



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ENNAKOIVAN KUNNONVALVONTA- SUUNNITELMAN LAATIMINEN OSA- VALMISTUKSEEN

JOHN DEERE FORESTRY OY

TEKIJÄ/T: Eetu Saastamoinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eetu Saastamoinen	
Työn nimi Ennakoivan kunnonvalvontasuunnitelman laatiminen osavalmistukseen	
Päiväys 18.2.2020	Sivumäärä/Liitteet 32/0
Ohjaaja(t) Mikko Nissinen, Sami Ipatti	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) John Deere Forestry Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi John Deere Forestry Oy. Yhtiö valmistaa metsäkoneita Joensuussa sijaitsevalla tehtaalla. Metsäkoneiden valmistus- ja kokoonpano vaativat ympärilleen myös toimivan kunnossapito-organisaation, jotta tuotantoa saadaan ylläpidettyä luotettavasti. Ennakoiva kunnossapito on nykypäivänä yksi tehokkaimmista kunnossapidon lajeista, ja varsinkin isossa tuotantoyrityksessä sen merkitys korostuu huomattavasti. Joensuun tehtaan tuotanto on kasvanut tasaisesti, joten myös kunnossapidon oli tarpeen kartoittaa ennakoivan kunnossapidon menetelmiä.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin erilaisia ennakoivan kunnossapidon menetelmiä ja verrattiin niitä tehtaalla nykyisin käytössä oleviin menetelmiin. Tietoa kunnossapito-osaston toiminnasta kerättiin kesätöiden kautta kunnossapito-osaston työntekijöiltä, tuotannon työntekijöiltä sekä yrityksen sisäisestä materiaalista koneiden huoltoon liittyen. Opinnäytetyön alueeksi rajattiin osavalmistus: hitsaamo, koneistus ja maalaamo. Suurin osa kunnossapidon tarpeesta keskittyy näille osastoille, koska ne ovat kokonaistuotannon kannalta kriittisiä.</p> <p>Opinnäytetyössä tuotiin esille puutteita nykyisissä ennakoivissa kunnonvalvontamenetelmissä, sekä ratkaisuehdotuksia niiden kehittämiseksi. Opinnäytetyön tarkoitus on auttaa kunnossapito-osastoa kehittämään toimintaansa ennakoivan kunnossapidon osalta ja lisätä tätä kautta myös tuotannon toimintavarmuutta.</p>	
Avainsanat Kunnossapito, ennakoiva kunnossapito, kunnonvalvonta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Eetu Saastamoinen			
Title of Thesis Preventive Maintenance Plan for Part Production			
Date	18.2.2020	Pages/Appendices	32/0
Supervisor(s) Mikko Nissinen, Sami Ipatti			
Client Organisation /Partners John Deere Forestry Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was made for John Deere Forestry Ltd. The company manufactures forestry machinery in Joensuu, Finland. The main products in Finland are cut-to-length equipment such as wheeled harvesters and forwarders. For a couple of years, the factory in Joensuu has made big investments to increase their manufacturing capacity. Steadily growing production capacity needs also an effective maintenance department to ensure the reliability of production. Today preventive maintenance is one of the most effective ways to keep large production facility like Joensuu factory running reliably and cost-effectively. The purpose of this thesis was to find new ways of preventive maintenance to develop maintenance activities.</p> <p>The work included mapping out current preventive maintenance methods used in the factory, the basic theory of most common preventive maintenance methods and development suggestions based on fault history. The thesis was limited to following departments at part manufacturing: welding, machining and painting. These departments are critical to upkeep, so most of the maintenance work already focuses in machinery on these departments.</p> <p>As a result, the thesis points out defects in current preventive maintenance methods and offers new solutions for the factory's maintenance department in order to further develop their functions and increase reliability.</p>			
Keywords Maintenance, preventive maintenance, condition monitoring			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	JOHN DEERE OY.....	7
2.1	Historia	7
2.1.1	John Deere Suomessa	7
2.1.2	Valmistettavat tuotteet	8
3	EHKÄISEVÄ KUNNOSSAPITO	10
3.1	Määritelmä	10
3.2	Menetelmät	10
3.2.1	Tarkastus	10
3.3	Lämpötilamittaus	11
3.3.1	Koskettavat mittausmenetelmät	11
3.3.2	Koskemattomat mittausmenetelmät	11
3.3.3	Lämpökamerakuvaus.....	11
3.3.4	Kunnossapidon lämpötilamittaukset.....	11
3.4	Voiteluaineanalyysit	12
3.4.1	Perusanalyysi.....	12
3.4.2	Hiukkanalyysi.....	12
3.4.3	Kulumametallianalyysi	12
3.5	Värähtelymittaukset	13
3.5.1	Mittauksen periaate.....	13
3.5.2	Mittausmenetelmät.....	13
3.5.3	Siirtymäanturit	14
3.5.4	Nopeusanturi	14
3.5.5	Kiihtyvyyssanturi.....	14
3.5.6	Lasermittaus	14
3.6	Etävalvonta	14
3.7	Ultraäänimittaukset.....	15
3.8	Benchmarking.....	15
4	ESIMERKKEJÄ KUNNONVALVONNAN SOVELLUKSISTA.....	17
4.1	Chevron Corporation	17
4.2	Presenso	17
5	TUOTANNON KONEET	18

5.1	Hitsaamo.....	18
5.1.1	Robottihitsaus.....	18
5.2	Koneistuskeskukset.....	19
5.2.1	Kuljetinjärjestelmä	19
5.2.2	Koneistuskeskus Pragma	19
5.2.3	Koneistuskeskus Ronin	19
5.2.4	Maalaamo.....	19
6	KUNNOSSAPITO JOENSUUN TEHTAALLA.....	20
6.1	Kunnossapito-osasto	20
6.2	Kunnossapidon ohjausjärjestelmä	21
6.3	Varaosien hallinta	21
6.4	Kardex Remstar-varastointijärjestelmä	21
6.5	Kunnossapidon päivittäinen toiminta	22
6.6	Nykyiset menetelmät.....	22
7	KEHITYSIDEAT.....	24
7.1	Hitsaamo.....	24
7.2	Koneistus	24
7.2.1	Baumer GAM900-kiihtyvyyssanturi	25
7.2.2	BeanAir BeanDevice	25
7.2.3	Lämpökamerakuvaus.....	25
7.2.4	Öljyanalyysi	26
7.2.5	Leikkuunesteen puhdistus.....	26
7.3	Maalaamo.....	27
7.3.1	Maalaamon kuljetinjärjestelmä	27
7.3.2	Pesukammio	27
7.3.3	Maalaamon puhaltimet	28
8	YHTEENVETO.....	29
9	POHDINTA.....	30
10	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	31

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on perehtyä erilaisiin ennakoiviin kunnossapitomenetelmiin, ja laatia ennakoivan kunnossapidon suunnitelma osatuotantoon. Työ on rajattu osatuotannon kannalta kriittisiin koneisiin/osastoihin, jotka ovat: hitsausrobotit, maalaamo sekä koneistuskeskukset. Opinnäytetyö tehdään Joensuuhun John Deere Forestry Oy:lle kunnossapito-osaston tarpeisiin.

Ennakoivia kunnossapitomenetelmiä on tehtaalla jonkin verran käytössä, mutta tuotantomäärien noustessa ja laitekannan kasvaessa, on hyvä päivittää myös kunnonvalvonnan tilannetta. Ennakkohuoltosuunnitelman laatiminen tuotannon kannalta kriittisiin koneisiin helpottaa kunnossapidon suunnittelua, ja antaa tietoa tuotantolaitteiden tilasta sekä auttaa suurempien seisakkihuoltojen suunnittelussa.

Työssä kartoitetaan valittujen koneiden nykyiset ennakkohuolto-ohjeet keräämällä aineistoa kunnossapito-osaston työntekijöiltä sekä toimihenkilöiltä. Aineiston pohjalta vertaillaan, ovatko ennakoivan kunnossapidon menetelmät riittäviä kyseiselle koneelle ja kannattaako koneelle ottaa käyttöön uusia menetelmiä.

2 JOHN DEERE OY

John Deere Oy on vuonna 1868 perustettu kansainvälinen maatalous-, metsä-, ja maanrakennuskoneiden valmistaja. Yrityksen toimipisteitä sijaitsee yli 30 maassa (Deere & Company, 2020).

2.1 Historia

Yhtiön historia alkaa vuonna 1837, kun Yhdysvaltojen Illinoisissa asuva seppä John Deere kehittää uudentyypin kyntöauran, joka puri paremmin hiekkaiseen ja kovaan maaperään. Aluksi John Deere valmistaa ja myy muutamia kymmeniä auroja alueen maanviljelijöille, sekä kehittää keksintöään. Vuonna 1864 John Deere hankkii ensimmäisen patenttinsa uudentyyliselle hevosauralle, jonka erikoisuutena on katkeava puutappi, joka suojelee auran terää, sen osuessa kiinteään esteeseen, kuten pellossa olevaan kiveen. Vuonna 1868 John Deere perustaa osakeyhtiön neljän yhtiökumppanin kanssa, ja yhtiön nimeksi tulee Deere&Company. (Deere & Company, 2020.)

Tänä päivänä John Deere on yksi maailman suurimmista metsä- ja maatalouskoneiden valmistajista, ja yhtiöllä on toimintaa yli 30 maassa. Vuonna 2018 yhtiö teki toiseksi parhaan tuloksensa, liikevaihdon ollessa 37,36 miljardia euroa. (Deere & Company, 2018.)

2.1.1 John Deere Suomessa

Joensuun tehtaan historia alkaa vuodesta 1972, jolloin Rauma-Repola Oy perusti konepajan Joensuuhun. Alussa konepajan tuotanto keskittyi metsäkoneiden lisäksi alihankintana tehtäviin tilauksiin. Tuotanto vaihteli suuresti ja valmistettavia tuotteita olivat mm. komponentit öljynporauslaitteisiin, tiehöyliin, täryjyriin, kaivinkoneisiin ja murskainasemiin. 80-luvun alkupuolella Rauma-Repola jakoi moniosaista toimintaansa erilaisiin yritysosastoihin, joiden tavoitteena oli keskittyä omaan sektoriinsa ja kasvaa siinä markkinajohtajaksi. Vuonna 1989 Rauma-Repola osti kanadalaisen metsäkonevalmistaja Timberjackin. Ennen Timberjackin ostoa, metsäkoneiden valmistus Joensuussa oli ollut pitkään tappiollista. Kauppojen myötä Joensuun tehdas ja metsäkonedivisioona nousi kuitenkin räjähdysmäisesti maailman ykköseksi metsäkonevalmistajissa. Vuonna 2000 toimintaan tuli muutos, kun amerikkalainen John Deere Oy osti Timberjackin. Metsäkoneiden merkinä pysyi Timberjack vuoteen 2005, jonka jälkeen koneet brändättiin uudelleen John Deeren alle. John Deeren amerikkalaisista tuotantomalleista otettiin mallia Joensuun tehtaalle ja virtaavan tuotantolinjaston käyttöönotolla läpimenoaikoja saatiin lisättyä huomattavasti. Tuotantojärjestelyillä Joensuun tehtaalle saatiin myös ensimmäistä kertaa kaksi tuotantolinjastoa harvestereille ja kuormakoneille, joka nosti tuotantokapasiteettia. (Eskola, 2016.)

Joensuun tehtaan muuntautumiskyvyn ansiosta, se on nykyään maailman suurin tavaralajimenetelmän metsäkonevalmistaja. John Deere on investoinut ja kehittänyt Joensuun tehdasta jatkuvasti, joka on mahdollistanut korkean tuotantokapasiteetin ja laadukkaan tuotteen.

John Deerellä on Suomessa Joensuun tehtaan lisäksi toinen toimipiste Tampereella, joka on John Deeren CTL-toimintojen (cut-to-length) pääkonttori. Suunnittelun ja valmistuksen lisäksi, yhtiöllä on useita huolto- ja jälleenmyyntipisteitä ympäri Suomen.

2.1.2 Valmistettavat tuotteet

Metsäkone yleisnimityksenä voi tarkoittaa käytännössä mitä vain metsänhoitoon liittyvää konetta, mutta yleisesti Suomessa ja pohjoismaissa sillä viitataan joko harvesteriin tai kuormatraktoriin. Molemmat koneet muodostavat yhdessä niin sanotun tavaralajimenetelmän (cut to length-method), jossa harvesteri kaataa, karsii ja katkaisee puutavaran jo metsässä, ja kuormatraktori hakee valmiiksi määrämittaiset puut (Suomen Metsäyhdistys).

Joensuun tehtaalla valmistetaan kuormatraktoreita ja harvestereita. Malleja on yhteensä kymmenen erilaista mutta koneissa voi olla keskenään pieniä eroja, riippuen asiakkaan tilaamista lisävarusteista.

Kuormatraktorin tehtävänä on noutaa harvesterin kaatamat puut metsästä tien läheisyyteen, josta ne voidaan kuljettaa eteenpäin puutavara-autolla. Kuormatraktori nostaa puut kuormatilaan hydraulisen nostopuomin avulla (Kuva 1).

Kuormatraktoreiden valmistettavat mallit Joensuun tehtaalla:

- 910G
- 1010G
- 1110G
- 1210G
- 1510G
- 1910G

Mallisarjan koneiden eroina on asiakkaan tilaaman varustelun lisäksi koneen kantokyky ja koneen fyysiset mitat. (Deere & Company, 2020.)



Kuva 1: John Deere 1910G kuormatraktori (Deere & Company, 2020).

Harvesterin tehtävä on kaataa ja karsia puut, sekä katkaista ne jatkoprosessoinnista riippuvaan mitaan. Harvesterin hydraulisen puomin päässä on harvesteripää, jolla kaadettavaan puuhun voidaan tarttua ja katkaista se (Kuva 2). Harvesteripään rullien avulla katkaistua puuta voidaan liikuttaa harvesteripään läpi, ja karsia se. Rullien liikkeen avulla kaadettu puu voidaan myös mitata ja katkaista oikeaan mittaan.

Harvesterikoneiden valmistettavat mallit Joensuun tehtaalla:

- 1070G
- 1170G
- 1270G
- 1470G

Harvesterimallien suurimpia eroja asiakkaan tilaaman varustelutason lisäksi on koneen fyysinen koko. Osa malleista on myös saatavilla 6- tai 8-pyöräisenä mallina. (Deere & Company, 2020.)



Kuva 2: John Deere 1170G-harvesteri (Deere & Company, 2020).

3 EHKÄISEVÄ KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on tärkeä osa tuotantolaitoksen toimintavarmuuden ja tuottavuuden takaamiseksi. Tuotantolaitteiden hallitsematon vikaantuminen aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia yritykselle, ja pahimmillaan voi johtaa asiakassuhteiden menettämiseen, jos tuotteiden lähetys viivästyy. (Järviö, 2007, ss. 72-73.)

Ennakoiva tai ehkäisevä kunnossapito on yksi kunnossapidon lajeista, jossa seurataan koneen tai laitteen suorituskykyä ja pyritään havaitsemaan viat, ennen kuin kone hajoaa (Järviö, 2007, s. 72).

3.1 Määritelmä

”Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vikojen syntymistä tai estetään vaurion syntyminen (PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät., 2011).”

Koneen toimintaan vaikuttavat haitalliset viat tai ominaisuudet pyritään havaitsemaan niin aikaisessa vaiheessa, että koneen heikentynyt toimintakyky ei ehdi vaikuttaa koneen tuottavuuteen (Järviö, 2007, ss. 72-73).

3.2 Menetelmät

Ehkäisevän kunnossapidon kulmakiviä ovat suunnittelu ja aikataulutus. Kun ennakkohuollot on suunniteltu hyvin etukäteen, työn suoritus sujuu jouhevammin. Suunnitteluvaiheessa huomioon otettavia seikkoja ovat yleisimmin koneen aikaisempi vikahistoria, varaosien saatavuus, koneen toimintatapa ja tuotannon toiminnot. Oikealla aikataulutuksella mahdollistetaan resurssien, kuten asentajien työajan tehokas käyttö.

Kriittisyysanalyysin avulla voidaan myös muodostaa ennakoivan kunnossapidon perustoiminnot. Varsinkin isommissa tuotantolaitoksissa huollettavien laitteiden määrä vaatii kohteiden rajaamista ja kunnossapitoyksiköiden muodostamista. Tuotannon kannalta kriittiset koneet asetetaan ennakoivan kunnossapidon kannalta tärkeimmäksi. Ennakkohuolloissa se näkyy käytännössä säännöllisenä kunnonvalvontana, rikkoutumiseen varautumisen resursseina ja tiheämpinä huoltoväleinä. (Järviö, 2007, ss. 75-84.)

3.2.1 Tarkastus

Ehkäisevässä kunnossapidossa tärkeimmässä roolissa on koneen käyttäjä. Koneen käyttäjä yleensä tuntee koneen ominaisuudet hyvin ja huomaa ensimmäisenä alkavat viat. Esimerkkinä käyttäjän tekemistä vikahavainnoista voi olla vaikkapa koneesta kuuluva ääni, jota ei ole aikaisemmin kuulunut. Äänen perusteella voidaan määrittää esimerkiksi alkava laakerivika, ja vaihtaa kulunut laakeri suunnitellusti. (Järviö, 2007, ss. 65-67.)

3.3 Lämpötilamittaus

Lämpötila on yksi mitatuimmista suureista teollisuudessa ja vianetsinnän lisäksi lämpötilatietoja käytetään myös koneiden ja prosessien ohjaukseen. Lämpötilamittaus voi myös olla osa koneen tai prosessin suojausjärjestelmää, jonka avulla estetään korkeista lämpötiloista johtuvat vahingot. Lämpötilan mittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri menetelmään: koskettavaan mittausanturiin tai koskemattomaan mittausmenetelmään, sekä lämpökamerakuvaukseen. (Mikkonen, 2009, ss. 453-459.)

3.3.1 Koskettavat mittausmenetelmät

Yleisimmin käytettyjä mittausmenetelmiä varsinkin prosessinohjauksessa ovat koskettavat mittausmenetelmät, joissa käytetään perinteisiä lasilämpömittareita, metallivastusantureita, puolijohdeantureita sekä termoparimittausta. (Mikkonen, 2009, ss. 440-442.)

3.3.2 Koskemattomat mittausmenetelmät

Koskemattomissa mittausmenetelmissä mitataan kappaleen lähettämää lämpösäteilyä infrapunälämpömittarilla. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä ja infrapunamittarin toiminta perustuu säteilyn voimakkuuden mittaamiseen, joka muunnetaan lämpötilan arvoksi.

Mittausmenetelmän etuna on nopea ja helposti liikuteltava mittari. Infrapunamittarilla voidaan myös mitata liikkuvia- tai muuten vaikeasti luokse päästäviä kohteita. Mittausmenetelmän varjopuoli on, että voimakkaasti kiiltäviä pintoja ei pystytä mittaamaan luotettavasti matalissa lämpötiloissa (alle 100 astetta). Tämä johtuu siitä, että kiiltävä, esimerkiksi kromattu pinta, heijastaa ympäristön lämpötilaa enemmän kuin itse lähettää lämpösäteilyä. (Mikkonen, 2009, ss. 443-446.)

3.3.3 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvauksella mitataan myös mitattavasta kohteesta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamerakuvauksen etuja verrattuna infrapunamittariin ovat kameran laajempi kuvausalue verrattuna infrapunamittarin pistemäiseen mittausalueeseen. Nykyaikaisilla kameroilla voidaan myös tallentaa kuva kameran muistiin, ja hyödyntää sitä myöhemmin esimerkiksi huoltotyön suunnittelussa. (Mikkonen, 2009, ss. 444-445.)

3.3.4 Kunnossapidon lämpötilamittaukset

Kunnossapidon yleisimmin käytettyjä mittausmenetelmiä ovat infrapunamittaus ja lämpökamerakuvaus. Koskemattomat mittausmenetelmät helpottavat vianetsintää, koska mittauksia on mahdollista suorittaa koneen käydessä, useista eri mittauspisteistä. Myös fyysisen kokonsa puolesta lämpökamera ja infrapunamittari ovat usein helpompia ja nopeampia käyttää.

Lämpökameraa voidaan käyttää apuna tarkastuksissa, joissa mitataan esimerkiksi sähkökeskusten liitoksia ja hydrauliiikan lämpötiloja. Kohonnut lämpötila paljastaa usein löysät liitokset sähkökytkennöissä ja ongelmat hydrauliiikassa. (Mikkonen, 2009, s. 446.)

3.4 Voiteluaineanalyysit

Voiteluaineainetta voidaan pitää yhtenä koneen osana, koska sillä on merkittävä rooli koneen kulumisen estämisessä. Voiteluaine muodostaa kalvon liikkuvien osien välille, joka pienentää osien välistä kitkaa, suojaa kulumiselta ja korroosiolta ja estää epäpuhtauksien pääsyn osien välille. Voiteluaineena toimivat yleensä erilaiset öljyt ja rasvat. (Mikkonen, 2009, s. 430.)

Voiteluaineen kunto kertoo usein myös koneen kunnon, joten voiteluaineanalyysijä voidaan pitää kunnonvalvonnan kannalta tärkeänä menetelmänä. Voiteluaineen huono kunto tai epäpuhtaudet voiteluaineessa lisäävät koneen kulumista ja heikentävät koneen toimivuutta. (Mikkonen, 2009, s. 429.)

Voiteluaineanalyysit voidaan jakaa pääpiirteittäin seuraaviin ryhmiin:

3.4.1 Perusanalyysi

Perusanalyysissä voiteluaineesta tutkitaan ulkonäkö, viskositeetti, happoluku (TAN), kiintoaineen painoprosentti. Öljyn ulkonäössä kiinnitetään huomiota öljyn väriin ja hajuun, jotka voivat paljastaa öljyn hapettumisen tai epäpuhtaudet öljyn seassa. Viskositeetillä mitataan nesteen, kuten öljyn kykyä vastustaa virtausta. Viskositeetti on öljyn perusominaisuus, joka on analyysissa selvitettävä. Öljyn hapettuminen voi johtaa viskositeetin laskuun, joka heikentää öljyn voitelukykyä ja saattaa aiheuttaa koneessa voiteluongelmia. Kokonaishappoluvulla mitataan öljyn käytön aikana tapahtuvaa hapettumista, joka kasvattaa TAN-lukua. Kiintoainepitoisuuden määrittämisellä pyritään löytämään öljyn seassa olevat epäpuhtaudet, jotka heikentävät voiteluaineen ominaisuuksia. Mittaus suoritetaan laskemalla öljy suodattimen läpi, ja punnitaan suodattimeen jäänyt kiintoaine. Kiintoaineen määrä ilmoitetaan painoprosenttina (p%), joka saadaan laskettua suodattimen läpi päässeestä öljystä ja suodattimeen jääneestä kiintoaineen määrästä. (Mikkonen, 2009, ss. 430-432.)

3.4.2 Hiukkasanalyysi

Öljynäytteessä olevia epäpuhtauksia voidaan tutkia tarkemmin hiukkasanalyysin avulla. Hiukkasanalyysissä öljynäytettä tutkitaan mikroskoopin avulla, jolla nähdään öljyssä olevien hiukkasten määrä ja koko. Hiukkasten ulkomuoto antaa yleensä viitteitä niiden alkuperästä, mikä helpottaa vianetsintää. (Mikkonen, 2009, ss. 432-435.)

3.4.3 Kulumametallianalyysi

Koneen käydessä aiheutuu normaalia kulumista, jonka seurauksena voiteluaineeseen sekoittuu metallihiukkasia. Kun kone toimii normaalisti, hiukkasten määrä voiteluaineen seassa on pieni. Vikati-

lanteessa voi aiheutua suurempaa kulumista, jonka seurauksena metallihiukkasten määrä voiteluaineissa nousee ja hiukkasten koko kasvaa. Hiukkasten määrän nousu voi aiheutua esimerkiksi käyttö- tai asennusvirheestä tai muutoksista koneen kuormituksessa.

Kulumametallianalyysi perustuu tasaisin väliajoin otettuihin näytteisiin ja niiden trendiseurantaan. Normaalissa tilanteessa hiukkasten määrä pysyy tasaisena näytteenottovälin aikana. Analyysin etuna on nopea reagointi alkavaan vikaan ja sen paikallistamiseen. Metallin materiaali, koko ja muoto antavat usein viitteitä, mistä koneenosasta tai ulkopuolisesta tekijästä kuluminen aiheutuu. (Mikkonen, 2009, ss. 435-437.)

3.5 Värähtelymittaukset

Värähtelymittauksia käytetään yleisesti teollisuudessa pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan. Pyöriessään kone synnyttää värähtelyä tietyllä taajuudella. Värähtelymittauksen tarkoituksena on selvittää muutokset pyörivän laitteen värähtelytaajuudessa. Muutokset värähtelytaajuudessa kertovat usein koneen- tai sen osan liiallisesta joustavuudesta tai liikkuvuudesta. Käytännön tasolla jokin koneen osa on yleensä kulunut, ja sen havaitseminen värähtelymittauksella voi estää koneen lisävauriot. (Mikkonen, 2009, s. 223.)

3.5.1 Mittauksen periaate

Värähtelymittaus perustuu koneen- tai koneenosan lähettämään värähtelyyn. Värähteleviä voimia, jotka saavat rakenteen värähtelemään, kutsutaan herätteiksi. Koneen liikkuvien osien, kuten akselien liikkeistä aiheutuu herätteitä, joiden voimakkuutta mitataan yleensä koneen kiinteistä osista kuten rungosta tai asennusalustasta. (Mikkonen, 2009, s. 224.)

3.5.2 Mittausmenetelmät

Yksinkertaisimmillaan värähtelymittaus voi olla aistienvaraista havainnointia, kuten esimerkiksi koneen- tai koneenosan kuuntelua koneen käydessä. Esimerkkinä voidaan käyttää polttomoottorin käyntiäänien kuuntelemista ruuvimeisselin avulla.

Värähtelymittauksen kehittyessä koneisiin alettiin asentaa kiinteitä, mekaanisia värähtelymittareita koneen kunnon seuraamiseksi. Tällaiset mittarit olivat varsin epätarkkoja, ja piirsivät värähtelyarvoja piirturin kautta paperille.

Mittausmenetelmien sähköistyminen mahdollisti mekaanisen värähtelyn muuntamisen sähköiseen muotoon, joka helpotti oleellisesti värähtelymittausta. Nykyään yleisimmät mittausmenetelmät ovatkin sähköisiä, joskin toimintaperiaatteeltaan hieman erilaisia. (Mikkonen, 2009, s. 234.)

3.5.3 Siirtymäanturit

Siirtymäanturi mittaa kohteen ja anturin välistä etäisyyttä, koskettamatta mitattavaa kohdetta. Yleisimmin käytetty siirtymäanturi on pyörrevirta-anturi. Pyörrevirta-anturin kärjessä on kela, jonka etäisyyden muutos mitattavaan kohteeseen muuttaa anturin induktanssi ja ulostulojännitettä. Jännitteen muutos voidaan tulkita kulumisena mitattavassa kohteessa. Haasteita anturin käytössä ovat hankala asennus ja anturin suppea taajuusalue. (Mikkonen, 2009, ss. 235-236.)

3.5.4 Nopeusanturi

Nopeusanturilla tarkoitetaan mittalaitetta, jolla voidaan mitata kohteen liikkeen nopeutta. Yleisin nopeusanturi on seisminen nopeusanturi eli geofoni. Sen toiminta perustuu magneettiin, joka liikkuu jousien varassa kelan sisällä. Geofoni itsessään asennetaan kiinteästi, joko maahan tai muuhun mitattavaan koneeseen. Värähtelyjen aiheutuessa magneetti on ainut liikkuva massa anturin sisällä ja kelaan indusoituneesta jännitteestä voidaan muodostaa liikkeen nopeus. Seismistä nopeusanturia käytetään nykyään lähinnä maanjäristysten aiheuttamien värähtelyjen mittaamiseen, sekä joissakin tapauksissa suurien värähtelevien koneiden kunnonvalvontaan. (Mikkonen, 2009, s. 236.)

3.5.5 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturista on muodostunut värähtelymittauksissa yleisimmin käytetty anturi. Kiihtyvyyssanturi kiinnitetään mitattavaan kohteeseen, siten että anturi liikkuu kohteen mukana. Esimerkkitapauksena kiihtyvyyssanturi voidaan asentaa pyörivään akseliin mittaamaan kiihtyvyyttä. Pietsoelementtiin muodostuu akselin pyöriessä voimaa vastaava sähkövaraus, josta vahvistettuna saadaan kiihtyvyyttä vastaava signaali.

Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin etuja ovat anturin pieni koko, kestävyys, laaja-mittausalue sekä helppo asennus. Koska anturissa ei ole liikkuvia, eikä kulumisia osia, se myös kestää ympäristön olosuhteita paremmin. Anturityyppejä on lukuisia erilaisia, ja oikean anturityypin valinta käyttöolosuhteisiin eliminoi tehokkaasti anturin rikkoutumisriskiä. Kiihtyvyyssanturin yleisin rikkoutumistilanne on antiin kohdistuva kova isku, esimerkiksi putoaminen kiinnityksestä. (Mikkonen, 2009, ss. 237-241.)

3.5.6 Lasermittaus

Lasermittaus on kiihtyvyyssanturia kehittyneempi menetelmä, joka mahdollistaa mittauksen koskettamatta mitattavaan kohteeseen. Laseranturilla voidaan myös mitata useaa dataa yhtä aikaa, kuten kappaleen etäisyyttä, mitattavan pinnan nopeutta sekä rotaativärähtelyä. Laserin etuna on myös useiden metrien pitoinen mittausetäisyys ja laaja taajuuskaista. Haittapuolina voidaan pitää laserin suurta kokoa ja hankalaa asennusta kohteeseen. (Mikkonen, 2009, ss. 241-243.)

3.6 Etävalvonta

Edellä esitetyt kunnonvalvontatekniikat ovat perinteisiä ja yleisimpiä tapoja suorittaa koneiden kunnonvalvontaa. Teknologian kehittyessä useimmat mittauserätyypit ovat pysyneet samana, mutta

anturit ja järjestelmät ovat kehittyneet tarkemmiksi. Langattomat yhteydet ovat myös mahdollistaneet kunnonvalvonnan ratkaisuja etävalvontana.

Öljyanalyysejä pidetään monesti hankalana ja työläännä kunnonvalvontamenetelmänä, mutta esimerkiksi Neste tarjoaa LubeService-palvelua, joka mahdollistaa öljyanalyyseihin jatkuvan mittauksen etänä. Palvelun edut korostuvat kriittisten kohteiden kunnonvalvonnassa, koska öljyn kuntoa voidaan tarkkailla jatkuvasti, eikä vain säännöllisin väliajoin. Näin öljyn kunnon heikkeneminen huomataan välittömästi. (Neste.)

Myös moottoreiden- ja pyörivien koneiden kunnonvalvonta voidaan hoitaa etänä. Esimerkiksi LSTGroup tarjoaa langatonta valvontajärjestelmää teollisuuden tarpeisiin. Mittausdata perustuu kohteen värähtely- ja lämpötilamittaukseen. Langattoman anturin avulla kunnonvalvonta voidaan suorittaa reaaliajassa etävalvontana. (LST Group.)

3.7 Ultraäänimittaukset

Ultraäänimittauksia on käytetty teollisuudessa jo pitkään mm. paineilma- ja kaasuvuotojen löytämiseen ja nykyään ultraäänimittaukset ovat laajentuneet myös muihin kunnonvalvonnan sovelluksiin. Ultraäänimittaus perustuu kaasuvuodon- tai koneen kulumisen aiheuttamaan desibelitason nousuun. Äänitason nousu on ihmiskorvalle huomaamaton, mutta ultraäänianturi pystyy havaitsemaan sen. Ultraäänianturilla pystytään jopa havaitsemaan puutteellinen voitelu niin aikaisessa vaiheessa, että värähtelyä ei ehdi syntyä, ja värähtelymittari ei ehdi reagoimaan. Ultraäänianturi voidaan kiinnittää mitattavaan kohteeseen kiinteästi ja kunnonvalvontasovelluksen avulla voidaan toteuttaa jatkuvaa kunnonvalvontaa etänä. (Remote Monitoring with Ultrasound, 2016.)

Ultraäänimittareita löytyy myös kannettavana mallina, jotka soveltuvat erityisesti vuotojen etsimiseen paineilma- tai kaasujärjestelmistä. Mittari muuttaa ultraäänien ihmiskorvalle kuunneltavissa olevaksi akustiseksi signaaliksi, jonka avulla vuotokohta on helppo paikantaa. Kannettavalla mittarilla voidaan kuunnella myös koneiden tai laitteiden runkoääniä värähtelymittarin tapaan. (Trotec GmbH.)

3.8 Benchmarking

Benchmarking tarkoittaa oman kunnossapitotoiminnan vertaamista muihin yrityksiin. Kun kunnossapidon lukuja verrataan kilpailijoihin, nähdään paremmin oman toiminnan kehityskohteet. Vertailtavia lukuja kunnossapidon benchmarkingissa voivat olla esimerkiksi:

- Koneiden käyttöaste
- Prosessin keskeytymisen määrät
- Varaosien saatavuus
- Ennakkohuollon tuntimäärät
- Huoltojen kestot
- Huoltojen kustannukset

Tunnuslukuja voidaan vertailla joko etsimällä tietoa alueen- tai alan kilpailijoista tai samankaltaisista yrityksistä. Samalla alalla toimivat yritykset voivat myös jakaa omat kunnossapidon tunnuslukunsa muiden kanssa, jolloin kaikki hyötyvät tiedoista saman verran. Esimerkkinä benchmarking-menetelmällä voidaan huomata ero omassa toiminnassa, vaikka varaosien saatavuuden kannalta. Muiden yritysten luvuista voidaan nähdä, että varaosien nopeampi saatavuus parantaa myös tuottavuuden lukuja, joten myös oman toiminnan kehittäminen tällä osa-alueella on siis kannattavaa. (SKF.)

4 ESIMERKKEJÄ KUNNONVALVONNAN SOVELLUKSISTA

Alla olevissa esimerkeissä on tarkasteltu yritysten kunnonvalvontamenetelmiä ja erityisesti uuden teknologian mahdollisuuksia kunnonvalvontajärjestelmissä.

4.1 Chevron Corporation

Chevron on yhdysvaltalainen, maailmanlaajuinen energiayhtiö, joka toimii kaasu- ja öljyteollisuuden parissa (Chevron: About). Vuonna 2018 yhtiö julkaisi tiedotteen, jossa se ilmoitti investoivansa ennakoivan kunnossapidon järjestelmiin tuotantolaitoksissaan. Ennakoivan kunnossapidon avulla yhtiö tavoittelee jopa miljoonien säästöjä vuosittaisissa kunnossapitokuluissa. (Castellanos, 2018.)

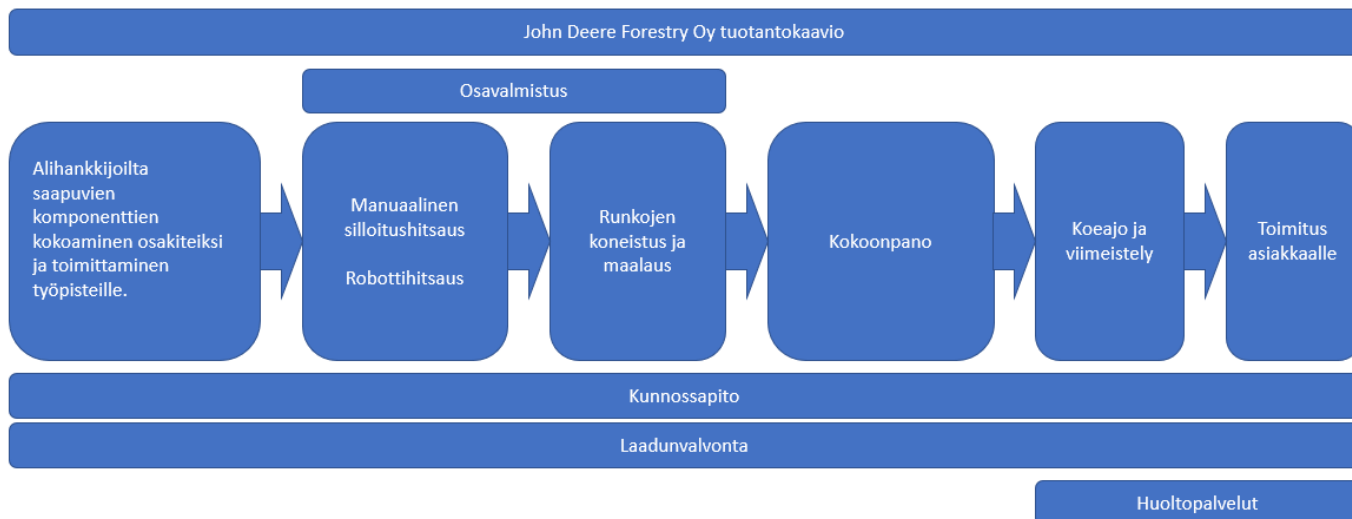
Chevron investoi Microsoftin IoT-järjestelmään (Internet of Things), joka mahdollistaa laitteiden ja sensorien tiedonsiirron. Langattomat anturit keräävät jatkuvasti tietoa laitteen tilasta ja tiedot tallennetaan pilvipalveluun, josta käyttäjä voi seurata koneen kuntoa reaaliajassa. Yhtiön tavoitteena on ottaa järjestelmä käyttöön vuoteen 2024 mennessä. Näin laaja kunnonvalvontamenetelmä edustaa uusinta langatonta tekniikkaa, ja mahdollistaa sen, että ”turhaa” ennakoivaa huoltoa ei tarvitse tehdä. Koneiden anturit ovat niin tarkkoja, että huollot voidaan suunnitella ajoissa ja kohdistaa vain ongelmakohtiin. (Castellanos, 2018.)

4.2 Presenso

Presenso on yritys, joka tarjoaa pilvipalveluun ja koneoppimiseen perustuvia kunnonvalvontaratkaisuja. Tätä teknologiaa kutsutaan myös ”Industry 4.0” tai ”Maintenance 4.0”-nimellä. Kunnonvalvonnan ratkaisut tässä teknologiassa perustuvat langattomiin antureihin, pilvipalveluun ja tekoälyn oppimiseen vikojen ehkäisyssä. Suurin etu järjestelmässä on tekoäly, joka oppii autonomisesti välttämään vikatilanteita. (Presenso.)

5 TUOTANNON KONEET

Joensuun tehtaalla suurin osa konekannasta on osavalmistuksen puolella. Kokoonpanon ja lopputuotannon työpisteillä käytetään lähinnä paineilma- ja käsityökaluja. Tehtaan tuotantokaaviosta nähdään metsäkoneen valmistuksen työvaiheet pääpiirteittäin (Kuva 3).



Kuva 3: Joensuun tehtaan tuotantokaavio (Saastamoinen, 2019)

5.1 Hitsaamo

Metsäkoneen valmistus alkaa runkojen ja puomien hitsauksesta. Komponentit saapuvat alihankkijoilta, ja ne kootaan tehtaalla osakiteiksi. Osakitejä liikutellaan varastosta trukilla hitsaamon työpisteille. Työpisteellä hitsaaja kiinnittää kitissä olevat osat hitsauskiinnittimeen eli jigiin, ja silloitushitsaa osat yhteen. Silloitushitsauksen jälkeen kappale siirretään robottihitsaukseen, jossa robotti hitsaa kappaleen saumat.

5.1.1 Robottihitsaus

Termillä robottihitsaus tarkoitetaan hitsausprosessin automatisointia, jolloin hitsaustyön tekee ihmisen sijasta robotti. Hitsauksen automatisoinnin edut tulevat esille sarjatyössä, jossa robotti nostaa tuottavuutta, sekä vähentää työntekijän altistumista hitsauskaasuille. (Mika Heinonen, 2016.)

Hitsattavat rungot ja puomit tuodaan hitsausroboteille silloitushitsattuna, jolloin hitsausrobotin tehtäväksi jää hitsata kappaleen lopulliset saumat.

5.2 Koneistuskeskukset

Kun rungot ja puomit on hitsattu, siirtyvät ne tuotannossa eteenpäin koneistettavaksi. Koneistuksessa runkoihin ja puomeihin porataan reiät ja kierteet, sekä oiotaan tasopinnat kokoonpanoa varten. Joensuun tehtaalla on kaksi automatisoitua koneistuskeskusta ja kuljetusjärjestelmä.

5.2.1 Kuljetinjärjestelmä

Hitsauksesta tulevat rungot ja puomit siirretään trukin ja nosturin avulla lastausasemalle, jossa runko kiinnitetään lastausasemalla olevaan alustaan koneistusta varten. Kuljetinjärjestelmä on automaattinen, ja siirtää rungon vapaana olevan koneistuskeskuksen sisälle tai kuljettimessa olevalle varastopaikalle odottamaan koneistusta. Valmiit, koneistetut rungot siirtyvät purkuasemalle.

5.2.2 Koneistuskeskus Pragma

Pragma on italialaisen FPT Industrie S.P.A.-yrityksen valmistama koneistuskeskus. Koneistuskeskus otettiin käyttöön tehtaalla vuonna 2006. Sen erikoisuutena on, että yhtä runkoa työstetään samaan aikaan kahdella koneella molemmilta puolilta. Tämä mahdollistaa erilaisten työkalujen käytön samaan aikaan ja nopeuttaa koneistusprosessia. Pragmalla työstetään harvestereiden- ja kuormakoneiden runkoja ja puomeja. (Tervola, 2006.)

5.2.3 Koneistuskeskus Ronin

Toinen koneistuskeskus on myös FPT:n valmistama Ronin. Toimintaperiaate on sama kuin vanhemmassa koneistuskeskus Pragmassa. Ronin sijaitsee aivan Pragman vieressä, ja koneiden ohjaus tapahtuu samasta valvomosta.

5.2.4 Maalaamo

Kun rungot ja puomit on koneistettu, siirretään ne maalaamoon. Joensuun tehtaalla on oma maalaa-motila.

Maalaamossa on automatisoitu kappaleiden kuljetusjärjestelmä, jonka avulla maalattavat kappaleet liikutetaan prosessin läpi. Maalaamo koostuu lastaus/purkuasemasta, pesukammioista, maalauksen valmistelusta, maalausammioista sekä kuivauskammioista. Maalattavat kappaleet ovat kuormakoneiden ja harvestereiden runkoja- sekä nostopuomeja. Runkoon on tässä vaiheessa asennettu teli, joka maalataan myös.

Kun maalattava kappale saapuu maalaamoon, ajetaan se trukilla lastausasemalle, jossa kappale nostetaan roikkumaan kuljetinjärjestelmään nostoketjujen avulla. Kun operaattori on kuitannut kappaleen kiinnitetyksi linjaan, kuljetin siirtää sen automaattisesti pesukammioon.

Seuraavaksi maalattava kappale siirtyy maalausammioon, jossa kappale maalataan ruiskumaalausmenetelmällä. Malauksen valmistuttua, kappale kulkee automaattisesti kuivauskammion läpi, ja jää odottamaan purkuasemalle. Purkuasemalta operaattori laskee kappaleen siirtoalustan päälle, ja siirtää maalatun kappaleen trukilla varastoon.

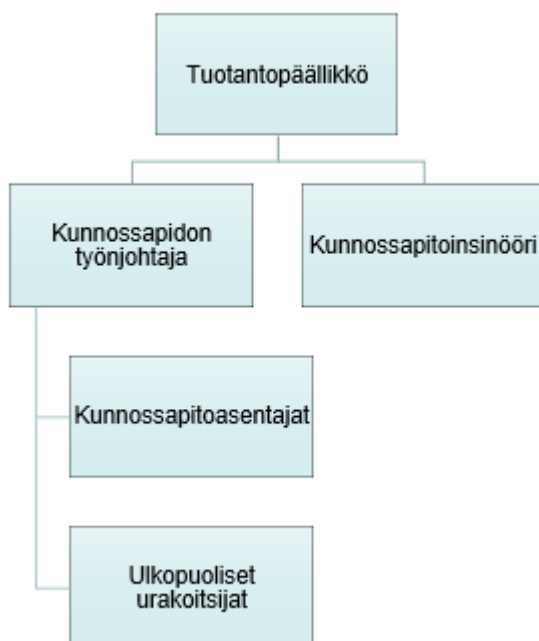
6 KUNNOSSAPITO JOENSUUN TEHTAALLA

6.1 Kunnossapito-osasto

Joensuun tehtaalla tuotantolaitteiden ja kiinteistöjen kunnossapidosta vastaa tehtaan oma kunnossapito-osasto. Kunnossapito-osaston esimiehenä toimii tehtaan tuotantopäällikkö. Osastolla työskentelevät kunnossapitoasentajat, joiden esimiehenä toimii kunnossapito-osaston työnjohtaja. Kunnossapidon suunnittelusta ja varaosatilauksista vastaa kunnossapitoinsinööri (Kuva 4).

Kunnossapidon työnjohtaja vastaa osaston päivittäisestä työnjohdosta, jakaa työtehtävät ja valvoo niiden suorittamista, tarkastaa työntekijöiden tunnit sekä kirjaa vikailmoituksia tarvittaessa työkorreiksi. Kunnossapitoinsinööri toimii työnjohtajan kanssa yhteistyössä, ja suunnittelee koneiden ja laitteiden huolto-ohjelmia, tehtaan projekteja ja huolehtii varaosatilauksista.

Osaston työntekijät korjaavat tuotantolaitteissa ilmenneitä vikoja ja suorittavat ennakkohuoltoja- ja tarkastuksia.



Kuva 4: Joensuun tehtaalla kunnossapito-osaston organisaatiokaavio (Saastamoinen, 2019)

6.2 Kunnossapidon ohjausjärjestelmä

Kunnossapito-osastolla on käytössään Arrow Novi-ohjausjärjestelmä. Ohjelmiston kautta pystytään tekemään työpyyntöjä, aikatauluttamaan huoltoja, tekemään vikailmoituksia tuotannosta, hallitsemaan varaosavarastoa- ja tilauksia sekä dokumentoimaan koneiden ja laitteiden manuaaleja ja huolto-oppaita. Kunnossapidon työnjohtaja ja kunnossapitoinsinööri pystyvät lisäämään Noviin työtehtäviä, ja seuraamaan niiden etenemistä. Kunnossapitoasentajat näkevät Novista avoimet työtehtävät, sekä niiden kiireellisyysasteen ja voivat työn valmistuttua kuitata työn tehdyksi.

6.3 Varaosien hallinta

Varaosien hallintaan käytetään myös Arrow Novi-järjestelmää. Jokainen varaosa on omalla nimikkeellä järjestelmässä. Varaosien fyysinen varastointi tapahtuu Kardex-varastoautomaatissa ja kunnossapito-osaston varastokaapeissa.

Kardex-varastoautomaatti on liitetty Arrow Novi-järjestelmään, joten kun varastoautomaatista otetaan varaosia, niiden saldo päivittyy myös Arrow-järjestelmään. Kunnossapidon työnjohtajalla ja kunnossapitoinsinöörillä on laajemmat käyttöoikeudet järjestelmän hallintaan, ja he pystyvät mm. tekemään varaosatilauksia, luomaan ja muokkaamaan nimikkeitä, muokkaamaan varastosaldoa ja varastopaikkaa.

6.4 Kardex Remstar-varastointijärjestelmä

Kardex Remstar on maailmanlaajuinen, logistiikka- ja varastointiratkaisuja tarjoava yritys. Yrityksen tuotteisiin kuuluvat erilaiset automatisoidut varastointijärjestelmät, joiden avulla voidaan tehostaa tuotantoyrityksen toimintoja. (Kardex Group, 2019.)

Joensuun tehtaalla on käytössä kaksi varastoautomaattia. Ensimmäinen varastoautomaatti sijaitsee kunnossapito-osastolla. Tämä varastoautomaatti on tarkoitettu vain kunnossapidon työkalujen- sekä varaosien säilytykseen. Automaatti on suojattu salasanalla, ja sen käyttöoikeus on vain kunnossapito-osaston työntekijöillä.

Toinen varastoautomaatti sijaitsee koneistuskeskusten läheisyydessä. Varastoautomaatissa säilytetään koneistuskeskusten ja maalaamoon huoltoon liittyviä varaosia- ja työkaluja. Varastoautomaattia käyttävät koneistajat ja kunnossapidon työntekijät.

Varastoautomaatti koostuu useista päällekkäisistä tasoista, joille voidaan varastoida nimikkeitä. Tasot ja nimikkeen paikka on numeroitu löytämisen helpottamiseksi (Kuva 5).



Kuva 4: Kardex Remstar-varastointijärjestelmä (Kardex Group, 2020).

Kun varastoautomaatista pyydetään tiettyä tasoa, automaatti hakee tason ja tuo sen alas, josta työntekijä voi ottaa haluamansa varaosan tai työkalun.

6.5 Kunnossapidon päivittäinen toiminta

Kun tuotannossa ilmenee akuutti, tuotantoa hidastava vika, tekee tuotannon työntekijä tai työnjohtaja siitä vikailmoituksen. Vikailmoituksesta näkyy vian kuvaus, sekä työpiste missä vika on havaittu. Vikailmoitukset näkyvät reaaliajassa kunnossapito-osaston toimistossa, ja vikailmoituksen havaittuaan asentaja lähtee itsenäisesti korjaamaan vikaa.

6.6 Nykyiset menetelmät

Tällä hetkellä käytössä olevat ennakoivat kunnonvalvontamenetelmät perustuvat pitkälti koneiden ja laitteiden ennakkohuoltoihin. Arrow Novi-järjestelmään on aikataulutettu huoltoja viikoittain- kuukausittain tai vuosittain, riippuen koneen kriittisyydestä ja käyttöasteesta. Myös operaattoreiden tekemät vuorokohtaiset huollot voidaan laskea ennakkohuolloksi, jonka tarkoitus on pitää yllä koneen toimintakykyä.

Kun asentaja lähtee suorittamaan ennakkohuoltoa, Novista löytyy ohje huollon suorittamiseen. Huolto-ohjeet perustuvat pitkälti huollettavan koneen valmistajan ohjeistukseen, mutta ohjeita on myös muokattu tehtaan ja asentajien omien käytännön kokemusten mukaan. Kaikkiin huoltoihin ei kuitenkaan tällä hetkellä löydy ohjetta, tai se on hyvin suppea. Haasteena onkin vanhempien kunnossapitoasentajien tiedon jakaminen, ohjeistuksia olisi hyvä laatia ja pitää ajan tasalla Arrowissa,

jotta kunnossapitoasentajien pitkä käytännön kokemus saadaan jaettua myös tulevaisuudessa uusille asentajille.

Kunnossapito-osasto käyttää myös paljon alihankkijoita koneiden kunnonvalvontaan ja huoltoon. Koska konekanta on varsin laaja ja monipuolinen, on alihankkijoiden käyttö perusteltua.

Tehtaalla nykyisin käytössä oleviin työstökeskuksiin vastaavan, laajan järjestelmän päivittäminen voi kuitenkin olla hankalaa ja kallista. Laajin ja yleisimmin käytössä oleva kunnonvalvontamenetelmä työstökeskuksille on värähtelymittaus kiihtyvyyssanturilla. (Lindberg, 2020.)

Kiihtyvyyssanturiin perustuvia värähtelymittausmenetelmiä on tarjolla itsenäisinä järjestelminä, jotka voidaan jälkiasentaa erilaisiin työstökeskuksiin. Joensuun tehtaalla työstökeskukset ovat fyysisesti isokokoisia ja kunnonvalvonnan värähtelymittauksissa on syytä keskittyä erityisesti koneistuskeskusten johteiden ja kulmapäiden kunnonvalvontaan. Johteiden kunnonvalvonnassa värähtelymittauksella voidaan huomata mm. jyrsinlastujen aiheuttama värinä, joka voi kertoa johdesuojien- tai johdepyyhinten huonosta kunnosta.

Jotta värähtelymittauksella saatu data on vertailukelpoista, tulisi värähtelymittausta tarkastella pidemmältä aikaväliltä. Mittaus olisi järkevää aloittaa puhdistetulta ja huolletulta koneelta, jolloin saadaan heti alussa mahdollisimman luotettavaa mittaustulosta ja mahdollisimmat poikkeamat suljettua pois mittaustuloksesta.

7.2.1 Baumer GAM900-kiihtyvyyssanturi

Koneistuskeskusten värähtelymittaukseen sopiva järjestelmä voisi olla esimerkiksi kansainvälisen anturivalmistaja Baumerin GAM900-kiihtyvyyssanturi. Anturi on IP 67-suojattu, MEMS (micro electro mechanical systems) -tekniikkaan perustuva kiihtyvyyssanturi, joka voidaan asentaa mitattavan koneen runkoon. Anturi mittaa värähtelyä kolmelta eri akselilta, joten yhdelläkin anturilla saadaan paljon mittaustulosta, asennuspaikasta riippuen. Anturi voidaan yhdistää käyttöjärjestelmään CAN-väylällä. (Baumer, 2020.)

7.2.2 BeanAir BeanDevice

Myös langattomia kiihtyvyyssantureita löytyy markkinoilta. Esimerkkinä voidaan ottaa saksalaisen anturivalmistajan BeanAirin valmistama BeanDevice® 2.4GHz AX-3D XRange-langaton kiihtyvyyssanturi. Suurimpana erona muihin järjestelmiin on anturin langattomuus, joka helpottaa asennusta ja mahdollistaa mittaustuloksen muuttamisen nopeasti. Langattomuuden haasteena voi olla ympäristön häiriöt ja verkon rajoitteet, jotka on selvitettävä tapauskohtaisesti. (BeanAir, 2020.)

7.2.3 Lämpökamerakuvaus

Kunnossapito-osaston käyttöön on hankittu lämpökamera. Lämpökameraa kannattaa hyödyntää myös koneistuskeskusten kunnonvalvonnassa, kuvaamalla säännöllisin väliajoin sähköliitännät ja hydraulikan liitännät. Kunnossapito-osaston huolto-ohjelmaan Arrowiin voitaisiin lisätä kriittisten paikkojen kuvaus tiheämmällä aikavälillä. Otetut kuvat on mahdollista tallentaa kameraan ja siirtää sieltä myöhemmin verkkokansioon, jolloin otettuja kuvia on helppo vertailla ja todeta mahdolliset muutokset lämpötiloissa.

Lämpökamerakuvaus paljastaa mm. löysät liitokset sähkökaapeissa. Hydraulikassa öljyvuoto aiheuttaa lämpötilan nousua vuotokohdan ympärillä, joten lämpökamera paljastaa senkin nopeasti. Myös pyörivien laakereiden kuntoa voidaan seurata lämpökameran avulla.

7.2.4 Öljyanalyysi

Koneistuskeskusten huolto-ohjelmasta löytyy öljyanalyysi molemmille koneille. Öljyanalyysi tulisi ottaa säännöllisesti, jotta siitä saatava tieto on vertailukelpoista aikaisempien mittaustulosten kanssa. Jos öljyanalyysi otetaan satunnaisesti tai liian harvaan, ei analyysin tuloksiin ehditä välttämättä reagoimaan ennakkohuollon avulla.

Jos esimerkiksi vaihdelaatikkoon tehdään öljyanalyysi kahden vuoden välein, voi kovalla käytöllä ollut vaihdelaatikko olla jo hajoamispisteessä ja analyysi ei ehdi paljastamaan laatikon huonoa kuntoa ajoissa.

Öljyanalyysin suorittamista tulisi säännöllistää ja selkeyttää: mitkä ovat mitattavat kohteet ja milloin näytteet otetaan. Öljynäyte on mahdollista ottaa esimerkiksi 3 kuukauden huollossa ja lähettää se analysoitavaksi ulkopuoliselle alan yritykselle. Tulokset analyysistä saadaan sähköisenä, ja ne voidaan lisätä Arrowiin.

7.2.5 Leikkuunesteen puhdistus

Koneistuskeskuksille tehdään vuosihuollon yhteydessä leikkuunesteen eli muljun vaihto, sekä järjestelmän puhdistus. Puhdistusaineella pyritään eliminoimaan järjestelmän mikrobikanta ja limoittuminen, joka hidastaa muljun virtausta. Perinteisesti työ on tehty imemällä ensin vanha neste pois, jonka jälkeen järjestelmä on täytetty puhdistusaineella. Puhdistusaine kiertää järjestelmän sisällä ja vaikuttaa noin vuorokauden. Tämän jälkeen puhdistusaine imetään pois ja tilalle täytetään uusi leikkuuneste.

Tähän toimenpiteeseen on tarjolla vaihtoehtoisia menetelmiä, kuten esimerkiksi vanhan leikkuunesteen suodattaminen ja puhdistaminen, jolloin järjestelmää ei tarvitse tyhjentää/täyttää useita kertoja. Näin saadaan säästettyä aikaa ja kustannuksia järjestelmän puhdistuksessa. Porilainen, teollisuuden pintakäsittely- ja työstöteollisuuden ratkaisuihin keskittyvä yritys T-Control tarjoaa tällaista ratkaisua. (Korhonen, 2020.)

Muljun pinnalle saattaa myös muodostua öljykalvoa, joka osaltaan lisää mikrobikannan muodostumista muljussa. T-Control tarjoaa öljynerotinkalvoja myös öljynpoistoon muljussa. Vaikka tehtaalla onkin jo käytössä muljunpuhdistusjärjestelmä, sen tehostamista kannattaa kartoittaa. (Korhonen, 2020.)

7.3 Maalaamo

Maalaamon vikahistoriaa tarkastellessa, suurimmat ongelmat kunnossapidon osalta ovat keskittyneet maalattavien kappaleiden kuljetusjärjestelmän ja pesukammion häiriöihin. Tuotannon kannalta kriittisiä ovat myös maalaamon poistoilmapuhaltimet, joiden vikaantuminen pysäyttää maalaamon. Puhaltimen moottorin vaihtotyö on hankalan sijainnin vuoksi pitkä prosessi, joten puhaltimien kunnonvalvontaa on kannattavaa tehdä, jos sillä voidaan havaita vikaantuminen ajoissa.

7.3.1 Maalaamon kuljetinjärjestelmä

Kuljetinjärjestelmä on käytännössä pitkä ketju, joka pyörii jatkuvasti. Ketjuun on liitetty kiinnityspisteitä, joihin maalattavat kappaleet voidaan kiinnittää. Koska kappaleiden on välillä pysähdyttävä kuljetinradalla odottamaan edellä kulkevan kappaleen siirtymistä, tai operaattorin kuittausta, on kuljetinradalla useita raja-antureita. Rajojen avulla saadaan tieto, missä kohdassa rataa kappale kulkee, ja saako kappale jatkaa radalla eteenpäin. Näin vältetään törmäykset muiden radalla kulkevien kappaleiden ja automatisoitujen ovien kanssa.

Jos kappale jää odottamaan radalle, se irrottautuu siirtoketjusta ja jää tiettyyn pisteeseen odottamaan. Kun kappale saa luvan jatkaa, paineilmasylinteri kytkee kappaleen kiinnityspisteen takaisin rataan. Näin radan ketju pyörii koko ajan, mutta kappaleita saadaan pysäytettyä eri kohdissa rataa.

Kuljetinradan ongelmana on ketjun venyminen, joka aiheuttaa erilaisia ongelmia koko maalaamon toiminnassa. Kun ketju venyy, on mahdollisuus, että kappaleet eivät pysähdy oikeisiin paikkoihin, koska raja-anturit saavat väärää tietoa. Tällaisessa tilanteessa on mahdollista, että kappale juuttuu radalle tai törmää johonkin.

Koska ketjun täytyy olla oikeassa kireydessä toimiakseen oikein, on kuljetinjärjestelmässä kiristysylinteri, joka pitää ketjun kireällä. Jos ketju kuitenkin ajan saatossa venyy paljon, loppuu kiristysylinteristä säätövara. Tällöin ketjussa on jo niin paljon löysää, että on vaarana ketjun meneminen kaksin kerroin, jolloin se kiilautuu ketjun suoja-palkin sisään, ja pysäyttää linjaston.

Ketjun venymistä tarkastellaan tällä hetkellä manuaalisesti maalaamon vuosihuollossa. Yksi vaihtoehto ketjun kunnonvalvonnan automatisoimiseksi olisi lisätä raja-anturi kiristysylinteriin. Jos kiristysylinterin vara olisi loppumassa, anturi antaisi hälytyksen tai pysäyttäisi linjaston. Näin huomattaisiin, että ketju on alkanut löystymään ja ketjunvaihto- tai lyhennys voidaan suunnitella ennen kuin linjastoa pysäyttäviä vikoja alkaa ilmenemään enemmän.

7.3.2 Pesukammio

Pesukammiossa pesuvesi suihkutetaan useasta suunnasta kappaleen päälle pesusuuttimien kautta. Pesuvesi kiertää suljetussa kierrossa, ja epäpuhtaudet poistetaan suodattimen avulla. Jotta pesuprosessi toimisi odotetulla tavalla, on pesuveden lämpötilan pysyttävä tasaisena. Muutokset lämpötilassa voivat heikentää kemikaalin vaikutusta pesutulokseen.

Kunnossapidon kannalta suurimmat ongelmat keskittyvätkin pesuveden lämpötilanvaihteluun, suodattimen puhdistukseen ja tukkeutuneisiin suuttimiin ja rikkiäisiin letkuihin.

Suodatin ei kuitenkaan pysty ehkäisemään järjestelmän kalkkeutumista. Pesukammion huollon tehneen yrityksen, T-Controlin mukaan kalkkijäämät järjestelmästä suositellaan puhdistamaan happokäsittelyllä. (Korhonen, 2020.)

Jotta happopuhdistus olisi helppo suorittaa, olisi pesuvesijärjestelmään järkevää asentaa sivukierto, ja oma säiliö puhdistushapolle. Näin saataisiin järjestelmä erotettua normaalista vesikierrosta, ja kierrätettyä puhdistusaine järjestelmän läpi. Kun puhdistus on suoritettu, puhdistusaine tyhjennettäisiin omaan erilliseen säiliönsä. Puhdistusaineesta ja epäpuhtauksien määrästä riippuen, samalla puhdistusaineella voidaan suorittaa useita puhdistuksia, ennen kuin puhdistusaine täytyy vaihtaa uuteen.

7.3.3 Maalaamon puhaltimet

Koska maalaamo on tiloiltaan luokiteltu räjähdysvaaralliseksi, täytyy kammioiden- ja maalaamotilojen ilmanvaihtojärjestelmän olla tehokas. Varsinkin maalauskammiossa sijaitsevat kaksi poistoilmankanavaa ja niiden puhallinmoottorit ovat tuotannon kannalta tärkeitä. Puhaltimen hajotessa maalaamokammion ilmanvaihto heikentyy, mikä voi pahimmassa tapauksessa keskeyttää maalauksen.

Sekä poisto- että tuloilmapuhaltimet sijaitsevat maalaamon ylätasanteella, joka on huoltotöiden kannalta ahdas ja hankala paikka. Rikkoutuneen puhallinmoottorin vaihto voi viedä yllättävän paljon aikaa hankalien olosuhteiden takia, joten puhaltimien kuntoa on syytä tarkastaa tasaisin väliajoin. Automaattista kunnonvalvontaa ei välttämättä ole järkevää alkaa toteuttamaan puhaltimien pienen määrän ja hankalan sijainnin takia. Järkevämpi kunnonvalvontamenetelmä olisi värähtelymittaus, joka suoritetaan kannettavalla mittauslaitteella. Jokaiselle puhaltimelle määritetään mittauspisteet, joista mitataan värähtelyn voimakkuus tietyin väliajoin. Erityisesti täytyy keskittyä puhaltimen tasapainotukseen ja moottorin laakerointiin ja kiinnitykseen.

Kannettavista värähtelymittareista tähän käyttöön sopiva voisi olla Fluke 805 (Kuva 6). Jos kunnossapito-osastolla olisi tällainen kannettava värähtelymittari, pystyttäisiin puhaltimien kunnonvalvonnan lisäksi mittaamaan nopeasti myös muiden laitteiden värähtelyä. Toki toimiva kunnonvalvonta tarvitsee useita mittauskertoja, jotta tietoja voidaan verrata ja nähdä onko laitteen tila muuttunut. Toki mittarilla on myös mahdollista huomata esimerkiksi kulunut laakeri, ilman useampia mittauksia.



Kuva 5: Fluke 805-kannettava värähtelymittari (Fluke Corporation, 2019).

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli ennakoivan kunnonvalvontasuunnitelman laatiminen osavalmistukseen John Deere Forestry Oy:lle Joensuuhun. Joensuun tehtaalla valmistetaan harvestereita ja kuorma-traktoreita. Työn tarkoitus oli kehittää kunnossapito-osaston toimintaa ja miettiä uusia ratkaisuja tuotannon tärkeimpien laitteiden kunnonvalvontaan ja ennakkohuoltoon.

Yleisesti ottaen kunnossapidon toimivuus tehtaalla on korkealla tasolla. Kunnossapidon henkilöstö on kokenutta ja kunnossapidon ohjausjärjestelmä Arrow Novi helpottaa akuuttien vikojen lisäksi myös ennakkohuoltojen suunnittelua. Arrowin laaja käyttö ennakkohuolloissa selkeyttää määräaikaishuoltojen suunnittelua sekä toteutusta. Myös kunnonvalvontaan liittyvät tehtävät olisi hyvä lisätä Arrowiin, vaikka kyseessä olisikin enemmänkin tarkastus, kuin varsinainen huoltotyö. Tämä helpottaa kunnonvalvontatarkastusten jaksottamista ja suorittamista.

Arrowiin on hyvä myös lisätä uutta tietoa huoltojen suorittamisesta, tarvittavista varaosista ja ajan-käytöstä. Selkeä huolto-ohje vähentää työn suoritusaikaa huomattavasti. Myös kuvien lisääminen Arrowiin on mahdollista, joten huollossa otetut valokuvat voivat olla avuksi seuraavan huollon suorittamisessa.

Hitsaamon osalta nykyinen robottien ennakkohuolto-ohjelma on pitkälti valmistajan suositusten mukainen, ja hitsausroboteilla kannattaakin keskittyä hitsauslaitteiston ongelmiin. Kova käyttöaste ja tilan epäpuhtaudet lisäävät kulumista hitsauslaitteistoissa. Tietyiltä osin onkin järkevää harkita kulusosien vaihtoa hitsausoperaattorin suoritettavaksi, vaativimpien huoltojen ja korjausten jäädessä kunnossapito-osaston suoritettavaksi. Myös hitsauslaitteiston tiiviimpi kotelointi saattaisi vähentää ympäristöstä aiheutuvaa räsitusta.

Koneistamon osalta molemmille työstökoneille olisi hyvä ottaa kiinteä värähtelymittaus, joka antaisi tietoa koneen kulumisesta. Myös kunnossapito-osaston lämpökameraa pystytään hyödyntämään koneistuksen hydraulikan- ja sähköliitosten tarkistamiseen.

Maalaamon osalta kunnonvalvontaa olisi syytä lisätä kuljetusketjun venymisen tarkkailussa ja puhaltimien värähtelymittauksissa. Maalaamon pesukammion osalta lämmönvaihtimien puhdistukseen tulisi ottaa käyttöön kemikaalipuhdistus, jolla saadaan kalkkijäämät poistettua tehokkaammin.

Parhaimmassa tapauksessa näillä toimenpiteillä saadaan ylläpidettyä koneiden toimintakykyä paremmin, sekä ennakoimaan mahdolliset vauriot nykyistä aikaisemmin.

9 POHDINTA

Opinnäytetyössä keskityttiin siihen rajattujen osastojen ja koneiden yleisimpiin ja toistuviin ongelmiin kunnossapidon suhteen. Valmis työ toimii kunnossapito-osaston apuna osana kunnossapidon jatkuvaa kehitystä Joensuun tehtaalla.

Kunnossapito isossa tuotantolaitoksessa vaatii kunnossapidon henkilöstöltä paljon osaamista ja organisointikykyä. Tehtaan laitekanta on suuri, ja metsäkoneen valmistuksessa on lukuisia työvaiheita ja virtaavan tuotannon tehokkuuden kannalta kunnossapitotyöt on hoidettava nopeasti ja suunnitellusti. Kunnossapidon suunnittelussa on tärkeää tuntea koko tehtaan toiminta, koneiden ja laitteiden toimintaperiaate ja käyttötarkoitus. Vaikka työ oli rajattu tehtaan kolmeen tärkeimpään osastoon, on työn laajuus silti merkittävä, ja ennakoivien kunnossapitomenetelmien hahmottaminen kasvaa vasta ajan kanssa tehtaalla työskenneltäessä.

Opinnäytetyö antaa ratkaisuehdotuksia ennakoivan kunnossapidon yleisiin ongelmiin, ja ratkaisuja on mahdollista jatkokehittää koneen tai osaston tarpeiden mukaan. Työ antoi arvokasta kokemusta kunnossapidon roolista tuotantolaitoksessa ja ennakoivan kunnossapidon mahdollisuuksista ja merkityksestä yrityksen tuottavuuteen.

10 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Baumer. (2020.). *Baumer: Vibration / acceleration sensors*. Haettu 14. tammikuu 2020 osoitteesta https://www.baumer.com/ch/en/product-overview/inclination-acceleration-sensors/vibration-acceleration-sensors/c/medias/__secure__/_Baumer_GAM900-GAM900S_BR_08-2014_EN_LR.pdf?mediaPK=8827050197022
- BeanAir. (2020.). *BeanAir: Wireless IIOT vibration sensor*. Haettu 14. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.beanair.com/wireless-iiot-vibration-velocity-high-performance-sensor-overview.html>
- Castellanos, S. (Toim.). (5. syyskuu 2018). *Chevron Launching Predictive Maintenance to Oil Fields, Refineries*. Haettu 17. helmikuu 2020 osoitteesta <https://blogs.wsj.com/cio/2018/09/05/chevron-launching-predictive-maintenance-to-oil-fields-refineries/>
- Chevron: About*. (ei pvm). Haettu 17. helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.chevron.com/about>
- Deere & Company. (2018). *DEERE & COMPANY 2018 ANNUAL REPORT*. Haettu 6. tammikuu 2020 osoitteesta https://s22.q4cdn.com/253594569/files/doc_financials/annual_proxy/2018/2018_John-Deere-Annual-Report.pdf
- Deere & Company. (2020). *John Deere: Harvesterit*. Haettu 7. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.deere.fi/fi/harvesterit/>
- Deere & Company. (2020). *John Deere: Kuormatraktorit*. Haettu 6. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.deere.fi/fi/kuormatraktorit/>
- Deere & Company. (2020). Tietoja meistä: John Deere, yrityksen aikajana. Haettu 6. tammikuu. 2020 osoitteesta <https://www.deere.fi/fi/yhti%C3%B6/tietoja-meist%C3%A4/>
- Eskola, V. (2016). *John Deere Forestry Oy Joensuun tehdas, ensimmäiset 45 vuotta*. Offset Ulonen Oy.
- Fluke Corporation. (2019). *Fluke: Fluke 805 -Värähtelymittari*. Haettu 20. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/mekaaninen-kunnossapito/varahtelyanalyysi/fluke-805>
- Järviö, P. P. (2007). *Kunnossapidon julkaisusarja N:o 10: Kunnossapito*. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.
- Kardex Group. (2019.). *Kardex Group: Portrait*. Retrieved tammikuu 7, 2020, from <https://www.kardex.com/en/kardex-about-us/portrait.html>
- Kardex Group. (2020). *Kardex Remstar: Uutisia*. Haettu 7. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.kardex-remstar.fi/fi/uutisia/uutisia/news-detail/article/kardex-remstar-solutions-solve-warehouse-overcrowding.html>
- Korhonen, T. (16. tammikuu 2020.). Pesukammion- ja leikkuunesteen puhdistusmenetelmät. Puhelinhaastattelu.
- Lindberg, A. (9. tammikuu 2020). Koneistuskeskuksen kunnonvalvonta, puhelinhaastattelu. (E. Saastamoinen, Haastattelija)
- LST Group. (ei pvm). *LST Etävalvonta*. Haettu 11. helmikuu 2020 osoitteesta https://lst.fi/wp-content/uploads/2019/03/LST-Etavalvonta_esite.pdf
- Mika Heinonen, T. K. (2016.). *Konetekniikan perusteet*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Mikkonen, H. (2009). *Kuntoon perustuva kunnossapito*. Helsinki: KP-Media Oy.
- Neste. (ei pvm). *LubeService Online ja Online+*. Haettu 11. helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.neste.fi/lubeservice-online>
- Presenso. (ei pvm). *REAL TIME ARTIFICIAL INTELLIGENCE*. Haettu 17. helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.presenso.com/technology-industrial-analytics/>
- PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. (15. elokuu 2011). *2011-08-15*. Haettu 7. tammikuu 2020 osoitteesta <https://www-psk-standardisointi-fi.ezproxy.savonia.fi/Standard/Ryhma62/PSK6201.pdf>

Remote Monitoring with Ultrasound. (14. lokakuu 2016). *MaintWorld*. Noudettu osoitteesta

<https://www.maintworld.com/Applications/Remote-Monitoring-with-Ultrasound>

SKF. (ei pvm). *Six steps to best in-class maintenance benchmarking*. Haettu 17. helmikuu 2020 osoitteesta

<http://www.skfgeneralcatalogue.net/de/services/services-and-solutions/benchmarking/6-steps-to-best-in-class-maintenance-benchmarking.html>

Suomen Metsäyhdistys. (ei pvm). Metsäyhdistys: tavaralajimenetelmä. Haettu 6. tammikuu 2020 osoitteesta

<https://smy.fi/sanasto/tavaralajimenetelma-assortment-method-cut-to-length-method/>

Tervola, J. (24. lokakuu 2006.). *Tekniikka&talous: Metsäkoneen rungon koneistusaika neljäsosaan*. Haettu 8.

tammikuu 2020 osoitteesta <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/metsakoneen-rungon-koneistusaika-neljasosaan/9dc27626-bcc1-3ba6-9e1b-2c81a615efa6>

Trotec GmbH. (ei pvm). *ULTRAÄÄNI-MITTAUSLAITE SL3000*. Haettu 17. helmikuu 2020 osoitteesta

<https://fi.trotec.com/tuotteet-ja-palvelut/mittauslaitteet/ultraaenaeni/ultraaenaenimittauslaitteet/sl3000/>