

Juuso Lassinen

# Tuotannon testausjärjestelmä pilarikokoonpanolle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan Koulutusohjelma

Insinöörityö

8.5.2017

Tekijä Otsikko	Juuso Lassinen Tuotannon testausjärjestelmä pilarikokoonpanolle
Sivumäärä Aika	30 sivua + 2 liitettä 8.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan Koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka ja Terveystieteiden tekniikka
Ohjaajat	Lehtori Esko Tattari NPI Manager Mika Voipio
<p>Insinööriyön aiheena oli röntgenlaitteen osan, pilarin, tuotannon testausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Tavoitteena oli suunnitella kokoonpanolle ergonominen, tehokas ja luotettava testeri, jolla voidaan varmistaa tuotteen laatu ja toimivuus ennen sen lähettämistä asiakkaalle.</p> <p>Työ koostuu projektista, jossa kokoonpanolle määriteltiin tuotannossa tehtävät testit ja järjestelmälle asetettujen vaatimusten perusteella suunniteltiin testeri, jolla kokoonpanon eri ominaisuuksia testataan. Toteutuksessa on selostettu minkälaisista komponenteista järjestelmä koostuu, miten testiohjelma etenee alusta loppuun ja miten testin logiikka toimii eri testivaiheissa. Työhön liittyi laitteiston lisäksi tuotannon tietojärjestelmät, sillä testin tulokset tulee tallentaa yrityksen tuotannonohjausjärjestelmään.</p> <p>Tuloksena saatiin asetettujen vaatimuksien täyttävä testausjärjestelmä. Testerille suoritettiin yrityksen laatuohjelmien mukaiset hyväksyntäprosessit ja se otettiin käyttöön tuotantolinjalla.</p>	
Avainsanat	pilari, tuotannon testausjärjestelmä, laadunvarmistus

Author Title	Juuso Lassinen Production Test System for Column Assembly
Number of Pages Date	30 pages + 2 appendices 8 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics and Medical Engineering
Instructors	Esko Tattari, Senior Lecturer Mika Voipio, NPI Manager
<p>The goal of this study was to design and create a production testing system for column assembly. Column is a part of an x-ray machine used in x-ray imaging. The target was to design an ergonomic, efficient and reliable tester for the assembly. The tester should be able to verify the quality and functionality of the assembly before shipping it to the customer.</p> <p>The study was a project where the production testing requirements were defined and according to these requirements, the tester was designed and taken into use. The components of the system and logic behind the test sequence is explained in the implementation part of the report. The thesis is closely related to production computerized systems because all the data is collected to the company's production database.</p> <p>As an outcome of this project a new, requirements fulfilling testing system was created. The tester went through the quality processes of the company and it was taken into use on the production line.</p>	
Keywords	column, production testing system, quality control

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn määrittely	3
2.1	Hammas kuvantaminen	3
2.2	Testattava kokoonpano	5
2.3	Vaatimusten määrittely	7
2.4	Testin kattavuus	8
2.5	Turvallisuus	8
2.6	Käytettävyys	9
2.7	Luotettavuus	9
3	Suunnittelu ja toteutus	10
3.1	Suunnitteluprosessi	10
3.2	Mekaniikka	10
3.3	Elektroniikka	13
3.4	Testiohjelma	16
3.5	Testivaiheet	19
3.6	Turvallisuus	24
4	Testaus ja käyttöönotto	26
4.1	Verifiointi ja validointi	26
4.2	Huolto ja ylläpito	27
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

### Liitteet

Liite 1. Tuotannon testausvaatimukset

Liite 2. Työnkulku -taulukko

## Lyhenteet

A/D	<i>Analog to Digital</i> . Käytetään A/D-muuntimen yhteydessä.
CBCT	<i>Cone Beam Computed Tomography</i> . Suomeksi KKTT.
DHR	<i>Device History Record</i> . Laitteen tuotannon aikainen historia.
FW	<i>Firmware</i> . Englanninkielinen yleisesti käytetty termi laiteohjelmistolle. Käytetään sulautetuissa järjestelmissä.
I/O-portti	<i>Input/Output</i> . Systemin esimerkiksi mikrokontrollerin kommunikointiin käyttämä portti ulkomaailmaan.
IQ	<i>Installation Qualification Protocol</i> . Verifioi asennuksen vaatimukset V&V-prosessissa.
KKTT	<i>Kartiokeilatietokonetomografia</i> . Kuvantamismenetelmä, jolla kuvattavaa kohdetta voidaan tarkastella kolmiulotteisesti halutusta suunnasta.
M2M	<i>Machine To Machine</i> . Automatisoidun systemin laitteiden välistä kommunikointia.
MCU	<i>Microcontroller Unit</i> . Yhdelle mikropiirille integroitu pieni tietokone.
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> . Tuotannon ohjaukseen käytetty tietojärjestelmä.
OQ	<i>Operational Qualification Protocol</i> . Verifioi toiminnalliset vaatimukset V&V-prosessissa.
PQ	<i>Performance Qualification Protocol</i> . Validoi, että tuote soveltuu käyttötarkoitukseensa.
RX	<i>Receive</i> . Yleisesti käytetty termi tiedon vastaanottamiselle.

TCN	<i>Total Criticality Number</i> . Kriittisyysnumero. Käytetään arvioimaan V&V-prosessin tarpeellisuutta.
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> . Prosessi, jolla ylläpidetään ja huolletaan tuotannon työkaluja ja laitteistoja.
TX	<i>Transmit</i> . Yleisesti käytetty termi tiedon lähettämiseksi.
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> . Tietokoneen laitteisto, jota käytetään sarjamuotoisen datan lähettämiseen ja vastaanottamiseen.
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Hyvin yleinen oheislaitteiden tietokoneeseen liittämiseksi käytetty sarjaväyläarkkitehtuuri.
V&V	<i>Verification and Validation</i> . Verifiointi- ja validointi -prosessi, jolla tarkoitetaan tuotteen toimivuuden varmistamista ja sen kelpuuttamista käyttötarkoitukseensa.

## 1 Johdanto

Insinööriyössä esitellään Kavo Kerr Group Oy:lle suunniteltu ja toteutettu testausjärjestelmä, joka testaa yrityksen tuotannossa kootun pilarikokoonpanon toimintaa ennen sen pakkaamista ja lähettämistä asiakkaalle. Pilari on osa röntgenlaitetta, jolla kuvannetaan potilaiden kalloa ja hampaita. Insinööriyö on osa isompaa projektia, ja se keskittyy testausjärjestelmän vaatimuksien määrittelyyn lisäksi toteutetun testerin rakenteeseen, laitteistoon, testiohjelmaan, sekä laitteiston käyttöönottoon ja siihen liittyviin yrityksen ja viranomaisten vaatimuksiin.

Projektiin osallistui monia eri henkilöitä. Pilarin suunnittelijat ja tuotteen pääinsinööri olivat määrittämässä testausvaatimuksia tuotteelle. Toteutukseen ja sen suunnitteluun liittyy mekaniikkaa, elektroniikkaa, sulautetun järjestelmän ja tuotannon ohjelmistoja. Suunnittelussa on otettu tuotannon asettamat tarpeet huomioon. Testerit tulevat päivittäiseen käyttöön yrityksen tuotantoon ja se liittyy osaksi tuotannon sähköistä järjestelmää ja tietokantaa. Valmiin testausjärjestelmän tuotantoon vienti ja siihen liittyvät laatuasiat ja viranomaisten vaatimukset olivat myös osa insinööriyötä. Työn alussa esitellään röntgenkuvantamista yleisesti, mutta insinööriyö käsittelee röntgenlaitteen osaa, pilaria, ja siihen liittyvää tuotantotestausta.

### KavoKerr Group Oy

KavoKerr Group Oy on vuonna 1964 perustettu terveysteknologian vientiyritys. Yritys suunnittelee, valmistaa, myy ja markkinoi korkealaatuisia laitteistoja ja ratkaisuja hampaiston ja pään alueen kuvantamiseen kansainvälisille markkinoille. KavoKerr Group Oy kuuluu yhdysvaltalaiseen Danaher-konserniin. Konserni omistaa yrityksiä eri toimialoilta ja muutamia siihen kuuluvia hyvin tunnettuja yrityksiä ovat esimerkiksi Tektronix, Fluke ja Leica. Vaikka KavoKerr Group Oy kuuluu nykyään Danaher-konserniin, on sillä pitkä historia ja juuret Suomessa. Yritys perustettiin valmistamaan ja kaupallistamaan mullistavaa professori Yrjö V. Paateron keksintöä panoraamaröntgenkuvantamisesta. Paatero ja diplomi-insinööri Timo Nieminen kehittivät yhdessä 1960-luvulla röntgensäteilyä hyödyntävän laitteen ja nimesivät sen orthopantomografiksi. [1.]

KavoKerr Group Oy:n pääkonttori sijaitsee Tuusulassa. Tuusulan tuotantolaitos on erikoistunut valmistamaan korkealaatuisia tuotteita. Tuotannon lisäksi yrityksellä on suuri

tuotekehitysosasto, joka ylläpitää vanhoja ja kehittää uusia tuotteita. Yritys työllistää noin 400 eri alojen ammattilaista. KavoKerr Group Oy:n toimintaa ohjaa jatkuvan parantamisen Lean-filosofia. Yritys on edelläkävijä leanin soveltamisesta Suomessa. [1.]

KavoKerr Group Oy:n asiakaskuntaan kuuluu laaja joukko terveydenhuollon ammattilaisia, mm. hammaslääkäreitä, suukirurgeja, radiologeja, korva-, nenä-, kurkkulääkäreitä ja röntgenhoitajia. Yritys tekee jatkuvaa yhteistyötä asiakkaidensa kanssa täyttääkseen käyttäjäkunnan vaatimukset ja ylläpitääkseen asiakastytyvyyttä tuotteiden koko elinkaaren ajan. [1.]



## 2 Työn määrittely

### 2.1 Hammaskuvantaminen

Hammasröntgenlaite on laite, jolla tutkitaan ihmisen suun ja pään alueen luustoa ja hampaita. Nykyaikaiseen kuvantamiseen käytetään röntgensäteilyä ja digitaalista sensoria kuvan muodostamiseen. Laitteilla voidaan ottaa erilaisia kuvia, jotka antavat lääkäreille tietoa potilaasta erilaisten hoitojen yhteydessä.

Kuvausta varten potilas asetellaan laitteeseen yleensä leuka laitteen leukatukea vasten (kuva 1). Kuvantamislaitteita on olemassa sekä seisovalle että istuvalle potilaalle. Pään paikoillaan pysymistä varten on olemassa erilaisia potilasasetteluvälineitä ja tukia. Potilas asetellaan oikeaan asentoon esimerkiksi lasereita apuna käyttäen. Kuvauksen aikana laite pyörii potilaan pään ympäri ja ottaa useita projektiota eri suunnista. Skanna- tuista projektiosta muodostetaan tietokoneohjelmistolla näyttöpäätteelle röntgenkuva.



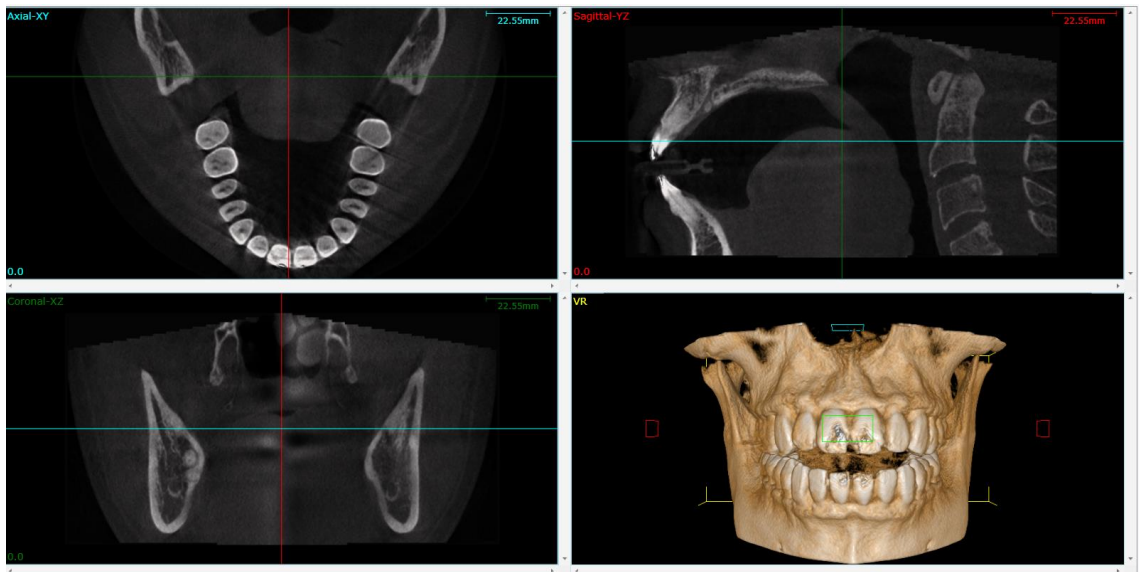
Kuva 1. Havainnekuva, hammasröntgenlaite ja potilas. [3.]

Hammasröntgenlaitteilla voidaan ottaa esimerkiksi koko hampaiston 2D-panoraamaröntgenkuva (kuva 2). Panoraamaröntgen on yksi yleisimmistä hampaille tehtävistä tutkimuksista. Panoraamaröntgenkuvasta voidaan selvittää esimerkiksi viisaudenhampaan juurten asento ja leukaluun hermon sijainti hampaan poiston suunnittelua varten.



Kuva 2. Panoraamaröntgenkuva.

Kehittyneemmillä laitteilla voidaan ottaa myös KKTT eli kartiokeilatietokonetomografia kuvia (engl. CBCT). KKTT-kuvat ovat erittäin tarkkoja ja yksityiskohtaisia hampaiston 3D-kuvia. Katseluohjelmalla voidaan hampaistoa tutkia kolmesta eri suunnasta olevista leikkeistä ja niistä lasketusta 3D-kuvasta (kuva 3). Leikkeiden syvyyttä voi vapaasti säätää, joten KKTT-kuvalla voidaan tutkia huomattavasti tarkemmin luustoa ja kudoksia panoraamaröntgeniin verrattuna.



Kuva 3. KKTT-kuvan leikkeet kolmesta eri suunnasta ja 3D-kuva.

Potilaan kannalta nykyaikaisissa KKTT-tutkimuksissa hyvää on alhainen sädeannos sekä tutkimuksen nopeus. Siinä missä tavallinen magneettikuvaus kestää 30 minuuttia, on KKTT-kuvaus ohi alle minuutissa. [2.]

## 2.2 Testattava kokoonpano

Työssä käsiteltävä pilari on teleskooppinen nostolaite, jolla voidaan nostaa ja laskea röntgenlaitetta kuvattavan potilaan pituuden mukaan (kuva 4). Pilari koostuu kolmesta sisäkkäisestä alumiinisesta profiilista, jotka liukuvat toistensa lomitse. Profiilit on erotettu toisistaan liukupaloilla, jotka keskittävät profiilit pilarin keskelle ja toimivat liukasteena pilarin liikuessa. Pilarin molemmissa päissä on metallinen laippa, joita käyttäen pilarin toinen pää kiinnitetään lattiaan ja toinen päälaitteeseen.



Kuva 4. Havainnekuva, OP300-röntgenlaite, jonka pilari on kuvassa ympyröitynä. [7.]

Pilarissa on lineaarinen tasavirta karamoottori, joka toimii voimanlähteenä nosto- ja las-  
kuliikkeissa. Pilarissa on optokytkimellä toteutettu paikka-anturointi kotiaseman referens-  
sipisteen tunnistamiseen. Pilarin tarkkaa paikkaa sen liikkeessä mitataan kotiaseman  
synkronoinnin jälkeen karamoottorin inkrementaalista pulssianturista. Pulssianturi  
tuottaa pilarin liikkeessä sähköisiä pulsseja, joiden perusteella laitteisto mittaa pilarin si-  
jaintia. Pilarikokoonpanoon on sijoitettu myös laitteen hätä-seis-kytkin (kuva 5).



Kuva 5. Testattava kokoonpano.

### 2.3 Vaatimusten määrittely

Pilari valmistetaan tuotantolinjalla minitehtaassa. Minitehtaaksi Kavo Kerrillä kutsutaan tuotannon eri osastoja. Yksi minitehdas voi sisältää yhden tai useita tuotantolinjoja, joissa valmistetaan erilaisia laitteita. Tuotantolinjalla suoritetaan tuotteiden kokoonpano, testaus ja pakkaaminen eri työvaiheissa. Pakkaamisen jälkeen tuotteet lähetetään asiakkaille ympäri maailmaa.

Pilari kootaan ja testataan tuotantolinjan eräässä työpisteessä, jonka jälkeen se pakataan. Pilari tulee testata ennen pakkaamista, jotta voidaan varmistaa sen toimivuus ja laatu ennen tuotteen lähettämistä asiakkaalle. Tuotantokonsepti ja laitteen pakkaus on suunniteltu siten, että pilari kootaan ja testataan erillään varsinaisesta päälaitteesta ja se

kohtaa päälaitteensa vasta maailmalla. Tästä johtuen tuotantolinjalle tarvitaan erillinen testausjärjestelmä, jolla voidaan testata pilarin eri ominaisuuksia ja toimintoja, ja todeta, että pilari on oikein kokoonpanttu.

Tuotannon testausvaatimukset määriteltiin projektin alussa. Vaatimuksia määrittämässä olivat pilarin vastaava suunnittelija, tuotteen pääinsinööri sekä muita henkilöitä. Vaatimukset määriteltiin perustuen pilarin toimintaan, rakenteeseen ja viranomaisvaatimuksiin. Osa vaatimuksista perustuu kokoonpanon onnistumisen todentamiseen ja osan tarkoituksena on kerätä tilastotietoa laitteesta ja sen toiminnasta. [4.]

## 2.4 Testin kattavuus

Tuotannon testausvaatimukset määrittävät, että pilaria tulee testin aikana liikuttaa koko liikealueellaan täydellä päälaitetta vastaavalla kuormalla. Kuorman painopiste tulee sijoittaa oikein suhteessa pilariin, jotta se vastaisi todellista tilannetta pilarin liikuttaessa päälaitetta. Testissä tulee varmistaa kotiasema-anturoinnin toiminta, ja se, että pilari liikkuu vaivattomasti koko liikealueellaan.

Moottorin toimintaa tulee testata mittaamalla sen ottamaa virtaa ja ajonopeutta ajon aikana. Moottorista mitataan virran huippuarvo sekä keskiarvo noston ja laskun aikana. Karamoottorin pulssianturin oikeanlainen toiminta tulee myös varmistaa.

Pilarin ylälaipasta mitattu kallistuma tulee olla sallituissa rajoissa ylä- ja ala-asennon välillä. Karamoottorin akselissa tulee olla ruuvi, joka estää akselin irtoamisen karastaan mekaanisessa ääriasennossa. Tämän testaamiseksi pilari tulee ajaa mekaaniseen ylärajaansa, jotta voidaan varmistua, että karamoottori on kokoonpanttu valmistajan toimesta oikein. Kokoonpanossa olevan hätä-seis-kytkimen oikeanlainen toiminta tulee myös varmistaa testissä. Testin lopuksi pilari tulee ajaa pakkauskorkeuteen.

## 2.5 Turvallisuus

Testisyklin aikana pilari liikuttaa noin 100 kg massaa ylös ja alas koko liikealueellaan. Toimintaympäristö on tehtaan tuotantotila, jossa turvallisuus on ensiarvoisen tärkeää.

Testissä käytettävä kuorma tulee sijoittaa ja suojata siten, että se ei voi aiheuttaa vaaratilannetta. Kuorma tulee suunnitella siten, että se toimii hallitusti, vaikka testattava kokoonpano olisi jollain tapaa virheellisesti koottu tai se vikaantuisi testiajon aikana.

Testiajo ei saa käynnistyä, mikäli pilari ei ole kunnolla kiinnitetty testilaitteeseen. Ajon aikana tulee estää pääsy pilarin välittömään läheisyyteen. Ennen testilaitteen käyttöönottoa tulee varmistaa, että se on turvallinen ja sisältää tarvittavat toiminnot virheellisen käytön estämiseksi.

## 2.6 Käytettävyys

Testausjärjestelmällä tulisi olla hyvä käytettävyys, toisin sanoen laite tulisi olla helppo käyttää ja testiin kuluvan ajan mahdollisimman lyhyt. Testilaitteen tulee olla ergonominen, jotta sitä voidaan toistuvasti käyttää päivittäisessä työssä.

Testissä saadut tulokset tulee tallentaa tuotannon tietokantaan. Projektin alussa suunniteltiin, että testausjärjestelmä tulisi osaksi uutta tuotannonohjausjärjestelmää, jonka kautta testin tulokset voidaan tallentaa tietokantaan ja tilastoida mahdollista myöhempää tarkastelua varten. Testin tulee olla myös mahdollisimman automatisoitu ja testattavat ominaisuudet tulee mahdollisuuksien mukaan tarkistaa koneellisesti ihmisen sijaan inhimillisten virheiden ehkäisemiseksi.

## 2.7 Luotettavuus

Järjestelmä tulee päivittäiseen käyttöön tuotantoon. Sen tulee tuottaa toistettavia testituloksia, joiden perusteella voidaan todeta pilarin oikeanlainen toiminta. Testilaitteen tulisi havaita mahdolliset kokoonpanossa sattuneet kokoonpanovirheet. Testilaitteen rakenteen tulee olla kestävä ja mahdollisten rikkoontuvien osien vaihtaminen uusiin tulee olla helposti ja nopeasti tehtävissä. Testilaitteelle tehdään yrityksen laatujärjestelmän mukainen verifiointi ja validointi ennen sen käyttöönottoa tuotannossa.

### 3 Suunnittelu ja toteutus

#### 3.1 Suunnitteluprosessi

Suunnittelu aloitettiin perehtymällä testattavan kokoonpanon rakenteeseen kokoamalla ja purkamalla pilarikokoonpano useaan kertaan. Pilarin suunnittelussa on käytetty niin sanottua poka yoke -järjestelmää. Poka yoke on japania ja tarkoittaa ”virheitä osoittavaa järjestelmää”. Poka yoke on Toyotalla työskennelleen Shigeo Shingon luoma malli siitä, miten tuotannon laadussa saavutetaan äärimmäinen saavutettavissa oleva taso, nolla-virhetaso. Pilarin suunnittelussa tämä tarkoittaa sitä, että osien piirteet on muotoiltu siten, että niitä ei voida kokoonpanna väärin. Osan virhemahdollisuuksista voi tällä tavoin poistaa kokonaan. Poka yokea ei tietenkään ole mahdollista aina käyttää, joten aina jää mahdollisuus kokoonpanovirheeseen. [5.]

Alkuvaiheessa suunnittelua perehdyttiin myös määritettyihin tuotannon testivaatimuksiin. Vaatimukset antavat lähtökohdat suunnittelulle ja asettavat selkeät tavoitteet tuotannossa tehtäville testeille. Valmiin testilaitteen tulee täyttää kaikki vaatimuksissa asetetut tavoitteet.

Lähtötietojen perusteella aloitettiin suunnittelu testilaitteen konseptista. Laitteen vaativuuden vuoksi sen suunnitteluun tarvittiin useamman alan osaajia. Laite tarvitsee erilaisia mekaanisia ratkaisuja pilarin rakenteen ja testissä käytettävän suuren kuorman vuoksi. Tästä johtuen työhön osallistui kolmihenkinen Metropolia Ammattikorkeakoulun innovaatioprojektiryhmä vastaamaan mekaniikan suunnittelusta. Innovaatioprojektiryhmän vastuulla oli suunnitella tarvittava mekaniikka yhdessä tiimin kanssa, jotta pilari saadaan kiinnitettyä tukevasti testin ajaksi ja testiin vaadittavan suuren kuorman käyttäminen on vaivatonta.

#### 3.2 Mekaniikka

Projektiryhmän kesken ideoitiin 7-ways -suunnittelutyökalua käyttäen tarvittavia mekaanisia osia. Työkalua käytetään siten, että jokainen ryhmässä oleva henkilö keksii seitsemän erilaista toteutustapaa ongelmalle. Ideat saavat olla todella korkealla tasolla, eikä niitä miettiessä saisi liikaa takertua toteutettavuuteen tai liiallisiin yksityiskohtiin. [6.]



Pohdinnan jälkeen ideat kerätään kootusti ylös ja mahdolliset samat ideat yhdistetään. Tämän jälkeen suoritetaan tarvittaessa ideoiden pisteytys. Pisteytyksen kriteerit ja mahdolliset painoarvot on määritetty etukäteen. Kriteerejä voisi esimerkiksi olla hinta, käytettävyys ja toteutettavuus. Ryhmä pisteyttää jokaisen idean ja tulosten perusteella valitaan kaksi tai kolme ideaa, joista tehdään niin sanotut mock-upit eli nopeat prototyypit. Prototyypeistä valitaan testien jälkeen yksi idea, jota lähdetään toteuttamaan.

Tässä projektissa tunnistettuja tarvittavia mekaanisia rakenteita ovat testattavan pilarikokoonpanon testeriin kiinnittämiseen käytettävä mekanismi sekä pilariin kytkettävän kuorman mekanismi.

#### ”Uuninpelti” -kiinnitys

Testattavan pilarin kiinnittämiseksi testeriin päädyttiin niin kutsuttuun ”uuninpelti” -kiinnitykseen. Pilari kiinnitetään testeriin liu’uttamalla se suurehkon koneistetun laipan alle. Laippa pysyy jousien avulla ylhäällä auki asennossa. Testattava kokoonpano lukitaan testeriin kahdella järeällä Destaco-vipukiinnittimellä. Vipukiinnittimet on mitoitettu siten, että toinen niistä yksistään riittäisi kannattelemaan pilarin ja sen testikuorman massan (kuva 6).



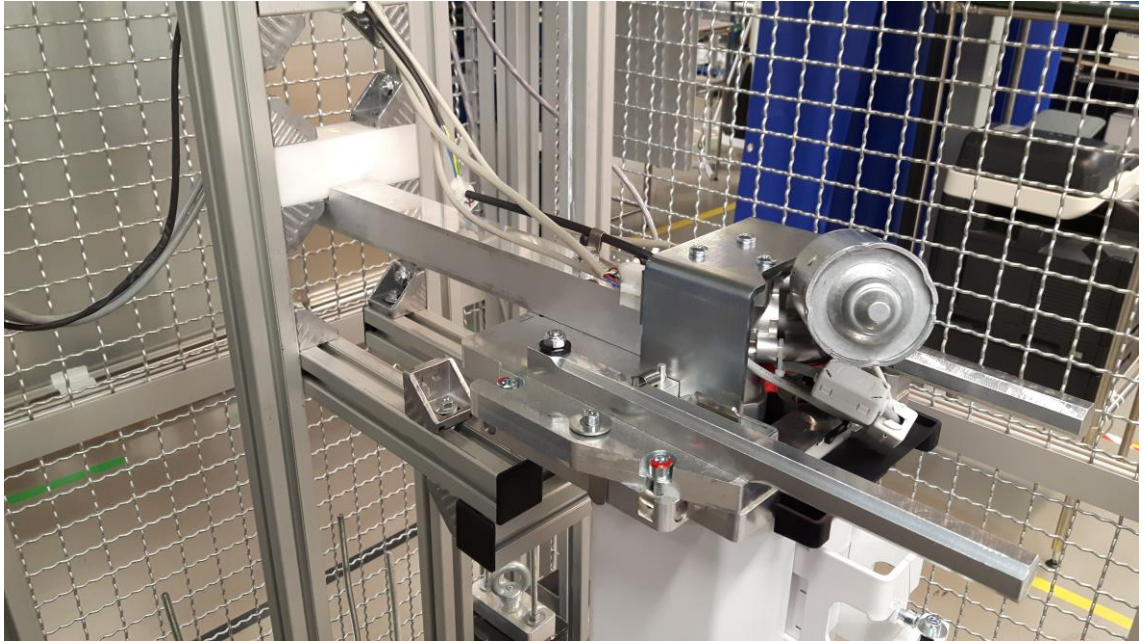
Kuva 6. ”Uuninpelti” -mekanismi.

#### ”Painopakka” -mekanismi

Testattavaan pilariin kytketään kuorma ”painovarsi” -työkalua apuna käyttäen. Varsi lepää telineessä, kun se ei ole käytössä. Testattava kokoonpano asetetaan testeriin ja painovarsi käännetään pilariin paikalleen (kuva 7). Käyttämällä pilarissa olevaa sarana-mekanismia ja ylälaipan muotoja varsi asemoituu pilarin ylälaippaan oikein. Painovarsi lukitaan testattavaan kokoonpanoon pilarissa olevilla kolmella ruuvilla sähkökäyttöistä väännintä apuna käyttäen. Kun pilari lähtee liikkeelle testin alussa, kaappaa se painopakka tyyppisen 100 kg kuorman mukaansa. Painovarren päälle on kiinnitetty kallistusta mittaava anturi, jolla mitataan pilarin kallistuman eroja ylä- ja ala-asennoissa.

Sekä testattavan kokoonpanon kiinnittämiseen käytetty ”uuninpelti”, että kuorma ja ”painovarsi” systeemit on suunniteltu osittain valmista alumiinista profiilia apuna käyttäen.

Useita osia myös suunniteltiin ja tilattiin koneistettuna mekaniikkaa varten. Kuormana toimii kolme pinoa lyijylevyjä, joilla saadaan riittävä massa testiä varten. Koko testerin mekaniikka on rakennettu eräänlaisen alustan päälle, joka niin ikään on myös samaa alumiiniprofiilia. Jalkojen säädöillä koko testilaitte vaaitetaan ja säädetään sopivalle korkeudelle siihen kytkettävää testattavaa pilaria varten.



Kuva 7. "Painovarsi" -mekanismi.

### 3.3 Elektroniikka

#### Piirikortti

Testausjärjestelmä päätettiin toteuttaa jo olemassa olevan laitteen piirikorttiin perustuen. Piirikortilla on teholähde ja se tuottaa erisuuruisia jännitteitä verkkovirrasta. Kortilla on STM32 -tuotepiheeseen pohjautuva MCU, jolla ohjataan kortin toimintaa. Moottorin ajoa varten kortilla on H-silta -kytkentä sekä ohjauselektronikkaa ylivirran tunnistamiseen ja moottorin nopeuden sekä voiman säätämiseen. Piirikortilla olevalla moottorinohjauspiirillä voidaan karamoottorin pulssianturin ajon aikana tuottamat pulssit laskemalla ajaa pilari haluttuun paikkaan kotiasemaan synkronoinnin jälkeen. Moottorin ottama virta saadaan mitattua virranmittausvastukselta MCU:n A/D-muuntimella. Kortilla on myös tarvittavat I/O-portit, joilla voidaan tutkia kotiasemaa osoittavan optosensorin sekä hätä-

seis kytkimen tilaa. I/O-portteja tarvitaan myös ulkoisten antureiden ja tarvittavien turvallisuusominaisuuksien liittämiseen.

## UART

Piirikortilla on valmis rajapinta tietokoneeseen liittämistä varten. UART-liitännällä voidaan sarjaportin kautta olla vuorovaikutuksessa piirikortin laiteohjelmiston kanssa, lähettää komentoja sekä vastaanottaa tietoa. Tietokone liitetään piirikortin sarjaporttiin USB-kaapelilla.

## Induktiiviset anturit

Testeriin suunniteltiin paikan tunnistamiseen menetelmä kahta induktiivista läheisyysanturia käyttäen. Anturit on sijoitettu järjestelmään siten, että niillä voidaan tunnistaa onko pilari oikeasti siinä halutussa paikassa, missä laitteisto sen luulee olevan. Tällä tavoin testataan pulssianturin toimintaa, sillä laitteisto ajaa pilarin pulssianturin pulssien perusteella haluttuun paikkaan.

Anturit toimivat 24 voltin käyttöjännitteellä ja niiden lähtöjännite on myös ON-tilassa 24 voltin tasolla. Anturit liitettiin MCU:n I/O-portteihin ja tämän vuoksi piirikortille toteutettiin muutokset, jotta läheisyysantureiden signaalit saatiin käyttöön. Antureiden liittämistä varten piirikortille toteutettiin jännitteenjaolla läheisyysantureiden tulosignaalin jännitetason muutos vastaamaan MCU:lle sopivaa jännitettä, 5:tä volttia.

## Kallistusanturi

Testerille asetettujen vaatimusten mukaan pilarin kallistuksen ero ylä- ja ala-asennoissa tulee mitata. Manuaalisesti mittaus voisi tapahtua esimerkiksi asettamalla digitaalinen vesivaaka ylälaipan päälle, josta testaaja lukisi arvot ylä- ja ala-asennoissa ja syöttäisi ne testikantaan. Tätä manuaalista työtä ei kuitenkaan haluta tehdä, ja se automatisoidaan käyttämällä testerissä anturia, joka mittaa kallistusta. Anturiksi valitaan Murata Electronicsin MEMS-kallistusanturi.

Kallistusanturi on sijoitettu testerin painojen kiinnityksessä käytettävään ”painovarsi” -osaan, joka kiinnitetään pilarin ylälaippaan testin alussa (kuva 8). Kallistusanturi on tällöin tukevasti samansuuntaisessa tasossa pilarin ylälaipan kanssa. Anturin johdot voidaan myös reitittää siten, että ne eivät ole tiellä painovartta ja testeriä käytettäessä.



Kuva 8. Kuvassa ympyröitynä kallistusanturi, joka on kiinnitetty testerin painovarsi-osaan.

Kallistus-anturin erottelukyky on datalehden mukaan  $0,0025^\circ$  ja herkkyys  $70 \text{ mV}^\circ$ . Se tuottaa  $0 - 5 \text{ V}$  ulostulo jännitteen, joka on vaakatasossa noin  $2,5 \text{ V}$ . MCU:n 10-bittinen AD-muunnin toimii  $2,5$  voltin jännitteellä, joten kallistusanturin ulostulojännite puolitetaan jännitteenjaolla. Tämä heikentää anturin erottelukykä, mutta tämäkin tarkkuus riittää hyvin vaadittuun mittaukseen. Anturi ulostulossa  $35 \text{ mV}$ :in jännite vastaa siis  $1$ :tä astetta. AD-muunnin on 10-bittinen, joten sen tuottama bittiluku on  $0 - 4096$  välillä  $0 - 2,5$  voltia. Yksi aste vastaa tällöin  $57,344$  bittilukua ja vastaavasti  $0,1^\circ$  vastaa  $5,7344$  bittilukua. Yhden bittiluvun muutos on  $\sim 0,0175^\circ$  muutos anturin kulmassa. Yhtälöstä

$$\alpha = \frac{|(x - 4096) \cdot \frac{2.5V}{4096}|}{0.035V/^\circ} - \frac{1.25V}{0.035V/^\circ}, \quad x = 0 - 4096,$$

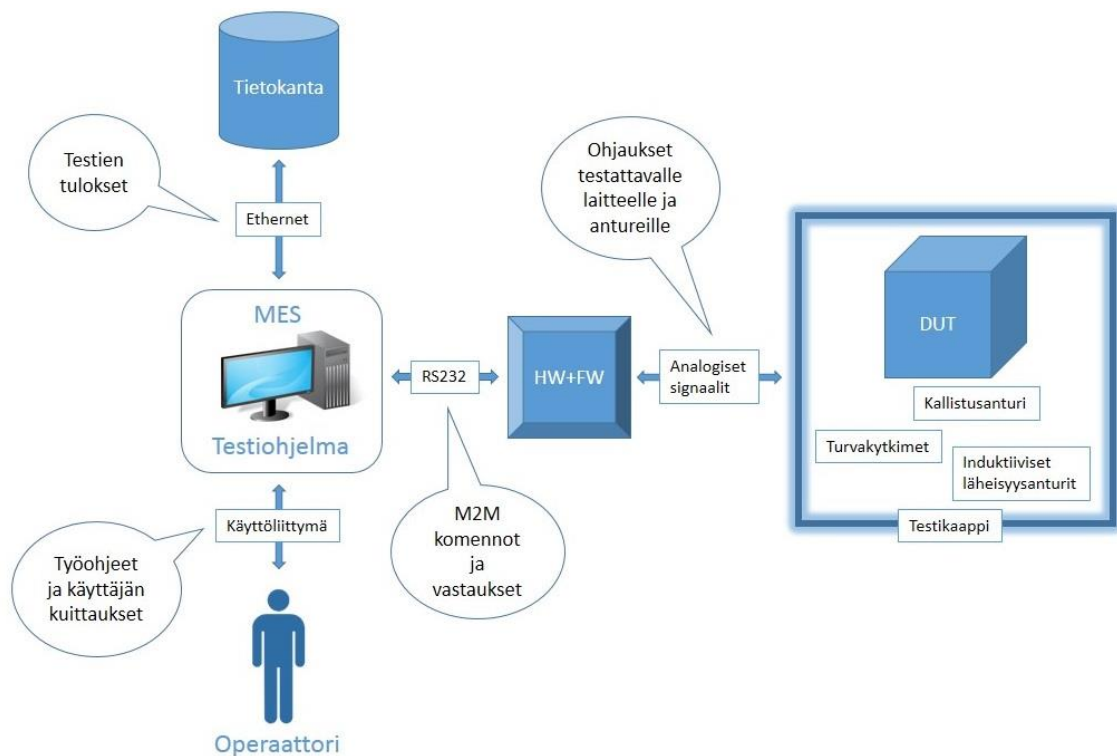
jossa  $\alpha$  on kulma ja  $x$  on AD-muunnoksen tuottama bittiluku, voi testiohjelma laskea ylälaipan kulman.



Testerin piirikortille suunniteltiin ja toteutettiin vaadittavat muutokset anturin kytkemistä varten. Testeissä elektroniikka ja pilarin huojunta aiheuttavat mittaukseen pientä kohinaa, mutta asettamalla mittaukseen viive ja ottamalla useamman tuloksen keskiarvo saadaan anturilta tulevista mittaustuloksista tarkkoja.

### 3.4 Testiohjelma

Testiohjelma rakentuu tuotannon MES-järjestelmän ympärille. Tämän työn perusteella muodostuu spesifikaatio, jonka perusteella yhdessä MES-tiimin kanssa luodaan ohjelma, joka pyörittää testiä. MES-järjestelmä kommunikoi ja ohjaa sekä testerin piirikortilla olevaa laiteohjelmistoa että testeriä käyttävää operaattoria testin eri vaiheissa. MES-ohjelmisto on yhteydessä verkossa olevaan tietokantaan, jonne testien tulokset tallennetaan (kuva 9).



Kuva 9. Havainnekuva systeemin komponenteista ja informaatiovirroista.

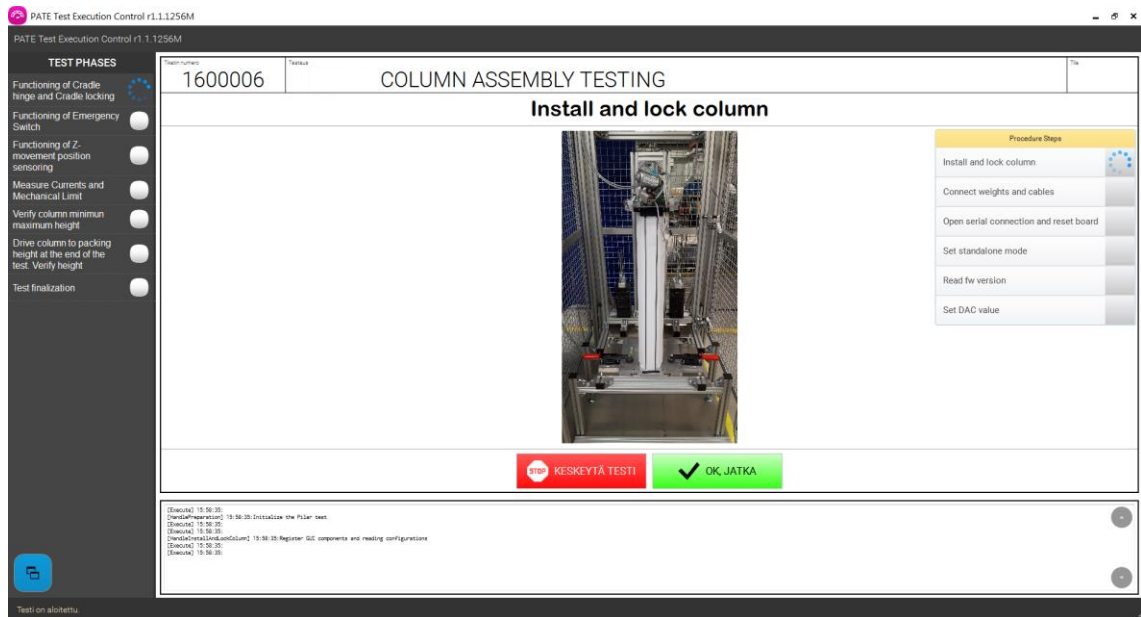
## Laiteohjelmisto

Firmware eli laiteohjelmisto huolehtii käytettävän piirikortin toiminnoista ohjaamalla mikrokontrollerin toimintaa. Ohjelmistossa on äly pilarin liikkeiden ajamiseen ja eri ajoparametrien säätämiseen. Firmwarea kehitettäessä on huomioitu tarve käyttää piirikorttia ja sen yksittäisiä toimintoja manuaalisesti. Laiteohjelmistoon on rakennettu tätä tarkoitusta varten M2M-rajapinta, jonka kautta voidaan lähettää yksinkertaisia komentoja ja vastaanottaa tietoa laitteistolta. M2M-komennot lähetetään (TX) ja vastaanotetaan (RX) sarjaportin RS232 kautta. M2M-komennot sisältävät toiminnot I/O-porttien lukemiseen, liikkeiden ajamiseen, A/D-muuntimen tulosten lukemiseen ja ohjelmiston uudelleenkäynnistämiseen. M2M-komennoista on luotu kirjasto, jota hyödyntämällä voidaan käyttää laitteistoa. Näitä komentoja käyttämällä testin työnkulku automatisoidaan MES-järjestelmän ohjaamaksi, jolloin MES-järjestelmä kussakin testin vaiheessa lähettää laitteistolle komentoja, tulkitsee laitteistolta saatavia vastauksia ja johtaa näistä haluttuja testituloksia.

## MES-järjestelmä

MES on tietojärjestelmä, jolla ohjataan tuotantoa. MES toimii systeeminä, jonka avulla tuotanto pystyy täyttämään tilattujen tuotteiden vaatimukset laadusta, määrästä ja toimitusajasta. Järjestelmä toimii laitteen valmistuksessa tuotannon tietokantana mm. komponenttien sarjanumeroille ja tuotannossa tehtävien testien tuloksille. [8.]

MES:issä on käyttöliittymä, joka opastaa käyttäjää viemään testin läpi näyttämällä ohje-tekstejä ja -kuvia testin eri vaiheissa (kuva 10). Testitulokset MES voi pääosin päätellä laitteistolta saatavien tietojen perusteella, mutta osa testeistä on ns. puoliautomatisoitu. MES ohjaa käyttäjää esimerkiksi painamaan hätä-seis-painiketta. Samanaikaisesti testiohjelma lukee painikkeen I/O-signaalia ja tulkitsee, toimiko se oikein.



Kuva 10. MES-käyttöliittymä.

Jos jossain testin vaiheessa saadaan hylätty testitulos, testi keskeytyy. Testin kooste tulee tämän jälkeen näkyviin, siinä on vihreällä merkitty hyväksytysti suoritettut testivaiheet ja punaisella hylätty vaihe. Nämäkin tulokset tallennetaan testauskantaan myöhempiä tarkastelua varten. Tämän jälkeen MES ohjaa käyttäjän suorittamaan uudelleenkäsittelyn testattavalle kokoonpanolle, ennen kuin testin voi tehdä uudestaan. Uudelleenkäsittely on kaksivaiheinen, jossa ensimmäisessä vaiheessa raporttiin kirjoitetaan selostus epäonnistuneesta testistä ja mahdollisia lisätietoja mitä testin epäonnistuessa tapahtui. Tämän jälkeen uudelleenkäsittely tallennetaan, ja mikäli vika oli testattavassa kokoonpanossa, se korjataan.

Korjauksen suorittaa sen vaativuudesta riippuen joko linjan tuotantospecialisti erillisellä korjauspisteellä tai itse testaava operaattori testauspisteellä. Jos testi epäonnistuu esimerkiksi selkeästi siksi, että kaapeli oli jäänyt liittämättä, voi testaava operaattori liittää kaapelin paikalleen ja yrittää testiä uudestaan. Uudelleenkäsittelyraportin toinen vaihe onkin käsittelyn jatkaminen, johon kirjataan laitteen korjaustoimenpiteet, jonka jälkeen testivaihe vapautetaan uudelleensuoritettavaksi. Kaikki testitulokset, hyväksytyt ja hylätyt tulee kirjata kaikista valmistettavista laitteista niiden DHR:ään eli laitteen valmistuksen aikaiseen historiakirjastoon.



MES kerää testin aikana saadut tulokset testikantaan, josta niitä voidaan myöhemmin tarkastella tarpeen mukaan. Hyväksytyyn testin päätteeksi ohjelma näyttää koosteen testituloksista ja pyytää käyttäjältä tunnuksen ja salasanan muodossa kuittauksen testitulosten vahvistamiseksi. Tietokantaan kerättyjen tietojen ja testitulosten perusteella tuotannon toimihenkilöt raportoivat mm. tuotantoprosessin saantolukuja ja viallisten osien määrää. Näiden tietojen avulla johdetaan yrityksen tuotantoprosesseja.

### 3.5 Testivaiheet

Testi koostuu yhdeksästä eri testivaiheesta, joiden mukaan testi etenee loogisesti alusta loppuun. Testivaiheet ovat kirjattu excel-taulukkoon, joka havainnollistaa testin eri vaiheet ja toimii myös spesifikaationa testiohjelman toteutukselle (kuva 11). Taulukkoon on luotu vaiheittainen työnkulku, joka kertoo vaihe kerrallaan kuinka MES-järjestelmän ja testaavaan operaattorin työvaiheet etenevät. Taulukosta käy selkeästi ilmi, mitä vaiheita testiohjelma suorittaa automaattisesti ja mitkä vaiheet vaativat testaavan operaattorin toimenpiteitä.

D519060 Rev 1  
COLUMN TESTER WORKFLOW

This table specifies the test session between MES and the working Operator in Column Tester.

Requirement	Cycle	Step	MES Steps	Operator Steps
PTR-10.001 PTR-10.003	START	1	Tell operator to install & lock Column in the tester and to connect weights & cables.	
		2		Install and lock Column in the tester.
		3		Connect weights and cables.
		4		Push button when ready.
		5	Wait push button.	
PTR-10.004	Initialize Test Cycle  Detect Z Opto + Detect Weights On + Emergency Switch	6	Reset board and set to standalone mode.	
		7	Check FW Version.	
		8	Detect Z opto.	
		9	Detect weights on.	
		10	Tell operator to press the Emergency Switch.	
		11		Press Emergency Switch.
		12	Read I/O continuously. Wait for ON.	
		13	Tell operator to release the Emergency Switch.	
		14		Release the Emergency Switch.
		15	Read I/O continuously. Wait for OFF.	
PTR-10.002	Mounting / Door safety switch + Z-home sensing	16	Tell operator to close tester's door.	
		17		Close tester's door.
		18	Check mounting / door safety switch. Read I/O continuously. Wait for 1.	
		19	Tell operator to push button to start the Drive.	
		20		Push button to start the Drive.
		21	Wait push button to start the Drive.	
		22	Drive Column to home position and check Z-opto sensor functioning.	
				Drive column up with full speed. Measure current

Kuva 11. Testin kulkua kuvaavan taulukon alkuosa.

MES:in suorittamat vaiheet on kuvattu taulukkoon yleisellä tasolla. Työnkulku-excelissä on myös toinen välilehti, johon on tarkemmin selostettu kunkin testivaiheen MES:in ja

laitteiston välinen dataliikenne. Looginen vuokaavio kuvaa testivaiheiden kulkua, se erittelee laitteistolle lähetettävät komennot ja sieltä saatavat vastaukset sekä mahdolliset vaiheen hyväksymiskriteerit.

Seuraavassa on selostettuna, miten logiikka toimii testin eri vaiheissa ja mistä voidaan päätellä hyväksytyt testitulokset.

#### Testin alustaminen

Testin alussa käyttöliittymän kautta ohjeistetaan sekä ohjeteksteillä, että työvaiheiden kuvilla testaavalle operaattorille pilarin kytkeminen testilaitteeseen. Operaattori kytkee testattavan pilarin testilaitteeseen ja liittää tarvittavat kaapelit. Käyttäjä kuittaa vaiheen suoritetuksi ja ohjelma siirtyy eteenpäin.

Seuraavaksi testiohjelma resetoii piirikortilla olevan laiteohjelmiston, jotta jokainen testi alkaa puhtaalta pöydältä. Resetoinnin yhteydessä kortti asetetaan ”standalone” -tilaan, joka pysäyttää erilaisia kortilla olevia alustustoimintoja sekä asettaa sarjaportin toiminnan konetilaan.

#### Hätä-seis-kytkimen testaus

Käytettävällä piirikortilla on itsediagnostiikkaa pilarissa olevan kotipaikka-opton tunnistamiseen. Tätä ominaisuutta hyödyntämällä voidaan heti testin alussa tarkistaa, että elektroniikka havaitsee kotipaikka-opton. Jos esimerkiksi kaapeli on jäänyt kokoonpanossa kytkemättä tai liittimessä oleva pinni olisi huonosti pohjassa, havaitaan se heti testin alussa ennen kuin testiajoa on edes aloitettu.

Tässä vaiheessa testataan lisäksi pilarissa olevan hätä-seis-kytkimen toiminta. Hätä-seis-kytkimen toiminnan testaus vaatii operaattorilta toimenpiteitä, sillä kytkintä tulee testissä painaa. Testiohjelma lukee jatkuvasti hätä-seis-kytkimen tilaa ja näytöllä näkyy ohjeistus hätä-seis-kytkimen painamisesta. Operaattori painaa hätä-seis kytkintä ja testiohjelma valvoo sen tilan vaihtumista. Painamisen jälkeen hätä-seis-kytkin pitää vapauttaa. Ohjelma valvoo myös tilan palautumisen kytkimen vapauttamisen yhteydessä, ettei vikatilanteessa pohjassa olevaa kytkintä tulkita toimivaksi kytkimeksi. Vikatilanteessa, mikäli tila on koko ajan looginen 1 tai 0 eikä se vaihdu napin painamisesta huolimatta, ei

testi etene. Tällöin operaattorin on keskeytettävä testi painamalla keskeytys painiketta, jolloin testi epäonnistuu ja seuraa uudelleen käsittely.

#### Kotipaikka-opton testaus

Seuraavassa vaiheessa aloitetaan testiajon ajaminen. Ennen testiajon alkamista ohjelma päättelee kallistusanturin lukemien perusteella onko painovarsi-mekanismi varmasti kytketty päälle. Kun painovarsi on kytketty pilariin oikein, pitäisi kallistusanturin lukeman olla ennalta määritetyissä rajoissa. Jos painovarsi on unohdettu kytkeä päälle, selviää se kallistusanturin lukemien perusteella ja testiajo ei käynnisty.

Kun kaikki on kunnossa, voi testiajo alkaa. Ohjelma tarkistaa kotipaikka-opton tilan, jonka pitäisi olla 0. Tämän jälkeen pilaria ajetaan ylöspäin, jolloin se kaappaa samalla kuorman mukaansa. Pilaria ajetaan tietty määrä askelia, jonka aikana sen tulisi saapua kotipaikkaansa ja opton tilan vaihtua 1:ksi. Pilarin ajaminen pysäytetään, kun kotipaikka-opton tila vaihtuu. Mikäli kotipaikka-opton tila ei kuitenkaan ajon aikana vaihdu, voidaan päätellä, että kotipaikan tunnistamisessa tai pilarin liikkumisessa on jotain vikaa ja testi epäonnistuu.

#### Virtojen, ajonopeuksien ja mekaanisen ylärajan testaus

Kotiasemaan synkronoinnin jälkeen pilaria ajetaan täydellä nopeudella ylöspäin. Ajon aikana AD-muuntimelta mitataan arvoja moottorin ottaman virran suuruudesta. Arvoista poimitaan sekä suurin arvo, että kaikkien arvojen keskiarvo. Ajon yhteydessä mitataan myös pilarin nopeus täydellä nopeudella suoritettavasta nostoliikkeestä. Nopeuden tulee olla riittävän suuri hyväksytyin testituloksen saavuttamiseksi. Sekä ajon alussa että loppussa luetaan MCU:n aikaleima. Nopeus mitataan alku- ja loppuleimojen erotuksen ja askeleina kuljetun matkan suhteesta.

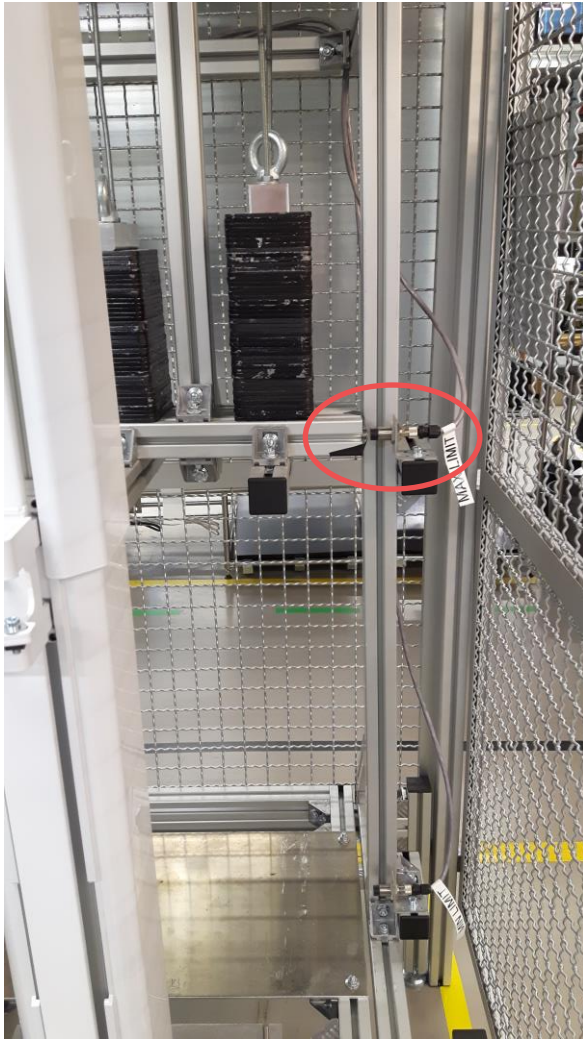
Seuraavaksi pilari ajetaan mekaaniseen ylärajaansa. Pilari saavuttaa mekaanisen ylärajaansa, kun karamoottorin akselissa oleva ruuvi osuu karan päässä olevaan kappaleeseen. Tämän testaaminen on erittäin tärkeää, sillä karamoottori kokoonpannaan sen toimittajalla ja on varmistuttava, että mekaanisen ylärajan ruuvi on karamoottorissa paikallaan. Pilari ajaa siis mekaaniseen ylärajaansa, ja kun tasavirtamoottoria yritetään yhä pyörittää, pitäisi sen virran nousta hyvin suureksi. Virta nousee, kunnes se saavuttaa ylivirtarajan, jolloin elektroniikka pysäyttää moottorin ajon. Ylivirran merkiksi sille varatun

I/O:n tila muuttuu 1:si. Kun moottorin ajo pysähtyy, tarkistaa ohjelmisto, että ylivirran tila on muuttunut. Ylivirran kytkeytymisestä ja kotipaikkaan synkronoimisen jälkeen kuljettusta matkasta voidaan päätellä, että pilari on osunut mekaaniseen ylärajaansa.

Tämän jälkeen pilaria ajetaan vastaavasti alaspäin täydellä nopeudella ja mitataan sekä moottorin ottama virta, että sen ajonopeus. Arvojen tulee olla ennalta määritetyissä rajoissa.

#### Karamoottorin pulssianturin toiminnan testaus

Seuraavassa vaiheessa pilari ajetaan uudelleen kotipaikka-optoon ja sen sijainti synkronoidaan opton perusteella. Tämän jälkeen pilaria ajetaan karamoottorin tuottamat pulssit laskemalla tietty matka. Pilarin tulisi siis ajaa ennalta määritettyyn paikkaan, mikäli karamoottorin pulssianturin tuottamat pulssit toimivat halutulla tavalla. Tämä todetaan testirissä olevalla induktiivisella läheisyysanturilla (kuva 12). Anturi on sijoitettu tähän ennalta määritettyyn paikkaan. Pilarin saapuessa sijaintiin tulisi painopakassa olevan metallisen haittaruuvien muuttaa anturin tila, mikäli pilari on ajanut oikeaan haluttuun paikkaan. Testistä voidaan päätellä, että pilarin tuottamat pulssit toimivat oikein ja että pilari on oikeasti siinä paikassa, missä laitteisto sen luuleekin olevan.



Kuva 12. Läheisyysanturi tunnistaa, kun painopakka on sen kohdalla.

#### Kuorman poistaminen ja pakkauskorkeuteen ajaminen

Lopuksi pilari ajetaan takaisin ala-asentoon painojen poistamista varten. Kun pilari ajetaan riittävän alas, laskeutuu kuormana käytetty painopakka pilarin mukana alas telineeseen. MES-käyttöliittymä ohjeistaa testaavaa operaattoria irrottamaan kuorman pilarista. Kun kallistusanturi havaitsee, että painot on irrotettu, voidaan pilari ajaa pakkauskorkeuteen painamalla näytölle ilmestyvää painonappia. Kun pilari on pakkauskorkeudessa, ohjeistaa käyttöliittymä irrottamaan kaapelit sekä pilarin testilaitteesta ja siirtämään sen pakattavaksi. Testin päätteeksi käyttöliittymään tulee kuitata, ettei pilarista testin aikana kuulunut poikkeavia ääniä.

Tämän jälkeen testi on suoritettu. Operaattori katselmoi saadut testitulokset käyttöliittymän kautta ja kuittaa testin suoritetuksi käyttäjätunnuksella ja salasanalla. Pilari on testattu ja se voidaan siirtää pakkausalueelle.

### 3.6 Turvallisuus

Testausjärjestelmän mekaaniset osat on sijoitettu metallisesta verkosta tehdyn häkin sisään (kuva 13). Häkki estää pääsyn pilarin välittömään läheisyyteen testin aikana. Pilari vietään häkkiin siinä olevan oven kautta. Häkin ulkopuolella on vain sen sivuun kiinnitetty systeemin koteloitu piirikortti, virtakytkin ja hätä-seis-kytkin.



Kuva 13. MES-käyttöliittymä kosketusnäytöllä testerin vieressä ja testerihäkki.

Testissä elektroniikka valvoo usein eri tavoin turvallisuutta. ”Uuninpelti” -kiinnitykseen on sijoitettu rajakytkin, jonka avulla voidaan selvittää, että mekanismi on lukittu. Testihäkin oveen on myös sijoitettu rajakytkin, josta selviää onko ovi auki vai kiinni. Kytkimet on kytketty sarjaan, joten molempien pitää olla kiinni, jotta tila vaihtuu 1:ksi. Sekä ”uuninpelti” mekanismin että häkin oven tila tarkistetaan ennen testiajon aloittamista. Kytkimet on kytketty MCU:n I/O-portin lisäksi piirikortilla sähköisesti siten, että mikäli ne eivät ole kiinni, ei pilarin liikkeen ajaminen ole mahdollista. Mikäli häkin ovi avataan testin aikana, pysähtyy testattavan pilarin ajo samalla. Tämä aiheuttaa myös epäonnistuneen testin, sillä pilari ei voi tällöin suorittaa meneillä olevaa ajoa.

Vikatilanteissa pilari saattaa jäädä sellaiseen asentoon, että painot ovat ilmassa ja testi keskeytyy. Tällaisessa tilanteessa on arvioitava tarkkaan, mistä vika johtuu. Pilari voidaan vikatilanteessa manuaalisesti ajaa takaisin ala-asentoon käyttöliittymän kautta.

Testin aikana valvotaan myös kuorman kytkemiseen käytettävän painovarren käyttöä. Painovarressa olevasta kallistusanturista saadaan lukemia, joiden perusteella voidaan päätellä, onko painovarsi kytketty pilariin, vai onko se telineessään. Testin alussa ennen testiajon alkamista tarkastetaan, että painovarsi on kytketty pilariin. Testin lopuksi tarkastetaan, että painovarsi on kytketty irti pilarista ennen pakkauskorkeuteen ajamista.

## 4 Testaus ja käyttöönotto

### 4.1 Verifiointi ja validointi

Verifioinnilla ja validoinnilla tarkoitetaan menetelmiä, joilla varmistetaan, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset ja että se sopii aiottuun käyttötarkoitukseen. Prosessi on tärkeä osa laadunhallintaa. Verifioinnilla eli todentamisella varmistetaan, että tuote vastaa alkuperäisiä suunnitteluvaatimuksia. Validoinnilla eli kelpuutuksella varmistetaan, että tuota sopii aiottuun käyttötarkoitukseen.

#### Vaatimusmäärittely

Yrityksellä on oma laatuohje tuotannon laitteistojen verifiointille ja validoinnille. Prosessi sanoo, että mikäli seuraavat kriteerit täyttyvät, on laitteelle tehtävä prosessin mukainen V&V ennen sen käyttöönottoa:

- Laite on yrityksessä itse valmistettu ja
- TCN (Total Criticality Number) eli kriittisyys numero on vähintään kolme.

Kriittisyysnumero on kahden eri arviointikriteerin tulo. Pilaritesterille laskettiin kriittisyysnumero ja sen tulos oli 9. Laitteiston toiminnoilla on suuri vaikutus tuotteen laatuun. Sillä testataan sellaisia ominaisuuksia, joita ei myöhemmissä tuotannonvaiheissa enää testata ja se on ainoa tapa testata nämä asiat. Mikäli laitteisto ei toimi, tuotanto pysähtyy. Arvioinnin perusteella oli selvää, että testerille tulee tehdä prosessin mukainen V&V.

V&V koostuu kolmesta eri osasta, vaatimusmäärittelystä, testaussuunnitelmasta ja testausraportista. Testerille laadittiin yhdessä laatuosaston kanssa erillinen laatujärjestelmän mukainen vaatimusmäärittelydokumentti, jossa eriteltiin testerille asetetut vaatimukset. Vaatimusdokumentissa on kolme eri kategoriaa: IQ eli asennukseen liittyvät vaatimukset, OQ eli toiminnalliset vaatimukset ja PQ eli suorituskyky vaatimukset.

Hyväksytyyn vaatimusmäärittelyyn perusteella tehtiin testaussuunnitelma. Testaussuunnitelma koostuu samoista kolmesta vaiheesta, IQ:sta, OQ:sta ja PQ:sta. IQ:ssa verifioidaan testerin asennuksen vaatimat asiat. Tällaisia vaatimuksia olivat esimerkiksi, että



testerinä varten tulee olla verkkovirta saatavilla ja että testerinä varten tulee olla PC työpis-  
teellä. IQ-vaatimuksia ovat myös erilaiset turvallisuusvaatimukset. Testerissä olevan  
suuren kuorman vuoksi yksi vaatimuksista oli, että testin aikana pääsy laitteen välittö-  
mään läheisyyteen tulee estää. OQ-vaatimuksia ovat testausjärjestelmälle asetetut vaa-  
timukset. Vaatimuksiin kirjattiin asiat, jotka testerin tulee testattavasta laitteesta testata.  
Näitä asioita olivat esimerkiksi aiemmin mainitut hätä-seis-kytkimen ja karamoottorin  
pulsianturin toimivuuden testaaminen. PQ-vaihetta käytetään tässä prosessissa vali-  
dointiin. PQ-vaiheen vaatimukseksi kirjattiin, että kolmen kappaleen erä pilareita tulee  
valmistaa ja testata laitteistolla. Testauksen jälkeen pilarit tulee kytkeä päälaitteisiin, joille  
suoritetaan laitteen kalibroinnit ja kuvanlaadun tarkistaminen.

#### Testaussuunnitelma ja -raportti

Luotua vaatimusmäärittelyä vasten tehtiin testaussuunnitelma laitteiston verifiointia var-  
ten. Testaussuunnitelmaan tehtiin testivaiheet jokaiselle vaatimusmäärittelyssä kirjatulle  
vaatimukselle. Lisäksi OQ:ssa oleville vaiheille tehtiin myös erilaisia luotuja vikatilanteita,  
joilla varmistettiin, että järjestelmä havaitsee myös erilaisia mahdollisia tuotteessa olevia  
virheitä. Suunnitelma hyväksyttiin ja sen mukainen testaus suoritettiin. Testauksessa  
ei suurempia ongelmia ilmennyt, mutta yksi poikkeama kirjattiin moottorista mitattuihin  
virtoihin liittyen. Sekä vaatimusmäärittelyyn että testaussuunnitelmaan kirjatut virtarajat  
olivat liian tiukat. Poikkeaman perusteella virtarajoja muokattiin väljemmiksi.

IQ- ja OQ-vaiheiden jälkeen kolme testerillä testattua pilaria liitettiin päälaitteisiin ja niille  
suoritettiin kalibroinnit, sekä kuvanlaadun tarkistus. Näin voitiin kelpuuttaa, että järjes-  
telmä sopii aiottuun käyttötarkoitukseensa. Testauksesta kirjoitettiin raportti, jonka hy-  
väksynnän jälkeen testerä voitiin ottaa käyttöön tuotannossa ja sillä testattuja pilareita  
voidaan alkaa lähettää asiakkaille.

#### 4.2 Huolto ja ylläpito

Testerä liitettiin osaksi tuotannon TPM-prosessia. TPM on prosessi, jolla ylläpidetään ja  
kehitetään tuotannon ehyttä ja laatua. Prosessissa määritetään erilaisia säännöllisin vä-  
liajoin tehtäviä tarkastuksia tai huoltotoimenpiteitä, joiden avulla voidaan tuotannossa  
olevat laitteet pitää toimintakunnossa. Prosessin tarkoituksena on huoltaa laitteet ennen  
niiden vikaantumista, jotta voitaisiin välttyä yllätyksiltä ja laitteet eivät koskaan rikkoutuisi

ja häiritsisi tuotantoprosessia. Esimerkiksi tuotannossa olevat sähköturvallisuusanalysointilaitteet testataan kahden viikon välein, mutta ne kalibroidaan vain kerran vuodessa. Näin voidaan viallinen työkalu tai laite havaita hyvin aikaisessa vaiheessa.

Myös pilarin testerille luotiin oma TPM-huolto. Tämän työn aikana luotu huoltosuunnitelma oli hieman suppea, sillä se sisälsi vain testerissä olevien kaapelien uusinnan ennalta määritetyin aikavälein. Näin voidaan välttyä virheellisiltä testituloksilta, jotka johtuisivat testerissä olevista kuluneista kaapeleista ja liittimistä.

## 5 Yhteenveto

Insinööriyön aiheena oli kehittää testausjärjestelmä tuotannossa kootulle röntgenlaitteen osalle, pilarille. Toteutettu testeri koostuu monesta eri osasta. Siinä on tarvittava mekaniikka pilarin kiinnittämiseksi ja helposti käytettävä kuorma testiä varten. Tähän tarkoitukseen muokatulla laitteen piirikortilla ohjataan pilaria ja antureita testin aikana. Testiohjelma käy läpi kaikki eri testivaiheet ja tulkitsee, toimiiko pilari halutulla tavalla. Käyttöliittymän kautta testin työnkulku viedään läpi ohjeistamalla ja antamalla tietoa testeriä käyttävälle operaattorille.

Työtä tehdessäni sain lisäideoita, joita voisi toteuttaa, mikäli testeriä halutaan kehittää eteenpäin tulevaisuudessa. Tällä hetkellä testin epäonnistuneissa testiohjelma keskeytyy ja koontisivu suoritetuista ja epäonnistuneista testeistä tulee näkyviin. Testin logiikan, testiohjelman ja laiteohjelmiston välisen liikenteen perusteella voisi päätellä monia asioita. Tätä voisi hyödyntää vikatilanteen tulkinnassa siten, että riippuen epäonnistuneesta testivaiheesta voisi MES-järjestelmä ehdottaa mahdollisia todennäköisimpiä vikoja perustuen anturien tuottamaan dataan ja epäonnistuneeseen testivaiheeseen. Tämä nopeuttaisi kokoonpanon korjaustyötä vikatilanteessa.

Työssä toteutettu testeri täyttää sille asetetut vaatimukset, ja sillä voidaan varmistaa tuotteen laatu ja toimivuus ennen tuotteen lähettämistä asiakkaalle. Testeri otettiin käyttöön tuotantolinjalla, ja se liittyi osaksi tuotannon virtaavaa työnkulkua.

## Lähteet

- 1 KaVo Kerr Group Finland. 2017. Verkkojulkaisu. <<http://www.kavokerr.fi/fi/>>. Luettu 6.1.2017.
- 2 Säteily terveydenhuollossa. 2017. Verkkojulkaisu. STUK. <<http://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa>>. Luettu 21.1.3.2017.
- 3 Potilas hammasröntgenlaitteessa -kuva. 2017. <<http://www.alldent.fi/3d-kktt-kuvaukset/>>.
- 4 QD70277, New Product Program Handbook. 2016. Yrityksen sisäinen laatu-dokumentti. Luettu 22.2.2017.
- 5 Womack, Jim. 2009. Kaizen Express. USA: Lean Enterprise Institute.
- 6 QD71185, Best practices of SDR / Hyväksikoetut (SDR) toimintatavat hankkeissa. 2016. Yrityksen sisäinen laatudokumentti. Luettu 23.3.2017.
- 7 OP-300 laitteen kuva. 2017. <<http://www.instrumentariumdental.com/en/product/op300/>>.
- 8 Ptak, Carol A. 2004. Erp: Tools, Techniques, and Applications for Integrating the Supply Chain. Taylor & Francis Group.

## Tuotannon testausvaatimukset

Alla olevassa taulukossa on eritelty tuotannolle asetetut testausvaatimukset.

<b>Production testing requirements</b>	
Column Z-movement shall be driven with unit's weight on top of the Column.	Safety critical. Weight with appropriate offset.
Functioning of Z-movement position sensing shall be tested.	
Functioning of Cradle hinge and Cradle locking to Column shall be tested.	
Functioning of emergency switch shall be tested.	
Drive to mechanical max limit with slow speed.	To verify motor safety nut.
Verify Column maximum height.	
Measure Column max current and average current.	
Check Column leveling difference at min and max positions.	
Make sure there's no disturbing noise during Column testing.	
Measure Column drive speeds for up/down movements.	

## Työnkulku -taulukko

Taulukko kuvaa testin työnkulun MES järjestelmän ja operaattorin välillä.

D519060 Rev 1  
COLUMN TESTER WORKFLOW

This table specifies the test session between MES and the working Operator in Column Tester.

Requirement	Cycle	Step	MES Steps	Operator Steps
PTR-10.001 PTR-10.003	START	1	Tell operator to install & lock Column in the tester and to connect weights & cables.	
		2		Install and lock Column in the tester.
		3		Connect weights and cables.
		4		Push button when ready.
		5	Wait push button.	
	Initialize Test Cycle	6	Reset board and set to standalone mode.	
		7	Check FW Version.	
		8	Detect Z opto.	
PTR-10.004	Detect Z Opto + Detect Weights On + Emergency Switch	9	Detect weights on.	
		10	Tell operator to press the Emergency Switch.	
		11		Press Emergency Switch.
		12	Read I/O continuously. Wait for ON.	
		13	Tell operator to release the Emergency Switch.	
PTR-10.002	Mounting / Door safety switch + Z-home sensing	14		Release the Emergency Switch.
		15	Read I/O continuously. Wait for OFF.	
		16	Tell operator to close tester's door.	
		17		Close tester's door.
		18	Check mounting / door safety switch. Read I/O continuously. Wait for L.	
PTR-10.006 PTR-10.009 PTR-10.013	Currents, Speeds and Mechanical Max Limit	19	Tell operator to push button to start the Drive.	
		20		Push button to start the Drive.
		21	Wait push button to start the Drive.	
		22	Drive Column to home position and check Z-opto sensor functioning.	
		23	Drive column up with full speed. Measure current during lifting. Save mean and max values. Measure drive speed up.	
PTR-10.007	Z-position sensing + Max Leveling	24	Drive column to mechanical max limit.	
		25	Drive column down with full speed. Measure current during lowering. Save mean and max values. Measure drive speed down.	
		26	Drive column to home position. Zero position.	
		27	Drive Column to max limit.	
		28	Verify column max height from proximity sensor.	
PTR-10.010	Z-position sensing + Min Leveling	29	Measure Column max limit leveling.	
		30	Drive Column to min limit.	
		31	Verify column min height from proximity sensor.	
		32	Measure Column min limit leveling.	
		33	Calculate leveling difference (= max leveling - min leveling). Save result.	
PTR-10.012	Detect weights Off + Packing Height	34	Drive Column down to drop weights.	
		35	Tell operator to disconnect weights and close the tester's door.	
		36		Open tester door.
		37		Disconnect weights.
		38		Close tester's door.
		39		Push button when ready.
		40	Wait push button.	
		41	Detect weights off.	
		42	Drive Column to packing height.	
		43	Ask the operator if there was any disturbing noise coming from the column during the test.	
44		Select Yes / No		
	END	45	Test is Passed. Tell operator to disconnect all cables and remove the Column from the tester.	
		46		Disconnect all cables.
		47		Remove Column from the Tester.
		48	Show test summary.	