



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

VEERA KORPINIITTY

## **Parantava kunnossapito**

Arkkileikkurin painopyörästäön modernisointi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA  
2022

Tekijä(t) Korpiniitty, Veera	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2022
	Sivumäärä 30	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Parantava kunnossapito - Arkkileikkurin painopyörästäön modernisointi</b>		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
Tiivistelmä  <p>Työn tarkoituksena oli suunnitella sellutehtaan kuitulinjaston arkkileikkurin painopyörästäön rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia, joiden tavoitteena oli osien valmistuksen kustannustehokkuuden parantaminen sekä laitteen käyttökuntoon saattamisen nopeuttaminen vastuksen säädön muutoksilla. Laitteen suorituskykyä ei ollut tarkoitus parantaa. Työn toimeksiantaja on Valmet Technologies Oy ja suunnittelutyö tehtiin toimeksiantajayrityksen käytössä olevalla Catia V6- mallinnusohjelmalla.</p> <p>Työ liitettiin osaksi kunnossapidon teoriaa parantavan kunnossapidon näkökulmasta. Laitteen suunnittelun lisäksi painopyörästäölle tehtiin laitteen kriittisyysanalyysi sekä sen tulokseen pohjautuen kunnonvalvontasuunnitelma. Laitteen kriittisyysanalyysin perusteella painopyörästäö saavutti kriittisen laitteen raja-arvon ja näin ollen laite on perusteltua ottaa osaksi säännöllistä kunnonvalvontaa lämpötilamittausmenetelmin.</p> <p>Kunnonvalvonnan toimeenpanemiseksi tehtiin karkea suunnitelma käytettävistä menetelmistä, mittausten aikatauluttamisesta, tulosten raportoinnista sekä toiminnasta poikkeavan mittaustuloksen tapahtuessa.</p>		
Avainsanat Valmet, kunnossapito, parantava kunnossapito, kunnonvalvonta, kriittisyysanalyysi		

Author(s) Korpiniitty, Veera	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2022
	Number of pages 30	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Improving maintenance – Modernisation of Cutter Layboy press roller unit</b>		
Degree programme Mechanical engineer		
Abstract  <p>The purpose of the work was to design structural and functional modifications to the press roller unit of the pulp mill fiber line Cutter Layboy, with the aim of improving the cost-effectiveness of the manufacture of parts and to accelerate the refitting of the device through changes in the resistance adjustment. There was no intention to improve the performance of the device. The work was commissioned by Valmet Technologies Oy and the design work was carried out using the Catia V6 modeling program used by the contracting company.</p> <p>The work was incorporated into the theory of maintenance from the perspective of improving maintenance. In addition to the design of the device, press roller unit was subjected to a criticality analysis of the device and, based on its result, a condition monitoring plan. Based on the criticality analysis of the device, the press roller unit reached the critical device limit and therefore it is justified to incorporate the device into regular condition monitoring by temperature measurement methods.</p> <p>In order to implement the condition monitoring, a rough plan was made of the methods to be used, the scheduling of measurements, the reporting of the results and in the event of a non-operational measurement result.</p>		
Keywords Valmet, Maintenance, Improving Maintenance, Condition Monitoring, Criticality Analysis		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 KRIITTISYYSANALYYSI.....	6
2.1 Perusteet .....	6
2.2 Standardi .....	6
3 KUNNOSSAPITO .....	10
3.1 Yleinen kunnossapitoteoria.....	10
3.2 Kunnonvalvonta .....	13
3.2.1 Menetelmät .....	14
3.2.2 Kunnonvalvonnan suuntaus ja kehittäminen.....	16
3.3 Parantava kunnossapito.....	17
3.4 TPM .....	18
4 LAITTEEN SUUNNITTELU.....	23
4.1 Lähtötilanne .....	23
4.2 Tavoitteet .....	23
5 ENNAKOIVAN KUNNOSSAPIDON SUUNNITELMAN TEKEMINEN.....	26
5.1 Kriittisyysanalyysin suorittaminen .....	26
5.2 Tulosten hyödyntäminen kunnonvalvonnan suuntaamisessa ja kehittämisessä .....	27
5.3 Kunnonvalvonnan menetelmien hyödyntäminen.....	27
6 YHTEENVETO .....	30

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajayritys on Valmet Technologies Oy. Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmetilla on yksi laajimpia kestävän kehityksen mukaisten tuotteiden ja palveluiden tarjoamia energia-, sellu-, kuitu-, paperi-, kartonki- ja pehmopaperiteollisuudelle sekä automaation ja bioteknologian alalle. Valmetin tuotetarjonta vastaa asiakkaiden jatkuvasti kasvavaan tarpeeseen lisätä tuotantonsa ympäristöystävällisyyttä ja kustannustehokkuutta. Tuotteet edustavat oman alansa parasta teknologiaa sellun, kartongin, paperin, pehmopapereiden ja energian tuotantoon. (Valmet, 2022.)

Opinnäytetyön toiminnallisen osuuden tarkoituksena on uudistaa sellutehtaan kuitulinjaston arkkileikkurin painopyörästä. Tarve tämän kaltaiselle työlle syntyi toimeksiantajan pyynnöstä. Modernisoinnin tavoitteena on pienentää kyseisen konstruktion valmistuskustannuksia, sekä pienentää työmäärää laitteen käyttökuntoon saattamisessa laitteessa olevan vastuksen säädön muutoksilla. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajataan modernisoidun laitteen valmistus sekä testaus ja testauksen tulokset. Laite on tulevaisuudessa tarkoitus ottaa osaksi arkkileikkurin toimituslaajuutta asiakasprojekteissa. Suunnittelutyö liitetään osaksi kunnossapidon teoriaa parantavan kunnossapidon näkökulmasta. Suunnittelun lisäksi laitteelle tehdään kriittisyysanalyysi ja tämän pohjalta kunnonvalvontasuunnitelma.

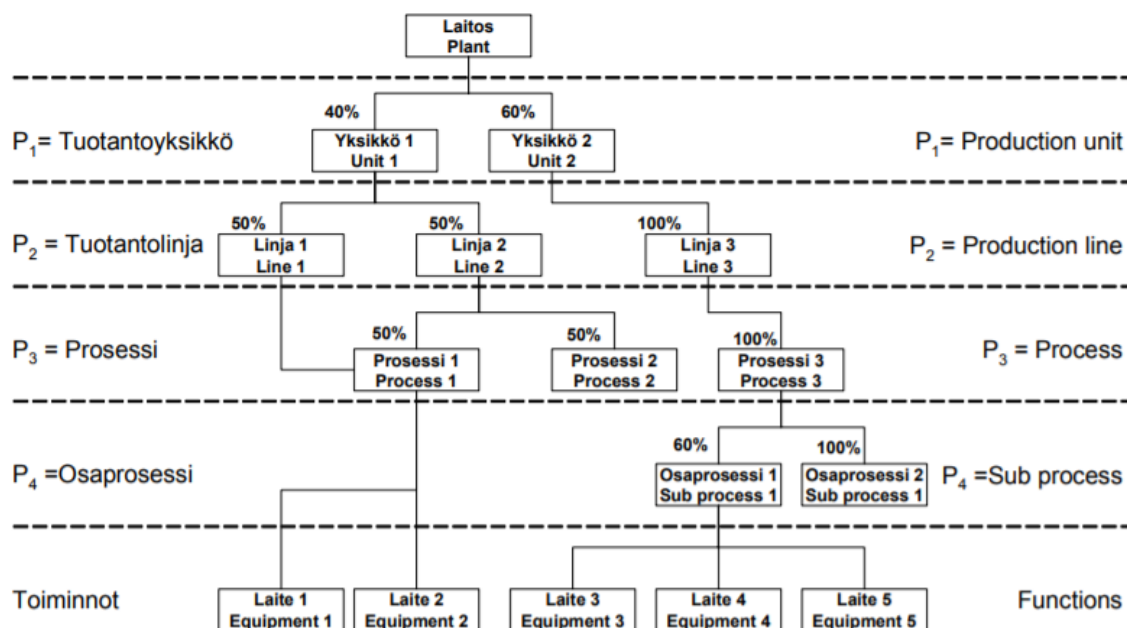
## 2 KRIITTISYYSANALYYSI

### 2.1 Perusteet

Kunnossapitosuunnitelman lähtötietojen tuottamista varten on kehitetty kriittisyyskartoitus (Mikkonen ym., 2009, s. 148). Koneiden ja laitteiden kriittisyyskartoitus tehdään kotimaisen standardin PSK 6800 mukaan, jota voidaan soveltaa teollisuuden eri kohteisiin. Standardi määrittelee kriittisyyden ominaisuudeksi, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riskin suuruus määritellään vikaantumisen vaikutusten sekä niiden toteutumisten todennäköisyyksien tulolla. Mikäli riski ei ole hyväksyttävällä tasolla, määritellään kohde kriittiseksi. Taulukossa 1 on osoitettu laitetason kriittisyyteen vaikuttavat tekijät, joita ovat turvallisuus- ja ympäristöriskit, tuotannonmenetykset, laatu- ja korjauskustannukset sekä seurauksenkustannukset. (PSK 6800, 2008, s. 1–2.)

### 2.2 Standardi

Standardissa kriittisyyden luokittelu tehdään suurimmaksi osaksi taloudellisten vaikutusten perusteella. Kriittisyyden arviointia tehdessä ensimmäisenä määritellään tarkastelun laajuus, jonka jälkeen määritetään standardin mukainen tuotannon menetyksen painoarvo. Tuotannon menetyksen painoarvon määrittämismenetelmää käytetään lähtökohtaisesti tuotantoprosessin kriittisyyden tarkasteluun, jolloin oletetaan käyttöhyödykeprosessien tuotantojen toimivan, sillä koko menetelmä perustuu käyttöhyödykeprosessien tarkasteluun. Käyttöhyödykeprosesseiksi mielletään esimerkiksi höyryn, paineilman ja sähkön tuotannot ja menetelmässä niitä tarkastellaan käyttöhyödykkeiden tuotantoprosesseina. Tuotannon menetyksen painoarvon  $W_p$  laskemiseen tarvittavat painoarvokertoimet  $P_1 \dots P_4$  on esitetty kuvassa 1, joka kuvaa laitoksen prosessihierarkiaa. (PSK 6800, 2008, s. 3–4.)



Kuva 1. Tuotannon vaikutuskertoimet (PSK 6800)

Laitoksen prosessihierarkia on jaettu laitokseen, tuotantoyksikköön, tuotantolinjaan, prosessiin, osaprosessiin sekä toimintoihin. Laitoksen painoarvokerroin on aina 100 %, jonka vuoksi sitä ei ole aiheellista merkitä kaavioon. Tuotantoyksikön painoarvokerroin  $P_1$  on sen suhteellinen osuus koko laitoksen tuotoksesta, joka voidaan määrittää tuotannon määränä, arvona tai siitä saatavana tuottona. Tuotantoyksikköjen painoarvokerroimien summa on aina 100 %. Vastaavasti tuotantolinjan painoarvokerroin  $P_2$  kuvaa tuotantolinjan suhteellista osuutta koko tuotantoyksikön tuotoksesta painoarvokerroimien summan ollessa 100 %. Prosessin painoarvokerroin  $P_3$  sekä osaprosessin painoarvokerroin  $P_4$  määritellään sen lähtövirran välttämättömyydestä muille kohteille. Mikäli prosessin tai osaprosessin toimimattomuus pysäyttää tuotantolinjan, on niiden painoarvokerroin 100 %. Menetelmällä saatujen painoarvokerroimien avulla voidaan nyt laskea tuotannon menetyksen painoarvo kaavalla

$$W_p = P_4 \times P_3 \times P_2 \times P_1$$

Kun tuotannon menetyksen painoarvo on määritetty, selvitetään taulukossa 1 annettujen painoarvojen soveltuvuus kyseiselle teollisuuden toimialalle ja tarvittaessa muutetaan niitä tarvetta vastaaviksi. Taulukkolaskentaohjelmaan (Liite 1) listataan tarkasteltavat laitteet, joille valitaan taulukosta 1 käytettävät kertoimet.

Taulukkolaskentaohjelma laskee laitteiden kriittisyysindeksin  $K$  sekä sen osaindeksit  $K_s$ ,  $K_e$ ,  $K_p$ ,  $K_q$  ja  $K_r$ . Laitteet lajitellaan kriittisyysindeksin mukaiseen järjestykseen, jolloin kriittisyysluokittelu on valmis. Laitteen kriittisyysindeksin laskenta-kaava on

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

Turvallisuus- ja ympäristöriskien seuraukset voivat vaihdella eri teollisuuden aloilla, jonka vuoksi turvallisuuden ja ympäristön kriittisyyttä voidaan vertailla vain tarkasteltavan teollisuusalan sisällä. Esimerkiksi ydinvoimateollisuudessa toteutunut vakava turvallisuus- tai ympäristöriski on absoluuttisesti tuhoisampi johonkin toiseen teollisuuden alaan verrattuna. Turvallisuusriski määritellään henkilön terveyteen kohdistuvan vaaran mahdollisuutena ja ympäristöriski on laitosalueen tai sen ulkopuolelle kohdistuvan ympäristön saastumisen mahdollisuus. Molempien kertoimet ( $M_s$  ja  $M_e$ ) kasvavat eksponentiaalisesti nolasta kuuteentoista (0, 2, 4, 8, 16) riskin vakavuuden mukaan nollan tarkoittaessa riskin olemattomuutta ja 16 vakavaa riskiä, joka aiheuttaa joko yhden tai useamman kuolonuhrin tai laajaa ympäristön saastumista, jonka korjaaminen vaatii suuria taloudellisia panostuksia. Laitteiden kriittisyysindeksit turvallisuuden ( $K_s$ ) ja ympäristön ( $K_e$ ) kannalta lasketaan

$$K_s = p \times (W_s \times M_s) \quad ja \quad K_e = p \times (W_e \times M_e)$$

Tuotantovaikutukset määritellään tuotannon menetysten ja laatukustannusten kannalta. Tuotannon menetykseksi määritellään suunnittelemattomat seisokit, jotka aiheuttavat menetettyä tuotantoaikaa. Vastaavasti kustannukset, jotka johtuvat laatu-poikkeamista, luokitellaan laatukustannuksiksi. Tällaisia kustannuksia voivat olla tuotteen alihinnoittelu laatuvirheen vuoksi tai korjaustoimenpiteet, joilla saavutetaan alkuperäistason suunniteltu laatu. Molemmissa tapauksissa kerroin ( $M_p$  ja  $M_q$ ) kasvaa nolasta neljään suhteessa menetettyyn tuotantoaikaan nollan ollessa merkityksetön vaikutus osaprosessille tai laatukustannuksille ja neljän tarkoittaessa pitkää (<24 h) seisakkia tai merkittäviä laatukustannuksia, jotka hinnaltaan vastaavat yli 8 tunnin tuotannonmenetystä. Laitteiden kriittisyysindeksit tuotannonmenetyksen ( $K_p$ ) ja laatukustannusten ( $K_q$ ) kannalta lasketaan



$$K_p = p \times (W_p \times M_p) \quad \text{ja} \quad K_q = p \times (W_q \times M_q)$$

Korjaus- tai seurauskustannuksiksi määritellään laitteen vikaantumisesta johtuvan vaurioitumisen aiheuttamat kustannukset. Kerroin ( $M_r$ ) kasvaa nolasta neljään suhteessa menetettyyn laitoksen tuotantoaikaan nollan ollessa korjauskustannusten merkityksetön vaikutus suhteessa muihin menetyksiin ja neljän tarkoittaessa merkittäviä korjauskustannuksia, joiden aiheuttamat taloudelliset menetykset voidaan rinnastaa pitkään (<24 h) tuotannon menetykseen. Laitteiden kriittisyysindeksi korjaus- ja seurauskustannusten ( $K_r$ ) kannalta lasketaan

$$K_r = p \times (W_r \times M_r) \quad (\text{PSK 6800, 2008, s. 4–11.})$$

Taulukko 1. Laitetason kriittisyyden tekijät (PSK 6800)

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

## 3 KUNNOSSAPITO

### 3.1 Yleinen kunnossapitoteoria

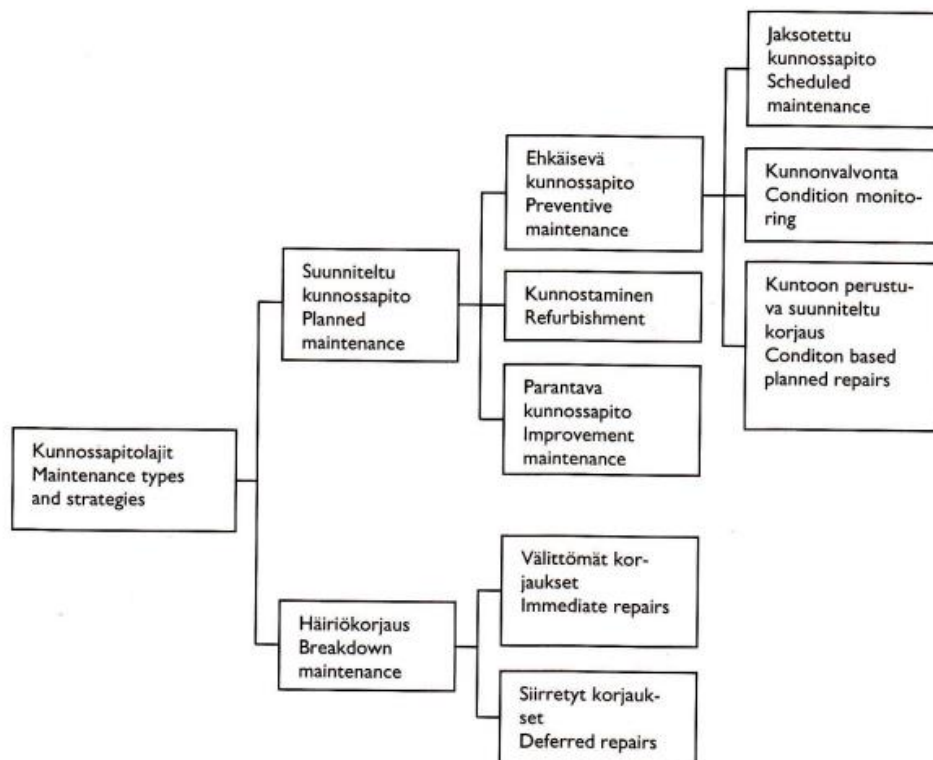
Kunnossapidon määritelmä on kehittynyt ja laajentunut vuosikymmenten saatossa ja kunnossapidon kehitysaskeleet voidaan jakaa neljään sukupolveen. Sukupolvista viimeisin edustaa aikakautemme toimintamallia, ja sai alkunsa 1990-luvulla mikroelektroniikan ja IT-tekniologioiden läpimurron yhteydessä, joka osaltaan on nostanut tuotantokoneiden hintoja, mutta myös muuttanut yritysten kulurakennetta. Koneiden kasvavan tuotannon seurauksena myös seisokkituntien hinnat kasvavat, jolloin kunnossapidon merkitys korostuu. Alati kasvavista kunnossapitokustannuksista huolimatta koneiden ja laitteiden kunnossapito on edullisempaa suhteessa koneen tuottamattomaan aikaan rikkoutumisen tai vikaantumisen vuoksi. Kunnossapidon kustannuksia ja samalla kunnossapitohenkilöstön osaamisen vaatimuksia kasvattaa kehittyvä ja lisääntyvä kunnossapitotekniikka. (Järviö, ym., 2007, s. 16–19.)

Rikkoutuneiden laitteiden korjaukset eivät täytä enää kunnossapidon ydintarkoitusta, vaan nykykäsityksen mukaan laitteiden jatkuvan toimintakunnon ylläpitäminen on kunnossapidon pääasiallinen tarkoitus (Mikkonen ym., 2009, s. 25). Kunnossapidon toimilla pyritään pitämään tuotanto edullisena, laadukkaana, turvallisena ja ympäristöä säästävänä (Ansaharju, 2009, s. 298). Kunnossapitoa ei myöskään tulisi nähdä pelkkänä kustannuksena vaan tärkeänä tuotantotekijänä, jolla varmistetaan tuotantolaitoksen kilpailukyky. (Mikkonen ym., 2009, s. 25.)

Kunnossapitokustannukset ovat olleet ja tulevat olemaan kasvujohdanteisia kasvavien tuotantomäärien sekä valmistusprosessien monimutkaistumisen vuoksi, jotka tuovat mukanaan lisääntyvää automaatiota sekä prosessi-integraatiota. Toisaalta kunnossapitokustannusten redusoivina tekijöinä nähdään toiminnan tehostuminen sekä uudet kunnossapitotekniikat. Kunnossapidon kokonaiskustannusten kasvusta huolimatta kunnossapitokustannusten osuus valmiissa tuotteessa olisi pienennettävä kilpailukykyyn säilymistä takaamiseksi, eli toisin sanoen samalla rahalla olisi saatava enemmän aikaa. (Piispa, ym., 2007, s. 20–21.)

Kunnossapidon määritelmät monien kansallisten ja kansainvälisten standardien sekä alan teosten mukaan poikkeavat toisistaan, mutta käytännössä määritelmien sisältö on hyvin samankaltainen (Mikkonen, ym., 2009, s. 26). Kunnossapidon määritelmä on esitetty kirjallisuudessa muun muassa seuraavin eri tavoin:

Standardi PSK 6201 (2017, s. 3) määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” PSK standardin mukaan kunnossapito jaetaan kahteen osaan, suunniteltuun kunnossapitoon ja suunnittelemattomaan kunnossapitoon eli häiriökorjaukseen. Häiriökorjaus on jaettu edelleen kahteen kunnossapitolajiin, joita ovat välitön häiriökorjaus, eli korjaus, jota laite vaatii heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta laitteen toimintakunto voidaan palauttaa, sekä siirretty häiriökorjaus, jossa havaitun vian korjaus voidaan siirtää tulevaisuuteen. Suunniteltu kunnossapito jaetaan vastaavasti parantavaan kunnossapitoon, kunnostamiseen sekä ehkäisevään kunnossapitoon, joka on edelleen jaettu jaksotettuun kunnossapitoon, kunnonvalvontaan sekä kuntoon perustuvaan suunniteltuun korjaukseen. Parantavalle kunnossapidolle on luonteenomaista parantaa laitteen luotettavuutta muuttamatta laitteen toimintoja, kun taas kunnostamisella palautetaan kuluneen tai käytöstä poistetun vioittuneen kohteen käyttökunto. Parantavaa kunnossapitoa käsitellään tarkemmin osiossa 3.4. Ehkäisevällä kunnossapidolla pyritään estämään vian tai vaurion syntyminen pitämällä yllä laitteen käyttöominaisuuksia. Jaksotettu kunnossapito on yksi ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteistä, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin tietyn määreen, kuten käyttötuntien, kuukausien tai tuotantomäärän mukaisesti. Kunnonvalvonta on kohteen nykytilan arvioimista erinäisin mittaus- ja havainnointimenetelmin, joiden pohjalta arvioidaan mahdolliset huolto-, korjaus- ja vikaantumisajan kohdat. Kunnonvalvontaan paneudutaan perusteellisemmin osiossa 3.2. Kuntoon perustuvaksi suunnitelluksi korjaukseksi määritellään kunnonvalvonnan menetelmin havaittujen vikojen suunnitellut korjaustyöt. Kunnossapidon lajit esitetty kaaviona seuraavassa kuvassa. (Mikkonen, ym., 2009, s. 96–97.)



Kuva 2. Kunnossapidon lajit (Mikkonen, ym., 2009.)

Eurooppalainen Suomessa hyväksytty kansainvälinen standardi SFS-EN 13306 määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.” PSK:n tavoin myös SFS-EN 13306 jakaa kunnossapidon lajit sekä ehkäisevään kunnossapitoon sisältäen kaikki ne toimet, joilla pyritään välttämään laitteen pysähtyminen vian vuoksi, että korjataan kunnossapitoon, joka edelleen jakaantuu välittömään sekä siirrettyyn kunnossapitoon. Ehkäisevä kunnossapito jaetaan edelleen kuntoon perustuvaan kunnossapitoon, jossa kohteen suorituskykyä tai sen parametreja seuraamalla toimitaan niiden vaatimusten mukaisesti, sekä jaksotettuun kunnossapitoon. Kuntoon perustuva kunnossapito voi olla aikataulutettua, jatkuvaa tai tarvittaessa toteutettavaa, kun taas jaksotettu kunnossapito pohjautuu aina ajanmääreeseen, eikä koneen kunto vaikuta suoritettaviin toimenpiteisiin. (Mikkonen, ym., 2009, s. 98–99.)

John Moubray tunnetaan alan edelläkävijänä. Hän määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän.” Moubrayn määritelmässä korostuu tarve tuotantolaitoksen selkeästä näkemyksestä laitteen odotetulta suorituskyvyltä, joka toimii edelleen pohjana laitoksen kunnossapitostrategialle sekä kunnossapidon käytännön toimenpiteille. Kunnossapito vaatii toimiakseen tämän loogisen ketjun tarpeen karvoittamisesta käytännön toimiin. (Mikkonen, ym., 2009, s. 26.)

### 3.2 Kunnonvalvonta

Koneiden ja laitteiden kunnonvalvonnalla pyritään löytämään syntyvät viat ennen niiden ilmenemistä, tavoitteena estää suunnittelematon koneen seisokki korjaustoimenpiteiden vuoksi. Kunnonvalvontaa ohjaa koneiden ja laitteiden vikaantuvat komponentit ja vikaantumismekanismit sekä niiden vikaantumisnopeudet. Näiden tietojen pohjalta määritellään kunnonvalvontatekniikat, mitattavat suureet sekä kunnonvalvonnan aikataulu. Koneiden kunnonvalvonta voidaan ja tulee toteuttaa monilla eri tekniikoilla ja kunnonvalvonnan suunnittelun yhtenä vaiheena onkin löytää konekohtaisesti soveltuvat valvontamenetelmät. Kunnonvalvonnan menetelmän tulee aina olla teknisesti toteutettavissa sekä taloudellisesti kannattava. Kunnonvalvonnan taloudellisesta järkevyyttä voidaan perustella suoralla lainauksella: ”Laitteen kunnonvalvonta on järkevää siinä tapauksessa, että valvonnan kokonaiskustannukset ovat pienemmät kuin laitteen vaurioitumisesta aiheutuvien tuotantomenetysten ja kunnossapidon kustannusvaikutukset.” (Mikkonen, ym., 2009, s. 162.)

Kunnonvalvontasuunnitelmaan pohjautuu koneiden ja laitteiden kunnonvalvonnan suorittaminen ja se pitää sisällään PSK 5705- standardin mukaisesti seuraavat menettelyt:

- Määritellään laitteiden kunnonvalvonnan tarve niiden laitteiden ja koneiden osalta, joilta se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista suorittaa. Kaikkia laitteita ei ole tarkoituksenmukaista ottaa kunnonvalvonnan piiriin esimerkiksi taloudellisen kannattamattomuuden vuoksi. PSK 5705- standardi luo raamit värähtelyvalvonnan suunnittelulle ja toteutukselle, ja mikäli värähtelymenetelmät

eivät sovellu laitteen kunnonvalvontatekniikaksi, tulee tarkastella muiden menetelmien käyttömahdollisuuksia.

- Edellä valituille laitteille laaditaan mittaussuunnitelma, jossa määritellään käytettävä valvontamenetelmä sekä sen raja-arvot ja mittausväli. Lisäksi määritetään mittauksen käytännön toteutus sisältäen dokumentoinnin, raportoinnin sekä seurannan. (PSK 5705, 2006, s. 2.)

Kunnonvalvonnan taso on yksilöllinen jokaiselle laitteelle ja mikäli yksinkertaisilla tarkastuksilla ei saavuteta asetettuja tavoitteita, tulee näiden laitteiden kohdalla harkita tarkempaa tai täydentävää valvontaa. Kunnonvalvonnan lähtökohtana on tarjota koneen kunnosta reaaliaikaista tietoa sen käyttäjille ja valvonnan on luotava mahdollisuus ennakoida kunnan kehitystä riittävällä tarkkuudella. Tarkempaa analyysia ei ole tarkoituksenmukaista suorittaa laitteille, jotka eivät sitä vaadi ja joiden kuntoa voidaan riittävästi seurata yksinkertaisilla menetelmillä. (Mikkonen, ym., 2009, s. 162–163.)

### 3.2.1 Menetelmät

Kunnonvalvonta menetelmistä käytetyin on värähtelymittaukset, mutta niiden lisäksi kunnonvalvontatekniikat voidaan jakaa mm. visuaalisiin tarkistuksiin, lämpötilan seurantaan, öljyanalyysiin, ja sähkötekniisiin kunnonvalvontamenetelmiin (Mikkonen, ym. 2009. s. 162). Kunnonvalvontamenetelmien tarkempi erittely ja niiden soveltuvuus eri laite- ja konetyypeille on nähtävissä kunnonvalvonnan valintataulukosta (taulukko 2).

- Aistinvaraisissa mittauksissa käyttäjä saa aistihavainnoilla (näkö-, kuulo-, hajua ja tuntoaisti) yleiskuvan, mutta vertailukelpoisuus on puutteellinen eri henkilöiden eri aikoihin tehtyjen havaintojen ja dokumentaation pohjalta. Lisäksi aistinvaraiset mittaukset ovat vähentyneet mm. koneiden liiallisen melun, luokse päästävyysongelmien tai työturvallisuusseikkojen vuoksi.
- Fysikaalisia perussuureita, kuten lämpöä, painetta ja dimensioita mittaamalla saadaan kunnonvalvonnassa oleellista tietoa. Esimerkiksi lämpötilan muutokset

laakereissa, paine-erot hydraulikka-, pneumatiikka- ja voitelujärjestelmissä sekä välykset ja sijainti tuovat käyttäjälle arvokasta mittausdataa.

- Sähköisten perussuureiden avulla todetaan sähkö- ja elektroniikkalaitteiden, komponenttien sekä sähkökäyttöjen kunto. Mitattavia suureita ovat jännite (V), Virta (A), Teho (W) sekä resistanssi ( $\Omega$ ).
- Ainetta rikkomattomilla mittauksilla voidaan rakenteiden halkeamat, murtumat, korroosion aiheuttamat vauriot sekä mahdolliset vuodot todeta jo ennen kappaleen vaurioitumista. Tyypillisiä ainetta rikkomattomia menetelmiä ovat ultraääni ja röntgenkuvaus. (Mikkonen, ym., 2009, s. 162.)

Taulukko 2. Kunnonvalvontamenetelmän valintataulukko. (Mikkonen, ym., 2008.)

	Värähtely	Ääni	AE	Kulumishiukkaset	Vesipitoisuus	Sähköeristys	Optiset men.	Optinen linjaus	Paine	Lämpötila	Lämpökamera	Venymä	Korroosio	Suoritusmon.
Laakerit	■	■		■			■			■	■		■	
Hihnat												■		■
Puhaltimet	■	■				■		■	■	■	■			■
Kattilat			■						■	■	■	■	■	■
Hitsausmuuntajat						■	■		■					■
Valujen valmistus										■	■			■
Kompressorit	■	■		■	■	■		■	■	■	■			■
Kytkimet	■	■						■				■		■
Leikkaavat koneet	■	■		■	■	■			■			■		■
Maansiirto	■	■		■	■				■	■	■		■	■
Sähkömoottorit	■	■				■				■	■			■
Hissit	■	■				■				■	■	■	■	■
Kuljettimet	■					■						■		
Suodattimet/separaattorit /venttiilit				■	■				■				■	■
Vaihteet	■	■		■	■		■	■	■	■	■	■	■	■
Tyhjölaitteet	■	■		■	■				■	■	■		■	■
Autoklaavit				○	○		■		■	■	■		■	■
Polttomoottorit				■	■		■		■	■	■		■	■
Kuormaus				■	■	■			■				■	■
Työstökoneet	■	■		■	■					■	○			■
Hydr. työstökoneet	■	■		■	■				■	■	○			■
Paineastiat			■						■	■	■	■	■	■
Pumput	■	■		○	○				■	■	■		■	■
Rakenteet	■									■	■		■	■
Siirtokalusto					■	■			■	■	■		○	■
Turpiinit	■	■		■	■		■	■	■	■	■		■	■
Kaapelien valmistus												■		■
Nostokalusto			■									■		■

Yllä ■ tarkoittaa hyvin toimivaa menetelmää ja ○ tarkoittaa jotenkin toimivaa menetelmää.

### 3.2.2 Kunnonvalvonnan suuntaus ja kehittäminen

Kunnonvalvonnan tulosten perusteella tehdään johtopäätös, jossa määritellään vika ja sen vakavuusaste, vian kehittymisnopeus ja näin ollen ennuste turvallisesta käyttöajasta. Tietyillä toimenpiteillä voidaan tarkentaa diagnoosia ja laitteen



ennustetta. Riippuen vian vakavuudesta, laitteen käyttöä voidaan jatkaa joko normaalisti vian ilmaantuessa kunnonvalvontaa tehostaen. Mittausvälejä tulee lyhentää, jottei havaittu vika pääse kehittymään kunnossapito henkilöstön sitä huomauttamatta. Laitteen käyttöä voidaan myös jatkaa tietyin rajoituksin, kuten laitteen nopeutta tai kuormaa pienentämällä, näin pienennetään laitteen vikaantumisen etenemisen todennäköisyyttä. Yhtenä vaihtoehtona on suorittaa tarvittavia lisämittauksia ja tarkastuksia, jotta laitteen huolto- tai korjaustarve saadaan tarkemmin selvitettyä. Viimeisenä vaihtoehtona on ehdottaa laitteen korjausaikaa, mikäli laitteen tila sitä vaatii.

Kunnossapitotoimenpiteiden jälkeen laitteen kunto tulisi tarkastaa kunnonvalvontamenetelmin, jotta voidaan varmistua korjaustoimenpiteiden onnistumisesta. Kunnonvalvonnan ja kunnossapitotoimien dokumentaatiosta tulee myös huolehtia, sillä laitteen historiatietoja voidaan käyttää apuna vian syyn selvittelyssä. Mittaustulosten säilyttämissuositus aika on kolme vuotta. Lisäksi laitteiden mittaustulokset, jotka on otettu laitteen ollessa hyväkuntoisia tai uusia, tulee säilyttää koko laitteen elinkaaren ajan vertailuarvoina. Vikaantumistilanteessa juurisyy tulee selvittää, mikäli se on helposti tehtävissä. Näin voidaan ehkäistä uuden vian syntyminen vastaavista syistä.

Kunnonvalvonnan olennaisena osana voidaan pitää parantavaa kunnossapitoa, sillä laitteen toimintavarmuutta pystytään usein parantamaan pienillä muutoksilla. Parantavan kunnossapidon toimet johtavat usein kustannussäästöihin, sillä laitteen kunnossapitokustannukset pienenevät. (Mikkonen, ym., 2009, s. 172–174.)

### 3.3 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon kolme pääryhmää määritellään kunnossapidon toimien sekä siitä saatavien ominaisuuksien mukaan. Ensimmäisessä pääryhmässä kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta ja koiteta parantaa, vaan vanhoja osia tai komponentteja vaihdetaan uudempiin esimerkiksi vastaamaan paremmin nykyajan teknologiaa. Toiseen pääryhmään kuuluvat kohteet, joiden luotettavuutta pyritään parantamaan muttei niinkään suorituskykyä. Esimerkiksi rakenteellisten

heikkouksien korjaus uudelleen suunnittelulla tai suunnitteluvirheiden korjauksella muodostavat tämän pääryhmän. Kolmanteen pääryhmän tavoitteena on kohteen suorituskyvyn kasvattaminen modernisaation avulla. Usein modernisaatio kattaa koneen ohella valmistusprosessin. Tarve tämänkaltaisille modernisaatioille syntyy tyypillisesti, kun koneen elinjakso on pidempi kuin sen valmistamien tuotteiden elinkaaret. Valmistettava tuote ei sovellu enää nykypäivän markkinoille vastaten kysyntää, ja tuotteen kilpailukykyä on pyrittävä ylläpitämään koneiden modernisoinneilla. Usein on taloudellisesti kannattavampaa uudistaa vanha kone, joka ei ole elinkaarensa lopussa kuin ostaa uusi. (Mikkonen, ym., 2009, s. 507.)

Parantavassa kunnossapidossa toimenpiteillä pyritään estämään jo käyneen vahingon uusiutuminen selvittämällä vikaantumisen perussyyn sekä vikaantumisprosessi. Vikaantumisen syyn selvittäminen on ongelmanratkaisuprosessi, jonka käsittelyä helpottaakseen koneen tai laitteen toiminta yleensä pilkotaan osatoimintoihin. Toimintojen pilkkominen selkeyttää tilannetta ja helpottaa todellisen juurisyyntä löytämistä, joka on avainasemassa parantavan kunnossapidon strategiassa. Menetelmiä vikaantumisen syyn selvittämiseen on useita, joista tavallisimpia ovat vika-analyysi, simulointi, perussyyn selvittäminen, materiaalianalyysit, suunnittelun analyysit, riskinhallinta, arvoanalyysi, syy-seurauskaavio sekä häiriöanalyysi. Koska analyysien tekeminen on vaativaa erikoisosaamista, ei jokaista vikaa kannata analysoida. Laskelmien mukaan esimerkiksi perussyyselvitystä ei kannata käyttää yli 10 % vikatapauksista. (Mikkonen, ym., 2009, s. 508.)

### 3.4 TPM

TPM (Total Productive Maintenance) on koko organisaation sitouttamista tuotantokapasiteetin ylläpitämiseen, kehittämiseen ja huoltamiseen luoden kokonaisvaltaisen käsityksen kunnossapidon vaikutuksista tuotantoon. TPM:llä pyritään kustannustehokkuuden parantamiseen sekä laitteen kokonaistehokkuuden kohottamiseen. Eräs TPM:n uranuurtajana Suomessa toiminut menestynyt yritysjohtaja on todennut: ”Normaaleissa tuotannollisissa yrityksissä yli 90 % työntekijöistä käyttää työssään vain käsiään ja alle 10 % sekä päättään että käsiään. Jos saat yli 50 % työntekijöistä käyttämään sekä päättään että käsiään, olet ehdottomasti voittaja.”

Toteamus vahvistaa sitä käsitystä, että TPM on ”käytännön järkeä järjestäytyneessä muodossa” hyödyntäen koko henkilöstön aivokapasiteetin tuoden samalla päätösvaltaa ja vastuuta ylimmältä johdolta työntekijätasolle. TPM:ään ei ole yhtä ainoaa oikeata toteutustapaa ja menetelmää, vaan tehtaat voivat käyttää toisistaan poikkeavia kehittämisprosesseja, jotka johtavat menestymiseen. Onnistumisen kannalta olennaisia asioita ovat kuitenkin menetelmästä riippumatta siisteys ja järjestys 5S-prosessi, päätösvalan ja vastuun jakaminen koko työyhteisön kesken, henkilöstön osaamisesta ja hyvinvoinnista huolehtiminen sekä johdon päätöksentekokyvyn kehittäminen tarvittaessa nopeastikin tehtävien päätösten tekemiseen. Havaintojen mukaan TPM:n onnistuminen vaatii monissa organisaatioissa merkittäviä muutoksia johtamiskäytäntöihin ja vanhoista tavoista irti pääsemiseen, sillä kaikki TPM:n soveltamisen ja läpiviemisen esteet ovat organisaation johtamisessa. (Laine, 2010, s. 41–42.)

5S on alkujaan Japanista yleiseen käytäntöön levinnyt teollisuuden prosessi, joka on avainasemassa TPM:n onnistumisen kannalta edistäen työympäristön siisteyttä ja järjestystä. Kehittämismenetelmän tavoitteita ovat työturvallisuuden ja -viihtyvyyden edistäminen, paloturvallisuuden kehittäminen, työtapaturmien minimointi sekä tuotannon ja toiminnan laadun kohottaminen. 5S-prosessiin kuuluvat kuvassa 2 esitetyt viisi vaihetta (sort-sustain), jotka takaavat järjestelmällisen kehitysprosessin ja tulosten pysyvyyden. Lajittelu ja erottelu- vaiheessa (sort) työssä tarvittavat välineet lajitellaan käyttöiheyden mukaan, ja välineet, joita ei tarvita tässä ja nyt, siirretään sivuun tai poistetaan kokonaan käytöstä. Järjestä- vaiheessa (set in order) työvälineille mietitään säilytys- ja sijoituspaikat muun muassa investoimalla järkeviin säilytysratkaisuihin- ja kokonaisuuksiin. Puhdistus- vaiheessa (shine) työympäristön puhtauteen ja siisteyteen panostetaan. Standardien asetusvaiheessa (standardize) toiminnan vakiinnuttamisen toimet tuodaan käytäntöön muun muassa tarkastuskierroksilla. Viimeisessä ylläpitovaiheessa (sustain) edistetään prosessin jatkumista koulutuksilla, viestinnällä, vastuuttamisella, kierrättämisellä sekä havainnoinnilla käyttäen apuna visuaalisia merkintöjä ja valvontamenettelyjä.



Kuva 3. 5S-prosessi (UNEX, 2022).

TPM perustuu yksilön motivoimiseen, sillä motivoituneet yksilöt luovat ryhmässä toimiessaan toimivia tuotantjoukkueita. TPM on koko organisaatiota sitouttavaa tiimityötä johtoportaasta työntekijätasolle. Organisaation johdon tehtävä on vastustaa ihmisloueelle perusomaista egoistista käyttäytymistä ja luoda yksilölle toimintaympäristö, joka kasvattaa sisäsyntyistä motivaatiota, esimerkiksi tarvetta tehdä parhaansa hyvän tuloksen saavuttamiseksi. Panostus työympäristöön, työmenetelmiin sekä työkaluihin usein vähenee mitä kauemmas ylimmästä johdosta siirytään, ja puutteelliset työolot, -menetelmät sekä -välineet heijastuvat negatiivisesti työntekijöiden motivaatioon. Historia osoittaa kepin ja porkkanan olleen molempien toimivia konsepteja motivaation ja tulosten saavuttamiseksi, mutta nykykäsitksen mukaan porkkanoiden käyttäminen luo paremman ympäristön ihmisten työmotivaation kasvattamiselle. (Laine, 2010, s. 42.)

TPM:n periaatteet ovat jaettu kymmeneen elementtiin, jotka on otettava huomioon organisaation toimintaa kehitettäessä.

- Kunnossapidon vähentäminen hankintatyön ja suunnittelun yhteydessä vähentää kunnossapidon suoria ja epäsuoria kustannuksia laitteen toimintavarmuuden lisäämisellä, kun kunnossapitoa suunnitellaan jo laitteeseen

itseensä. Lisääntyneet suunnittelukustannukset maksavat itsensä takaisin jo suunnittelun ansioista vähentyneillä laitteen sisäänajovaiheen tunneilla. Laitteen hankintavaiheessa yhteistyö laitteentoimittajien ja asiakkaiden välillä on välttämätöntä sekä lisäksi laitteen toimintavarmuuden ja kunnossapitotarpeen huomioon ottaminen vaatii osaamista.

- Koneita kehittävä kunnossapito on moniammatillista yhteistyötä insinöörien, koneenkäyttäjien sekä korjausmiesten kesken. Kunnossapitoon ja korjaukseen käytettävää aikaa voidaan lyhentää muuttamalla näitä kunnossapito- ja korjausmenetelmiä. Erityisesti kokemuksen pohjalta voidaan todeta teollisuudessa olevan paljon koneita, joiden kunnossapitotarvetta voidaan minimoida suunnittelumuutoksilla.
- Laatua parantava kunnossapito voidaan tehdä jopa ilman suuria investointeja, eikä laitteiden iän tuomaa laadun heikentymistä pitäisi hyväksyä itsestään selvänä, vaan laadun heikkeneminen tulisi estää kunnossapitotoimenpiteillä.
- Ennaltaehkäisevä kunnossapito ja kunnonvalvonta perustuu koneenkäyttäjien kouluttamiseen sekä koneen tuntemiseen, sillä lämpötilojen, melun ja värähtelyn merkitys on ymmärrettävä. Kunnossapitotoimenpiteitä ja niiden aikataulutusta tulee valvoa kirjanpidolla, ja kunnossapidon toimet jaetaan vastuualueisiin koneenkäyttäjien sekä korjaushenkilöstön kesken.
- Korjaava kunnossapito toimintahäiriön sattuessa johtuu aiemmin tehdyistä arviointivirheistä ja osaamisen puutteesta. Osaamisen kasvaessa ennakoiva kunnossapito tehostuu. Tehokkaalla ennakoivalla kunnossapidolla ja kunnonvalvonnalla pyritään ehkäisemään ja estämään tilanteet, jotka vaativat korjaavaa kunnossapitoa.
- Mittaaminen ja mittauspoikkeuksiin reagoiminen on edellytys toiminnan jatkuvalla parantamiselle. Oikein valituilla mittareilla osoitetaan laatuvirheet, tehoalenemat, tuhlaukset sekä toiminnalliset ongelmat ja jokaiselle mittarille on nimettävä oma vastuhenkilö.
- Raaka-aineen käyttösuhteen parantamiseen voidaan useimmissa laitoksissa vaikuttaa, ja se onkin raaka-ainehävikkien kanssa tärkeä tulostekijä. Raaka-aineen käytön hyötysuhdetta tulee seurata kokonaiskäyttösuhteen lisäksi, jotta mahdollinen osaprosessikohtainen ongelma voidaan paikantaa ja

ongelman suora syy selvittää. Syyn selvittäminen ja sen korjaavat toimenpiteet ovat edellytys kokonaiskäytösuhteen parannukselle.

- Koulutus on keino investoida yrityksen tärkeimpään voimavaraan eli henkilöstöön. Omalle organisaatiolle räätälöity tarpeita vastaava tehokkaasti toteutettu koulutus maksaa itsensä nopeasti takaisin. Koulutuksen hyödyt havaitaan konkreettisesti, kun koulutuksen tulokset mitataan ja samalla virheelliset koulutuspanokset, jotka eivät vastanneet henkilöstön tarpeisiin, voidaan oppia. Henkilöstön koulutusten suunnittelu kuuluu vahvana osana yrityksen strategista suunnittelua, jonka ohjausvastuu on organisaation johdolla.
- Työympäristön siisteydellä luodaan mahdollisuudet mahdollisten ongelmien varhaiseen havaitsemiseen, jolloin ennakoivalla toiminnalla pystytään ehkäisemään laitteiden tai koneiden rikkoutuminen. Siistillä työympäristöllä kasvatetaan työiihtyvyyttä ja – motivaatiota sekä lisätään tuottavaa työaika, kun aika ei kulu tavaroiden ja papereiden etsimiseen. Joissakin työvaiheissa voidaan kasvattaa jopa 20 % työn tuottavuutta hyvällä järjestyksellä.
- Henkilöstön aktiivisuuden lisäämiseksi parhaimmat tulokset saadaan toteuttamalla runsaasti pieniä muutoksia. Henkilöstön kehittämisalitteet täytyvät johtaa toimenpiteisiin ja tuntua tärkeiltä, jotta niitä tuodaan esiin. Hyvin monissa yrityksissä on mahdollisuus kasvattaa työntekijöiden aktiivisuuden ja pienten jatkuvien parannusten määrää. (Laine, 2010, s. 43–47)

## 4 LAITTEEN SUUNNITTELU

### 4.1 Lähtötilanne

Sellun tuotantolinjaston loppupäässä sijaitsevan arkkileikkurin tehtävänä on leikata kuivatettu sellurata sekä pituus, että poikkisuunnassa asiakkaan määrittämien koehtojen mukaisesti selluarkeiksi. Arkkileikkurin toiminnan kannalta merkittävässä osassa ovat painopyörästöt, jotka osallistuvat jo leikattujen selluarkkien kuljetukseen sekä erityisesti niiden limittämiseen. Sellulinjaston ratanopeuden ollessa 150–230 m/min arkkileikkurille saapuessa, tulee arkkien nopeutta huomattavasti hiljentää ennen niiden latoamista päällekkäin paalipinoiksi. Limityksen ansiosta arkkien nopeus saadaan vähenemään noin 80 m/minuutissa ennen latoamisvaihetta. Selluarkkien limitys tapahtuu painopyörästön alla, kun limitysosalla arkkeja kuljetavat kuljetustelat pyörivät ratanopeutta hitaammin siirtäen arkkeja osittain toistensa päälle niiden vauhdin hidastuessa. Painopyörästö nimensä mukaisesti painaa noin kahdeksasta kymmeneen kilon vastuksella arkkeja kuljetustelaa vasten muodostaen nipin kuljetustelan ja painopyörän välille, mikä takaa leikattujen arkkien siirtymisen kohti latoamisvaihetta.

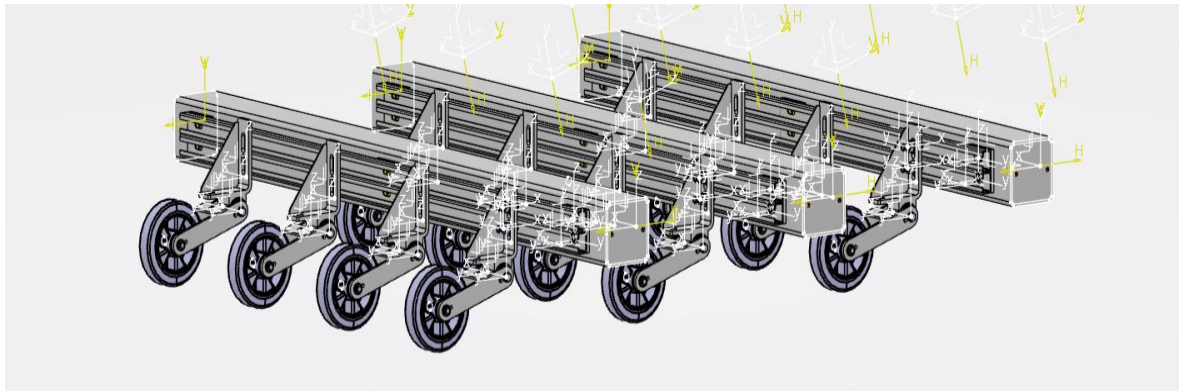
Painopyörästön vastuksen säätö haluttuun kahdeksasta kymmeneen kiloon toteutetaan kierrejousen ja kierretangon avulla ennen painopyörästön käyttöönottoa, ja näin ollen jokaisen pyörän säätäminen yksitellen vie aikaa. Säädön jälkeen kierretangot katkaistaan lyhyemmäksi ja leikattu pää tulpataan hattumutterilla. Kierretangon katkaisusta huolimatta jäljelle jäävät tapit voidaan nähdä turvallisuusriskinä koneen päällä kuljettaessa. Lisäksi painopyörästöpalkin ympäri suunnitellut koneistetut kannakkeet vaikeuttavat kulkemista palkkien päällä. Painopyörien kannakkeiden valmistuskustannuksiin haetaan myös suunnittelumuutoksilla ratkaisua ja koneistuksen määrän tarvetta pyritään vähentämään.

### 4.2 Tavoitteet

Painopyörästön modernisoinnin päätavoitteena on redusoida osien valmistuskustannuksia rakenteiden suunnittelumuutoksilla sekä yksinkertaistaa painopyörästön

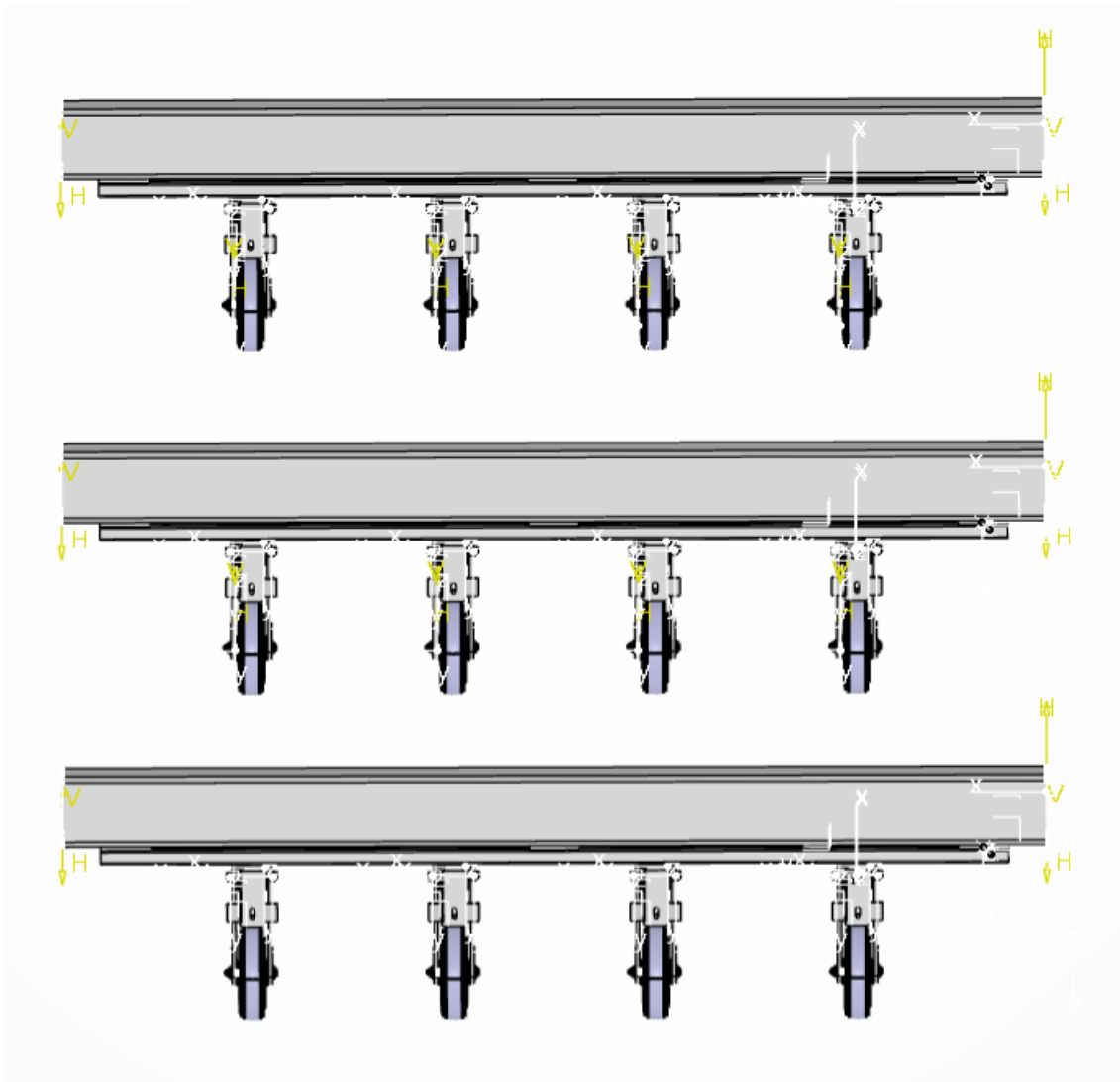
kuorman säätöä vastuselementtinä toimivan levyjousen avulla. Laitteen suorituskykyä ei itsessään pyritä parantamaan. Levyjouset kiinnitetään konstruktion jo ka-sausvaiheessa, jolloin painopyörästöt säätyvät haluttuun kuormaan, kun palkkirakenne asennetaan paikalleen. Painopyörän kiinnitys palkkirakenteeseen on pyritty yksinkertaistamaan ja näiden kiinnitysosien kustannuksia pienentämään. Lisäksi kiinnikkeiden ja kannakkeiden muutoksilla saadaan palkkirakennetta jäykistettyä, joka on eduksi erityisesti leveissä koneissa, joissa palkin tukipisteet ovat etäällä toisistaan.

Laitteen 3D-mallinnus tehtiin toimeksiantajayrityksen käytössä olevalla Catia V6-mallinnusohjelmalla. Modernisoidun painopyörästön toiminta testataan Porissa sijaitsevalla koeleikkurilla ennen sen tarjoamista tuotantokoneisiin. Laitteen valmistus sekä testaus ja sen tulokset rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Lisäksi toimeksiantajan ohjeistuksia noudattaen opinnäytetyön suunnitteluosuudesta syntyneet tarkat 3D-mallit sekä valmistuspiirustukset rajataan tämän työn ulkopuolelle. Alla yleiskuvaus painopyörästön kokoonpanosta.



Kuva 4. Painopyörästö suunnittelumuutosten jälkeen.





Kuva 5. Painopyörästä ylhäältä kuvattuna.

## 5 ENNAKOIVAN KUNNOSSAPIDON SUUNNITELMAN TEKE- MINEN

### 5.1 Kriittisyysanalyysin suorittaminen

Painopyörästä käytetään kuulalaakeroituja Blicken valmistamia halkaisijaltaan 200 mm polyuretaanipyöriä. Vaikkei yksittäisen pyörän laakerin vikaantumisväli ole tiheä, voi painopyörien määrä koneen koosta riippuen nousta jopa liki 200 yksittäiseen pyörään. Yhdenkin pyörän laakerin vikaantuessa pyörän pysähtyminen aiheuttaa kyseessä olevan pyörän alla liikkuvien selluarkkien pysähtymisen ja näin ollen linjasto ruuhkautuu ja lopulta tuotanto ohjautuu automaation ansiosta hylkyluukun kautta pulpperiin. Sellulinjaston materiaalihävikki on käytännössä olematonta juuri hylkyluukkuun ohjautuvan radan vuoksi, sillä sen kautta jo valmiiksi kuivatettu sellurata saadaan uudelleen kiertoon. Tuotantoajan menetyksiä kuitenkin syntyy aina, kun linjasto ei tuota valmiita sellupaaleja, ja erityisesti arkkileikkurin ollessa tuotantolinjaston viimeinen arkin ja paalipinon valmistukseen osallistuva kone, jatkuvan käynnin varmuus korostuu. Tuotantokoneiden sekä koko että nopeudet ja näin ollen tuotantomäärät ovat jatkuvassa kasvussa, joka tarkoittaa suurempaa kustannusten kasvua menetetyt tuotantoajan kautta. Laitteiden ja koneiden kunnonvalvonnan keskeisimpänä tavoitteena on ylläpitää laitteiden kuntoa niin, että ne pystyvät suorittamaan haluttua toimintoa ilman suunnittelemattomia korjaustöitä. Arkkileikkurin kuljetusosan ruuhkautuessa painopyörien alle jumiin jääneet arkit siivotaan käsin, joka on työlästä ja aikaa vievää. Tuotannon keskeytys mm. rikkoutuneen painopyörän laakerin vuoksi voi kestää pitkäänkin verrattuna siihen, miten kauan uuden pyörän vaihtaminen suunnitellusti huoltoseisokissa veisi aikaa.

Laitteen kriittisyysanalyysissa (taulukko 1) kriittisen laitteen raja-arvo on 400 pistettä, jonka painopyörästä laskennallisesti juuri ja juuri saavuttaa, jos oletetaan keskimääräisesti yhden painopyörän laakerin vikaantumisvälin  $p$  olevan 4 (=lyhyehkö, 0,5–2 vuotta). Toki pyörämäärän kasvaessa vikaantumisväli voi noustakin. Painopyörästä ei vikaantuessaan aiheuta turvallisuus- tai ympäristövaikutuksia, eikä myöskään merkittäviä korjaus- tai seurauskustannuksia, sillä uuden pyörän vaihtaminen käy itsessään nopeasti. Näiden tekijöiden vaikutus kriittisyysanalyysissa on

siis nolla pistettä. Tuotantovaikutuksista voidaan tuotannon menetyksen  $W_p$  painoarvoksi laskea 100 pistettä, sillä painopyörän laakerin vikaantuessa selluarkit eivät kulje eteenpäin, aiheuttavat ruuhkan ja tuotanto pysähtyy arkkien ohjautuessa pulpperiin. Kerroin  $M_p$  vikaantumistilanteessa on 1, sillä laitteen toimimattomuus pysäyttää tuotannon hetkeksi ( $< 3h$ ). Näin ollen laitteen kriittisyysindeksi tuotannon menetyksen osalta lasketaan  $K_p = p \times (W_p \times M_p)$ , josta saadaan tulokseksi  $K_p = 4 \times (100 \times 1) = 400$ . Laatukustannuksia ei myöskään synny laakerivian seurauksena, jolloin painopyörästä kokonaiskriittisyysindeksi muodostuu ainoastaan tuotantovaikutuksista.

## 5.2 Tulosten hyödyntäminen kunnonvalvonnan suuntaamisessa ja kehittämisessä

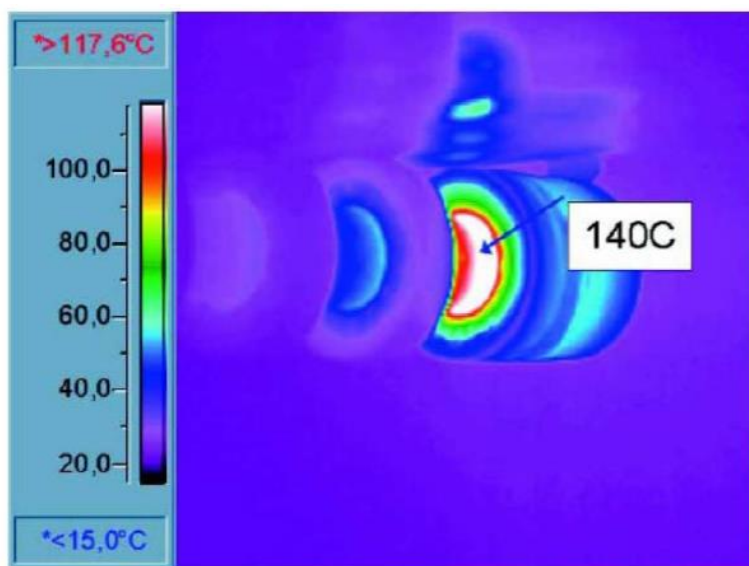
PSK 6800- standardi suosittelee kunnonvalvontaa laitteille, jotka saavuttavat laitteen kriittisyysanalyysissä kriittisyyden raja-arvon 400 pistettä. Saadun tuloksen perusteella arkkileikkurin painopyörästä olisi mahdollista vikaantumisen aiheuttamien tuotannon menetysten vuoksi ottaa osaksi säännöllisesti toteutettavaa kunnonvalvontaa. Kunnonvalvonta toteutettaisiin säännöllisillä laakereiden lämpötilamittauksilla lämpökameraa käyttäen. Lämpötilan seuranta on helposti ja nopeasti suoritettava toimenpide, jolla voitaisiin havaita laakerien lämpeneminen vikaantumisen vuoksi. Mittausajankohta tulee määrittää riittävän lyhyeksi, jottei laitteen vikaantuminen ehdi syntyä mittauskertojen välissä. Mittaustulokset raportoidaan tulosten seurannan mahdollistamiseksi ja näin ollen mittauspoikkeamat ovat myös havaittavissa. Mittauspoikkeaman ei tämän kaltaisessa konstruktiossa tarvitse johtaa välittömiin huoltotoimenpiteisiin, vaan mittaustuloksen trendiä voidaan seurata. Laakerin lämpeneminen voi olla ajoittain hetkellistä lämpötilan palautuessa ajan kuluessa normaalille tasolle. Mikäli mittaustuloksen poikkeama jatkuu ja kasvaa, on syytä ajoittaa pyörän vaihto seuraavaan suunniteltuun seisokkiin.

## 5.3 Kunnonvalvonnan menetelmien hyödyntäminen

Lämpö- ja värähtelymittaukset ovat tyypillisimpiä laakerivikojen ennakoivassa paikannuksessa käytettyjä menetelmiä. Lämpökamera on pienen kokonsa ja

käyttöystävällisyytensä vuoksi vakiinnuttanut paikkansa kunnossapidossa ja vian etsimisen sijaan sitä on alettu yhä enemmän käyttämään säännöllisenä kunnonvalvonnan menetelmänä. Lämpökameran käytön opettelu ei myöskään vaadi erityistä koulutusta kunnossapitohenkilöstöltä. (Opetushallitus, 2022.)

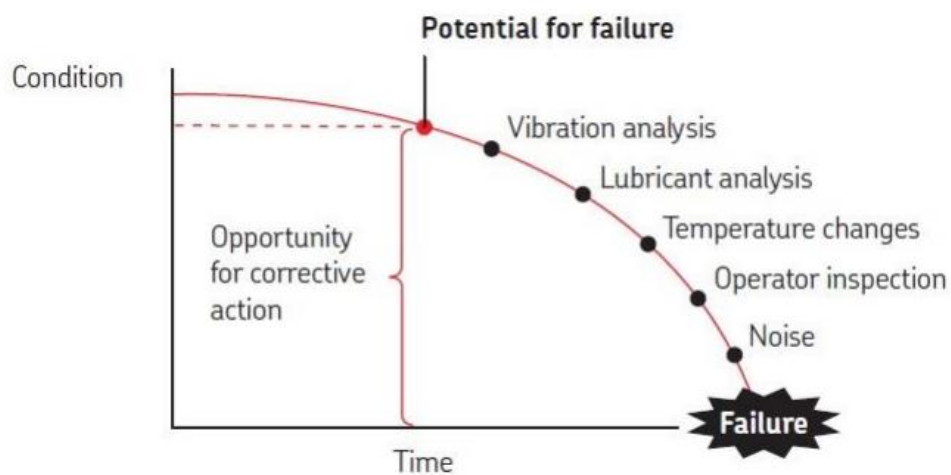
Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyjen vastaanottamiseen, joita jokainen kohde tai kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nolapisteen ( $-273\text{ °C}$ ), lähettää. Lämpökamera mittaa lämpötilan vastaanotetun lämpösäteilyn avulla muuttaen lämpötilanjakauman kuvaksi. Kameran tarkkuus on tavallisesti  $\pm 2$  celsiusastetta ja sillä voidaan erottaa  $0,1$  asteen erot. (Opetushallitus, 2022.) Lämpökameran käyttö on nopeaa sekä vaivatonta, sillä mittausalue on laaja ja tieto mitatavan pinnan lämpötilasta tulee kameran näytölle reaaliajassa. Lämpökamera soveltuu hyvin myös jatkuvaan mittaukseen, sillä laitteessa ei ole liikkuvia osia. (Mikkonen, ym., 2009, s. 444–445.) Lämpötilamittauksella on monia sovelluskohteita erityisesti paperi- ja selluteollisuudessa, jossa laakerien määrä on suuri useiden teilojen ja pyörien vuoksi. Myös mm. hydraulisylintereiden vuotokohdat voidaan paikantaa lämpötilamittauksilla.



Kuva 6. Viallisen laakerin lämpökamerakuva (Opetushallitus, 2022).

Lämpökameran käytön soveltuvuutta laakerin kunnon arvioinnissa heikentää lämpötilamuutosten myöhäinen ilmaantuvuus. Laakerin lämpötila nousee käytännössä vasta siinä vaiheessa, kun laakeri on jo viallinen ja se tulisi pikimmiten vaihtaa.

Ennakoivampi mittausmenetelmä laakerin kunnan kartoittamiseen on värähtelymittaus, mutta selluteollisuudessa taustavärähtelyn määrä on suuri monen värähtelijän vuoksi ja näin ollen tulokset vaatisivat kehittyneempiä värähtelymittareita sekä tulosten analysointia ja käsittelyä. Lämpökameran käyttö on tämänkaltaisessa tilanteessa edullisempi, nopeampi ja helpompi menetelmä. Myös laitteen kriittisyysindeksi on raja-arvolla, joten ei olisi tarkoituksenmukaista kasvattaa kunnonvalvontakustannuksia suuremmiksi, mitä laitteen vikaantuminen aiheuttaisi.



Kuva 7. Laakerin kunnan havainnointi ajan funktiona (SKF, 2022, s. 87).

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön toiminnallisen osuuden tavoitteena oli toimeksiantajan toiveesta suunnittelumuutoksilla parantaa painopyörästäön valmistuksen kustannustehokkuutta sekä nopeuttaa painopyörästäön käyttöönottoa vastuksen säädön muutoksilla. Tämänhetkisen näkemyksen pohjalta molempiin tarpeisiin pystyttiin vastaamaan ja suunnittelutyö on valmis ostoehdotuksen tekemiseen. Suunnittelutyö liitettiin osaksi parantavan kunnossapidon kirjallisuuskatsausta.

Painopyörästäölle tehdyn kriittisyysanalyysin perusteella painopyörästäö luokitellaan tuotannon menetyksen näkökulmasta kriittiseksi laitteeksi, joka olisi perusteltua ottaa osaksi säännöllistä kunnonvalvontaa lämpötilamittausmenetelmin. Tämänhetkisen tiedon valossa sellutehtaiden kunnossapitohenkilöstö ei säännöllisesti seuraa painopyörästäön pyörien laakereiden lämpötiloja. Laite saavutti ainoastaan kriittisyyden alarajan, joten on myös huomioitava kunnonvalvonnan todellinen tarpeellisuus, jottei kunnonvalvonnan kustannukset kasva tarpeettoman suuriksi. Kunnonvalvonta olisi kuitenkin mahdollista toteuttaa helposti, nopeasti ja edullisesti ja näin välttää tuotannon menetykset kyseisen laitteen vikaantumisen sekä siitä johtuvien suunnittelemttomien huolto- tai korjaustoimenpiteiden vuoksi.

Kunnossapidolla voidaan merkittävästi vaikuttaa tehtaan tai linjaston kokonaiskustannuksiin, ja erityisesti parantavan kunnossapidon näkökulmasta laitteiden vikaantumistiheyttä voidaan pienilläkin suunnittelumuutoksilla pienentää. Tämä näkyy suorina säästöinä kunnossapitokustannuksissa.

## LÄHTEET

Ansaharju, T. (2009). Koneenasennus ja kunnossapito. WSOY Oppimateriaalit.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. (2007). Kunnossapito (4. uudistettu painos). Oy Kotkan kirjapaino Ab.

Laine, H. (2010). Tehokas kunnossapito – tuottavuutta käynnissäpidolla. Savion kirjapaino.

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. Kuntoon perustuva kunnossapito. Savion kirjapaino.

Opetushallitus. (2022). Kunnossapito – menestystekijä.

Saatavilla osoitteessa: 5. Lämpökamera (edu.fi)

Viitattu 26.5.2022

PSK 5705. (2006-02-09). Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. PSK Standardisointiyhdistys.

PSK 6800. (2008-06-05). Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys.

SKF Maintenance and Lubrication Products. 2011. SKF Group.

Saatavilla osoitteessa: [http://www.tehimpex.si/pdf/orodja\\_nadzor\\_stanja/SKF\\_ORODJA\\_IN\\_NADZ\\_OR\\_STANJA.pdf](http://www.tehimpex.si/pdf/orodja_nadzor_stanja/SKF_ORODJA_IN_NADZ_OR_STANJA.pdf)

Viitattu 26.5.2022

UNEX. (2022). The importance of 5s lean manufacturing.

Saatavilla osoitteessa: <https://blog.unex.com/the-importance-of-5s-lean-manufacturing>

Viitattu 3.2.2022

Valmet. (2022). Saatavilla osoitteessa: Valmet - johtava sellu-, paperi- ja energiateollisuuden teknologia- ja palvelutoimittaja

Viitattu: 3.2.2022



