

Harri Huuskonen

Pienlaitehuollon lopputestauksen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.4.2018

Tekijä Otsikko	Harri Huuskonen Pienlaitehuollon lopputestauksen kehittäminen
Sivumäärä Aika	32 sivua + 3 liitettä 20.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Huolto- ja kehityspäällikkö Mikael Mensali, Plandent Oy Lehtori Timo Kasurinen
<p>Opinnäytetyö tehdään Plandent Oy:n tilaamana, koska yritys haluaa parantaa huollon prosesseja. Yrityksen pienlaitehuollossa korjataan ja huolletaan hammaslääkärin vastaanoton pienlaitteita, kuten esimerkiksi käsi-instrumentteja, turbiineja, kulmakappaleita, valokovettajia, teknikon poria, posliiniuuneja, hammaskivenpoistolaitteita ja autoklaaveja. Yrityksessä on tällä hetkellä pienlaitehuollon lopputestauksessa erilaisia käytäntöjä.</p> <p>Hammashoidon pienlaitteiden ja käsi-instrumenttien huoltojen sekä korjausten jälkeinen lopputestaus on merkittävä huollon laatuksiteeri. On tärkeää, että laitteet täyttävät korjaustoimenpiteiden jälkeen valmistajan niille asettamat laatuvaatimukset. Yritys noudattaa toiminnassaan ISO 9001-standardin mukaista laadunhallintajärjestelmää, jonka keskeisiä periaatteita on asiakaslähtöisyys. Lopputestauksen kehittämisellä tähdätään pienlaitehuollon asiakaspalvelun parantamiseen sekä tuottamaan lisäarvoa asiakkaan tuotteeseen sijoittamalla pääomalle pidentämällä laitteen elinkaarta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja tutkia eri vaihtoehtoja käsi-instrumenttien lopputestaukseen, jotta saadaan taltioitua numeerisia arvoja eri suureista ja siten todennettua huollon tai korjauksen onnistuneisuus sekä laatu. Työn tavoitteena oli myös yhdenmukaistaa testausprosessia siten, että testaaminen tapahtuu aina yhdenmukaisella tavalla ja sen lisäksi tuodaan laatuajattelua testausprosessiin. Tarvittaessa numeeriset arvot voidaan tulevaisuudessa sisällyttää asiakkaalle menevään loppuraporttiin.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin erilaisia mittaus- ja testausmenetelmiä, joita testattiin käytännössä ja mittaustulokset analysoitiin tilastollisin menetelmin sekä tutkittiin niiden soveltuvuutta yrityksen tarpeisiin. Kokonaisuuden perusteella laadittiin työn lopuksi suositus yritykselle soveltuvimmasta lopputestausmenetelmästä.</p>	
Avainsanat	Lopputestaus, laatu, turbiini, instrumentti

Author Title	Harri Huuskonen Development of the Final Testing of Workshop
Number of Pages Date	32 pages + 3 appendices 20 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Professional Major	
Instructors	Mikael Mensali, Service and Development Manager, Plandent Oy Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>The study was made to Plandent Oy in order to improve processes of workshop. Dental equipment, such as hand instruments, turbines, contra-angle handpieces, curing lights, laboratory handpieces, ceramic furnaces, dental calculus removers and autoclaves are repaired and maintained in a small equipment workshop. There is a variation of practices on the final testing of workshop at the moment.</p> <p>Final testing of small instruments is one of the most significant criteria of quality on workshop operations. Meeting the quality standards set by manufacturers is important for equipment and instruments after repair activities. Plandent Oy follows quality management system in its operations, as ISO 9001 standard defines. A strong customer focus is an essential principle of this standard. The purpose of development of the final testing is to improve customer service of workshop. Also bringing added value to the customers' investments to equipment array by prolonging product life cycle is a key purpose of this study.</p> <p>The aim of this study was to clarify and explore different methods of final testing for workshop in order to collect and record numerical values of different variables. Verification of quality and success of repair is confirmed by this method. Also, one of the main purposes of this study was to uniform testing process, in order to make testing always in the same way and bring quality thinking to the testing process. Measured values can be recorded to the customers' final repair report if needed.</p> <p>Different measuring and testing methods were clarified in this study. These methods were tested in practice and results of the measurement were analyzed with statistical procedures. Suitability of method for organization requirements was also researched. Recommendation of the most suitable final testing method was prepared to the organization.</p>	
Keywords	Final testing, quality, turbine, dental instrument

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pienlaitehuolto	3
3	Hammashoidon käsi- ja kulmakappaleet sekä turbiinit	4
3.1	Käsi- ja kulmakappaleen sekä turbiinin historia	4
3.2	Turbiinin rakenne ja toiminta	5
3.3	Kulmakappaleen rakenne ja toiminta	11
3.4	Käsi- ja kulmakappaleiden sekä turbiinien voimanlähteet	12
4	Lopputestaus	14
4.1	Testauksen nykytilanne pienlaitehuollossa	14
4.2	Vahvuudet ja heikkoudet	14
4.3	Tavoitteen asettelu ja työn rajaus	14
4.4	Tutkimusmenetelmät	15
4.5	Mittausmenetelmät ja mitattavat suureet	18
5	Mittaustulokset ja analysointi	24
6	Yhteenveto	30
6.1	Kokonaisprosessin tarkastelu	30
6.2	Kehitysehdotus yritykselle lopputestauksesta	30
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1. Havainnekuva instrumentin liittamisestä hoitokoneeseen

Liite 2. Mittauspöytäkirja 1, vääntömomentin ja pyörimisnopeuden mittaus

Liite 3. Toinen mittausjärjestely

Lyhenteet

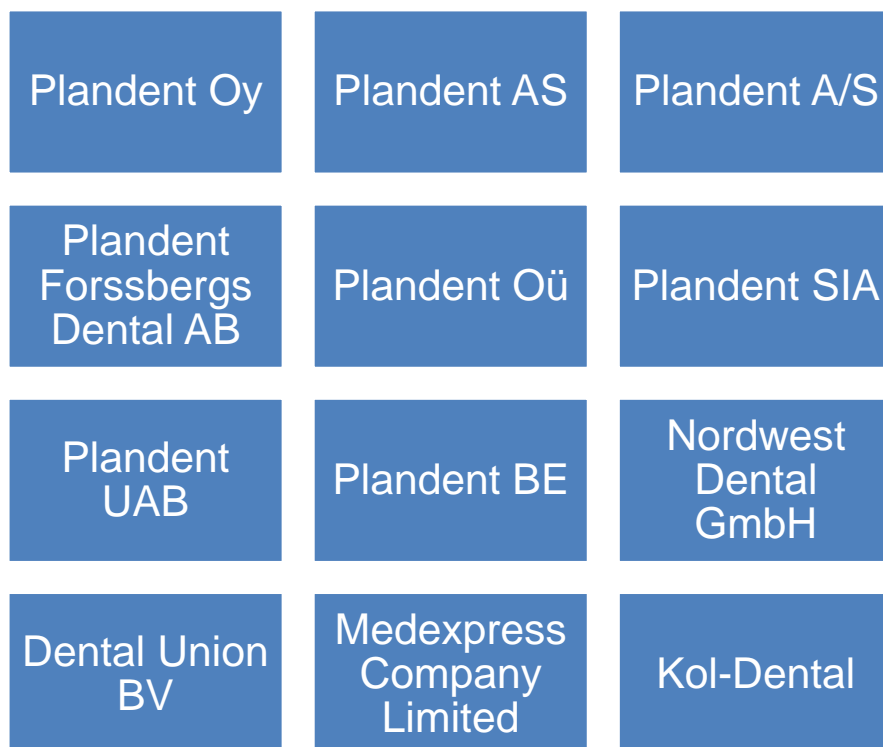
CE	<i>Conformité Européenne.</i> Laitemerkintä direktiivien täyttymisen vakuudeksi.
dB	<i>Desibeli.</i> Äänenvoimakkuuden mittayksikkö.
EN	<i>European Standard.</i> Eurooppalainen standardi.
Hz	<i>Hertsi.</i> Värähtelytaajuuden mittayksikkö.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i> Kansainvälinen standardisoimisliitto.
Nm	<i>Newtonmetri.</i> Vääntömomentin yksikkö.
RPM	<i>Rotations per minute.</i> Pyörimisnopeuden mittayksikkö, kierrosta minuutissa.
SFS	Suomalainen standardisoimisliitto.
USB	<i>Universal Serial Bus.</i> Sarjaväyläliitäntä.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Plandent Oy:n tilaamana. Plandent Oy on hammashoitoalan kokonaisvaltainen toimittaja Suomessa ja Pohjois-Euroopassa. Yhtiö on perustettu vuonna 1972 ja pääkonttori sijaitsee Helsingissä Herttoniemessä. Henkilöstömäärä Suomessa oli 171 työntekijää vuonna 2014.

Yhtiö toimittaa hammashoidon nykyaikaiset laitteet, tarvikkeet, ohjelmistot ja tukipalvelut asiakkailleen. Yhtiö kuuluu Plandent-liiketoimintaryhmään, jolla on toimintoja 12 eri maassa Euroopassa. Plandent-liiketoimintaryhmä kuuluu Planmeca Groupiin, jonka emoyhtiö Planmeca Oy on suomalainen, maailman suurimpiin hammashoitoalan tuotteiden valmistajiin lukeutuva yritys. [1.]

Plandent-liiketoimintaryhmään kuuluvat yritykset ovat nähtävissä kuvassa 1. [1.]



Kuva 1. Plandent-liiketoimintaryhmän yritykset.

Insinööriyön tavoitteena on kehittää hammashoitolaitteiden pienlaitehuollon lopputestauksen mittausmenetelmiä ja kokonaisprosessia. Työn tarkoituksena on vertailla uusia testausmenetelmiä tällä hetkellä käytössä olevaan menetelmään ja etsiä nykyisen menetelmän vahvuuksia sekä heikkouksia.

Työn tavoitteena on tuoda pysyvä yhteneväinen käsi-instrumenttien testausmenetelmä pienlaitehuollon käyttöön ja tuoda lisäarvoa yritykselle sekä asiakkaille huollon laadun paranemisen myötä.

Tämä aihe valikoitui insinööriyöhön, koska päivittäisessä työssä on havaittu tarve löytää uusia testausmenetelmiä nykyisten menetelmien rinnalle. Uuden testausmenetelmän tavoitteena on soveltuvan paremmin yhtiön laadunhallintajärjestelmään, joka noudattaa standardia ISO 9001:2008 ja standardin ISO 13485 lisävaatimuksia terveydenhuollon laitteille ja tarvikkeille. Samalla parannetaan huollon toiminnan laatua ja jatkuvaa toimintojen kehittämistä. Tämän insinööriyön lopputuloksen tavoitteena on myös huollon asiakaspalvelun parantaminen.

2 Pienlaitehuolto

Plandent Oy:n pienlaitehuolto huoltaa ja korjaa kattavasti hammashoidon tekniset ja kliiniset laitteet pääosin omissa toimitiloissaan Helsingin Herttoniemessä. Tuotesegmenttiin kuuluu hammaslääkärin työssä käytettävät käsi-instrumentit, kuten kulmakappaleet, mikromoottorit, turbiinit, monitoimiruiskut ja valokovettajat.

Lisäksi pienlaitehuollossa huolletaan ja korjataan instrumenttien puhdistuksessa ja steriloinnissa käytettäviä laitteita kuten ultraäänipesureita, kuumasaumaajia ja höyryautoklaaveja. Asiakkaan höyryautoklaavin biologisen toiminnan varmistamiseksi pienlaitehuolto tuottaa myös itiöampullitestausta. Huollettavien ja korjattavien laitteiden joukkoon kuuluu myös hammaslaboratorioiden pienlaitteet, joista mainittakoon keraamisten materiaalien poltto- ja prässäuunit, jyrsimet implanttien tuotantoon, hammasteknikon porat sekä erilaiset polymerointilaitteet.

Huolto-organisaatio tuottaa lisäksi suun terveydenhuollon digitaalisten laitteiden huolto- ja korjauspalveluita sekä tukipalveluita mm. verkkoyhteyden kautta kuvantamisen laitteiden ylläpitoon.

3 Hammashoidon käsi- ja kulmakappaleet sekä turbiinit

3.1 Käsi- ja kulmakappaleen sekä turbiinin historia

Hammashoidossa käytettävän käsi-instrumentin historia ulottuu 1800-luvulle. Amerikkalainen hammaslääkäri James Beall Morrison esitteli ensimmäisen poljinkäytöstä voimansa saavan poran vuonna 1871. Tuolla ratkaisulla päästiin kulmakappaleen kierrosnopeudessa 600–800 kierrokseen minuutissa. Näin alhainen kierrosnopeus johti siihen, että instrumenttia oli vaikea hallita ja kliiniset operaatiot olivat pitkäkestoisia. [2, s. 4–5.]

Ensimmäisen turbiinin katsotaan syntyneen 1874, jolloin 13-lapaisen roottorin laakerointi toteutettiin kuulalaakereilla. Vaikka turbiinin kehityksessä tapahtui monia kehitysaskelaita vuosikymmenien saatossa, niin merkittävimmät muutokset rakenteeseen tulivat vasta 1900-luvun puolivälistä alkaen, aina vuosisadan lopulle asti. Tässä kehitysvaiheessa instrumentteihin esiteltiin vesi- ja ilmasuihku, joiden avulla pystyttiin tuottamaan terän ja työstettävän kohteen jäähdytys. Se mahdollisti suuremman kierrosnopeuden kuormituksessa. Tuolloin turbiinin kierrosnopeus ylsi enimmillään jopa 61 000 kierrokseen minuutissa. Havaittiin kuitenkin, että työskenneltäessä turbiinin kanssa roottorin laakerointi oli kosketuksissa instrumentin sisärakenteeseen, minkä seurauksena laakerit vaurioituivat. Tästä johtui edelleen merkittävä kierrosnopeuden laskeminen ja todettiin, että käytännössä kierrosnopeus putosi 3 000 kierrokseen minuutissa. [2, s. 5.]

Tässä vaiheessa kehitystä turbiinin terän leikkaustehokkuutta haluttiin lisätä ja vuonna 1948 S.S. White kehittikin terän, joka oli valmistettu volframini ja karbidin yhdistelmästä. Kierrosnopeuksia haluttiin edelleen nostaa parempaan leikkaustehokkuuteen pääsemiseksi. Merkittäväksi kehitysaskeliksi turbiinien nopeuden lisäämisen saralla muodostui John V. Bordenin vuonna 1957 kehittämä ilmatoiminen kulmakappale, josta käytettiin myöhemmin nimitystä Bordenin "Airotor". Tässä ratkaisussa käytettiin pienikokoista laakerointia, instrumentin fyysiset mitat olivat pienemmät kuin aiemmin. Pienemmät mitat sekä voitelujärjestelmä mahdollistivat pyörimisnopeuden kasvattamisen 300 000 kierrokseen minuutissa. Tuosta turbiinin kehitys jatkui edelleen ja mm. 1970-luvulla KaVo esitteli uudenlaisen roottorin

laakereiden vierintäkehän, joka vähensi tärinää ja näin ollen paransi laakerin kulutuskestävyyttä sekä elinikää. [3, s. 31–32.]

1980-luvulla käsi-instrumenttien kehitys jatkui. Silloin esiteltiin sisäänrakennetut optiset kuidut, joiden avulla valo saatiin johdettua instrumentin päähän mahdollisimman lähelle työskentelyaluetta ja siten vähennettyä varjostumia. Tuona aikana laitevalmistajat toivat markkinoille useita erilaisia terän kiinnitysmekanismeja, jotta terän vaihtaminen olisi helpompaa ja nopeampaa.

Viimeisimmät kehitysaskleet ovat tuoneet mukanaan keraamisesta materiaalista valmistetut laakerit, ja tämän myötä laakereiden kulutuskestävyys on parantunut merkittävästi. Laitevalmistajat ovat kehittäneet myös erilaisia teknisiä ratkaisuja takaisinimun ehkäisemiseen. Takaisinimulla tarkoitetaan sitä tapahtumaa, kun turbiinin nopeasti hidastuva kierrosnopeus aiheuttaa alipaineen syntymisen laakeripesään ja turbiinikammioon, jolloin suun eritteet imeytyvät ilmaputkeen. [4, s. 14.]

3.2 Turbiinin rakenne ja toiminta

Standardin SFS-EN ISO 14457:2017 mukaan turbiini on kädessä pidettävä instrumentti, johon on sijoitettu koaksiaalisesti paineilmakäyttöinen roottori. Roottorissa on kiinnityslaite terälle, jonka avulla kohdetta voidaan työstää [5, s. 8]. Kuvassa 2 on esitetty turbiinin rakenne.



Kuva 2. Puhdistettu turbiini purettu osiin huoltotoimenpiteitä varten. Osat vasemmalta oikealle: suojaholkki, peräkappaleen kiinnitysmutteri, sovitekappale, peräkappale, runko, valokuitu, pääkappale, aluslevy, o-rengas, roottori ja kansi.

Turbiini koostuu useasta hienomekaanisesta osasta. Näitä osia ovat runko, vesi- ja ilmaputki, valojohdin, roottori ja sen laakerointi, o-renkaat sekä vesireikälevy ja peräkappale, jonka avulla turbiini liitetään hoitoyksikön instrumenttiletkussa sijaitsevaan liitoskappaleeseen (kuva 3). Liitteessä 1 [6.] oleva havainnekuva esittää, kuinka instrumentti liittyy moottorin tai liitoskappaleen avulla instrumenttiletkuun ja edelleen sitä kautta hoitoyksikköön.



Kuva 3. KaVon patentoima Multiflex-tyyppinen liitin ylhäällä ja W&H:n vastaava ratkaisu Roto Quick -liitin alapuolella. Liittimen avulla turbiini yhdistetään instrumenttiletkuun.

Vastaavasti instrumentin puolella sovite yhdistyy vesi- ja ilmaputkeen sekä valojohtimeen. Instrumenttiletkun ja liittimen kautta tulee toiminnan edellyttämät jäähdytysvesi, paineilma ja valonlähteen tuottama valosäteily. Vesireikälevy muodostaa vesisuihkun yhdestä tai useammasta reiästä ja jäähdyttää erittäin korkealla nopeudella pyörivän terän muokattaessa hampaan rakennetta.

Valojohdin johtaa nimensä mukaisesti valonsäteet instrumentin päähän työskentelyalueelle instrumenttiletkun liittimeltä, jossa valolähde yleensä sijaitsee. Alalla on käytössä myös ratkaisuja, joissa valolähde sijaitsee instrumentissa sisäänrakennettuna. Näissä instrumenteissa valolähde tarvitsee toimiakseen sähkövirran syötön liittimen ja sovitteen kautta instrumentille asti. Yksi toteutuksista on turbiinin päähän vesireikälevyn kanssa saman keskeisesti sijoitettu led-ryhmä, joka valaisee työskentelyalueen.

Turbiinin rungon valmistusmateriaaleina käytetään yleisesti messinkiä sen edullisuuden ja kohtuullisen helpon työstettävyyden vuoksi. Messingistä valmistettu runko päällystetään ohuella metallipinnoitteella, joka suojaa runkoa kulutukselta. Hinnaltaan kalliimpi ja siitä syystä vähemmän käytössä oleva valmistusmateriaali on ruostumaton teräs. Materiaalina teräs on messinkiä kestävämpää ja kevyempää. Markkinoilla on saatavilla myös turbiineja, joiden rungon valmistusmateriaalina on käytetty titaania, joka on kevyempää ja kestävämpää kuin teräs ja on siten vähemmän herkkä autoklaavauksen aiheuttamalle korroosion vaikutukselle. Seuraavalla sivulla esitetyssä kuvassa 4 on havainnollistettu korroosion vaikutuksia turbiinin rungossa.



Kuva 4. Korroosion ja kulumisen vaikutus turbiinin rungossa.

Käytännön huoltotyössä on havaittu, että altistuessaan erilaisista kemikaaleista koostuville puhdistusaineille, autoklaavauksen aiheuttamalle korroosiolle, lämmönvaihteluille ja mekaaniselle rasitukselle saattaa kahdesta osasta koostuvan turbiinin rungon liitoskohta löystyä ja aiheuttaa ongelmia turbiinin toiminnassa. Yhdestä kappaleesta koostuvassa turbiinin rungossa ei luonnollisesti tällaisia ongelmia esiinny. [8, s. 6.]

Valojohteet oli varhaisissa malleissa toteutettu useamman valokuidun nipusta, jossa kuidut oli liimattu yhteen. Autoklaavaus kuitenkin tummentaa valokuitua ja siten valoteho vaimenee, jolloin instrumentin läpi kulkeva valoteho pienenee merkittävästi työskentelyalueella. Tämä voi johtaa siihen, että kliinisen toimenpiteen aikana vaihdettaessa instrumenttia voidaan joutua tuomaan lisävalonlähde riittävän valaistuksen järjestämiseksi työskentelyalueelle. Nykyään on instrumentin sisällä valojohteena yleisesti käytössä lasista valmistettu tanko, joka ei ole yhtä altis tummentumiselle ja haurastumiselle. Lasitangon kovuudesta johtuen se rikkoutuu helposti jos instrumenttiin kohdistuu isku tai se putoaa. [8, s. 6.]

Turbiinin rungon sisällä sijaitsee ilma- ja vesiputket. Nämä putket kuljettavat roottorin toiminnan kannalta oleellisen ajoilman, jäähdytysveden ja spray-ilman, jota käytetään hajottamaan pistemäinen vesisuihku laajemmalle alueelle. Huollon kannalta putket ovat hankalia puhdistaa, mikäli sterilointi on aiheuttanut putkien sisäpinnoille korroosiota.

Autoklaavin kuuma höyry tunkeutuu instrumenttien sisäosiin, myös putkien sisälle, jotta instrumentti steriloituu kauttaaltaan. Tukkeutunut putki voi aiheuttaa roottorin pyörimisnopeuden pienemisen ja tehon laskemisen, joten pyörimisnopeuden luotettava mittaaminen huollon ja korjauksen yhteydessä on erittäin tärkeää. [8, s. 6.]

Turbiinin toiminnan tehokkuus perustuu sen roottorin erittäin korkeaan pyörimisnopeuteen. Pyörimisnopeudet vaihtelevat valmistajasta ja teknisestä toteutuksesta riippuen 380 000 ja 450 000 minuuttikierroksen välillä. Pyörimisnopeus voidaan jakaa kahteen osaan: kuormitettu pyörimisnopeus, joka tarkoittaa sitä nopeutta, jolla roottori pyörii työstettäessä kohdetta ja ilman kuormaa, jossa tilanne on päinvastainen eli roottorilla ei ole kuormitusta lainkaan. Tätä tilannetta kutsutaan myös tyhjäkäynniksi. Kuormitettu pyörimisnopeus vaihtelee noin 180 000 ja 200 000 minuuttikierroksen välillä, minkä ansiosta hampaan rakennetta on helppo muokata ja korkea pyörimisnopeus tuottaa myös tasaisen sekä sileän pinnan muokattuun kohtaan. Tämän lisäksi korkea pyörintänopeus vähentää ympäröiviin rakenteisiin ja kudoksiin kohdistuvaa traumaa. [8, s. 6.]

Kuluneet ja huonokuntoiset laakerit heikentävät roottorin pyörimisnopeutta. Sen seurauksena hampaan preparoinnin kesto pitenee ja leikkauspintojen laatu huononee. Turbiinin kykyä muokata hampaan rakennetta voidaan mitata vääntömomentin avulla. Tästä voidaan matemaattisen kaavan 1 avulla laskea turbiinin teho, kun vääntömomentin lisäksi tunnetaan roottorin pyörimisnopeus.

$$P (W) = \frac{\text{vääntömomentti} \times \pi \times \text{pyörimisnopeus}}{12\,000} \quad (1)$$

Pelkkä pyörimisnopeuden tai vääntömomentin lukuarvo ei suoraan osoita turbiinin suorituskykyä, vaan huollon jälkeinen instrumentin tehon laskeminen tuottaa yksikäsitteisen lukuarvon, jonka perusteella turbiinin tehokkuus voidaan todeta.

Roottorin akseli on laakeroitu ylä- ja alaosastaan mahdollisimman kitkattoman pyörimisliikkeen mahdollistamiseksi. Roottorin laakerit kiinnittyvät o-renkaiden avulla turbiinin runkoon ja roottorin kanteen. Lisäksi o-renkaat tiivistävät ilman ja veden kulkureitin turbiinin päässä. Seuraavan sivun kuvassa 5 on esitelty roottorin osat.



Kuva 5. Roottorin osat. O-rengas, aluslevyt ja laakerit irrotettuna. Roottorin lavoissa näkyvillä urat, joihin ilmavirta osuu ja saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen.

Laakereiden kunnan säännöllinen tarkastaminen on erittäin tärkeää turbiinin toimintakyvyn ylläpidon kannalta. Turbiinin jatkuva puhdistus ja sterilointi hammashoitolassa jokaisen potilastyön välillä kuluttaa roottorin laakerointia ja o-renkaita sekä terän kiinnityksen lukitusmekanismeja. Kuvasta 6 voidaan havaita steriloinnista ja kulumisesta aiheutuvia vaurioita.



Kuva 6. Kulumisen ja steriloinnin vaikutukset roottorissa.

Turbiinin terän kiinnityksen lukitusmekanismeja on useita erilaisia, joista nykyään käytetyimpiä ovat vipu-, painonappi-, kierre- ja kitkalukitus. Myös lukitusmekanismit kuluvat mekaanisen rasituksen ja steriloinnin vaikutuksesta, riippumatta lukitustyyppistä. Mikäli terä ei kiinnity kunnolla roottoriin, terän pyöriminen ei ole stabiilia ja sen seurauksena vääntömomentin siirtyminen terän leikkauspintoihin vähenee. [2, s. 12.]

Standardi SFS-EN ISO 14457:2017 määrittää, että käytettäessä turbiinia ilman kuormitusta, saa terän liikepoikkeama sivusuunnassa olla yhteensä enintään 0,03 mm. Liikepoikkeaman testaamiseen käytetään standardin määrittelemien mittojen mukaisesti valmistettuja erilaisia testikappaleita, mitoitukseltaan erilaisten turbiinien ja kulmakappaleiden testaukseen. [5, s. 18.]

3.3 Kulmakappaleen rakenne ja toiminta

Kulmakappale-nimitys juontaa juurensa ajanjaksoon, jolloin suoran käsikappaleen rinnalle esiteltiin instrumentti, jonka pää oli taivutettu kulmaan. Instrumentin pään kulmaan taivuttamisen seurauksena käyttäjän katse on samassa linjassa terän kanssa ja sen seurauksena parantaa käden työskentelyasentoa sekä näkyvyyttä kohdealueelle. Tyypillisesti kulmakappaleen pään taivutuskulma on 22,5 astetta. [8, s. 3.]

Seuraavan sivun kuvasta 7 voidaan nähdä kulmakappaleen rakenne. Mikromoottorin kaula kiinnittyy kulmakappaleen takaosaan, josta voima välitetään eteenpäin vaihteelle ja myötäpyörittäjälle. Vaihteen avulla mikromoottorin tuottama pyörimisnopeus joko hidastetaan, siirretään eteenpäin sellaisenaan tai nopeutetaan kulmakappaleen tyyppin mukaisesti. Myötäpyörittäjän kummastakin ääripäästä laakeroidulta akselilta voima siirretään edelleen väliakselille. Väliakseli on myös laakeroitu tasaisen pyörimisliikkeen takaamiseksi. Voimalinjan viimeisenä sijaitsee porahylsy, jonne mikromoottorin voima välitetään ja saadaan ulos porahylsyyden kiinnitettävän terän leikkauspintoihin.



Kuva 7. Kulmakappaleen rakenne. Vasemmalla ylhäällä kahdesta osasta koostuva peräkappale, lukitusrenkas ja myötäpyörittäjä. Keskellä väliakselin laakerit ja akseli. Oikealla porahylsyn laakerit, terän lukituspala ja -jousi sekä kansi ja porahylsyn koppa.

Käsi- ja kulmakappaleet on luokiteltu pyörimisnopeuden ja vääntömomentin mukaan värimerkinnällä sekä numeerisesti standardissa SFS-EN ISO 14457:2017. Luokittelu on esitetty taulukossa 1 [5, s. 9]. Värimerkintä ei ole pakollinen, mutta monet valmistajat suosivat merkintätapaa tuotteissaan. Käytännön hoitotyössä käsi- ja kulmakappaleiden värimerkintä helpottaa tunnistamaan luokan ja valitsemaan käyttötarkoitukseen sopivan instrumentin kulloiseenkin tilanteeseen.

Taulukko 1. Käsi- ja kulmakappaleiden luokittelu. [5, s. 9.]

Luokka	Muuntosuhde	Nopeus	Vääntömomentti	Väri
1	>1 : 1	pienempi	suurempi	vihreä
2	1	vakio	vakio	sininen
3	1 : >1	suurempi	pienempi	punainen
4	–	Valmistajan määrittämä		keltainen

3.4 Käsi- ja kulmakappaleiden sekä turbiinien voimanlähteet

Yleisimmin käytössä olevat voimanlähteet käsi- ja kulmakappaleissa ovat ilma- ja sähkömoottorit. Ilmamoottorin toimintaperiaate on samanlainen kuin turbiinissa. Ilman

virtaus ohjataan roottorin lapoihin ja se saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen, joka edelleen tuottaa voiman käsi- tai kulmakappaleelle.

Verrattuna sähkömoottoriin ilmamoottorin etuina on sen keveys, pitkä elinkaari, mahdollisuus pyörimissuunnan vaihtamiseen toimenpiteen aikana sekä edullisempi hankintahinta. Huoltamisen tarve ja siten ylläpitokustannukset ovat ilmamoottorilla pienemmät kuin sähkömoottorilla johtuen pienemmästä pyörimisnopeudesta. Ilmamoottorin tuottaman pyörimisnopeuden ollessa 5 000–25 000 kierrosta minuutissa sähkömoottori tuottaa pyörimisnopeutta enimmillään jopa 40 000 kierrosta minuutissa. Ilmamoottorin etuihin voidaan lukea myös sen tuottama hiljainen käyntiääni, joka auttaa vähentämään potilaan stressiä hoitotapahtumassa. Haittapuolena ilmamoottorissa on se, että moottorin rakenteessa on paljon komponentteja, jotka kulumisen ja iän myötä voivat aiheuttaa tärinää.

Sähkömoottoreissa on yleisesti käytössä hiiliharjallinen ja hiiliharjaton malli, joista jälkimmäinen on huomattavasti vähemmän altis kulumiselle ja sitä kautta tuottaa pienemmät ylläpitokustannukset elinkaarensa aikana. Sähkömoottorin etuna on sen tarkemmin säädettävä pyörimisnopeus jalkaohjaimella ja tasaisempi voiman tuotto koko pyörimisnopeuden alueella.

Mikromoottori liittyy käsi- ja kulmakappaleeseen standardoidun liitännän avulla. Moottoriin on yleensä sijoitettu valonlähde instrumenttia varten ja moottorin kautta kuljetetaan myös instrumentin tarvitsema jäähdytysvesi ja spray-ilma. Turbiinille ei varsinaisesti ole erillistä voimanlähdettä, sillä pyörimisliike aiheutuu ilmanvirtauksesta. Määräävä tekijä turbiinin pyörimisnopeuden tuottamisessa on hoitoyksiköltä ja sen painesäätimeltä tuleva ilmanpaine.

4 Lopputestaus

4.1 Testauksen nykytilanne pienlaitehuollossa

Tällä hetkellä pienlaitehuollossa huoltojen ja korjausten jälkeinen lopputestaus on vaihtelevaa johtuen laitteiden erilaisista teknisistä ratkaisuista ja useiden eri laitevalmistajien tuotteista. Yksi pienlaitehuollon pääperiaatteista on huoltaa ja korjata kaikki edustettavana olevien laitevalmistajien ja myytävien tuotemerkkien tuotteet. Tämä asettaa haasteen huollon toiminnalle. Kun tuotevalikoima on laaja, siitä seuraa, että jokaisella valmistajalla on tuotteelleen yksilölliset huolto- ja korjausohjeet.

4.2 Vahvuudet ja heikkoudet

Vahvuutena voidaan pitää edellisessä luvussa mainittua laajaa tuotekirjoa, sekä monenlaisia teknisiä ratkaisuja, jotka tuovat mukanaan myös laajan yleiskäsityksen käytettävistä huolto- ja korjausmenetelmistä. Näiden avulla voidaan muodostaa yhteneviä toimintatapoja mittauksissa sekä lopputesteissä ja parhaimmillaan käyttää samoja mittalaitteita ja työkaluja eri valmistajien tuotteiden lopputestauksessa.

Toisaalta, jos laitevalmistaja on määritellyt tuotteelleen huollon ja korjauksen jälkeiseen lopputestaukseen tarkasti yksilöidyn mittaustavan tai laitteen, mittalaitteita täytyy hankkia suuri määrä, jolloin hankinnasta aiheutuu myös suuri kustannuserä yritykselle, joka voi heikentää toiminnan kannattavuutta lyhyellä aikajänteellä.

4.3 Tavoitteen asettelu ja työn rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on etsiä ja tutkia erilaisia mittausmenetelmiä pienlaitehuollon lopputestaukseen. Valittujen mittausmenetelmien mittaustuloksista tehdään tarkempi analyysi, jonka perusteella tilaajalle laaditaan ehdotus lopputestauksen mittausmenetelmän valitsemiseksi ja kehittämiseksi.

Työssä keskitytään turbiinien kierrosnopeuden ja vääntömomentin mittaamiseen, koska tämä tuoteryhmä edustaa merkittävintä osaa huollettavista ja korjattavista

tuotteista pienlaitahuollossa. Työn ulkopuolelle jätetään käsi- ja kulmakappaleiden sekä turbiinien voimantuottoyksiköt. Lisäksi työstä rajataan pois muut tuoteryhmät, kuten valokovettajat ja autoklaavit, joiden lopputestauksen menetelmiä tullaan kehittämään tulevaisuuden kehitysprojekteissa.

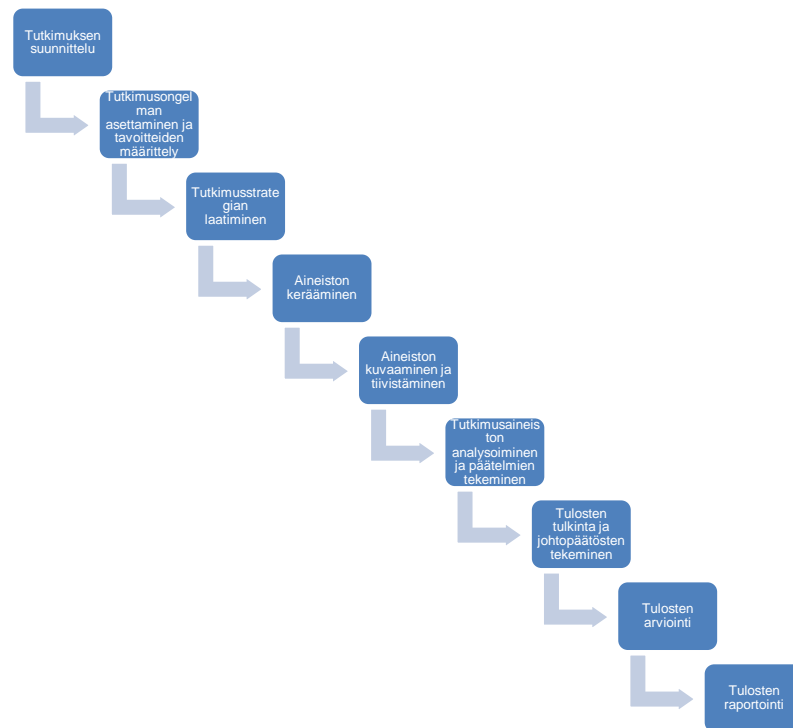
Työn aikana suoritettavista mittauksista tehdään mittauspöytäkirjat ja työn lopussa mittaustuloksia arvioidaan soveltuvien tieteellisten menetelmien avulla.

4.4 Tutkimusmenetelmät

Nykyisin tehtävät tieteelliset tutkimukset perustuu pääosin mittaustulosten tilastolliseen käsittelyyn sekä niiden tulkintaan. Tilastollinen käsittely ja ajattelu auttaa ymmärtämään erilaisia ilmiöitä ja niiden välisiä suhteita. Tilastotiede on menetelmätiedettä ja sen avulla tutkitaan, kuinka tutkimus pitää tehdä erilaisten havaintojen perusteella. Tilastotiedettä käytetään laajasti monenlaisten tutkimusten eri vaiheissa ja analysoinnissa mittaustuloksiin perustuen. On tärkeää ymmärtää tilastotieteen perusteita ihan arkisessakin elämässä, jotta ymmärtää uutisoinnissa ja muilla tavoin julkisuudessa esitetyjä tilastoja sekä ennusteita. [9, s. 9.]

Yhteiskunnan eri osa-alueilta voidaan kerätä uutta tietoa ja täydentää saatavilla olevaa tietoa tieteellisten menetelmien avulla. Näitä tietoja sovelletaan erilaisiin tarpeisiin ja tietoihin voidaan tukeutua päätöksenteossa. Keskeisintä tieteellisissä menetelmissä on se, että päästään eroon arkiajattelun ongelmista, joita ovat epäloogisuus, subjektiivisuus, yksittäisen ongelman ratkaisuun pyrkiminen, tilannesidonnaisuus ja käyttäytymisen muuttaminen havaintoihin perustuen. [9, s. 12.]

Tiedon lisääminen on tutkimuksen keskeisin päämäärä, johon päästään asettamalla tarkat tavoitteet ja suunnitelmat. Tieteellinen tutkimusprosessi on menetelmä, jonka avulla pyritään välttämään arkiajattelun virhepäätelmiä. Seuraavassa kaaviossa (kuva 8) on esitetty tutkimusprosessin eri vaiheet, kuten Nummenmaa ym. [9, s. 12] teoksessaan määrittelee.



Kuva 8. Tutkimusprosessin vaiheet [9, s. 12.]

Tutkimustyytit jaetaan yleensä kahteen osaan, teoreettiseen ja empiiriseen tutkimukseen. Teoreettisen tutkimuksen avulla ei mitata ominaisuuksia ympäröivästä maailmasta, vaan sitä tutkitaan esimerkiksi puhtaan matematiikan tai teoreettisen fysiikan keinoin. Vastaavasti empiirinen tutkimus perustuu mittaamisen ja aistihavaintojen tulosten tutkimiseen. [9, s. 15.]

Seuraavan sivun taulukossa 2 on esitelty eri tutkimusstrategiat sekä niiden pääpiirteet [9, s. 17].

Taulukko 2. Tutkimusstrategian valitseminen. [9, s. 17.]

Tutkimusstrategia	Selvitettävät asiat	Kontrolloiko tutkija tapahtumia?	Kohdistuuko tutkimus nykytapahtumiin?
Kokeellinen tutkimus	Asioiden väliset syysuhteet	Kyllä	Kyllä
Pitkittäistutkimus	Ilmiöiden muuttuminen ajan myötä	Useimmiten	Kyllä
Havainnoiva tutkimus	Ilmiöiden väliset yhteydet, tyypilliset suuruudet ja esiintyvyydet	Ei	Kyllä
Retrospektiivinen tutkimus	Miten asiat ovat aikaisemmin olleet?	Ei	Ei
Case-tutkimus	Tietyn poikkeavan ja mielenkiintoisen ilmiön selvittäminen ja päätelmien yleistäminen muihin tapauksiin	Ei	Kyllä

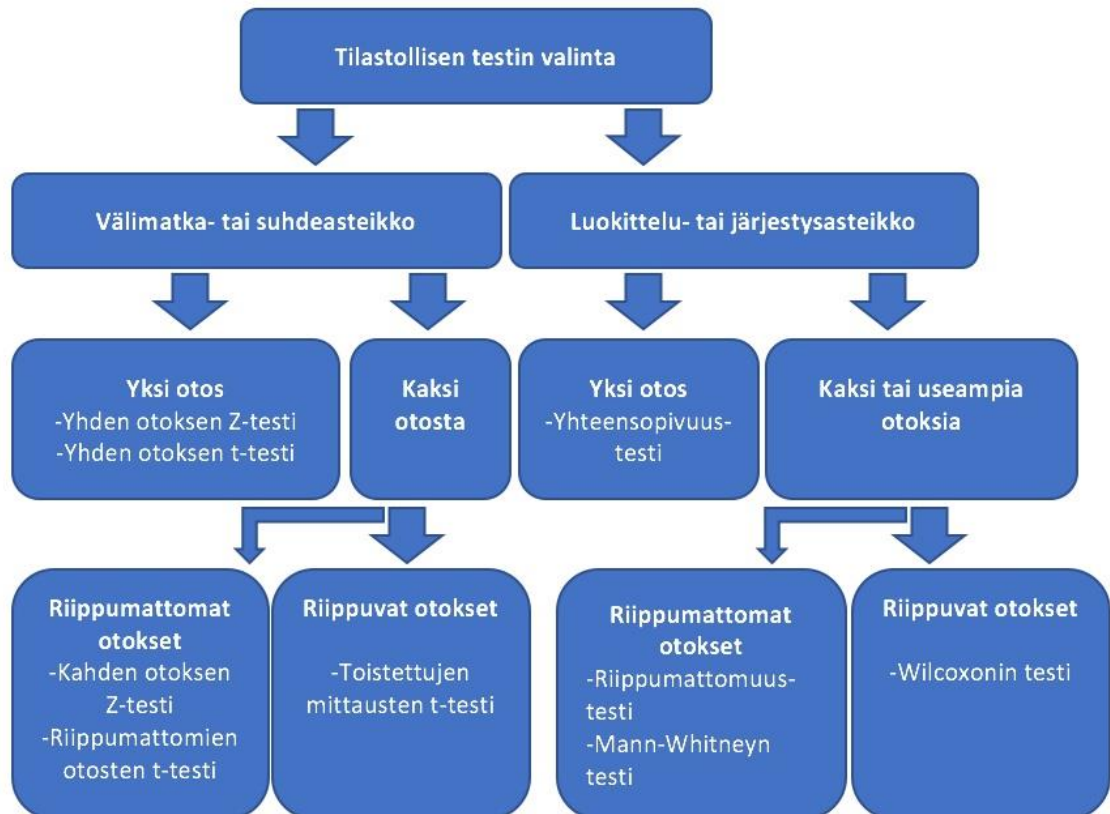
Opinnäytetyön mittauksissa saatuja tuloksia analysoidaan kvantitatiiviseen eli määrälliseen tutkimusmenetelmään kuuluvan tilastollisen analyysin keinoin.

Mittaustuloksista tehdään estimointia, joka tarkoittaa sitä osa-aluetta tilastollisessa päättelyssä, jossa päätelmiä tehdään otoksen avulla perusjoukon ominaisuuksista. Mittaustuloksista muodostui otos, jonka koko vaihtelee huoltoon tulevien eri mallisten instrumenttien satunnaisuudesta. Otoksen koko huomioitiin tehtäessä laskelmia mittaustuloksista. Perusjoukon estimointiin käytettiin estimaattia eli otoksesta laskettuja arvoja, kuten keskiarvo ja keskihajonta. [10, s. 4.]

Mittaustuloksista määritetään luottamusvälejä eri mallisten instrumenttien vääntömomentista ja pyörimisnopeudesta, jotta voidaan arvioida asettuuko perusjoukon vastaavan suureen arvo tietyllä todennäköisyydellä raja-arvojen sisälle. Luottamusväli määritetään otoksesta laskettujen estimaattien perusteella. Luottamusvälin määrittäminen tehdään soveltuvista otoksista, sillä otoksen otoskoko ja perusjoukon hajonnan tunnettavuus vaikuttaa oleellisesti luottamusvälin laskemiseen. [10, s. 5.]

Luottamusvälin luottamustaso osoittaa todennäköisyyden millä perusjoukkoa kuvaava tunnusluku on tunnetulla luottamusvälillä. Luottamustaso on laskennassa yleisesti 95 %, 99 % ja 99,9 %. [9, s. 166–167.]

Analyysissä tutkitaan kahden eri mittaustavan tuloksista tehtyjen olettamusten eli hypoteesien ja väitteiden totuudenmukaisuutta tilastollisten testien avulla. Testin valinnassa käytetään kuvassa 9 esitettyä kaaviota. [9, s. 201.]



Kuva 9. Lohkokaavio tilastollisen testin valintaan. [9, s.201.]

4.5 Mittausmenetelmät ja mitattavat suureet

Mittauksien ja niiden sovelluksia käsittelevää tieteenalaa kutsutaan metrologiaksi. Soveltamisala tai mittausepävarmuus ei vaikuta mihinkään teoreettisiin ja käytännöllisiin näkökulmiin, jotka sisältyvät metrologiaan. Puhuttaessa metrologiasta, perusoletuksena on toiminta-, laatu- ja johtamisjärjestelmien moitteettomuus.

Metrologia muodostuu kolmesta osasta. Mittanormaalien sekä niiden ylläpidon organisointia ja kehitystyötä kutsutaan tieteelliseksi metrologiaksi. Mittauksissa mukana olevien mittalaitteiden ja -välineiden toiminnan varmistaminen riittävällä tasolla teollisuuden tuotannossa ja kehitystyössä on teollisuusmetrologiaa. Lakisääteinen metrologia määrittää yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten mittausten tarkkuustasosta. Tällaisia toimia ovat taloudellinen läpinäkyvyys, terveys ja turvallisuus sekä kuluttajansuoja. Esimerkkeinä, joihin lakisääteisen metrologian määrytykset kohdistuu, voidaan mainita polttonesteen jakelumittari, kaupan vaaka, rullamitta sekä veden, kaasun, sähkön ja lämpöenergian kulutusta mittaavat laitteet. [11, s. 7.]

Hiltunen ym. [11, s. 9–10] määrittelevät oppaassaan, miten mittausmenetelmiä etsittäessä ja mittalaitetta hankittaessa tulee ottaa huomioon mittalaitteen eri ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat mm. käyttöominaisuudet, kuten käyttölämpötila ja mitattavan suureen mittausalue, metrologiset ominaisuudet, kuten luotettavuus ja virhemarginaalit, sekä laitetiedot, kuten CE-vaatimukset ja laitteen rakenne.

Etsittäessä mittausmenetelmiä ja -tapoja tähän työhön tavoitteena oli löytää yksi tai useampi menetelmä, jonka avulla turbiinin pyörimisnopeus ja staattinen vääntömomentti saadaan mitattua luotettavasti. Lisäksi tavoitteena oli löytää menetelmä, jossa mittauksen toistettavuus pysyy hyvällä tasolla. Tärkeää mittausmenetelmän valinnassa oli myös se, että menetelmä saadaan sovitettua joustavasti nykyiseen korjausprosessiin.

Kuten Poole [6, s. 40–41] tutkimuksessaan toteaa, ilman kuormitusta mitattavan kierrosnopeuden pienenemisen ja käyntiäänen kasvamisen on todettu indikoivan laakereiden vaurioitumista.

Pyörimisnopeuden mittaamisessa päätettiin keskittyä tutkimaan mittaustapoja, joiden avulla pyörimisnopeus saadaan selville suoraan mittalaitteesta lukuarvona tai vaihtoehtoisesti fysikaalisena suurena, josta pyörimisnopeus voidaan määrittää matemaattisen laskutoimituksen avulla. Mittaustulosten analysoinnin perusteella arvioidaan mittausmenetelmien ja -tapojen luotettavuutta sekä virhemarginaalia.

Pyörimisnopeuden mittaamiseen käytetään kahta mittaamenetelmää, jotka perustuvat taajuuden mittaamiseen. Taajuus (f) on SI-järjestelmän perusyksiköiden johdannaissuure hertsi (Hz), jonka avulla ilmaistaan, kuinka monta värähdystä tapahtuu aikayksikössä (1/s).

Ensimmäisessä menetelmässä käytetään älypuhelimeen asennettavaa Turbine Dr -sovellusta (kuva 10), joka mittaa puhelimen mikrofonin avulla turbiinin roottorin pyörimisestä muodostuvan äänitaajuuden. Mittauksen tuloksena saatu taajuuden lukuarvo muunnetaan sovelluksen algoritmin avulla pyörimisnopeuden lukuarvoksi, joka ilmaistaan kierroksina minuutissa (rpm). Sovelluksen on kehittänyt Adensys, joka on Liechtensteinissa vuonna 2012 perustettu hammashoidon instrumenttien komponentteja valmistava yritys.



Kuva 10. Näkymä mittaustilanteesta Turbine Dr -sovelluksella.

Mittausjärjestely toteutettiin ensimmäisessä mittauksessa siten, että mittausta suorittava puhelin kiinnitettiin pienlaitahuollossa sijaitsevaan käsi- ja kulmakappaleiden sekä turbiinien lopputestauksessa käytettävän testiyksikön instrumenttitelineeseen. Jotta mittauksen toistettavuus säilyy riittävän hyvällä tasolla, telineen varsi asemoitiin samaan paikkaan. Mitattava instrumentti sijoitettiin 10 cm:n etäisyydelle puhelimen mikrofonista. Esivalmisteluissa havaittiin, että mittaustulosten kannalta instrumentin etäisyys ei ole kriittinen arvo, joten erillistä telinettä tai muuta järjestelyä ei tehty instrumentin asemoimiseksi.

Puhelimen ja mitattavan instrumentin välinen etäisyys kuitenkin asetettiin vakioksi, jotta erillisten mittausten yhdenmukaisuus ja tulosten luotettavuus saavutetaan. Kuvassa 11 on näkymä lopputestauspisteeltä ensimmäisessä mittausmenetelmässä.

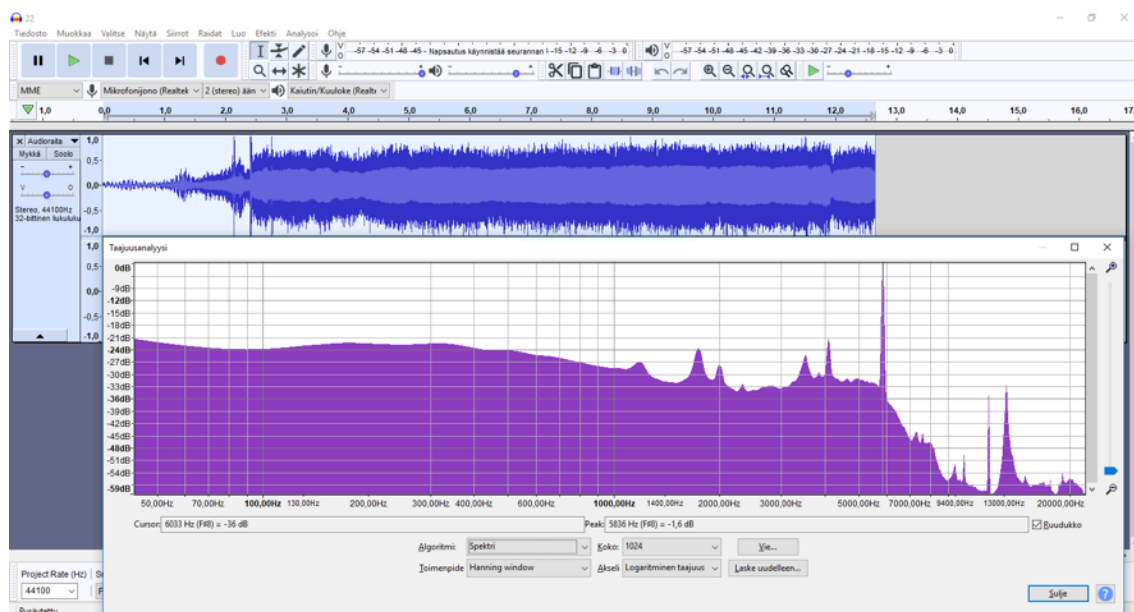


Kuva 11. Ensimmäinen mittausjärjestely lopputestauspisteellä. Mittaava puhelin kiinnitetty instrumenttitelineeseen.

Toinen mittausmenetelmä koostuu erillisestä mikrofoniasta, kannettavasta tietokoneesta ja avoimeen lähdekoodiin perustuvasta Audacity-ohjelmasta [12]. Kuva mittausjärjestelystä liitteessä 3.

Mittauksissa käytettiin ohjelman versiota 2.2.2. Ohjelma on yhden tai useamman kanavan äänisignaalin tallentamiseen ja editointiin tarkoitettu työkalu. Ohjelman graafisen työkalun avulla turbiinin käyntiäänestä mitataan taajuusspektri ja siitä erotellaan taajuus hertseinä (Hz), jonka voimakkuus on korkeimmalla tasolla. Tästä taajuuslukemasta lasketaan roottorin pyörimisnopeus. Seuraavan sivun kuvasta 12 voidaan nähdä ylempänä kuvassa tallennettu äänisignaali ja alempana tästä signaalista tehty taajuusanalyysi. Taajuusanalyysin kuvaajasta nähdään selkeästi

tasoltaan korkein taajuus, jonka lukuarvoksi ohjelma antaa 5 836 hertsiä (Hz) tasolla -1,6 desibeliä (dB).



Kuva 12. Tallennettu äänisignaali ja sen taajuusanalyysin kuvaaja.

Toisen mittauksen esivalmistelu aloitettiin koemittauksilla. Ennen koemittausta Audacity-ohjelma asennettiin kannettavaan tietokoneeseen mikrofonin sovittimen ajuriohjelman ohella ja mikrofoni liitettiin sovittimen avulla tietokoneen USB-porttiin. Koemittauksessa havaittiin mittauksessa käytettävän mikrofonin epäherkkyydestä ja mittauspaikan taustamelusta johtuvaa mittauserätarkkuutta. Taustamelun ja sen kerrannaistaajuuksien vuoksi turbiinin pyörimisnopeuden huipputaajuutta oli hankalaa erotella taajuusspektristä. Tämän tilanteen korjaamiseksi tehtiin yksinkertainen ns. pahvimalli. Pienen pahvilaatikon sisäpinta vuorattiin vaahtomuovilla ja laatikko sijoitettiin kyljelleen mittauspisteen pöydälle. Mittausta suorittava mikrofoni sijoitettiin laatikon sisälle kylkitahon keskelle. Yksi sivu laatikosta jätettiin avoimeksi siten, että mitattava instrumentti saadaan tuotua riittävän lähelle mikrofonia. Kuva toisen mittauksen järjestelystä on esitetty liitteessä 3.

Turbiinin voitelun ja koekäytön osalta sama ohjeistus pätee kuten ensimmäisen mittauksen järjestelyissä on esitetty. Esivalmistelujen ja koemittauksen jälkeisten lisäjärjestelyjen jälkeen varsinainen mittaus suoritettiin siten, että turbiinia käytettiin kuormittamattomana suurimmalla pyörimisnopeudella ja mittausohjelman tallennus

käynnistettiin samalla. Pyörimisnopeuden äänisignaalia tallennettiin ohjelmaan noin 10 sekunnin ajan, jonka jälkeen ohjelman antama mittaustulos tallennettiin tiedostona tietokoneen kovalevylle tulosten myöhempää analysointia varten. Jokainen mittaustulos yksilöitiin nousevalla numeroinnilla.

Jokaisen turbiinin roottorin pyörimisnopeus mitattiin ennen huolto- ja korjaustoimenpiteitä, mikäli mittaaminen oli mahdollista. Noin puolessa mitattavista tapauksista turbiinin roottorin laakerointi tai itse roottori oli niin pahoin vaurioitunut, ettei mittausta voitu suorittaa ennen turbiinin korjaavia toimenpiteitä. Myös roottorin o-renkaiden kuluneisuuden havaittiin joissain tapauksissa estävän roottorin pyörimisliikkeen siten, että roottori asemoitui virheellisesti paikalleen ja oli kosketuksissa turbiinin runkoon.

Huolto- ja korjaustoimenpiteiden jälkeen, ennen mittauksen suorittamista, instrumentti on voideltava valmistajan ohjeen mukaisesti tarkoitukseen soveltuvalla voiteluöljyllä. Tämän jälkeen turbiinia käytettiin suurimmalla pyörimisnopeudella ilman kuormitusta 30–60 sekunnin ajan. Tuona aikana voiteluöljy leviää tasaisesti roottorin laakerointiin ja mahdollinen ylimääräinen öljy poistuu instrumentista. Pyörimisnopeuden mittauksia suoritettiin kolme kertaa ja jokaisen mittauksen tulos kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Mittauspöytäkirja on liitteenä 2. Näistä kolmesta mittauksesta lasketaan keskiarvo tulosten analysoimiseksi, joita käsitellään tarkemmin luvussa 5.4.

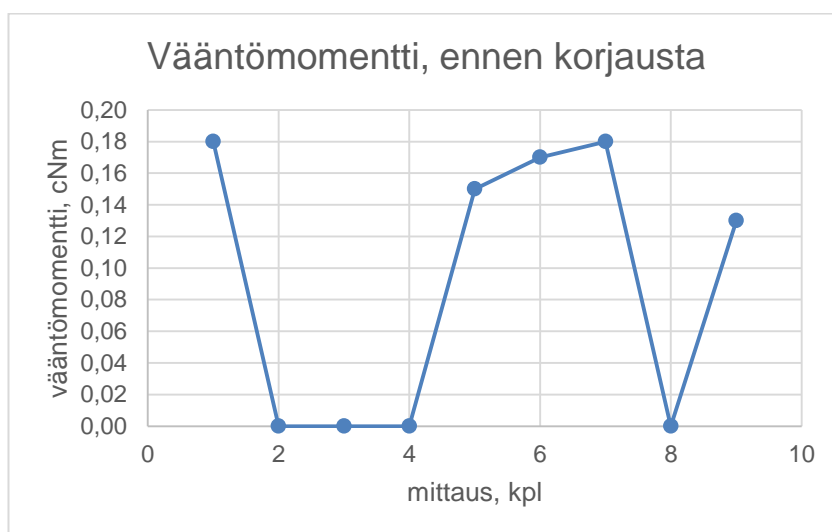
Kummankin edellä esitellyn pyörimisnopeuden mittauksen rinnalla suoritettiin mittausjakson aikana jokaisesta korjatusta turbiinista myös vääntömomentin mittaus. Vääntömomentti on SI-järjestelmän johdannaisuure ja sen tunnus on Nm (newtonmetri). Mittauksessa käytettiin Tohnichi ATG-045CN-mittalaitetta, joka soveltuu turbiinien vääntömomentin mittaukseen vääntömomentin arvojen 0,05–0,45 cNm:n välisellä alueella.

Esivalmisteluissa mittaus akseli kiinnitettiin mittalaitteeseen ja mitta-asteikko käytiin yhteisesti läpi, jotta mittalaitteen näyttämä lukuarvo luetaan oikein. Vääntömomentin arvo mitattiin ennen korjausta, mikäli mittaus oli turbiinin kunnon myötä mahdollista. Korjauksen jälkeen suoritettiin kolme erillistä mittausta. Kaikki arvot tallennettiin mittauspöytäkirjaan tulosten lopullista analysointia varten. Esivalmistelujen jälkeen,

ennen kunkin mittausjakson aloittamista, kaikki mittaustoimenpiteet käytiin huoltotiimin jäsenten kanssa läpi yhtenäisen mittaustavan saavuttamiseksi.

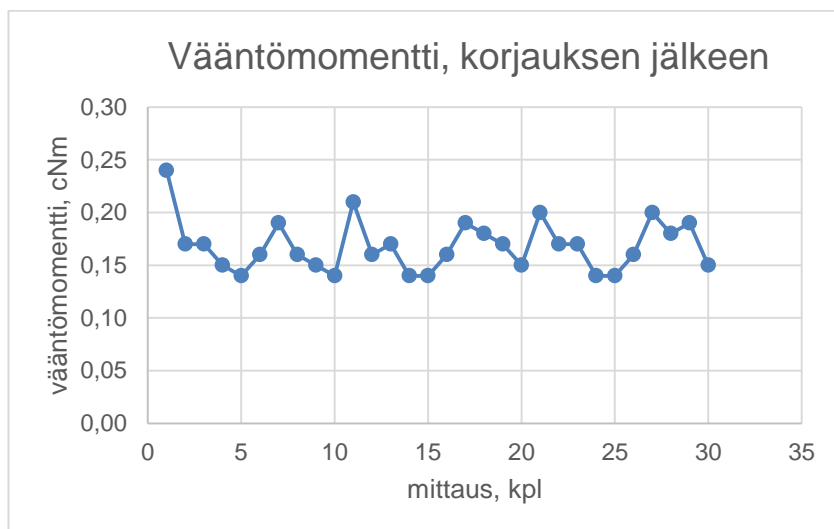
5 Mittaustulokset ja analysointi

Mittaustulosten analysointi aloitettiin arvioimalla ensimmäisen ja toisen mittauksen vääntömomentin arvojen totuudenmukaisuutta. Valmistajat eivät ilmoita kaikista malleista vääntömomentin arvoja tai niitä ei ilmoiteta lainkaan, jolloin arvioiminen perustuu useamman samanlaisen instrumentin mittaustulosten vertailuun. Ensimmäisen mittauksen tuloksista vertailua voidaan tehdä myös ennen huolto- ja korjaustoimenpiteitä mitattuun arvoon. Kuvassa 13 nähdään huoltoon tulevan turbiinin vääntömomentin vaihteluväli ennen korjaustoimenpiteitä.



Kuva 13. Turbiinin vääntömomentin vaihtelu ennen korjaustoimenpiteitä. Yksi mittaus instrumenttia kohden.

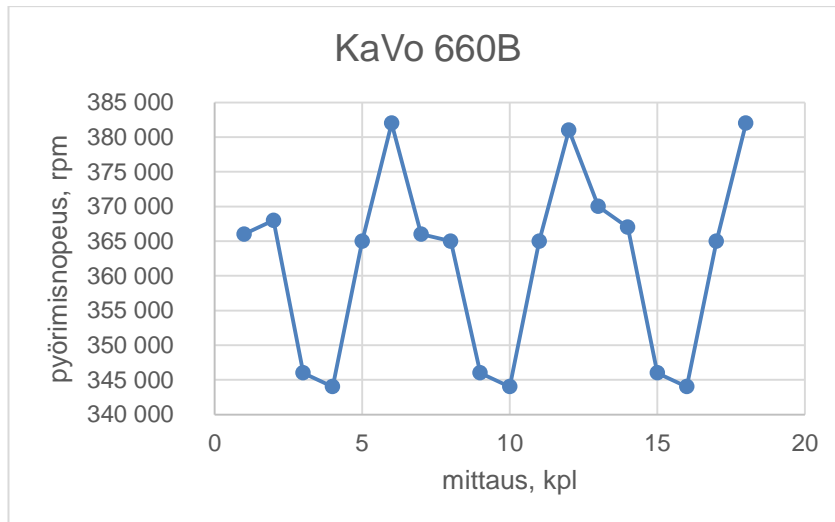
Kuvassa 14 on esitetty mittaustulokset turbiinin vääntömomentista korjauksen jälkeen. Pienin mitattu arvo on 0,14 cNm ja suurin arvo 0,24 cNm. Vääntömomentin keskiarvo on 0,17 cNm ja keskihajonnaksi muodostui 0,02 cNm.



Kuva 14. Turbiinin vääntömomentin mittaustulos korjauksen jälkeen. Kolme mittausta instrumenttia kohden.

Keskihajonnan perusteella voidaan todeta mittauksen onnistuminen ja arvioida tulosten olevan totuudenmukaisia. Verrattaessa korjauksen jälkeisiä arvoja korjausta edeltäviin tuloksiin voidaan todeta myös korjausten onnistuneisuus.

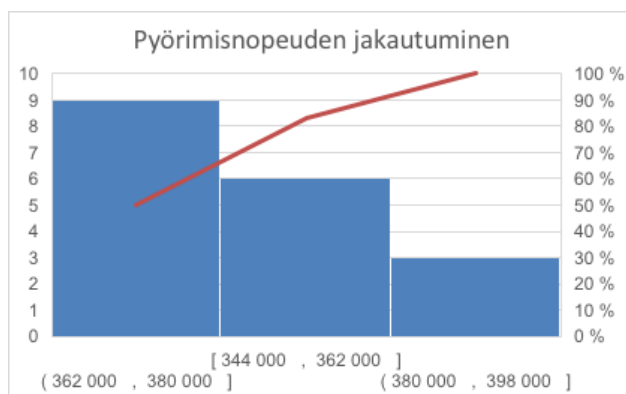
Seuraavaksi tarkastellaan KaVo 660B -mallisen turbiinin pyörimisnopeutta. Kuvaaja on esitetty kuvassa 15 seuraavalla sivulla. Mitattujen pyörimisnopeuksien keskiarvo on 361 778 rpm. Pyörimisnopeuden vaihteluväli on 344 000–382 000 rpm. Mittaustulosten luotettavuutta arvioitiin määrittämällä mitatun pyörimisnopeuden luottamusväli 95 %:n luotettavuustasolla. Luottamusväli on 355 070–368 486 rpm ja kun sitä verrataan valmistajan ilmoittamaan turbiinin pyörimisnopeuteen 350 000–400 000 rpm, voidaan todeta mittaustuloksien asettuvan 95 %:n varmuudella valmistajan ilmoittamaan vaihteluväliin. Myös mitattujen pyörimisnopeuksien keskiarvo on annetussa vaihteluvälissä. Mittaustuloksia voidaan tältä osin pitää luotettavina.



Kuva 15. Turbiinin pyörimisnopeuden mittauksen tulos.

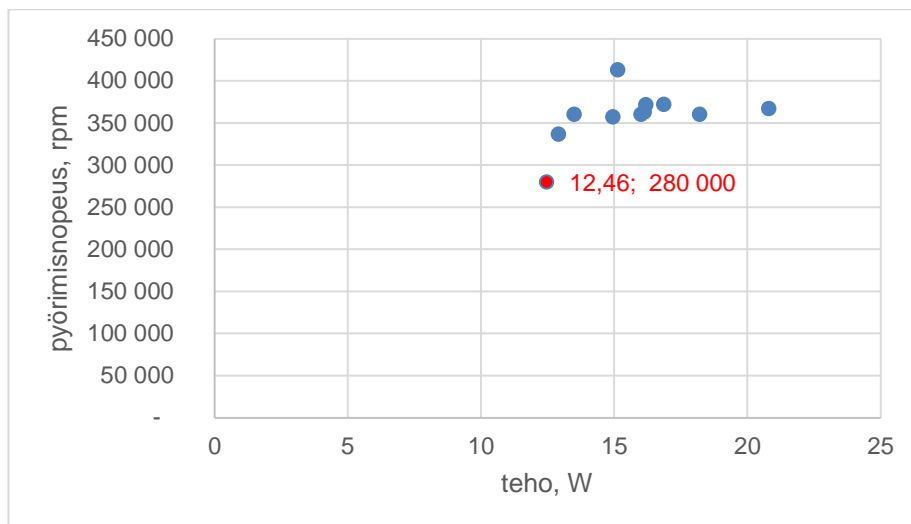
Kuvaajasta voidaan nähdä, että 33 % yksittäisistä mittaustuloksista jäi alle valmistajan ilmoittaman vaihteluvälin. Tuloksen juurisyytä voidaan etsiä tarkemmin tämän kyseisen mallin osalta pienlaitesuollossa. Syynä voi olla puutteellinen voitelu, riittämätön sisäänajo ennen testausta, ajoilman paineen vaihtelu korroosion syövyttämässä ilmaputkessa tai mittausvirhe.

Pareto-kuvaajasta selviää havainnollisesti, kuinka pyörimisnopeus jakaantuu eri alueille. Kuvaaja esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Pyörimisnopeuden jakautuminen.

Liittämällä KaVo 640B -turbiinin pyörimisnopeus ja teho samaan pistekuvaajaan, voidaan kuvasta 17 havaita korjauksen jälkeen mitattujen arvojen asettuvan selvästi valmistajan ilmoittaman minimiarvon yläpuolelle. Tästä johdonmukaisuudesta voidaan päätellä mitattujen arvojen olevan todenmukaisia.



Kuva 17. Turbiinin pyörimisnopeuden ja tehon pistekuvaaja.

Tässä vaiheessa arvioidaan jälkimmäisen mittaustavan pyörimisnopeuden mittaustulosten luotettavuutta. Samalla verrataan kahden eri mittaustavan tuloksia keskenään. Vertailuun otetaan KaVo 640B -turbiinin mittaustulokset. Seuraavassa taulukossa 3 on vertailtu mitattuja ja laskettuja arvoja.

Taulukko 3. Kahden eri mittaustavan pyörimisnopeuden vertailu. Lukuarvot ilmoitettu kierroksina minuutissa, rpm.

KaVo 640B	Ensimmäinen mittaus, sovellus	Toinen mittaus, mikrofoni + kannettava tietokone
Otoksen keskiarvo	365 900	350 205
Min	336 333	316 740
Max	413 000	369 900
Keskihajonta	19 295	17 299
Luottamusväli 95 %:n luotettavuustasolla	349 769 – 382 031	347 975 – 364 667

Valmistajan ilmoittama pyörimisnopeuden vähimmäisarvo on 280 000 rpm. Kuvan 16 esittämässä kuvaajassa todettiin ensimmäisen mittaustavan tulosten osoittavan niiden oikeellisuuden. Yllä olevasta taulukosta havaitaan, että jälkimmäisen mittauksen tulokset ovat myös vaatimuksen yläpuolella. Kuitenkin jälkimmäisen mittauksen tulokset ovat selvästi alhaisemmat johdonmukaisesti ja eroavaisuutta on laskennallisesti noin 5–10 %. Tilastollisesti molemmat mittaustavat antavat luotettavia tuloksia, mutta mikäli näitä mittaustapoja otetaan käyttöön pysyvästi pienlaitahuollossa, on syytä pohtia, mistä eroavaisuus johtuu.

Lopuksi tutkitaan hypoteesin testaamisen avulla kuinka tarkkoja mittaustuloksia eri menetelmillä on saatu. Testillä pyritään selvittämään aiemmin luotettavaksi todettujen mittaustulosten ja niistä tehtyjen olettamusten todenmukaisuus.

Tässä tapauksessa kun otoskoko on alle 30 ja halutaan tutkia mittaustuloksia sekä niiden muutoksia niin hypoteesin testaamiseen käytetään yhden otoksen t-testiä, joka perustuu Studentin t-jakaumaan [9]. Testiin otetaan 8 kpl pyörimisnopeuden mittaustuloksia ja tutkitaan, onko mitattu pyörimisnopeus sama kuin valmistajan ilmoittama arvo. Asetetaan hypoteesit:

$$H_0: \mu = 350\,000 \text{ rpm}; H_1: \mu \neq 350\,000 \text{ rpm}$$

Ensimmäisen mittauksen mittaustuloksista laskettu pyörimisnopeuden keskiarvo on 378 958 rpm ja otoskeskihajonta on 21 234 rpm. Testi päätetään tehdä 5 %:n merkitsevyydellä. Lasketaan testisuure seuraavalla kaavalla:

$$t_{\text{havainto}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2)$$

, jossa \bar{x} on otoskeskiarvo, μ_0 on hypoteesi, s on otoskeskihajonta ja n on otoskoko.

Testisuureen arvoksi saadaan 3,8573 ja sitä verrataan t-jakauman kriittiseen arvoon 1,8946. Koska testisuure on suurempi, silloin vaihtoehtoinen hypoteesi jää voimaan ja nollahypoteesi hylätään.

Mittaustulos poikkeaa tilastollisesti valmistajan ilmoittamasta turbiinin pyörimisnopeudesta. Mikäli sama kaksisuuntainen testi tehdään 0,1 %:n merkitsevyydellä, niin nollahypoteesi jää tuolloin voimaan. Tämän perusteella voidaan todeta, että mitattujen turbiinien pyörimisnopeus ei poikkeaa tilastollisesti merkittävästi valmistajan ilmoituksesta. Tulos riippuu kuitenkin testistä ja merkitsevyydestä, joten analysoimalla mittaustuloksia pidemmälle eri testien avulla saadaan tarkempia tuloksia päätelyn tueksi.

6 Yhteenveto

6.1 Kokonaisprosessin tarkastelu

Opinnäytetyöhön valittujen mittaustapojen implementoiminen osaksi korjausprosessia onnistui hyvin. Huolellisella esivalmistelulla ja koemittauksilla varmistettiin, että mittaustapa kaikkine vaiheineen soveltuu käyttöön. Suurempia erityisjärjestelyitä ei tarvinnut tehdä valittujen mittausmenetelmien osalta.

Tarkasteltaessa pienlaitehuollon kokonaisprosessia on oleellista selvittää muutoksiin käytettävä aika niitä suunniteltaessa. Ajankäytön tulee olla järkevässä suhteessa saavutettuun hyötyyn. Toisaalta jos uudella toimintatavalla tai mittausmenetelmällä saavutetaan merkittävä hyöty, jolla esimerkiksi tuotetaan asiakkaalle lisäarvoa palvelun tai toiminnon muodossa ajankäyttö ei ole kovin kriittinen. Sama tilanne pätee, jos pienlaitehuollon sisäisiä prosesseja tai toimintamalleja pystytään parantamaan. Otetaan esimerkiksi erilaisten laitteiden lopputestauksen kehittäminen. Jos useampi testausmenetelmä pystytään yhdistämään yhdeksi järkeväksi kokonaisuudeksi ja pitkällä aikajänteellä saavutetaankin ajan säästöä, kannattaa suunnitteluun varata riittävästi resursseja sekä aikaa.

Opinnäytetyössä käytettyjen mittausmenetelmien tulosten lisätutkimuksella voidaan selvittää tarkemmin fyysikaalisten ilmiöiden ominaisuuksia lopputestauksessa. Tulevaisuuden kehitysprojekteissa lisäämällä otoskokoja sekä käyttämällä erilaisia testausmenetelmiä tulosten arvioimiseen on mahdollista saavuttaa yllä mainittuja hyötyjä.

6.2 Kehitysehdotus yritykselle lopputestauksesta

Mittaustulosten johdonmukaisuuden ja oikeellisuuden johdosta voin suositella, että vääntömomentin mittaus otetaan käyttöön huoltoprosessiin sellaisenaan kuin se on tässä työssä esitelty. Kirjaamismenettely vaatii lisää suunnittelua, jotta mittaustulos saadaan järkevillä toimenpiteillä siirrettyä instrumentin tietoihin.

Pyörimisnopeuden mittauksen osalta opinnäytetyössä mukana ollut mittaussovellus osoittautui tulosten analysoinnin valossa yllättävän käyttökelpoiseksi menetelmäksi. Menetelmää voi suositella käytettäväksi kenttähuollossa asiakkaan tiloissa tehtävän diagnosoinnin yhteyteen. Sovellus on helppokäyttöinen eikä vaadi mitään lisälaitteita ja mittaustulos saadaan nopeasti selville ilman erillistä tulosten analysointia.

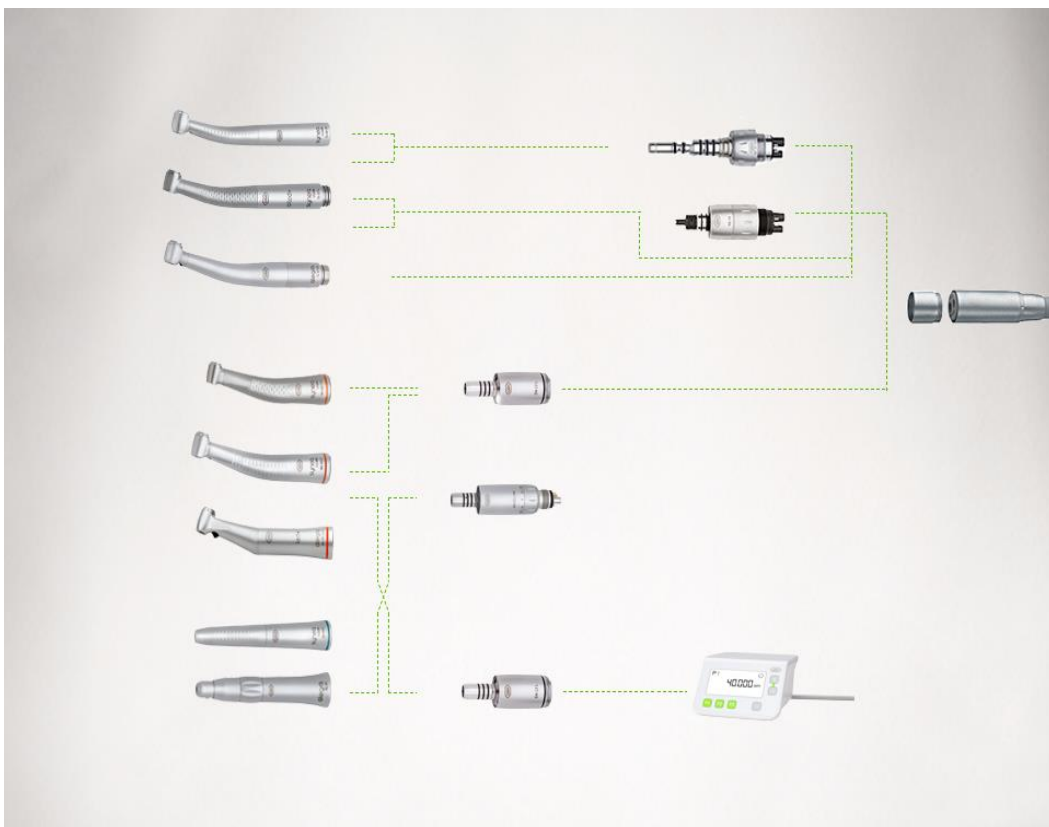
Pienlaitihuollossa huolletaan ja korjataan monien eri valmistajien monimutkaisiakin teknisiä laitteita. Suositeltavaa onkin, että jatkuvasti etsitään uusia mittausmenetelmiä ja mittalaitteita sekä vastaavia käytössä olevia arvioidaan kriittisesti. Jotta asiakkaalle pystytään tarjoamaan parempaa palvelua joustavammin, kustannustehokkaasti ja nopeammin, on huollon prosesseja kehitettävä edelleen. Lisäksi kun pyritään tuottamaan asiakkaan laitteisiin sijoittamalle pääomalle mahdollisimman suuri vastine pitkän elinkaaren ja sen aikaisten kustannusten hallinnan muodossa, on tärkeää kehittää jatkuvasti myös pienlaitihuollon huolto- ja korjausprosesseja.

Lähteet

- 1 Plandent Oy -kotisivut. Verkkodokumentti. <<https://www.plandent.com/fi/>>. Luettu 28.1.2018.
- 2 Abikhzer, Joel. 2012. Comparison of the performance of a triangular chuck locked bur turbine assembly with the traditional circular friction lock design. Opinnäytetyö. MSc Thesis. University of Toronto.
- 3 Poole, Ruth Louise. 2009. Vibrations of high-speed dental handpieces measured using laser vibrometry. Opinnäytetyö. BSc Thesis. University of Birmingham. eTheses Repository. Verkkodokumentti. <<http://flightdentalsystems.com/product/torque-head-led/>>. Luettu 11.2.2018.
- 4 Laitteet ja tarvikkeet julkaisusarja. Verkkodokumentti. Fimea. <http://www.fimea.fi/documents/160140/753095/19708_julkaisut_laitteet_ja_tarvikkeet_julkaisusarja_1.2003.pdf.pdf>. Luettu 22.2.2018.
- 5 SFS-EN ISO 14457:2017. Verkkodokumentti. SFS-Online. <<https://online-sfs-fi.ezproxy.metropolia.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/630392.html.stx>>. Luettu 1.2.2018.
- 6 Restoration & Prosthetics. System overview. Verkkodokumentti. https://www.wh.com/en_global/dental-products/restoration-prosthetics/systemoverview/. Luettu 4.3.2018.
- 7 Williams, Glenn. 2010. Anatomy of a Handpiece: Understanding Handpiece Maintenance and Repairs. Verkkodokumentti. <https://www.dentalacademyofce.com/courses/2000/pdf/1012cei_handpiece_rev9.pdf>. Luettu 26.2.2018.
- 8 Nummenmaa, Lauri; Holopainen, Martti; Pulkkinen Pekka. 2014. Tilastollisten menetelmien perusteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- 9 Vartia, Raisa. 2017. Automaatio tuotannon ja talouden optimoinnissa. Luentokalvo. Metropolia.
- 10 Hiltunen, Erkki; Linko, Linnéa; Hemminki, Sari; Hägg, Margareta; Järvenpää, Eila; Saarinen, Pentti; Simonen, Seppo; Kärhä, Petri. 2011. Laadukkaan mittauksen perusteet. Espoo: Mittatekniikan keskus MIKES, Työ- ja elinkeinoministeriö TEM.
- 11 Vainikainen, Raimo. 2018. Asiakaspalvelu ja laatu, Planmeca Oy, Helsinki. Keskustelu 5.3.2018.

Liitteet

Havainnekuva instrumentin liittamisestä hoitokoneeseen



Mittauspöytäkirja 1, vääntömomentin ja pyörimisnopeuden mittaus**Mittauspöytäkirja 1
Turbiinin vääntömomentin ja pyörimisnopeuden mittaus**

pvm

NIMIKE	MITTAUS ENNEN HUOLTOA	MITTAUS 1	MITTAUS 2	MITTAUS 3	KESKIARVO
Esim. W&H TA-98LCM	Ei tulosta	0,20 cNm	0,18 cNm	0,16 cNm	
Pyörimisnopeus	80 000 rpm	320 000 rpm	310 000 rpm	312 000 rpm	
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					
Pyörimisnopeus					
Vääntömomentti					

Ohjeistus

1. Merkitse tuotteen merkki ja malli sarakkeeseen "NIMIKE"
 2. Kiinnitä mittausakseli ensin mittalaitteeseen ja sen jälkeen huollettuun tai korjattuun turbiiniin.
 3. Aseta turbiini siten, että vesireikälevy ja valokuitu osoittavat ylöspäin. Mittalaitte on turbiinin yläpuolella.
 4. Kiinnitä turbiinin liitin paikalleen. Varmista että vedensyöttö on kytketty pois päältä.
- Avaa jalkaohjaimen säädintä varovasti, kunnes se on kokonaan auki.
5. Käännä mittarin pyörivää osaa myötöpäivään ja merkitse lukema pöytäkirjaan.
 6. Tee ensin alkumittaus ennen huoltoa. Sen jälkeen suoritetaan kolme mittausa ja merkitään jokaisen mittauksen tulos omaan sarakkeeseensa.
- Varmista että luet oikeaa mitta-asteikkoa.
7. Keskiarvoa ei tarvitse laskea, sarake täytetään myöhemmin.

Käytettävä mittalaitte: Tohnichi ATG045CN, mitta-asteikko 0,05 – 0,45 cNm

Toleranssi: ± 2%
Iurbine doctor -
sovellus

Toinen mittausjärjestely

