



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Oskari Virtanen

# KaVo X Pro™:n DFS-analyysi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.5.2019

Tekijä Otsikko	Oskari Virtanen KaVo X Pro™:n DFS-analyysi
Sivumäärä Aika	30 sivua + 3 liitettä 22.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Tuotantopäällikkö Jenni Uusnäkki Huoltotekniikkapäällikkö Juho Malin Lehtori Pekka Salonen
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin KaVo X Pro™ -intraoraaliskannerin huollettavuutta, sekä suunniteltiin korjaustyöhön soveltuva työpiste. Insinööriyön ensisijainen tavoite oli tutkia, mitkä laitteen osat tai osakokoonpanot ovat vaihdettavissa ilman, että laitteen suorituskyky kärsii. Purkutestien myötä pyrittiin myös tunnistamaan laitteen huollettavuutta hankaloittavat rakenteelliset ratkaisut. Työ toteutettiin Tuusulassa toimivan KaVo Kerr Group Finlandin toimeksiantona.</p> <p>Vuonna 2019 markkinoille saapuva, laserskannukseen perustuva KaVo X Pro™ edustaa täysin uutta teknologiaa Tuusulan tehtaan tuoteportfoliossa. Tämän myötä yritykseltä ei löydy aikaisempaa kokemusta pienten, optisia osia sisältävien laitteiden korjaamisesta. Työtä aloitettaessa käsitys oli se, että asiakkaalla rikkoontunutta laitetta ei pystytä rakenteellisten ratkaisujen ja tiukkojen puhtauskriteerien takia korjaamaan.</p> <p>Insinööriyön tuloksena saatiin määritettyä laitteen hallittu purkamisprosessi sekä ensimmäiset nykyisen rakenteen sallimat korjausmahdollisuudet. Työtä tullaan jatkamaan kokonaisvaltaisilla korjaustesteillä sekä korjattujen laitteiden kestotesteillä.</p>	
Avainsanat	Skannaus, intraoraaliskannaus, huollettavuus

Author Title	Oskari Virtanen KaVo X Pro™ DFS analysis
Number of Pages Date	30 pages + 3 appendices 22 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Machine Design
Instructors	Jenni Uusnäkki, Production Manager Juho Malin, Service Engineering Manager Pekka Salonen, Senior Lecture
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to research the serviceability of KaVo X Pro™ intraoral scanner and also to design a work station suitable for repair work. The primary target was to examine which individual parts or subassemblies can be replaced without affecting the performance of the device. Another goal was to identify those structural designs that do not allow wider service possibilities. This Bachelor's thesis was commissioned by KaVo Kerr Group Finland.</p> <p>The new KaVo X Pro™ device, launched in 2019, is based on laser scanning technology. The device represents brand-new technology in KaVo Kerr Tuusula's product portfolio. Thereby the company does not have previous experience of reworking or servicing this kind of devices. The starting point was that a broken or damaged KaVo X Pro™ cannot be repaired due to the structural design and strict cleanliness criteria.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, a controlled disassembling process of the device was defined. Also, the first service possibilities were defined for the current design. The project work will be continued with comprehensive rework tests combined with endurance tests.</p>	
Keywords	Scanning, laser scanning, serviceability

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet	1
1.2	KaVo Kerr Group Finland	1
2	Intraoraaliskannaus	2
2.1	Laserskannaus	2
2.2	Hammaslääketieteellinen käyttö (IOS)	3
3	Design for X	5
3.1	Design for Serviceability	5
3.2	Speed design review	6
4	KaVo X Pro™	7
4.1	Wandin rakenne	7
4.1.1	Elektroniikkakokoonpano	8
4.1.2	Pohjakuori kokoonpano	8
4.1.3	Päälikuori kokoonpano	8
4.1.4	Alikokoonpanojen yhdistäminen (vain työn tilaajan käyttöön)	9
4.2	Tuotannon vaatimukset	9
4.3	Lähtökohtainen käsitys huollettavuudesta	10
5	Korjausprosessin suunnittelu	11
5.1	KaVo X Pron korjausprosessin tavoite	11
5.2	Laitteen purkamisen testausvaiheet	11
5.2.1	Liiman ja lämmönjohtomassan käyttäytymisen testaus	11
5.2.2	Laitteen purkamisen työvaiheiden määrittäminen	14

5.3	Työvaiheet	15
5.3.1	Tiiviste- sekä lukitusrenkaan irrotus	15
5.3.2	Innerbulkheadin irrotus	15
5.3.3	Kuorien avaaminen	16
5.3.4	USB-kaapelin irrotus	18
5.3.5	Elektroniikkakokoonpanon nosto	18
5.3.6	<i>Heatsinkin</i> irrotus	19
5.3.7	Vanhojen lämmönjohtomassojen poisto	19
5.4	Korjausprosessin testaus	19
5.4.1	Testin kuvaus	20
5.4.2	Testin tulokset	20
5.5	Päätelmät korjattavuudesta	23
6	Korjaustyöpisteen suunnittelu	24
6.1	Korjaustyöpisteen vaatimukset	24
6.2	Luonnosvaihe	24
7	DFS- periaatteen mukaiset tuotekehityskohteet	26
7.1	Liitosmenetelmät	26
7.2	Lämmönjohtomassa	27
7.3	USB-kaapelin lukitus	27
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Kooste kolmen eri kalibrointikerran Flat FOM1 kuvista	
	Liite 2. Kooste kolmen eri kalibrointikerran linssivirhe histogrammi kuvista	
	Liite 3. Korjauspisteen suunnitteluvaiheessa avainhenkilöille jaettu palautelomake	

## Lyhenteet

DBS	<i>Danaher Business System</i> (Danaher-konsernin liiketoimintajärjestelmä)
DFE	<i>Design for Environment</i> (ympäristövaikutusten huomiointi suunnittelussa)
DFM	<i>Design for Manufacturing</i> (valmistettavuus)
DFS	<i>Design for Serviceability</i> (huollettavuuden huomiointi suunnittelussa)
DFX	<i>Design for X</i> (X:n huomiointi suunnittelussa)
DHR	<i>Device History Record</i> (laitetietohistoria)
IOS	Intraoraaliskanneri
SDR	<i>Speed design review</i> (KaVo Kerr:n tuotekehitysmalli)

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia KaVo X-Pro™ -intraoraaliskannerin korjausmahdollisuuksia sekä suunnitella korjausprosessin työvaiheet ja niihin soveltuva korjaustyöpiste. *Design for serviceability* (DFS) -analyysin avulla pyritään tunnistamaan huollettavuutta helpottavia, osiin tai rakenteisiin liittyviä tulevaisuuden tuotekehityskohteita. Työ tehdään KaVo Kerr Group Finlandille.

## 1.2 KaVo Kerr Group Finland

KaVo Kerr Group Finland, joka tunnetaan myös nimellä Palodex Group Oy on hammaslääketieteellisten kuvantamislaitteiden valmistamiseen keskittynyt yritys. KaVo Kerr Group Finland on osa KaVo Kerriä, joka kuuluu yhdysvaltalaiseen, New Yorkin pörssiin listautuneeseen tiede- ja teknologiayhtiö Danaheriin. [1.] Yhdysvaltalaisen talouslehti Fortune julkaisema Fortune 500 -lista sisältää luettelon julkisista yhdysvaltalaisista yhtiöistä järjestettynä liikevaihdon suuruuden mukaiseen järjestykseen. Vuonna 2018 Danaher sijoittui kyseisessä listauksessa sijalle 162. [2.]

KaVo Kerr Group Finlandin juuret ulottuvat professori Yrjö V. Paateron ja diplomiinsinööri Timo Niemisen vuonna 1964 perustamaan Ruusuvaara osakeyhtiöön. Yritys perustettiin valmistamaan ja kaupallistamaan kaksikon kehittämää ORTHOPANTOMOGRAPH™-laitetta. Se oli ensimmäinen teolliseen valmistukseen soveltuva hampaiden panoraamaröntgenkuvauslaite. [3.]

Nykyään Tuusulassa toimiva KaVo Kerr Group on yksi Suomen suurimmista terveysteknologian vientiyrityksistä. Tuusulan tehtaan tuoteportfolioon kuuluu laaja kirjo erilaisia röntgenlaitteita ja skannereita kaikkiin eri hammaslääketieteen tarkoituksiin. Seuraavana lisäyksenä tuoteportfolioon on tulossa hammashoidon uutta teknologiaa edustava intraoraaliskanneri KaVo X Pro. Tuotekehityksen ja tuotannon lisäksi Tuusulan

tehtaalla sijaitsee EMEA-alueen kuvantamisen teknisen tuen asiakaspalvelu. Tuusulan tehdas työllistää noin 400 ihmistä. [2.]

## 2 Intraoraaliskannaus

### 2.1 Laserskannaus

Laserskannaus on lasersäteitä ja etäisyyslaskentaa hyödyntävä mittaustekniikka. Skannauksen avulla pystytään mallintamaan mitattavan objektin näkyvillä olevat pinnanmuodot.

Peruseriaatteeltaan laserskannauksessa on kyse samanaikaisesta lasersäteiden hallitusta suuntaamisesta ja yksittäisten mittapisteiden etäisyyden laskemisesta x-, y- ja z-suunnassa. Aluksi lasersäteilylähteestä lähtevä säde hajautetaan erikoisvalmisteisten linssien avulla. Hajautettua lasersädettä kutsutaan myös laserkeilaksi. Peilien avulla suunnattu laserkeila muodostaa mitattavan objektin pinnalle viivaston, jota pystytään analysoimaan kameran tallentamien kuvien avulla. Kun laserkeilaa liikutetaan eri kohtiin mitattavalla pinnalla, kamera luo miljoonia yksittäisiä koordinaattipisteitä, joista muodostuu pistejoukko. Pistejoukkoa kutsutaan myös pistepilveksi (kuva 1).



Kuva 1. Havainnekuva skannaamalla muodostetusta pistepilvestä ja mallinnetusta ulkomuodosta [4.].

Optimaalisen skannaustuloksen saamiseksi skanneria tulee liikuttaa tasaisesti eri kulmissa koko mitattavan objektin alueella, jolloin pistepilvi kattaa kaikki näkyvät pinnat. [5; 6.]

## 2.2 Hammaslääketieteellinen käyttö (IOS)

Hammaslääketieteen nykuteknologiaa edustaa laserskannaukseen perustuva intraoraaliskannaus (IOS). Ammattikielisen termin suomennos on suunsisäinen skannaus. IO-skanneri on pienikokoinen, käsikäyttöinen laserskanneri, jolla hammaslääkäri pystyy nopeasti ja ennenkaikkea turvallisesti mallintamaan potilaan hampaiston.


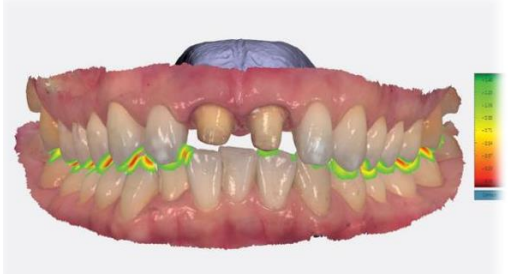


Kuva 2. KaVo X-Pro intraoraaliskanneri ja hammaslääkäri käyttämässä laitetta [7.].

Kaikkien markkinoilla olevien IO-skannereiden peruselementti on kädessä pidettävä sauva (*wand*). Se on käsikäyttöinen kamera, joka kerää skannausdataa potilaan suusta. Skannauksessa laser- ja/tai valkovoalo heijastetaan mitattavaan pintaan, josta se heijastuu takaisin sauvan sisällä olevalle sensorille tai kameralle. Skannauksessa käytetty tekniikka määrittelee skannausnopeuden, resoluution ja tulosten tarkkuuden.

Konkreettisesti IO-skannauksen hyödyt tulevat esiin esimerkiksi implantaatti-, kruunu- ja oikomishoitoprosessien nopeutumisena. Taulukossa 1 on havainnollistettu IO-skannauksen mahdollistamaa ajansäästöä hammaskruunun suunnittelussa.

Taulukko 1. Perinteisen ja digitaalisen hammaskruunun suunnitteluprosessin vertailu

<b>Hammaskruunun suunnitteluprosessi</b>			
<b>Perinteinen kipsivaluprosessi</b>		<b>Digitaalinen valmistusprosessi</b>	
			
Työvaihe	Kesto	Työvaihe	Kesto
Mahdollinen operointi ja tutkimus	<b>25 min</b>	Mahdollinen operointi ja tutkimus	<b>25 min</b>
Hammaslääkäri ottaa potilaan ylä- ja alaleuasta jäljennösmassaa puremalla negatiivi valumuotit. Lisäksi purenta jäljennetään puruluiskalla.	<b>1 h</b>	Hammaslääkäri skannaa IO-skannerilla ylä- ja alaleuan sekä purennan ja ohjelma luo digitaalisen 3d-mallin	<b>5 min</b>
Muotit ja puruluiska lähetetään laboratorioon	<b>1 - 2 päivää</b>	Hammaslääkäri suunnittelee hammaskruunun 3d-mallin pohjalta	<b>20 min</b>
Laboratorio valmistaa muottien perusteella kipsivalumallit, sekä tarkastaa purennan. Kipsivalumallin perusteella suunnitellaan ja valmistetaan kruunu. Jos negatiivimuoteissa tai puruluiskassa huomataan puutteita, hammaslääkäri kutsuu potilaan takaisin klinikalle ja prosessi alkaa alusta	<b>5 - 6 päivää</b>	Ohjelmoitava jyrsin tai 3d-printteri valmistaa kruunun	<b>25 min</b>
Kipsivalut ja valmis kruunu lähetetään takaisin klinikalle	<b>1 - 2 päivää</b>	Kruunun kovetus kiiltopolttamalla	<b>20 min</b>
		Kruunun sävytys ja kiillotus	<b>20 min</b>

Kulunut aika yhteensä ≈ **2**  
**viikkoa**

Kulunut aika yhteensä ≈ **2 h**

Kuten taulukosta 1 huomaa, IO-skannaus yhdistettynä nykyaikaiseen valmistusteknologiaan luo suuria ajansäästöä ja työn helpottumisen mahdollisuuksia hammaslääkärien jokapäiväiseen työhön.

Erilaisia IO-skanneriratkaisuja on ollut tarjolla jo lähes vuosikymmenen, mutta teknologian kehittyttyä ne ovat alkaneet vasta viime vuosina korvata perinteisiä menetelmiä.

### 3 Design for X

*Design for X* (DFX) -termi tarkoittaa tuotekehitysvaiheen ajatusmallia, jossa pyritään ottamaan huomioon erilaisia laitteen elinkaareen, tuottavuuteen tai esimerkiksi asiakaskokemukseen vaikuttavia suunnitteluteknisiä asioita. Termin X-kirjain kuvaa muuttujaa, jonka tilalle voidaan sijoittaa mikä tahansa tuotesuunnittelun tavoite. Perinteisiä teolliseen valmistamiseen tarkoitettujen tuotteiden tuotekehitysosia-alueita ovat esimerkiksi *Design for Manufacturing* (DFM), eli valmistettavuus ja *Design for Environment* (DFE), eli ympäristövaikutusten huomioiminen suunnittelussa. [8.]

#### 3.1 Design for Serviceability

Design for Serviceability (DFS) eli huollettavuus on yksi erittäin tärkeä tuotekehityksen osa-alue. Kun huollettavuus on huomioitu tuotetta suunniteltaessa, sillä voidaan laskea valmistus- tai komponenttivarheista johtuvia romutuskustannuksia. Romutuskustannukset näkyvät suoraan laitteen valmistuskustannuksissa ja sitä kautta liiketoiminnan tuottavuudessa. Huollettavuudella on myös iso merkitys tuotteen tarjoamalle asiakaskokemukselle. Mitä lyhyemmäksi vikatilanteesta johtuva käyttökatkos saadaan, sitä parempi on loppukäyttäjän samaa kokemus palvelusta. Laitevalmistajan näkökulmasta tuotannon saannon ja paremman asiakaskokemuksen lisäksi yksi merkittävä vaikutus on myös takuukulujen minimoituminen.

Huollettavuuteen pystytään vaikuttamaan monella suunnitteluteknisellä ratkaisulla. Ideaali tavoitetilä on se, että missä tahansa elinkaarenvaiheessa rikkoutunut tuote pystytään korjaamaan mahdollisimman pienillä romutuskustannuksilla ja mahdollisimman nopeasti. Romutuskustannuksia syntyy aina, kun osia joudutaan vaihtamaan uusiin.

### 3.2 Speed design review

*Speed design review* (SDR) on KaVo Kerr:n tuotekehitystä ohjaava toimintamalli. SDR perustuu nykyään laajalti eri yritysten käyttämään *Cross functional team* -toimintatapaan. Toimintatavalle ominaista on luoda organisaation eri osastoilla toimivista ihmisistä erillisiä työryhmiä. Työryhmällä tulee olla selkeä yhteinen tavoite, jota kohti kaikki työ tähtää. Toimintatavalla pyritään välttämään organisaation eri osastojen siiloutumista, eli eristäytymistä muista osastoista.

SDR on nykyään osa Danaher konsernin sisäistä *Danaher Business System* (DBS) -työkalupakkia. DBS on Danaherin liiketoimintajärjestelmä, joka pitää sisällään laajan kirjon erilaisia hyväksi todettuja toimintamalleja, eli DBS-työkaluja.

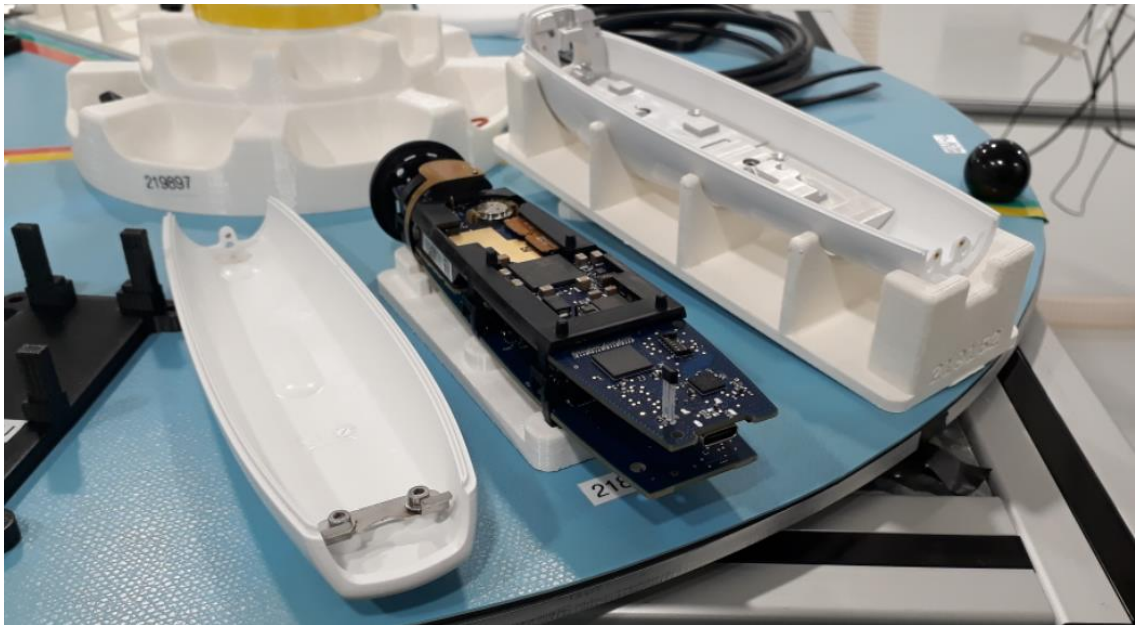
Konkreettisesti SDR tarkoittaa tehostettua tuotekehityksen toimintamallia, jossa pyritään alusta asti hyödyntämään kaikkea saatavilla olevaa tietämystä ja osaamista. Tuotekehitystiimiin pyritään mahdollisimman aikaisesta vaiheesta lähtien saamaan mukaan kaikkien eri osa-alueiden tai prosessien ammattilaisia. Yksi näkyvä ja tärkeä SDR:n piirre on myös se, että koko tuotekehitystiimin työpisteet pyritään sijoittamaan samaan tilaan, jota kutsutaan obeyaksi. *Obeya* on Lean-filosofiastaan tunnetulta Toyotalta peräisin oleva Japaninkielinen sana, joka tarkoittaa isoa huonetta. Huolto- ja huollettavuus ovat osa SDR:tä.

## 4 KaVo X Pro™

KaVo X Pro on vuonna 2019 markkinoille saapuva intraoraaliskanneri, joka lanseerataan täydentämään KaVo-brändin jo ennestään laajaa tuoteportfoliota. Laitteen kokoonpano, lopputestaus ja pakkaaminen suoriteaan KaVo Kerr Groupin Tuusulan tehtaalla. Muista Tuusulan tehtaalla suunnitelluista laitteista poiketen KaVo X Pro:n suunnittelu ulkoistettiin, mutta KaVo Kerr omistaa kaikki laitteeseen liittyvät patentit. Suunnitteluprosessin alihankinnasta johtuen laitteen suunnitteluprosessia ei ole toteutettu alusta asti Speed Design Review -toimintamallin mukaisesti.

### 4.1 Wandin rakenne

Wand, eli KaVo X Pro:n kädessä pidettävä osa, koostuu kolmen eri alikokoonpanon yhdistelmästä.



Kuva 3. Kokoonpanovaiheessa oleva laite. Vasemmalla päällikuori-, keskellä elektroniikka ja oikealla pohjakuorikokoonpano.

#### 4.1.1 Elektroniikkakokoonpano

Elektroniikkakokoonpano, eli laitteen toiminnallinen osa, rakentuu koko laitteen tärkeimmän ja samalla arvokkaimman yksittäisen alikokoonpanon, *Optical Benchin* (suom. optinen penkki), ympärille. *Optical Bench* -alukokoonpano sisältää suurimman osan laitteen toiminnallisista osista. *Optical Benchin* ylä- ja alapuolella on piirikortit, jotka kiinnittyvät *Optical Benchiin* liittimillä. Piirikorttien jälkeen kokoonpanon ympärille tulee muovinen pyyhkäisy- ja painonapit sisältävä tukirakenne *rib cage*.

#### 4.1.2 Pohjakuori kokoonpano

Pohjakuori kokoonpano sisältää muovisen kuoren lisäksi alumiinista valamalla valmistetun heatsinkin. *Heatsink* kiinnittyy pohjakuoreen kahdella M2,5x6 ruuvilla. *Heatsinkin* tehtävä on johtaa elektroniikkakokoonpanon komponenttien tuottama lämpö pohjakuoren kautta pois laitteesta. Lämmönjohtumisen tehostamiseksi *heatsinkin* alle, sekä päälle, levitetään sinistä lämmönjohtomassaa.

#### 4.1.3 Päälikuori kokoonpano

Päälikuori kokoonpano sisältää muovisen kuoren lisäksi metallisen klipsin, eli *bracketin*, jonka tarkoitus on kiinnittää kuoret toisiinsa wandin takaosassa.



Kuva 4. Päälikuori kokoonpano. Lukitus-bracket oikealla.

#### 4.1.4 Alikokoonpanojen yhdistäminen (vain työn tilaajan käyttöön)

### 4.2 Tuotannon vaatimukset

KaVo X Pro -laite koostuu muiden markkinoilla olevien IO-skannereiden tapaan pienistä ja ennen kaikkea herkistä optisista linseistä ja kameroista. Kokoonpano vaatii erittäin puhtaat ja partikkelikontrolloidut tuotantotilat. Tuusulan tehtaalla on kokoonpanoa varten ISO-6 -luokan modulaarinen partikkelikontrolloitutila (kuva 5). Puhtautta ylläpidetään standardisoiduilla päivittäisillä, viikottaisilla ja kuukausittaisilla siivoustoimenpiteillä. Tuotantotilan puhtautta seurataan partikkelimittareilla, joiden keräämä data kerätään talteen.



Kuva 5. Tuusulan tehtaalla modulaarinen partikkelikontrolloitutila. Yläpuolella kuva tilasta ulkoapäin ja alapuolella kuva rakennusvaiheessa olevasta sisätilasta.

Puhtausvaatimusten lisäksi tuotannon toimintaa ohjaavat erilaiset medikaalilaitteiden tuotantoa koskevat määräykset. Määräykset ovat pitkälti maa- tai maanosakohtaisten viranomaistahojen laatimia vaatimuksia, jotka oikeuttavat medikaalilaitteiden myynnin kyseisellä alueella. Konkreettisenä esimerkkinä tuotantoon vaikuttavasta vaatimuksesta on poikkeuksellisen kattavan laitetietohistorian (DHR, Device History Record) kerääminen ja ylläpito.

Kolmas laitteen pienestä fyysisestä koosta ja kokoonpanon pienistä toleransseista johtuva vaatimus on tarkkuus. *Optical bench* -alikokoonpanon sisältämät linssit, peilit ja kamerat vaativat muutamien mikrometrien tarkkuudella tehtyjä asemoiteja, jotta laite toimii oikein. Tämä aiheuttaa vaatimuksia myös pääkokoonpanolle, koska tarkkaan asemoituja komponentteja ei haluta vahingoittaa tai liata.

#### 4.3 Lähtökohtainen käsitys huollettavuudesta

Missä tahansa elinkaaren vaiheessa rikkoutuneen KaVo X Pro -laitteen korjausmahdollisuudet ovat haastavat verrattuna muihin Tuusulan tehtaalla valmistettaviin laitteisiin. Useista liimausta käyttävistä työvaiheista sekä tiukoista puhtausvaatimuksista johtuen laitetta ei voi lainkaan purkaa asiakkaan tai jakelijan luona. Tätä työtä aloitettaessa lähtökohtainen käsitys oli se, että Tuusulan tehtaalle lähetettyä rikkoutunutta laitetta ei voida huoltaa tai hyödyntää muullakaan tavalla asiakkaan näkökulmasta.

## 5 Korjausprosessin suunnittelu

### 5.1 KaVo X Pron korjausprosessin tavoite

Laitteen korjausprosessin lähtökohtainen tavoite on pystyä purkamaan laite hallitusti ja ennenkaikkea puhtaasti. Avatusta laitteesta halutaan pystyä hyödyntämään mahdollisimman paljon ehjiä osia, jotta romutuskustannukset pysyvät pieninä. Korkeimmalla prioriteetilla ovat kalleimmat yksittäiset osat ja alikokoonpanot. Korjauskyvyn ensimmäinen tavoite on suunnitella prosessi, jolla pystytään takaamaan laitteen hallittu avaaminen, sekä elektroniikkakokoonpanon saaminen pois laitteesta ilman likaantumista tai rikkoontumista. Toinen tavoite on pystyä tekemään muutamia, ennalta yksinkertaisimmiksi arvioituja, komponenttien vaihtoja. Tällaisia ovat esimerkiksi USB-kaapelin ja *inner bulkheadin* vaihto.

### 5.2 Laitteen purkamisen testausvaiheet

Testausvaiheilla pyrittiin saamaan käsitys laitteen huollettavuudesta. Oikeita, asikkailta palautuneita laitteita ei vielä tässä vaiheessa päästy purkamaan, mutta testeissä hyödynnettiin tuotekehitykseen tarkoitettuja osia ja laitteita.

#### 5.2.1 Liiman ja lämmönjohtomassan käyttäytymisen testaus

Ensimmäinen testauksen esityö oli valmistella testikuoret liiman ja lämmönjohtomassan käyttäytymisen testaamiseen. Esitöinä kokoonpantiin kolme keskenään samanlaista protokokoonpanoa. Ne sisälsivät vain kuoret sekä niiden kiinnittymiseen vaikuttavat osat. Kokoonpanot numeroitiin ja ne jätettiin erilaisiin olosuhteisiin odottamaan myöhempää purkuajankohtaa. Yksi kokoonpanoista laitettiin aluksi kymmeneksi päiväksi olosuhdekaappiin. Kaappi ohjelmoitiin vaihtelevaan lämpötilaa 20 ja 40 °C:n välillä. Näin simuloitiin sitä, että laite olisi ollut päällä ja sen lämpötila olisi vaihdellut. Tällä testillä haluttiin nähdä, miten aika ja muuttuvat olosuhteet vaikuttavat käytettyihin kemikaaleihin.

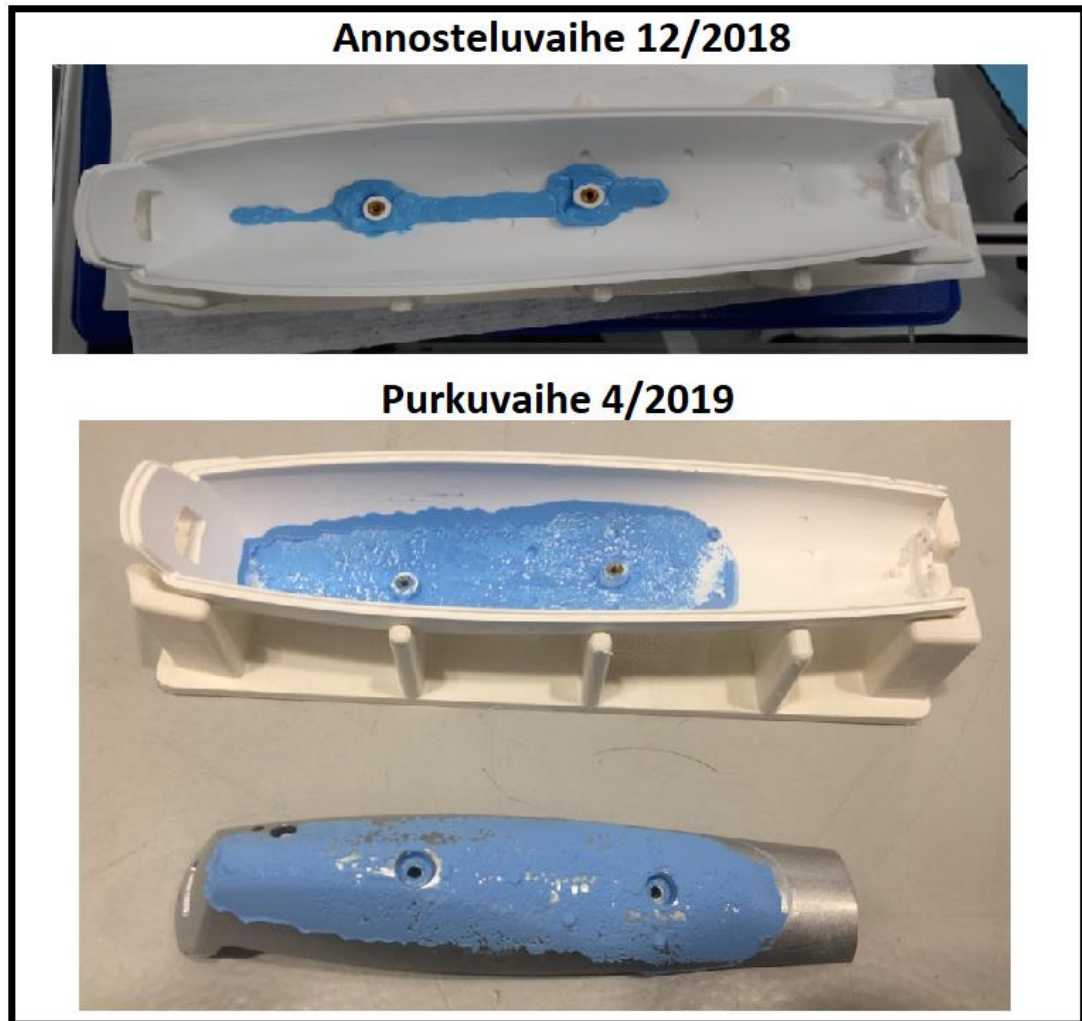
Protokokoonpanot purettiin neljä kuukautta kiinnittämisen jälkeen. Purkamisen yhteydessä todettiin, että kuorien välissä oleva liima ei kovettunut täysin kovaksi, vaan käyttäytyi valmistajan määrittelemällä tavalla. Liiman kuuluu jäädä tahmeaksi ja aueta tasaisen, ulospäin suuntautuvan voiman vaikutuksesta.

Kuoriliitosta avatessa päälikuoreen tarttunut liima venyi säikeiksi (kuva 6). Tämä ilmiö on syytä ottaa huomioon kuorien avauksessa, koska säikeet eivät saa kulkeutua elektroniikkakokoonpanon linsseille. Tässä testissä säikeet eivät kuitenkaan irronneet, vaan tarttuivat joko ylä- tai alakuoreen. Liiman käyttäytymistä vielä pidemmällä aikavälillä on syytä tutkia lisää.



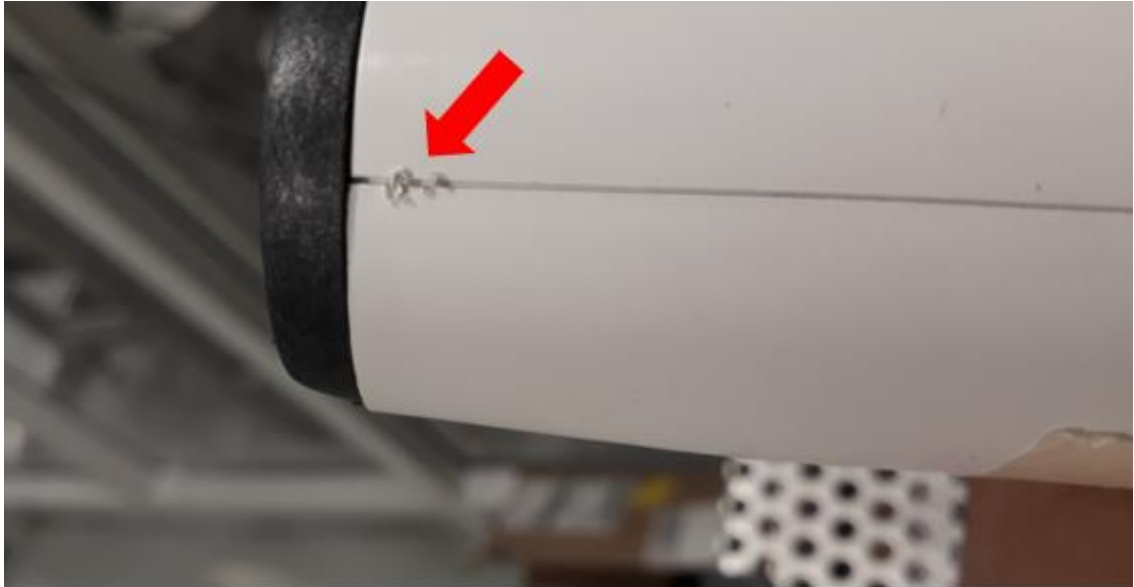
Kuva 6. Protokokoonpanon avausvaihe. Saumassa näkyvissä venyneitä liimasäikeitä (merkattu nuolella).

Pohjakuoren ja heatsinkin väliin annosteltu lämmönjohtomassa ei lähtenyt murentumaan testiajanjakson jälkeen. Pohjakuoreen annosteltu massa oli edelleen hieman tahmeaa ja sen puhdistus onnistui suhteellisen helposti käsin. Vanhan massan poisto ruuvien rei'istä osoittautui hankalaksi. Vaihtoehtoinen puhdistustapa voisi olla ultraäänipesu, joka irrottaisi myös ahtaissa koloissa olevat jäämät (kuva 7).



Kuva 7. Lämmönjohtomassan annostelu- ja purkuvaiheet.

Testien perusteella kuorien avaaminen ilman niiden vahingoittumista osoittautui hankalaksi. Kuorien avaamisessa joutui hyödyntämään talttapäisiä vääntimiä, jotka jättävät helposti jälkiä maalipintaan (kuva 8). Korjausprosessin kannalta tämä tarkoittaa sitä, että kuoret joutuu vaihtamaan avaamisen jälkeen uusiin.



Kuva 8. Kuorien irti kampeamisesta jääviä jälkiä.

### 5.2.2 Laitteen purkamisen työvaiheiden määrittäminen

KaVo X Pro:n purkamisen työvaiheita lähdettiin määrittelemään kokoonpano-ohjeen avulla. Purkaminen tapahtuu pitkälti käänteisessä järjestyksessä, mutta purkutyövaiheet vaativat uudenlaisia työkaluja. Työvaiheiden määrittämisessä hyödynnettiin kahta toimimatonta, mutta kaikki osat sisältävää testikokoonpanoa. Karkean paperille tehdyn prosessikaavion pohjalta testikokoonpanot purettiin ja työvaiheet koostettiin taulukkoon 2.

Taulukko 2. Laitteen purkuprosessin työvaiheet, sekä työkalusuunnittelun tarve.

Vaihe	Työvaihe	Vaatii työkalun määrittämisen
1	Tiiviste- sekä lukitusrenkaan irrotus	
2	Innerbulkheadin irrotus	X
3	Kuorien avaaminen	X
4	USB-kaapelin irrotus	
5	Elektroniikkakokoonpanon nosto	X
6	Heatsinkin irrotus	
7	Vanhojen lämmönjohtomassojen poisto	X

### 5.3 Työvaiheet

Työvaiheiden sisällöstä tullaan koostamaan rework-ohje, jonka avulla operaattori pystyy purkamaan laitteen hallitusti.

#### 5.3.1 Tiiviste- sekä lukitusrenkaan irrotus

Tiiviste- ja lukitusrenkas ovat lähtökohtaisesti romutettavia osia, koska niitä on vaikea todeta käyttökuntoisiksi irrotuksen jälkeen. Kyseiset osat ovat myös halpoja. Irrotus onnistuu lattakärkisillä pinseteillä.

#### 5.3.2 Innerbulkheadin irrotus

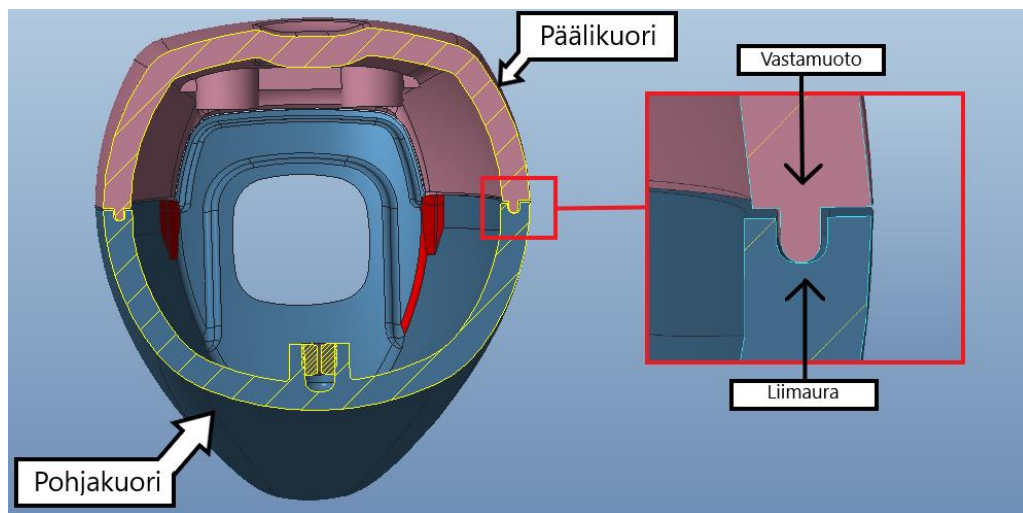
Innerbulkhead on kiinni kolmella ruostumattomasta teräksestä valmistetulla, ei magneettisella M1,4x5 ruuvilla. Ruuvien aukaisemiseen voidaan käyttää pientä talttapää ruuvimeisseliä. Purkutestissä huomattiin, että ruuvien pienestä koosta johtuen, ruuvit jäävät helposti kiinni innerbulkheadin ruuviupotuksiin. Laitteen kääntäminen ylösalaisin ei myöskään aina irrota ruuveja, jolloin tiukkaan sovitettua innerbulkheadia ei pääse nostamaan mistään (kuva 9).



Kuva 9. *Innnerbulkheadin* nosto. Ruuvit on otettu pois rei'istä, jolloin ulospäin aukeavilla pihdeillä pystyy nostamaan innerbulkheadin pois paikaltaan.

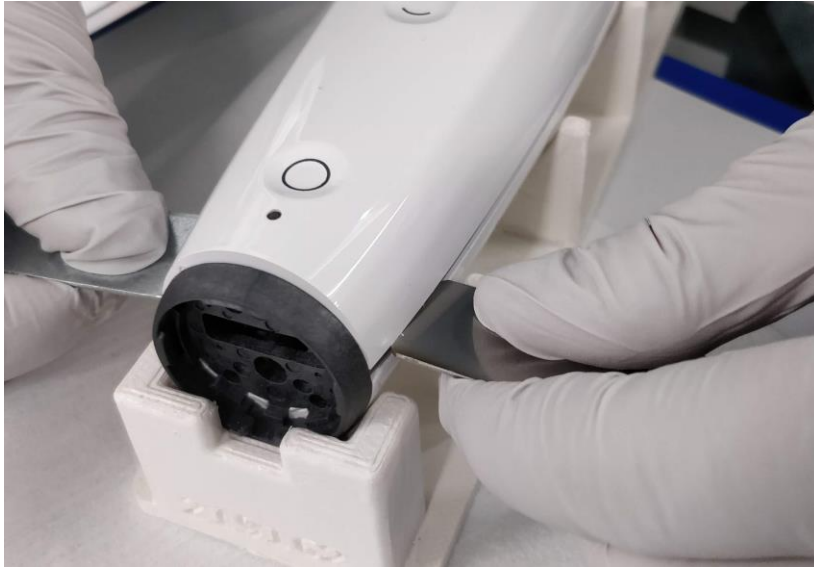
### 5.3.3 Kuorien avaaminen

Laitteen purkuprosessin kolmas vaihe on laitteen kuorien avaaminen. Kuoret on liimattu toisiinsa UV-aktivoituvalla paineherkällä liimalla. Liiman ominaisuuksiin kuuluu se, että liima ei kovetu täysin kovaksi vaan se jää hieman tahmeaksi. Avaamisvaiheessa on huomioitava se, että irtoavat liimansäikeet eivät saa päästä laitteen sisälle. Kuorien avaamiseen tulee suunnitella myös työvaiheeseen sopiva työkalu ja jigi, jossa kuoria pystyy tukevasti ja helposti vääntämään irti toisistaan. Liima levitetään pohjakuoressa olevaan liimauraan. Pääliikuoressa olevan liimauran vastamuoto painuu UV-aktivoituun liimaan (kuva 10).



Kuva 10. Leikkauskuva kuorikokoonpanosta. Osasuurenoksessa pohjakuoren liimaura sekä pääliukuoren vastamuoto.

Kuorien välissä olevan liiman ominaisuuksiin kuuluu se, että liimasauma aukeaa paineella. Tämä tarkoittaa irrotusprosessin kannalta sitä, että kuoria tulee kammata irti toisistaan tasaisesti kasvavalla voimalla. Purkutestien avulla oikeaksi menetelmäksi koitui litteän työkalun kiertäminen liimasauman leveysuunnassa pohjakuoren muotoisen tuen päällä (kuva 11).



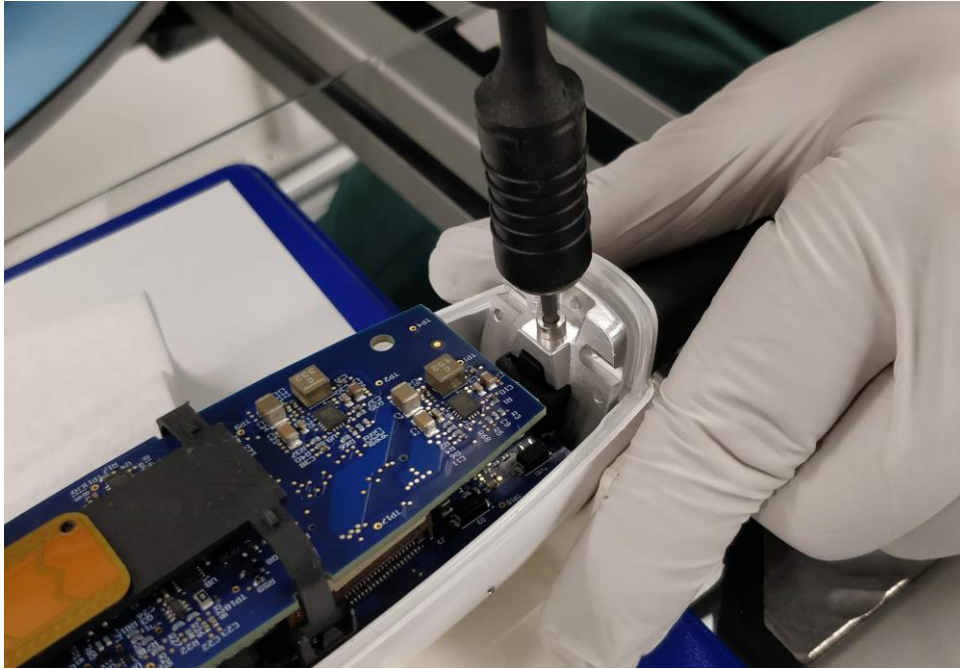
Kuva 11. Kuorien irti kampeaminen. Laite on aseteltu pohjakuoren muotoiselle 3D-printatulle jigille ja liitoskohtaa kammetaan irti kiertämällä kahta ohutta metallilevyä.

Kun kuoret on saatu kammettua hieman irralleen, päälukuori irtoaa käsin nostamalla ja samanaikaisesti koko kuorta hieman bulkheadin suuntaan työntämällä.

Purkutesteissä liima jäi avattaessa kiinni kuoriin. Näin ollen liimasäikeiden ei uskota kulkeutuvan elektroniikkakokoonpanon Optical Benchin komponenteille. Työvaiheessa on kuitenkin syytä kiinnittää erityistä huomiota puhtauden ylläpitoon, joten avaustyövaiheen yhteyteen on tarve hankkia kohdepoistimuri.

#### 5.3.4 USB-kaapelin irrotus

USB-kaapelin liitin on lukittu yhdellä M2,5x6 ruuvilla. Ruuvi voidaan avata 3 mm:n kuusiokolovääntimellä, minkä jälkeen liitin voidaan irrottaa käsin vetämällä. Työvaihe voidaan suorittaa pohjakuoren muotoisella jigillä (kuva 12).



Kuva 12. USB-kaapelin lukitusruuvin irrotus.

#### 5.3.5 Elektroniikkakokoonpanon nosto

Elektroniikkakokoonpanon alemmassa piirikortissa on kolme maadoitustappia, jotka uppoavat heatsinkin reikiin. Elektroniikkakokoonpanoa pitää nostaa tasaisesti, jotta maadoituspinnit eivät taitu tai jopa katkea. Piirikorttien komponentteja tulee varoa nostopisteitä suunniteltaessa. Wandin etupäästä elektroniikkakokoonpanoa pystyy nostamaan käsin. Takaosassa elektroniikkakokoonpanon alempaan piirikorttiin pääsee käsiksi USB-kaapelin poiston jälkeen. USB-kaapelin reiän kautta pystyy viemään lattapäisen työkalun piirikortin alle, minkä jälkeen elektroniikkakokoonpanoa pystyy nostamaan tasaisesti molemmilta puolilta.

Heatsinkin ja piirikortin väliin on myös annosteltu lämmönjohtumista tehostavaa massaa. Lämmönjohtomassa kovettuu ajan myötä massamaiseksi, jolloin se tarttuu myös ympärillä oleviin pintoihin. Tarttuminen tulee ottaa huomioon nostovaiheessa, koska kovettuneesta massasta ei saa irrota murusia, jotka kulkeutuvat optiikan linsseille.

### 5.3.6 *Heatsinkin irrotus*

*Heatsinkin* irrotuksessa avataan kaksi pohjakuoreen kiinnittyvää ruuvia. Ruuvien avaamisen jälkeen heatsinkin irrotus onnistuu talttapäisellä ruuvimeisselillä.

### 5.3.7 Vanhojen lämmönjohtomassojen poisto

Vanhan lämmönjohtomassan poisto piirilevyistä vaatii erityistä tarkkuutta, sillä piirikortit sisältävät herkkiä komponentteja. Kontaktin irrotessa lämmönjohtomassa jää yleensä roikkumaan joko piirikorttiin tai heatsinkkiin. Suurimpien jäämien poisto onnistuu helpoiten muovisilla, latakärkisillä pinseteillä. Lisäksi työvaiheessa on syytä käyttää kohdepoistoimuria, jolla esteään pienten massan murusten kulkeutuminen optisille linsseille.

## 5.4 Korjausprosessin testaus

KaVo X Pro -hankkeessa on alkamassa niin sanottu limited launch -vaihe, jossa laitteita valmistetaan ensimmäisille valikoiduille asiakkaille käyttäjäpalautteen saamiseksi. Tästä johtuen asiakkailta palautuneita laitteita ei saavu Tuusulaan vielä tämän insinööri työn tekemisen aikana. Suunniteltua korjausprosessia ei siis pystytä testaamaan vielä oikeilla asiakaslaitteilla. Osia ei myöskään haluta käyttää vielä tässä vaiheessa pelkästään korjausprosessin testaukseen.

Tuotekehityksen tarpeisiin valmistetuissa laitteissa ilmeni kuitenkin tämän työn tekemisen aikana vikoja, jotka vaativat laitteiden purkamista ja vikojen etsintää. Laitteen korjaus/rework -tarvetta päätettiin käyttää myös hyödyksi korjausprosessin testauksessa. Testipurusta laadittiin workflow- ja laadunmittaussunnitelma.

#### 5.4.1 Testin kuvaus

Kahdessa laitteessa ilmeni kosketusnäppäimissä sama vika, jonka uskottiin korjautuvan vaihtamalla rib cage -rakenteessa kiinni oleva kapasitiivinen kosketusanturi. Jotta anturi saadaan vaihdettua, laitteen joutuu purkamaan siihen saakka, että elektroniikkakokoonpano on irrallaan.

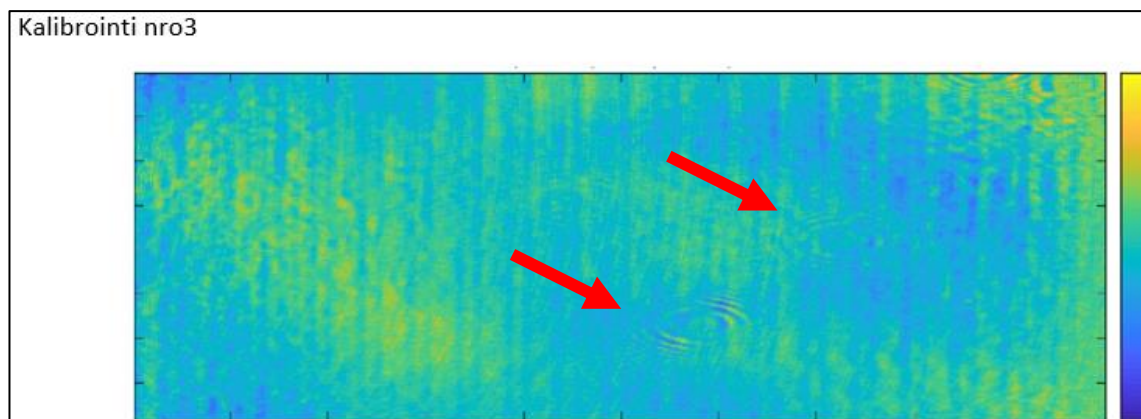
Laitteiden purkamisprosessi toteutettiin tässä insinööriyössä määriteltyjen työvaiheiden mukaisesti. Korjausprosessin laatua mitattiin eri vaiheissa tehtyjen loppukalibrointien tuloksia vertailemalla.

#### 5.4.2 Testin tulokset

Rib cage -rakenne oli lopulta ainoa osa, joka kokoonpanoon vaihdettiin. Vianetsinnän sekä erilaisten testien takia laitetta jouduttiin kuitenkin avamaan ja sulkemaan useita kertoja korjausprosessin aikana. Korjausprosessi altisti siis laitetta likaantumiselle jopa alkuperäistä suunnitelmaa enemmän.

Loppukalibroinnissa laitteella otetaan kuvia kalibrointimalleista. Kalibrointimallien mitat tiedetään tarkalleen. Kun skannerin ottamia kuvia verrataan tietokoneohjelman avulla absoluuttisiin oikeisiin arvoihin, pystytään määrittämään tietyn laitteen kuvantamisvirheen määrä. Tässä korjausprosessin testauksessa laite kalibroititiin kolme kertaa. Ensimmäinen kalibrointi tehtiin heti ensimmäisen kokoonpanokerran jälkeen. Toinen kalibrointi suoritettiin ensimmäisen purku- ja korjausprosessin jälkeen ja kolmas, kun laitetta oli avattu ja suljettu jo useampaan kertaan ja kuoret suljettiin viimeisen kerran.

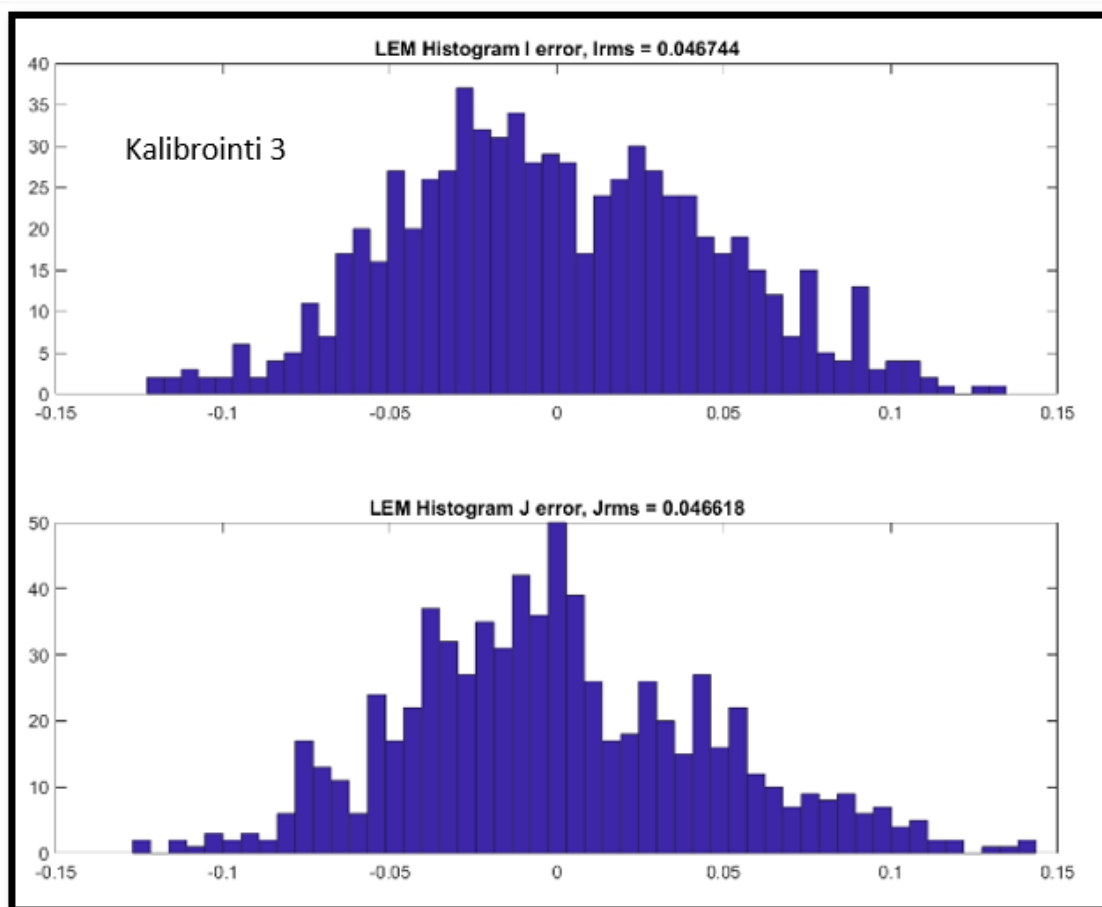
Kalibrointituloksista valittiin tarkasteluun kaksi eri kuvasarjaa. Ensimmäisessä kuvasarjassa pyritään näkemään, pysyvätkö laite ja ennen kaikkea sen linssit puhtaina korjausprosessin aikana. Puhtauden tarkastelussa hyödynnettiin niin sanotun tasaisenpinnan mittauskuvia (kuva 13, liite 1)



Kuva 13. Korjausprosessin jälkeisen kalibrointikerran Flat FOM1 (figure of merit channel) -kuva. Punaisilla nuolilla merkattu jollakin laitteen linseillä olevien partikkelien aiheuttamat vääristykset.

Kuvasta 13 nähdään, että laitteen linssille on kulkeutunut partikkeleita. Ideaalitulanteessa partikkelien aiheuttamia vääristymiä ei olisi ollenkaan, mutta näin pienet vääristymät eivät vaikuta vielä laitteen suorituskykyyn. Jos verrataan korjausprosessin jälkeistä kalibrointikuvaa (kuva 13) lähtökohtaan (liite 1.), voidaan todeta, että normaalia rajumpi korjausprosessi ei ole sotkenut laitteen linssettä liikaa. Liitteen 1 tuloksista on jopa nähtävissä, että ensimmäisen kalibroinnin aikaiset partikkelit on ensimmäisellä korjaus- ja puhdistuskerralla saatu poistettua kokonaan. Useiden avaamis- ja sulkemisvaiheiden jälkeen kuviin on ilmestynyt uusia partikkeleita, mutta ne ovat silti pienempiä kuin aloitettaessa.

Toisessa kuvasarjassa tarkastellaan kuvantamisen virheen määrää (kuva 14). Hyväksyntäraja virheen keskiarvolle (Irms ja Jrms) on 0.06. Yksikkönä on pikseli.



Kuva 14. Virnehistogrammi kolmannen kalibroinnin tuloksista. X-akseliin numerot merkitsevät virheen arvoa ja palkin korkeus sitä, monessako pikselissä on kyseisen suuruinen virhe. Kalibrointivaiheen tulosten hyväksyntäraja on keskiarvo  $Irms < 0.06$ .

Kuvasta 14 voidaan todeta, että korjausprosessi ei ole vaikuttanut laitteen suorituskykyyn. Liitteessä 2 on esitelty koostettuna kaikkien kalibrointien tulokset. Niiden perusteella voidaan todeta, että virheen keskiarvo on pysynyt periaatteessa samana koko korjausprosessin ajan. Ero ensimmäisen ja kolmannen kalibroinnin välillä on n. 1/1000 pikseliä.

## 5.5 Päätelmät korjattavuudesta

Suoritettujen testien perusteella jo laitteen nykyisestä rakenteesta pystyy suurella todennäköisyydellä vaihtamaan muutamia osia tai osakokoonpanoja ilman, että laitteen suorituskyky kärsii. Helposti vaihdettavia osia tai osakokoonpanoja ovat innerbulkhead, USB-kaapeli ja rib cage -rakenne, joka sisältää kosketusnäppäimet. Kaikki nämä osat joko irrotettiin tai vaihdettiin uusiin testien aikana.

Kaikille muille korjaustoimenpiteille paitsi innerbulkheadin vaihtamiselle yhteistä on se, että laitteen ulkokuoret täytyy irrottaa ja sen myötä vaihtaa uusiin. Kuorien avaamisesta jää helposti silmin havaittavia jälkiä. Vanhojen liimojen poisto ei myöskään onnistu ilman maalipintaan mahdollisesti vaikuttavia kemikaaleja.

Testien perusteella laitteen piirilevyt olisivat myös helposti vaihdettavissa. Tätä ei kuitenkaan päästy vielä testaamaan tämän insinööriyön toteutuksen aikana. Piirilevyt ovat helposti irrotettavissa, kun elektroniikkakokoonpano on nostettu pois ja rib cage -rakenne irrotettu. Huomioitavia ja selvitystä vaativia asioita on kuitenkin piirilevyn liittimien kesto sekä vanhan lämmönjohtomassan irrotus.

Työtä tullaan jatkamaan yhdistetyillä korjaus- ja kestopesteillä. Tämän insinööriyön toteutuksessa opittuja asioita tullaan jatkossa hyödyntämään laajemmissa korjaustesteissä. Tarkoituksena on suorittaa useammalle laitteelle korjaustoimenpiteitä, minkä jälkeen laitteita kuormitetaan pitkäjaksoisesti. Näin pyritään saamaan käsitys huoltoprosessin vaikutuksista laitteen elinkaareen.

## 6 Korjaustyöpisteen suunnittelu

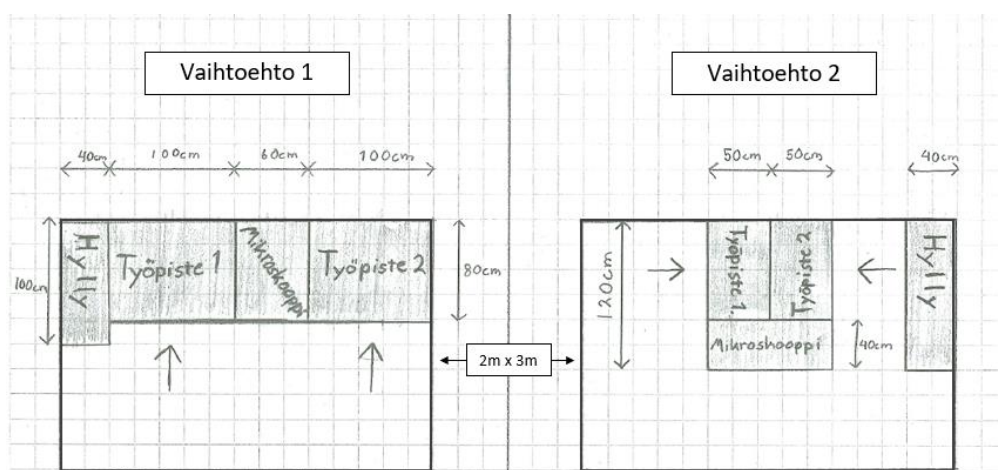
### 6.1 Korjaustyöpisteen vaatimukset

Korjaustyöpisteelle oli varattu puhdistilasta 2 m x 3 m lattiapinta-ala. Työpisteellä tulee pystyä suorittamaan laitteen purkaminen, osien vaihto tai puhdistus sekä työn dokumentointi. Aluksi työpisteellä hyödynnetään vieressä olevan tuotantolinjan testauslaitteistoa. Työpisteellä tulee olla tilaa vähintään kahdelle työntekijälle, jotta myös tuotantolinjalla vikaantuneet laitteet pystytään huoltamaan riippumatta asiakkailta palautuneiden laitteiden määrästä.

Työpisteeltä tulee löytyä kaikki laitteen kokoamiseen tarvittavat työkalut sekä tuotantojigit. Molemmilta työpisteiltä tulee löytyä tietokone laitteiden uudelleenkäsittelyn dokumentointia varten. Työpisteeltä tulee myös löytyä paikka yhdelle tietokoneeseen liitettävälle mikroskoopille.

### 6.2 Luonnosvaihe

Työpisteen suunnittelu aloitettiin luonnostelemalla paperille muutama eri vaihtoehto korjauspisteen layoutista. Ensimmäisten luonnosten perusteella parhaiksi vaihtoehdoiksi valikoituivat kuvan 15 mukaiset kaksi vaihtoehtoa.



Kuva 15. Kaksi luonnosta korjaustyöpisteen layoutista



## 7 DFS- periaatteen mukaiset tuotekehityskohteet

### 7.1 Liitosmenetelmät

Työn toteutuksen aikana yleisin eteen tullut ongelma oli liimattujen komponenttien tai alikokoonpanojen vaihtaminen joko rikkoontumisen, tai likaantumisen takia. Liimaliitoksille ominaiseen tapaan niiden avaaminen kovettumisen jälkeen on periaatteessa mahdotonta. Joissakin tapauksissa liimattuja komponentteja pystyy vielä irrottamaan, mutta vanhojen liimojen poistaminen vahingoittamatta komponentteja ei ole mahdollista.

KaVo X-Pron komponenttien vaihtomahdollisuudet ilman kuorien avaamista ovat erittäin rajoittuneet. Periaatteessa ilman kuoriliitoksen avaamista vaihdettavissa on vain liitoksen sulkeva innerbulkhead. Kuorien avaamisen jälkeen kuoret menevät aina romutukseen, koska kuorien välissä olevaa liimaa ei pysty poistamaan liimaurasta ilman maalipintaan vaikuttavia kemikaaleja. Kuorien romutuskustannukset ovat verrattain kohtuulliset, mutta vaihtamisesta aiheutuva lisätyö sekä vie aikaa, että altistaa muut herkät ja kalliit komponentit likaantumiselle tai jopa rikkoontumiselle.

Kuorien kiinnitysmekanismi koostuu takaosan kiilaliitoksesta, sekä liitoksen yhdessä pitävästä etuosan kolmesta ruuvista. Kuorien väliin tulevan liima toimii kokoonpanossa periaatteessa pelkästään tiivisteenä. Yksi tulevaisuuden kehityskohteista voisikin olla selvittää vaihtoehtoisia tiivistystapoja.

## 7.2 Lämmönjohtomassa

Tällä hetkellä käytössä olevan lämmönjohtomassan ominaisuuksiin kuuluu kovettuminen ajan myötä. Kovettuneen massan huonona puolena on ympäristön liikkeestä johtuva lohkeilu ja ennen kaikkea lohjenneiden murusten kulkeutuminen laitteen linsseille. Laitteen huollettavuuden kannalta nämä ominaisuudet näkyvät vanhan massan poistamisen vaikeutena. Kun esimerkiksi irrottaa piirilevyjä toisistaan, välissä oleva lämmönjohtomassa lähtee lohkeilemaan. Pääsääntöisesti vanha massa pyritään poistamaan muovikärkisillä pinseteillä, mutta se on haastava työvaihe juuri lohkeilun takia. Pienien murusten poistaminen pinseteillä altistaa myös piirilevyn komponentteja rikkoutumiselle.

Vaihtoehtona tämänhetkisellemme käsin annosteltavalle lämmönjohtomassalle on samaan tarpeeseen yleisesti käytetty lämmönjohtomatto. Matto on yleensä valmiiksi muotoon leikattua, jolloin vältetään ylimääräisen massan pursuaminen ei-haluttuihin paikkoihin. Maton eduksi voidaan lukea myös helpompi asennus, sekä irrotus.

## 7.3 USB-kaapelin lukitus

Laitteen ulkoisen kaapelin rikkoutuminen on yksi mahdollinen asiakapalautuksen syy. Tämänhetkisellemme rakenteella USB-kaapelin vaihto vaatii kuitenkin kuorien irrottamisen, joka taas luo paljon lisätyötä ja altistaa laitteen likaantumiselle.

Tulevaisuuden tuotekehityskohde voisi olla erilaisen kaapelin lukituksen suunnitteleminen. USB-kaapelin tulisi olla vaihdettavissa ilman, että kuoria joudutaan avaamaan. Yksi vaihtoehto on sijoittaa lukitusruuvi kuorien ulkopuolelle. Tällöin kaapeli pystytään vaihtamaan avaamatta kuoriliitosta.

Toinen vaihtoehto ongelman poistamiseen olisi lukitusruuvien poistaminen. USB-liittimen tyyppi tulisi vaihtaa painamalla lukkiutuvaksi, eli niin sanotusti perinteiseksi USB-liittimeksi. Haasteeksi muodostuu kuitenkin liitoksen tiiveys. Oikeanlaisella tiivisteellä ja tarpeeksi tiukalla soviteella liitos voisi kuitenkin olla tehtävissä.

## 8 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin KaVo X Pro -intraoraaliskannerin korjausmahdollisuuksia, sekä suunniteltiin korjausprosessia. Tavoitteena oli myös tunnistaa korjattavuutta heikentävät rakenteelliset ratkaisut. Työn keskeisin tavoite oli saada alustava käsitys siitä, mitä osia tai osakokoonpanoja voidaan vaihtaa ilman, että laitteen suorituskyky kärsii. Korjausprosessin määrittämisen kautta haluttiin myös saada suunnitelma siitä, millaisella työpisteellä työtä tulisi tehdä. Työssä hyödynnettiin tuotekehitykselle varattuja osia ja laitteita.

Purkutestien avulla onnistuttiin määrittelemään laitteen purkamisen työvaiheet. Testien ja ennen kaikkea niiden tulosten analysoinnin perusteella onnistuttiin määrittelemään myös kolme helposti vaihdettavaa osaa tai osakokoonpanoa. Innerbulkhead, USB-kaapeli ja rib cage -rakenne olivat kaikki testien perusteella vaihdettavissa ilman, että laitteen suorituskyky heikkenee. Purkutestit olivat normaalia rework-prosessia laajemmat ja altistivat näin laitteita likaantumiselle normaalia enemmän, mutta loppukalibrointien tulokset olivat silti hyväksyntärajojen mukaiset.

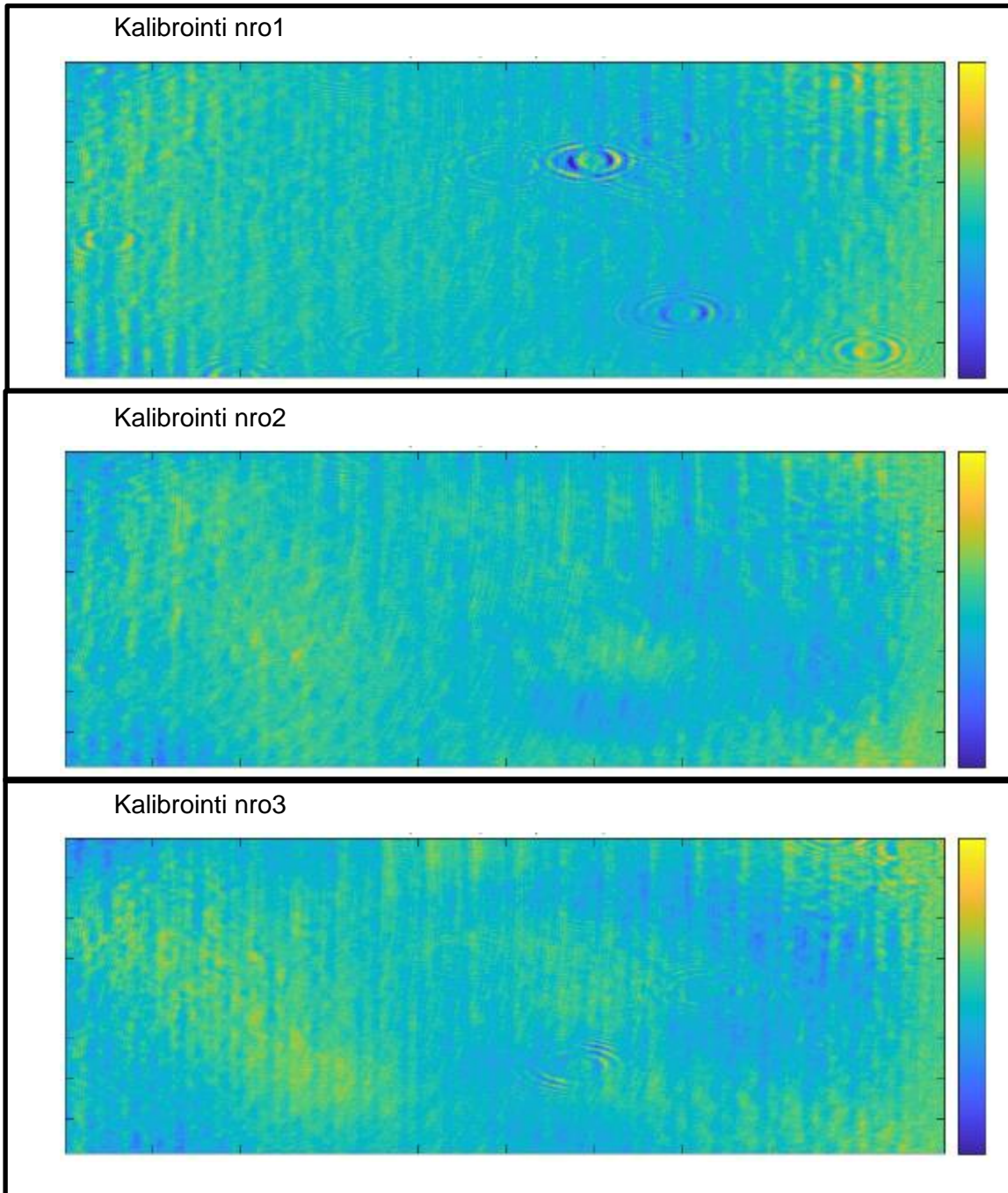
Testauksen seuraava vaihe on suorittaa laitteille eri korjaustoimenpiteitä ja sen jälkeen tehdä kestoprojektit. Näin saadaan paitsi lisää tuloksia tukemaan tämän insinööriyön päätelmiä, myös varmistus sille, että korjausprosessin läpikäyneet laitteet kestävät myös pitkäaikaista käyttöä. Insinööriyössä esiteltyjä DFS -periaatteen mukaisia tuotekehityskohteita on myös syytä viedä suunnittelutiimin tietoisuuteen seuraavia laiteversioita ajatellen.

Insinööriyössä saavutetut tulokset ovat merkittäviä koko hankkeen kannalta. Korjausmahdollisuuksien kartoitus helpottaa laitteen takuuprosessien suunnittelua, sekä luo isoja säästömahdollisuuksia romutuskustannuksien pienentyessä. Korjaustyöpisteen 3d-mallin avulla tuotantolinjalle pystytään helposti rakentamaan niin linjan kuin korjaustyön tarpeisiin sopiva työpöytä. 3D -mallin avulla pystytään tilaamaan oikeat määrät materiaaleja ja tarvikkeita.

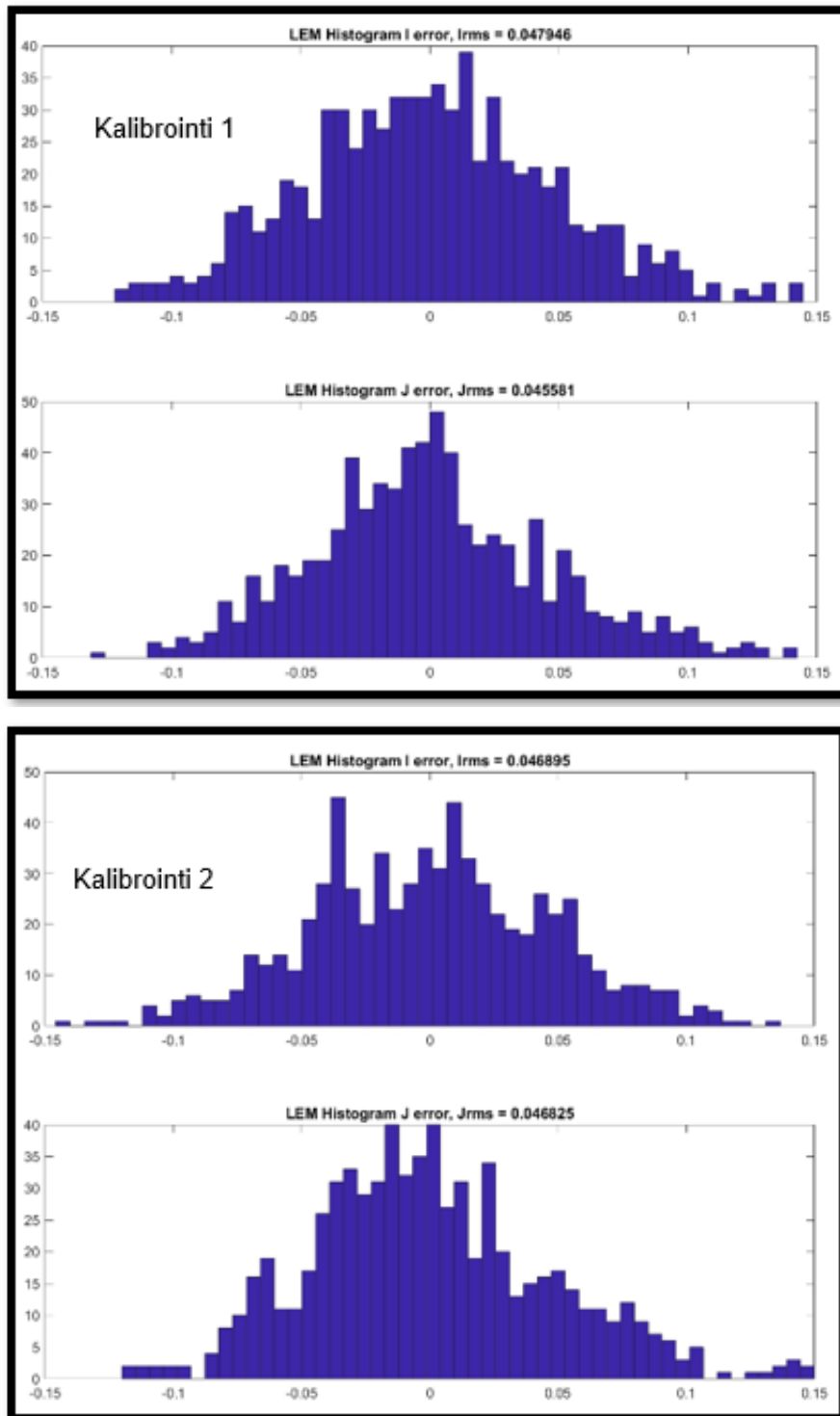
Insinööriyössä yhdistettiin niin tuotannon, korjausosaston kuin tuotekehityksenkin näkökulmia. Tämä yhdistettynä aiheen vaatimaan oma-aloitteisuuteen vaati paljon opiskelua ja ennenkaikkea konkreettista tutustumista eri osastoihin, mikä itsessään jo opetti paljon uutta. Kokonaisvaltainen laitteen rakenteeseen ja toimintaan perehtyminen loi myös hyvää pohjaa omiin työtehtäviini KaVo X Pro:n tuotantoinsinöörinä. Työn toteutus oli kaiken kaikkiaan mielekästä ja ennen kaikkea opettavaista.

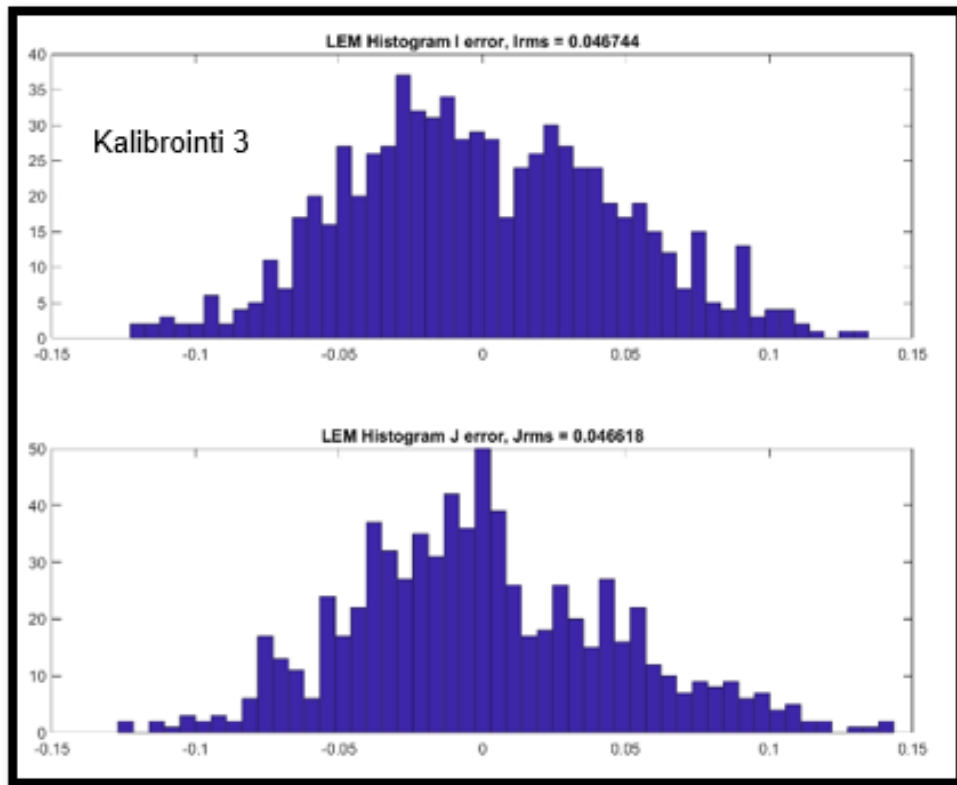
## Lähteet

- 1 Yritys. Verkkoaineisto. <<https://www.kavokerr.com/fi-fi/yritys>>. Luettu 19.12.2018.
- 2 Fortune 500. Verkkoaineisto. <<http://fortune.com/fortune500/list/>>. Luettu 19.12.2018.
- 3 Historiaamme. Verkkoaineisto. <<https://www.kavokerr.com/fi-fi/node/1093>>. Luettu 19.12.2018.
- 4 Laserkeilaus. Kuva. <<http://www.prosolve.fi/en/digit/laserkeilaus/>>. Luettu 16.5.2019
- 5 Quality Basics: How Does 3D Laser Scanning Work? Verkkoaineisto. <<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12390/Quality-Basics-How-Does-3D-Laser-Scanning-Work.aspx>>. Luettu 22.12.2018.
- 6 3D Scanning Technology – Hard Work That Looks Like “Magic”. Verkkoaineisto. <<https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning/>>. Luettu 22.12.2018.
- 7 KaVo Kerr intranet. Kuva. Luettu 16.5.2019.
- 8 Eskilander, Stephan. 2001. Design For Automatic Assembly – A Method For Product Design: DFA2. Doctoral thesis. Maaliskuu 2001. Luettu 01.01.2019.

**Kooste kolmen eri kalibrointikerran Flat FOM1 -kuvista**

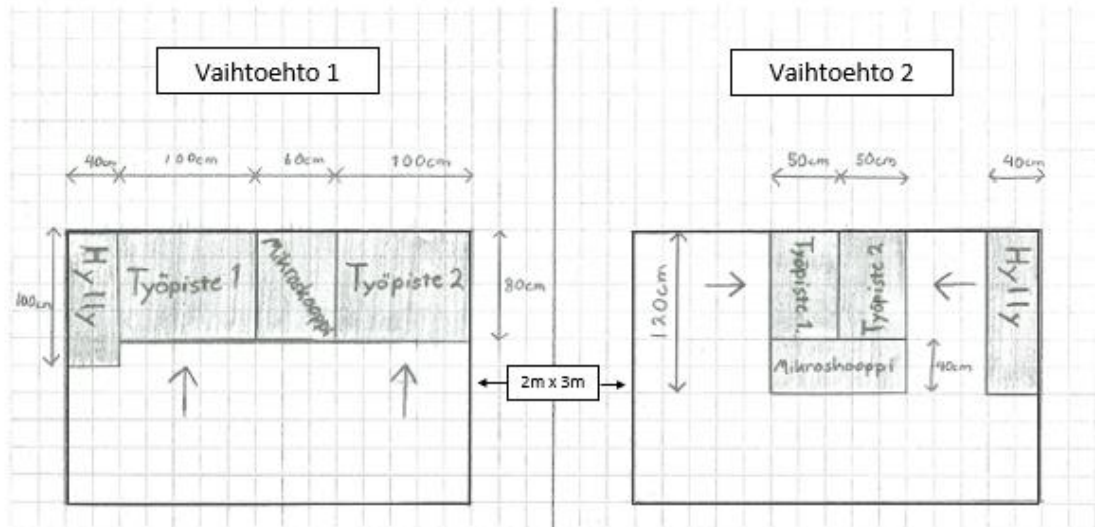
## Kooste kolmen eri kalibrointikerran linssivirhehistogrammi-kuvista





Korjauspisteen suunnitteluvaiheessa avainhenkilöille jaettu palautelomake

## IOS Korjaustyöpisteen layout



Prosessin kuvaus ylätasolla (IOS linjalla tehtävät vaiheet boldattu):

Rikkoutunut laite saapuu vastaanottoon → rikkoutunut laite desinfioidaan servicessä → Korjaus/romutuspäätös servicessä → **Laite tulee korjattavaksi materiaalisulun kautta** → Puhdistus → Laite tuodaan hyllyyn odottamaan korjausta → **Vian paikannus** (tämä vaihe saatetaan tehdä jo servicessä) → **Vian korjaus** → Vaihdettujen osien reklamointi tai romutus → Laitteen lopputestaus

	PLUSSAT	
	MIINUKSET	
	MUUTA	