

# **Magneettijauhetarkastuksen käyttöönotto yrityksessä**

Otto Lähdekorpi

Opinnäytetyö

Toukokuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tuotantotekniikka

Tekijä(t) Lähdekorpi, Otto	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 61	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Magneettijauhetarkastuksen käyttöönotto yrityksessä</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hannu Kivistö, Juhani Alakangas		
Toimeksiantaja(t) Moventas Gears Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli jyvaskyläläinen tuuliturbiinivaihdemistä Moventas Gears Oy. Materiaaleille asetettujen vaatimusten kasvaessa syntyi Moventaksella tarve ottaa käyttöön uusi NDT- tarkastusmenetelmä magneettijauhetarkastus komponenttivalmistuksen osaksi. Suuressa mittakaavassa menetelmä ei yrityksessä ole ollut aikaisemmin käytössä. Standardit asettavat magneettijauhetarkastukselle paljon vaatimuksia, jotka tulee täyttää, että toiminta on standardien vaatimusten mukaista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia tarvittava standardien vaatima ohjeistus ja dokumentaatio, joilla voidaan varmistaa prosessin oikeanlainen toiminta. Työssä tuli myös suunnitella materiaalivirtoja magneettijauhetarkastukseen, sekä materiaalivirtoja tarkastussolussa.</p> <p>Työn ollessa toiminnan kehittämistä, sovellettiin toiminnassa kehittämistutkimuksen toteutustapoja. Työn aluksi hankittiin vaadittavat tason 2 pätevyudet magneettijauhetarkastukseen Kiwa Inspecta Oy:n kautta. Aineistoa työn tekemisen avuksi kerättiin NDT-prosesseihin liittyvistä standardeista sekä aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta ja internetistä.</p> <p>Työn tuloksena syntyi LEAN-periaatteiden mukainen materiaalivirta magneettijauhetarkastukseen. Tuloksina syntyi myös dokumentaatiota tarkastuksen tueksi. Dokumentteja ovat esimerkiksi työohjeet tarkastuksen suorittamiseksi ja erilaiset huolto-ohjeet.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )  tarkastus, magneettijauhetarkastus, materiaalivirta, dokumentointi		
Muut tiedot Liitteet 1, 3 ja 5 ovat salassa pidettäviä, jotka on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassa pitoaika viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 24.5.2023.		

Author(s) Lähdekorpi, Otto	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 61	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Introducing magnetic particle inspection to a company</b>		
Degree programme Mechanical and production engineering		
Supervisor(s) Hannu Kivistö, Juhani Alakangas		
Assigned by Moventas Gears Oy		
Abstract  <p>This thesis was assigned by a wind turbine manufacturer Moventas Gears Oy from Jyväskylä. As the requirements set for materials got increased, Moventas needed to start using a new NDT inspecting system, magnetic particle inspection, as a part of gear manufacturing. In larger scale magnetic particle inspection has not been used earlier in company. Standards set a lot of requirements for magnetic particle inspection, which have to be fulfilled in order to meet requirements of standards. The purpose of the thesis was to create a needed instruction required by the standards and documentation in order to ensure the operability of the process.</p> <p>As the thesis is about developing operations, research methods of developing processes were used to during this thesis. In the beginning level 2 qualifications for magnetic particle inspection were qualified by Kiwa Inspecta Oy. Material for this thesis was collected from standards concerning to NDT-processes and also from literature and Internet.</p> <p>As a result of this thesis, a material flow was created in accordance to LEAN-philosophy. These documents are for example work instructions for performing inspection and maintenance manuals.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  Inspection, magnetic particle inspection, material flow, documentation		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Johdanto.....	4
1.1	Lähtökohdat .....	4
1.2	Aikaisemmin tehtyä.....	6
1.3	Työn tavoitteet .....	6
2	Moventas Gears Oy .....	7
2.1	Tuuliturbiinivaihte .....	9
2.2	Komponenttivalmistus Ikolassa.....	10
3	Tutkimusmenetelmä .....	12
3.1	Kehittämistutkimus .....	12
3.2	Tiedonkeruu .....	13
4	Magneettijauhetarkastus .....	14
4.1	Menetelmä .....	15
4.2	Vaatimukset magneettijauhetarkastukselle .....	16
4.3	Tarkastajien päteväinti.....	18
4.3.1	Yrityksen velvollisuudet.....	19
4.3.2	Pätevyystodistuksen haltijan velvollisuudet .....	19
4.3.3	NDT pätevyystasot.....	20
5	Pätevydet Moventaksella .....	22
5.1	Lähtökohdat .....	22
5.2	Pätevöittämisprosessi .....	23
6	Standardin mukainen työohje tarkastajalle .....	24
6.1	Työohje .....	24
6.2	Vaatimukset työohjeelle .....	25
6.3	Työohje planeettapyörien tarkastukseen .....	26
7	Hyväksymisrajat ja tarkastustulosten raportointi.....	26
7.1	Hyväksymisrajat Moventaksella.....	27
7.2	Magneettijauhetarkastuksen raportointi.....	28

7.3	Suurten volyymien raportointi .....	30
8	Huollot ja kalibroinnit.....	32
8.1	Magneettijauheen kunnonseuranta .....	33
8.2	Tarkastajien suorittamat kalibroinnit.....	34
8.3	Särötarkastuslaitteen huollot.....	35
9	Materiaalivirtojen suunnittelu .....	36
9.1	Planeettapyörien materiaalivirta Moventaksella.....	36
9.2	Magneettijauhetarkastus materiaalivirrassa .....	39
9.2.1	Vaihtoehtoinen materiaalivirta .....	39
9.2.2	Valittu materiaalivirta.....	40
9.3	Materiaalivirta magneettijauhetarkastuksessa.....	41
9.4	Poikkeuksia materiaalivirtaan .....	42
10	Työn tulokset.....	43
11	Pohdinta .....	44
	Lähteet.....	46
	Liitteet .....	47
	Liite 1. Esimerkki työohjeesta tarkastajalle.....	47
	Liite 2. MPI raportointipohja .....	48
	Liite 3. Inspecta Oy:n myöntämä sertifikaatti .....	49
	Liite 4. Särötarkastuslaitteen huolto-ohje koneen käyttäjälle.....	50
	Liite 5. Työohje planeettapyörien tarkastukseen .....	53

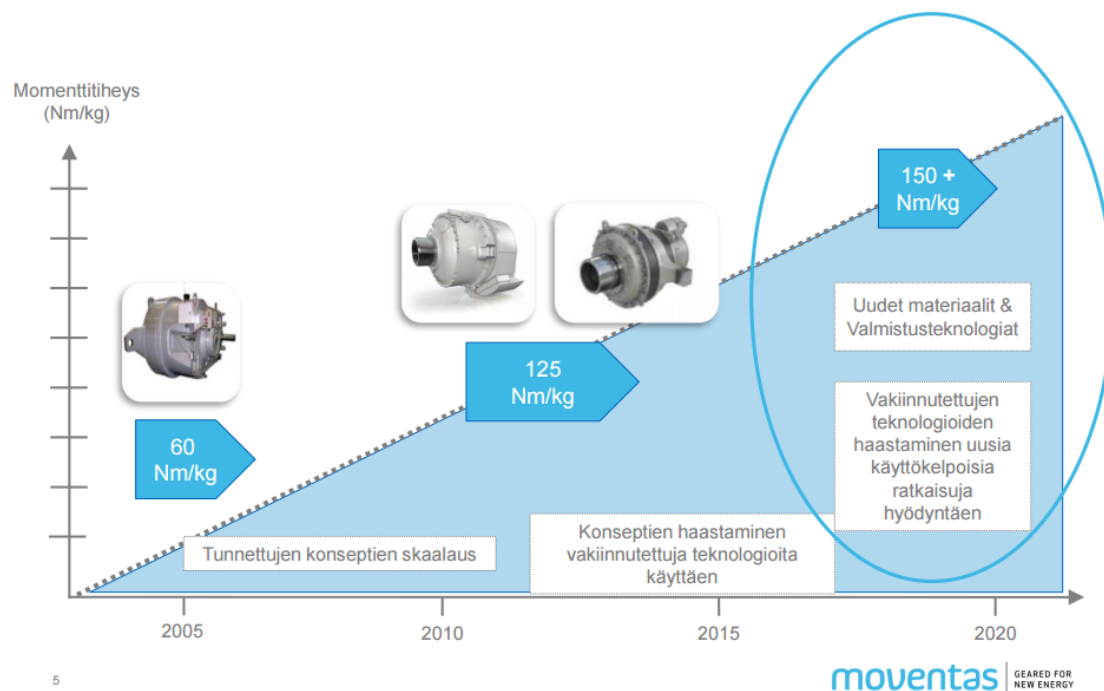
**Kuviot**

Kuvio 1 Momenttitiheyden kehitys (Moventas intra, 2016.).....	4
Kuvio 2 ME-laatuokan vaatimuksia (ISO6336-5:2006.).....	5
Kuvio 3 Moventaksen juridinen rakenne (Moventas intra, 2016.).....	7
Kuvio 4 Exceed-tuuliturbiinivaihde (Moventas intra. N.d.).....	10
Kuvio 5 Vuotokentän havaitseminen (Metso lokomo steels Oy, 2016).....	15
Kuvio 6 Laatuokan vaikutus sallittuun kuormitukseen (ISO 6336-5:2006).....	17
Kuvio 7 Magneettijauhetarkastuksen vaatimukset eri laatuokille (ISO 6336-5:2006). .....	18
Kuvio 8 Esimerkki vuoroista. ....	23
Kuvio 9 Laatuokat ja hyväksymisrajat. (SFS-EN 10228-1:1999, 11) .....	27
Kuvio 10 Lean portal.....	31
Kuvio 11 Nesteiden seuranta .....	31
Kuvio 12 Kalibroinnit tarkastuksessa. (ASTM E1444-2005, 3.) .....	32
Kuvio 13 Magneettijauhenesteen seurantakortti.....	34
Kuvio 14 Planeettapyörävalmistuksen materiaalivirta. ....	37
Kuvio 15 Välivarastot planeettapyörävalmistuksessa.....	38
Kuvio 16 Vaihtoehtoinen materiaalivirta. ....	39
Kuvio 17 Käyttöön valittu materiaalivirta. ....	41
Kuvio 18 Materiaalivirta MPI-solun sisällä. ....	41

# 1 Johdanto

## 1.1 Lähtökohdat

Työn lähtökohtana oli se, että Moventas suunnitteli markkinoille uuden Exceed-vaihteen vuonna 2015. Vaihdetta pyrittiin keventämään niin, että vaihteen momenttitiheys muuttuisi paremmaksi. Vaihteen momenttitiheydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon momenttia vaihde pystyy välittämään painokiloa kohden (kts. Kuvio 1.). Tarkoituksena keventämisellä on, että valmistuskustannuksia saadaan alhaisemmaksi vaihteen kestävyuden ja tehon kuitenkin kärsimättä.



Kuvio 1 Momenttitiheyden kehitys (Moventas intra, 2016.)

Vaihteen keventäminen edellyttää sitä, että hampaallisten osien kohdalla kappalekoot pienenevät ja materiaalia kuluu vähemmän. Toisaalta osilta vaaditaan suurempaa kuormankantokykyä. Kappalekoon pienentäminen on mahdollista tiukentamalla esimerkiksi komponentille asetettuja laatuvaatimuksia. Tämä ajoi Moventaksella siihen, että tiettyjen komponenttien kohdalla siirryttiin MQ laatuluokan materiaalista laatuluokkaan ME. Laatuluokan muutos vaikuttaa komponenttivalmistuksessa mo-  
neen asiaan. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kuitenkin vain magneettijauhetarkastukseen liittyviä asioita. Kuvio 2 esittää hieman materiaaliin liittyvien laatuluokkien vaatimuseroja.

Kuvio 2 osoittaa, että ME materiaalille vaaditaan sadan prosentin magneettijauhetarkastus. Moventaksella ei aikaisemmin ole magneettijauhetarkastusta näin isossa mit-  
takaavassa tehty, joten menetelmä on yritykselle kohtalaisen uusi. Yritykselle hankittiin kaksi magneettijauhetarkastukseen tarkoitettua magnetointipenkkiä vuoden 2015 lopussa. Toinen hankittiin akselimaisia kappaleita varten ja toinen planeetta-  
pyörille. Magneettijauhetarkastus on luvanvaraista työtä, joten yrityksen tuli päte-  
vöittää muutamia tarkastajia kyseiseen menetelmään.

Kohta	Vaatus	ML	MQ	ME
11	Pinnassa olevat säröt.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. Otantaan perustuva tarkastustiheys magneettijauhetarkastuksella.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. 50 % tarkastettava ASTM E1444 tai ISO 10228-1 standardin mukaisesti. Eräkoosta riippuen otantaan perustuva tarkastus sallittua.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. 100% tarkastettava ASTM E1444 tai ISO 10228-1 standardin mukaisesti.
12	Magneetti- jauhetarkastus (hammastuksen alue). ASTM E1444 tai ISO 10228-1.	Ei määritelty.	Hampaan modulin ollessa pienempi tai yhtäsuuri kuin 2,5, on suurin sallittu näyttämä hampaalla 1,6mm. Hampaan modulin ollessa 2,5-8, on suurin sallittu näyttämä 2,4mm. Hampaan modulin ollessa yli 8, suurin sallittu näyttämä 3mm.	Hampaan modulin ollessa pienempi tai yhtäsuuri kuin 2,5, on suurin sallittu näyttämä hampaalla 0,8mm. Hampaan modulin ollessa 2,5-8, on suurin sallittu näyttämä 1,6mm. Hampaan modulin ollessa yli 8, suurin sallittu näyttämä 2,4mm.

Kuvio 2 ME-laatuokan vaatimuksia (ISO6336-5:2006.)

## 1.2 Aikaisemmin tehtyä

Ennen tämän työn aloittamista oli joitain asioita jo tehty valmiiksi. Laitteisto magneettijauhetarkastuksia varten oli investoitu. Lisäksi tarkastussolun layout oli suurin piirtein päätetty ennen tämän työn aloittamista. Magnafluxilta ostettiin yksi räätälöidympi kone planeettapyörien magneettijauhetarkastusta varten sekä toinen kone akselimaisten kappaleiden tarkastusta varten. Planeettapyörien tarkastamista varten valmistettu kone oli Magnafluxille ensimmäinen laatuaan. Akselien tarkastukseen ostettu penkki on yleisempi ja niitä löytyy useammilta yrityksiltä. Koneet saapuivat Moventakselle loppuvuodesta 2015.

Planeettapyöräpenkki sijoitettiin Moventaksen Ikolan tehtaalle, planeettapyörien tarkastuksen yhteyteen. Tarkastuspenkin lisäksi soluun oli investoitu pesukone, nosturi sekä muita pienempiä tarvikkeita ja laitteita.

Työohjeita, tai muutakaan dokumentaatiota, ei ollut tehtynä ennen tämän työn aloittamista.

## 1.3 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on saada planeettapyörien magneettijauhetarkastus menetelmänä toimimaan standardien vaatimusten mukaisesti. Jotta menetelmä täyttää standardeissa asetetut vaatimukset, tulee muun muassa kirjoittaa työohjeita ja huolto-ohjeita tarkastuksen tueksi. Työn tavoitteena on myös suunnitella tarvittavien tarkastajien määrä, jotta varmistetaan menetelmän tehokas käyttö eri vuoromalleissa. Tarpeen on myös määritellä tarkastajien vastuulle kuuluvat huollot tarkastuslaitteelle, jotta varmistetaan laitteen toimintakyky. Työssä tulee myös suunnitella materiaali-virta magneettijauhetarkastukseen.

## 2 Moventas Gears Oy

Moventas Gears Oy (myöhemmin Moventas) on suomalainen tuuliturbiinivaihtevalmistaja. Yrityksen pääpaikka sijaitsee Jyväskylässä, jossa sillä on kaksi tuotantolaitosta. Lähellä kaupungin keskustaa sijaitseva Rautpohjan tehdas sekä etelä-Keljossa sijaitseva Ikolan tehdas. Jyväskylän lisäksi valmistusta löytyy Suomessa Karkkilasta. Jyväskylässä Moventas valmistaa vaihteiden sisäosat, sekä suorittaa vaihteiden kokoonpanon ja koeajon. Karkkilassa sijaitsee yrityksen kotelokoneistus. Suomen lisäksi Moventas toimii seitsemässä muussa maassa.



Kuvio 3 Moventaksen juridinen rakenne (Moventas intra, 2016.)

Ensimmäisen tuuliturbiinivaihteen Moventas valmisti ja toimitti vuonna 1980. Moventaksen tietotaito voimansiirrosta juontaa juurensa Valmetin ja Metso Drivesin brändin alla valmistettuihin teollisuusvaihteisiin. (Moventas background. 2016.)

Moventaksen omistaa skotlantilainen teollisuusryhmä Clyde Blowers. Työntekijöitä Moventaksella on maailmanlaajuisesti n. 500 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 400.

Yrityksen ydinosaamisalueisiin lukeutuu tuuliturbiinivaihteiden sisäosien, eli hampaallisten osien valmistus, vaihteiden kokoonpano, sekä käytössä olleiden vaihteiden

huoltotoiminta. Ydiosaamista on myös tuuliturbiinivaihteiden suunnittelu ja kehitys. Moventas huoltaa myös kilpailevien toimijoiden vaihteita.

## 2.1 Tuuliturbiinivaihde

Tuuliturbiinissa käytetään yleisesti ylennysvaihdetta kasvattamaan pyörimisnopeus sopivaksi generaattorille. Ylennysvaihteella roottorilta saatava suuri momentti saadaan muutettua suureksi pyörimisnopeudeksi, joka on sopiva generaattorille. Tyypillinen välityssuhde on vaihteessa esimerkiksi 90:1, jolloin roottorin pyörimisnopeus on noin 16,7 kierrosta minuutissa. Generaattorille pyörimisnopeus nousee 1500 kierrokseen minuutissa. Isot turbiinit pyörivät aerodynaamisten ja rakenteellisten rajoitteiden takia hitaammin, generaattorin tulee kuitenkin pyöriä noin 1500 kierrosta minuutissa. Turbiinien tehot voivat vaihdella satojen kilowattien ja useiden megawattien välillä. Painot liikkuvat sadoista kiloista aina kymmeneen tuhansiin kiloihin (Zipp 2012).

Yleisin vaihdemalli tuuliturbiineissa on planeettavaihteisto (ks. kuvio 4). Planeettavaihteistolla pystytään välittämään suuri momentti ja sen rakenne saadaan puristettua kohtuullisen tiiviiseen kokoon. Vaihteissa on yleensä yhdestä kahteen porrasta. Roottorin pääakseli kiinnittyy ensimmäiseen portaaseen. Ensimmäisen portaan tulee kestää suurin momentti. Kaksiportaisessa vaihteessa ensimmäinen porras kytkeytyy toiseen portaaseen pienentäen momenttia ja nostamalla kierrosnopeutta. Toisesta portaasta veto siirtyy lieriöportaalle, jossa akseliparin hammastuksella saadaan säädettyä haluttu välityssuhde niin sanotulle nopealle akselille, joka pyörittää generaattoria. Hammastuksia ja laakereita voidellaan painevoitelun avulla. Ensimmäinen ja toinen porras ovat niin sanottuja planeettaportaita. Planeettaportaalla on ulkokehä eli niin sanottu kehäpyörä. Kehäpyörän sisäpuolella pyörivät planeettapyörät, yleensä 3-5 kappaletta yhdellä portaalla. Kuviossa 4, planeettapyörät näkyvät keltaisella värillä. Planeettapyörien keskellä pyörii aurinkoakseli, mikä välittää voiman seuraavaan portaaseen.



Kuvio 4 Exceed-tuuliturbiinivaihte (Moventas intra. N.d.)

Vaihteistoihin saa erilaisia asiakkaiden haluamia lisävarusteita. Vaihteen mennessä esimerkiksi hyvin kylmiin olosuhteisiin, voidaan vaihte varustaa voiteluöljyn lämmitinillä. Vaihteiston voi myös varustaa erilaisilla antureilla, joilla voidaan mitata vaihtokapa lämpötiloja tai värähtelyjä vaihteistossa. Antureilla saatavan tiedon avulla voidaan ennakoida mahdollinen tuleva vaurio ja korjata se ennen hajoamista.

## 2.2 Komponenttivalmistus Ikolassa

Vaihteen komponenteista Ikolassa valmistetaan planeettapyörät alusta loppuun. Planeettapyörien lisäksi tehdään kovakoneistusta akselimaisille kappaleille.

Ikolassa on planeettapyörien pehmeäkoneistus, karkaisu sekä planeettojen kovakoneistus. Pehmeäkoneistuksella tarkoitetaan ennen karkaisua suoritettavia koneistuksia, kun taas kovakoneistuksella karkaisun jälkeen tapahtuvia koneistusvaiheita. Pehmeäkoneistuksessa valutakeet sorvataan ensin planeettapyörän muotoon. Sorvauksen jälkeen pyörät nostetaan hammastuskoneeseen, jossa pyöriin jyrsitään vierintäjyrsimellä hammastus. Pehmeiden vaiheiden jälkeen planeettapyörät siirtyvät karkai-

suun, jossa pyörät hiilleytyskarkaistaan. Karkaisulla pyritään saamaan kappaleiden pintaan joitakin millejä syvä hiilleytys. Karkaisun jälkeen pyörät siirtyvät kovakoneistukseen, jossa planeettapyörien reiät hiotaan reikähiomakoneella niille asetettuihin toleransseihin. Reikähionnan jälkeen pyörät nostetaan hammashiomakoneeseen, jossa pyörien hampaat hiotaan valmiiksi. Hiontavaiheiden jälkeen osa pyöristä menee särötarkastukseen ja osa suoraan lopputarkastukseen. Viimeinen vaihe ennen kokoonpanoon siirtymistä on kuitenkin aina lopputarkastus. Lopputarkastuksessa planeettapyörille suoritetaan Barkhausenin menetelmällä pintapäästymistarkastus, 3D-mittaus ja erinäisiä pinnankarheusmittauksia. Barkhausenin menetelmällä tarkastetaan, että hiotuille pinnoille ei ole syntynyt pintapäästymistä. Tarkastuksen jälkeen, mikäli kappaleet täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset, komponentit ovat valmiita kokoonpanon käyttöön.

Planeettapyörien lisäksi Ikolassa tehdään akselimaisille kappaleille kovakoneistusta. Pehmeäsorvaus ja karkaisu suoritetaan pääosin Rautpohjan tehtaalla, jonka jälkeen akselit tulevat Ikolaan kovakoneistukseen. Akselien kovakoneistus tapahtuu akselisolussa. Solussa on vaakakarainen sorvi, jolla akseleiden kaulat sorvataan hiomakoneelle sopiville varoille. Sorvauksen jälkeen akseleiden kaulat hiotaan pyöröhiomakoneella annettuihin toleransseihin. Pyöröhionnan jälkeen akselit nostetaan hammashiomakoneeseen ja akselin hammastus hiotaan valmiiksi. Tämän jälkeen akselit menevät myös lopputarkastukseen. Akseleille tehdään käytännössä samat mittaukset kuin planeettapyörillekin.

Planeettavaihteen muut hampaalliset osat, kuten kehäpyörät, aurinkoakselit ja holkkiakselit tehdään Rautpohjan tehtaalla.

## 3 Tutkimusmenetelmä

### 3.1 Kehittämistutkimus

Yrityksissä on pyrkimys jatkuvasti kehittää ja parantaa toimintaa, tuotteita, palveluita ja prosesseja. Käytännön kehittämistyö pitäisi saada näkyväksi. Eräs keino kehittämistyön tulosten julkituomiseksi on kehittämistutkimus. Kehittämistutkimuksessa yhdistyvät kehittäminen ja tutkimus syklisessä prosessissa. Syklisellä prosessilla tarkoitetaan ns. kehittämissykliä, jossa kuvataan ongelma, laaditaan toimenpide-ehdotukset, toteutetaan ja katsotaan tulos. Kehittämistyöllä pyritään aina positiiviseen muutokseen. Kehittämistutkimus on yhdistelmä eri tutkimusmenetelmiä, jotka riippuvat kehittämiskohteen luonteesta. Kehittämistutkimus yhdistelee elementtejä kvalitatiivisesta ja kvantitatiivisesta tutkimusmenetelmästä. Kaikenlainen muutosten aikaansaaaminen ei ole kehittämistutkimusta. Kehittämistyötä tehdään yrityksissä jatkuvasti, mutta se ei välttämättä ole kehittämistutkimusta. Kehittämistutkimus vaatii tutkimuksellista otetta ja tutkimusosion. (Kananen 2015, 33,39,40)

Seuraavassa on kuvattu esimerkki kehittämistyön etenemiselle:

- Tutkimussykli
  - Nykytilan kartoitus
  - Ongelman havaitseminen
  - Ongelman määrittely
  - Vaihtoehtojen etsintä
  - Vaihtoehtojen arviointi ja ratkaisun valinta
  
- Muutossykli
  - Kokeilu/toteutus
  - Arviointi
  - Seuranta

(Kananen 2015, 42)

Kehittämistyön kehittämissykli alkaa nykytilan kartoituksella, jossa määritellään kehittämistyön kohde eli ongelma, joka halutaan poistaa. Ongelman määrittely on tärkeää intervention onnistumisen kannalta. Ongelman löytämiseen, määrittelyyn ja vaihtoehtoisten ratkaisumallien tuottamiseen tarvitaan tietoa, mikä edellyttää tutkimusta. Tutkimustarve riippuu ongelmasta, tarvittavasta tiedosta ja tiedon saatavuudesta. Muutoksen onnistumisen kannalta on kriittistä se, kuinka ongelma pystytään määrittämään ja muuttamaan tutkimuskysymykseksi, joilla tuotetaan tietoa ongelman ratkaisemiseksi ja muutoksen läpiviemiseksi. Ongelman syiden löytämisen jälkeen arvioidaan keinot, joilla ongelma voidaan ratkaista. Ongelman poistaminen on oma prosessinsa, sillä perinteinen tutkimus toteaa vain ongelman ja sen syyt. (Kananen 2015, 41, 42)

Tässä työssä kehittämistutkimusta sovellettiin toiminnan parantamiseksi. Prosessin toiminnan parantamisella taas saavutetaan parempi tuotelaatu. Jos toiminta ei ole standardien vaatimuksien mukaista, ei voida myöskään olla varmoja prosessin todellisesta toimivuudesta. Jos taas prosessit toimivat annettujen ohjeiden ja vaatimusten mukaisesti, voidaan olla varmoja, että laatukin saavuttaa annetut vaatimukset.

### 3.2 Tiedonkeruu

Kehittämistutkimuksen pääsääntöinen tutkimusaineisto on yleensä kvalitatiivista. Laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen aineisto koostuu sekundääriaineistosta ja primääriaineistosta. Sekundääriaineistoksi luetaan kaikki dokumentit, kuvat tai muut tallenteet, jotka liittyvät ilmiöön. Primääriaineistoa ovat havainnoinnin, haastattelujen ja kyselyjen avulla tuotetut aineistot, jotka kohdistetaan tutkittavaan ilmiöön. (Kananen 2015, 76)

Magneettijauhetarkastus on hyvin tarkasti standardien määrittelemää ja ohjeistamaa. Tästä syystä työn aineistosta suuri osa on kerätty erilaisista standardeista. Stan-

dardit ovat jokseenkin ylimalkaisia, ja niitä on aina hieman sovellettava kyseiseen tapaukseen sopivaksi. Työn aikana kävi myös selväksi suuret erot ISO ja ASTM -standardien välillä. Vaikka Moventaksella sovelletaan pääosin ISO-standardeja, löytyi joihinkin ongelmiin parhaiten aineistoa ASTM-standardien puolelta. Standardeista kuitenkin saa hyvät suuntaviivat työn tekemiselle. Myös muiden työntekijöiden ja toimihenkilöiden kanssa yhdessä havainnoimalla ja keskustelemalla löytyi monesti hyviä keinoja ongelmien ratkaisemiseksi. Työn aikana myös huomattiin, että kotimaisista lähteistä löytyi magneettijauhetarkastukseen liittyvää aineistoa verrattain vähän. Ulkomaalaista aineistoa löytyi enemmän, mutta sekin oli monesti varsin vanhaa. Parhaiten magneettijauhetarkastukseen liittyvää teoriaa saikin Inspectan järjestämältä kurssilta.

## 4 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus perustuu vuonna 1819 löydettyyn ilmiöön. Henkilö nimeltä Ørsted havaitsi, että virta johtimessa synnyttää magneettikentän johtimen ympärille. Ensimmäinen sovellutus, jossa magneettijauhetarkastusta on tiedetty käytettävän, on 1860-luvun Englannista, jossa menetelmällä tarkastettiin tykinputkia magneetin ja kompassin avulla.

Magneettijauhetarkastus patentoitiin menetelmänä Yhdysvaltalaisen William Hoo-ken toimesta vuonna 1922. Tunkeumanestetarkastuksen ja magneettijauhetarkastuksen soveltaminen suuremmissa määrin alkoi toisen maailmansodan aikana, jolloin hitsaaminen yleistyi sotatarviketeollisuuden toimesta.

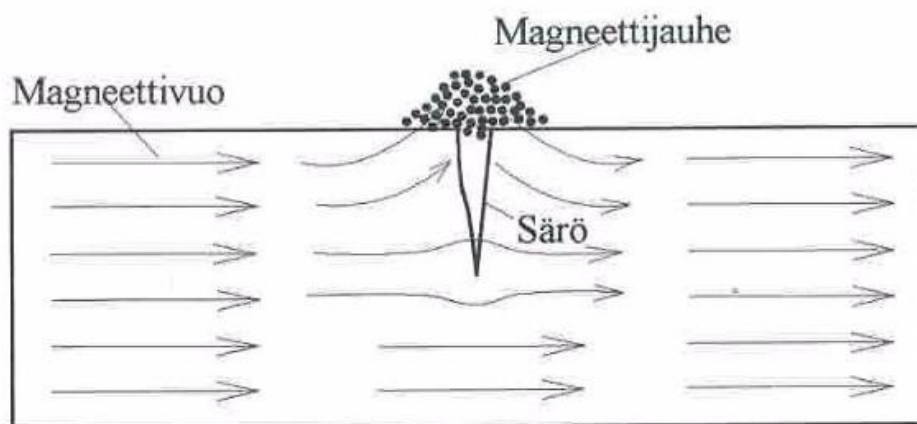
Nykyaikana magneettijauhetarkastusta käytetään paljon puoliautomasoidusti. Tällöin prosessi on monesti automatisoitu, mutta näyttämien tulkitseminen suoritetaan manuaalisesti, eli silmämääräisesti. Autoteollisuus on yksittäisistä teollisuudenaloista suurin menetelmän hyödyntäjä. Tulevaisuudessa menetelmää pyritään kehittämään

siihen suuntaan, että myös näyttämien tulkitseminen suoritetaan automatisoidusti, esimerkiksi kameran ja tietokoneen avulla (Magneettijauhetarkastus-kurssi 2016, 4).

#### 4.1 Menetelmä

Magneettijauhetarkastus (myöhemmin MT) on ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä, jolla voidaan havaita pintaan avautuvia tai lähellä pintaa olevia epäjatkuvuuskohtia. Menetelmä vaatii, että materiaali on ferromagneettinen. Ferromagneettinen materiaali tarkoittaa sitä, että materiaali magnetoituu magneettikentän vaikutuksesta. Ferromagneettisten materiaalien suhteellinen permeabiliteetti ei ole vakio, vaan muuttuu kenttävoimakkuuden mukaan. Esimerkiksi koboltilla permeabiliteetti on maksimissaan 250, nikkelillä maksimissaan 600 ja pehmeillä teräksillä maksimissaan 2000.

Parhaiten menetelmä soveltuu tasomaisten vikojen havaitsemiseen. Kappaleen monimutkainen muoto voi hankaloittaa vikojen havaittavuutta. Menetelmä perustuu epäjatkuvuuskohdan aiheuttaman vuotokentän havaitsemiseen, kuten kuviossa 5 on esitetty.



Magneettijauhetarkastuksen periaate.

Kuvio 5 Vuotokentän havaitseminen (Metso lokomo steels Oy, 2016).

Menetelmä perustuu siihen, että kappaletta magnetoidaan ulkoisella magnetointilaitteella, esimerkiksi ieksellä. Magnetoinnin aikana tarkastuskohtaan suihkutetaan tarkastusneste. Magnetoinnin jälkeen magnetoitu alue tarkastetaan. Seuraavassa esimerkki, miten fluoresoivalla tekniikalla tarkastusprosessi etenee:

1. Pinnan esipuhdistus
2. Magnetoinnin aloitus
3. Magnetoinnin levitys
4. UV-valaistuksen aloitus
5. Magnetoinnin lopetus
6. Indikaatioiden tulkinta
7. Vikojen arvostelu
8. Dokumentointi
9. UV-valaistuksen lopetus
10. Mahdollinen demagnetointi
11. Pinnan jälkipuhdistus
12. Mahdollinen pinnan suojaus

Viat, joita MT-menetelmällä etsitään, ovat esimerkiksi säröjä, huokosia, kielekkeitä, ylivalssaumia tai liitosvikoja. Edellä mainitun tyyppisiä vikoja voi syntyä lämpökäsittelyyn, hionnan tai hitsauksen aikana. Materiaalin väsyminen saattaa aiheuttaa myös vikoja materiaaliin. Oikeissa olosuhteissa voidaan löytää jopa 0,1 $\mu$ m leveitä ja 1mm pitkiä vikoja. (Magneettijauhetarkastus-kurssi 2016, 45).

## 4.2 Vaatimukset magneettijauhetarkastukselle

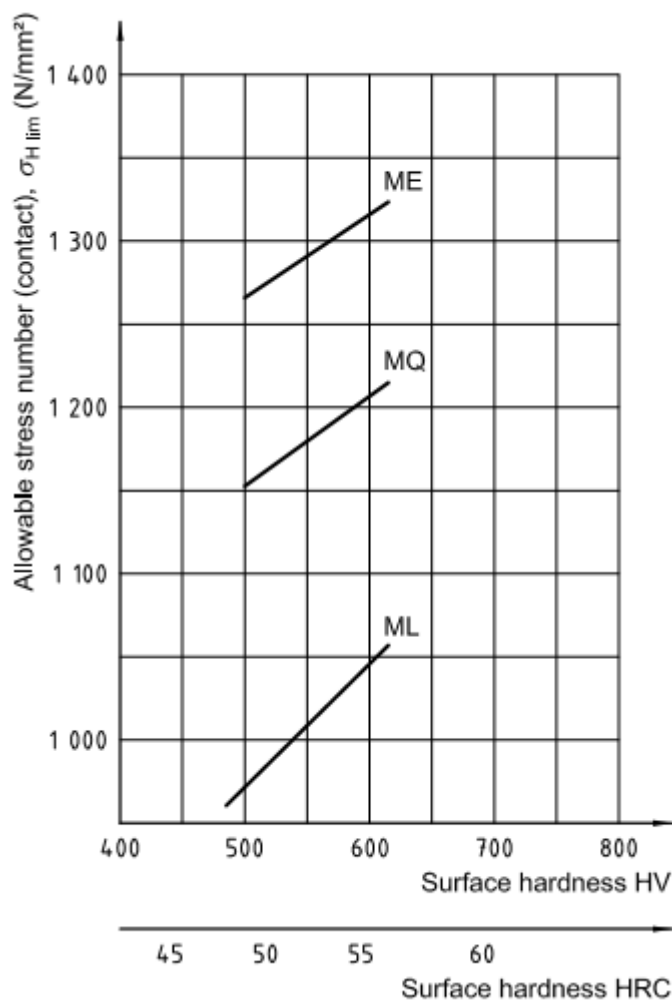
Vaatimukset vaihesuunnittelun laskennalle tulevat standardista ISO 6336. Standardin pääotsikko on *Calculation of load capacity of spur and helical gears*. Standardi on jaettu osiin seuraavasti:

- Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors
- Part 2: Calculation of surface durability (pitting)
- Part 3: Calculation of tooth bending strength
- Part 5: Strength and quality of materials

Standardin ensimmäiset kolme osaa ottavat kantaa vaihdesuunnitteluun ja laskentaan, niihin ei tässä työssä sen suuremmin syvennyttä. Standardin viidennessä osassa käsitellään materiaalien vaatimuksia ja materiaaliluokkia ja siihen pohjautuu vaatimukset magneettijauhetarkastukselle.

Käytetty materiaali voidaan standardin mukaan jakaa kolmeen laatuluokkaan: ML, MQ ja ME.

- ML laatuluokan materiaalilla on pienimmät vaatimukset materiaalin laadulle ja lämpökäsittelyprosessille.
- MQ laatuluokka asettaa materiaalille korkeampia vaatimuksia, joihin hieman kokeneemmat valmistajat voivat vastata kohtuullisin kustannuksin.
- ME asettaa tiukimmat vaatimukset materiaalille ja näihin vaatimuksiin vastattaessa saavutetaan suurin käyttövarmuus ja komponenttien pitkäikäisyys.



Kuvio 6 Laatuluokan vaikutus sallittuun kuormitukseen (ISO 6336-5:2006).

Kuvio 6 osoittaa hiilletyskarkaistun kappaleen sallitun kuormituksen vaihtelun eri laatuokkien materiaalille. Kuvio osoittaa miten merkittävästi enemmän ME-laatuokan materiaalilta vaaditaan kestävyyttä verrattuna ML-laatuokan materiaaliin.

Kohta	Vaatus	ML	MQ	ME
11	Pinnassa olevat säröt.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. Otantaan perustuva tarkastustiheys magneettijauhetarkastuksella.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. 50 % tarkastettava ASTM E1444 tai ISO 10228-1 standardin mukaisesti. Eräkoosta riippuen otantaan perustuva tarkastus sallittua.	Säröt eivät ole hyväksyttäviä. 100% tarkastettava ASTM E1444 tai ISO 10228-1 standardin mukaisesti.

Kuvio 7 Magneettijauhetarkastuksen vaatimukset eri laatuokille (ISO 6336-5:2006).

Kuvio 7 osoittaa miten magneettijauhetarkastuksen vaatimukset vaihtelevat eri laatuokkien välillä. ML-laatuokan materiaaleilla säröt eivät ole sallittuja, mutta riittää, että tarkastuksia tehdään otantaan perustuen. MQ-laatuokan materiaaleille vaaditaan 50% magneettijauhetarkastusta. ME-laatuokan materiaaleille vaaditaan 100% tarkastus. Sovittaessa ja kyvykkyyden riittäessä voidaan tarkastus suorittaa otantaan perustuen sarjakoon ollessa yli viisi kappaletta. Tämä vaatii kuitenkin asiakkaan hyväksynnän.

### 4.3 Tarkastajien pätevänti

Standardissa SFS-EN ISO 9712 määrittää vaatimukset ja sertifiointiprotokolla, jotka täyttäessään tarkastaja voi suorittaa magneettijauhetarkastuksia. Standardi määrittää raamit henkilöstön päteväntiin ja sertifiointiin kaikessa NDT-tarkastuksessa,

myös magneettijauh tarkastuksessa. Suomessa NDT-tarkastajien sertifiointista vastaa Kiwa Inspecta Oy. Tutkintokeskus, jossa pätevyyskokeet suoritetaan, sijaitsee Vantaalla.

#### 4.3.1 Yrityksen velvollisuudet

Tarkastuksia suorittavan tarkastajan työnantajalla on muutamia vastuualueita, joista on huolehdittava.

1. Työnantaja on vastuussa kaikesta, mikä koskee lupia työn suorittamiseen, esimerkiksi käytännön harjoitukset.
2. Kirjallisen toimintavaltuutuksen antaminen työskentelyyn.
3. NDT-toiminnan tuloksista.
4. Näkökyvyn vuosittaisesta todentamisesta.
5. Varmistettava työskentelyn jatkuvuus.
6. Varmistettava, että henkilöstöllä on voimassa oleva ja asianmukainen sertifikaatti heidän työtehtäviinsä nähden.
7. Ylläpidettävä asianmukaisia tallenteita.

Työskentelyyn oikeuttava Inspectan myöntämä sertifikaatti ei edusta toimilupaa. Luvan työskentelylle antaa työnantaja, tässä tapauksessa Moventas. Inspectan myöntämä sertifikaatti on osoitus työntekijän yleisestä pätevydestä. Moventaksen on varmistettava, että tarkastuksia suorittava työntekijä tuntee käytettävät laitteet ja menetelmät. (SFS-EN ISO 9712:2012, 22.)

#### 4.3.2 Pätevyystodistuksen haltijan velvollisuudet

ISO 9712 asettaa joitakin velvollisuuksia myös Inspectan myöntämän pätevyystodistuksen haltijalle. Todistuksen haltijan tulee sitoutua noudattamaan NDT-tarkastuksen

eettisiä sääntöjä, jotka sertifiointielin on julkaissut kokelaille ja pätevyystodistuksen haltijoille. Lisäksi pätevyystodistuksen haltija on velvollinen tarkastuttamaan näkökykynsä vuosittain ja toimittamaan todistuksen tästä työnantajalle. Mikäli pätevyystodistuksen haltijan mielestä edellytykset sertifiikaatin voimassaololle eivät täyty, on tästä myös ilmoitettava sertifiointielimelle ja työnantajalle. (SFS-EN ISO 9712:2012, 22.)

#### 4.3.3 NDT pätevyystasot

NDT-tarkastuksia suorittavat henkilöt jaetaan kolmelle tasolle sen mukaan, millä laajuudella ja kuinka itsenäisesti työtä saa tehdä.

**Tasolle 1** sertifioitu tarkastaja on pätevä suorittamaan NDT-tarkastuksia kirjallisen ohjeen mukaan. Tason 1 tarkastaja työskentelee joko tason 2 tai 3 valvonnassa. Tason 1 henkilö voi työnantajan valtuutuksella suorittaa seuraavia tehtäviä:

1. Asettaa NDT-laitteisto toimintakuntoon.
2. Suorittaa tarkastuksia.
3. Kirjata ja luokitella tulokset annettujen kirjallisten vaatimusten mukaan.
4. Raportoida tuloksia.

Tason 1 henkilö ei kuitenkaan vastaa itse testausmenetelmästä, eikä arvioi tarkastuksesta syntyneitä tuloksia. (SFS-EN ISO 9712:2012, 24.)

**Tason 2** tarkastaja saa, tason 1 tarkastajan tehtävien lisäksi, suorittaa työnantajan valtuutuksella seuraavia tehtäviä:

1. Valita sovellettava NDT-tekniikka kyseiselle NDT-menetelmälle.
2. Määrittää kyseisen NDT-menetelmän sovellutuksen rajoitukset.
3. Muuttaa NDT-standardeja, -säännöstöjä, -spesifikaatioita ja –menettelyjä käytännön työohjeiksi todellisiin olosuhteisiin.
4. Asettaa laitteisto toimintakuntoon, sekä tarkistaa laitteiston toimintakunto.
5. Suorittaa ja valvoo tarkastuksia.
6. Tulkita ja arvioida tarkastustuloksia itsenäisesti sovellettavan standardin, säännöksen, spesifikaation tai menettelyn mukaan.
7. Toteuttaa ja valvoo kaikkia tason 2 ja sen alapuolella olevia tehtäviä.

8. Opastaa tason 2 tai sen alapuolella olevia henkilöitä.
9. Raportoida rikkomattoman aineenkoetuksen tuloksia.

Moventaksella tarkoitetaan pätevöittäviä kaikki NDT-tarkastuksia suorittavat henkilöt tasolle 2. (SFS-EN ISO 9712:2012, 24.)

**Tason 3** sertifioitu tarkastaja on osoittanut olevansa pätevä suorittamaan ja johtamaan hänen sertifiointialueensa piiriin kuuluvaa NDT-toimintaa. Tason 3 henkilö on osoittanut kykyä arvioida ja tulkita tuloksia olemassa olevien standardien, säännösten ja spesifikaatioiden puitteissa. Tason 3 tarkastajalla on riittävä käytännön tietämys materiaalien käytöstä, valmistus-, prosessi- ja tuotantotekniikasta niin, että hän kykenee valitsemaan NDT-menetelmät ja tekniikat sekä kykenee avustamaan hyväksymisrajojen määrittämisessä silloin, kun niitä ei muutoin ole saatavissa. Lisäksi tason 3 tarkastajalla on yleinen perehtyneisyys muihin NDT-menetelmiin sertifiointialueensa ulkopuolelta. (SFS-EN ISO 9712:2012, 24.)

Tason 3 henkilö voidaan valtuuttaa suorittamaan seuraavia tehtäviä:

1. Ottamaan täysi vastuu tarkastuslaitteista ja tarkastushenkilöistä tai tutkintokeskuksesta.
2. Laatimaan, tarkastamaan toimituksellista ja teknistä oikeellisuutta ja vahvistamaan noudatettavaksi NDT-työohjeita ja ohjeita.
3. Tulkitsemaan standardit, säännösten, spesifikaatioita ja ohjeita.
4. Valitsemaan käytettävät NDT-menetelmät, -ohjeet ja -työohjeet.
5. Toteuttamaan ja valvomaan kaikkien tasojen tehtäviä.
6. Tarjoamaan opastusta NDT-henkilöille kaikilla tasoilla. (SFS- EN ISO 9712:2012, 24.)

## 5 Pätevydet Moventaksella

### 5.1 Lähtökohdat

Planeettapyörien tarkastuksessa Moventaksen Ikolan tehtaalla työskentelee tällä hetkellä 5 henkilöä. Hieman vuorojärjestelmästä riippuen siellä on vähintään kaksi henkilöä vuorossa. Planeettapyörien magneettijauhetarkastus integroitiin osaksi normaalia tarkastusprosessia. Samojen henkilöiden tulee kyetä suorittamaan komponenttien normaalin tarkastuksen lisäksi magneettijauhetarkastus. Vaatimuksena on, että joka vuorossa on yksi henkilö, joka kykenee magneettijauhetarkastuksia suorittamaan. Päädyttiin päteväyttämään neljä henkilöä magneettijauhetarkastukseen, kaikki tasolle 2. Neljällä henkilöllä varmistetaan, että joka vuorossa on magneettijauhetarkastuksiin pätevä henkilö.

Kahdessa vuorossa työskenneltäessä, molemmissa vuoroissa on kaksi henkilöä, joilla on pätevydet. Näin saadaan työtehtäviin tarvittavaa kiertoa. Mikäli käytössä on niin sanottu 2+VLV vuoro, on aamu- ja iltavuorossa kummassakin yksi MPI-tarkastaja. Yksi tarkastaja on kyseisessä vuorojärjestelmässä joka viikko vapaalla. 2+VLV järjestelmässä työskennellään kahdessa vuorossa, tämän lisäksi viikonloput ovat mukana vuorojärjestelmässä. Yhden tarkastajan työvuorot voivat mennä esimerkiksi seuraavasti: viikko 1 on normaalisti aamuvuoroviikko, tällöin työskennellään maanantaista perjantaihin. Viikko 2 on iltavuoroviikko, jolloin työskennellään myös maanantaista perjantaihin. Viikko 3 on jälleen aamuvuoroviikko, mutta tämän lisäksi ollaan töissä myös viikonloppu. Viikonloppuvuoron jälkeen on yksi kokonainen viikko vapaata. Vapaa viikon jälkeen kierto alkaa alusta.

	MA	TI	KE	TO	PE	LA	SU
Tarkastaja 1	aamu	aamu	aamu	aamu	aamu	aamu	aamu
Tarkastaja 2	ilta	ilta	ilta	ilta	ilta	Vapaa	Vapaa
Tarkastaja 3	ilta	ilta	ilta	ilta	ilta	Vapaa	Vapaa
Tarkastaja 4	Vapaa	Vapaa	Vapaa	Vapaa	Vapaa	Vapaa	Vapaa

Kuvio 8 Esimerkki vuoroista.

Käytettäessä neljää tarkastajaa on joka vuorossa, myös viikonloppuna, vähintään yksi magneettijauhetarkastuksia suorittamaan kykenevä henkilö. Yksi henkilö on joka viikko vapaalla.

## 5.2 Pätevöittämisprosessi

Yhteensä viisi henkilöä osallistui Inspecta Oy:n järjestämälle viikon mittaiselle kursille magneettijauhetarkastuksesta. Kurssin jälkeen suoritettiin noin neljän kuukauden mittainen työharjoittelujakso, jonka aikana magneettijauhetarkastuksia harjoitettiin tuotannossa. Kaikkien henkilöiden tuli myös suorittaa näkötestit pätevöittämis-koetta ja pätevyksiä varten. Näkötestit on uusittava joka vuosi. Kun edellä mainitut asiat ovat kunnossa, voi osallistua pätevöittämisskoetseen Inspectan Vantaan toimipisteellä. Kokeen läpäisyn jälkeen pätevydet ovat voimassa työnantajan valtuuttamana viisi vuotta. Viiden vuoden kuluttua on käytävä uusintakokeessa ja päivitettävä pätevydet. Jotta pätevydet pysyvät voimassa, työskentelyyn ei saa tulla yli vuoden mittaista yhtäjaksoista taukoa, eikä lyhyemmistä tauoista saa kertyä yhteensä yli kahden vuoden taukoa. Vuosilomat ja sairauslomat eivät vaikuta pätevyksien voimassa-oloon, mikäli ne ovat alle kuukauden mittaisia.

Liitteessä 3 on nähtävissä tämän työn tekijän virallinen sertifikaatti tason 2 tarkastajalle. Pätevydet on rajattu takeisiin ja automaattiseen tarkastuspenkkiin, eli virallisia käsin tehtäviä tarkastuksia ei saa tehdä.

## 6 Standardin mukainen työohje tarkastajalle

### 6.1 Työohje

Magneettijauhetarkastus tulee aina suorittaa jonkin työohjeen mukaisesti. Ohjeen avulla pyritään varmistamaan, että tarkastuksessa otetaan varmasti kaikki huomioon, ja että tarkastus tapahtuu standardien vaatimalla tavalla. Ohjeen avulla tarkastus on myös helposti toistettavissa. Ohjeena voi käyttää suoraan standardeja, mutta niissä asiat on ohjeistettu niin, että ne sopivat kaikille standardin kattamille tapauksille. Tarkastusohjeen voi myös kirjoittaa yrityskohtaisesti ja tapauskohtaisesti. Yrityksen sisäisestä ohjeesta voidaan tehdä huomattavasti spesifimpi ja tiettyyn tarkastuskohteeseen sopiva niin, että siinä on otettu huomioon kaikki tarkastuskohteeseen liittyvät asiat.

Moventaksella kone tarkastukseen on ostettu erityisesti tietynmallisia kappaleita varten, eli planeettapyöriä varten. Kappaleiden ulkomitat ja painot voivat vaihdella. Käytännössä tarkastus kuitenkin tapahtuu aina samalla tavalla kappaleiden ollessa ulkoisesti hyvin saman näköisiä. Moventaksella on aiheellista olla tarkastuksen suorittamiseen työohje tarkastajalle. (SFS-EN 10228-1:1999, 5.)

## 6.2 Vaatimukset työohjeelle

Standardissa SFS-EN 10228-1 on lueteltu vaatimukset kirjoitetulle työohjeelle. Vähintään standardissa mainitut asiat tulee selventää ja käsitellä työohjeessa. Seuraavat asiat tulee työohjeesta käydä ilmi:

1. Tarkastettava kohde ja laajuus
2. Viitteet (esim. standardit)
3. Tarkastuksen suorittava henkilökunta
4. Missä valmistuksen vaiheessa tarkastus suoritetaan
5. Tarkastettavien pintojen vaatimukset
6. Käytettävät magnetointimenetelmät
7. käytettävät laitteet
8. Toimintakoe
9. Vaadittava kentän voimakkuus
10. Käytetty neste
11. Tarkastuksen olosuhteet
12. Näyttämien kirjaaminen
13. Demagnetointi
14. Raportointi

Kaikki yllämainitut asiat tulee löytyä työohjeesta. Ohjeen avulla tarkastaja voi varmistua siitä, että tarkastus tapahtuu oikein ja kaikki asiat muistetaan ottaa huomioon. Työohjeesta tulee myös löytyä ohjeen laatija, hyväksyjä ja päivämäärä, jolloin ohje on tehty, sekä revisiointi, mikäli ohjetta on tarvinnut jossain kohtaa korjata tai muokata. (SFS-EN 10228-1:1999, 5.)

Esimerkki työohjeesta on esitetty Liitteessä 1. Esimerkki työohjeesta tarkastajalle. Liitteen esimerkin työohjetta ei ole tehty millekään tietylle olemassa olevalle kappaleelle, vaan kaikki siinä ohjeistetut asiat ja nimet ovat keksittyjä, ollen kuitenkin totuudenmukaisia. Liitteen esimerkki laadittiin Inspectan järjestämällä Magneettijauhetarkastus-kurssilla.

### 6.3 Työohje planeettapyörien tarkastukseen

Liitteessä 5 on valmis työohje planeettapyörien magneettijauhetarkastukselle. Työohjeet tulee tarkastuttaa tason 3 pätevyudet omaavalla henkilöllä. Moventakselta ei löydy tarkastajaa kyseiseltä tasolta, joten työohje tarkastutettiin Inspectan tason 3 tarkastajalla. Työohje on käännetty myös englanniksi. Osa asiakkaista tätä vaatii, jotta he voivat myös tutkia työohjetta.

Ohje on hyväksytty ja tarkastettu Inspectan toimesta, ja se on tarkastajien käytössä. Ohjeesta löytyy kaikki tarvittavat asiat, jotka on myös standardissa mainittu. Tämä oli ensimmäinen Moventaksella tehty työohje magneettijauhetarkastukseen. Tätä työohjetta voidaan jatkossa hyödyntää pohjana myös muille komponenteille.

Työohjeen tulee löytyä tarkastuspaikalta. Ohjeen lisäksi tarkastukseen on tulostettu tarvittavat standardit, joita tarkastajat voivat tarvita työskennellessään.

## 7 Hyväksymisrajat ja tarkastustulosten raportointi

Standardissa 10228-1 on määritelty takeista valmistetuille kappaleille hyväksymisrajat. Nämä ovat käytännössä vähimmäisvaatimuksia. Erikseen sovittaessa, toimittavan ja ostavan organisaation välillä, voidaan sopia myös poikkeavista hyväksymisrajoista.

Hyväksymisrajoina käytetään laatuluokkia. Laatuluokkia on standardissa neljä kappaletta. Laatuluokka 4, on kaikista tiukin ja sallii vähiten näyttämiä. Laatuluokka 1, on taas sallivin. Käytettävä laatuluokka sovitaan toimittajan ja ostajan välillä.

Hyväksymisrajat	Laatuluokka			
	1	2	3	4
<b>Raportointitaso: näyttämän pituus (mm)</b>	≥5	≥2	≥2	≥1
<b>Suurin sallittu yksittäinen näyttämä (mm)</b>	20	8	4	2
<b>Suurin sallittu näyttämien yhteenlaskettu pituus (mm)</b>	75	36	24	5
<b>Suurin sallittu näyttämien määrä tarkastuspinnalla</b>	15	10	7	5

Kuvio 9 Laatuluokat ja hyväksymisrajat. (SFS-EN 10228-1:1999, 11)

Kuviosta 9 näkyy eri laatuluokkien vaatimukset. Esimerkiksi laatuluokan 4 mukaan tarkastettaessa kaikki yli 1mm mittaiset näyttämät tulee kirjata pöytäkirjaan. Sallittu yksittäinen näyttämä saa olla maksimissaan 2mm mittainen. Standardin mukaan näyttämä lasketaan yhdeksi, vaikka siinä olisi useampi yksittäinen näyttämä peräjälkeen, jos näyttämien etäisyys toisistaan on vähemmän kuin 5\*näyttämän pituus. Tässäkin tapauksessa näyttämän sallittu maksimipituus on 2mm. Kaikkien näyttämien yhteenlaskettu pituus saa olla laatuluokan 4 mukaan maksimissaan 5mm. Maksimi sallittu näyttämien määrä tarkastuspinnalla on 5 näyttämää. (SFS-EN 10228-1:1999, 11.)

## 7.1 Hyväksymisrajat Moventaksella

Moventaksella hyväksymisrajojen suhteen on otettu tuotteiden korkeiden laatuvaatimusten suhteen tiukempi mutta selkeämpi linja. Käytännössä planeettapyörissä minikäänlaiset näyttämät eivät ole sallittuja. Tämä on tarkastajille yksiselitteinen tapa arvostella näyttämät. Kuitenkin on huomioitava silmän erottelukyky, eli johonkin standardin antamaan laatuluokkaan on hyväksymisrajat perustettava. Aivan absoluuttisen pieniä näyttämiä ei ihmissilmä pysty erottamaan.

Mikäli planeettapyörä menee säröille, hionnassa syntyneen lämmön seurauksena, on kappale käytännössä aina niin pahasti säröytynyt, ettei sitä voi mitenkään korjata. Näissä tapauksissa kappale on romutettava.

Mikäli kappaleessa on materiaalivirheitä, on nämä huomattavasti hankalampi havaita, koska näyttämät voivat olla hyvinkin pieniä. Standardi antaa mahdollisuuden poistaa näyttämät kappaleesta esimerkiksi hiomalla. Tällaisia tapauksia on tullut vastaan, että tarkastuksessa on havaittu kappaleen hampaalla näyttämä. Kappale on korjattu hiomalla hampaat uudestaan, mutta näyttämä on tullutkin voimakkaammin näkyviin ja kappale on pitänyt romuttaa.

Planeettapyörät ovat komponentteina niin vaativia, että näyttämää ei voida poistaa kappaleesta paikallisesti esimerkiksi käsihiomalaitteilla, koska muuten planeettapyörä ei ole enää vaatimusten mukainen. Prosessiin kuuluvilla hiontamenetelmillä, eli reikähionnalla tai hammashionnalla voidaan yrittää näyttämät poistaa. Korjaushiontojen jälkeenkin, kappaleen tulee olla vaatimusten mukainen ja hyväksyttävissä.

## 7.2 Magneettijauhetarkastuksen raportointi

Magneettijauhetarkastuksen suorittamisesta tulee valmistaa kirjallinen raportti. Raportti on kirjallinen esitys, josta voidaan jälkikäteen varmistaa, miten tarkastus on tapahtunut. Tarkastus on pystyttävä toistamaan jälkeenpäin, jos niin halutaan. Raportista selviää myös mahdolliset löydetyt näyttämät. (Magneettijauhetarkastus-kurssi 2016, 70).

Tarkastuksesta tehtävä pöytäkirja on virallinen dokumentti tarkastuksesta. Pöytäkirjalomake voi olla yrityskohtainen, mutta pöytäkirjasta on löydyttävä tietyt standardin määrittämät asiat, jotta tarkastuksen jäljitettävyyden ja toistettavuuden toteutuvat. Pöytäkirjasta on löydyttävä vähintään seuraavat asiat:

Tarkastettavan kappaleen tiedot

- Nimi
- Merkinnät
- Kohteen nimi ja tunnistetiedot
- Materiaali
- Valmistusvaihe
- Pinnan laatu
- Tarkastettavat alueet

#### Tarkastusvälineet ja –menetelmät

- Tarkastettavan kappaleen pinnan lämpötila
- Puhdistusmenetelmä ja –välineet
- Kontrastiväri, eränumero
- Magneettijauhe, eränumero
- Magnetointitekniikka ja siihen liittyvät parametrit
- Valaistus ja tarkastusolosuhteet
- Jälkipuhdistus

#### Tarkastuksen tulokset

- Vikojen sijainti, suuruus, lukumäärä ja laatu
- Arvostelu
- Täyttyvätkö annetut laatuvaatimukset
- Tarkastuspäivämäärä
- Tarkastajan nimi ja yhtiö

Moventaksella käytössä oleva raportointipohja on esitetty Liitteessä 2 MPI raportointipohja. Liitteen 2 raportointipohja soveltuu parhaiten yksittäisille kappaleille, tai pienille sarjoille. Liitteestä on jätetty pois piirustusnumerot ja mitoitukset. Moventaksen käyttämästä pohjasta löytyy kaikki tarvittavat tiedot, jotta tarkastus on toistettavissa ja jäljitettävissä. (Magneettijauhetarkastus-kurssi 2016, 70).

### 7.3 Suurten volyymien raportointi

Edellisessä kappaleessa esitetty raportointipohja on ollut käytössä protoille tehtävissä magneettijauhetarkastuksissa. Yksittäisistä kappaleista pöytäkirja on helppo täyttää. Raportointi muuttuu monimutkaisemmaksi, kun samanlaista nimikettä valmistetaan ja tarkastetaan esimerkiksi 100 kappaletta viikossa. Suurilla volyymeillä pöytäkirjoja tulisi tehtäväksi ja varastoitavaksi valtavia määriä vuositasolla. Tällöin raportoitavaa tulee huomattavan paljon ja se työllistää tarkastajia merkittävästi enemmän.

Planeettapyörien magneettijauhetarkastuksessa olosuhteet ja tarkastusvälineet säilyvät käytännössä vakiona viikosta toiseen. Riittävä toistettavuus ja jäljitettävyyys tarkastukselle voidaan saavuttaa myös muuten, kuin täyttämällä joka kappaleesta pöytäkirja.

Moventaksella on otettu käyttöön verkkopohjainen järjestelmä datankeräykseen, Lean portal. Lean portal hakee työt ja vaiheistukset ERP-järjestelmästä. Työntekijä kuittaa portaalissa työn aloitetuksi ja päätetyksi. Portaalissa työntekijät myös kirjautuvat työvaiheelle mitattavaksi annettuja mittoja. Jokaiselle komponentille on tehty erikseen mittasuunnitelmat niin, että jälkepäin on nähtävissä miten eri mitat eri vaiheissa ovat toteutuneet. Portaalin kautta saadaan myös luotua erilaisia raportteja ja trendejä, joilla voidaan sarjatuotannossa seurata prosessin kyvykkyyttä saavuttaa annetut toleranssit.

Magneettijauhetarkastuksen kohdalla työ etenee portaalissa seuraavasti. Työntekijä kuittaa työn aloitetuksi ja suorittaa tarkastuksen. Kun tarkastus on suoritettu ja kappale todettu hyväksi, tarkastaja kuittaa tarkastuksen olevan OK, ja päättää työvaiheen. Portaalin kautta pystytään siis jälkikäteen jäljittämään tarkastuspäivämäärä, sekä tarkastaja. Kuvio 10 havainnollistaa magneettijauhetarkastuksen näkymää tarkastajalle portaalissa. Näkymästä selviää työn piirustusnumero, yksilönumero, revisio, sekä kuormitus aika työlle. Työntekijän vastuulla on aloittaa ja kuitata työvaihe valmiiksi, sekä kuitata, onko magneettijauhetarkastus OK vai ei.

IMP2 SÄRÖTARKASTUS PLANEETTAPYÖRÄT

HÄIRIÖTUNTIEN KIRJAUS LAATUPALAUTEEN KIRJAUS

TYÖJONO LAAJENNA TYÖN TIEDOT MITTATIEDOT (0/1) VALMIS

SARJANUMERO PIIRUSTUS PIIR.REVISIO VAIHDETTYYPPI KUORMA

IMP VALMISTUMISPVM 16.3.2018

Vaiheen IMP mittaukset - Kesken:

Magneettijauhettarkastus \*

ARVO ALARAJA 2 YLÄRAJA 2 KOMMENTTI

TYÖNTEKIJÄ

TALLENNA PERU VALMIS UUSI MITTAUKSET

Kuvio 10 Lean portal

Magneettijauhettarkastuksen nesteistä pidetään erikseen kirjanpitoa Excelissä. Exceliin kirjataan nesteen valmistaja, nesteen tyyppi, nesteen erä, seossuhde, sekä päiväs, milloin neste on järjestelmään vaihdettu, sekä kuka nesteiden vaihdon on suorittanut. Nesteiden vaihdon yhteydessä neste tarkistetaan kestmagnetoidulla MTU-testikappaleella, johon on valmistettu säröjä. MTU-testikappaleesta on nähtävä säröt uudella nesteellä.

MEASURING RESULTS / MITTAUSTULOKSET								HUOM	HUOM.	HUOM.
Valmistaja	Neste	Batch NO	Part NO: No	Ratio Wasser/Water	Päiväs	Tarkastaja				
Magnaflux	MF-655 WB	1504156	061C061	1:40	2.3.2016	JH				
Magnaflux	MF-655 WB	1504156	061C061	1:40	11.5.2016	JN				
Magnaflux	MF-655 WB	1510496	061C061	1:40	18.5.2016	OL			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	30.5.2016	OL			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	7.6.2016	OL				
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	15.6.2016	OL			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	29.6.2016	RJ				
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	18.7.2016	RJ				
Magnaflux	MF-655 WB	1510496	061C061	1:40	8.8.2016	JN			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1510496	061C061	1:40	12.9.2016	JHa			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	28.9.2016	JN			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	13.10.2016	JHa&PV			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1510496	061C061	1:40	27.10.2016	PV			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1510496	061C061	1:40	3.11.2016	JN			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	21.11.2016	JN			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1607392	061C061	1:40	9.12.2016	PVjr			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1607392	061C061	1:40	19.12.2016	JN			MTU ok	
Magnaflux	MF-655 WB	1601059	061C061	1:40	1.1.2017	PVjr			MTU ok	

Kuvio 11 Nesteiden seuranta

Näiden tietojen avulla, on planeettapyörien magneettijauhettarkastuksesta kaikki tiedot jäljitettävissä jälkikäteen. Tarkastuslaitteet ja olosuhteet pysyvät koko ajan va-

kiona, joten laitteiden mallit ovat jatkuvasti tiedossa. Portaalin avulla pystytään jäljittämään tarkastuspäivämäärä sekä tarkastaja. Nesteiden tyyppi ja erä voidaan jäljittää Excelistä.

## 8 Huollot ja kalibroinnit

Näin tarkasti tiettyyn työhön ja tiettyjen kappaleiden tarkistamiseen valmistetut koneet ovat magneettijauh tarkastuksessa kohtalaisen harvinaisia. Käsillä tapahtuvassa tarkastuksessa laitteiden ja välineiden huollot ja kalibroinnit ovat helposti toteutettavissa. On ainoastaan varmistettava, että käsimagnetointilaitte ja tarkastusnesteet ovat kunnossa, sekä varmistettava että olosuhteet täyttävät vaatimukset. Näin räätälöityjen koneiden harvinaisuuden takia ISO-standardeista ei löydy kovin tarkkoja vaatimuksia laitteiden tarkastuksille ja kalibroinneille. Jollakin keinolla on kuitenkin varmistettava, että laitteet ja olosuhteet täyttävät vaatimukset ja tarkastukset näin ollen ovat hyväksyttäviä. ASTM-standardeista löytyy jonkinlaista tietoa, minkälaisella frekvenssillä laitteita on tarkastettava ja kalibroitava. Suuntaa on haettava sieltä ja ohjeistusta sovellettava omaan käyttöön sopivaksi, kuitenkin niin että se täyttää standardin vaatimukset.

<b>Vaadittavat tarkastukset ja tiheydet tarkastuksille</b>	
<b>Kohta</b>	<b>Suurin sallittu aika tarkastusten välissä</b>
<b>Valaistus</b>	
Näkyvän valon määrä	Viikoittain
Tarkastuslamppu	Viikoittain
UV-valo	Päivittäin
Menetelmän toimivus	Päivittäin
Tarkastusnesteen konsentraatio	8h tai joka vuorossa
Tarkastusnesteen saastuminen	Viikoittain

Kuvio 12 Kalibroinnit tarkastuksessa. (ASTM E1444-2005, 3.)

Kuvio 12 esittää ASTM E 1444 -standardin esimerkin tarkastustaajuuksille magneettijauhetarkastukseen. Esimerkiksi ympäröivän valon määrä tulisi tarkistaa tarkastuspisteellä viikoittain. Tarkastusnesteen pitoisuus pitäisi tarkistaa päivittäin, tai joka vuorossa. Taulukosta on poimittava Moventakselle sopivat kohdat. Kun valitaan oikeat tarkastuskohteet ja sopivat taajuudet, voidaan varmistaa prosessin toimivan odotetulla tavalla.

## 8.1 Magneettijauheen kunnonseuranta

Yksi tärkeimmistä magneettijauhetarkastukseen vaikuttavista tekijöistä on itse tarkastusneste. Jos neste on huonossa kunnossa, ei kappaleesta ole edellytyksiä löytää vikoja. Nesteen kuntoa tulee seurata päivittäin, jotta voidaan olla varmoja, että neste on varmasti kunnossa. Mikäli neste ei täytä vaatimuksia, on se vaihdettava tarkastuskoneen säiliöön kokonaan. Kuvio 13 havainnollistaa käytössä olevan seurannan nesteen konsentraatiolle. Tarkastussolussa on tulostettuna seurantakortti, johon tarkastajat päivittäin merkitsevät mitatun nesteen sakkanestepitoisuuden. Oikea pitoisuus selviää nesteen valmistajalta löytyvästä tuotetiedotteesta. Moventaksella käytössä olevassa nesteessä pitoisuuden tulee olla 0,1ml-0,5ml sisällä. Säiliön tilavuus on 40 litraa ja nesteen seossuhde 1:40. Nesteen konsentraatio mitataan erityisellä sakkanelasilla. Konsentraatio mitataan aina aamuvuoron aluksi. Pumpun annetaan hetken aikaa kierrättää nestettä säiliössä, jonka jälkeen täytetään lasi. Noin tunnin jälkeen, sakkanestepitoisuus on luettavissa lasin kyljessä olevasta asteikosta. Mikäli konsentraatio on liian vahva, laimennetaan sitä vedellä. Jos konsentraatio taas on liian laimea, on helpointa vaihtaa koko nestemäärä uuteen.

Toinen keino nesteen toimivuuden varmistamiseen on MTU-kappale. MTU-kappale on kestopagnetoitu, noin 5cm halkaisijaltaan oleva kiekko, johon on valmistettu kei-

notekoisesti säröjä. MTU-kappaleen päälle kaadetaan tarkastusnestettä, jonka jälkeen UV-lampulla tarkastetaan, että kiekossa näyttämät näkyvät. Mikäli näyttämät eivät näy kiekossa, on neste aina vaihdettava uuteen.

Magneettijauhenesteen seuranta-kortti												
Vuosi: _____						Tarkastusneste: _____						
1												
0,9												
0,8												
0,7												
0,6												
0,5												
0,4												
0,3												
0,2												
0,1												

Kuvio 13 Magneettijauhenesteen seuranta-kortti

## 8.2 Tarkastajien suorittamat kalibroinnit

Vaikka kyseessä on kiinteä tarkastuspaikka, tulee joitakin asioita tarkastaa viikoittain.

Seuraavassa lueteltuna tarkastuskohteet, sekä tarkastustaajuus:

- Näkyvän valon määrä tarkastuskohteessa (viikoittain).
- UV-valon tiheys (viikoittain).
- Laitteen toimintakyky (viikoittain).

Kaikkiin yllämainittuihin kohtiin löytyy tarkastuspisteeltä vuosikalibrointien piirissä olevat mittarit. Näkyvän valon määrä tarkastuskohteessa mitataan LUX-mittarilla. Näkyvän valon määrä ei saa ylittää 20 lx tarkastuskohteessa. Moventaksella koneen ympärille on rakennettu telta, jossa riittävä pimeys on varmistettu. UV-lampun teho mitataan erityisellä UV-mittarilla. Lamppua pidetään 400mm päässä mittarista, tällä etäisyydellä UV-valon voimakkuuden on oltava vähintään 10W/m<sup>2</sup>.

Laitteiston toimintakyky on helpointa todentaa kalibrointikappaleella. Tätä työtä tehdessä, Moventakselle oltiin investoimassa kalibrointikappaleeseen. Kalibrointikappaleeseen on keinoitekoisesti valmistettu oikeita vikoja, esimerkiksi säröjä. Vikoja on hyvin vaikea itse hallitusti kappaleisiin valmistaa, joten palvelu on ostettava yrityksen ulkopuolelta. Alihankkijalle lähetetään Moventaksen oma tuotantokappale, johon he valmistajat vikoja määrätyn kokoisina, tietyn määrän. Kun on tiedossa kappale, jossa on vikoja, voidaan magnetointilaitteen toimintakyky kokeilla tällä kappaleella.

### 8.3 Särötarkastuslaitteen huollot

Magnafluxin valmistamalle särötarkastuslaitteelle tulee suorittaa myös säännöllisesti erilaisia huoltoja. Moventaksella toimii erillinen kunnossapitoyritys Maint Partner Oy. Maint Partner suorittaa Moventaksen tuotannossa olevalle kalustolle vuosihuollot sekä mahdolliset vikakorjaukset. Särötarkastuslaite lisättiin myös vuosihuoltojen piiriin. Kerran vuodessa Maint Partner suorittaa vuosihuollon laitteelle erillisen huolto-listan mukaisesti. Särötarkastuslaitteen käyttöohjeessa on lueteltu, minkälaisin väliajoin tulee huoltoja ja tarkastuksia suorittaa. Käyttöohjeessa huollot on jaoteltu päivittäin tehtäviin huoltoihin, viikoittain tehtäviin huoltoihin, sekä kolmen kuukauden välein tehtäviin huoltoihin. Tämän käyttöohjeen perusteella tehtiin särötarkastuslaitteelle käyttäjien huolto-ohje.

Särötarkastuslaitetta käyttäville tarkastajille kuuluu osa viikoittaisista huolorutineista. Päivittäin tulee esimerkiksi tarkastaa nesteen kunto. Myös pystysuunnassa

liikkuvan magnetointituurnan kontaktipinnat tulee puhdistaa päivittäin. Kone tulee myös silmämääräisesti tarkastaa päivittäin mahdollisten vuotojen tai muiden vaurioiden varalta.

Viikoittain tulee tarkastaa magnetoinnin riittävä voimakkuus kenttävoimakkuusmittarilla. Laitteen kyljessä oleva paineilmayksikkö tulee myös tarkastaa viikoittain. Yksiköstä tulee tyhjentää vedenerotin ja täyttää öljyä proportionaalivoitelulaitteeseen tarvittaessa. Tarkastusnestettä suihkuttavat suuttimet tulee puhdistaa viikoittain. Suuttimiin kertyy tarkastusnestettä, joka kuivuessaan tukkii suuttimet.

Puolen vuoden välein tulee kaikki kontaktipinnat puhdistaa ja voidella kontaktirasvalla. Mikäli kontaktipinnat ovat likaiset, voi magnetoinnissa esiintyä häiriöitä. Jos magnetoinnissa on häiriöitä, ei kappale magnetoidu riittävästi.

Liitteessä 4 on valmis huolto-ohje koneen käyttäjille. Viikoittain suoritettavat huollot on selvyden vuoksi ohjeistettu niin, että aina viikon ensimmäisen työvuoron työntekijä suorittaa huollot. Päivittäin suoritettavat huollot suorittaa aina aamuvuoron työntekijä. Näin ohjeistettuna työntekijöille muodostuu rutiini huoltojen ja tarkistusten suorittamiselle. Hyvin tehdyillä huolloilla varmistetaan koneen olevan toimintakykyinen.

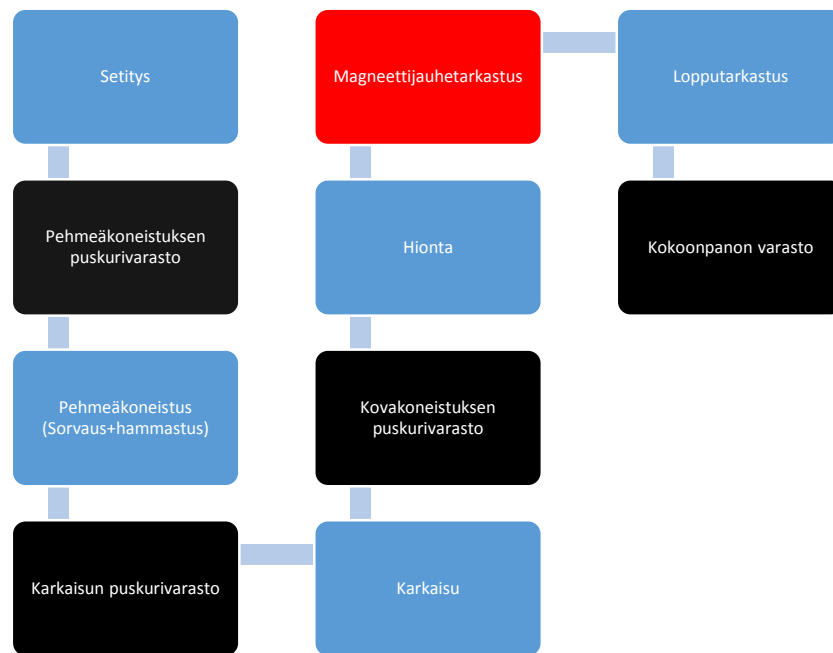
## **9 Materiaalivirtojen suunnittelu**

### **9.1 Planeettapyörien materiaalivirta Moventaksella**

Moventaksen Ikolan tehtaan alkuperäisessä suunnittelussa näkyy selkeästi LEAN-ajattelun perusteet. Materiaalivirroista on pyritty tekemään selkeitä ja turhia välivarastoja on pyritty välttämään. Tuotannossa materiaalit liikkuvat ennalta määritetyjä

reittejä pitkin yhteen suuntaan, eikä materiaaleja esimerkiksi siirrellä edestakaisin. Suuret materiaalmäärät liikkuvat tuotannossa automaattitrukeilla, niin sanotuilla vihivaunuilla. Työntekijöiden suorittamaa siirtelyä ei tapahdu, muuta kuin materiaalien setityksessä kaseteille, sekä työpisteillä.

Kuvio 14 osoittaa karkeasti, miten materiaalivirta Ikolan tehtaan planeettapyörävalmistuksessa etenee. Siniset laatikot ovat työvaiheita ja mustat laatikot ovat välivarastoja. Magneettijauhetarkastus on merkitty punaisella värillä, näin se erottuu kaaviosta. Magneettijauhetarkastus tuli Ikolaan uutena työvaiheena, se on myös siitystä hyvä merkata punaisella. Riippuen valmistettavasta nimikkeestä, se joko kulkee magneettijauhetarkastuksen kautta, tai ohittaa kyseisen työvaiheen. Tällä hetkellä magneettijauhetarkastusta tehdään planeettapyörissä noin kahdeksalle nimikkeelle. Loput nimikkeet ohittavat vaiheen ja siirtyvät suoraan lopputarkastukseen hiennasta.

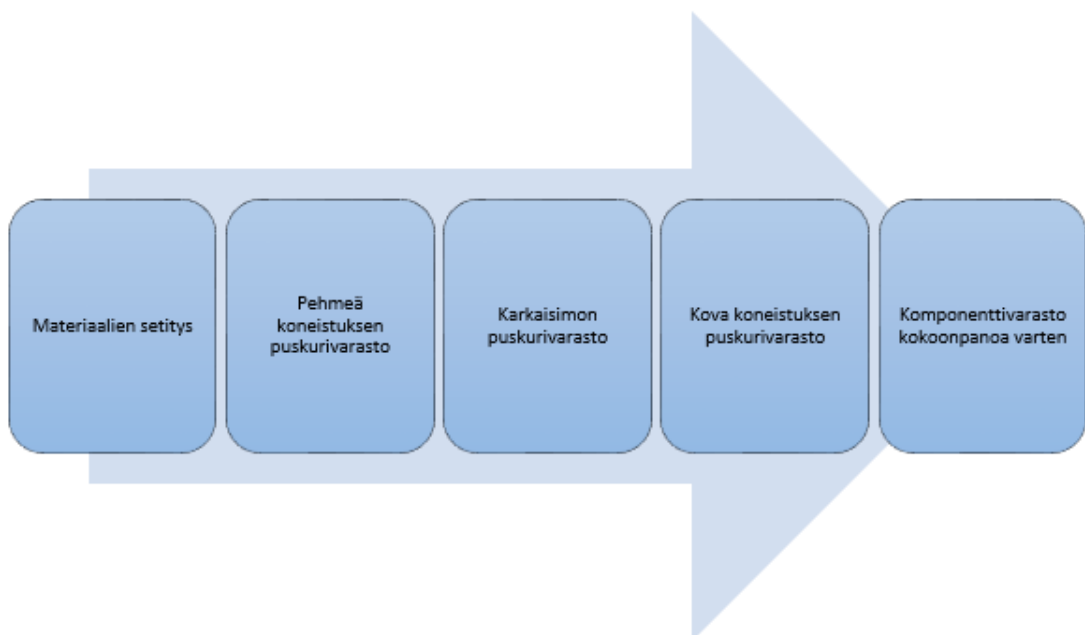


Kuvio 14 Planeettapyörävalmistuksen materiaalivirta.

Planeettapyörät liikkuvat tuotannossa vihivaunujen liikuttamalla kaseteilla. Jokaiselle kasetille mahtuu 3 kappaletta. Kasetilla kappaleet liikkuvat setityksestä pehmeiden vaiheiden läpi viilaussoluun, viilaussolusta kappaleet siirtyvät karkaisimoon yksittäisillä eurolavoilla. Jokaisella eurolavalla on yksi työkappale. Karkaisun jälkeen kappaleet laitetaan jälleen kaseteille, joilla ne kulkevat erinäisten työvaiheiden kautta, aina

lopputarkastukseen saakka. Lopputarkastuksen jälkeen kappaleet nostetaan jälleen yksittäisille lavoille valmistuotevarastoon. Valmistuotevarastosta kokoonpano keräilee kokoonpantavat komponentit. Tyhjät kasetit ja lavat siirtyvät takaisin tuotannon alkupäähän, siellä niihin setitetään uudet työkappaleet ja kierto alkaa alusta.

Välivarastoja tuotannossa on muutamia. Kaseteille setityksen jälkeen, kasetit siirtyvät pehmeäkoneistuksen puskurivarastoon. Puskurivarastosta koneistajat tilaavat kasetteja koneistussoluun. Viilaussolusta kappaleet siirtyvät eurolavoilla karkaisimon puskuriiin. Sieltä karkaisijat keräilevät kappaleet karkaisupanoksiin. Karkaisun jälkeen kappaleet siirtyvät kovakoneistuksen puskurivarastoon. Puskurivarastosta koneistajat tilaavat kasetteja hiontasoluun. Lopputarkastuksen jälkeen kappaleet siirtyvät valmistuotevarastoon odottamaan kokoonpanoa. Yhteensä välivarastoja koko planeettapöyrän valmistusprosessin aikana on neljä kappaletta.



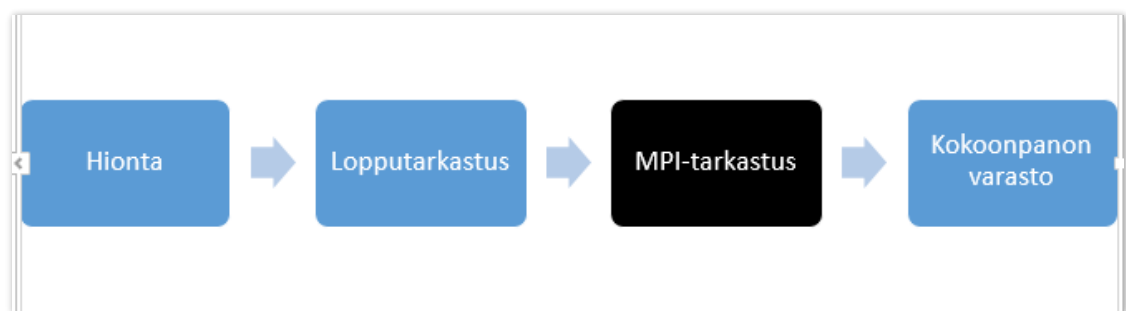
Kuvio 15 Välivarastot planeettapöyrävalmistuksessa.

Kuvio 15 osoittaa välivarastot tuotannossa. Muutamia välivarastoja tarvitaan tuotannon eriaikaisuuden tasaamiseksi. Kuitenkin varastot ovat selkeästi tietyssä vaiheessa prosessia, ja varastointi tapahtuu aina ennalta määrättyssä vaiheessa. Ilman näitä varastoja tuotantoon syntyisi tilanteita, jolloin materiaalia ei olisi johonkin vaiheeseen prosessia tarvittaessa saatavilla.

## 9.2 Magneettijauhetarkastus materiaalivirrassa

Aluksi esille nousi kaksi vaihtoehtoista tapaa, miten nimikkeet magneettijauhetarkastukseen ja siitä eteenpäin kulkevat. Molemmissa vaihtoehdoissa oli omat hyvät puolensa, lopulta prosessin hallittavuus ratkaisi käytettävän järjestyksen.

### 9.2.1 Vaihtoehtoinen materiaalivirta



Kuvio 16 Vaihtoehtoinen materiaalivirta.

Kuvio 16 esittää vaihtoehtoisen järjestyksen materiaalivirralla. Tätäkin vaihtoehtoa kokeiltiin, ennen kuin päätettiin ottaa toinen vaihtoehto käyttöön. Tässä vaihtoehdossa planeettapyörät kulkivat vanhan materiaalivirran mukaisesti, vihivaunun kuljettamalla kasetilla, hionnasta ensimmäisenä automaattiseen tarkastussoluun. Tarkastussolusta planeettapyörät pitää manuaalisesti kuljettaa lavoilla magneettijauhetarkastukseen, missä pyörille suoritetaan MPI-tarkastus. Magneettijauhetarkastuksen jälkeen planeetat lähetetään valmistuotevarastoon odottamaan kokoonpanoa.

Tässä vaihtoehdossa ongelmaksi muodostui prosessin hallittavuus. Planeettoja joudutaan käsin siirtämään lavoilla tarkastussolusta magneettijauhetarkastukseen. Tämän seurauksena syntyy myös yksi turha välivarasto magneettijauhetarkastuksen edustalle. Tässä vaihtoehdossa on myös hankalampi seurata, mitkä pyöristä on magneettijauhetarkastettu, ja mitkä ei.

Etuna tässä vaihtoehdossa olisi ollut se, että planeettojen tullessa magneettijauhetarkastukseen, niitä ei tarvitsisi pestä pesukoneessa, ennen kuin tarkastuksen jälkeen. Automaattisessa tarkastussolussa portaalirobotti nostelee pyörät pesukoneeseen, eikä se sido työntekijää.

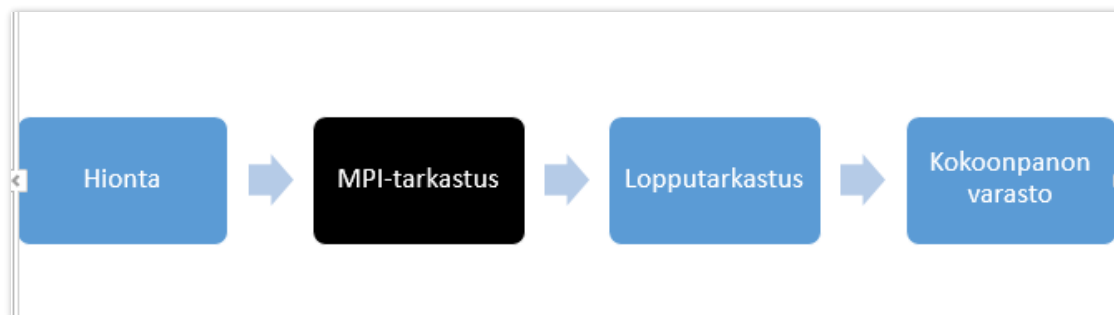
### 9.2.2 Valittu materiaalivirta

Käyttöön valittiin Kuvion 17 mukainen materiaalivirta. Tämä on hallittavuudeltaan selkeämpi vaihtoehto, eikä tässä vaihtoehdossa synny ylimääräisiä varastoja mihinkään. MPI-solussa on kolme kasettipaikkaa, joihin koneistajat voivat lähettää kasetoidut planeettapyörät. Näin virtaus pysyy selkeänä ja siistinä.

Valitussa materiaalivirrassa koneistajat lähettävät planeettapyörät kaseteilla MPI-soluun. Tarkastajat tarkastavat pyörät, jonka jälkeen pyörät lähetetään kaseteilla automaattitarkastussoluun. Sieltä valmiit tarkastetut pyörät siirtyvät lavoille valmistusvarastoon odottamaan kokoonpanoa.

Huonona puolena tässä vaihtoehdossa on se, että planeettapyörät pitää nostaa nosturilla pesuun ennen MPI-tarkastusta. Planeettapyörät on myös pestävä MPI-tarkastuksen jälkeen, ennen kuin pyörät lähetetään automaattisoluuun. Käytännössä kokeiltiin vaihtoehtoa, jossa pyörät pestäisiin MPI-solussa ainoastaan ennen MPI-tarkastusta. Seuraavan kerran automaattisolun portaali nostaisi pyörät pesuun automaattisolussa. Tämä ei kuitenkaan toiminut, koska magneettipartikkelijauhe jämäh-

tää niin nopeasti pyöriin, että ne eivät lähteneet puhtaaksi automaatin pesukoneessa. Pyörät on siis pestävä MPI-tarkastussolussa välittömästi tarkastuksen jälkeen, jotta aine ei ehdi jämähtämään pyörän pintaan.



Kuvio 17 Käyttöön valittu materiaalivirta.

### 9.3 Materiaalivirta magneettijauhetarkastuksessa

Kun koneistaja lähettää planeettapyörät kasetilla MPI-soluun, tarkastaja nostaa kaikki kolme kasetilla olevaa pyörää pesukoneeseen. Hieman mallista riippuen, koko kasetillinen mahtuu kerralla pesuun. Pesukoneesta tarkastaja nostaa yksitellen, pyörän kerrallaan, MPI-koneeseen ja suorittaa tarkastuksen. Kun kaikki kasetilla olevat pyörät on tarkastettu, pestään kaikki pyörät uudestaan. Pesun jälkeen pyörät nostetaan omille paikoilleen kasetille, tämän jälkeen pyörät lähetetään automaattitarkastukseen.



Kuvio 18 Materiaalivirta MPI-solun sisällä.

## 9.4 Poikkeuksia materiaalivirtaan

Otsikon 5.2.2 alla kuvattu materiaalivirta on normaali virtausmalli, jonka mukaan planeettapyörät liikkuvat hionnasta valmistuotevarastoon. Välillä kuitenkin prosessissa saattaa tapahtua jotakin poikkeavaa, ja normaalista materiaalivirrasta joudutaan poikkeamaan.

Automaattitarkastukseen menevät kaikki volyymituotteet. Välillä voi kuitenkin tulla nimikkeitä, joita tehdään harvemmin, tai jostakin muusta syystä niitä ei voida tarkastaa automaattisolussa. Näissä tapauksissa planeetat tarkastetaan manuaalisolussa, jossa kaikki siirtelyt tapahtuvat manuaalisesti nosturilla, toisinkuin automaattisolussa, jossa portaali suorittaa automaattisesti kaikki siirtelyt. Magneettijauhetarkastettaviin nimikkeisiin tämä vaikuttaa siten, että MPI-tarkastuksen jälkeen pyörät on poistettava kasetilta, ja siirrettävä eurolavoilla manuaalitarkastukseen. Manuaalitarkastuksesta pyörät siirtyvät automaattisolun tapaan valmistuotevarastoon. Tämäkin poikkeus materiaalivirtaan on kuitenkin helposti hallittavissa ja pääosin noudattaa normaalia virtausta prosessissa. Ainoa poikkeus on, että automaattitarkastuksen sijaan planeetat siirretään manuaalisesti MPI-solusta manuaalitarkastukseen.

Hankalammin hallittavan poikkeuksen materiaalivirtaan aiheuttavat korjaushiottavat planeetat. Mikäli tarkastuksessa ilmenee jotakin korjaushiontaa vaativaa, pyörät kuljetetaan tarkastuksesta takaisin hiontaan lavoilla. Korjaushionnan jälkeen pyörä siirtyy uudelleen tarkastukseen. Jos pyörä todetaan hyväksi, viedään pyörä vasta siinä tapauksessa magneettijauhetarkastukseen. MPI-tarkastuksen jälkeen pyörä lähetetään valmistuotevarastoon. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että on hankalaa pysyä laskuissa, mitkä pyörät on magneettijauhetarkastettu ja mitkä ei. Tällä hetkellä asia on ratkaistu niin, että korjaushiotun pyörän magneettijauhetarkastanut tarkastaja kirjaa tussilla pyörän päälle, *MPI OK* sekä tarkastuksen *päivämäärä*. Tässä kuitenkin voi helposti aiheutua sekaannuksia, kun pyöriä liikutetaan lavoilla edes takaisin tarkastuksessa.

Poikkeuksia materiaalivirtaan voivat aiheuttaa myös konerikot tarkastuksessa. Jos esimerkiksi automaattisolusta on jotakin hajalla, joudutaan kaikki pyörät ottamaan MPI-tarkastuksesta manuaalitarkastukseen. Tästä seuraa planeettojen hallitsematonta varastointia manuaalitarkastuksen ja MPI-tarkastuksen lähettyville. Tarkastajien on hankalaa seurata, mitkä pyöristä on tarkastettu ja mitkä ei.

Pahin tilanne olisi, jos MPI-laite hajoaisi. Tässä tapauksessa planeetat olisi lähetettävä suoraan automaattisoluun hionnasta. Tarkastuksen jälkeen pyöriä olisi varastoitava johonkin odottamaan MPI-tarkastusta. Pyörille voitaisiin suorittaa MPI-tarkastus vasta sitten, kun kone tulisi kuntoon. MPI-koneen ollessa rikki pitkään, olisi turvaututtava ulkopuoliseen tarkastajaan.

## 10 Työn tulokset

Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin tarpeellista dokumentaatiota magneettijauhetarkastuksen tueksi. Magneettijauhetarkastus näin suuressa mittakaavassa on Moventakselle uusi prosessi. Käytännössä kaikki dokumentaatio oli luotava ja tehtävä alusta pitäen. Jatkossa tässä työssä syntynyttä materiaalia voidaan käyttää mahdollisten uusien magneettijauhetarkastuslaitteiden käyttöönottoa helpottamaan. Jatkossa kaikkea ohjeistusta ei tarvitse luoda tyhjästä, vaan soveltamalla voidaan tämän työn ohjeistus siirtää uuteen kohteeseen.

Tämän työn tuloksena syntyi työohje planeettapyörien magneettijauhetarkastukseen. Työohjeesta saa helposti muokkaamalla pätevän myös erilaisille kappaleille. Tässä työssä on myös eritelty yritykselle kuuluvat vastuut ja tarkastajalle kuuluvat vastuut tarkastajien pätevyysiin liittyen. Nämä vastuut pätevät kaikkeen NDT-tarkastukseen Moventaksella. Pätevyysiin liittyen syntyi myös tarkka suunnitelma magneettijauhetarkastuksia suorittavien tarkastajien määrästä. Oikealla tarkastajien määrällä varmistetaan tarkastuksien tehokas suorittaminen joka vuorossa. Tässä työssä on myös määritelty tarkastajien vastuulle kuuluvat laitteiden kalibroinnit ja

huollot. Tarkastajien suorittamia huoltoja varten on tehty kirjallinen huolto-ohje. Lisäksi tässä työssä on annettu ohjeistus tarkastettujen kappaleiden raportoinneille, sekä hyväksymisrajoille. Magneettijauhetarkastuksia suoritettaessa ovat jälkikäteen jäljitettävyys ja toistettavuus tärkeitä. Näin voidaan jälkeenpäin tarkastaa, milloin kappale on tarkastettu, kuka sen on tarkastanut ja millä nesteillä ja laitteilla tarkastus on suoritettu. Tämän työn tuloksena on tarkastukseen saatu selkeä materiaalivirta. Selkeä materiaalivirta on edellytys sille, että tarkastukset voidaan suorittaa ajallaan tehokkaasti. Oikealla materiaalivirralla varmistetaan myös se, ettei mihinkään synny ylimääräisiä välivarastoja.

Kaikella tässä työssä tehdyillä asioilla on pyrkimys saada magneettijauhetarkastus toimimaan tehokkaasti ja niin, että toiminta täyttää standardien asettamat vaatimukset. Tarkastusprosessien tehokkaalla toiminnalla voidaan varmistaa tuotteiden korkea laatu. Tuotteiden korkealla laadulla taas saavutetaan varmasti suurempi asiakas-tyytyväisyys, sekä voidaan saavuttaa suuria säästöjä vaihteiden kestäessä niille suunnitellun ajan.

## **11 Pohdinta**

Aluksi oli hankalaa päästä käsiksi työhön. Magneettijauhetarkastuksen ollessa uusi menetelmä Moventakselle, ei työohjeita tai muitakaan dokumentteja ollut valmiina. Tietoisuus menetelmästä oli hyvin vähäistä, eikä yrityksen sisältä löytynyt asiaan suuremmin perehtyneitä henkilöitä. Työ lähti liikkeelle kunnolla siinä vaiheessa, kun uusi asiakas osoitti suurta mielenkiintoa menetelmää kohtaan. Asiakkaan vaatimusten perusteella oli helpompi lähteä suunnittelemaan työohjeita ja muitakin tarkastuksen päivittäiseen tekemiseen liittyviä asioita. Aikaisemmat asiakkaat eivät ole olleet kovin kiinnostuneita magneettijauhetarkastuksesta.

Haasteen tarkastamiselle Moventaksella luo suuret volyymit. Tulevaisuudessa NDT-menetelmien käyttö tulee kasvamaan osana komponenteille suoritettavia tarkastuksia. NDT-menetelmien lisääntyvä käyttö taas tarkoittaa sitä, että NDT-menetelmiin pitää kouluttaa ja pätevoittää enenevissä määrin työntekijöitä. Myös laiteinvestoinnit tarkastukseen ovat lähes välttämättömiä tarkastusvolyymien kasvaessa. Kiinnostavaksi asiaksi tarkastuksen kustannustehokkaaseen suorittamiseen nousevat varmasti NDT-menetelmien mahdollinen automatisointi. Automaattiset NDT-menetelmät ovat vielä kuitenkin varsin harvinaisia.

Tässä työssä on kuitenkin luotu pohja magneettijauhetarkastusten suorittamiseen Moventaksella. Työohjeita, huolto-ohjeita ja muitakin dokumentteja on kohtalaisen helppo soveltaa pienillä muokkauksilla erilaisille kappaleille ja komponenteille Moventaksella.

## Lähteet

ASTM E 1444-05. Standard practice for magnetic particle testing. ASTM International. Vahvistettu 2005. Viitattu 9.5.2018.

Background. 2016. Moventas. Viitattu 8.10.2016 <http://moventas.com/about-us/background>

ISO 6336-5:2003. Calculation of load capacity of spur and helical gears. Part 5: Strength and quality of materials. Second edition 1.7.2003. Viitattu 18.12.2016. <http://www.iso.org/iso/home.html>

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja.

Magnaflux GmbH. 2016. Magnaflux-särötarkastuslaitteen käyttöohje. Julkaistu 16.2.2016.

Magneettijauhetarkastus-kurssi. 2016. Kurssimateriaali. Inspecta Oy. Magneettijauhetarkastus-kurssin aikana jaettu materiaali.

SFS-EN ISO 9712:2012. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 1.4.2018.

SFS-EN 10228-1:1999. Terästäkeiden rikkomaton aineenkoetus. Osa 1: Magneettijauhetarkastus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 1999. Viitattu 1.4.2018.

Zipp, K. 2012. Gears & Gearboxes 101. Artikkelit tuulivoimatekniikasta Windpower engineering & development sivulla 18.01.2012. Viitattu 12.02.2017. <http://www.windpowerengineering.com/design/mechanical/gearboxes/gears-gearboxes-101/>

## **Liitteet**

Liite 1. Esimerkki työohjeesta tarkastajalle.

## Liite 2. MPI raportointipohja

moventas

INSPECTION REPORT

Page of  
1 (1)Magnetic Particle Inspection

<u>Client</u> Moventas Gears Oy		<u>Plant or Place of inspection</u> MOVENTAS, JYVASKYLA	
<u>Object (dim., number)</u> Planet wheel		<u>Item No:</u>	
<u>Drawing and Rev. No</u>	<u>Extent of testing</u> See obs.	<u>Material</u>	<u>Date of inspection</u> 03.10.2017
<u>Test specification (standard)</u> SFS-EN ISO 9934-1		<u>Quality requirements (standard, level)</u> SFS-EN ISO 10228-1/QC4	
<u>Supplementary information</u>			
<u>Stage</u> a) after heat treatment <input checked="" type="checkbox"/> b) cavity root <input type="checkbox"/>		<u>Time of testing</u> < 12 month after manuf.	
<u>Technical information regarding the test:</u>			
<u>Surface condition</u> Grinded	<u>Contrast paint type</u> -	<u>Object temperature</u> ~20°C	
<input type="checkbox"/> Yoke <input checked="" type="checkbox"/> Coil <input type="checkbox"/> Prods <input checked="" type="checkbox"/> Direct current <input type="checkbox"/> Central conductor Magnaflux planeettapenkki Serial nro.1648818			
<u>Field strength</u> > 30 Oe (>2 kA/m)	<u>Magnetic field checked with</u> Remanence Calibration Piece	<u>De-magnetized</u> Yes < 3 Oe (>0,3 kA/m)	<u>Lighting</u> UV-lamp No. 2239 UV light MAGNAFLUX UV-LED 1.2
<u>Magnetic ink</u> TIEDE MF-855 WB Batch no.: 1704195	<u>Detecting media type</u> Fluorescent	<u>Background</u> N.A.	<u>Magnetized for</u> Traverse
<u>Extent and additional notes of testing</u>			
MPI 100%			
			
<u>Test result</u>			
<input checked="" type="checkbox"/> Fulfils requirements		<input type="checkbox"/> Does not fulfil requirements	
<u>Place / Date</u> Jyväskylä 13.10.2017	<u>Name of inspector</u> Otto Lähdekorpi	<u>Competence code of inspector</u> 7876-MT2	<u>Signature of inspector</u>

Liite 3. Inspecta Oy:n myöntämä sertifikaatti

## Liite 4. Särötarkastuslaitteen huolto-ohje koneen käyttäjälle

**MAGNAFLUX särötarkastuslaitteen (IMP-2) HUOLTO-OHJE  
KONEEN KÄYTTÄJÄLLE**

**Aina aamuvuoron aluksi:**

1. Tarkasta tarkastusainepitoisuus sentrifugilla. Kirjaa arvo erilliseen lomakkeeseen.
2. Tarkasta MTU-kappaleella nesteen toimivuus.
3. Puhdista magnetointituurnan kontaktipinnat karhunkielellä.
4. Tarkasta laite silmämääräisesti. Jos huomaat vaurioita, ota yhteys huoltohenkilökuntaan.



**Viikon ensimmäisen työpäivän aamuvuoron alussa tarkastettava seuraavat asiat:**

1. Tarkasta ensimmäisestä kappaleesta kenttävoimakkuusmittarilla, että kenttävoimakkuus on riittävä.
2. Tyhjennä paineilmakäyttöinen vedenerotin ja täytä öljyä proportionaaliivoitelulaitteeseen tarvittaessa.
3. Tarkasta että kaikista suuttimista tulee nestettä tasaisesti. Tarvittaessa puhdista suuttimet.

## MAGNAFLUX särötarkastuslaitteen (IMP-2) HUOLTO-OHJE KONEEN KÄYTTÄJÄLLE



Kuuden kuukauden välein suoritettava seuraavat asiat:

1. Puhdista kaikki kontaktipinnat karhunkielellä ja rasvaa kontaktirasvalla.
2. Puhdista kytkentäkaapin ja muuntajakaapin suodattimet ja vaihda suodatinkangas tarvittaessa.

## MAGNAFLUX särötarkastuslaitteen (IMP-2) HUOLTO-OHJE KONEEN KÄYTTÄJÄLLE



Nesteiden vaihdon yhteydessä suoritettava seuraavat asiat:

1. Kirjaa nesteiden vaihdosta tarvittavat tiedot Excel-tiedostoon.
2. Puhdista nestesäiliö huolellisesti vedellä. Käytä tarvittaessa vippereitä tai harjaa.
3. Puhdista kone huolellisesti sisäpuolelta vedellä. Käytä tarvittaessa vippereitä tai harjaa.

Lisäksi huolehdi, että likaiset vippereit viedään kierrätykseen.

Pidä koneen ympäristö puhtaana. Säilytä koneella olevat työvälineet niille tarkoitetuissa paikoissa ja pidä ylimääräiset tavarat poissa työskentelyalueelta.

## Liite 5. Työohje planeettapyörien tarkastukseen