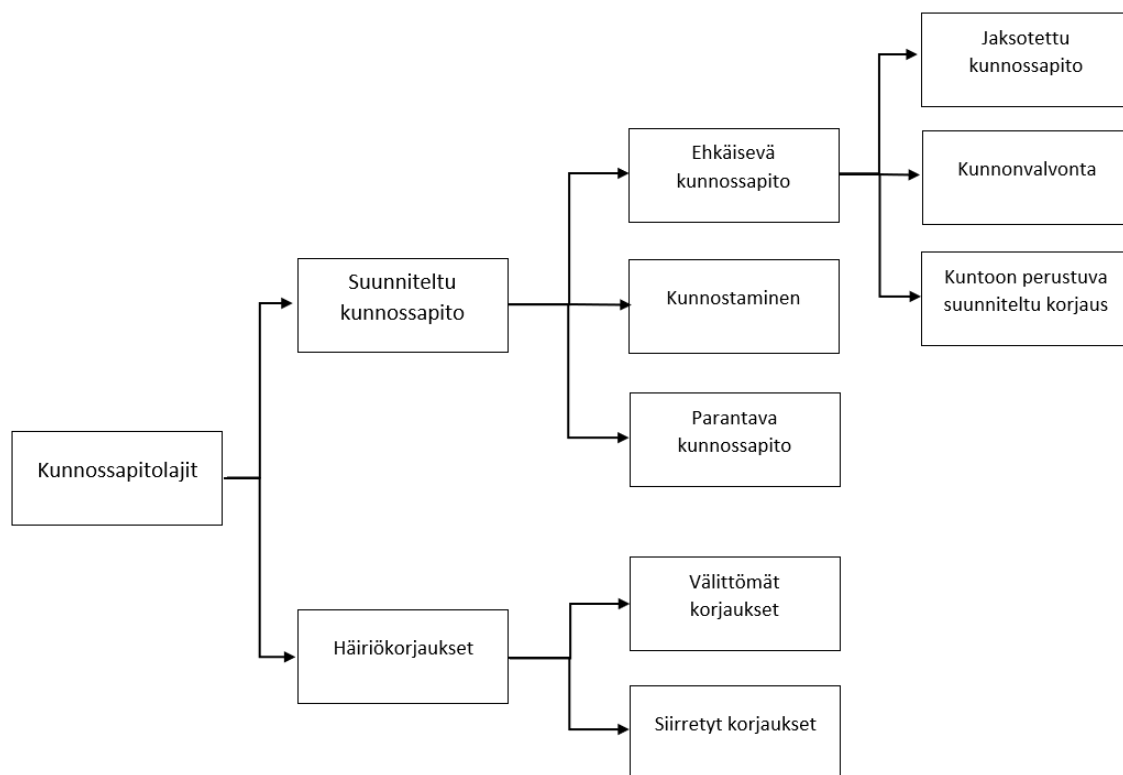
3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon jaottelu eri lajeihin on perusedellytyksiä tehokkaaseen johtamiseen. Jaottelun seurauksena voidaan vertailla esimerkiksi erilaisille työlajeille kertynyttä tuntimäärää sekä kustannuksia ja näin ollen tarkastella kunnossapidon tehokkuutta. Suomen Standardoimisliitto SFS ry jaottelee standardissa SFS-EN 13306:2017 kunnossapitolajit ennen vikaantumista suoritettavaan ehkäisevään kunnossapitoon sekä vikaantumisen jälkeen tehtäväksi korjaavaksi kunnossapidoksi, jota Järviö ja Lehtiö (2017) mukailevat kuvion 1 mukaisesti. (Järviö & Lehtiö 2017, 47.)



Kuvio 1. SFS-EN 13306:2017 standardia mukaileva kunnossapitolajien jaottelu (Järviö & Lehtiö 2017, 47).

Kuviosta 2 nähdään PSK 7501:2010 standardin näkökulma, jossa lähestytään jakoa eri tavalla. Kunnossapitolajit jaotellaan suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjauksiin (Järviö & Lehtiö 2017, 47).



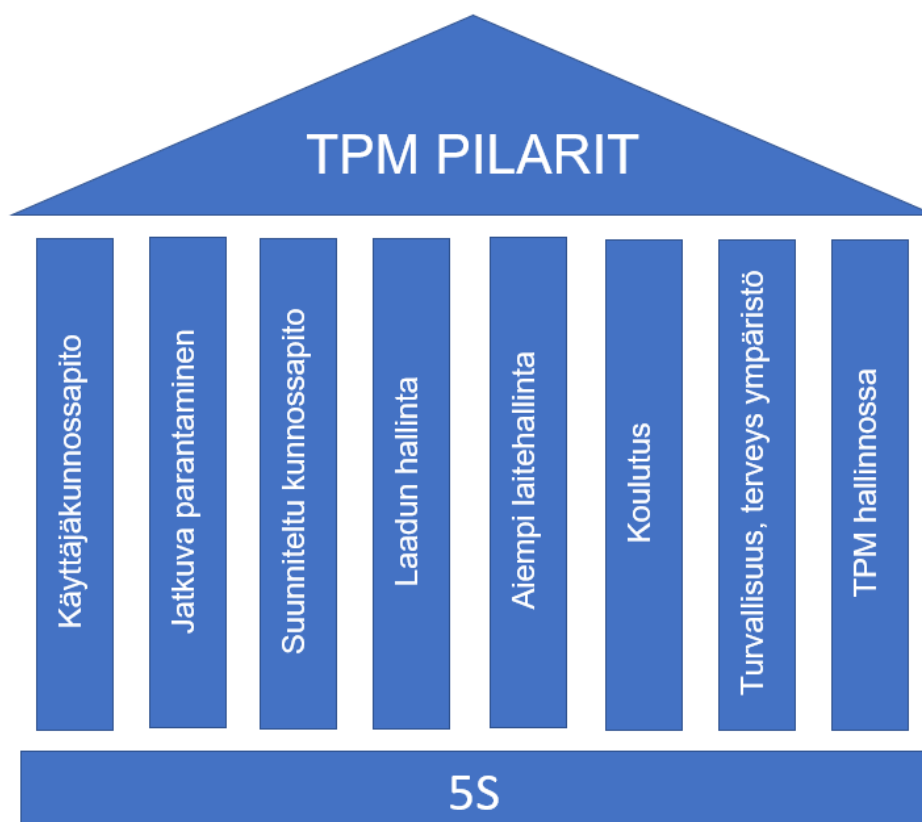
Kuvio 2. PSK 7501:2010 standardia mukaileva kunnossapitolajien jaottelu (Järviö & Lehtiö 2017, 47).

3.2 TPM

Total Productive Maintenance (TPM) eli tuottava kunnossapito tähtää filosofiasaansa maksimoimaan tuotannon laadun sekä tehokkuuden. Filosofian perusajatuksena on luoda ja ylläpitää optimaaliset olosuhteet tuotannon laitteille. Tämä toteutetaan sitouttamalla koko henkilökunta mukaan ollen suoraan ja henkilökohtaisesti vastuussa laitteiden optimikunnosta ja maksimaalisesta suorituskyvystä. (Mikkonen ym. 2009, 79.) Ajatuksena on luoda työntekijöistä joukkue, joka yhdessä pyrkii toteuttamaan heille kerrottua yhteistä tavoitetta mahdollisimman hyvin (Laine 2010, 42).

TPM pyrkii saavuttamaan täydellisen tuotannon ilman vikaantumista, tuotantovirheitä, hidasta tuotantonopeutta sekä tapaturmia. Strategiassa tuotannon ja kunnossapidon väliset erot pyritään hälventämään panostamalla vahvasti myös tuotannon suorittamaan käyttäjäkunnossapitoon. (Leanproduction 2021.)

TPM rakentuu kahdeksasta menetelmästä, joita kutsutaan pilareiksi. Näiden perustana toimii 5S-menetelmä (kuvio 3). Kuvion mukainen järjestelmä on luotu 1960-luvulla. TPM menetelmät pyrkivät pääasiassa laitteiden luotettavuuden parantamiseen ennaltaehkäisevin ja ennakoivin toimin. (Leanproduction 2021).



Kuvio 3. TPM-pilarit (mukaillen Leanproduction 2021).

5S-menetelmä on Japanista lähtöisin oleva organisointimenetelmä, joka koostuu viidestä osa-alueesta. Menetelmän tavoitteena on luoda optimaalinen toimintaympäristö, joka on hyvin organisoitu ja siisti. (Leanproduction 2021):

- Seiri – Sorteeraus. Kaikki ylimääräiset tavarat poistetaan työpisteiltä. Tämän seurauksena tarvittavat työkalut ovat lähellä eikä aika mene niiden etsimiseen.
- Seiton – systematisoi. Jokaiselle tavaralle järjestetään oma paikka, johon tavara laitetaan käytön jälkeen. Tavaroiden järjestelyyn voidaan käyttää esimerkiksi nimikylttejä, värikoodeja tai maalata lattiaan paikka.
- Seiso – Siivous. Päivittäinen siivous työpaikalla.

- Seiketsu – Standardisoi. Henkilökunta keskustelee ja päättää työpaikan käytäntöjen standardisoinnista.
- Shitsuke – Seuraa. Edellisten vaiheiden toteutumista on seurattava ja 5S tulisikin olla enemmänkin elämäntapa työympäristössä. Seuraamista varten voidaan järjestää esimerkiksi kierroksia, jossa työpaikka käydään läpi.

TPM-toimintatavan käyttöönoton perusedellytyksenä on motivoitunut henkilöstö, jolla on tieto sekä taito tuotantolaitoksen toiminnan kannalta tärkeimmistä edellytyksistä sekä kuinka näitä voidaan parantaa. Tiedon on kuljettava selkeästi organisaatiossa, ja johtoportaassa on annettava täysi tuki toimintatavan luomiseen sekä motivoida henkilöstöä. (Laine 2010, 56–59.)

3.3 RCM

RCM – reliability centered maintenance eli luottamusperusteinen kunnossapito teollisuuden kunnossapitofilosofiana pyrkii vastaamaan yhteen kunnossapidon tyypillisestä ongelmasta – vaikeuteen suunnitella ehkäisevää kunnossapitoa. Teollisuudessa RCM-metodin tunnetuksi toi englantilainen John Moubray, joka on todennut, että jopa 40 % ehkäisevästä kunnossapidosta on tarpeetonta. (Järviö & Lehtiö 2017, 163–166.)

RCM-menetelmän kehitys alkoi 1960-luvulla, kun Yhdysvaltain ilmailuvirasto alkoi kehittää siviili-ilmailun tarpeisiin soveltuvaa ennakoivaa kunnossapitoa (Järviö & Lehtiö 2017, 163–166). Lentokoneiden operointi- ja kunnossapito kustannukset olivat nousseet nopeasti, joten oli kehitettävä keino, jolla lentokoneet voivat operoida turvallisesti mahdollisimman paljon (Moubray 1997, 3–4). Projektia alkoi vetämään F. S. Nolan sekä H. Heap. Työtä aloitettiin tekemään olettamuksella, että vikaantuminen tapahtuu ajasta riippuen. Työryhmä ei kuitenkaan saavuttanut haluttuja tuloksia. Testien aikana huomattiin muun muassa että, ilman laitteella ollutta hallitsevaa tai selkeästi tunnistettavaa vikaantumismuotoa ei ennakoivalla kunnossapidolla saada juurikaan vaikutusta laitteiden luotettavuuden parantamiseen. Lisäksi monet lentokoneen osat olivat sellaisia, joihin ei

siihen aikaan tunnetut ennakoivan kunnossapidon ohjelmat toimineet riittävän tehokkaasti. (Järviö & Lehtiö 2017, 166.) Projektiryhmä löysi kaiken kaikkiaan kuusi erilaista vikaantumismuotoa aikaisemman tiedossa olevan kahden sijaan. (Moubray, 1997, 4.)

1980-luvulla John Moubray liittyi Heapin ja Nolanin projektiin ja alkoi kehittämään RCM-ohjelmaa teollisuuden käyttöön. Järviö ja Lehtiö (2017, 163–166) mukailevat Moubray:n esittämiä RCM-metodin päämääriä seuraavasti:

- Priorisoidaan laitteet kustannusten, laadun, turvallisuuden ja ympäristövaatimusten perusteella ja kohdistetaan kunnossapito laitteisiin, jossa sitä eniten tarvitaan.
- Laitteiden vikaantumismekanismit tutkitaan ja luodaan perusta tehokkaiden kunnossapitotoimien käyttöön.
- Kunnossapidon piiriin liitetään myös turva- ja rajalaitteet, jotka prosessin aikana ovat passiivivilassa.
- Luodaan toimintaohjeet käytettäväksi vikaantumisen havaittaessa, sellaisille laitteille, joille ei saada tehokasta ehkäisevän kunnossapidon ohjelmaa.
- Konetta operoivat henkilöt koulutetaan tarkkailemaan kriittisten komponenttien toimintaa.
- Luodaan edellytykset parantaa prosessin tuottavuutta sekä analysoida kunnossapidon kustannuksia ja parantaa prosessin tuottavuutta.

(Järviö & Lehtiö 2017, 163–166.)

Kohteen valinnan jälkeen RCM-prosessin ensimmäisessä vaiheessa määritellään kohdelaitteen toiminnot ja suorituskykystandardit kaikissa käyttöolosuhteissa. Tässä vaiheessa on hyvä konsultoida laitteen käyttöhenkilöstöä, sillä heillä on yleensä paras tieto sekä osaaminen laitteen ominaisuuksista ja kyvykkyydestä. Seuraavaksi määritetään, millä tavoin laite voi ja vikaantua sitä kautta olla kykenemätön täyttämään vaaditut toiminnot. Tässä vaiheessa tunnistetaan olosuhteet, jossa vikaantuminen voi tapahtua sekä missä tilanteessa tai minkä yhteydessä vikaantuminen on todennäköistä. Kolmannessa vaiheessa selvitetään kaikki mahdolliset vikaantumistavat. Tämä tapahtuu tutkimalla kyseisen

sekä samoissa olosuhteissa olevien samankaltaisten laitteiden vikaantumishistoriaa ottaen huomioon niin ikäänymisestä johtuvat kuin väärinkäytöstä sekä virheistä johtuvat viat. Lisäksi huomioidaan mahdolliset suunnitteluvirheet sekä viat, joita olemassa olevilla ennakkohuolto-ohjelmilla yritetään estää. Neljännessä vaiheessa selvitetään kaikkien tunnistettujen vikaantumismuotojen vaikutukset. Tarkastelussa selvitetään, aiheuttaako vikaantuminen riskiä terveydelle, ympäristölle tai tuotannolle sekä mistä vikaantuminen havaitaan ja millä keinoin se korjataan. Kun vikojen vaikutukset on selvitetty, jaetaan ne viidennessä vaiheessa neljään eri kategoriaan: turvallisuus- ja ympäristöseurauksiin, piilevien vikojen seurauksiin, toiminnallisiin seurauksiin ja ei-toiminnallisiin seurauksiin. Kategorisointi mahdollistaa kunnossapitotoimien priorisoinnin, sillä resurssit voidaan ohjata niihin kategorioihin, jotka ovat kriittisempiä tuotantolaitoksen toiminnan kannalta ja jättää matalariskisemmät kohteet vähemmälle huomiolle. (Järviö & Lehtiö 2017, 168–170.)

Kun edellisten vaiheiden tulokset ovat selvillä, valitaan laitteille toimet vikaantumisen hallintaan. RCM jakaa nämä toimenpiteet kahteen luokkaan – proaktiiviseen- ja reaktiiviseen kunnossapitoon, joissa tehtävät toimet ovat (Järviö & Lehtiö 2017, 170–171.):

1. Proaktiivinen kunnossapito, jonka toimet ovat:

- 1.1. kunnonvalvonta, kts. 4 – kunnonvalvonta.
- 1.2. jaksotettu uusinta, joka tarkoittaa ennalta määrätyn käytön tai ajan mukaan suoritettavaa laitteen tai komponentin uusintaa.
- 1.3. jaksotettu korjaus, joka tarkoittaa ennalta määrätyn käytön tai ajan mukaan suoritettavaa kunnossapittoa.

2. Reaktiiviseen kunnossapitoon, johon kuuluvat,

- 2.1. korjaava kunnossapito, joka käsittää toimet kohteen palauttamiseksi toimintakykyiseksi vian havaitsemisen jälkeen.
- 2.2. run-to-failure-strategia, kts. 3.3.1 – Run-to-failure.
- 2.3. vian etsintä, johon kuuluvat vian paikannus, tunnistus sekä syiden selvittäminen.

(SFS-EN 13306, 2017)

Koska RCM-prosessi on erittäin raskas toteuttaa, on kehitetty myös suoraviivaistettu RCM eli Streamlined RCM – SRCM. Ennen kuin varsinaisia kunnossapitotoimia päästään suunnittelemaan, on käytävä alkuvaiheen viisi ensimmäistä vaihetta läpi. RCM-analyysiä on yleisesti suoraviivaistettu tekemällä kriittisyys-analyysi ennen varsinaista analyysiä ja kohdennettu varsinainen RCM-prosessi vasta tietyn kriittisyystason ylittäneille laitteille. Kriittisyyskartoitukseen voidaan käyttää esimerkiksi PSK:n standardia PSK 6800 tai yrityksen itse kehittelemiä analyysejä. SRCM on kuitenkin saanut kritiikkiä osakseen, sillä sen luotettavuutta ei pidetä perinteisen RCM prosessin veroisena. On myös syytä huomioida, että vaikka RCM-prosessi on raskas toteuttaa, antaa se paljon arvokasta tietoa kunnonvalvontatoimien sekä ennakoivan kunnossapidon suunnittelua varten. (Mikkonen, 2009, 77–78.)

3.3.1 Run-to-failure

Run-to-failure on yksinkertaisin kunnossapitostrategia, jossa laitetta käytetään sen vikaantumiseen asti, eikä sille tehdä kunnossapitotoimia ennen vikaantumista. Strategiaa voidaan käyttää laitteisiin, joiden rikkoutuminen ei aiheuta vaaraa turvallisuudelle eikä suurta tuotannon menetystä. (Fiix 2022.)

Run-to-failure-strategialla pyritään välttämään turhia kunnossapitokustannuksia. RCM:n mukaan laitteiden vikaantumismuodot eivät aina näydy yksiselitteisesti valmistusvirheistä johtuvana alkuvikaantumisena tai ikääntymisen myötä kasvavana vikaumisriskinä. Tämän vuoksi ennakoivat kunnossapitotoimet voivat olla hankalia suunnitella, ja kunnossapitotoimia tulee tehdä helposti liikaa, joka kasvattaa kustannuksia. Toisaalta laitteet voivat olla sijainniltaan hankalissa paikoissa esimerkiksi pitkien välimatkojen, korkeuden tai ahtaiden paikkojen vuoksi. (Fiix 2022.) Strategian kustannuksia arvioidessa on muistettava sisällyttää kaikki seuraavat kulut: asiakkaiden tyytymättömyys, tuotannon menetys sekä muut välilliset kustannukset. (Dutschke 2022.)

Strategiaa käyttäessä on suunniteltava, kuinka vikaantumistilanteessa toimitaan ja mitkä ovat sen vaikutukset. On pohdittava, millä tavoin laite voi rikkoutua

sekä vian vaikutus tuotantoprosessiin. Lisäksi täytyy varastoida tarvittavat varaosat sekä suunnitella kuka laitteen korjauksesta on vastuussa ja varmistaa, että työ tehdään tehokkaasti ja tarkasti. Run-to-failure ei siis eroa suunnitellusta kunnossapidosta kuin siinä, milloin työ suoritetaan. (Dutschke 2022.)

Yksinkertainen esimerkki run-to-failure kunnossapidosta on valaisimen polttimon vaihto. Valaisinta käytetään niin pitkään, kunnes polttimo palaa. Tämän jälkeen haetaan uusi polttimo ja vaihdetaan se. (Fiix 2022.)

4 Kunnonvalvonta

4.1 Kunnonvalvonta yleisesti

Laitteiden monimutkaisuudesta sekä vikojen satunnaisuudesta johtuen onnistunut jaksotetun kunnossapidon suunnittelu ei aina ole mahdollista. Ongelmaan parhaaksi ratkaisuksi on osoittautunut kunnonvalvonta, jonka myötä laitteet huolletaan kuntoon perustuvan kunnossapidon mukaisesti. (Laitinen 2021, 139.) Kunnonvalvonnalla on havaittu olevan vaikutusta toiminnan kannattavuuteen ja laitteiden korkean käyttöasteen ylläpitoon. Kunnonvalvonnan avulla kunnossapitotyöt voidaan suunnitella paremmin ja suorittaa oikea-aikaisesti, jolloin suunnitelmattomat seisokit vähenevät. Nämä seikat vaikuttavat suoraan muun muassa koneiden elinikään sekä tuottavuuden kasvuun. Perinteisesti kunnonvalvontaa on harjoitettu aistihavaintojen avulla eli visuaalisesti tarkastelemalla, kuuntelemalla ylimääräisiä ääniä tai kädellä kokeilemalla tärinää tai lämpötilaa. Nämä menetelmät ovat edelleen yleisessä käytössä, mutta tarkempaa analysointia varten on kehitetty paljon menetelmiä. (opetushallitus 2022a.)

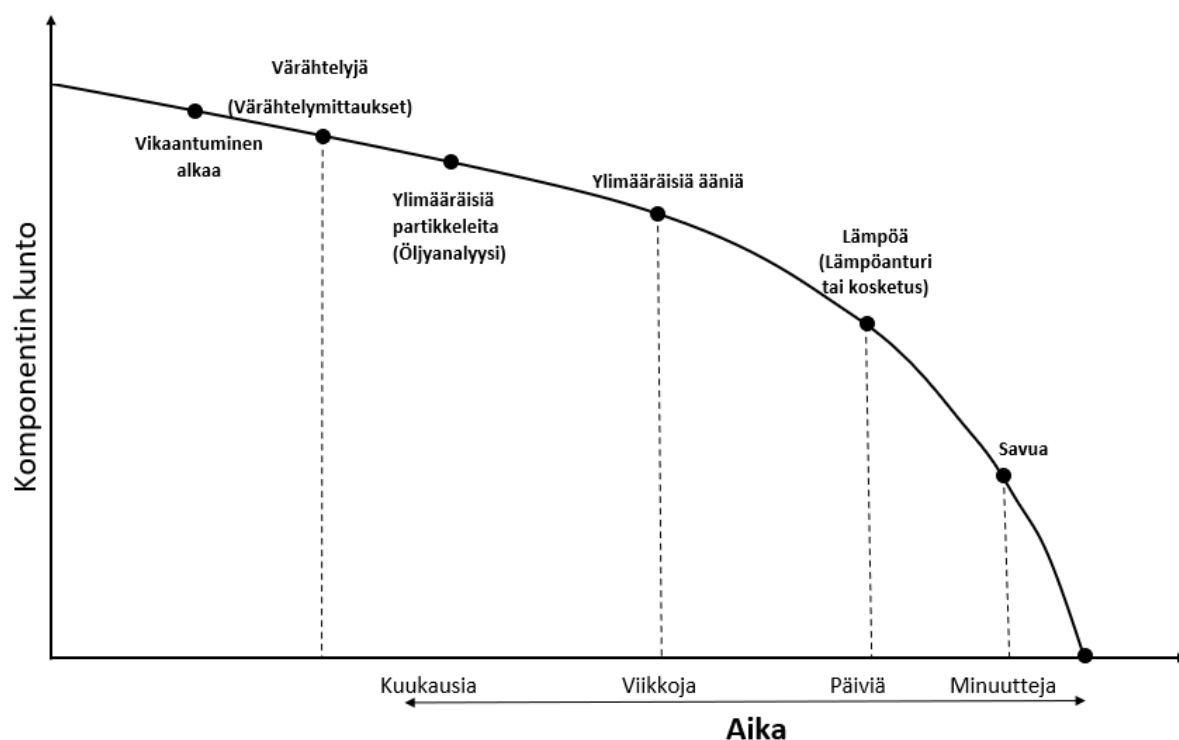
Erilaisia kunnonvalvontamenetelmiä ovat:

- värähtelymittaukset
- ainetta rikkomaton koestus (NDT) ja visuaalinen tarkastus
- kulumishiukkasanalyysi
- suorituskyvyn seuranta ja analyysi
- lämpökamerakuvaus.

(Laitinen 2021, 140.)

Kunnonvalvontamenetelmää valitessa tulisi pohtia, kuinka aikaisessa vaiheessa vikaantumistieto halutaan saada. Pääsääntöisesti mitä kriittisempi laite on, sitä varhaisemmassa vaiheessa tieto alkavasta vikaantumisesta tulisi saada. Tällöin korjaustoimenpiteet voidaan suorittaa ajoissa. Vähemmän kriittisissä kohteissa voidaan sen sijaan käyttää jopa run-to-failure-strategiaa (kuva 3). Ensisijaisesti kunnonvalvontatoimenpiteen valinta määräytyy analysoitavasta kohteesta.

Laakerivaurioissa paras tapa on värähtelymittaukset, kun taas staattisiin laitteisiin voidaan käyttää esimerkiksi NDT-menetelmiä. (Laitinen 2021, 139.)



Kuva 3. PF-käyrän mukaisesti esimerkkejä vikojen havaitsemista eri kunnonvalvontamenetelmin (mukaihen Laitinen 2021, 139.)

4.2 Värähtelymittaukset

Värähtelymittaukset ovat kunnonvalvonnan yleisimpiä ja eniten tutkittuja menetelmiä. Värähtelymittausten avulla voidaan parhaimmillaan seurata laitteen yksittäisten komponenttien alkavaa vikaantumista ja seurata historiatietoa erilaisien trendien avulla. (Opetushallitus 2022b.)

Menetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan, joista ensimmäisen luokan menetelmä pitää sisällään yksinkertaiset laakerien värähtelymittaukset ja yleistärinän valvonnan. Mittalaitteita tyypillisesti tarvitaan kaksi kappaletta, joista toinen mittaa taajuusalueelta 10–1000 Hz yleisvärinää viestien karkeasti akselin pyörimiseen liittyviä vikoja. Toinen mittalaite aistii korkeataajuisempaa värähtelyä – yleisesti yli 2000 Hz taajuuksia, jota käytetään laakerivaurioiden

havainnointiin. Korkeataajuista värähtelyä on havaittu olevan tilanteissa, jossa laakerivaurio syntyy tai kun vierintälaakerin voitelukalvo häviää. (Opetushallitus 2022b.)

Toisen luokan värähtelymittausmenetelmiin sisältyy monimutkaisemmat menetelmät koneiden yksityiskohtaiseen valvontaan, jossa 1. luokan menetelmät eivät toimi riittävällä tarkkuudella ja tulokset voi sotkeutua esimerkiksi koneen luonnollisesta värähtelystä. Näitä menetelmiä käytetään usein etenkin koneissa, joissa on vaihteistojen tai hihnakäyttöjen myötä eri nopeuksilla pyöriviä aksleita. (Opetushallitus 2022b.)

Tärkeimmät tekijät kiihtyvyyssanturin valinnassa ovat ympäristöolosuhteet, taa-juusalue sekä riittävä värähdyslaajuus eli amplitudialue. Ympäristöolosuhteissa on huomioitava lämpötila, kosteus, likaisuus, tilaluokka, sähkömagneettiset häiriöt sekä käytettävissä oleva tila huomioiden anturin koko, kiinnitys sekä kaapelointi. (PSK 5703, 2018, 2.)

4.3 Ainetta rikkomaton koestus (NDT-menetelmät)

Ainetta rikkomattomalla koestuksella tarkoitetaan menetelmiä, jossa etsitään vaurioita kohteen sisältä tai pinnasta nimensä mukaisesti kohdetta rikkomatta. Yleiset NDT-menetelmillä tarkastettavat kohteet ovat painelaitteet, teräsrakenteet, paloilmaisin- ja sammutuslaitteet ja sähkölaitteet.

Tarkastusmenetelmiin kuuluu muun muassa seuraavia pintatarkastusmenetelmiä: endoskooppi-, ja silmämääräiset tarkastukset, tunkeumaneste-, magneettijauhe ja pyörrevirtatarkastukset sekä volymeeriset menetelmät kuten: radiografia eli röntgenkuvaukset ja ultraäänitarkastukset. Lisäksi vuotokohteiden havainnointiin on kehitetty oma menetelmänsä. (Dekra 2022; Kiwa 2022).

4.4 Kulumishiukkasanalyysi

Kulumishiukkasanalyysissä tarkastellaan analyysin kohteena olevan nesteen kulumispartikkelien määrää ja kokojakaumaa sekä epäpuhtauksia. Tämä laboratorioissa tehtävä tarkastelu viestii tehokkaasti koneen rakenteiden kulumisesta, sillä kulumistilanteessa koneesta irtoavien kulumishiukkasten halkaisija voi kasvaa normaalista noin 10 µm kokoisesta jopa 100-kertaiseksi. (Opetushallitus 2022c.) Analyysi otetaan tyypillisesti öljynäytteestä. Tämän avulla voidaan myös muun muassa optimoida öljynvaihtovälejä sekä välttää yllättäviä vikaantumisia. Öljyanalyysiä voidaan myös toteuttaa reaaliaikaisena online-seurantana tarvittaessa. (Neste 2022.)

4.5 Suorituskyvyn seuranta

Suorituskyvyn seurannassa hyötysuhdetta mitataan erilaisilla antureilla, joiden avulla voidaan verrata esimerkiksi lämmönsiirtimen, turbiinin, pumpun, venttiilin tai prosessikokonaisuuden todellista hyötysuhdetta laskennalliseen hyötysuhteeseen. Tässä käytetyt mittaukset ovat esimerkiksi lämpötilojen, paineiden ja virtausmäärien mittauksia prosessin eri kohdissa. Mittauksilla voidaan havaita muun muassa siipien mekaanisia vikoja, akselitiivisteiden ja tiivistenuhojen vällyksien kasvua, asennusvirheitä sekä pumppujen väärää toimintapistettä. (Opetushallitus 2022d.) Lisäksi voidaan käyttää myös radioaktiivisia merkkiaineita. Näillä tarkastellaan prosessin tasaisuutta, virtausteknisiä vikoja, viipymisaikaa ja sekoittumista syöttämällä merkkiaine osaksi prosessia ja tekemällä mittaukset putkistojen ulkopuolelta ilmaisimien avulla. Merkkiaine syötetään joko suljettuun kiertoon, jossa se ei pääse ympäristöön tai merkkiaine voi avoimessa kierrossa kulkeutua jätevesien tai lauhteen mukana, mikäli tämän ei katsota kuormittavan ympäristöä. Aine voi jäädä myös tuotteeseen, jolloin on varmistettava radioaktiivisen aineen häviäminen ennen tuotteen myyntiä tai jatkojalostusta. (Venelampi 2007, 8.)

4.6 Lämpökamera

Lämpökamerakuvaukset ovat helppo ja nopea keino havaita poikkeava lämpötila tarkasteltavassa kohteessa. Sen avulla voidaan selvittää monia vikoja, joista esimerkkeinä laakeriviat, erilaiset vuotokohteet, eristeauriot tai sähkökunnossapidon kohteet. Lämpökamera aistii kuvattavan kohteen pinnan lämpösäteilyn ja näyttää sen kameran näytöllä parin asteen tarkkuudella. (Fluke 2022)

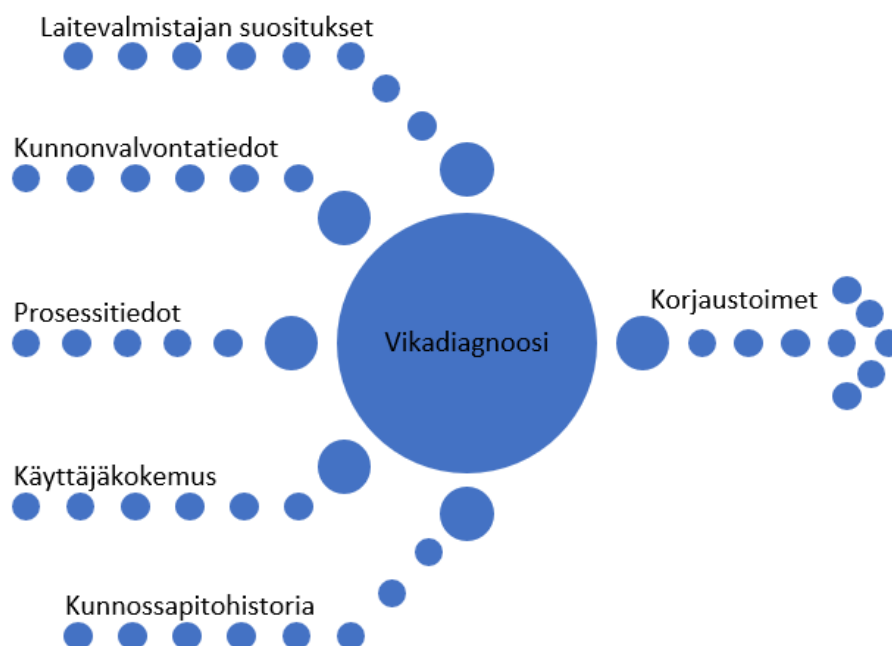
5 Näyttöön perustuva omaisuudenhallinta (Evidence-based asset management)

Vaikka tänä päivänä yrityksillä on mahdollisuus kerätä yhä enenevässä määrin dataa toimistaan, voi kunnossapito-osaston käytössä oleva varastoitu data olla hyvinkin niukkaa. Teollisuudessa laitekanta voi olla kymmeniä vuosia vanhaa ja historiatiedot alkuvuosien kunnossapitotoimista voivat olla vajaita tai jopa puuttua kokonaan. Tosin vaikka yhtiön järjestelmiin kirjatun datan määrä olisikin vähäistä, yleensä tarvittava tieto on silti olemassa jossain muodossa. (Jardine, Thompson & Zuashkiani 2015.)

Toisaalta omaisuuden hallintaan liittyvä päätöksenteko on perustunut yhtiöissä melko hataralle pohjalle. Päätökset voivat perustua valmistajan suosituksiin, kokemuksiin, aavistuksiin ja jopa tietynlaiseen asennoitumiseen. Näyttöön perustuva omaisuudenhallinta (Evidence-based asset management, EBAM) hyödyntää päätöksen teossa edellä mainittuja seikkoja, mutta perustana päätökselle tulisi olla vankka evidenssi eli näyttö. (Fiix 2022b.)

Näyttöön perustuva omaisuudenhallinta on Toronton yliopistossa kehitetty omaisuudenhallinta menetelmä, joka pyrkii hyödyntämään monia eri tiedon lähteitä – niin sanottua kovaa dataa eli numeroita ja tunnuslukuja, mutta myös niin sanottua pehmeää dataa eli esimerkiksi hiljaista tietoa. EBAM prosessissa kerätään, analysoidaan ja prosessoidaan tilastotietoa viimeisimmillä matemaattisilla ja tilastollisilla tekniikoilla. Tämä yhdistetään puolueettoman hiljaisen tiedon

kanssa ja lopputuloksena saadaan luotettavia tuloksia (kuva 4). (Jardine, Thompson & Zuashkiani 2015.)



Kuva 4. Näyttöön perustuvan omaisuuden hallinnan useat tietolähteet (Mukailen Kortelainen, Tervo & Valkokari 2021)

EBAM jäljittelee lääketieteessä hyvin tunnetuksi tullutta näyttöön perustuvaa lääketiedettä (evidence based medicine, EBM), jossa päätökset tulisi perustua varmaan näyttöön. Yksittäisen asiantuntijan mielipide edustaa päätöksentekohierarkiassa alimmalla tasolla. Tällä tavoin pyritään välttämään vääriä päätöksiä ennakoasenteiden ja intuition sokaisemana. (Sparling 2019; Zuashkiani 2016, 329.)

Sparling:in (2019) ja Zuashkiani:n (2016) mukaan päätöksen tekeminen EBAM-periaatteita noudattaen tuottaa yrityksille valtavia säästöjä. Periaatteita voidaan soveltaa esimerkiksi seuraaviin päätöksiin: arvokkaiden laitteiden elinikää koskevat päätökset, ennakkohuoltovälin määrittäminen kriittisille laitteille, laitteiden tarkastustaajuuden määrittäminen, oikean tilauspisteen määrittäminen kalliille varaosille, laitteiden tarkastuksiin, vaihtoihin ja korjauksiin liittyvä optimointi, kunnossapidon resurssien määrittäminen. (Sparling 2019; Zuashkiani 2016, 329–330.)

Käytännön esimerkkinä voidaan tarkastella valmistajien ohjeita laitteiden huolto- toimista. Nämä ovat yleensä hyvin yleisluontoisia eikä ne ota kantaa vaihteleviin olosuhteisiin kuten säähän, käyttöympäristöön tai vikojen seuraukseen. EBAM- menetelmän avulla huoltosuosituksia voidaan optimoida tilanteeseen sopivaksi, sillä kaikki edellä mainittu data on saatavilla, mikäli sitä vain halutaan hyödyn- tää. (Jardine, Thompson & Zuashkiani 2015.)

Kortelainen, Tervo ja Valkokari (2021) muistuttavat myös menetelmän käyttöön- oton haasteista. EBAM vaatii laadukasta raportointia ja tietolähteitä, jotka ei synny itsestään. Töiden raportointi kentältä jää usein vajavaiseksi tai yksityis- kohtainen tieto puuttuu kokonaan. Haasteita asettaa myös se, että tarvittava tieto on usein monissa eri paikoissa sekä muodoissa. Tieto voi löytyä esimer- kiksi valmistajan huolto- ja käyttöohjeissa paperisena, graafisessa muodossa kuvina tai piirustuksina sekä työntekijöiltä kokemuksena ja käytännön tietona. Ennen EBAM:in käyttöönottoa nämä seikat tulisi tiedostaa, jotta päätöksenteki- jät osaavat asennoitua oikealla tavalla tulevaan. Myös kentältä raportoivat työn- tekijät tulisi motivoida laadukkaaseen raportointiin sekä tarvittaessa kouluttaa toimimaan oikealla tavalla. (Kortelainen, Tervo & Valkokari 2021.)

6 Raportoinnin ja historian hyödyntäminen kunnossapidossa

Laadukas raportointi ja historiatieto kiinnostaa yrityksessä monia tahoja. Historiatietoa voidaan hyödyntää operatiivisen-, taktisen- ja strategisen tason päätöksenteossa. Tästä hyötyvät organisaation sisällä työntekijäportaasta aina päällikötasolle. (Ahonen & Kortelainen 2021a, 145; Konola 2000, 21–22.) Kunnossapidon historiatietoja voidaan käyttää kunnossapidon suunnitteluun, vikojen selvitykseen, juurisyyanalyysiin sekä suorituskyvyn mittaamiseen. Historiatietoja voidaan käyttää myös toistuvien vikaantumisten havainnointiin. Laadukas raportointi edesauttaa vikaantumismekanismien havaitsemista. Sen avulla voidaan verrata muun muassa erilaisia komponentteja sisältäviä laitteita tai eri käyttöympäristössä operoivia laitteita keskenään. Näin tunnistetaan vikaantumisen syyseuraus-suhteita. Kattavan raportoinnin avulla myös hiljainen tieto saadaan talennettua. (Ahonen & Kortelainen 2021a, 150–151.) Valitettavasti töiden raportointi ei kuitenkaan aina ole kiitettävällä tasolla.

Yleisimpiä puutteita raportoinnissa ovat:

- Kirjaukset ovat puutteellisia tai ne voidaan jättää kokonaan tekemättä.
- Korjausten tai seisokitöiden aikatietoja ei kirjata.
- Vikojen luokittelu tai paikkatiedot ovat vajaita.
- Vikojen vaikutus prosessiin puuttuu.
- Tieto ei kulje eri järjestelmien välillä (Ahonen & Kortelainen 2021a, 154; Konola 2000, 9–10).

Syitä tähän on monia, mutta yleisimmin tämä voi johtua esimerkiksi henkilöstön motivaation puutteesta raportointia kohtaan, sillä sen hyötyjä tai käyttötarkoituksia ei nähdä eikä hyvästä raportoinnista anneta palautetta, tietojärjestelmiä ei osata käyttää riittävän hyvin tai vian syy on vaikea selvittää. Pienten töiden kirjaus voi tuntua turhauttavalta ja kiireen keskellä raportointia ei ehditä tekemään tai se unohtuu. (Konola 2000, 10.)

Jotta laadukasta raportointia voidaan odottaa, tulee henkilökunta perehdyttää järjestelmien käyttöön hyvin. Henkilökunnan perehdytys tulee vastata tarpeita ja

keskittyä olennaiseen. Valmiiksi kiireisen arjen keskelle tuotu uusi järjestelmä, jonka käyttäminen tuntuu hankalalta ja perehdytys on hataraa ei tuota haluttuja tuloksia. Päinvastoin se kasvattaa negatiivista asennetta järjestelmän käyttöä kohtaan. Motivointi laadukkaaseen raportointiin tulisi erityisesti toteuttaa osoittamalla henkilöstölle, kuinka he itse hyötyvät omista raporteistaan. (Konola 2000, 19.)

Etenkin kriittisten laitteiden kohdalla työlle tulisi raportoida vähintään seuraavat asiat (Konola 2000, 10–11.):

- kohteen positionumero
- kuvaus viasta ja vian oireista
- vian vaikutus turvallisuuteen, tuotantoon, ja ympäristöön
- vian havaitsemistapa
- vian havaitsemisaika
- epäilty vian syy
- vikaryhmä
- tuotantoympäristön olosuhteet vikaantumishetkellä
- korjauksessa tehdyt toimenpiteet
- korjauksen suoritusajankohta ja kesto

Standardi SFS-EN ISO 14224 (2016) kehoittaa öljy-, petrokemian-, ja maakaasunteollisuudessa raportoimaan edellisten lisäksi:

- kunnossapidon kategoria (korjaava, ennakoiva)
- työn prioriteetti (suuri, keskimääräinen, pieni)
- aktiviteetin työlaji (huolto, korjaus, vaihto, tarkastus, voitelu, testi, säätö, näiden yhdistelmä tai muu)
- vaihtoyksikön kunnostukset
- varaosien sijainti
- työtunnit jaoteltuna työntekijöiden tai työlajien mukaan
- kunnossapidon viivästys tai ongelmat
- lisätiedot, esimerkiksi työssä käytetyt resurssit

Tietojärjestelmissä edellä mainittuihin asioihin voidaan luoda luokittelu, joka täytetään esimerkiksi alavetovalikoihin. Tällä tavoin vikatietojen täyttäminen sekä niiden analysointi helpottuu ja virheiden määrä vähenee. (Ahonen & Kortelainen 2021b, 135.)

Työntekijäportaen henkilöstö hyötyy laadukkaasta töiden raportoinnista muun muassa tarkastelemalla edellisiä vikaantumisia. Vikojen paikallistaminen ja korjaustyöt nopeutuvat, kun voidaan tarkastella tietoja siitä, kuinka kyseinen laite on aiemmin oireillut sekä kuinka vian kanssa on toimittu. (Konola 2000, 21.)

Työnsuunnittelussa tieto laitteiden vikatiheydestä ja oireista edesauttavat ennakkoivien kunnossapitotoimien suunnittelua sekä alkavien vikojen tunnistamista. Työnsuunnittelijalla olisi myös hyvä olla saatavilla tietoa, kuinka kauan laitteiden korjaaminen ja osien vaihtaminen kestää, jotta voidaan suunnitella paremmin huoltoseisakkeja sekä ennakkohuoltotöitä. Lisäksi voidaan reagoida, mikäli havaitaan laitteen kasvava vikatiheys tai huoltotoimissa alkaa kulumaan tavallista enemmän aikaa. Tämän kaltaisessa tapauksessa huomio tulisi kiinnittää laitteen kunnossapidettävyyteen sekä kunnossapitostrategian toimivuuteen. (Ahonen & Kortelainen 2021a, 150–151; Konola 2000, 21.)

Päällikkötasolla voidaan seurata, kuinka organisaatio kykenee reagoimaan ja millainen tiedon kulku on yllättävissä tilanteissa. Laitteen vikatiheyden kehityksen seurannalla kyetään arvioimaan kunnossapitostrategian toimivuutta, ennakkohuoltojen vaikutusta ja alkuvikaantumista esimerkiksi seisokkien jälkeen ja laitteiden elinkaarta koskevia kysymyksiä. Vikahistorian avulla voidaan myös ohjata kunnossapitotoimien painopistettä, mikäli ennakkohuoltotoimet eivät vastaa haluttua tarkoitusta. Ennakoivan kunnossapidon tueksi voidaan esimerkiksi lisätä kunnonvalvontaa tai vastaavasti toimia voidaan vähentää, jos kohdelaitteissa ei ilmene vikoja ja samalla alentaa kunnossapidon kustannuksia. (Konola, 2000, 21–22.)

Ohessa järjestelmiin tallennettavien tietojen lisäksi yritykselle on tärkeää myös niin sanottu hiljainen tieto. Hiljaisella tiedolla tarkoitetaan osaamista ja näkemystä, joka kokemuksen kautta jalostuu ja näyttäytyy tietynlaisena toimintana ja

rutiineina työntekijöillä. Hiljainen tieto on tärkeää, sillä se edesauttaa ymmärtämään tuotantolaitteiston ongelmia ja häiriöitä, mutta ennen kaikkea myös edesauttaa niiden ennustamista. (Ahonen & Kortelainen 2021b, 127–128.)

Nonaka ja Takeuchi (1995) ovat esittäneet organisaatiossa tiedon siirtymistä ja syntymistä kuvaavan SECI-mallin, jossa hiljainen tietämys ja eksplisiittinen tieto yhdistyvät toisiaan täydentäen ja luoden uutta tietoa (kuvio 5). SECI-mallin ensimmäisessä sarakkeessa (*engl.* socialization) hiljaista tietoa jaetaan muille sosiaalisena kanssakäymisinä jakaen kokemuksia. Seuraavaksi tietoa muutetaan helpommin tulkittavaan ja oivallettavaan muotoon käyttäen erilaisia malleja tai vertauksia (*engl.* externalization). Kolmannessa vaiheessa (*engl.* combination) yksilöt yhdistelevät ja vaihtavat olemassa olevaa käsitteellistä tietoa keskenään. Tämä voi tapahtua esimerkiksi dokumenttien, keskustelujen, tapaamisten tai tietoteknisten sovellusten kautta. Kun tietoja muokataan lajittelemalla, yhdistämällä, lisäämällä ja kategorisoimalla voi lopputuloksena syntyä täysin uutta tietoa. Viimeinen vaihe on aikaisempien vaiheiden sisäistäminen eli niin sanotusti ”tekemällä oppiminen” (*engl.* Internalization). (Nonaka & Takeuchi 62–69.)



kuvio 5. Hiljaisen tiedon SECI-malli. (mukaillen Nonaka & Takeuchi 1995).

Kun edellisten vaiheiden kautta saatu kokemus alkaa muuntautua henkilön omaksi hiljaiseksi tiedoksi mielikuvien kautta syntyy tästä organisaatiolle paljon lisäarvoa. Näiden neljän vaiheen jälkeen tietoa voidaan alkaa välittää organisaatiossa edelleen muille ja SECI-mallin ympyrä alkaa alusta. (Nonaka & Takeuchi 62–69.)

7 Biojalostamon ennakkohuolto-ohjelma

Toiminnallisessa vaiheessa määriteltiin ennakkohuoltotoimenpiteitä biojalostamon pyöriville laitteille ja venttiileille. Kohteena olivat pumput, puhaltimet, lauhteenpoistimet sekä venttiilit. Laitteille oli tehty valmiiksi tarkempi jako laiteluokan mukaisesti ja jokaiselle laiteluokalle päätettiin omat ennakkohuoltotoimenpiteet. Pääsääntöisesti kaikille saman luokan laitteille luotiin samat toimenpiteet, mutta joitain poikkeuksia tehtiin muun muassa aiemman vikahistorian tai laitteen kriittisyyden perusteella. Työssä keskityttiin pääasiassa tuotantolaitoksen käynnin aikaisiin kunnossapitotöihin.

Työ päätettiin tehdä laiteluokitusperusteisesti toimeksiantajan toiveista. Tällä tavoin esimerkiksi uuden laitteen ennakkohuoltotoimet on helppo määritellä, sillä toimet voidaan toteuttaa kuten muillekin laitteille – laiteluokan perusteella. Projektin alkuvaiheessa keskusteltiin myös kriittisyysperusteisesta lähestymistavasta. Tämän ei kuitenkaan katsottu tuovan merkittävää lisäarvoa, sillä kriittiset laitteet ovat jo tiedossa, ja muuten laiteluokkien sisällä laitteisto on pääsääntöisesti samankaltaisia laitteita samoissa olosuhteissa.

Koko tuotantolaitoksen kattavaa RCM-projektia ei myöskään katsottu tarkoituksenmukaiseksi. Tämän ajateltiin väistämättä muodostuvan liian raskaaksi. Järviö ja Lehtiö (2017) tukevat tätä väitettä esittäen, että teollisuuden laitteistosta vain 10 % on siinä määrin kriittisiä, että RCM-analyysi kannattaa tehdä ja noin kolmannekselle olisi järkevää käyttää suoraviivaistettua RCM:mää. Lopuille laitteille riittää heidän mukaansa suunniteltu varautuminen eli esimerkiksi run-to-failuren käyttö. (Järviö & Lehtiö, 2017, 112.)

7.1 Työssä tarkasteltu laitteisto

Työssä kohteena oli pyörivät laitteet sekä venttiilit ja lauhteenpoistimet. Laitteisto oli luokiteltu yrityksen käyttämään toiminnanohjausjärjestelmään. Tätä luokittelua hyödyntäen ennakkohuoltotoimenpiteitä lähdettiin suunnittelemaan. Venttiileiden kohdalla samaa luokittelua ei käytetty, vaan nämä jaettiin palkeetomiin, palkeellisiin, ja kulmavaihteellisiin venttiileihin. Myös lauhteenpoistimet tarkasteltiin erillisinä kohteina. Luokittelua hieman muokattiin yhdessä toimeksiantajan kanssa palvelemaan paremmin työn tarkoitusta. Lopullinen laitteiden luokittelu oli seuraava:

1. Pumput
 - a. Keskipakopumppu, vaaka
 - b. Keskipakopumppu, pysty
 - c. Lohkoroottoripumput
 - d. Mäntäpumput
 - e. Hermeettiset eli suljetut pumput, magneettivetoinen
 - f. Hermeettiset eli suljetut pumput, koteloitu
 - g. Uppopumput
 - h. Kalvopumput
2. Venttiilit
 - a. Palkeettomat venttiilit
 - b. Palkeelliset venttiilit
 - c. Kulmavaihteelliset venttiilit
3. Puhaltimet
4. Lauhteenpoistimet

Yhteensä pumppuja oli 188 kappaletta, venttiileitä 9290 kappaletta, puhaltimia 5 kappaletta ja lauhteenpoistimia 227 kappaletta. Pääsääntöisesti työssä käsitellyille laitteille laiteluokka oli määritelty jo ennalta, mutta mukana oli myös paljon laitteita, josta laiteluokitus puuttui kokonaan. Toiminnallinen vaihe aloitettiin tarkastamalla puutteet ja niiden lisäyksellä. Pumppuihin lisättiin myös tieto valmistajasta. Toiminnanohjausjärjestelmästä ladattiin Excel-lista kaikista

laitapaikoista. Lista rajattiin siten, että se sisälsi vain opinnäytetyössä käsitellyt laitteet. Objekteille, josta laiteluokitus puuttui, etsittiin oikeat tiedot laitetoimittajien listoista ja biojalostamon rakentamisvaiheen dokumenteista. Koska nämä dokumentit eivät olleet täysin aukottomia, otettiin yhteys suunnittelutoimistoon, joka on tehnyt biojalostamosta tarkan 3D-mallin. Suunnittelutoimisto sai tehtyä biojalostamon 3D-mallista listan, jossa ilmenee kaikki 3D-mallissa olevat tiedot. Tämän listauksen avulla saatiin täydennettyä loput laiteluokat laitepaikkalistaan. Valmistaja ja laiteluokituksen tieto tullaan päivittämään kunnossapidon järjestelmään, jotta tietoa voidaan hyödyntää tulevaisuudessa.

7.2 Työskentelyvaihe

Varsinainen ennakkohuoltotoimenpiteiden määrittely alkoi tutkimalla mitä edellä mainitut laiteluokat pitävät sisällään sekä tutustumalla niiden huoltohistoriaan sekä mahdollisiin nykyisiin kunnossapito-ohjeisiin. Laitteista käsiteltiin järjestelmällisesti niiden vikahistoria ja valmistajan huoltosuositukset. Näitä kahta tietuetta verrattiin keskenään. Pyrkimyksenä oli saada kasaan ne toimenpiteet, jotka estäisivät aikaisemmin todettuja vikoja. Lisäksi huomioitiin valmistajan suositukset. Laitteille määritellyssä toimenpiteissä konsultoitiin toimeksiantajan edustajia. Heidän kommenttien mukaisesti tehtiin joitain lisäyksiä ja muutoksia.

Kunnossapidon järjestelmiin tallennettujen vikaantumistietojen analysointi toimii hyvänä lähtökohtana kunnossapitotoimien määrittelykselle, sillä tämän perusteella voidaan havaita toistuvien vikojen vikaantumistaajuuksia. On kuitenkin huomioitava, että tämä tieto ei kerro kaikkia mahdollisia laitteen vikamuotoja vaan vain historiassa tapahtuneet. Vikatietojen analysoinnissa tulisi tämän vuoksi hyödyntää myös yrityksen asiantuntijaa. (Ahonen & Kortelainen 2021a, 154)

Tietoa pyrittiin haalimaan mahdollisimman useasta lähteistä ja hyödyntämään kaikki se tieto, joka oli saatavilla. Kohdelaitteista tutkittiin valmistajan ohjeiden lisäksi muun muassa vikahistoria, juurisyysanalyysit ja vikaantumiskortit, ulkopuolisten tekemät huoltoreportit sekä kunnonvalvontatietoja. Lisäksi yrityksen henkilöstöä haastateltiin, jotta myös kokemuserusteinen hiljainen tieto

saataisiin mukaan. Ennakkohuoltotoimia määrittäessä tämän kaltainen käytännön läheinen toiminta on kannattavaa, sillä kaiken tiedon yhdistäminen teoreettiseksi algoritmiksi on vaikeaa eikä usein vastaa tarkoitusta (Ahonen & Kortelainen 2021a, 154).

Jalostamon esikäsittelyosan pumpuista oli aiemmin tehty kriittisyysanalyysi, joten tätä päätettiin hyödyntää ja toteuttaa RCM-analyysi. Kyseisissä pumpuissa oli ilmennyt paljon vikoja, laitteet ovat tuotannon kannalta kriittisiä sekä kunnossapitokustannuksiltaan kalliita. RCM-analyysin toteuttaminen nähtiin näissä tämän vuoksi kohteissa tarpeellisena. Lisäksi yrityksen sellutehtaalla on aiemmin toteutettu laaja RCM-projekti. Sellutehtaalla ja biojalostamolla on joitain keskenään samankaltaisia laitteita samoissa olosuhteissa, joten sellutehtaan henkilöstöä haastateltiin ja käytiin ajatusten vaihtoa projektin tuloksista.

8 Töiden raportoinnin parantaminen

Opinnäytetyön aikana toimeksiantajalla syntyi ajatus myös töiden raportoinnin parantamisesta ja kuinka tätä voidaan hyödyntää kunnossapidosta. Töitä oli raportoitu hyvin vaihtelevasti niin todella kattavista selvityksistä aina muutaman sanan kommentteihin. Jotta organisaatio saisi historiatiedosta hyötyä, tulisi töiden raportointi olla korkealuokkaista sekä tasalaatuista. Kunnossapidon historiatiedon analysointi oli myös osana tämän opinnäytetyön toiminnallista vaihetta. Laadukkaan raportoinnin merkitys ilmeni siis käytännön työssä hyvin arvokkaana tietona, mutta toisaalta heikotasoisen ja vähäsanainen historiatieto asetti haasteita. Raportoinnin parantamista varten luotiin ohjeistus, jossa ilmenee mitä tulisi raportoida, miten tulisi raportoida ja miksi työt raportoidaan. Ohjeistukseen lisättiin tässä työssä ilmenneitä seikkoja ja pyrittiin tuomaan esiin näkökulma, jossa laadukasta työn raportointia tekevä hyötyy tästä myös itse tulevaisuudessa. Ohjeen lopussa näytetään malliesimerkillä, kuinka nämä seikat voidaan tuoda ilmi vaivatta.

Yrityksen käytössä olevaan kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään oli luotu työn raporttikenttään valinnaiset kolme kysymystä, joihin voidaan vastata ennen työn sulkemista. Kysymykset ovat:

1. Kuinka työ tehtiin?
2. Työssä käytetyt resurssit/yritykset sekä erikoiskalusto?
3. Mitä pitää ottaa huomioon seuraavalla kerralla?

Yksityiskohtaisemman tiedon saamiseksi otettiin yhteys kunnossapidonjärjestelmää koodaavaan yritykseen. Järjestelmää luotiin muutos, joka mahdollistaa työn raporttikenttään generoituvien kysymysten muuttamisen laiteluokkakohdaksi. Järjestelmä muutettiin siis kysymään eri laiteluokkien tölle erilaisia kysymyksiä, jotka voidaan itse määrittää ja muuttaa tarpeen mukaan.

9 Tulokset

Työn lopputuloksena luotiin lista ennakkohuoltotoimenpiteistä sekä niiden aikataulusta. Tämän avulla mekaanisen kunnossapidon ennakoivat toimenpiteet voidaan suorittaa järjestelmällisesti ja ajallaan eikä toimenpiteiden suorittaminen ole muistin varaista. Työn tehtiin Excel-pohjaisena taulukkona (liite 1). Tuloksena syntynyt ennakkohuolto-ohjelma vietiin lopuksi kunnossapidon tietojärjestelmään, joka generoi työt määräajoin vastuuhenkilölle.

Ennakkohuoltotoimet pumpuille valittiin suurimmalta osalta tarkastuspohjaisiksi. Aikaan perustuvan kunnossapidon mahdollisuutta tutkittiin työn alkuvaiheessa, mutta kävi nopeasti ilmi, ettei tämä ole perusteltua muutamaa poikkeusta ja öljyjen vaihtoja lukuun ottamatta. Varsinkin keskipakopumpuille ei nähty järkevänä toteuttaa aikaan perustuvia huoltotoimia, sillä vikojen taajuudet ovat lähes mahdoton ennustaa. Myöskin tämän kaltaisten töiden kustannukset ovat suuria, joten oli ilmiselvää, että kustannukset olisivat nousseet hyötyjä suuremmiksi. Lisäksi biojalostamolla on käytössä online-kunnonvalvonta, jonka ansioista yllättäviä rikkoutumisia voidaan jossain määrin välttää. Tarkastukset suoritetaan yhdessä tuotannon kanssa ja ovat lähinnä aistinvaraisia näkö- ja kuuloaistien

suoritettavia tarkastuksia. Lisäksi erilaisten laippojen ja yhteiden kireyksien tarkastuksia luotiin. Tarkastuksista päivitettiin ohjeistusta kenttäoperaattoreiden kenttäkierrosohjeisiin.

Aiemmin käytössä ollut Excel-lista öljynvaihtoista tuotiin kunnossapidon tietojärjestelmään. Öljyjen vaihdot määriteltiin suoritettavaksi jalostamon aluejakojen mukaisesti ja aikataulutettiin generoitumaan määrääjoin. Kriittisimmille ja vika herkiksi tunnistetuille laitteille päätettiin lisätä öljynäytteenotto analysoitavaksi sekä endoskooppitarkastukset.

Magneettivetoiset hermeettiset pumput, kalvopumput ja vakuumpumput ovat kahdennettuja, joten tasaisen käyntimäärä takaamiseksi luotiin työmääräys toisen pumpun vaihtamisesta ajoin. Tällä pyrittiin tasaamaan suurista käyntimäärästä johtuvia vikaantumisia. Vakuumpumpuissa vikaantumistaajuus oli melko tasaista, joten tässä tapauksessa aikaan perustuvan kunnossapidon valinta on perusteltua. Laitteille päätettiin suorittaa täysihuolto kahden vuoden välein huoltoseisakeissa.

Puhaltimien tarkastusohjeisiin lisättiin juoksupyörän visuaalinen tarkastus- ja puhdistustyö kaikille puhaltimille sekä savukaasupuhaltimien juoksupyörille tarkastus NDT-menetelmin. Lisäksi juoksupyörän kiinnitys tulisi tarkistaa. Savukaasupuhaltimen kanavassa olevaan paljetasaimen tarkastukseen päätettiin hyödyntää lämpökameraa. Paljetasain on valmistettu monikerroksisesta kankaasta, joten lämpökameralla voidaan havaita, mikäli kankaan kerrokset alkavat vaurioitua ja kuuma savukaasu kulkee lähempänä paljetasaimen ulointa kangasta.

Venttiileille suoritettavat ennakkohuoltotoimenpiteet asettivat haasteita. Rajoittavina tekijöinä venttiilihuolloissa oli niiden suuri määrä – 9290 kappaletta sekä se, ettei tuotantoon liittyviin venttiileihin voida koskea laitoksen käydessä. Venttiileiden kunnossapitotöiksi valikoitui venttiileiden karojen ja kulmavaihteiden rasvaukset sekä herkistely, kun venttiileitä operoidaan.

Lauhteenpoistimien tarkastuksissa haasteita oli tuonut niiden sijainti. Kohteet ovat tasaisesti ympäri tuotantolaitosta, sekä osittain alueen ulkopuolella ja ovat eristekoteloiden takana. Löytymisen helpottamiseksi tehtiin kartoitus niiden tarkasta sijainnista ja nämä lajiteltiin alueittain, joista tehtiin eräänlaiset työpaketit. Lauhteenpoistimet kuvattiin ja sijainti lisättiin karttakuvaan helpottamaan löytymistä. Lauhteenpoistimet päätettiin tarkastaa vuosittain lämpökameralla sekä ultraäänimittauksilla.

10 Pohdinta

Työn tuloksena luotu ennakkohuolto-ohjelma tulee selkeyttämään biojalostamon kunnossapitotöitä ja luo niille toistuvuutta. Määräajoin generoituvien töiden myötä ennakoivat kunnossapitotoimet eivät ole enää muistien varassa. Ennakkohuolto-ohjelma yhdistelee teoriaosiossa esitettyjä asioita, koostaen kokonaisuuden näiden sopivimmista puolista.

Työssä pyrittiin käyttämään laajasti lähteitä, jotta tulosta voidaan pitää luotettavampana. Toiminnallisessa vaiheessa konsultoitii ja käytiin ajatusten vaihtoa biojalostamon kunnossapidon ja tuotannon henkilöstön kanssa laaja-alaisesti työntekijästä päällikköportaaseen. Varsinaista näyttöä työn tulosten vaikutuksista ei saatu, sillä tuotantolaitos ei ollut käynnissä tämän työn valmistumishetkellä. Työn tuloksena valmistunut ennakkohuolto-ohjelma otetaan käyttöön, kun laitos palaa normaaliin tilaan UPM:n ja Paperiliiton välisen työtaistelun jälkeen kevään 2022 aikana. Yrityksessä seurataan kunnossapidon tunnuslukuja tarkasti, joten seurantajakson jälkeen työn vaikutuksia voidaan arvioida riittävällä tasolla.

Työn suorittaminen oli henkilökohtaisella tasolla erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen projekti. Työn aikana tulleisiin haasteisiin sain erinomaista ohjausta toimeksiantajalta. Opinnäytetyön myötä ymmärrys kunnossapidosta ja sen strategioista lisääntyi merkittävästi. Lisäksi projekti antoi myös paljon arvokasta

tietoa biojalostamon laitteistosta sekä prosessista. Tämä oppi on varmasti tulevaisuudessa hyödyksi.

Vaikka työssä määritellään laiteluokittain ennakkohuoltotoimenpiteiden raamit, on silti uusien laitteiden kohdalla huomioitava myös operointiolosuhteet. Työn kohteena olevia laitteita rasittaa muun muassa kemikaalit, suuri lämpötila ja paine sekä ympäristön olosuhteet. Vikaantumistilanne voi aiheuttaa tuotannollisten haittojen lisäksi myös ympäristö- tai turvallisuus riskejä, joka tulee ottaa huomioon.

Tämän työn jatkotutkimuksena voisi kehittää ennakkohuoltoja kohteille, jotka tästä työstä rajattiin pois. Lisäksi tulisi tutkia kunnossapidon viemistä yhä enemmän käyttäjäkeskeiseksi TPM-strategian mukaan. Käyttäjäkeskeinen kunnossapito vähentäisi varsinaisten kunnossapitoasentajien työkuormaa, joka puolestaan vähentäisi ulkopuolisten urakoitsijoiden tarvetta. Biojalostamolla ulkopuolisten urakoitsijoiden suorittaman kunnossapidon määrä on varsin suuri. Ope-
raattoreiden suorittamiin kenttäkierroksiin saataisi lisää tarkkuutta niin kutsutun ODR-laitteen myötä. Laitteeseen voi syöttää kohteet, jotka tulee tarkastaa ja niihin liittyvää ohjeistusta. Lisäksi laitteella voidaan tehdä kevyttä kunnonvalvontaa esimerkiksi värähtelymittauksia. ODR-laitteen ohjaamat kierrokset toisivat parannusta kenttäkierroksiin, sillä sen ohjeistamana kenttäkierrokset tulisi aina suoritetuksi samanlaisina. Sekä niissä ilmenneitä poikkeamia voisi seurata kellon tarkasti.

Lähteet

- Ahonen, T. Kortelainen, H. 2021a. Tietojärjestelmiin tallennetun tiedon hyödyntäminen. Teoksessa Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P., & Hanski, J. 2021. Tietämisperusteinen elinjaksonhallinta. Helsinki. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. 145–157.
- Ahonen, T. Kortelainen, H. 2021b. Elinjakson hallintaan liittyvän tiedon lähteillä. Teoksessa Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P., & Hanski, J. 2021. Tietämisperusteinen elinjaksonhallinta. Helsinki. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. 125–138.
- Dekra. 2022. Ainetta rikkomaton testaus.
<https://www.dekra.fi/palvelut/ainetta-rikkomaton-testaus-ndt>
17.03.2022.
- Dutschke, J. 2022 Run to failure: make it part of your maintenance planning.
<https://www.fiixsoftware.com/blog/run-failure-make-part-maintenance-planning/> 19.01.2022.
- Fiix. 2022a. Run to failure maintenance.
<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/run-to-failure-maintenance/> 19.01.2022.
- Fiix. 2022b. Evidence based asset management.
<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/evidence-based-asset-management/> 05.03.2022.
- Fluke 2022. Thermal imaging in preventive maintenance programs.
<https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/preventive-maintenance> 29.03.2022.
- Jardine, A. K. S., Thompson, E., & Zuashkiani, A. 2015. Evidence-based asset management: Actionable intelligence in the era of big data. Uptime Magazine. (5) <https://reliabilityweb.com/documents/12492/am.pdf> 05.03.2022.
- Järviö, J & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Helsinki: Promaint Oy.
- Kiwa. 2022. NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus.
<https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme/ndt-tarkastus-eli-rikkomaton-aineenkoetus-ndt-non-destructive-testing/> 17.03.2022.
- Kortelainen, H., Tervo, J. & Valkokari, P. 2021. Käyttäjä keskiöön – Evidenssiä päätöksentekoon. Promaint-lehti (4) 22–24.

- Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito: tuottavuutta käynnissäpidolla. Helsinki: Promaint Oy.
- Laitinen, J. 2021. Kunnonvalvonta. Teoksessa Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P., & Hanski, J. 2021. Tietämysperusteinen elinjaksonhallinta. Helsinki. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. 139–140.
- Leanproduction. 2021. TPM.
<https://www.leanproduction.com/tpm/> 09.02.2022.
- Mikkonen, H. Miettinen, J. Leinonen, P. Jantunen, E. Kokko, V. Riutta, E. Sulo, P. Komonen, K. Lumme, V. Kautto, J. Heinonen, K. Lakka, S & Mäkeläinen, R. 2009 Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- Moubray, J. 1997. Reability-centered Maintenance, second edition. New York: Industrial Press Inc.
- Neste. 2022. Lubeservice – Öljyanalyysipalvelu.
<https://www.neste.fi/lubeservice> 16.03.2022.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. 1995. The Knowledge-Creating Company: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press.
- Opetushallitus. 2022a. Johdanto kunnonvalvontaan.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html 16.03.2022.
- Opetushallitus. 2022b. Värähtelymittaukset.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html 16.03.2022.
- Opetushallitus. 2022c. Kulumishiukkasanalyysi.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k3_kulumishiukkasanalyysi.html 16.03.2022.
- Opetushallitus. 2022d. Hyötysuhdemittaukset.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k4_hyotysuhdemittaukset.html 22.03.2022.
- PSK 5703. 2018 Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Anturin, liittimen ja kaapelin valinta sekä asennus. Helsinki: PSK Standardointi.
- SFS-EN ISO 13306. 2017.Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

- SFS-EN ISO 14224. 2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries. Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Sparling, B. D. 2019 Evidence-based asset management. Transformers Magazine 6 (4), 106–111.
- Tennilä, J. 2019. Kunnossapidon muuttuva rooli, <https://www.teknologiainfo.com/teollisuus/kunnossapidon-muuttuva-rooli/> 02.02.2022.
- UPM. 2017. UPM Kaukas näyttää mallia kiertotaloudessa. <https://www.upm.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/2017/05/upm-kaukas-nayttaa-mallia-kiertotaloudessa/> 25.1.2022.
- UPM. 2022. UPM Biopolttoaineet <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-biopolttoaineet/> 24.1.2022.
- UPM Biofuels. 2022a. Tuotanto <https://www.upmbiofuels.com/fi/upm-biopolttoaineet/tuotanto/> 02.02.2022.
- UPM Biofuels. 2022b. 100 vuotta innovaatioita <https://www.upmbiofuels.com/fi/upm-biopolttoaineet/100-vuotta-innovaatioita/> 02.02.2022.
- UPM Biofuels. 2022c. Liikennepolttoaineet. <https://www.upmbiofuels.com/fi/liikennepolttoaineet/> 21.5.2022.
- UPM Pulp. 2022. UPM Kaukas <https://www.upmpulp.com/fi/upm-kaukas/> 02.02.2022.
- Venelampi, E. 2007 Radioaktiivisten aineiden käyttö teollisuuden merkkiainekokeissa. Säteilyturvakeskus <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123997/stuk-b83.pdf?sequence=1> 22.03.2022.
- Zuashkiani, A. 2016. Evidence-based asset management. Teoksessa Campbell, J. D. & Reyes-Picknell, J. V. Uptime: Strategies for excellence in maintenance management. 3rd edition. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Biojalostamon ennakkohuoltotyöt

laiteluokka: Keskipakopumppu vaaka Kenttäkierrosohjeisiin			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Tarkasta:			
Minimikierron ylläpito			
Öljymäärä		Lisää tarvittaessa öljyä	
Kytkimen kohdistus ja osien kunto			
Ei kuivakäyntiä			
Ei vuotoja			
Ei kavitaatiota			
Ei epätavallisia ääniä			
Ei liiallista vuotoa akselitiivisteestä			
Valkoöljykierron paine (jos on)		Kts. paikallinen painemittari tai rotometri	
Imupuolen sulkuventtiili auki			
Riittävä syöttöpaine		Kts. paikallinen painemittari	
Apujärjestelmien toiminta			
Pumpun perustusruuvien sekä pumpun ja moottorin kiinnitysruuvien kireys	6kk		0,5h
Öljynvaihdot	1v	Kahdennetuille tehdään ajallaan. Jos pumppu on ajossa ja ei voida tehdä niin merkataan ylös	1h
laiteluokka: Keskipakopumppu pysty (RMÖ PURKUPUMPUT & HVY JÄTEVESIPUMPUT) Kenttäkierrosohjeisiin			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Tarkasta:			
Minimikierron ylläpito			
Öljymäärä		Lisää tarvittaessa öljyä	
Kytkimen kohdistus ja osien kunto			
Ei kuivakäyntiä			
Ei vuotoja			
Ei kavitaatiota			
Ei epätavallisia ääniä			
Ei liiallista vuotoa akselitiivisteestä			
Valkoöljykierron paine (jos on)		Kts. paikallinen painemittari/rotometri	
Imupuolen sulkuventtiili auki			
Riittävä syöttöpaine		Kts. paikallinen painemittari	
Apujärjestelmien toiminta			
Pumpun perustusruuvien sekä pumpun ja moottorin kiinnitysruuvien kireys	6kk		0,5h
Öljynvaihdot	1v	Kahdennetuille tehdään ajallaan. Jos pumppu on ajossa ja ei voida tehdä niin merkataan ylös	1h
Imusihdin vaihto			1h
laiteluokka: Lohkoroottoripumput			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Tarkasta:			
vuodot			0,5h
Kytkimen kunto			
Kiinnitykset			
Laippojen kireys			
Maadoitus kaapeleiden kunto (jos on)			
Öljyn vaihto	1v		2h
Öljynäyte analysoitavaksi	1v	Samalla endoskoopitarkastus	
Endoskoopitarkastus	1v	Yhdessä öljynvaihdon kanssa	0,5h
laiteluokka: Mäntäpumput			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Imusihdin tarkastus/vaihto	1v		1h
Öljynvaihto	1v		1h

laiteluokka: Hermeettiset pumput, magneettiveton			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Öljynvaihto	1v		1h
Toisen pumpun vaihto ajoon	3kk		0,5h
Glykolikierron toiminta		Kenttäkierroksella	
laiteluokka: Hermeettiset pumput, koteloitu			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Pumpun momentointi	6kk	Momentoidaan pumpun päädyn pultit	0,5h
Glykolikierron toiminta		Kenttäkierroksella	
laiteluokka: Vakuumpumput			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Labran pumpun huolto	4v	Pumpun irrotus ja lähetys huoltoon esim. seisakissa	2h
EK pumpun huolto	2v/4v	Pumpun huolto seisakissa	2h
Tislaus pumpun huolto	2v/4v	Pumpun huolto seisakissa	2h
Toisen pumpun vaihto ajoon	3kk	Tislaus	0,5h
laiteluokka: Kalvopumput			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Toisen pumpun vaihto ajoon	3kk		0,5h
laiteluokka: Puhaltimet			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto:
Tarkasta			
Palkeen kunto mekaanisesti ja lämpökamera	1v		0,5h
Värinänvaimennin kumien kiinnitys	1v		
Laakeripukkien kiinnitys	1v		
VL polttoilmapuhallin suodatin	6kk		0,5h
KÖ-kattilan puhaltimen öljynvaihto	1v		1h
Juoksupyörän tarkastus	1v	NDT-menetelmin + kiinnityksen tarkastus sekä siipien puhdistus. Tehdään mahdollisuuksien mukaan, kun puhallin seis.	4h
Öljynvaihdot	1v	Muut kuin KÖ-kattilan puhallin	1h
laiteluokka: Palkeelliset venttiilit			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Venttiilien rasvaus		Operoidessa	
laiteluokka: Palkeettomat venttiilit			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Venttiilien rasvaus		Operoidessa.	
laiteluokka: Lautasventtiilit			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Venttiilien rasvaus		Operoidessa.	
Kulmavaihteen rasvaus		Operoidessa.	
laiteluokka: Varoventtiilit			
Toimenpide	Taajuus	kommentti	Kesto
Tarkastus	4v	Seisakkityönä	