

LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT
School of Energy Systems
Electrical Engineering

DIPLOMITYÖ

Justus Putsela

**YRITYKSEN DIGITAALISEN MATURITEETIN KEHITYS PAPERIKONEEN
KUNNOSSAPIDOSSA**

Työn tarkastajat:

Professori Jarmo Partanen

Apulaisprofessori Jukka Lassila

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden Teknillinen Yliopisto LUT

Energiajärjestelmien tiedekunta

Sähkötekniikka

Justus Putsela

Yrityksen digitaalisen maturiteetin kehitys paperikoneen kunnossapidossa

Diplomityö

2020

55 sivua, 7 kuvaa, 8 taulukkoa ja 2 liitettä.

Tarkastajat: Professori Jarmo Partanen

Apulaisprofessori Jukka Lassila

Hakusanat: Kunnossapito, Digitalisaatio, Digitaalinen maturiteetti, Paperikoneen kunnossapito

Uusi digitaalinen teollisuuden aikakausi on tuloillaan ja yritykset kamppailevat teknologian kanssa kustannuksia vastaan. Aikakausi tuo mukanaan suuria haasteita digitaaliselle kehitykselle, missä kustannukset ovat keskipisteenä. Erityisesti digitaalisen maturiteetin määrityksellä voidaan asettaa yritykset tietylle lähtötasolle riippumatta niiden toimialasta. Maturiteettitason noston tarkoituksena on kehittää yrityksen digitaalisia valmiuksia kohti tulevaisuuden teknologioita, sekä tehostaa jo olemassa olevia prosesseja. Samalla on mahdollistaa synnyttää kustannussäästöjä erilaisia pienilläkin investoinneilla digitaalisuuteen.

Tässä diplomityössä tutkitaan keinoja, jolla voidaan nostaa erilaisten yritysten digitaalista maturiteettia. Aluksi on tärkeää määritellä yritysten oma lähtötaso, mistä maturiteettia lähdetään nostamaan. Sen kehitys tarkoittaa jokaisen työntekijän ajattelutavan muutosta, sekä täysin uusien teknologioiden hyödyntämistä liiketoiminnassa.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
Faculty of Energy Systems
Electrical Engineering

Justus Putsela

Digital maturity progress in paper machines maintenance

Master's Thesis

2020

55 pages, 7 figures, 8 tables and 2 appendices.

Examiners: Professor Jarmo Partanen
Associate Professor Jukka Lassila

Keywords: Industrial, Maintenance, Digitalization, Digital maturity, Paper machine maintenance.

Companies are at the brink of new digital era and are having lots of challenges in their business. New era brings great challenges in the form of cost management. Especially determining the base level of digital maturity for companies excluding their branch of industry. Point of advancing the maturity level of corporations is that they are better prepared for the next generation technology and developing already existing processes. It is also possible to be more cost effective with little investments in the digitalization.

This master's thesis examines ways to raise digital maturity of different companies. At first it is very important, that the base level of digital maturity is determined from where it can be improved. Improving the digital maturity means changing the ways of thinking and acquiring skills to use new technology in the business.

ALKUSANAT

Diplomityön aihe on valittu täysin omasta kiinnostuksesta digitalisaatiota kohtaan. Diplomityössä käsitellään yrityksen digitaalisen maturiteetin kehitystä ja keinoja, joilla asiaan tulisi nykypäivänä asennoitua kunnossapidon näkökulmaa hyödyntäen. Työstä saatiin arvokasta tietoa kunnossapidon kehityksestä ja siitä, miten yritys voi strategisilla päätöksillään tehdä suurta vaikutusta digitalisaation ja sen kehityksen parissa.

Työn tarkastajina toimivat Jarmo Partanen ja Jukka Lassilla. Haluan kiittää heitä erinomaisesta tarkastuksesta ja avustuksesta diplomityöni parissa. Heiltä olen saanut myös yliopisto urani aikana laadukasta opetusta, jotka valmistavat erityisesti tulevia ammatteja varten.

Haluan kiittää kaikkia projektissa mukana olleita ja erityiskiitokset kuuluvat tukijoukoilleni kotona, äidilleni Annelle, sekä isälleni Reinolle.

Helsingissä 26.5.2020

Justus Putsela

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	Tutkimus kysymykset.....	8
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	8
2	MITÄ ON KUNNOSSAPITO	10
2.1	Kunnossapito yleisesti	10
2.2	Kunnossapitolajit standardien mukaan.....	11
2.2.1	ISO-standardit kunnossapidossa	11
2.2.2	SFS-standardit kunnossapidossa.....	12
2.2.3	PSK standardit kunnossapidossa.....	13
2.2.4	IEC-standardeja.....	16
2.3	Kunnossapidon filosofioita.....	16
2.3.1	RCM eli reliability centred maintenance.....	17
2.4	Digitaalinen Maturiteetti	17
3	KUNNOSSAPIDON TALOUDELLINEN MERKITYS.....	18
3.1	Kuntoon perustuvan kunnossapidon taloudellinen merkitys tehdasalueella ja sen strategiset valinnat suunnittelussa	19
3.1.1	Sisäisesti hoidettu kunnossapito	20
3.1.2	Ulkoistettu kunnossapito	21
3.1.3	TPM-filosofia eli kunnossapidon tuottavuuden malli.....	22
4	DIGITAALINEN TRANSFORMAATIO TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPIDOSSA.....	27
4.1	Digitaalinen maturiteetti.....	27
4.2	Digitaalinen transformaatio	27
4.3	Digitaalisen maturiteetin -mallit 4.0.....	28
4.4	Industry 4.0.....	30
4.4.1	Kohti Industry 4.0 ajatusmallia.....	31
5	KUNNONVALVONNAN MENETELMÄT JA DIAGNOSTIIKKA	33
5.1	Kunnonvalvonnan menetelmät paperikoneella.....	34
5.2	Automaattinen kunnonvalvonta ja diagnostiikka.....	35
5.3	Digitaaliset kunnonvalvonnan menetelmät	36
5.3.1	Digitaalinen kaksonen kunnossapidossa	36
6	KUNNOSSAPIDON KEHITYS DIGITAALISTA MATURITEETTIA PARANTAMALLA.....	38

6.1	Paperinvalmistuksen peruseriaatteen ja kunnossapito	39
6.1.1	Korjaava kunnossapito.....	40
6.1.2	Ennakoiva kunnossapito.....	41
6.1.3	Paperikoneen kunnossapito tulevaisuudessa	41
6.2	Kunnossapidon nykytila ja sen kehityksen askeleet digitaalista maturiteettia parantamalla.....	42
6.3	Paperikoneen kunnossapidon kehitys digitaalista maturiteettia parantamalla.....	44
7	YHTEENVETO.....	49
8	LÄHTEET	51
	LIITTEET	53

KÄYTETYT LYHENTEET

MTBF	Mean Time Between Failures eli vikaantumisten välinen keskimääräinen aika
MTTF	Mean Time To Fault eli vikaantumisvälin toiminta-ajan odotusarvo
MTTR	Mean Time To Restoration eli toipumisajan odotusarvo
TBF	Time Between Failures eli vikaantumisväli
TPM	Total Productive Maintenance eli tuottava kunnossapito
TTF	Time To Fault eli toipumisajan jälkeinen toiminta-aika vikaantumisvälillä
TTR	Time To Restoration eli toipumisaika
OEE	Overall equipment efficiency eli laitteiden kokonaiskäytettävyys
KPI	Key Point of interest eli yrityksen erilaisia tärkeitä liiketoiminnan mittareita

1 JOHDANTO

Työssä pyritään selvittämään kuinka yritys voi oman paperikoneen kunnossapitonsa kautta nostaa digitaalisen maturiteetin tasoaan. Paperikone on kompleksinen monen laitteen ja koneen yhtymä, joka vaatii vuosittaista kunnossapitoa erittäin paljon ja tästä syystä sen maturiteetin tarkastelu sopii hyvin diplomityölle. Työssä perehdytään myös mitä uusi teollinen vallankumous tuo tullessaan ja antaa lähtökohdat digitaalisen maturiteetin määrittämiseen.

1.1 Tutkimus kysymykset

Tutkimuksessa päällimmäisiksi kysymyksiksi nousivat, että pystytäänkö kunnossapitoa kehittämään digitaalisin keinoin, kuten esimerkiksi digitaalista maturiteetti tasoa parantamalla. Tutkimuksessa itsessään selvitettiin myös mitkä nousevat kunnossapidossa tärkeimmiksi kysymyksiksi, sekä digitaalisen maturiteetin kehittymisen esteiksi. Digitaalisen maturiteetin kehittämisen näkökulmasta suurin kysymys oli selvästi kustannukset ja tuotannosta saatava voitto. Saadaanko maturiteetin kehittämisellä synnytettyä kustannussäästöjä kyseisistä kohteista ja teollisuuden prosesseista. Jos potentiaalisia kustannussäästöjä ei synny, niin kuinka kunnossapitoa tulisi tehostaa ja parantaa, jotta sen suorittaminen helpottuisi päivätasolla.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli tarkastella yrityksen kunnossapidon digitalisaatiota ja sen mahdollista kehitystä. Yrityksestä määritetään digitaalinen maturiteetti, jonka avulla saadaan lähtötaso yrityksen digitalisaatiolle ja sen valmiudelle. Lähtötasosta alkaen sen nousua ja kehitystä pohditaan työssä kunnossapidon ja erityisesti suunnattuna mahdollisuudet paperikoneelle. Kunnossapitoa on pitkään ajateltu jo osana tuottavaa yritystä, eikä niinkään pakollisena toimena. Kunnossapidon kehittymistä tulisi suunnata automatisoituihin prosesseihin, sekä tehokkaampaan datan käyttöön.

- Teollisuuden kunnossapidon digitalisaation määrittäminen, sekä digitaalisen maturiteetin selvitys
- Työ sisältää materiaalia kunnossapidon kehittämiseksi ja myös tulevaisuuden näkymiä kunnossapidon kehittämiseksi
- Työllä pyritään analysoimaan ja kehittämään kunnossapitoa kustannustehokkaampaan suuntaan, sekä selvittää mahdolliset kipupisteet, jos sellaisia on.

2 MITÄ ON KUNNOSSAPITO

2.1 Kunnossapito yleisesti

Nykykäsityksen mukaan kunnossapidon ensisijainen tehtävä on pitää koneistot ja laitteet toiminnassa ja käyttökunnossa. Kunnossapitoon kuuluu kuitenkin myös rikki menneiden laitteiden korjaus ja huolto, vaikka tämä ei kuitenkaan ole sen päätarkoitus. Kunnossapitoa ei ajatella tärkeänä kustannus tekijänä vaan tärkeänä tuotannontekijänä, jonka avulla pystytään varmistamaan erilaisten prosessien jatkumo ja tuotantolinjojen tuotanto.

Kunnossapito vaihtelee merkittävästi minkälaisesta kokemuspohjasta ja työpaikasta on kyse. Usein kuitenkin kunnossapidon alalla työskentelevillä on selkeä käsitys mihin kunnossapidolla pyritään ja miksi sitä tehdään. Muilla kuin kunnossapidon parissa työskentelevillä ihmisillä saattaa olla vielä hyvin vanhakantaisia käsityksiä kunnossapidosta (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 25-26).

Kunnossapidon määritelmiä löytyy monista eri kansainvälisistä standardeista ja alan teoksista. Kunnossapitoa määritellään seuraavasti. Standardissa PSK 6201 kunnossapito määritellään niin, että *”se 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”* (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 25-26).

Eurooppalainen standardi SFS-EN 13306 taas määrittelee kunnossapidon niin, että *”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon”* (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 25-26).

Vimeiseksi tunnettu alan kehittäjä John Moubrey määrittelee kunnossapitoa näin. *”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat*

niiden tekevän” = ”Ensure that physical assets continue to do what their users want them to do” (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 25-26).

Kaikki standardit ovat lähellä toisiaan, mutta Moubray painottaa sitä, että käyttäjän täytyy tietää mitä laitteen halutaan tekevän, jotta kunnossapidon strategiaa ja toimintoja pystytään suorittamaan halutulla tavalla. Laitteiden kunnossapitoa tulisi huomioida jo hankintavaiheessa ja tärkeimmiksi työkaluiksi, joilla laitteiden kunnossapitoa huomioidaan ovat muodostuneet erilaiset elinjaksokustannusten ja -tuottojen laskennat (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 25-26).

2.2 Kunnossapitolajit standardien mukaan

Kunnossapitolajeihin liittyvä terminologia on hyvin hankalaa ja monet sanat on suomennettu suoraan englannin kielestä. Sanojen käyttö ja määrittelyt ovat melko kirjavia standardista riippuen, mikä aiheuttaa haasteita ja mahdollisia väärin ymmärryksiä. Kunnonvalvontaan ja ehkäisevään kunnossapitoon tehdään jatkuvasti erilaisia kansainvälisiä standardeja eri tahojen toimesta. Tässä kappaleessa käsitellään alan yleisimpien kansainvälisten standardien luokittelu tavat eri kunnossapitolajeille. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 95, 533-545)

2.2.1 ISO-standardit kunnossapidossa

ISO-standardeja on monia erilaisia ja niitä laatii usea eri työryhmä. Tärkeämpiä kohteina esiin nousevat mittaus- ja menettelytavat, jolla kunnonvalvontaa toteutetaan. Standardien pohjana on monivuotinen kokemus erilaisista mittaustavoista ja niiden antamista tuloksista. Kunnonvalvontaa tulisi suorittaa standardeja noudattaen ja tällöin vältetään turhilta virheiltä ja muiden on helppo ymmärtää standardien mukaista mittaustulosten sisältämää informaatiota.

ISO-standardi 13372 eli ”Condition monitoring and diagnostics of machines – Vocabulary” on kunnonvalvonnan ja diagnostiikan sanastoon keskittyvä standardi. ISO-standardeja on kymmeniä, jotka määrittävät eri kunnonvalvonnan menetelmiä ja niihin liittyviä huomioita

2.2.2 SFS-standardit kunnossapidossa

Oheisessa taulukossa 2.1 SFS-EN 13306, joka määrittelee kunnossapidon sanastoa oman standardinsa mukaisesti.

Taulukko 2.1 . Kunnossapitolajit SFS-EN 13306 mukaan (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 99)

Kunnossapitolajit	Kuvaus
Ehkäisevä kunnossapito (Preventive Maintenance, PM)	Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan säännöllistä kunnossapitoa, jotta käyttöomaisuudelle määrätyt kriteerit täyttyvät ja laitteet toimivat keskeytyksettä. Tavoitteena on vähentää rikkoontumisia ja toimintakyvyn heikkenemistä.
Aikataulutettu kunnossapito (Scheduled Maintenance)	Ehkäisevää kunnossapitoa, jonka suunnitelma perustuu kalenteriin ja jaksoihin eli esimerkiksi vuotuisen seisakkiin.
Jaksotettu kunnostaminen (pre-determined Maintenance)	Ehkäisevää kunnossapitoa, joka perustuu kalenteriin aikaan ja käytön määrään. Koneen kunto ei vaikuta tehtäviin toimenpiteisiin.
Kuntoon perustuva kunnossapito (Condition based maintenance)	Perustuu kohteen suorituskyvyn ja toiminnan tarkkailuun ja niistä tehtäviin havaintoihin. Seuranta voi olla jatkuvaa tai aikataulutettua.
Ennakoiva kunnossapito (Predictive Maintenance)	Kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. Kohdetta tarkkaillaan ja analysoidaan erilaisia malleja, jolloin voidaan ennustaa kohteen vikaantumista ja suorituskyvyn heikkenemistä.
Korjaava kunnossapito (Corrective Maintenance)	Korjaavaa kunnossapitoa, jota suoritetaan vikaantumisen havaitsemisen jälkeen. Tarkoituksena palauttaa laite toimintakykyiseksi.
Etäkunnossapito (Remote Maintenance)	Kauko-ohjattua kunnossapitoa, joka suoritetaan ilman kunnossapito henkilöstön läsnäoloa, eikä täten suoraan tekemisissä kohteen kanssa.
Siirretty Kunnossapito (Deferred Maintenance)	Viivästetty korjaava kunnossapito. Suoritetaan vikaantumisen havaitsemisen jälkeen viivästettynä, jos mahdollista esimerkiksi seuraavan vuosiseisakin yhteydessä.

Välitön kunnossapito (Immediate Maintenance)	Välitöntä kunnossapitoa suoritetaan heti vikaantumisen havaitsemisen jälkeen, jotta vältetään laitteen lopulliselta hajoamiselta tai tuotannon pysähdyksiltä.
Käynninaikainen kunnossapito (On Line Maintenance)	Kunnossapitoa suoritetaan prosessin käydessä ja ei tällöin mahdollista kaikissa osissa prosessia.
Lähikunnossapito (On Site Maintenance)	Paikan päällä tehtävää kunnossapitoa eli esimerkiksi tehtaassa suoritettavaa kunnossapitoa.
Käyttäjäkunnossapito (Operator Maintenance)	Koneen tai laitteen käyttäjän suorittamaa yleistä kunnossapitoa.

SFS-EN 13306 kunnossapitostandardi jaotellaan kahteen päätyyppiin, ehkäisevään kunnossapitoon ja korjaavaan kunnossapitoon. Ehkäisevä kunnossapito koostuu kuntoon perustuvasta kunnossapidosta, sekä jaksotetusta kunnossapidosta. Jaksotettua kunnossapitoa käytetään teollisuudessa hyvin laajalti, kuten esimerkiksi tuotantolaitosten seisakit yms. Jokaisella tuotantolaitoksella ja tehtaalla on kerran vuodessa noin kahden kuukauden tuotantotauko(seisakki), jolloin suurimmat kunnossapitotyöt ja -korjaukset toteutetaan. Tavoitteena on, että tehdasta ei tarvitsisi pysäyttää tai juurikaan huoltaa ennen uutta vuosittaista seisakia. Kuntoon perustuva kunnossapito pohjautuu kohteen kunnan tarkasteluun ja täten ei ole ennalta määritettyä hetkeä, jolloin esimerkiksi renkaat tulisi vaihtaa. Tietenkin käyttöaste vaikuttaa merkittävästi kohteen kuntoon tarkastushetkellä. Usein kunnossapitoa teetetään myös turhaan ja tästä syystä kunnossapidon motiiveja, sekä kustannuksia on syytä tarkastella laajemmalla skaalalla. Standardin SFS-EN 13306 kuitenkin jaottelee kunnossapidon alalajeiksi kahteen eri osaan. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 98-100)

2.2.3 PSK standardit kunnossapidossa

PSK-kunnossapitostandardit määrittelee PSK Standardoimisyhdistys Ry., joka julkaisee prosessiteollisuuden kansalliset standardit ja on myös julkaissut aiheeseen liittyen kaksi kirjaa. PSK kirjoihin kuuluu kunnanvalvonnan sähköiset menetelmät, joka liittyy vahvasti ennakoivaan kunnossapitoon ja vikaantumisen nusteisiin (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 537)

Oheisessa taulukossa 2.2 määritellään kunnossapidon termistöä standardin PSK 6201 mukaan.

Taulukko 2.2 Kunnossapidon sanastoa standardin PSK 6201 mukaan (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 96-97)

Kunnossapitolaji	Kuvaus
Ehkäisevä kunnossapito	Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan kohteen käyttöominaisuuksien ylläpitämistä ja toiminnan varmistamista jo ennen kuin vika tai vaurio syntyy.
Jaksotettu kunnossapito	Ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka toteutetaan suunnitelluin jaksoin esimerkiksi käyttötuntien, kalenteriajan tai tuotantomäärien mukaisesti.
Huolto	Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka suoritetaan tarkastettaville laitteille sisältäen siihen liittyvät huoltotoimenpiteet.
Tilanteenmukainen huolto	Huoltotoimenpide, joka tehdään kohteen tuotannon tai organisaation tilan salliessa.
Kunnonvalvonta	Kunnonvalvonnalla tarkastellaan kohteen tai laitteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumisajankohdan määrittämiseksi. Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat, sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta, sekä niistä saatujen tulosten analysointi. Kunnonvalvonta tuottaa esitietoja ehkäisevälle ja jaksotetulle kunnossapidolle.
Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus	Kunnonvalvonnalla ja aistinvaraisesti suoritettulla tarkastustoiminnalla tehtävä kohteiden suunniteltu korjaus. Kohteita ei havaita vaan esimerkiksi tarkkaillaan, viat havaitaan.
Kunnostaminen	Kuluneen tai vaurioituneen laitteen tai kohteen palauttaminen toimintakykyiseksi.
Parantava kunnossapito	Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja kunnossapidettävyyttä muuttamatta sen toimintoa.
Häiriökorjaukset	Häiriökorjauksella palautetaan vikaantunut kohde toimintakykyiseksi ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäiseen tilaansa.
Välitön häiriökorjaus	Välitön häiriökorjaus suoritetaan heti kun kohteessa havaitaan ongelmia tai vikoja. Tarkoituksena on pitää tuotanto käynnissä ja suoritetaan vain välitön korjaus, jotta seuraukset jäisivät hyväksyttävälle tasolle.
Siirretty häiriökorjaus	Korjaus, jota ei suoriteta heti vian havaitsemisen jälkeen vaan tuotannon tai organisaation tilan vuoksi siirretty tehtäväksi myöhemmin.

Korjaava kunnossapito	Korjaava kunnossapito on häiriökorjausten, kunnostamisen ja kuntoon perustuvan suunnittelun korjauksen summa.
Kuntokartoitus	Kuntokartoituksen tarkoituksena on saada kokonaiskuva kohteesta, jota kartoitetaan. Tällä tavalla selvitetään merkittävimmät korjaustarpeet ja tarkempien tutkimusten tarve. Kuntokartoitus voi myös olla kokoaikaista toimintaa tuotannon ohella.

PSK 7501 standardi määrittelee kunnossapidon jakautuvan kahteen hyvin yksinkertaiseen alalajiin. Suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen. Nämä lajit käsittävät kaiken kunnossapidon riippuen sen laadusta. Häiriökorjaus koostuu välittömistä korjauksista, sekä siirretyistä korjauksista. Vikatila ei koskaan ole haluttu ja tästä syystä tätä kunnossapitoa tulisi välttää hyvin suunnitellulla kunnossapidolla. Vikoja ja häiriötä tapahtuu aina, joten varautuminen yllättäviä tapahtumia kohtaan kannattaa huomioida jo suunnittelussa. Häiriökorjauksen alalajit erottaa oikeastaan aikaväli, jolla korjaus toteutetaan. Siirretyt korjaukset eivät ole prosessin kannalta välttämättömiä ja tästä syystä ne voidaan siirtää esimerkiksi tuotantolaitoksen seisakkiin ensivuodelle, jolloin korjaaminen olisi kustannustehokkaampaa. Siirretyt korjaukset ovat ainoastaan mahdollisia, jos laitteet toimivat niille asetettujen standardien mukaisesti, vaarantamatta prosessia ja sen toimivuutta

Suunniteltu kunnossapito jaotellaan standardin PSK 7501 mukaan kolmeen alalajiin: ehkäisevä kunnossapito, kunnostaminen ja parantava kunnossapito. Suunniteldun kunnossapidon päätarkoituksena on estää laitteiden vikaantuminen ennen kuin tuotanto tai prosessi katkeaa laitteen vikaantumisen myötä.

Ehkäisevä kunnossapito (Preventive maintenance) on itsessään jaoteltu vielä kolmeen eri kunnossapidon vaiheeseen. Jaksotettu kunnossapito, kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 96)

Ehkäisevän kunnossapidon alalajit:

- Jaksotettu kunnossapito on yleisimmin käytetty kunnossapitolaji teollisuudessa. Se perustuu käytännössä tuotantomääriin, käyttötunteihin ja kalenteriin.
- Kunnonvalvonta tarkoittaa laitteiden tarkastelua ja valvomista sen ääriarajoille asti. Tarkoituksena on tuoda tarkkaa tietoa laitteen toiminnasta ja kestävydestä, sekä luotettavuudesta. Kunnonvalvontaa toteutetaan kriittisissä osissa prosessia, jossa

laitteen vikaantuminen tarkoittaisi koko prosessin keskeytystä. Kunnonvalvonta myös antaa tärkeää tietoa kunnossapidon suunnittelulle, jota voidaan tehostaa saadun informaation avulla.

- Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus on molempien yhdistämistä ja tarkoittaa kunnonvalvontaa, jonka pohjalta suunnitellaan kunnossapitoa. Tätä voidaan tehdä vuosienkin päähän ja suunnitella suurimmat kunnossapitotyöt hyvissä ajoin etukäteen.

2.2.4 IEC-standardeja

IEC-standardit määrittelee työryhmä 56. Se on luonut suuren määrän IEC-standardeja, jotka käsittelevät luotettavuutta ja käyttövarmuutta yleiskäyttöisesti. IEC:n kunnossapitoa koskevia standardeja on kymmeniä, mutta Standardi IEC 60050-191 koskee alan sanastoa. IEC 60050-191 eli ”International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 191: Dependability and quality of service” on nimensä mukaisesti sanastoa määrittelevä standardi IEC:n mukaan. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 541)

2.3 Kunnossapidon filosofioita

Kunnossapidossa on tullut tavaksi kehittää erilaisia filosofioita, joilla pyritään kuvaamaan kunnossapidon toimintamallia yrityksissä. Erilaisilla kunnossapidon malleille on perusteltu tarve, sillä eri teollisuuden aloilla on erilainen painoarvo riippuen tuotannosta, sekä laitekannasta ja monista muista seikoista.

Kunnossapitoa pidetään helppona ja simppeleinä prosessina, mutta sen taustalta löytyy hyvin kompleksisia rakenteita ja prosesseja, jotka mahdollistavat kunnossapidon toiminnan sellaisenaan. Kunnossapidossa on helppo tunnistaa kipukohtia ilman, että ymmärtää taustalla vallitsevia juurisyitä näille kohdille. Tällöin kehittämisen painopiste voi kohdistua väärin asioihin ja oikeat syyt jäävät selvittämättä. Juurisyyt ovat usein inhimillisiä tai johtamiseen liittyviä ongelmia. Parantamalla ymmärrystä ja johtamista voidaan monet juurisyyt ratkaista ja täten tehostaa kunnossapitoa. Kunnossapidon lopullisena tavoitteena tulisi luoda sellainen tavoitetila, joka käydään kaikkien sidosryhmien kanssa läpi, jotta siihen

voidaan sitoutua yhdessä ennen kehittämishankkeen käynnistämistä. (Maintpartner Lehti 2019)

2.3.1 RCM eli reliability centred maintenance

RCM on siis menetelmä, jolla pyritään siihen, että tehdään mahdollisimman vähän kunnossapitoa, vaarantamatta laitteen tai laitoksen toimintaa. Pohjana toimii systemaattisuus, joka mahdollistaa kaiken turhan jättämisen pois. Kuntoon perustuva kunnossapito on yksi tärkeimmistä kunnossapidon strategioista ja suomessa käytetään lyhennettä RCM. RCM:n päämäärät ovat Moubrayn 1997 mukaan (Mikkonen H.):

- Priorisoida prosessin laitteet ja näin kohdistaa kunnossapito sellaisiin laitteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan.
- Selvittää laitteiden vikaantumismekanismit ja näin luoda pohja oikeiden, tehokkaiden kunnossapitomenetelmien käytölle.
- Kunnossapidon piiriin saatetaan myös sellaiset raja- ja turvalaitteet, jotka prosessin toimisia ovat passiivisia.
- Koneiden käyttöhenkilökunta oppii seuraamaan kriittisten komponenttien toimintaa.

2.4 Digitaalinen Maturiteetti

Digitaalisesta maturiteetista puhutaan usein, kun tarkoitetaan yrityksen tai tuotantolaitoksen digitaalista maailmaa ja laitekantaa. Tämä tarkoittaa yrityksen kaikkea sen keräämää dataa ja sen hyödyntämistä. Dataa usein kerätään, mutta siitä ei välttämättä hyödynnetä kuin murto-osa pakollisia prosesseja varten. Sanatarkasti digitaalinen maturiteetti tarkoittaa yrityksen statusta muuttuvassa digitaalisuudessa. Digitaalista maturiteettia voidaan määritellä monella eri filosofialla ja tasolla. Berghaus & Back (2016) ehdottivat tutkimuksessaan maturiteetin tarkastelua viidellä eri tasolla (Digital maturity in traditional industries)

3 KUNNOSSAPIDON TALOUDELLINEN MERKITYS

Kunnossapidosta on muodostunut erittäin merkittävä taloudellisesti ja tästä syystä sitä pidetäänkin omana toimialanaan. Sen merkitys yrityksille ja tehtaille on suurentunut ja tämän takia kunnossapidon parissa esiintyy paljon liiketoimintaa niin laitetarjoajilla kuin ostajillakin. Tuotannolliset yritykset mittaavat kunnossapitoa kahdella eri tavalla, tuotannon menetyksenä sekä kustannuksena. Eli kunnossapitoon tulee investoida juuri sen verran rahaa, jotta tuotannonmenetyksiä ei pääse syntymään ja laitteet pysyvät toimintakuntoisina ilman ylimääräistä huoltamista. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 37-39)

Kansantaloudessa kunnossapidolla on ollut merkittävä rooli jo pitkään. Seuraavassa taulukossa Kunnossapitoyhdistyksen keräämät tiedot 2007.

Taulukko 3.1 Kunnossapito Suomessa (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 39)

Panostus teollisuudessa	n. 3,5 mrd. €/v.
Panostus koko kansantaloudessa	n. 24 mrd. €/v.
Panostus julkisella sektorilla	n. 14 mrd. €/v.
Panostus yksityisellä sektorilla	n. 10 mrd. €/v.
Henkilöstö	
Kaikki kunnossapidon piirissä työskentelevät, joista:	200 000
• teollisuuden kunnossapidon palveluyrityksissä	15 000
• Teollisuuden palveluksessa	35 000
• infrastruktuurin parissa työskentelevät	150 000

Kuten taulukosta 3.1 huomataan, että kunnossapidon parissa työskentelee merkittävä määrä ihmisiä. Sen työvoimapanos vastaa yli 8 % kaikista työllisistä, sillä kunnossapitoa tarvitaan kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla. Teollisuudessa vastaava luku on hieman alle 8 %, mutta vielä merkittävämmän osuuden teollisuuden kunnossapidosta muodostavat erilaiset palveluyritykset, kuten esimerkiksi ulkoistettu kunnossapito.

Tarkastellaan teollisuuden kunnossapitoa hieman tarkemmin ja sen tunnuslukuja. Seuraavassa taulukossa 3.2 on esitetty Suomen teollisuuden kunnossapidon tunnuslukuja. Tämä kehitys tulee todennäköisesti jatkumaan, sillä erilaiset ulkoistukset kunnossapidon alueella ovat olleet trendi viime aikoina ja näin kunnossapidon alueelle on syntynyt enemmän kaupallisia mahdollisuuksia. Suurten ikäluokkien poistuessa työmarkkinoilta tilalle ei pääsääntöisesti oteta uutta työvoimaa vaan tarvittava työpanos ulkoistetaan vrt. ostetaan muualta.

Taulukko 3.2. Suomen teollisuuden kunnossapidon tunnuslukuja (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 40)

Tuotantoyksikön liikevaihto keskimäärin	167,5 M€
Yksikön jälleenhankinta-arvo keskimäärin	297,9 M€
Koneiden keskimääräinen ikä	17,1 v.
Käyttöaste	70.4 %
Kunnossapidon takia menetetty tuotanto liikevaihdosta	2.8 %
Kunnossapidon alihankinnan osuus kp-kustannuksista	39.5 %
Kunnossapidon henkilöstö	19.8 %
Keskimääräinen toipumisaika	4 h
Tuotannon kokonaistehokkuus, OEE	74.1 %
Käytettävyys	88.3 %
Suunniteltu kunnossapito	88.3 %

3.1 Kuntoon perustuvan kunnossapidon taloudellinen merkitys tehdasalueella ja sen strategiset valinnat suunnittelussa

Kuntoon perustuva kunnossapito muodostaa suurimman osan kunnossapidosta tehdasalueen strategisessa kunnossapito suunnitelmassa. Kunnossapitostrategia itsessään määrittelee millaisin tavoittein ja edellytyksin kunnossapitoa toteutetaan. Yleensä tavoitteina ovat liiketoiminnan kasvattaminen tai kustannusten pienentäminen, jolloin kunnossapidolla

voidaan saada merkittäviä säästöjä yrityksen tuotantokuluissa. Liiketoiminta tavoitteet ja kunnossapidon tavoitteiden tulee olla samalla viivalla, jolloin ei ole vaaraa, että kunnossapidolla käytettävissä olevat resurssit ovat riittävät. Kunnossapitostrategia vaihtelee täysin yrityksittäin ja eri tuotantoaloilla sen merkitys on myös suurempi. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 103)

Kunnossapitostrategian reunaehdot määräytyvät usein kunnossapito-osaston ulkopuolella, jolloin onkin tärkeää, että liikkeenjohdolle kommunikoidaan faktat oikein, jotta kunnossapito-organisaatio saa tarvitsemansa resurssit kunnossapidon toteuttamiselle ja kustannukset ovat tasapainossa. Kunnossapito-organisaation tehtäviin kuuluu varsinaisen kunnossapitostrategian laatiminen ja sen tavoitteiden toteutuminen. Sen suunnittelussa tulee huomioida suuri joukko ulkoisia strategisia reunaehdoja ja sen valintoihin vaikuttavat monet eri tekijät kuten liiketoiminnan tavoitteet, taloudelliset reunaehdot, viranomaismääräykset, ympäristö- ja turvallisuusriskit, sekä markkinat ja kilpailutilanne. Yrityksen digitaalinen maturiteetti ohjaa yrityksen toimintatapoja myös kunnossapidon suunnittelun osalta. Yritysjohdon omistajuus ja organisointi vaikuttaakin kunnossapidon toteutumiseen ja yksinkertaisuudessaan kunnossapito voidaan jakaa kolmeen eri portaaseen. Yrityksen sisäiseen kunnossapitoon, yhtiöitettyyn tehdaspalveluosaston hoitamaan kunnossapitoon tai ulkopuolisen palveluyrityksen hoitamaan kunnossapitoon.

3.1.1 Sisäisesti hoidettu kunnossapito

Perinteisesti kunnossapitoa on ollut tapana hoitaa itse. Ulkopuolisten palveluiden käyttö kunnossapidossa oli hyvin vähäistä ja erityisesti valmistavan teollisuuden laitoksissa oli tärkeää, että kaikki laitteet pystyttiin huoltamaan ja korjaamaan itse. Kunnossapidon pääpaino on muuttunut merkittävästi vuosien varrella ja tämänpäivän kunnossapidossa panostetaan ennakoivaan ja kuntoon perustuvan kunnossapitoon. Yrityksen sisäinen kunnossapito-organisaatio on tehokas ja mahdollistaa kunnossapidon tuottavuuden ajattelun, jolloin liiketoimintaa voidaan suunnitella yhdessä tuotannon kanssa. Sisäisesti hoidetun kunnossapidon haasteina nousevat usein vaikeat kunnossapidon työt, sillä se ei ole yrityksen avainliiketoimintaa ja osaaminen yleensä heikompaa kuin laitevalmistajilla. Sitä on myös pidetty tuotannon tukifunktiona ja täten pakollisena tehdä, eikä niinkään tuottavana

osana tuotantoa. Uudet ja modernit laitteet vaativat aina uutta osaamista, jota kunnossapito henkilöstöllä ei välttämättä ole. Kunnossapidon resurssit ovat myös yleensä pienemmät kuin sellaisella, joka on erikoistunut kunnossapitoon. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s.105-106)

3.1.2 Ulkoistettu kunnossapito

Ulkoistettu kunnossapito voi olla tehokas tapa tuotantolaitokselle hoitaa sen kunnossapito. Yleensä kokonaisvastuu kunnossapidosta siirretään koko tuotantolaitoksen osalta palveluntarjoajalle pitkäkestoisilla sopimuksilla. Sopimusrakenteita on hyvin erilaisia ja ne vaikuttavat merkittävästi käytännön toteutukseen tehdasalueen kunnossapidossa. Hyvällä sopimuksella molemmat osapuolet ovat motivoituneita, eikä tällöin kustannusrakenne ole epätasapainossa kumpaankaan suuntaan. Kunnossapidon ulkoistaminen yleensä saa negatiivista valoa mediassa, sillä se on liittynyt usein henkilöstövähennyksiin kunnossapidon osalta. Ulkoistetun kunnossapidon tavoitteena on tehostaa kunnossapitoa eikä pakoilla vaikeita päätöksiä.

Ulkoistetun kunnossapidon hyviä puolia ovat seuraavat asiat. Kunnossapito on toimittajan ydinliiketoimintaa, joten sen tehokkuus tulisi olla markkinoiden parasta. Yleensä erikoisosaamista voidaan käyttää ristiin ja sitä on paljon. Kunnossapito henkilöstöä on paljon, jolloin voidaan tarvittaessa saada tarvittava määrä ihmisiä. Ulkoistetun kunnossapidon toimittajilla on usein erikoisosaamista tiettyjen laitteiden osalta, jolloin harvoin tarvittava OEM (Original Equipment Manufacturer) erikoisosaamisen ulkoistuksen tarve vähenee.

Ulkoistetun kunnossapidon haasteena on tietenkin monenlaiset asiat. Ulkoistuksessa yhteisten tavoitteiden löytyminen molemmille osapuolille voi olla haastavaa ja kustannusrakenteet eivät aina kohtaa. Sopimuksista myös pidetään kiinni pilkulleen, joten kustannuksista saattaa muodostua suuriakin ongelmia. Kommunikaatio ja seuranta vaikeutuvat, joka luo toiminnan läpinäkyvyyden heikentymistä. Kokonaisvaltaisen kunnossapidon hallinnan kehittämisen vastuu saattaa myös hämärtyä, jolloin kommunikaation tärkeys nousee esiin. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 106)

Kunnossapidon rooli Suomessa on kasvamaan päin ja tästä syystä sen kustannukset ovat myös suuremmassa roolissa. Suhteellisen vanha laitekanta Suomessa ohjaa tehdasyhtiöitä suuntaamaan katseensa kohti halvan työvoiman omaavia maita. Laitteiden keski-ikä Suomessa on jo yli 17 vuotta. Teollisuusmaissa yleisesti laitteiden keski-ikä on kuuden ja kahdeksan vuoden välillä. Suomen kunnossapito sektori on muuttunut dramaattisesti, pääosin johtuen verkostoitumisen trendistä ja kohdennetusta ydinosaamisesta. Aikoinaan jo Prahalad ja Hamel (1990) esittivät, että teollisuusyhtiöiden tulisi keskittyä niiden ydinosaamiseen ja ulkoistaa ydinosaamisen tukifunktiot muille yhtiöille. Suomessa kunnossapidon parissa työskentelee 50 000 (2007), josta 15 000 ovat töissä yhtiöissä mitkä tarjoavat kunnossapitoa. Tämä tarkoittaa, että 30 % kunnossapidosta olisi ulkoistettua. Metsäyhtiössä on painittu kustannusten leikkaamisen kanssa jo pitkään, joka on johtanut lähes kaiken ydinosaamisen ulkopuolella olevan toiminnan ulkoistukseen. Sekä kunnossapidon tehokkuuden tärkeys, että pitkäkestoiset suhteet ovat tulleet yleisemmäksi ja arvostetummaksi, jotka ovat johtaneet kunnossapitosopimusten merkityksen kasvuun ja ulkoistukseen. Ulkoistetun kunnossapidon tarjoajien motiivit ovat jokseenkin tutkimattomat, mutta kuitenkin asiakkaan näkökulmaa ja motiiveja on korostettu vahvasti. Tarjoajien näkökulmasta on kuitenkin tärkeää, että sopimuksista on pitkäkatseinen näkemys, miten sopimuksessa ilmenevät muutokset vaikuttavat sen liiketoimintaan. Elementtejä, joita tulee arvioida, on esimerkiksi varaosien omistajuus, maksujen ehdot, sekä laitteet, jotka kuuluvat sopimuksen piiriin. (Marttonen-Arola, Monto, Kärri, 2013)

3.1.3 TPM-filosofia eli kunnossapidon tuottavuuden malli

Kunnossapito voidaan nähdä osana tuotantoprosessia, jolloin ajatellaan, että tuotantoprosessi on ensisijainen toiminto ja siihen liittyvät toiminnot ovat sen tukifunktioita. Tämän tyyppisen näkemykseen pohjautuvat useat tuottavan kunnossapidon mallit eli Total Productive Maintenance (TPM) -mallit. TPM on ainutlaatuinen japanilainen kunnossapidon filosofia, joka perustuu tuottavan kunnossapidon metodeihin. Sen kehitti Japanissa M/s Nippon Denso Co. Ltd. of Japan, joka toimi Toyota Motorsin toimittajana vuonna 1971. TPM on innovatiivinen lähestymistapa, jolla pyritään optimoimaan ja parantamaan laitteiden toimintakykyä, sekä toimivuutta. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s.103-110)

Yleensä yritykset tarkastelevat pelkkää tuotantoa ja yrittävät parantaa sitä ja sen toimivuutta, jolloin unohdetaan huollon ja kunnossapidon tärkeys. Tuotannon tehostaminen on johtanut merkittävään kilpailuun alalla. Kilpailun noustessa, myös tulokset paranevat ja TPM on osoittanut olevansa filosofia, joka ei haittaa firman organisaatiota ja johtoa. Tänä päivänä tehokasta kunnossapitostrategiaa on välttämätöntä noudattaa kilpailukyvyn ylläpitämiseksi. TPM:n avulla yrityksellä on mahdollisuus löytää käyttämätöntä tai ali-resurssoitua työvoimaa, kuten koneiden- ja miestenkäyttötunnit. Strategialla pyritään ehdottomasti vastaamaan tarpeeseen, joka voi tulla osakkeenomistajilta tai esimerkiksi tuotannosta. Laitteet ja niiden toimintakyky ovat yksinään suurimpia asioita tuottavan tehtaan kannattavuudessa ja toimivuudessa. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

TPM:ää kuvataan usein TPM pilareilla, jossa erilaiset pilarit ovat eri elementtejä sen sisällä, kuten esimerkiksi AM (Autonomous Maintenance) eli itsenäinen kunnossapito. TPM koostuu kahdeksasta (8) erilaisesta pilarista, jotka kuvaavat kunnossapidon eri osa-alueita. Filosofia pyrkii strategiallaan nostamaan työntekijöiden tuottavuutta kontrolloidun kunnossapidon kautta, pudottamaan kunnossapidon kustannuksia, sekä lisäämään tuotannon varmuutta ja vähentämään tuotannon katkoksia. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

Pilari 1- 5S on ensimmäinen pilari TPM-mallille. Se lähtee liikkeelle ajatuksesta, joka on systemaattinen prosessi ”kodinholdolle”, jotta viat olisi mahdollista havaita mahdollisimman organisoidussa ympäristössä. Työpaikan siistiminen ja organisointi ovat ensimmäinen askel ongelmien näkyvyyden takaamiseksi. Alla olevassa taulukossa 3.3 on esitetty **5S:n** tärkeimmät pointit sen implementoimiseksi työympäristöön.

Taulukko 3.3 Tärkeimmät aktiviteetit 5S implementoinnille työympäristössä. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

Japanilainen termistö (Suomeksi 5S/5C):
Seiri - (Lajittele/Siivoa): Lajittele turhat asiat pois työympäristöstä ja pidä työympäristö siistinä.
Seiton - (Järjestä/Konfiguroi): Järjestä tarpeelliset asiat hyvään järjestykseen, jotta niitä voidaan käyttää mahdollisimman helposti.

Seisio – (Kiillota/siivoa ja varmista): Siivoa työympäristö täysin pölystä, liasta yms.
Seiketsu – (Standardoi/harmonisoi): Pidä yllä korkeaa tasoa siisteydelle ja työympäristön organisoinnille.
Shitsuke – (Ylläpidä/tee tavaksi ja harjoita): Harjoita ja motivoi ihmisiä seuraamaan hyvää siisteyttä ja siisteyden tasoa automaattisesti.

Pilari 2 eli itsenäinen kunnossapito tähtää operaattoreiden kehitykseen, jotta he pystyvät suorittamaan pienet kunnossapito tehtävät ilman apua, jolloin se vapauttaa osaavimmat kunnossapitohenkilöt suorittamaan vaikeampia ja kompleksisempia kunnossapitotöitä. Tämän pilarin käytöllä on tarkoitus säilyttää koneet tai laitteet uudenveroisessa kunnossa. Kunnossapitohenkilöiden valmius siistimpään toimintaympäristöön, sekä koneiden automaattiseen tarkastamiseen ja mahdollisesti välittömään korjaukseen standardien mukaan. **Pilari 3 (KaiZen)** eli muutos parempaan tarkoittaa pieniä parannuksia, joilla organisaatiota ja ihmisiä voidaan kehittää jatkuvasti. Tarkoituksena on vähitellen parantaa organisaation työkykyä ja työympäristöä tehokkaamman kunnossapidon näkökulmasta. Häviöiden minimointi kunnossapidossa kuin koko organisaatiossa kuuluu tärkeään osaan tätä pilaria ja Kaizen käyttää ”Why-Why” ja ”Error Prevention” analyyseja häviöiden minimoimiseksi. **Pilari 4** eli suunniteltu kunnossapito tähtää ongelmattomiin laitteisiin ja koneisiin, jolloin tuotannon virheet jäävät pieneksi tai kokonaan pois, jolloin asiakastyytyväisyys paranee. Sunnitellun kunnossapidon ideana on kehittää kunnossapitoa reaktiivisesta ja huoltavasta kunnossapidosta ennakoivaan kunnossapitoon, joka hajottaa sen neljään kunnossapidon alalajiin. Ehkäisevä kunnossapito, häiriökorjaus, korjaava kunnossapito ja kunnossapidon vähentäminen teknologian avulla. **Pilari 5** tarkoittaa laadullista kunnossapitoa ja virheetöntä tuotantoa asiakastyytyväisyys tärkeimpänä mittarina. Tarkoituksena on säätää koneet ja laitteet siihen kuntoon, että ne pystyvät tuottamaan täyden laadun tuotteita ilman tuotantovirheitä. Tavoitteena on pitää valitukset tasolla nolla ja vähentää tuotantovirheitä 50 % sekä vähentää laadun tuomaa hintaa tuotteelle 50 %. **Pilari 6** koskettaa yrityksen henkilöstöä ja osaamista. Tavoitteena on, että yritys omaisi mahdollisimman taitavia työntekijöitä, joiden motivaatio ja moraalit on korkea työn suorittamisen kannalta. He osaavat tehdä päivittäiset rutiinit ja tarkastukset täysin itsenäisesti ja tehokkaasti. Koulutetaan tarvittaessa käyttökäyttökuntaa taitotason ylläpitämiseksi, sekä työssä opittujen taitojen parantamiseksi. Tarkoituksena on pitää häviöt

minimissä tai olemattomina johtuen operaattoreiden osaamattomuudesta. Taitotasoa ylläpidetään jatkuvalla koulutuksella ja mahdollisilla harjoitteilla. **Pilari 7** eli toimisto TPM koskee pääasiassa yrityksen organisaatiota, johtoa ja hallintoa. Pilaria ei tulisi aloittaa, jos pilareita kaksi, kolme, neljä ja viisi ei ole aloitettu. Tämä pilari käsittelee 12:sta eri häviötä yrityksen toimistotasolla. Näitä ovat prosessi häviöt, hinta häviöt eri alueilla kuten hankinta, markkinointi, myynti, kommunikaatio, työn määrän vähyys yms. Muita häviötä ovat mm. varastobalanssi ei ole ajantasalla, asiakas valitukset ja hätälähetysten tai hätäostojen kustannukset. Pilarin tarkoitus on koskettaa kaikkia työntekijöitä ajattelemaan yrityksen etua ja sen työntekijöiden etua. Sen etuna on ajattelutavan läpikulku koko tehtaan ja sen tukitoimintojen, sekä johdon kautta, jonka tarkoituksena on kokonaisvaltaiseen parempaan tehdaslaitoksen hyötysuhteeseen. **Pilari 8** eli turvallisuus, terveys ja ympäristö. Tällä pilarilla on tarkoituksena luoda turvallinen työympäristö kaikille tehdasalueen työntekijöille, jotta työtä pystytään suorittamaan ilman turhia häviöitä. Tämä pilari tukee muita pilareita jokapäiväisessä tekemisessä ja on yksi tärkeimmistä lähtökohdista monilla tehdasalueilla. Luomalla tietoisuutta turvallisuudesta työntekijöille on tärkeää luoda erilaisia turvallisuuden muistuttajia kuten: sloganeita, julisteita ja kyselyitä, joihin on helppo vastata ja jotka jäävät mieleen lyhyelläkin katsomisella. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

Taulukko 3.4 Esimerkki yrityksen kokonaishäviöt OEE ennen TPM mallia ja sen jälkeen. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

Before TPM implementation (2011)		After TPM implementation (2011)	
Month	Total loss	Month	Total loss
January	64.48hrs	May	41.40hrs
February	81.40hrs	June	23.55hrs
March	62.50hrs		

Yllä olevasta kuvasta 3.4 huomataan, että ennen TPM-filosofian implementointia yrityksessä kuukausittaiset häviöt ovat huomattavasti suuremmat kuin sen jälkeen. Seuraavasta kuvasta 3.5 huomataan vielä, että laitteiden kokonaishyötysuhteet nousevat selvästi verrattuna alkuvuoteen, joka parantaa laitteiden käytettävyyttä ja täten myös huomattavasti yrityksen kilpailukykyä. OEE:en saavutettu nousu on erittäin tärkeä, jotta

kunnossapitoa voidaan havainnollistaa ja tehdä tuotannon kanssa tasavahva, eikä pelkästään tuotantoa tukeva tukifunktio.

Taulukko 3.5 Esimerkki yrityksen mitatut OEE arvot kolmelta kuukaudelta. (Workneh Wakjira M., Singh, A. P.)

Before TPM implementation (2011)		After TPM implementation (2011)	
Month	OEE value	Month	OEE value
January	70.35%	May	75.60%
February	66.44%	June	80.23%
March	70.81%		

4 DIGITAALINEN TRANSFORMAATIO TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPIDOSSA

4.1 Digitaalinen maturiteetti

Digitaalisen maturiteetin malli luotiin 417 eri organisaation yhteistyössä antamaan suuntaa yrityksen digitalisaation tasosta. Tutkimuksen pohjalta kerättyyn dataan käytettiin Rasch-algoritmia, josta iteroitiin viisi eri digitaalisen maturiteetin luokkaa. Tutkimus antoi merkittäviä tuloksia yritysten digitalisaatiosta ja jo olemassa olevasta digitaalisen datan hyödyntämisestä. Osoitettiin, että yrityksissä kyllä hyödynnetään jo digitaalista teknologiaa ja IoT-teknologiaa, mutta strateginen siirtyminen täysin digitaaliseksi on vielä kaukana. Digitaalisen maturiteetin malli antaa suuntaviivoja yrityksen digitaalisesta transformaatiosta, mutta se ei yksinään kerro digitaalisen teknologian hyödyntämisen tilaa tai kustannusten kannattavuutta (Berghaus S. & Back A.).

4.2 Digitaalinen transformaatio

Termi digitaalinen transformaatio voi tarkoittaa muutosta tai transformaatiota myös organisaation kannalta, kuten teollisen prosessinkin kannalta. Se käsittää sekä prosessin digitalisoinnin, että digitaalisen innovoinnin. Innovoinnin tarkoituksena on parantaa jo olemassa olevien fyysisten laitteiden tai tuotteiden digitaalisia ominaisuuksia

Digitaalinen aikakausi ja uudet laitteet ovat luoneet organisaatiolle paljon painetta muuttaa toimintatapojaan vanhasta mallista uuteen. Tästä syystä uudet käyttötapaukset ovat lisääntyneet ja digitaalista dataa on tarjolla enemmän kuin koskaan. Digitalisaation ja erilaisten liiketoimintaprosessien integraatiot ovat parantaneet yrityksen kilpailukykyä merkittävästi. Transformaatio itsessään viittaa organisaation rakenteellisiin muutoksiin ja sillä on merkittävä rooli organisaation rakenteessa, sekä sen voimanjaossa. Digitaalista transformaatiota toteutetaan jatkuvasti ja yritysten siirtyminen digitaaliseksi on

väistämätöntä, jonka takia yritysten tulee määritellä uudet suuntaviivat hyvissä ajoin, jotta kaikilla osapuolilla on täysi ymmärrys strategisesta suunnasta. (Berghaus S. & Back A.)

4.3 Digitaalisen maturiteetin -mallit 4.0

Maturiteetin mallit koostuvat erilaisista dimensioista ja kriteereistä, jotka kuvaavat toiminta alueita eli maturiteetin tasoja ja evoluutiota kohti maturiteettia. Maturiteetti -mallit ovat eräänlainen väline kuvata yrityksen digitalisaation tasoa, sekä sen potentiaalisuutta. Mallit voivat myös auttaa yritystä kehittämään omaa digitalisaatiotaan, sekä pääsemään kohti haluttua maalia digitalisaation tasossa. Maturiteetin -malleja käytetään kahdella eri tavalla eli kuvailevasti tai ohjailevasti. Kuvailevassa käytössä -mallit auttavat yritystä hahmottamaan oman digitalisaation -tasonsa. Ohjaileva -malli taas auttaa yritystä määrittämään sen tarvitsemansa suuntaviivat toiminnoille ja mahdollisuudet päästä kohti haluamaansa maturiteetin tasoa. Erilaiset digitaalisen maturiteetin mallit ovat kasvavassa suosiossa nimenomaan tietojärjestelmiin liittyvissä tutkimuksissa. Digitalisella alalla on mahdotonta käyttää maturiteetin mallia laajamittaisesti, vaan mallit joudutaan luomaan tapauskohtaisesti johtuen alan laajuudesta ja erilaisuudesta keskenään. Digitalisaation evoluutio yrityksissä ei ole suoraviivainen ja tästä syystä ei ole selvää, että suuremman digitaalisen maturiteetin omaava yhtiö pärjäisi alemman maturiteetin yhtiötä paremmin. (Berghaus S. & Back A.)

Liitteessä II on Forresterin esittelemä taulukko, jolla voidaan määritellä digitaalinen maturiteetti kysymysten vastausten perusteella. Forrester kuvaa uutta teollista vallankumousta (Industry 4.0) tällä digitaalisella maturiteetin mallilla.

Digitaalisen maturiteetin määrittäminen yrityksen alkutilanteen selvittämiseksi on välttämätöntä. On mahdotonta tarkastella yrityksen digitaalisuutta ilman maturiteetin määrittämistä, sillä kehityskohteita voi olla paljon tai hyvin vähän riippuen maturiteetin tasosta ja yleisesti digitaalisen aikakauden kehityksestä yrityksen sisällä. Forrester jakaa taulukkonsa mukaisesti maturiteetista riippuen yritykset neljään eri kategoriaan.

Skeptikot ovat ensimmäinen maturiteetin taso. Firmat, jotka tekevät asiat mieluummin perinteisin keinoin, kuin kehittävät maturiteetin tasoa ja investoivat uusiin digitaalisiin projekteihin. Skeptikot eivät priorisoi digitaalista huomista ja tästä syystä monet asiakkaat preferoivat muita firmoja näiden firmojen sijaan. Johtoryhmä ja johtajat käyvät koulutuksissa, josta siirtyvät askel kerrallaan kohti digitaalisia palveluita, mutta muutos on hyvin hidasta ja työlästä. Osaksi miksi skeptikoilla on epäselvä digitaalinen strategia, johtuu haasteista yrityksen organisaatiossa. Strategiset päätökset tehdään paikallisesti ja hallinnollisesti jokainen paikallinen tiimi on omansa. Hyvänä puolena skeptikoilla kuitenkin on, että digitaalisesti kehityksestä kiinnostuneet yhdistyvät ja saavat yleensä paljon näkyvyyttä yrityksen sisällä. Skeptikkojen työntekijöistä 26 % omaa vahvat digitaaliset markkinointi taidot, kun vastaavasti keskiarvo kaikkien firmojen välillä on 66 %. (Gill M., Van Boskirk S)

Toisella maturiteetin tasolla ovat sopeutujat (Adopters). Sopeutujilla on selvästi jo paremmat taidot digitaalisessa markkinoinnissa, mutta silti toiseksi pienimmät markkinointi tiimit, sekä ohjelmisto budjetit. Tämä kertoo siitä, että he käyttävät markkinointia toteuttaakseen ohjelmia enemmän kuin suuntaamalla voimavaransa digitaaliseen strategiaan, jolla tehdään asiakkaita. Monet firmat, jotka ovat maturiteetissa tällä tasolla ulkoistavat digitaalisen markkinoinnin sen osaajille, jonka osasyynä on rajattu budjetti. Tämä onkin budjetin kannalta hyvä ratkaisu, mutta se ei kuitenkaan edistä yrityksen sisäistä digitaalista kehitystä, joka tietenkin johtaa alhaisempaan maturiteettiin. Sopeutujat ovat halukkaita investoimaan perusarkkitehtuurin ohjelmistoihin, kuten CRM ja eCommerce ohjelmistoihin, mutta kuitenkin monet sopeutujat ovat tuottavia yrityksiä, jotka priorisoivat tuotantoa enemmän kuin asiakassuhteita. (Gill M., Van Boskirk S)

Kolmannelle tasolle yltävät (Collaborators) eli yhteistyökumppanit. Kollaboraattorit osaavat hyödyntää digitaalista maailmaa, jokapäiväisessä työssään. Taidot ja teknologia yhdistetään hyvin asiakastyytyväisyyteen ja yritetään luoda tämän kautta pysyviä ja toimivia ratkaisuja asiakkaille. 95 % näistä firmoista asettaa asiakastyytyväisyyden suuremmaksi kuin oman brändinsä. Liikevaihdosta suurin osa tulee digitaalisten kosketuspisteiden kautta. Kollaboraattoreiden yhteistyökumppanit tai asiakkaat tuottavat kolme kertaa enemmän materiaalia kuin alemman maturiteettitason omaavat firmat.

Neljännelle tasolla eli viimeisellä ovat Differentiators (differentioijat). Vain pienin osa firmoista ylittää tälle maturiteetin tasolle. Differentioijat raportoivat vahvasta kasvusta ja keskittyvät online markkinoihin internetin välityksellä. Henkilökunta on koulutautunut ja omaa erittäin hyvät taidot markkinoinnissa ja siihen liittyvissä tukifunktioissa. Jatkuva aikaisen datan käyttö sekä analytiikka kuuluvat normaaleihin käytäntöihin, sekä myös asiakkaiden profilointi. Kaupallinen, sekä teknologia yhdistyvät ja strategiat kohtaavat toisensa ilman vajausta budjeteissa. Usein myös firmoissa on erikseen digitaalinen tiimi, joka johtaa sen alla toimivia funktioita tehokkaasti ja taidokkaasti. Tätä tiimiä usein vetää digitaalinen johtaja, joka istuu johtoryhmässä päättämässä asioista.

4.4 Industry 4.0

Tällä hetkellä eletään Industry 4.0 aikaa, joka itsessään tarkoittaa uutta teollista vallankumousta. Teollisuuslaitosten digitalisointia ja sen vaihdantaa on alettu kutsumaan Industry 4.0 eli uudeksi digitaalseksi vallankumoukseksi valmistavassa teollisuudessa. Valmistava teollisuus kohtaa suuria muuttumisen paineita digitalisaation ja robotiikan myötä.



Kuva 1 Industry 4.0 havainnollistava kuva laitteiden yhteydestä ja konnektiviteetista.

Kuva 1. kuvailee kuinka Industry 4.0 ideana on yhdistää laitteet ja tuotantolaitokset toisiinsa, sekä mahdollisesti myös täysin automatisoida tehtaita ja saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Laitteet optimoidaan toimimaan yhdessä mahdollisimman hyvin yhtenä järjestelmänä, jolloin IoT-laitteet antavat dataa kaikesta mahdollisesta toiminnasta, jota tekoäly kontrolloi

ja hallitsee, koodattujen periaatteiden mukaisesti. 3D-tulostus kuuluu uusimpiin valmistusmenetelmiin ja on erittäin tehokas, kun pystytään hyödyntämään esimerkiksi varaosavalmistuksessa ja kompleksisten rakenteiden valmistuksessa.

4.4.1 Kohti Industry 4.0 ajatusmallia

Tavoitteena Industry 4.0 teollisessa vallankumouksessa on yhdistää ihmiset, mekaanisuus ja digitaalisuus. Paperikone on hyvä esimerkki kaikkien näiden yhdistymisestä. Ihminen tekee työtä ja syöttää arvoja paperikoneen automaatiojärjestelmälle. Tällöin kone tekee säätöjen mukaan työtä. Paperikonetta voidaan kuitenkin huoltaa tai ohjata ja tarkkailla myös etänä digitaalisuuden avulla. Tässä kohtaa yhdistyvät digitaalinen maailma ja fyysinen maailma. Tehtaita on tarkoitus muuttaa älykkäämmiksi, jolla pystytään vaikuttamaan tämän päivän haasteisiin kuten lyhyihin tuotteiden elinkaariin, uniikkeihin tuotteisiin, sekä globaaliin kilpailuun. Industry 4.0 keskeiset tavoitteet voidaan jakaa kolmeen eri ajatusmalliin: Älykäs tuote (Smart product), älykäs laite (Smart machine) ja digitaalisesti paranneltu käyttäjä (Augmented operator). Älykäs tuote sisältää sisäisen muistin, johon tallennetaan operaatiot ja vaatimukset. Tämä tarkoittaa, että tuote itse pystyy esittämään vaatimuksia, jos kaikki esimääritetyt parametrit eivät täyty, kuten esimerkiksi jos tuotteesta puuttuu vielä osia. Tämä on lähtökohtana täysin modulaarisille tuotantolinjastoille ja systeemeille.

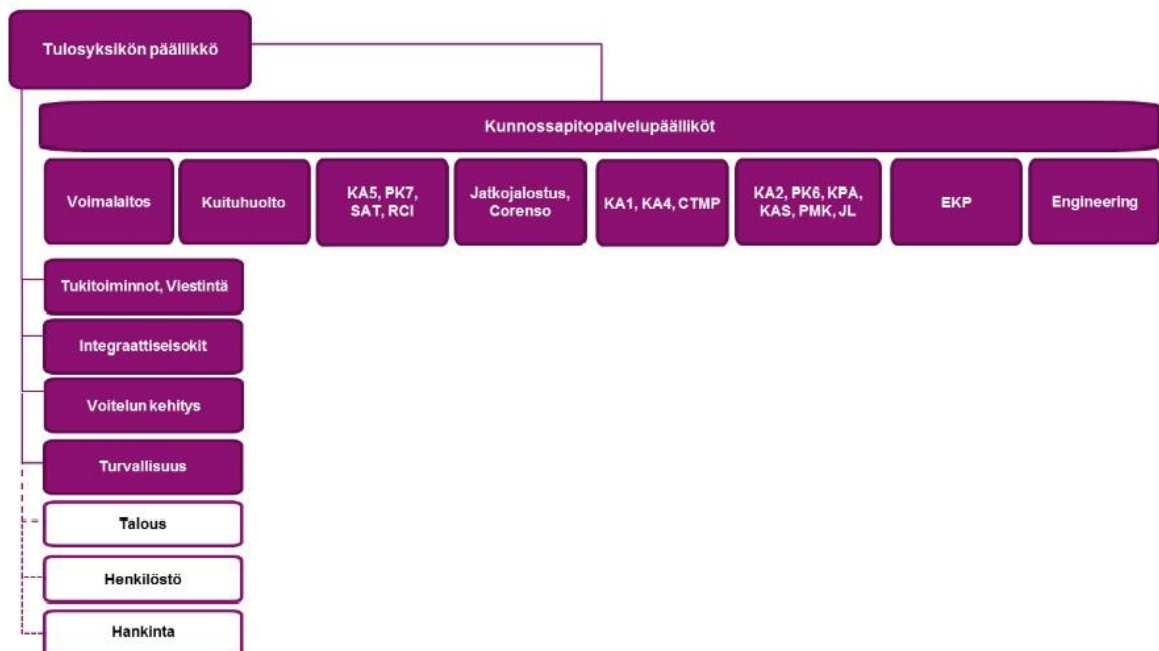
Älykkään laitteen ajatusmallina on, että fyysinen ja digitaalinen maailma yhdistyvät laitteessa, jolloin laitteesta itsestään syntyy tuottava järjestelmä (CPPS). Tällöin laitteessa oleva tekoäly pystyy kommunikoimaan muiden laitteiden kanssa ja esittämään tarpeet asetettujen parametrien mukaisesti. Tulevaisuudessa tuotantolinjat ja laitokset voivat olla täysin autonomisia, jolloin lähes mitä tahansa voidaan tuottaa joustavilla tuotantolinjoilla ja lokaali tekoäly hoitaa kaiken tarpeellisen koneiden ja laitteiden yhteensopivuuden takaamiseksi. (Wyer S., Schmitt M. et al)

Paranneltu käyttäjä kohdistaa ajatusmallin työntekijän tukemisen teknologiaan. Haastavissa olosuhteissa ja modulaarisessa ympäristössä työntekijän teknologian tukeminen on yksi kriittisimmistä kohteista työn tuloksen kannalta. Industry 4.0:n ideana ei ole puskea tehtaita täysin automaattisiksi, sillä ihmisoperaattoreiden on todettu olevan tuotantolinjojen

joustavin osa. Joustavissa tuotantolinjoissa työntekijät kohtaavat hyvin erilaisia työtehtäviä monitoroinnista tuotantostrategioiden verifiointiin. Manuaalinen käyttö korostuu täysin automaattisissa tuotantolinjoissa ja tällöin ainoastaan huoltotoimenpiteet, sekä kunnossapito ovat suotavia tuotannonkeskeytyksen kohteita. Keskeytyksiä pyritään kuitenkin välttämään ja kunnossapitoa suoritetaan tehokkaammin, kun työntekijä on täysin perehdytetty tehtäviin. Käyttäjien tukeminen teknologian avulla on siis kriittinen osa tuotantolinjojen tuottavuutta ja koko tehtaan kannattavuutta. (Wyer S., Schmitt M. et al)

5 KUNNONVALVONNAN MENETELMÄT JA DIAGNOSTIIKKA

Kunnossapidon organisaation merkitys on suuri, kun puhutaan tehokkaasta ja tuloksellisesta kunnossapidosta. Imatran tehtailla on käytetty mallia, jossa tehtaan oma kunnossapito-organisaatio on yhtiöitetty ja sitä kautta pyritty tehostamaan sen panosta tuotantoon. Organisaation rakenne vaihtelee yrityksittäin ja alla olevassa kuvassa on esitetty esimerkkinä Stora Enson tyylinen ratkaisu kunnossapito-organisaation mallille. Tämä malli kuvaa yhtiöitettyä tehtaan omaa kunnossapito-organisaatiota.



Kuva 2 Efora Oy kunnossapito-organisaation rakenne Imatran tehtaalla 2017 (Mäkelä K., 2017)

Kunnonvalvonnan ja diagnostiikan merkitys on suuri, kun pyritään pitämään tuotanto käynnissä ja samaan aikaan huoltamaan tai mahdollisesti korjaamaan käynnissä olevia laitteita. Kunnonvalvontaa suoritetaan erilaisin menetelmin ja ennen Industry 4.0 aikakautta kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistihavaintojen perusteella. Nykyäänkin suuri osa kunnossapidosta suoritetaan aistihavaintojen perusteella, vaikka datavirrat ovat riittäviä suorittamaan kunnossapitoa täysin digitaalisesti. Usein talousnäköykset eivät kohtaa tekniikan näkemysten kanssa ja tästä syystä aistihavaintojen perusteella tehtävää kunnonvalvontaa ei pidä aliarvioida kunnossapitoa kehittäessä. Erilaisia kunnonvalvonnan menetelmiä ovat esimerkiksi: aistihavainnot, voiteluaineanalyysit, lämpötilan mittaukset,

NDT-menetelmät, ääni mittaukset, venymäliuska mittausmenetelmät sekä suojausjärjestelmät, jotka voivat kuulua sellaisenaan automaatiojärjestelmään tai kiinteästi kunnonvalvonnanjärjestelmään.

5.1 Kunnonvalvonnan menetelmät paperikoneella

Paperikoneelle suoritettavaa kunnonvalvontaa on sekä aistinvaraista, että mittausjärjestelmän kautta tapahtuvaa mittausta. Paperikone sisältää erilaisia sensoreita hyvin paljon eri tarkoituksiin, kuten värähtelyyn, lämpöön ja laatuun tarkoitettuja sensoreita. Sensoreita ei itsessään tarvita yhtään lisää mittaamaan dataa paperikoneelta, vaan datan hyödyntämisellä olisi mahdollista saavuttaa kunnossapidossa taloudellista hyötyä tai sen tehokkuuden parantamista. (Saarinen A. 2019).

Aistinvaraista kunnonvalvontaa suoritetaan esimerkiksi kuuntelemalla laakereita puukepin avulla. Kokeilemalla koneenosia lämpöä ja kuuntelemalla värähdyksiä ja erilaisia käyntiääniä. Lukumääräisesti suurin osa kunnonvalvonnasta tehdään aistinvaraisesti kunnossapitohenkilökunnan toimesta. Vain kriittisimmät koneet ja tärkeimmät laitteet tuotannon kannalta on sensoroitu, sillä kriittisten laitteiden toimintakyvyttömyys aiheuttaisi tuotantokatkoksen, jonka kustannukset ylittävät automaattisen kunnonvalvonnan kustannukset radikaalisti. Aistinvaraisen kunnonvalvojan tulee tietää normaalin koneen, sekä huonosti käyvän koneen erilaisuudet, mikä usein tarkoittaa kokemusperäistä tietoa kunnonvalvonnassa. Uusien työntekijöiden on mahdotonta tätä suorittaa johtuen kokemattomuudesta ja tästä syystä automaattisella kunnonvalvonnalla on suuri merkitys tulevaisuudessa.

NDT-menetelmät eli ”Non Destructive Methods”, joka tarkoittaa ainetta rikkomattomia tapoja suorittaa kunnonvalvontaa. Tyypillinen tuotannon laadun seurantaan käytetty menetelmä. NDT-menetelmiin kuuluu hyvin usein erilaisia sensoreita ja kuvaukseen liittyviä työkaluja, jotka ovat digitaalisia ja niiden hyödynnettävyys täysin automatisoidun kunnossapidon saralla on merkittävä. Esimerkiksi endoskopia ja stroboskopia voidaan hyödyntää kuva-analyysin erilaisten neuroverkkojen kautta. Endoskopian ideana on käyttää endoskooppi nimistä laitetta kuvantamaan koneiden ja laitteiden vaikeita osia. Se

mahdollistaa kohteen visuaalisen tarkastuksen myös koteloiden sisältä ja putkista. Stroboskopiolla on tarkoitus kuvata pyöriä tai värähteleviä kohteita. Kun tarkasteltavan kohteen pyörimisnopeus tai värähtelytaajuus on sama kuin välähdystaajuus näyttää sen liike pysähtyneeltä kuvassa. Tällöin on mahdollista tarkastella koneen tai laitteen kuntoa pysäyttämättä sen toimintaa. (Kuntoon perustuva kunnossapito s. 418-449)

5.2 Automaattinen kunnonvalvonta ja diagnostiikka

Automaattinen kunnonvalvonta ja diagnostiikka on noussut arvoonsa vasta viime aikoina johtuen teknologisesta kehitymisestä. Sensoreita ja dataa syntyy enemmän kuin koskaan ja IoT-laitteiden määrä on lisääntynyt merkittävästi viime vuosikymmenellä.

Lähtökohta automaattisessa kunnonvalvonnassa on lähes aina samanlainen. Koneita valvottaessa havaitaan poikkeama koneen kunnossa tai data virrassa, jota koneelta tulee erilaisista sensoreista, joka voi tarkoittaa esimerkiksi kohonnutta lämpötilaa. Tämän jälkeen kartoitetaan mahdollisia vikavaihtoehtoja ja kun tunnetaan koneen vakiotila, voidaan määritellä vian aiheuttaja. Tietyillä vioilla on tiettyjä oireita, jotka näkyvät eri tavalla koneelta tulevassa datavirrassa. Vianmäärimäärityksessä suljetaan pois ne viat, jotka eivät vastaa koneelta tuleviin data-arvoihin. Lisätiedolla voidaan määritellä vikaa tarkemmin ja analysoidaan todennäköisyys tietylle vialle. Poikkeaman toteamiseen käytetään samasta pisteestä aiemmin kerättyä mittauservoa esimerkiksi koneen normaalia toimintalämpötilaa. Ohjeavot poikkeaman huomaamiselle voidaan myös määritellä kokemukseräisesti kunnossapitohenkilöiden toimesta. (Kuntoon perustuva kunnossapito, 2009, s. 358 – 368)

Kunnossapidossa koko prosessin vaativin asia on mitä pitäisi tehdä. Asiantuntijajärjestelmät auttavat vian määrityksessä, jolloin sinne syötettävien tietojen tulee olla oikeita ja tarkkaan harkittuja. Valittujen ja syötettyjen arvojen tulee olla mahdollisimman lähellä koneen todellista kuntoa kuvaavia. Toisin sanoen arvojen tulee yksiselitteisesti ilmaista minkä tahansa vian syntyminen tai kehittyminen laitteessa. Asiantuntijajärjestelmien suurena ongelmana on sinne syötettävän tietämiskannan muodostaminen. Asiantuntijajärjestelmiä on monenlaisia, mutta muutamia tunnetuimpia Suomessa käytettäviä kunnossapidon järjestelmiä ovat SAP PM, Maximo ja Infor. Vianmäärityksessä suljetaan aina pois ne

vaihtoehdot, jotka eivät täsmää annettujen arvojen muutokseen. Tämä tarkoittaa, että vian määrittämisessä suljetaan mahdolliset viat pois ja tarkastellaan vikoja, joista mitattujen arvojen muutos voisi aiheutua. Oireiden keskinäisillä suhteilla on silloin myös suuri merkitys vian tunnistamisessa. Arvojen poikkeaman tason määrittämiseen on käytetty kokemusperäistä tietoa ja historiaan perustuvaa tietoa. Samasta pisteestä usein mitatut arvot ovat yleensä samanlaisia, kunnes muutos on tapahtunut ja arvo on erilainen. Arvot eivät suoraan kerro mikä vika on kyseessä, mutta antaa sille suuntaa, kun tiedetään mitä erilaiset viat aiheuttavat.

5.3 Digitaaliset kunnonvalvonnan menetelmät

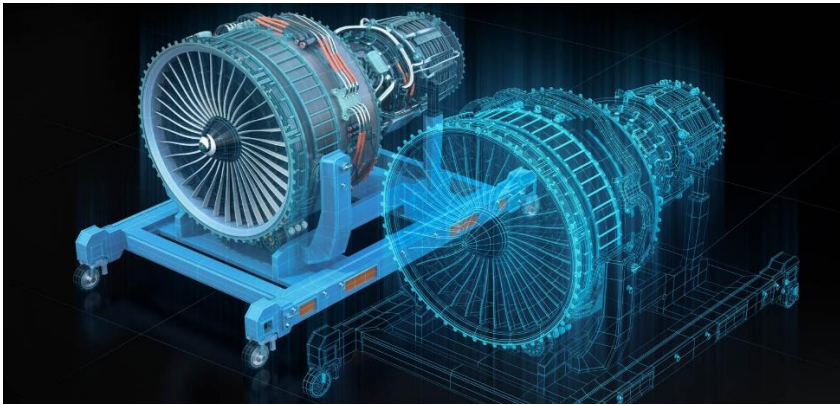
Endoskopian ja Stroboskopian avulla on mahdollista kuvata laitetta sen käydessä, vahingoittamatta laitteen käyntisykliä. Kuvien analysointiin ja virheiden tarkasteluun tarvitaan aina kuitenkin kokenut kunnossapidonosaaja, joka voi varmuudella sanoa tarvitseeko laite korjausta tai huoltoa. Osaajia voi olla vaikea kouluttaa ja osittain myös mahdotonta löytää. Pitkän huoltohistorian omaava henkilö tunnistaa kuvista helposti virheet ja huollontarpeet, mutta sama on mahdollista opettaa tekoälylle, jota IBM Visual Insights (Power AI) käyttää. Tuotteella on mahdollista analysoida kuvia ja luoda niistä malleja, jonka mukaan VI tunnistaa määritellyt virheet kuvista.

IBM Visual Insights on suunniteltu huomaamaan säädellyt virheet kuvasta ja videoista. VI tuotetta käytetään esimerkiksi laadun tarkkailuun ja kunnossapidon tukena monessa eri tehtävässä. Esimerkiksi paperitehdas käyttää konenäköä ja VI:n tyylistä tuotetta kuorimolla. Kuorimolla kulkee suuria määriä puuta päivässä ja jokaisen puun kuuluisi olla mahdollisimman hyvin kuorittu ennen kuin se menee massan tekoon paperikoneelle. Konenäkö pystyy tarkkailemaan puiden kuoripitoisuutta ja ilmoittamaan mahdollisesta viasta kuorimolla, jos kuoripitoisuus nousee tietyn rajan ylitse.

5.3.1 Digitaalinen kaksonen kunnossapidossa

Digitaalinen kaksonen tarkoittaa yksinkertaisuudessaan fyysisen laitteen digitaalista kaksosta mallinnettuna erilaisilla ohjelmistoilla. Sensorit lähettävät laitteesta erilaista dataa,

joka voidaan yhdistää grafiikkaan ja näin saadaan fyysisestä laitteesta digitaalinen kaksonen. Kuva 3. havainnollistaa digitaalisen kaksosen idean hyvin. Kuvaan voidaan lisätä sensorien lähettämät datavirrat kuten, lämpötila, pyörimisnopeus jne., jotka on kohdistettu tietyille koneelle ja tietyille alueelle. Tavoitteena on luoda digitaaliset kaksoset jokaisesta kunnossapidon kohteena olevasta laitteesta, jota voidaan turvallisesti käyttää ja simuloida digitaalisessa ympäristössä.

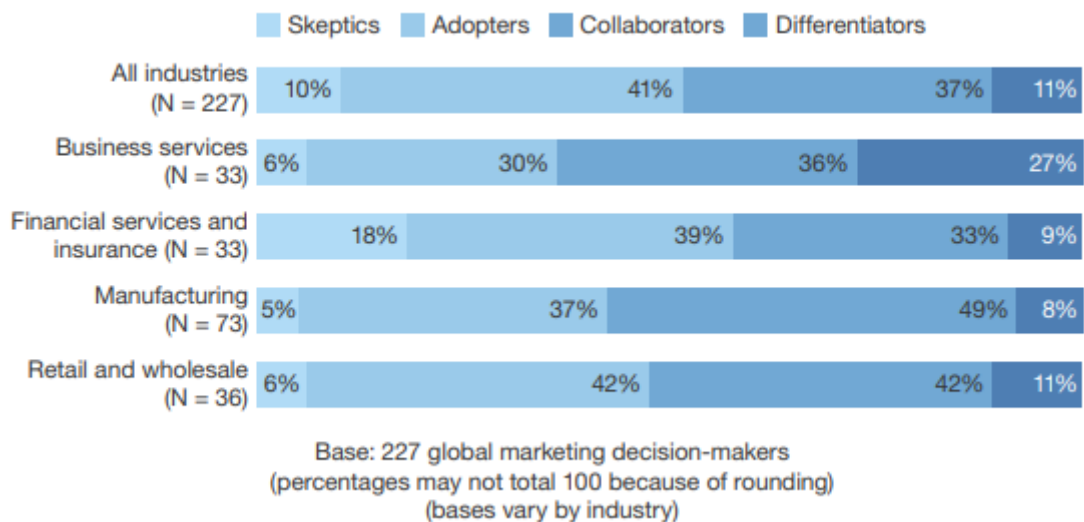


Kuva 3. Havainnekuva digitaalisesta kaksosesta. (Job Wizards 2020)

Digitaalinen kaksonen voi olla tehty, sekä toimivista, että toimimattomista laitteista. Kun kyseessä on ei toimiva laite, jatkaa digitaalinen kaksonen silti toimimista ja sensorit voivat silti mitata haluttuja arvoja laitteesta, vaikka arvot ovatkin täysin erilaisia. Tällä tavoin saadaan myös ennusteita laitteesta, vaikka laite onkin vahingoittunut tai ei toimivassa tilassa. Tässä tapauksessa myös sensorien tulee muuttaa arvostus asteikkoaan parametreille, sillä ennusteiden tekeminen vääristä arvoista voi olla kohtalokasta laitteen toiminnalle. Digitaalinen kaksonen voidaan laittaa toimimaan automaattisesti globaalilla tasolla käyttäen IoT teknologioita hyväkseen. Tällöin fyysistä laitetta on mahdollista kontrolloida täysin etänä esimerkiksi ulkopuolisten palveluntarjoajien toimesta.

6 KUNNOSSAPIDON KEHITYS DIGITAALISTA MATURITEETTIA PARANTAMALLA

Yrityksen digitaalinen polku alkaa usein pienistä askelista ja tarpeen vaatiessa investoinneista uusiin teknologioihin. Digitaalisen aikakauden aloitus tarkoittaa usein tietokoneellistumista ja prosessien automatisointia aluksi. Kuten kuvasta 4. huomataan, Forresterin tutkimus osoittaa digitaalisen maturiteetin eritasoja firmoissa ja suuria vaihteluita löytyy teollisuuden alan mukaan. Forresterin tutkimukseen osallistui 227 markkinoiden vaikuttavinta yritystä. Differentiators ovat harvinaisia erityisesti valmistusteollisuuden puolella, korkeinta maturiteetin tasoa edustaa vain 8 % tutkimukseen osallistuneista firmoista, joka on pienin osuus alojen välillä.



Kuva 4 Forresterin tutkimus digitaalisen maturiteetin tasoista 227:ssä firmassa. (Forrester 2015)

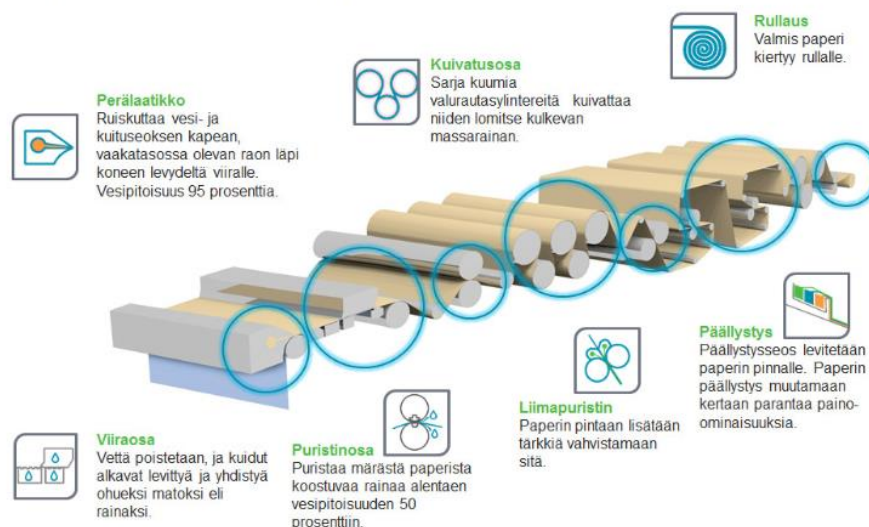
Collaborators ovat vahvalla pohjalla kohti digitaalista tulevaisuutta, mutta työtä vaaditaan koko organisaatiolta. Kollaboraattoreiden osuus koko valmistusteollisuuden yrityksistä on huomattavasti suurempi, kuin korkeimman digitaalisen maturiteetin omaavien yritysten osuus valmistusteollisuudessa. Esimerkiksi valmistusteollisuuden puolella on mahdotonta automatisoida kaikkia prosesseja ja ihmisiä tarvitaan monessa eri tehtävässä. Digitaalinen maturiteetti ei kuitenkaan liity pelkkään automatisaatioon vaan myös johdon ajattelutapaan omaksua uusia tapoja toimia. Yrityksen on mahdotonta kehittyä ja kehittää digitaalista

polkua, jos rahaa ei investoida teknologian puolelle, eikä kehityksillä ole selviä vastualueen haltijoita.

6.1 Paperinvalmistuksen peruseräatteen ja kunnossapito

Paperin valmistuksessa aloitetaan ensiksi kuiduttamalla puu massatehtaalla. Tämä tarkoittaa puukuitujen irrottamista toisistaan mekaanisesti tai kemiallisesti, jonka jälkeen kuidutetusta puusta tehdään massaa kuivaamalla veden ja kuitujen seos. Massa voi olla mekaanista tai kemiallista massaa. Mekaanisen massan kuidut on erotettu toisistaan hiertämällä ja hieromalla kovassa paineessa. Kemiallinen massa on sellua, jolloin puuta on keitetty keittokemikaaleissa ja näin saatu kuidut irtoamaan toisistaan. Massat ajetaan aluksi pulppiin, missä ne sekoitetaan veteen ja ajetaan sitten perälaatikon kautta veden kanssa viiralle, joka on muovinen tai metallinen verkko. Tämä seos sisältää kuitua enää vain n. 2 % ja loppu on vettä, prosessin toimiessa normaalisti. Veden avulla saadaan levitettyä massa tasaisesti viiralle, joka on tärkeää, että paperin laatu olisi tasaista. Viiralta seos ajetaan eteenpäin paperikoneelle, jolloin syntyy jatkuva paperirata. Tämän jälkeen seosta kuivataan, jolloin kuidut takertuvat toisiinsa itsestään sähköisten sidosten avulla. Kun seoksen vesipitoisuus on noin 60 % se alkaa pysyä jo koossa itsestään. Valmiissa paperissa vettä on noin 10 %. Seuraavassa kuvassa 5. havainnollistetaan paperinvalmistusprosessia.

Paperin valmistusprosessi



Kuva 5 Paperinvalmistus lyhyesti. (Valmet Oy 2015)

Kunnossapidon toteuttamiselle on useita eri vaihtoehtoja, mutta hyvin yleisesti paperikoneen kunnossapitoa suoritetaan tällä hetkellä normaalilla vuorotyöskentelyllä. Seisokkien aikaan on ajoitettu suurimmat huollot, jotka vaativat tuotannonkeskeytyksen. Seisokkien kunnossapito perustuu käyttötunteihin ja mahdollisesti myös kuntotarkasteluun pitemmällä ajanjaksolla. Hyvin yksinkertainen laakerin vaihtokin toteutetaan, kun optimi määrä ajotunteja on kertynyt valmistajan ilmoittama optimi määrä. Paperikoneen kunnossapitoa voidaan mitata erilaisin mittarein ja tässä tärkeimmät luvut eli KPI:t (Key points of interests), joilla paperikoneen käyttövarmuutta voidaan mitata.

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

Mittareita käytetään työkaluina, kun yrityksen kunnossapitostrategiaa valitaan tai kun suunnitellaan yksittäisten laitteiden kunnossapitoa. (Ojala H., 2019)

6.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon perusideana on suorittaa kunnossapitoa vian havaitsemisen jälkeen. Paperikoneen laitekanta on usein vanhahkoa ja ennakoivan kunnossapidon osuus on silloin vähäinen johtuen alhaisesta digitaalisesta maturiteetista koko laitekannassa. Laitevika paperikoneella tarkoittaa kriittisten osien kohdalla tuotannon seisahtumista ja on tästä syystä erittäin huono tapa hoitaa kunnossapitoa. Tuotannon seisahtuminen aiheuttaa aina kustannusmenetyksiä ja korjaavan kunnossapidon osuus on silloin työlästä ja vaikeaa. Kunnossapito suoritetaan siis jälkijättöisenä ja tarkoitus on palauttaa tuotanto tai laite takaisin toimintakuntoon.

6.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito toisin sanoen ”Predictive Maintenance” on noussut suosituksi kunnossapidon alalajiksi viime vuosina. Ennakoivan kunnossapidon ideana on suorittaa kunnossapitoa jo ennen kuin tarkasteltava laite tai kone hajoaa. Hajoamisen seurauksena usein tapahtuu tuotannonkatkos, joka johtaa suurempiin ongelmiin kuin jatkuva-aikainen huolto suunnitelma. Paperikoneella on hyvin paljon sensoreita ja mittareita, jotka mittaavat erilaisia arvoja paperikoneesta, kuten esimerkiksi laakerien lämpötilaa yms. Näistä kaksista voidaan erilaisilla ohjelmistoilla suorittaa ennakoivaa kunnossapitoa säätämällä raja-arvot, joita esimerkiksi lämpötila ei saa ylittää. Lämpötilan ylittäessä säädetyn raja-arvon, ilmoittaa ohjelmisto siitä vastaavalle henkilölle kuten kunnossapitopäällikölle. Tästä voidaan todeta heti, että laakeri tulee vaihtaa ennemmin tai myöhemmin, riippuen kuinka radikaali lämpötilan nousu on. On mahdollista myös siirtää huoltotoimenpide seuraavaan tuotantolaitoksen seisakkiin, jos vika on sen laajuinen, että se ei aiheuta välitöntä haittaa koneen toiminnalle. Paperikoneen huoltoa siis suoritetaan jo ennakoivasti, mutta ei kaikilla osa-alueilla. Kunnossapidon parantaminen liittyy vahvasti digitaaliseen maturiteettiin ja yrityksen yleisen digitaalisen maturiteetin nostaminen, johtaa myös tehokkaampaan ennakoivampaan kunnossapitoon. Ennakoiva kunnossapito voi vähentää suunnittelemattomien seisakkien pituutta 30 % - 50 %, sekä nostaa koneen toiminta-aikaa 20 % - 40 %.

6.1.3 Paperikoneen kunnossapito tulevaisuudessa

Kun tarkastellaan kuvan 6. tasoja viisi ja kuusi, voidaan todeta, että ne kaikki liittyvät kunnossapidon tulevaisuuteen. Tasoilla viisi ja kuusi on selvästi kehittynyt maturiteetti, joka johtaa läpinäkyvämpään laitteiden digitalisuuteen, sekä digitaalisiin kaksosiin jokaisesta koneesta ja laitteesta. Jos yritys on suorittanut huolellisesti aikaisemmat tasot, on tasojen viisi ja kuusi aikana helpompi kehittää digitaalista tulevaisuutta, kun käydä koko prosessi uudestaan lävitse ensimmäiseltä tasolta alkaen. Paperikoneen tulevaisuus on ollut puheenaiheena jo pitkään ja tästä syystä myös kunnossapidon kustannukset on pyritty ajamaan niin pieneksi kuin mahdollista. Paperikoneita on myös lakkautettu digitaalisen aikakauden vuoksi, mikä myös puoltaa hyvin sitä, että kunnossapitoon ei haluta panostaa

yhtään enempää kuin on tarve. Paperikoneen tulevaisuus on hyvin samanlainen kuin muidenkin laitteiden kunnossapito. Koneet pyritään automatisoimaan kokonaan, jotta vuoromiehiä ei tarvita ja kunnossapito hoituu lähes itsestään. Kunnossapidon osalta suurimpana ongelmana ovat kustannukset. Kustannukset nousevat, kun kunnossapidon maturiteettia nostetaan korkeammalle tasolle, josta syystä usein kunnossapidon projektit jäävät toteuttamatta. Robotiikan käyttö kunnossapidossa tarkoittaisi äärimmillään jopa vuoromiesten korvaamista roboteilla, jotka suorittavat kunnossapitoa ja huoltoa jatkuva-aikaisesti. Robotiikan laitteita ja koneita ohjaisi mahdollisesti tekoäly, joka pystyy suorittamaan ja analysoimaan kaiken tarvittavan kunnossapidon osalta, jolloin lähes kaikki suunnittelemattomat katkokset saadaan pois. Robotiikan käyttö vaatii myös tekoälyn kehittymistä ja siten suurta mullistusta teknisessä maailmassa. Tulevaisuuden tehdasta ei pystytä vielä toteuttamaan, mutta kun tekoäly kehittyy tarpeeksi, on mahdollista luoda täysin autonomisia tehtaita ilman ihmisiä.

6.2 Kunnossapidon nykytila ja sen kehityksen askeleet digitaalista maturiteettia parantamalla

Tarkastellaan tarkemmin kuvan 4. osoittamaa joukkoa differentiators valmistusteollisuudessa. Tässä teollisuudessa on Forresterin mukaan vähiten yrityksiä, jotka ovat kehittyneellä maturiteetin tasolla. Tämä tarkoittaa, että pääosin liiketoiminta perustuu vielä käytäntöön ja perinteisiin malleihin. Kunnossapitoa voidaan suorittaa muutamalla eri tavalla, mutta alemman maturiteetin omaavat yritykset suorittavat sitä perinteisesti tai puoliautomaattisesti, jolloin pääosin kehittyneet kunnossapidon toimet ovat vähäiset valmistusteollisuudessa.

Kunnossapidon nykytilan hallintaan ja töiden toteutukseen liittyä monia eri pointteja ja käytännön huomioita. Käytännössä jokaisella kunnossapitopäälliköllä tulee olla oma vastuualueensa ja kunnossapitotöiden suorittajilla omat erityisosaamiset tehtaan kunnossapitotöistä. Vaativissa tapauksissa on mahdollista myös pyytää apua laitevalmistajalta. Vastuualueet jaetaan usein koneiden perusteella. Esimerkiksi tietty kunnossapitopäällikkö vastaa tietystä paperikoneesta. Kuvassa 2. on esitetty Efora Oy:n ratkaisu kunnossapitoalueiden jaosta. Kunnossapitoa suoritetaan pääpiirteittäin niin, että

laitteen vika tai sen kunnan heikkeneminen lähettää automaattisesti vikailmoituksen kunnossapidon tietojärjestelmään tai mahdollisesti myös ERP-tietojärjestelmään. Tämän jälkeen vikailmoitus käsitellään ja riippuen yrityksestä, kunnossapitopäällikkö kirjaa tämän vikailmoituksen. Kunnossapitopäällikkö kirjaa vian kohdistuen sen toimipaikalle ja mahdollisesti jopa tietylle laitteelle. Laitteen lähettämä vika voi olla automatisoitu sensorien ilmoittama tai täysin manuaalinen kunnossapitohenkilöiden toteama yleensä riippuen laitteen kriittisyydestä ja vian laajuudesta. Tämän jälkeen siitä tehdään työmääräys kunnossapitohenkilöstölle ja jos, vika on kiireellinen tai välttämätön on sen prioriteettitaso korkea nopealle korjaukselle, eikä kunnossapitotyötä voi siirtää mahdolliseen seuraavaan seisakkiin. Kunnossapitohenkilöstö tarkastaa vian kuvauksen tietokoneelta tai jos käytössä on esimerkiksi uusi mobiilikunnossapitoyjärjestelmä, niin työmääräyksen voi myös katsoa mobiilipäätteeltä. Työmääräyksessä kuvataan vikapaikka, vian laajuus ja tyyppi. Esitietoja niin paljon kuin on mahdollista. Rutiinin omaisia kunnossapitotyöitä ei tarvitse tarkkaan kuvata ja kokenut kunnossapitohenkilöstö osaakin erottaa rutiini toimet vaativimmista vioista tai kunnossapidon tarpeista.

Digitaalisen maturiteetin parantamisen ideana on myös parantaa kunnossapitohenkilöstön toimivuutta, sekä sen joustavuutta ja tehokkuutta. Kunnossapitohenkilöstön koulutus on avain asemassa uusien tekniikoiden ja automaation omaksumisessa uudeksi kunnossapidon tyyliksi. Uudet menetelmät ovat vaikeita ja jokseenkin myös haastavia ilman koulutusta. Tarkastellaan automaattista kunnossapittoa, joka sisältää sensoreita ja datavirtoja. Molempia hyödyntämällä ja tietoja yhdistämällä kunnossapidon tulokset paranevat ja sen tehokkuus kasvaa, jolloin automaatio, sekä maturiteetin taso paranevat. Automaattinen kunnossapito kohde laitteessa on pääosin sensorien lähettämien tietojen varassa poikkeuksien(anomaly) tarkastelua datavirroista. Poikkeukset tarkoittavat esimerkiksi tarkasteltavan laitteen lämpötilassa tai muissa datavirroissa muutoksia normaaliin sensorin antamaan arvoon kuten laitteen normaaliin käyntilämpötilaan. Kuvasta 5 voimme todeta kunnossapidon nykytilaksi alemman maturiteetin yrityksissä kaksi ensimmäistä askelta. Tietokoneellistuminen, sekä konnektiviteetti. Riippuen yrityksestä ja teollisuuden alasta monessa yrityksessä ollaan vielä ensimmäisillä askelmilla parantamassa laitteiden näkyvyyttä kunnossapitohenkilöstölle. Tämä vaatii kuitenkin suuria investointeja johdolta, jolloin kunnossapidon ajattelutapaa täytyy muuttaa tuottavaan kunnossapitoon. Tuottavasta kunnossapidosta puhutaan, kun

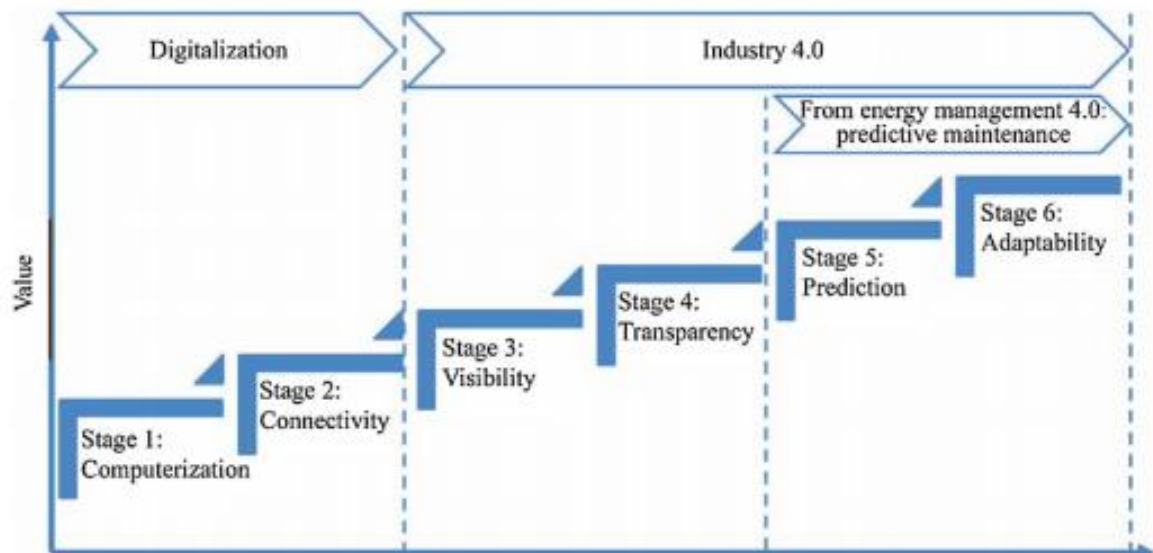
ajatellaan sen olevan oma taloudenhaara verrattuna pakollisesti suoritettavaan toimintoon tuotannon pakollisena sivutoimena. Tuottavan kunnossapidon hyötynä on sen oma kehitys ja nimetyt vastuuhenkilöt. Korkeamman maturiteetin yrityksissä kunnossapitoa pyritään aina ajattelemaan tuottavana eikä niinkään pakollisena toimena. Maturiteetti tason noustessa askelmat sijoittuvat tasolle kolme ja siitä ylöspäin kuvan 5. mukaan.

Mobiililaitteen käyttöä kunnossapidossa on jo suunniteltu pitkään, mutta vain harvoissa paikoissa se on täysipäiväisessä käytössä. Kunnossapitohenkilöstö on usein vanhakantaista, mikä vaikeuttaa omien mobiililaitteiden käyttöä. Tämä olisi yritykselle suuri investointi, mutta taloudellisista syistä on helpompi asentaa päätelaite lähelle kunnossapitohenkilöstöä, kuin ostaa älypuhelimet jokaiselle henkilölle erikseen. Mobiililaitteen kunnossapitosovelluksen kehitys tehostaa kunnossapitoa ja erityisesti kunnossapitohenkilöstön työtä. Sovellukseen on mahdollista laittaa erityiset lisätiedot kohteesta ja sen vaatimista taidoista tai varaosista. Tällöin kunnossapitohenkilöstön ei tarvitse erikseen käydä paikan päällä katsomassa vian laatua tai suuruutta ja määrittellä tarvittavia taitoja tai välineitä vian korjaamista varten. Mobiililaitteiden suurena hyötynä on sen mobiilisuus ja kaikille helppo saatavuus. Nykypäivänä käytännössä jokainen omistaa matkapuhelimen, mikä mahdollistaa nopean ja tehokkaan kunnossapitotöiden vastaanoton, sekä kirjaamisen. Mobiililaitteita ja niiden kirjaustoimintoja on käytetty ensin pilotteina ja sen jälkeen täysipäiväisessä käytössä metsäteollisuus integraateissa. Ne helpottavat töiden kirjaamista ja laskutuksen kohdistamista tietyille kunnossapitotöille ja -henkilöille. Yksilöllisemmät kustannukset taas korreloivat suoraan osakkeen kurssiin pitkällä tarkastelujaksolla. (UPM Kymmene Oyj 2020)

6.3 Paperikoneen kunnossapidon kehitys digitaalista maturiteettia parantamalla

Kunnossapidon ja digitaalisen maturiteetin voidaan ajatella kulkevan käsikädessä yrityksen kehityksessä. Digitaalisen maturiteetin nousu vaikuttaa koko yrityksen toimintaan, mutta kehittämällä kunnossapitoa myös yrityksen toimintatavat muuttuvat, joka johtaa digitaalisen maturiteetti tason nousuun. Kunnossapidon kehitystä voidaan ajatella polkuna tasolta yksi

tasolle kuusi. Kuvassa 6. esitetään tämä polku hyvin selkeästi ja tasot läpikäymällä yrityksen kunnossapito kehittyy digitaalisesti, mikä vaatii investointeja uusiin toimintatapoihin ja teknologioihin.



Kuva 6. Industry 4.0 digitaalisen maturiteetin mallit (Rødseth H. et al)

Kuvassa 6. kuvataan eri maturiteetin tasoja Rødseth H. et al mukaan. Kyseinen kuva sopii hyvin kuvaamaan kunnossapitoa valmistavan teollisuuden osalta ja tässä tapauksessa paperikoneen osalta. Paperikone on itsessään hyvin kompleksinen yksikkö, jossa yhdistyvät monenlaiset eri insinöörien alat. Nykypäivänä paperikoneet ovat kokonaisia yksiköitä, joille on määrätty omat toimihenkilöt ja vuoromiehet hoitamaan konetta täysipäiväisesti, sekä vastaamaan koneen toiminnasta ja tuottavuudesta. Uusia toimintamalleja kehitetään ja suunnitteilla on myös toimintamalli, jossa kunnossapitohenkilöstö tai paperikoneesta vastuussa olevat, omistaisivat osan paperikoneesta, jolloin siitä huolehdittaisiin kuin omasta. Käytäntöön tämä ei vielä ole edennyt ja tulevaisuuden näkymät tähtäävät henkilöstön vähentymiseen paperikoneilla.

Tasolla 1 kuvataan tietokoneellistumista ja digitaalisen aikakauden alkua. Tietokone-aikakauden alkua käsittelevä taso kuvaa kuinka erilaiset laitteet tulivat yhdistyneinä mukaan kunnossapidon jokapäiväiseen arkeen. Sen tarkoituksena on saada sensorit paikalleen ja kaapata reaaliaikaista dataa koneen toiminnasta. Manuaalinen data kirjataan ensin

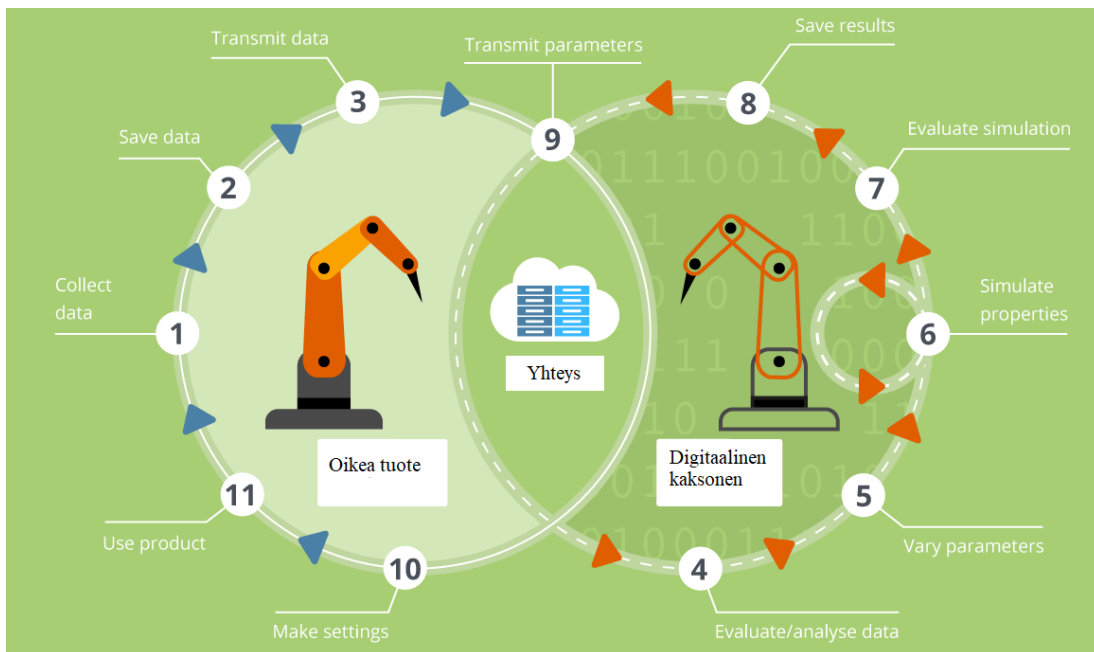
tietokoneelle, jonka myöhempi käsittely tapahtuu kunnossapidon tietojärjestelmällä. Kunnossapidon ja tuotannonkeskeytyksien kustannuksia, sekä ihmistunteja on hyvä tarkkailla tietokoneella, jolloin data on helposti analysoitavissa. Varaston hallinta ja varaosien kirjaukset suoritetaan myös suoraan tietokantaan, jolloin varaosia ei tarvitse lähteä fyysisesti etsimään varastosta.

Taso2 eli konnektiivisuus kuvaa laitteiden konnektiviteettia ja niiden yhdistymistä, sekä datavirtojen yhdistymistä. Konnektiviteetin ideana on yhdistää laitteet ja niiden datavirrat keskenään samaan tietojärjestelmään, jolloin dataa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Monet laitteet ovat eristyksissä muista ja vaativat lisälaitteita konnektivoitumista varten. Esimerkkinä tästä toimii hyvin etäkunnossapito, jossa laitevalmistaja yhdistää itsensä laitteiden käyttäjään laitteen sensoreiden lähettämän datavirran avulla. Tason ideana on myös luoda datasta hyödyllistä informaatiota. Varaosat on merkattu RFID tunnisteella, joka helpottaa ja nopeuttaa niiden tarkkailua ja varaston kokonaiskiertokulkua. Laitteet on rekisteröity yksilöllisesti tietokantaan, josta voidaan katsoa laitekohtaista tietoa reaaliaikaista dataa hyödyntämällä. Kaikki data vietään kunnossapitojärjestelmälle, joka mahdollistaa kunnossapidon täysipäiväisen hoitamisen sitä kautta.

Tasoa 3 pidetään ensimmäisenä tasona uuden digitaalisen ja teollisen aikakauden alulle Industry 4.0. Tason 3 ideana on saada laitteet ja koko yritys näkyväksi digitaalisuuden suhteen. Kunnossapidossa tämä tarkoittaisi kaikkien laitteiden konnektiviteettia ja näkyvyyttä esimerkiksi pilvipalvelun kautta. Kun taso 2 on toteutettu huolellisesti, on yrityksen mahdollista luoda itsestään digitaalinen kaksonen (Digital Twin). Digitaalinen kaksonen tarkoittaisi koko yrityksen laitteiden näkyvyyttä, reaaliaikaista laitteiden seurantaan, sekä sieltä tulevia datavirtoja. Laitteita pystytään tällöin hallitsemaan täysin etänä ja laite itsessään lähettäisi vikailmoituksen, mistä ilmenisi vian laatu, kiireellisyys, sekä tarvittavat toimenpiteet ja varaosat sen kunnossapitotyön suorittamiseksi. Ainoastaan vaadittavat kunnossapitotyöt suoritettaisiin paikan päällä ja mahdollisesti pienemmät tuotantoa keskeyttämättömät viat siirrettäisiin seisakkiin.

Tarkastellaan kunnossapidon lähtökohtia ja niiden kehittymismahdollisuuksia. Kunnossapitoa voidaan kehittää monelta erinäkökulmalta, mutta yleensä päällimmäisiksi kulmakiviksi nousevat sen aiheuttamat tai sen vaatimat kustannukset. Kunnossapidon kustannuksia halutaan pienentää, mutta samalla kunnossapitoa halutaan tehostaa ja töihin kuluvaa aikaa lyhentää. Suunnittelemattomat tuotantoseisakit halutaan poistaa käytännössä kokonaan, jolloin välttyttäisiin turhilta kustannuksilta tai tuotannon menetyksiltä.

Kunnossapidon näkökulmasta digitaalisella kaksosella on suuri merkitys laitteiden huoltosuunnitteluun, sekä vikojen ennakoitavuuteen. Kuvassa 7. esitetään fyysisen tuotteen ja digitaalisen kaksosen kiertokulku ja yhteys toisiinsa. Valmistavassa teollisuudessa on mahdollista esimerkiksi suunnitella laitetta tai tuotetta uudestaan digitaalisessa maailmassa ajamatta sitä ensin tuotantoon, jolloin kustannussäästöt ovat merkittävät.



Kuva 7. Digitaalisen kaksosen yhteys oikeaan tuotteeseen (Muokattu lähteestä Unity AG)

Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tapahtuu eri tasoilla ja riippuen eri maturiteetin tasosta mahdollisia digitaalisen kaksosen vaiheita ovat:

- digitaalinen tuote
- digitaalinen tehdas

- digitaalinen palvelu (kunnossapito-osasto ym. Esimerkiksi monella tehtaalla)
- digitaalinen organisaatio

Digitaalinen organisaatio on viimeinen ja suurin digitaalisen kaksosen antama taso, joka tarkoittaa sen täysipäiväistä hyödyntämistä kaikessa yrityksen strategian luomisessa ja sen toiminnassa. Digitaalisesta tuotteesta siirtyminen digitaaliseen organisaatioon vaatii siis kaikkien tasojen läpikäynnin yksi kerrallaan.

Digitaalisen maturiteetin tasoilla neljä, viisi ja kuusi vaaditaan erityistä analytiikkaa, joka mahdollistaa kanssakäymisen ihmisten ja koneiden välillä. Valvomosta voidaan kontrolloida kaikkia laitteita erilaisten kojelautojen kautta, joissa ilmoitetaan kaikkien koneiden arvot. Tasoilla viisi ja kuusi ideana on, että laitteiden käyttäytymiset pystytään ennustamaan ja kunnossapitoa voidaan hoitaa ilman keskeytyksiä ja vaikeuksia. Tasolla kuusi automaattinen korjaus olisi perusteena, jolloin tekoäly pystyisi automaattisesti suorittamaan tarvittavat korjaukset vaadittaville laitteille.

7 YHTEENVETO

Kappaleessa esitetään yhteenvetona keinoja, joilla parannetaan digitaalista maturiteettia teollisuuslaitoksissa yleisesti, sekä paperikoneen kunnossapidossa. Kunnossapidon kehitys liittyy vahvasti maturiteetin kehittymiseen ja perinteisissä yhtiöissä digitaalinen kehitys usein tulee jäljessä. Kunnossapitotoimien kehittyminen vaatii ensin digitaalisen maturiteetin kehittymistä koko yrityksen hierarkiassa.

Työssä perehdyttiin pääasiassa digitaalisen maturiteetin kehityksen keinoihin kunnossapidon näkemyksen kautta. Valmistavan teollisuuden osuus korkean digitaalisen maturiteetin firmoista on hyvin pieni ja tästä syystä sieltä löytyy paljon potentiaalia sen kehitykselle. Digitaalisen maturiteetin kehityksestä on hyötyä muuallakin kuin pelkässä kunnossapidossa yleisesti, mutta työssä käsitellään vain kunnossapidon näkökulmaa. Maturiteetin kehittymisellä on mahdollista minimoida kustannuksia ja saavuttaa kunnossapidon tehostamista, sekä uusia toimintatapoja sen toteuttamiselle. Konkreettisia keinoja maturiteetin kehittämiseksi ovat esimerkiksi digitaalisen kaksosen luominen, sekä TPM-filosofian implementointi koko yrityksen hierarkiaan. Digitaalisella kaksosella mahdollistetaan koko tehtaan kaikkien laitteiden näkyvyys virtuaalisesti, jolloin datavirtojen määrät kasvavat huomattavasti. Tällöin datavirtoja tulee hyödyntää erilaisten kunnossapitosovellusten kautta, jolloin mahdollistetaan maturiteetin nousu. TPM-filosofia perustuu tuottavaan kunnossapitoon ja se tarkoittaa ajattelutavan muutosta koko hierarkiassa. Kunnossapito vaatii myös investointeja, jotka edesauttavat yrityksen maturiteettia, sekä parantavat tuotannon toimivuutta ja sujuvuutta.

Digitaalisen maturiteetin kehittymistä tarkasteltiin Forresterin määrittelemän kysymysten avulla sen näkökulmasta. Maturiteetin kehitys lähtee aluksi johtamisesta ja yrityksen johdosta. Alla olevassa taulukossa 7.1 on esitetty tulostaulukko, jolla olisi mahdollista parantaa digitaalista maturiteettia. Pisteytys on saatu Liitteen II mukaan, jolla Forrester lähestyisi yrityksiä maturiteetin kehittämiseksi. **Liite II** osoittaa, että vahvalla kysymyspatteristolla saadaan yrityksen johto herätettyä ajattelemaan digitalisaation tärkeyttä koko yrityksessä. Digitalisaatio on muutos, jota koko yrityksen ja sen koko johdon

tulee toteuttaa yhteisymmärryksessä. Ruohonjuuri tasolta eli päivittäisestä kunnossapidosta niin isoihin liikkeenvaihdon päätöksiin.

Alla olevassa taulukossa 7.1 on esitetty **Liitteen II** perusteella saadut pisteet ja yrityksen pisteiden perusteella saavuttama digitaalisen maturiteetin taso.

Taulukko 7.1 Digitaalisen maturiteetin pisteet Forresterin mukaan

Differentiators Differentioijat	Hyödyntää dataa ajaen asiakkaan mieltymyksiä, sekä kehittäen digitaalista maailmaa.	Yhdistää digitaalisen ja fyysisen mailman keskenään.	72-84
Collaborators Kollaboraattorit	Rikkoo perinteisiä tapoja kehityksessä ja digitalisaatiossa.	Käyttää digitalisaatiota saavuttaen itselleen etua markkinoilla.	53-71
Adopters Adoptoijat	Investoi taitoihin ja infrastruktuuriin.	Priorisoi asiakassuhteita enemmän kuin tuotantoa.	34-52
Skeptics Skeptikot	Vasta aloittamassa digitaalista kehitystä.	Halukas asenne digitalisaatiota kohtaan.	0-33
			Score range

8 LÄHTEET

Mikkonen H., 2009, *Kuntoon Perustuva Kunnossapito*. 1.Painos. Helsinki: KP-Media Oy. 606 s. ISBN 978-952-99458-4-9

Promaint -lehti, 2019, *Kolme pointtia kunnossapidon kehittämisestä*. [Julkaistu 23.4.2019]. [Viitattu 11/2019] Saatavilla:

<https://promaintlehti.fi/Kumppaniartikkeli/Kolme-pointtia-kunnossapidon-kehittamisesta>

Berghaus S. and Back A., 2016, *Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study*. MCIS 2016 Proceedings. 22. [Viitattu 21.1.2020]

Marttonen-Arola, Salla & Monto, Sari & Kärri, Timo, 2013, *Profitable working capital management in industrial maintenance companies*. 19. 10.1108/JQME-08-2013-0054. [Viitattu 1/2020].

Workneh Wakjira M., Singh, A. P.2012, *Total Productive Maintenance: A Case Study in Manufacturing*, Online ISSN: 2249-4596. [Viitattu 29.1.2020]

Gill M., Van Boskirk S., 2016, *The Digital Maturity Model 4.0 by Forrester*. [Verkkodokumentti] [Viitattu 1/2020] Saatavilla: <https://forrester.nitro-digital.com/pdf/Forrester-s%20Digital%20Maturity%20Model%204.0.pdf>

Bernard M., 2020, *Industry 4.0*. [Verkkodokumentti][Viitattu 3/2020] Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/gradsoflife/2020/03/11/future-proof-your-workforce/>

Suomen Metsäyhdistys, 2020, *Paperin valmistus*. [Verkkodokumentti][Viitattu 3/2020] Saatavilla: <https://smy.fi/sanasto/paperin-valmistus-manufacturing-of-paper-2/>

Valmet Oy, 2015, *Paperin valmistusprosessi*. [Verkkodokumentti][Viitattu 3/2020] Saatavilla: <https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/liiketoimintalinjat/paperit/paperin-valmistusprosessi/>

Wyer S., Schmitt M. et al, 2015, *Towards Industry 4.0 – Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems*. IFAC-PapersOnLine 48-3 (2015) 579–584. [Viitattu 14.4.2020]

Ojala H., 2019, *Paperikonelinjan tuottavuuden parantaminen kunnosapidon keinoin*, Diplomityö. [Viitattu 29.4.2020] Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019120245261>

Harald R. et al, 2017, *Deep digital maintenance*. Adv. Manuf. (2017) 5:299–310, [Viitattu 1.5.2020] [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0202-9>

Mäkelä K. 2017, *Teollisuuden sähkönjakeluverkon luotettavuus metsäteollisuusintegraatissa*, Diplomityö, [Viitattu 1.5.2020] Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201704126056>

Job Wizards, 2020, *Digital twins – doubling the potential for innovation*, [Verkkodokumentti][Viitattu 12.5.2020] Saatavilla: <https://job-wizards.com/en/digital-twins-doubling-the-potential-for-innovation/>

Hershey et al, 2017, *Digital twin of twinned physical systems*, General Electric Co: US2017/0286572A1.

LIITTEET

LIITE I: Aki Saarinen haastattelu / tapaaminen

Kysymyksiä ja mietteitä:

1. Millä tavalla paperiteollisuudessa hoidetaan kunnossapitoa tällä hetkellä käytännötasolla?
 - Digitaalisuus mukaan luettuna eli mitä sensoreita esimerkiksi paperikoneella on?
 - Kustannusnäkökulma tähän
2. Miten Valmet avustaa / hoitaa kunnossapitoa, jos paperikone on jo kohteessa esim UPM:llä?
3. Kunnossapidon kehitysmahdollisuudet kohteissa (Paperikone UPM jne.)?
4. Käydään yhdessä läpi Forresterin Maturiteetin määrittävät kysymykset ja muokataan ne sopiviksi tietyille kohteelle.

HAASTATTELU

1. Kunnossapitoa vetää kunnossapitopäällikkö, joka vetää kunnossapito-osastoa. Tämän alaisuudessa kunnossapitohenkilöitä.
 - Telahiomo: Pinnotetut telat, Superkalanterin telat. Sähkökunnossapito ja automaationkunnossapito.

Olettamuksena täydenkäynninvuosi

Suunnitelmat ennen seisokkia ja vastuuna on tehdä kunnossapito mahdollisimman efektiivisesti. Jatkuva keskustelu paperikoneen vuoromestarien kanssa. Lokikirjat elektronisesti yms.? Syötetäänkö suoraan ERP?

- Kunnossapidon suunnittelija syöttää ERP kunnossapitotyön ?
- Aikataulutetaan seisokkityöt täyden ajokauden filosofia (suunnitellut seisokit, TES:n mukaiset seisokki päivät?) Joulupyhät yms.
- Suunnittelemattomat seisokit pyritään välttämään suunnitelluilla seisokeilla.
- 2.5 % – 3.0 % kokonaisseisokkiaika käyntiajasta parhaimmillaan.

Valmet tarjoaa kunnossapitopalveluita (tutki tämä). Vaikeat pinnoitukset ja telanvaihdot yms. Valmet tekee erikoistöitä, joihin vaaditaan erikoislaitteita ja koneita, tästä syystä VALMET tekee vaikeat pinnoitukset ja telanvaihdot yms. Tässä ei juurikaan kustannussäästö mahdollisuutta.

LIITE II: Forresterin kysymykset digitaalisen maturiteetin määrittämiseen (Gill & Van Boskirk, 2016)

Näkemykset

- Meillä on selkeät ja eriteltyt tavoitteet jossa digitaalisen strategian onnistuminen on mitattavissa?
- Jokainen työntekijä ymmärtää miten heidän työpanoksensa yhdistyy korporaation digitaalisten tavoitteiden kanssa ?
- Käytämme asiakaslähtöistä arvostelua, kuten NPS tai elinkaaren arvoa mittaamaan menestystä.
- Mittaamme kuinka kanavat toimivat keskenään saavuttaakseen halutun lopputuloksen?
- Asiakkaiden näkemys ohjaa digitaalista strategiaamme
- Asiakkaiden näkemykset informoivat ja vaikuttavat digitaaliseen suunnitteluun ja kehitykseen
- Syötämme opitut oppituntimme digitalisaation ohjelmista takaisin digitaaliseen strategiaan

Kulttuuri

- Uskomme, että kilpailu valttimme riippuu digitalisuudesta
- Johtoryhmämme ja Chief-level johtajat tukevat digitaalista strategiaa
- Meillä on oikeat johtajat toteuttamassa digitaalista strategiaamme päivittäin
- Investoimme digitaaliseen koulutukseen kaikissa portaissa organisaatiossamme
- Kommunikoimme selvästi digitaalisen näkemyksemme sisäisesti sekä ulkoisesti
- Otamme harkittuja riskejä mahdollistaen uudet innovaatiot
- Priorisoimme asiakas kokemusta minkä tahansa yksittäisen kanavan ylitse

Organisaatio

- Organisaatiomme rakenne priorisoi asiakassuhteita toiminallisten siilojen ylitse
- Dedikoimme tarvittavat resurssit digitaaliseen strategiaan, hallintoon ja toteutukseen
- Henkilökuntamme, jotka tukevat kriittisiä digitaalisia toimintoja ovat koulutettuja ja osaavia
- Digitaaliset taitomme on istutettu koko organisaation lävitse jokaiselle tasolle
- Organisaatiomme malli rohkaisee ristikkäistä yhteistyötä organisaation sisällä
- Olemme määrittäneet toistuvat ja uusiutuvat prosessit digitaalista hallinointia varten
- Tukkurimme toimittaa ja tuottaa arvoja, jotka tukevat digitaalista kompetenssiamme

Teknologia

- Teknologia budjettimme on likvidi, jos priorisointi muuttuu kvartaali tasolla
- Markkinointi ja teknologia resurssimme toimivat yhdessä luodakseen digitaalisaation roadmapin
- Meillä on joustava, iteratiivinen ja yhteistyökykyinen lähestymistapa teknologiseen kehitykseen
- Hyödynnämme nykyaikaisia arkkitehtuureja (APIs, cloud, etc?) edistääksemme nopeutta ja joustavuutta

- [] Mittaamme teknologia tiimejämme taloudellisesta näkökulmasta eikä pelkästään systeemien ylläpidosta
- [] Käytämme asiakaskokemus kyselyjä ja palautteita, kuten NPS ja roadmappeja, ohjataksemme digitaalista matkaamme
- [] Käytämme digitaalisia työkaluja edistääksemme työntekijöiden innovatiivisuutta, yhteistyökykyä ja liikkuvuutta.