

Vesa Mäkinen

# Röntgenlaittevalmistuksen loppukokoonpanon ongelmatilanteiden tutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

1.9.2014

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Vesa Mäkinen Röntgenlaittevalmistuksen loppukokoonpanon ongelmatilanteiden tutkimus 34 sivua 1.9.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Terveystieteiden tekniikka
Ohjaaja(t)	Tuotantopäällikkö Kai Mäenpää Lehtori Jukka Kuikanvirta
<p>Insinööriyössä tutkittiin röntgenlaitteen loppukokoonpanossa esiintyviä häiriöitä, niiden alkuperää ja parhaita ratkaisukeinoja. Lopullisena päämääränä oli selvittää, voiko kyseistä työvaihetta mitata standardiajoilla ja pystyykö häiriöaikaa laskemaan 30 %:sta alle 10 %:iin.</p> <p>Tutkimus suoritettiin loppukokoonpanemalla yhteensä 50 ProMax 2D- ja 3D –konetta. Tässä ajassa yksittäisiä häiriötekijöitä tuli valtava määrä, jonka vuoksi häiriöt oli järkevää jakaa suurempiin yhdistäviin kategorioihin, joita olivat alkukokoonpanon virheet, laatu, ohjelmisto-ongelmat ja omasta toiminnasta johtuvat virheet. Ongelmatekijöitä analysoitiin ja niiden kitkemiseksi kehitettiin useita eri tapoja.</p> <p>Alkukokoonpanon virheisiin puututtiin lisäämällä tiedonkulkua sekä kehittämällä yrityksen sisäistä koulutusta. Laatuongelmiin pureuduttiin ensisijaisesti tarkastelemalla nykyisiä laatukriteereitä ja niiden järkevyyttä. Ohjelmisto-ongelmista informoitiin tuotekehitystä, jotta näitä alettaisiin tutkia tarkemmin. Myös päivittäistä tiedonkulkua tuotekehitykseen parannettiin kehittämällä erillinen ohjelma, joka päivittäin kirjaa tietoa loppukokoonpanossa esiintyneistä ongelmista. Omista virheistä johtuvia ongelmia voisi vähentää mm. järjestelmällisellä suuntauskoulutuksella, mutta tämän toteuttaminen on monesta tekijästä johtuen tällä hetkellä haastavaa.</p> <p>Häiriöiden suuresta osatekijöiden määrästä johtuen häiriöitä ei saatu tutkimuksen aikana laskettua alle 10 %:iin. Tutkimuksen jälkeen suuntaustyöhön liittyvillä toimihenkilöillä on kuitenkin parempi tietous häiriöistä. Niihin puuttuminen on jatkossa helpompaa.</p>	
Avainsanat	röntgen, suuntaus

Author Title	Vesa Mäkinen Problems in the x-ray machine final assembly
Number of Pages Date	34 pages 1 September 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Medical Engineering
Instructor(s)	Kai Mäenpää, Production Manager Jukka Kuikanvirta, Senior Lecturer
<p>This thesis concerns finding the root causes of the interruptions in the final assembly of x-ray machines. The goal was to find out if it is reasonable to measure the final assembly with standard times and if it is possible to reduce the interruptions from 30% to under 10%.</p> <p>The study was conducted by aligning 50 ProMax 2D and 3D-machines. A great amount of single different interruptions was found and the data had to be organized into bigger categories: earlier phases, quality, software related problems and lack of experience/knowledge.</p> <p>The interruptions caused by the earlier phases were handled by increasing the primary productions knowledge of the final assembly. The quality criteria were rechecked. Software related problems were delegated to product development –department and a constant information channel between product development and production was created. Interruptions due to own mistakes could be reduced by creating a systematic education plan for the alignment phase. However, because of various factors, arranging this at this point is problematic.</p> <p>As a result of this study interruptions were lowered a little but not as much as it was planned. It is easier for the managerial employees now to understand why the final assembly is so hard and why there are so many interruptions.</p>	
Keywords	x-ray, alignment

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Planmeca-konserni	2
2.1	Planmeca Group	2
2.2	Planmeca Oy	3
3	Röntgensäteily ja hammasteknologia	8
3.1	Röntgensäteilyn tuotto	8
3.2	Röntgensäteilyn käyttö	9
3.3	Säteilyannokset	10
4	Röntgenlaitteen suuntaustyön tutkiminen	12
4.1	Tutkimuksen aloitus	12
4.2	Nykyinen suuntausmenetelmä	12
4.3	Muutokset tutkimuksen aikana	19
5	Tutkimustulokset ja toimenpiteet	20
5.1	Ongelmat	20
5.2	Tutkimuksen aikaisten muutosten vaikutus	23
5.3	Ongelmien analysointi	23
5.4	Lean ja A3	25
5.5	Ongelmanratkaisukaavio	27
5.6	Toimenpiteet tutkimuksen jälkeen	29
6	Suuntauksen osittaminen	30
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

## Lyhenteet ja määritelmät

2D	kaksiulotteinen
3D	kolmiulotteinen
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i> ; standardoitu tapa käsitellä, tallentaa, tulostaa ja lähettää lääketieteellistä kuvamateriaalia
Häiriö	työtä, joka ei kuulu normaaliin työprosessiin ja työnkuvaukseen
KKTT	kartiokeilatietokonetomografia
SCARA	Selectively Compliant Articulated Robot Arm
Suuntaus	Loppukokoonpanon viimeisen linjan nimitys
Sv	Sievert, ionisoivan biologisesti vaikuttavan säteilyannoksen yksikkö
TWAIN	ohjelmointirajapinta ja protokolla, joka mahdollistaa kommunikoinnin digitaalisen kuvannuslaitteen ja ohjelmiston välillä

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Planmeca Oy:lle, joka on osa Planmeca Groupia. Sen liiketoiminta perustuu huippuluokkaisten hammaslääketieteen laitteiden suunnittelemiseen ja valmistamiseen: hammashoitokoneita, panoraama-, intraoraali-, 3D-röntgenlaitteita ja niiden ohjelmistoja [2].

Lähtötilanteessa röntgenlaitteen suuntaustyössä esiintyy yli 30 % häiriöitä. Tämä hankaloittaa huomattavasti tuotannosuunnittelua ja aika ajoin myöhästyttää tuotteen toimitusta asiakkaalle tai nostaa toimituksen hintaa. Muilla linjoilla pyritään alle 5 %:n häiriöihin ja suuntauksessa hyväksyttävä raja olisi alle 10 %.

Ongelmat johtuvat monesta osatekijästä. Työohjeet ovat puutteellisia, eikä niitä käytetä, vaan monella on oma etenemistapa työnkulussa. Ongelmatilanteisiin ei ole minkäänlaisia ohjeita. Ratkaisutapa on työntekijäkohtaista. Ongelman ratkaisuun kuluva aika voi erota merkittävästi työntekijöiden välillä. Uusia työntekijöitä ei kouluteta järjestelmällisesti eikä vanhoille työntekijöille ole säännöllisiä infotilaisuuksia uusien päivitysten ja menetelmien tuomista muutoksista.

Tutkimuksen ensisijainen tavoite on etsiä ja vähentää suuntaustyössä esiintyviä ongelmia ja laatupuutteita. Tämä alkaa selvittämällä, onko suuntaustyö ylipäättänsä standardiajoilla mitattavaa työtä ja voiko häiriöissä päästä alle 10 %:iin. Jos tutkimuksesta saadaan tarpeeksi tietoa, suuntaustyöstä tehdään selkeät työohjeet ja ongelmanratkaisukaavio häiriötapausten korjaamiseksi. Jos työtä ei voi mitata standardiajoilla, tulee pohtia sen vaikutuksia ja vaihtoehtoisia tapaa toimia.

Työ alkaa opettelemalla röntgenlaitteiden suuntaamista, jotta saadaan tarkka kuva työn kulusta ja missä tilanteissa häiriöitä syntyy. ProMax 2D- ja ProMax 3D -koneita suunnataan ja tutkitaan riittävä määrä esim. 30-50 kappaletta. Työssä esiintyvien häiriöiden määrä ja niihin käytetty aika kirjataan ylös. Samalla mietitään parasta tapaa korjata esiintyneet häiriöt.

## 2 Planmeca-konserni

### 2.1 Planmeca Group

Planmeca Group koostuu kuudesta eri terveydenhuollonalan yrityksestä, joita ovat Planmeca Oy, Plandent Oy, Planmed Oy, LM-Instruments Oy, Opus Systemer AS ja Triangle Furniture Systems Inc. [3]. Yritykset toimivat maailmanlaajuisesti ja työllistävät n. 2600 ihmistä. Pääkonttori sijaitsee Helsingin Herttoniemessä.

Plandent Oy on hammastarvikeliikkeiden ketju, joka toimittaa kaikille hammashoitoalan ammattilaisille alan laitteita, instrumentteja, tarvikkeita sekä asennus- ja huoltopalveluita. Yritys perustettiin 1972.

Planmed Oy suunnittelee, markkinoi ja valmistaa mammografia ja ortopedisia kuvannuslaitteita. Mammografiatutkimuksiin löytyy sekä digitaalisia että analogisia kuvantamislaitteita, stereotaktisia biopsialaitteita ja rintasyövän varhaiseen havaitsemiseen rinnanasettelujärjestelmät. Ortopediseen 3D-kuvantamiseen löytyy siirrettävä TT-kuvauslaite. Yritys perustettiin 1989.

LM-Instruments suunnittelee, valmistaa ja markkinoi hammaslääketieteellisiä käsi-instrumentteja ja niiden oheistuotteita. Yritys on tuotteillaan Pohjoismaiden markkinajohtaja. Yritys ostettiin Planmeca Groupiin vuonna 1999.

Opus Systemer suunnittelee ohjelmistoja hammaslääkärivastaanotoille. Päätuote on Opus Dental, joka tukee hoitotoimenpiteitä ja vastaanoton hallinnointia. Se on käytetyin tiedonhallintaohjelmisto Pohjoismaisilla vastaanotoilla. Yritys ostettiin Planmeca Groupiin vuonna 2000.

Triangle Furniture Systems Inc. suunnittelee hammashoitoloihin soveltuvia kaapistoja ja sterilisointikaappeja, joissa on otettu huomioon hygienian kannalta tärkeitä seikkoja. Yritys liitettiin konserniin vuonna 2005.

## 2.2 Planmeca Oy

Planmeca Oy on perustettu vuonna 1971 ja sen ensimmäisiä tuotteita olivat hammashoitotuolit ja instrumenttikaapit. 80-luvulla Planmeca onnistui erottautumaan markkinoilla tuomalla ensimmäisenä maailmassa mikrokontrollerilla ohjattavan hammashoitotuolin. Nykyään Planmeca Oy suunnittelee ja valmistaa hammashoitokoneita, panoraama-, intraoraali-, 3D-röntgenlaitteita sekä niiden ohjelmistoja.

### Hammashoitokoneet

Hammashoitokoneella tarkoitetaan kokonaisuutta, joka sisältää potilastuolin sekä hoitotyössä käytettäviä instrumentteja. Kone sisältää myös veden-, ilman- ja sähkönsyötön sekä niitä ohjaavat mikrokontrollerit.



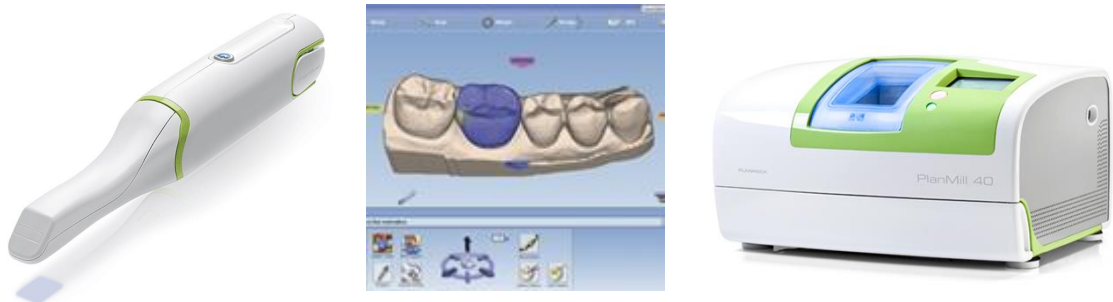
Kuva 1. Planmeca Sovereign -hoitokone



Yrityksen valikoimaan kuuluu neljä hoitokonetta: Planmeca Sovereign, Planmeca Sovereign Classic, Planmeca Compact i Touch ja Planmeca Compact i Classic. Koneet eroavat toisistaan varustelutasoltaan ja muokattavuudeltaan. Esimerkiksi hoitoasentoja voi säätää korkeuden ja vasen- ja oikeakätisyyden mukaan [4].

## CAD/CAM

CAD/CAM-prosessi on kehitetty mm. hammaskruunujen valmistamiseen. Implantin kohde saadaan mallinnettua laserkeilaamiseen perustuvalla PlanScan-laitteella. Kohteen mallinnuksen jälkeen implantti voidaan suunnitella PlanCAD Easy -ohjelmistolla. Tämän jälkeen implantti voidaan valmistaa paikan päällä PlanMill-jyrsintälaitteella. Implantti on valmis asennettavaksi.



Kuva 2. PlanScan, PlanCAD Easy ja PlanMill 40

CAD/CAM-tekniikalla voidaan valmistaa myös muita pään alueen implantteja. Kohde kuvataan 3D-kuvannuslaitteistolla, jonka jälkeen kallosta voidaan valmistaa kallomalli. Planmecan suunnittelija ja kirurgi suunnittelevat yhdessä sopivan implantin online-tapaamisen avustuksella. Tilauksesta toimitukseen kestää vain muutama arkipäivä, jonka jälkeen implantti on valmis asennettavaksi. Mitä nopeammin implantti saadaan asennettua potilaalle, sitä suuremmalla todennäköisyydellä leikkauksen jälkeinen tulos on myös esteettisesti huippuluokkaa.

## Intraoraalikuvantaminen

Intraoraalikuvantamisessa käytetään ProX röntgenlaitetta säteilyn tuottamiseen. Kuva voidaan ottaa joko filmille, kuvantamislevylle (Planmeca ProScanner) tai digitaaliselle sensorille (Planmeca ProSensor). ProX on mahdollista liittää osaksi Planmeca Sovereign- ja Planmeca Sovereign Classic hoitokonetta.



Kuva 3. ProX säteilylähde intraoraalikuvantamiseen ja ProSensor

## Panoraamakuvantaminen

Panoraamakuvantamiseen Planmecalta löytyy kaksi kuvantamislaitetta: ProOne ja ProMax, joista ProOne on vanhempi ja edullisempi. Molemmissa laitteissa on selkeä ja opastava käyttöliittymä, automaattinen tarkennus ja suuri valikoima kehittyneitä kuvannusohjelmia.



Kuva 4. ProMax 3D Classic

Suurin ero koneissa on ProMax laitteiden muokattavuus. ProMax 2D laitetta myydään SCARA 2- ja 3 -varsilla. SCARA 2 -varsi on kiinteä olkavarsi ja ominaisuuksiensa puolesta muistuttaa ProOnea. SCARA 3 sen sijaan mahdollistaa suuremman määrän kuvasmenetelmiä sen monimutkaisten ja taidokkaasti ohjelmoitujen liikkeiden ansiosta. ProMaxiin voi myös hankkia parempia sensoreita, jotka mahdollistavat 3D-kuvantamisen.

Taulukko 1. ProOne, ProMax 2D SCARA 2 ja 3 -kuvannusohjelmat

ProOne ProMax 2D SCARA 2 ProMax 2D SCARA 3	Standard panoramic
	Lateral TMJ (closed & open)
	PA TMJ (closed & open)
	PA sinus
	Horizontal and vertical segmenting for panoramic program
	Bitewing
	Child mode for each program to reduce to dose
ProMax 2D SCARA 3	True Bitewing
	Interproximal panoramic
	Orthogonal panoramic
	Lateral-PA TMJ
	Lateral multiangle TMJ
	PA multiangle TMJ
	PA non rotational sinus
	Digital linear tomography and Transtomography in digital unit
	True linear tomography or Linear tomography in film unit

#### Lateraalikallokuvantaminen

ProMax-laitteisiin voi erillisellä lisävarrella lisätä mahdollisuuden lateraalikallokuvantamiseen. Kuvannus onnistuu Planmeca ProMax kefalostaatilla, joka skannaa potilaan päätä liikkuvan sensorin avulla.



Kuva 5. Lateraalikallokuva

Uutuutena myydään myös Planmeca ProCeph kefalostaattia, joka mahdollistaa lateraalikallokuvauksen lyhyellä valotusajalla, pienellä säteilyannoksella ja ilman mekaanisia liikkeitä.

### 3D-kuvantaminen

ProMax 3D -koneet mahdollistavat pään alueen kokonaisvaltaisen tutkimuksen. SCARA 3 olkavarren ansiosta koneilla voi ottaa 3D-kuvien lisäksi kaikkia niitä kuvia, joita ProMax 2D -koneilla saa. ProMax 3D -laitteita on useita erilaisia, jotka eroavat toisistaan sillä, minkä kokoinen sensori niissä on ja kuinka suuria kuvia niillä saa.



*ProMax 3D s*



*ProMax 3D  
Classic*



*ProMax 3D Plus*



*ProMax 3D Mid*



*ProMax 3D  
Max*

Kuva 6. ProMax 3D sensoreiden variaatiot

## Romexis

Planmeca Romexis on kuvantamisohjelmisto, joka on suunniteltu kaiken kokoisten klinikoiden kuvantamistarpeisiin. Kuten kaikissa Planmecan ohjelmistoissa ja laitteissa, myös Romexiksen päätavoitteina on ollut säilyttää selkeys ja helppokäyttöisyys kuvannusohjelmien lisääntymisestä huolimatta. Romexis tukee sekä 2D- että 3D-kuvia.

Ohjelmisto on suunniteltu erityisesti Windows- ja Apple Mac OS käyttöjärjestelmille, mutta toimii myös useilla muilla alustoilla DICOM- ja TWAIN standardien ansiosta.

## 3 Röntgensäteily ja hammasteknologia

### 3.1 Röntgensäteilyn tuotto

Wilhelm Röntgen keksi röntgenputken 1800-luvun lopussa, röntgensäteilyn tuottamistekniikka on edelleen sama. Röntgensäteilyn synty perustuu elektronien kiihdyttämiseen tyhjiöputkessa, jossa ne törmäytetään sopivaan materiaaliin ja samalla synnytetään jarrutussäteilyä.

Tyhjiöputkessa on anodi ja katodi. Niiden välille asetetaan suuri jännite, jolloin katodin ja anodin välille muodostuu voimakas sähkökenttä. Kun kelan muotoista katodia hehkutetaan sähkövirralla, sen pinnalta irtoaa elektroneja tyhjiöputkeen, jotka sähkökentän vaikutuksesta kiihtyvät kohti anodia. Elektronien osuessa anodiin ne jarruuntuvat ja tuottavat jarrutussäteilyä. Samalla syntyy myös ominaissäteilyä, joka riippuu anodin materiaalista. Elektronien energiasta noin 1 % muuttuu röntgensäteilyksi ja loput lämmöksi.

Elektroneja kiihdyttävän sähkökentän jännite (lääketieteellisessä kuvantamisessa 20-150 kV) tuotetaan röntgenlaitteessa olevalla muuntajalla. Samoin laitteen tarvitsema tasavirta muunnetaan verkkovirrasta. Tasavirta takaa nopean, tasaisen ja tarkan säteilyntuoton, joka on tarpeellista varsinkin nykyaikaisille digitaalisille sensoreille.

Mitä suurempi elektroneja kiihdyttävän sähkökentän jännite on, sitä parempi läpäisykyky sen aiheuttamalla röntgensäteilyllä on. Liian matalaenerginen säteily absorboituu ihoon, eikä valota sensoria. Puolestaan liian korkeaenerginen säteily

valottaa sensoria liikaa ja kuvattavan kohteen kontrasti jää huonoksi. Jännite täytyy valita aina tilanteen ja kuvattavan kohteen mukaan.

Hehkuvirralla vaikutetaan putkivirtaan eli siihen, millä intensiteetillä säteilyä tulee putkesta. Mitä kuumempi hehkulanka on, sitä enemmän siitä irtoaa elektroneja tyhjiöputkeen. Hehkulangassa kulkeva virta on luokkaa 3-6 ampeeria (A) ja siitä aiheutuva tyhjiöputken virta 1-15 milliampeeria (mA). Mitä suuremmalla intensiteetillä säteilyä tuotetaan, sen nopeammin kohde saadaan kuvattua. Käytännössä kuvannusnopeutta rajoittaa putkipään ylikuumeneminen.

Anodimateriaalina käytetään normaalisti korkean sulamispisteen omaavaa wolframia, johon on lisätty muita harvinaisia aineita parantamaan anodin kestävyttä. Mikäli elektronisuihkun aiheuttama lämpö muodostuu ongelmaksi, täytyy putkea jäähdyttää. Tämä tehdään pyörittämällä anodia, täyttämällä säteilylähde öljyllä ja tarvittaessa tuuletinjäähdytyksellä.

Jotta säteilylähteestä saadaan juuri sopivan kokoinen valotuskeila, täytyy lähteen edessä olla kaihdin, kollimaattori. Rajaus on tehtävä ennen kaikkea säteilyhygienian vuoksi, sillä potilasta täytyy suojata tarpeettomalta säteilyannokselta. Säteilyn rajaamisella saadaan myös parempi kuva, sillä ylimääräinen hajasäteily huonontaa kuvan kontrastia. Ennen kollimaattoria lähteen edessä on alumiinisuo datin, tavallisesti 1,5-2,7 mm, joka suodattaa matalaenergis en säteilyn [1].

### 3.2 Röntgensäteilyn käyttö

Suomessa tehdään vuosittain noin 2,3 miljoonaa intraoraalikuvausta ja noin 400 000 hampaiden panoraamakuvausta vajaassa 2000 toimipisteessä ympäri maata. Panoraamaröntgenlaitteen yhteydessä voi olla myös kefalostaatti, jolla saadaan otettua lateraalikallokuvia. 3D-kuvannuskoneita Suomessa on toistaiseksi hyvin vähän (30-40 kappaletta vuonna 2010) [7]. Hampaiston röntgentutkimuksella tutkitaan niitä asioita, joita silmämääräisellä tutkimuksella ei välttämättä havaita. Röntgenkuvista saatuja tietoja voidaan käyttää hoidon suunnitteluun, toteutukseen, ajoitukseen, seurantaan ja ennusteisiin.

Intraoraali- ja panoraamaröntgenlaitteilla voi tutkia esimerkiksi reikiä hampaiden välissä ja paikkojen alla, oireettomia tulehduksia, kystia sekä puhkeamattomia hampaita. Kefalostaatilla otettavia kallokuvia käytetään mm. leukojen suhteiden määrittämiseen oikomishoidon ja oikomiskirurgisen hoidon suunnittelussa ja seurannassa. KKTT-koneilla tehtäviä 3D-kuvauksia käytetään hammasimplanttien asennuksen suunnittelussa, hoidon seurannassa, vaikeiden viisaudenhampaan poistojen yhteydessä, leukanivelten-, pään alueen murtumien tutkimisessa, kasvainten havaitsemisessa sekä nenän sivuonteloiden muutosten tutkimisessa [6; 7].

### 3.3 Säteilyannokset

Säteilyannoksista puhuttaessa on hyvä erottaa, puhutaanko ekvivalenttisesta vai efektiivisestä annoksesta. Ekvivalenttiansos  $H$  saadaan laskettua, kun tiedetään säteilylajista  $R$  absorboitunut annos  $D_R$  ja säteilytyyppien aiheuttamat painotuskertoimet  $w_R$ . Esim. röntgensäteilyn  $w_R=1$  ja alfasäteilyn  $w_R=20$ . Annos saadaan laskettua kaavalla [11]:

$$H = \sum w_R D_R \quad (1)$$

Efektiivinen annos kertoo säteilyn kokonaisvaltaisesta haittavaikutuksesta. Sen laskemiseksi tarvitaan ekvivalenttiansos  $H$  sekä kudoksen painotuskerroin  $W$ , joka kuvaa kudoksen säteilyherkkyyttä. Esim. ihon  $W=0,01$  ja keuhkon  $W=0,12$ . Efektiivinen annos saadaan laskettua kaavalla [12]:

$$E = \sum HW \quad (2)$$

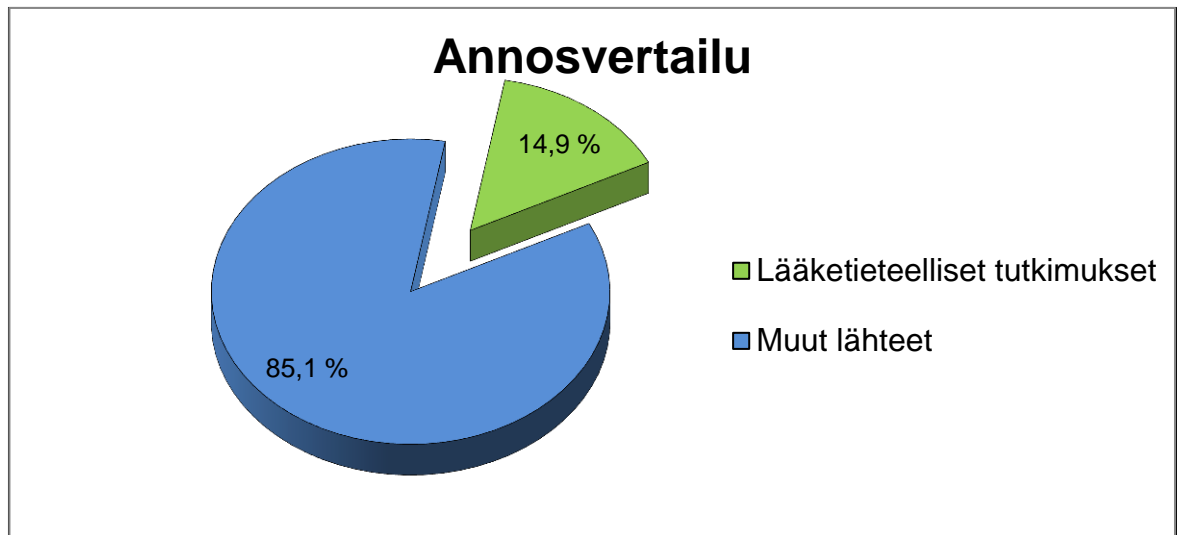
Henkilö, joka ei tee säteilytyötä, voi saada vuodessa maksimissaan 1 mSv ylimääräisannoksen. Tämä ei nykypäivänä juurikaan muodostu ongelmaksi, sillä uudet kuvannuslaitteistot tuottavat laadukasta kuvaa suhteellisen pienillä säteilyannoksilla. Kun vertaa annoksia suomalaisten keskimääräisiin säteilyannoksiin, ovat ne hyvin pieniä.

Taulukko 2. Kuvannustavat ja niiden efektiiviset säteilyannokset [8]

Kuvantamistapa	Säteilyannos (mSv)
Intraoraali	0,01
Panoraama	0,02
Lateraalikalokuva	0,01
3D-kuva	0,01 - 0,65

Taulukko 3. Suomalaisen keskimääräinen efektiivinen säteilyannos eri lähteistä [9]

Säteilyn lähde	Annos suomessa (mSv)
Sisäilman radon	1,63
Luonnon radioaktiivisuus kehossa	0,32
Ulkoisen säteily maaperästä ja rakennusmateriaaleista	0,45
Kosminen säteily avaruudesta	0,33
Lääketieteelliset röntgentutkimukset	0,45
Lääketieteelliset radioisotooppitutkimukset	0,03
Ydinasekoeket ja Tšernobyl-laskeuma	0,02
Yhteensä	3,23



Kuva 7. Vertailu lääketieteellisten tutkimusten ja muiden lähteiden efektiivisistä säteilyannosten osuuksista vuosittaisessa annoksessa



## 4 Röntgenlaitteen suuntaustyön tutkiminen

### 4.1 Tutkimuksen aloitus

Jotta työnkulusta saataisiin tarkka kuva, suuntaustyötä on tehtävä niin pitkään, että työ etenee sulavasti eikä samoihin työvaiheisiin menevä aika eroa merkittävästi koneiden välillä. Tässä ajassa on todennäköistä, että päästään koneen kasaamisen standardiaikoihin ja törmätään useimmin toistuviin ongelmiin.

Työ aloitetaan tekemällä suuntauskoppi. Suuntauskopin perustana ovat lyijyllä vuoratut seinät, jotta röntgensäteily vaimentuisi mitättömäksi kopin ulkopuolelle. Kopin sisältä tulee löytyä työkaluseinä, tavanomaiset työkalut, kalibrointityökalut, tolpan seinäkiinnike, verkkovirta-adapteri eri maiden johdoille, voiteluaineita sekä puhdistustarvikkeita.

Koska koneiden kirjo on laaja, täytyy tutkittavia koneita rajata. Tässä työssä käsitellään ProMax 2D-, ProMax 3Ds- ja ProMax 3D Classic –koneita. Näitä koneita menee suhteellisen paljon ja niissä ilmenee yleisimmin esiintyvät ongelmat.

Aluksi suunnataan ProMax 2D koneita, sillä kaikki sen työvaiheet sisältyvät 3D-koneiden suuntaamiseen. ProMax 2D SCARA 2 ja -3 koneiden suuntaamiset eivät eroa toisistaan; ainoastaan liikkeiden kalibrointiin menee hieman enemmän aikaa.

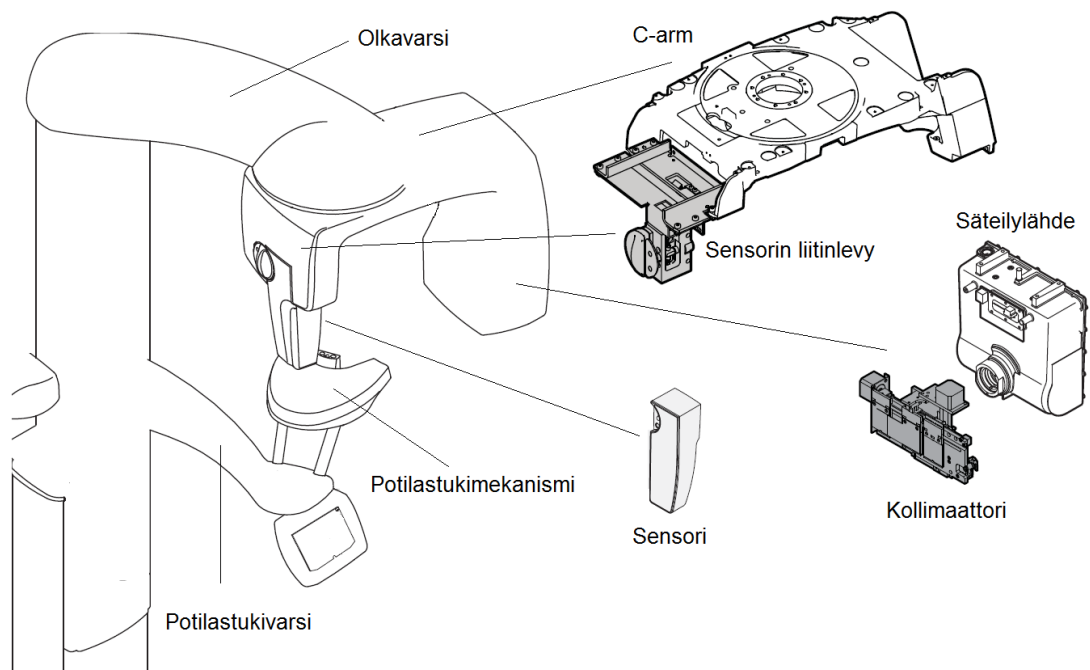
### 4.2 Nykyinen suuntausmenetelmä

Jotta röntgenkuvista tulisi tarkkoja ja diagnostisesti käyttökelpoisia, täytyy röntgenlaitteet suunnata. Tämä tarkoittaa sitä, että putkipäästä tuleva säteily muotoillaan sopivan kokoiseksi keilaksi kollimaattorilla ja suunnataan osumaan sensoriin oikeassa kulmassa C-armin pyörimiskeskustien kautta. 2D- ja 3D-koneiden suuntaus alkaa samalla tavalla. Tällöin kuvannettava kohde ei vääristy, kaikki halutut pään- ja kallonmuodot löytyvät kuvasta.

Ennen suuntaustyön aloittamista tehdään alkutarkastukset. Tämä sisältää laitteen aikaisempien työvaiheiden pintapuolisen tarkastelun; onko ne tehty oikein ja onko matkan varrella tullut vaurioita. Tarkistuksen alle kuuluu mm. maalipinnan

virheettömyys, moottoreiden ajoäänet, hätäpainikkeiden toimivuus ja eri mekanismien liikkuvuus ja toimivuus.

Tietokoneen ja röntgenlaitteen keskinäinen kommunikointi toimii ethernet-yhteydellä. Laitteiden välille kytketään ethernet-kaapeli ja ne asetetaan samaan verkkoon. Tarkistetaan, että ProMaxissa on viimeisin ohjelmistoversio. 3D-koneissa on tarkistettava myös sensorin ja rekonstruktio-PC:n versiot. Samassa työvaiheessa asennetaan lisenssit tilattuihin kuvannusohjelmiin.



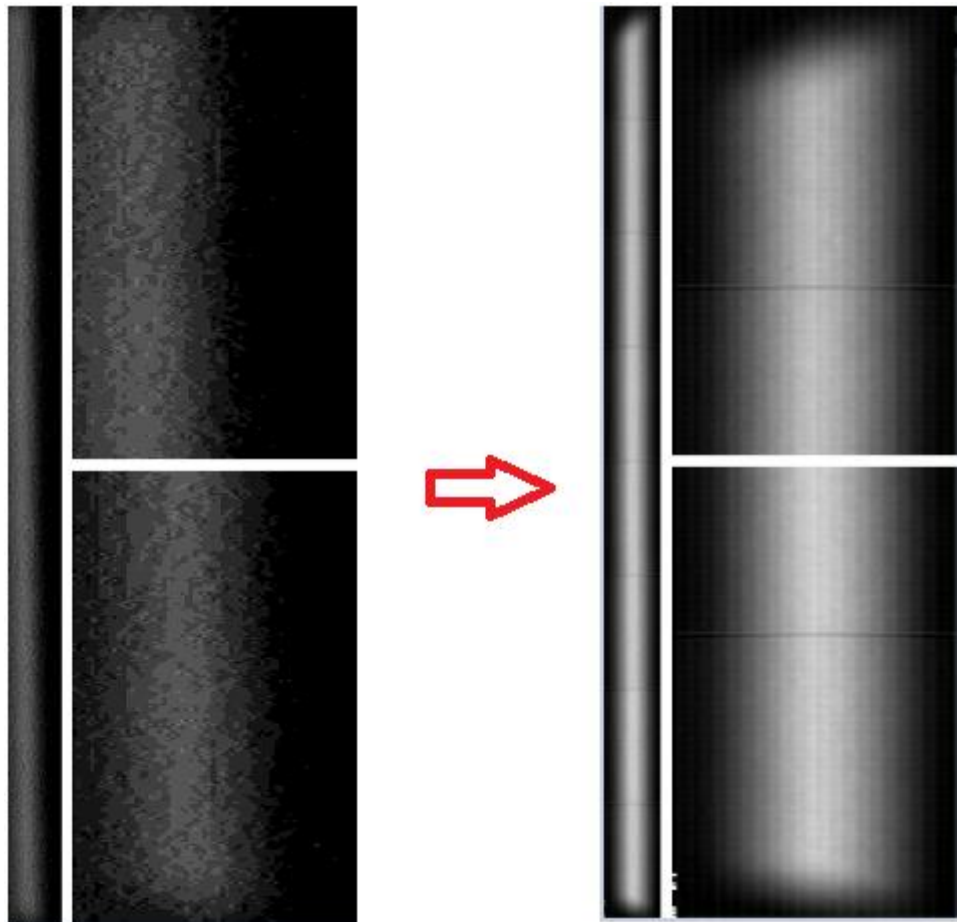
Kuva 8. Räjätyskuva suuntauksen kannalta olennaisista osista

Jotta kuvanlaatu pysyisi tasaisena, täytyy koneen mekaaniset osat asettaa samaan suoruuteen. Tämä tarkoittaa sitä, että kollimaattori, potilasasettelumekanismi ja potilastukivarsi säädetään samaan kulmaan sensorin liitinlevyn kanssa. Koska liitinlevyn kaltevuuskulma on ainoa, jota ei voi muuttaa, käytetään tätä referenssipisteenä.

Potilasasettelumekanismissa säädetään ohimotuet ja potilasasetteluvalot. Kun ohimotukimekanismi painetaan kiinni, on molempien tukien otettava kiinni potilaan ohimoon samanaikaisesti ja samalla voimalla. Potilasasettelulaserit säädetään teräviksi, kapeiksi ja oikeaan kohtaan.

Mekaniikan suoruudentarkistuksessa sensori on säädetty samaan kulmaan liitinlevyn kanssa koteloinnin perusteella, mutta itse anturi sensorin sisällä voi olla hieman eri asennossa. Kollimaattorin kulmaan ei enää kosketa. Röntgensäde suunnataan suurin piirtein oikeaan paikkaan fluoresenssilevyn avulla, joka sijoitetaan sensorin kohdalle.

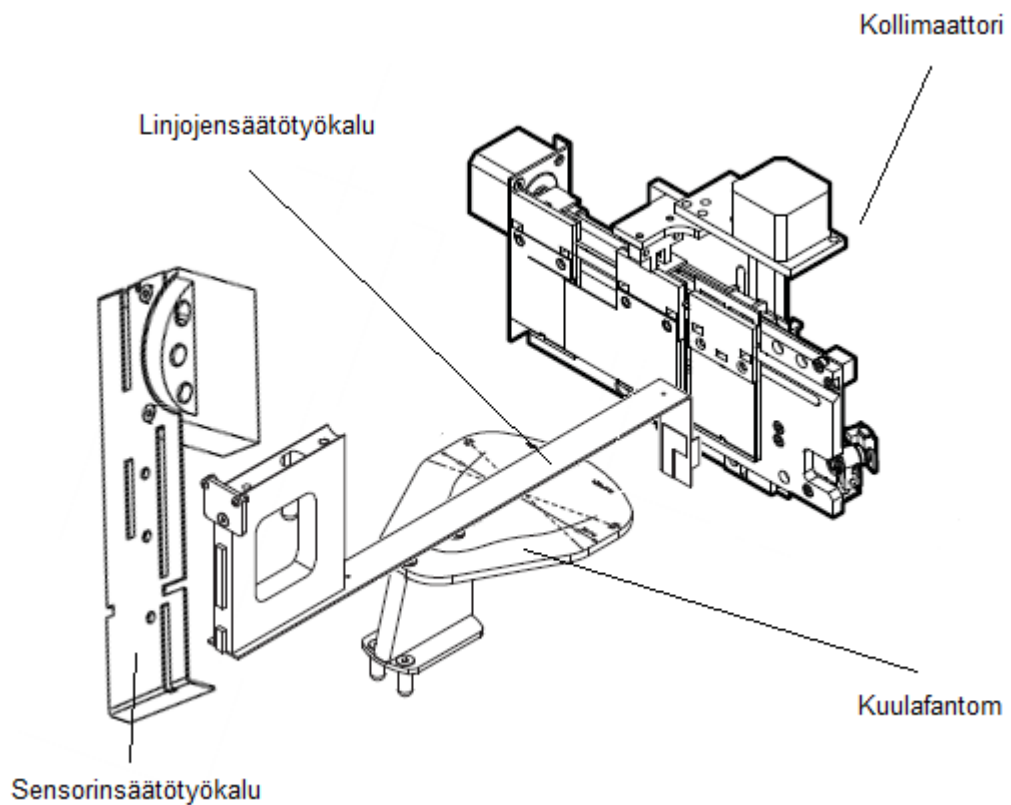
Säteen täytyy osua levyn keskelle, olla oikean korkuinen ja levyinen. Lopullinen suoruuden tarkistus ja keilan koko säädetään kalibrointiohjelmistojen avulla, joka antaa tarkempaa tietoa sädekeilan mitoista ja vinoudesta. Karkeasäätö tehdään fluoresenssilevyllä siitä syystä, että se on toistaiseksi nopeampaa kuin tehdä säätö alusta loppuun pelkästään ohjelmistolla avulla. Sädekeilan vinous korjataan muuttamalla sensorin kulmaa.



Kuva 9. Beam checkillä sädekeilan hienosäätö

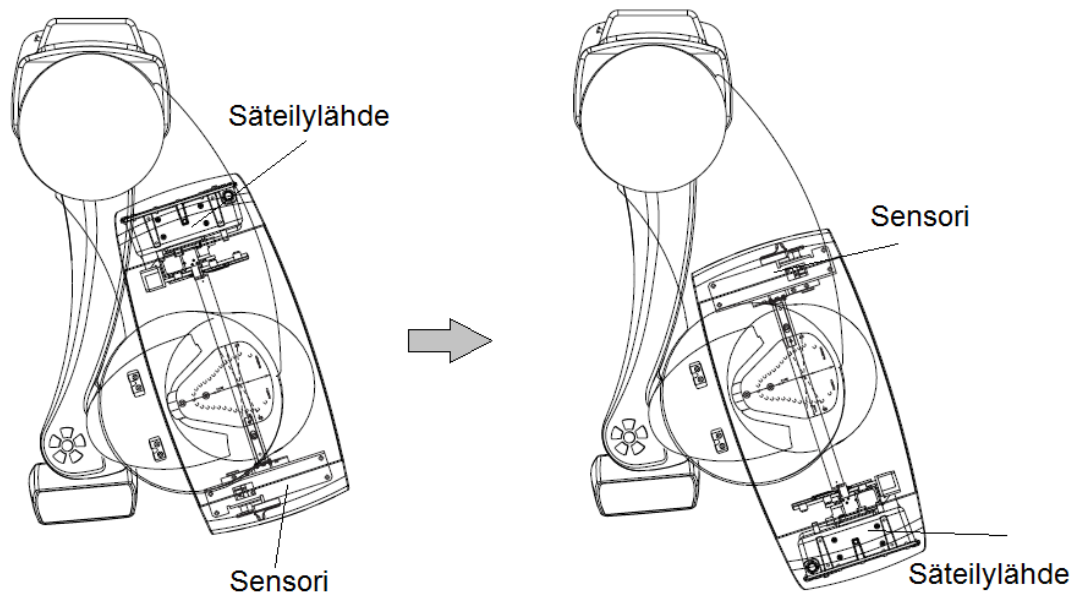
Linjojensäätö on 2D-kuvantamisen kannalta kriittisin vaihe. Potilasasettelumekanismi, olkavarsi ja C-arm säädetään keskenään sopivaan asentoon, jolloin oikein säädettyinä C-armin pyörähtämiskeskipiste on halutulla kohtaa. Linjojensäätöön tarvitaan

linjensäätötyökalu, joka kiinnitetään sensorinsäätötyökalun ja kollimaattorin väliin pyörimään potilasasettelumekanismiin kiinnitettävän kuulafantomilla.



Kuva 10. Linjensäätöön tarvittavat työkalut ja niiden asemointi

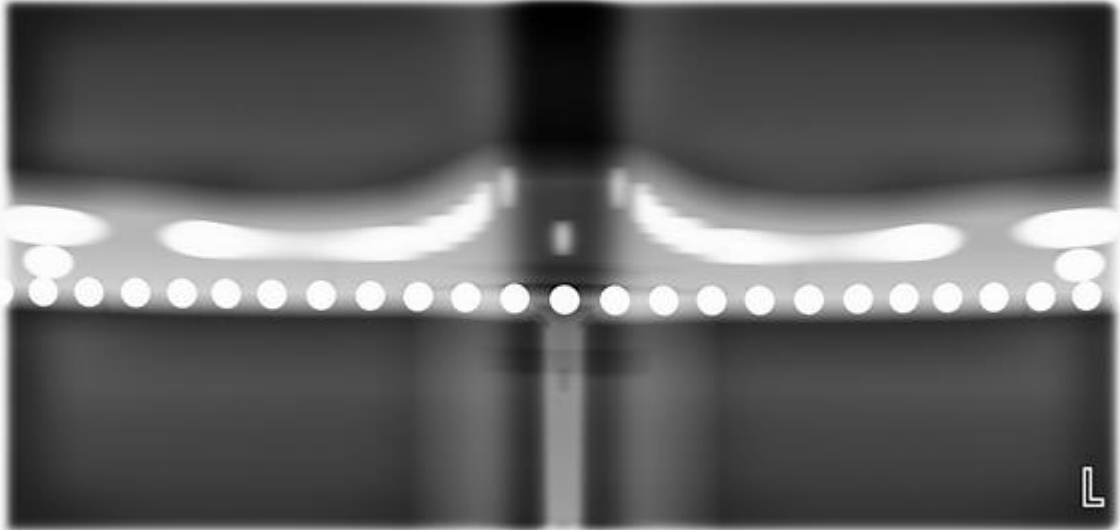
Jos linjensäätötyökalun viiva on eri kohdassa kuulafantomia C-armia pyörittäessä nollakohdasta  $-90^{\circ}$ ... $90^{\circ}$ , on tehtävä mekaaninen puolitus. Tämä tarkoittaa sitä, että sensorin sijaintia muutetaan siten, että se kulkee C-armin pyörityskeskipisteen kautta.



Kuva 11. Tarkistetaan mekaanisen puolituksen tarve. Sensoria siirretään oikealle tai vasemmalle siten, että kuvan molemmissa asennoissa linjojen säätötyökalu näyttää linjan samaan kohtaan.

Kun mekaaninen puolitus on korjattu, voidaan itse potilasasettelumekanismi asettaa oikeaan asentoon. Potilasasettelumekanismiin kiinnitettävään kuulafantomiin on merkitty X- ja Y-linjat. Linjojen säätötyökalulla varustettu C-arm pyöräytetään ensin X-linjan suuntaiseksi, ja vapaasti liikkuvaa potilastukea siirretään niin, että sen kuulafantomien X-linja ja linjojen säätötyökalun viiva kulkevat päällekkäin. Kun X-linja täsmää, pyöräytetään C-arm Y-linjalle. Vastaavasti kuulafantomien Y-linjan ja linjojen säätötyökalun viivan tulee kulkea päällekkäin. Näiden kahden ehdon toteutuessa potilasasettelumekanismi kiristetään säädettyyn paikkaan. Linjojen säätö takaa sen, että panoraamakuvannuksessa hammasrivistä tulee symmetrinen ja fokus on oikeassa kohdassa. Linjojen säädön jälkeen koneen liikeradat täytyy kalibroida uudelleen.

Kone on mekaanisten säätöjen puolesta valmis. Jos jouduttiin tekemään mekaaninen puolitus ja sensoria liikutettiin sivusuunnassa, kollimaattoria täytyy säätää uudelleen, jotta sädekeila osuisi sensorin keskelle. Koneen mukana menevä sensori täytyy kalibroida laitekohtaisesti, jossa tarkistetaan sensorin yksilölliset ominaisuudet ja luodaan kalibrintiedostot. Kalibrintien jälkeen otetaan testikuva kuulafantomista, josta tarkistetaan linjojen säädön onnistuminen. Kuvan kuulista otetaan tarkistusmitat, joilla todennetaan kuvan symmetria ja mekaanisen puolituksen onnistuminen.



Kuva 12. Kuulakuva, josta tarkistetaan mm. symmetria ja focus

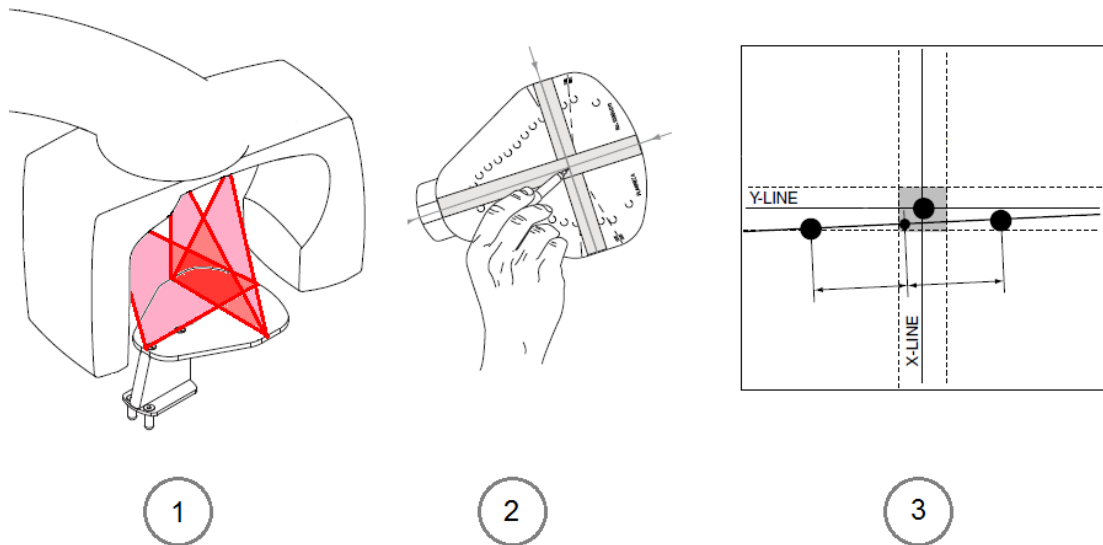
Onnistuneen testikuvan jälkeen otetaan panoraamakuva, josta etsitään kuolleista pikseleistä johtuvia raitoja ja varmistetaan, että kuvassa näkyvät selvästi tarvittavat kallon yksityiskohdat. Maasta ja lisensseistä riippuen otetaan vielä muita tarvittavia tarkistuskuvia.



Kuva 13. Tarkistettava panoraamakuva

Viimeiseksi säädetään C-armissa kiinni olevat tomovalot, jotka näyttävät sen pyörimiskeskisteen. Kone ajetaan nollakohtaan, ja tomovalot säädetään samansuuntaisiksi kuulafantomien X- ja Y-linjojen kanssa. Säädön jälkeen C-armia pyöritetään nollakohdasta  $-90^{\circ}$ ... $90^{\circ}$  ja molempien kohtien risteymäkohdat merkataan

tussilla. Todellinen pyörimiskeskuste on näiden pisteiden välissä, joten tomovalot säädetään näyttämään pisteiden keskelle. Lopuksi tehdään 180° tarkistyspyöräytys, jossa varmennetaan, että tomovalojen risteymäkohta näyttää samaan pisteeseen.



Kuva 14. Vaihe 1: Tomovalot säädetään kuulafantomien X- ja Y-linjojen mukaan. Vaihe 2: Merkataan risteymäkohdat C-armin eri asennoissa. Vaihe 3: Tomovalot säädetään näyttämään keskelle kahta merkittävää pistettä, jolloin valot näyttävät todellisen pyörimiskeskusteen.

3D-koneisiin kuuluu lisäksi 3D-kalibroinnit. 3D-koneet ovat herkempiä virheille, joten ne on suunnattava 2D-koneita tarkemmin. Tässä auttaa kuitenkin 3D-sensorin isompi koko, joka mahdollistaa kalibrointikuvien analysoimisen ohjelmateknisesti.

Kuten 2D-sensorilla, myös 3D-kalibroinneissa otetaan ensin beam check. Sädekeilan täytyy valottaa tasaisesti koko sensori, mutta ei yhtään sen enempää. Flat field kalibroinnissa tarkistetaan kuolleiden pikselien määrä. Geometriakalibroinnissa geometriafantom asetetaan kalibrointilevyn päälle ja siitä otetaan kuvia siten, että vain C-arm pyörii. Rekonstruktio-PC muodostaa kuvista kokonaisuuden ja analysoi sensorin kulman, etäisyyden pyörimiskeskusteesta ja C-armin pyörimisnopeuden. Viimeisenä kuvannetaan QA-fantom, joka analysoinnin jälkeen antaa sensorille eräänlaisen hyvyysarvon.

Kalibrointien jälkeen tarkistetaan tietty määrä 3D-kuvia. Kuvista etsitään mm. kuolleista pikseleistä johtuvia raitoja tai huonosta mekaanisesta puolituksesta johtuvia virheitä. Joissain koneissa saattaa olla vielä tilattuna ProFace-ominaisuus, joka pystyy

mallintamaan 3D-kallokuvien päällä ihmisen kasvot. Tämä lisävaruste tarvitsee omat led- ja laser-kalibroinnit sekä testikuvat.

Mikäli laitteeseen on tilattu kefalovarsi, tehdään sen säädöt muiden suuntauksien jälkeen. Kefaloavarren saa kiinnitettyä sekä 2D- että 3D-koneisiin. Kefalovarsi täytyy nostaa tarpeeksi korkealle, jotta sädekeila ei rajaannu mekaanisten tekijöiden vuoksi. Tämän jälkeen kefalorunko säädetään samaan suoruuteen kuin sensorin liitinpelti. Säde kohdistetaan ensin karkeasti kefalostaatista röntgenputkelle laserin avulla, sitten kefalostaattiin fluoresenssilevyjen avulla ja sen jälkeen tehdään sensorin kalibrointi. Viimeisenä vaiheena otetaan testiksi lateraalikalokuva, josta tarkistetaan kuvan virheettömyys.

Lopuksi hienosäädetyt mekanismit sinetöidään, kiinnitetään verhoilut, tehdään tarvittavat kuittaukset lomakkeisiin ja järjestelmiin, lisätään oheismateriaali ja kone voidaan lähettää pakkaamoon.

#### 4.3 Muutokset tutkimuksen aikana

Tutkimusosion aikana menetelmäsuunnittelija sai valmiiksi uudet 3D-suuntausohjeet, joiden kirjoittaminen oli alkanut jo ennen tutkimusta. Tämän ansiosta 2D- ja 3D-suuntaus ovat vähemmän riippuvaisia toisistaan.

Uusilla 3D-ohjeilla käytetään entistä enemmän ohjelmiston tarjoamia mittatyökaluja kuin perinteisiä mekaanisia menetelmiä. Tämä johtaa tarkempaan lopputulokseen ja vähentää ristiriitatilanteita 3D- ja panoramasäätöjen välillä. Aikaisemmassa menetelmässä ongelmia tuotti se, että ohjelmisto ja mekaaniset työkalut näyttävät sädekeilan kulkevan eri kohdasta. Tämä johtuu siitä, että 2D- ja 3D-sensoreissa antureiden keskipiste on hieman eri kohdassa eikä linjojensäätötyökalu näytä oikeaan paikkaan molemmilla sensorytypeillä. Huonosti säädetty potilasasettelumekanismi johtaa vääristyneisiin kuviin.

Koska potilastuen säätö on kuitenkin tehtävä mekaanisesti, on linjojensäätötyökalua kehitettävä. Avuksi tuli työkaluun liitettävä 3D-suuntausiivotin, jonka ansiosta linjojensäätötyökalu saadaan näyttämään kohti 3D-sensorin keskipistettä. Tämän ansiosta heti suuntauksen alkuun voidaan tehdä ohjelmistotekniset tarkistukset, joiden



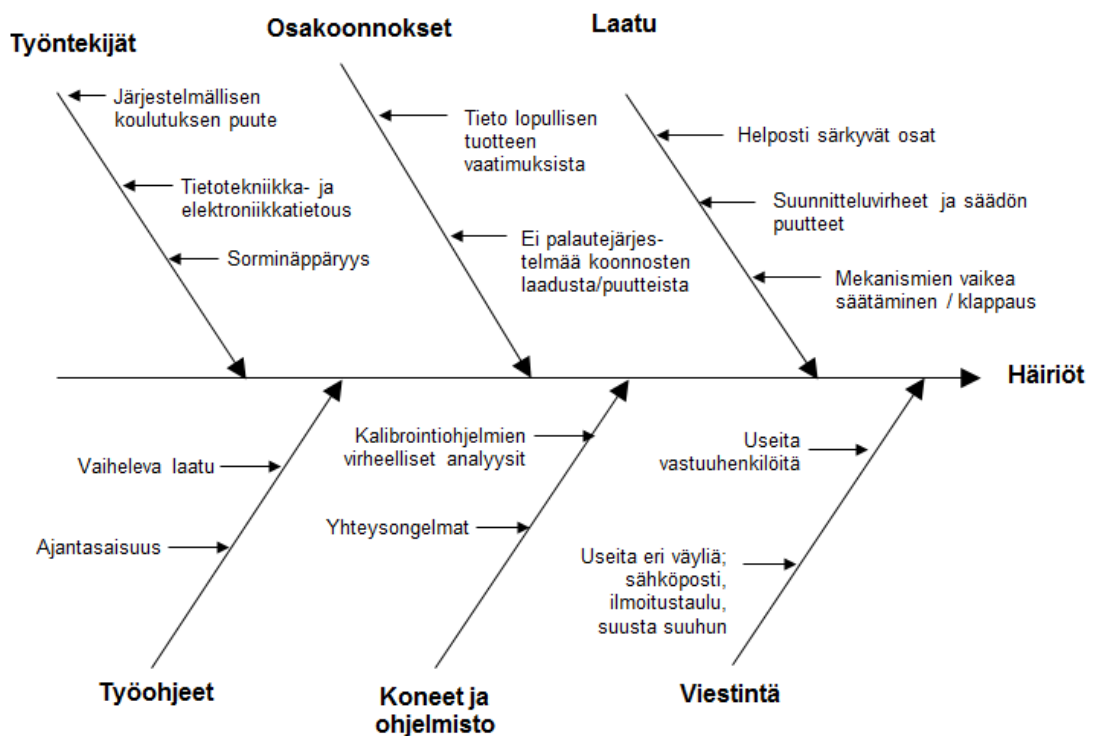
avulla sensoria voidaan liikuttaa siten, että sädekeila kulkee C-armin pyörimiskeskkipisteen kautta.

3D-koneiden tutkimusosion aikana julkaistiin uusia ohjelmistoja, jotka vaikuttivat suuntaajien työhön. Yksi merkittävä suuntauksen ongelmatekijöistä oli ohjelmiston jumittuminen kesken työn. Tuotanto oli pyytänyt tuotekehitystä paneutumaan kyseiseen ongelmaan. Jumittumiseen oli luvattu muutos uuden ohjelmiston myötä.

## 5 Tutkimustulokset ja toimenpiteet

### 5.1 Ongelmat

Koska suuntauksessa esiintyy yli 30 % häiriöitä, ei työ selvästikään etene suunnitellulla tavalla. Tätä voidaan selittää mm. sillä, että osa aikaisempien työvaiheiden virheistä näkyy vasta suuntauksessa, työohjeet ovat puutteellisia, järjestelmällistä koulutusta ei ole, häiriötilanteisiin ei ole yleisiä toimintaohjeita ja ongelman ratkaisu jää työntekijälle.



Kuva 15. Häiriöiden kalanruotokaavio

Alkukokoonpanossa osia tehdään puhtaasti sarjatyönä eikä työntekijällä ole ollut suuntauksessa välttämättä omaa selvää käsitystä osakokoonpanojen lopullisista vaatimuksista. Esimerkiksi voidaan ottaa potilasasettelumekanismiin adapteri, joka tulee säätää potilasasettelumekanismiin tiukasti kiinni. Kun säätö tehdään pelkällä adapterilla, se tuntuu melko kireältä. Suuntauksessa adapteriin kuitenkin laitetaan kiinni kuulafantom, joka lisää painoa huomattavasti. Tämä johtaa siihen, että adapteri sekä kuulafantom hölskyvät ja kireys joudutaan säätämään suuntauksessa uudestaan. Työvaiheen tekemiseen uudelleen ei välttämättä mene pitkään, mutta se tehdään kuitenkin toistamiseen ja tämänkaltaisia säätöjä on useita.

Osa alkukokoonpanon työvaiheista, joita suuntauksessa joutuu korjaamaan, voidaan selittää osakokoonpanon huonolla laadulla. Tähän kategoriaan kuuluvat mm. edulliset pienmekanismit, pehmeät ruuvit ja potilasasetteluvalot. Osat eivät välttämättä tuota ongelmia alkukokoonpanossa, mutta suuntauksessa ongelmat paljastuvat tehdessä osien hienosäätöä.

Kun mekanismit ovat hauraita ja löysiä, tarvitsee niiden säätämiseen ylimääräistä sorminäppäryyttä ja kokemuksen tuomaa ammattitaitoa. Uudella työntekijällä menee huomattavasti enemmän aikaa mekanismien säätöihin, jotta kaikki niille asetetut kriteerit toteutuisivat. Säätöjen jälkeen mekanismi täytyy vielä kiristää tarpeeksi tiukalle, jotta se pysyisi samoissa säädöissä kuljetuksien ja asennuksen jälkeen. Tilannetta ei helpota se, että pehmeiden ruuvien kannat saattavat pyöristyä kiristämisen yhteydessä tai pidikkeet katketa niiden haurauden vuoksi.

Potilasasetteluvalojen toimivuus ja tarkkuus tarkastetaan ensimmäisen kerran vasta suuntauksessa. Joissain yksilöissä laserin tuotossa on ongelmia, jolloin potilasasetteluvalon sädekeila on liian kapea tai palaa himmeästi. Laserin päähän asetetaan kaksi linssiä, joiden on tarkoitus muotoilla laserin valo tarkaksi sädekeilaksi. Linssit ovat kuitenkin usein epätarkkoja. Keila hajooa joko keskeltä tai reunoilta. Tällöin linssi tai laser vaihdetaan.

Työohjeiden laatu on vaihtelevaa. Osa työvaiheista on selitetty selvästi ja tarpeeksi kattavasti, mutta osasta puuttuvat tarkentavat toimenpiteet ja selventävät kuvat. Lisäksi asiasisältö voi olla hyvä, mutta tekstit ja kuvat on jäsennetty siten, että ne on kokemattoman vaikea yhdistää toisiinsa. Tämän takia osa työntekijöistä on tehnyt

työnkulusta omat muistiinpanot, jotka synnyttävät vaihtelua työn etenemisessä. On myös työvaiheita, jotka kuuluvat työn etenemiseen, mutta eivät löydy työohjeista.

Työnkulussa on vaikeita työvaiheita, jotka on tiedostettu, mutta niiden helpottaminen on hankalaa. Vaikka työvaiheen tekee ajantasaisilla työohjeilla ja oikeilla työkaluilla, saattaa siihen joutua palaamaan työn edetessä. Esimerkiksi voidaan ottaa linjojensäätö. Linjojensäädön jälkeen kuulafantomista otettavan kuvan tulisi olla symmetrinen ja kuulien samankokoisia. Tämä ei kuitenkaan usein toteudu, vaan potilasasettelumekanismia täytyy kuvantamisen jälkeen säätää silmämääräisesti muutamia millimetrejä päästäkseen virhemarginaalien sisään, jonka jälkeen otetaan uusi kuva. Siirto tehdään normaalisti naputtelemalla potilasasettelumekanismia vasaralla. Korjausliike voi parantaa tilannetta, ylittää virhemarginaalin vastakkaiselta puolelta tai pilata koko säädön. Tässä tapauksessa linjojensäätö on aloitettava alusta. Luonnollisesti tämänkaltaiseen tuntumanvaraiseen työhön menee huomattavasti enemmän aikaa uudelta työntekijältä verrattuna vanhaan kokeneeseen tekijään.

Tilannetta hankaloittaa se, että kaikki linjojensäätötyökalut eivät ole identtisiä. Työkalu kasataan alkutuotannossa jigien avulla, mutta ne eivät ole tarpeeksi tarkkoja. Työkaluissa on maksimissaan heittoa vain muutama millimetri, mutta se riittää siihen, että linjojensäätötyökalua ei voi käyttää suunnitellulla tavalla. Jokainen kappale on yksilö, sen kanssa saa linjat säädettyä eri tavalla kuin toisella. Täten jos esim. ”oma” linjojensäätötyökalu vaurioutuu, täytyy uuden linjojensäätötyökalun ominaisuudet opetella virheiden ja kokeilun kautta.

Koneen käyttöjärjestelmään ja apuohjelmiin tulee päivityksiä muutamia kertoja vuodessa. Niillä korjataan huomattuja ohjelmistovirheitä ja muita vajavaisuuksia, mutta ne saattavat vaikuttaa myös säätö- ja kalibrintivaiheisiin. Muutoksista ilmoitetaan pääosin vain sähköpostilla ja ilmoitustaululle saattaa tulla jotakin tietoa. Tiedetään kuitenkin, että kaikki eivät lue aktiivisesti työsähköpostia ja ilmoitustaululla on niin vanhaa tietoa, että se ei ole uskottava tiedonvälitysväylä. Tämän takia päivitysten tuomat muutokset jäävät osalta pimentoon ja työntekijöiden kesken kulkee sekä ajantasaista että vanhaa tietoa sekaisin.

Suuntauksen tiedonvälitykseen käytetään useita henkilöitä: menetelmäsuunnittelijaa, työnjohtajaa ja tuotekehitystä. Täten joskus uuttaa tietoa saadessa ei ole täysin selvää, kenellä tiedotusvastuu on. Informaation kulkuun tulee hidasteita.

Lisäksi työssä esiintyy paljon häiriöitä, joiden alkuperää ei täysin tiedetä tai niiden korjaamiseksi ei ole kehitetty johdonmukaista menetelmää. Esimerkiksi ohjelmisto voi jäädä jumiin tietyissä työvaiheissa ja helpoin tapa ratkaista tämä on uudelleenkäynnistää kone. Tilanne ratkeaa usein näin, mutta tällä tavalla todellista syytä ei saada koskaan selville ja ongelma tulee pysymään. Elektroniikkaan voi luonnollisesti tulla vikoja, mutta elektroniikkakoulutusta työntekijöille ei ole. Tieto elektroniikkakomponenttien vioista ja vian aiheuttajista on kokemuksen kautta opittua ja mahdollisesti virheellisesti analysoitua.

## 5.2 Tutkimuksen aikaisten muutosten vaikutus

Ohjelmistopäivitykset koskivat kaikkia laitteita; ProMaxia, rekonstruktio-PC:tä, sensoria, kalibrintiohjelmaa sekä Romexista. Aikaisemmissa versioissa kalibrointi- ja kuvannusvaiheissa tuli tiettyjä virheilmoituksia, jotka keskeyttivät työn kulun. Näiden oli arveltu johtuvan mm. sensorin tunnistukseen liittyvistä vaiheista koodissa, joita oli muutettu. Tämä korjaus vähensi kyseisiä virheilmoituksia huomattavasti ja nopeutti työn kulkua. Tilalle tuli uusia ongelmia, mutta tilanne muuttui silti paremmaksi entiseen verrattuna.

3D-työohjeet muuttivat suuntauksen työnkulun standardoiduksi hävittämällä ristiriitatilanteet edellisistä suuntaustyövaiheista, jolloin työvaiheet pystyy aina tekemään tietyssä järjestyksessä. Hyvistä ohjeista huolimatta kaikki työntekijät eivät vastaanottaneet uusia ohjeistuksia ilman kritiikkiä, osa vanhoista tavoista koettiin luotettavammiksi. Tilanne kuitenkin muuttuu pikkuhiljaa, vanhoista huonoista käytännöistä päästään eroon.

## 5.3 Ongelmien analysointi

Koneita tutkiessa ilmeni muutama jatkuvasti toistuva puute, joka liittyy alkukokoonpanolinjan työtehtäviin. Ongelmista ilmoitettiin alkupäähän ja niihin luvattiin korjauksia. Mm. osapuutteet korjattiin projektinomaisesti kaikkiin sillä hetkellä valmistuksessa oleviin koneisiin ja niihin oli tarkoitus kiinnittää erityistä huomiota siitä eteenpäin. Aikaisempien kokemusten mukaan asiasta pitää muistuttaa muutamaan kertaan ennen kuin tämänlaiset muutokset ovat pysyviä.

Pienien puutteiden korjaaminen ja työvaiheiden lisääminen alkukokoonpanoon olisi teoriassa helppoa, mutta nykyinen palkkausjärjestelmä hankaloittaa tilannetta. Työnkulku on videoitu ja työhön menevä aika on laskettu sekuntien tarkkuudella. Kaikki yli menevä aika on pois työntekijän tuotantolisistä. Jos jotain uutta työvaihetta ei ole laskettu työnkulkuun, täytyy se kompensoida jollain tavalla, ennen kuin alkutuotanto suostuu tekemään ns. lisätyöt. Koko tuotantolisäsysteemi on ajanut toiminnan hyvin joustamattomaksi. Nopeat muutokset työssä tuottavat turhauttavaa vastarintaa sujuvan tuotannon näkökulmasta.

Laadusta johtuvat ongelmat ovat hankala osa-alue. Vaikeasti säädettävät ja helposti vaurioituvat kappaleet tuottavat ongelmatilanteita ja vievät ylimääräistä aikaa. Samalla, kun ostotiimi hankkii materiaalit jatkuvasti halvemmalla, tulisi tuotannon silti säilyttää sama laatu. Esim. eräiden mekanismien malli pysyy samanlaisena kuin ensimmäisessä versiossa, mutta niiden komponentit pyritään jatkuvasti hankkimaan niin edullisesti kuin mahdollista. Myös komponenttien materiaaleja saatetaan vaihtaa halvempiin vaihtoehtoihin ja tuotantotapaa halventaa. Tämä johtaa pikkuhiljaa mekanismien laatuongelmiin. Tuotannossa se esiintyy säädettävyyden heikkenemisenä. Jos edullisen mekanismin säätäminen on kuitenkin halvempaa kuin huippuluokaisen vähän säätöä tarvitsevan kalliin mekanismin, ei yrityksen kannalta välttämättä ole kannattavaa paneutua tuotannon ongelmaan. Vasta kun tämä ”materiaalihukka + aika” kombinaatio ylittää tietyn rajan, voi tilanteeseen odottaa muutosta.

Myös laadun käsite on vaihteleva. Esimerkiksi potilasasetteluvaloja säädettäessä sädekeilalle ei ole tarkkoja kriteerejä. Ohjeistus on, että sädekeilan tulee olla ”tarkka ja kapea”. Tämä on hyvin tulkinnanvarainen ja sädekeilan hylkäämis/hyväksymis-prosessi on paljon työntekijästä kiinni. Osa vaihtaa linsskejä niin kauan, että kaikki laserkeilat ovat niin hyviä kuin mahdollista. Osalle kelpaa epätarkempikin keila, sillä vaihtelu on turhauttavaa ja tuntuu merkityksettömältä. Linssien lisäksi myös lasereita vaihdellaan epätarkan keilan vuoksi, vaikka niillä ei ole yhteyttä. Huono laser tuottaa liian lyhyen keilan tai palaa liian himmeästi, mutta ei vaikuta sädekeilan epätasaisuuteen.

Kun tarkkoja kriteerejä ei ole, kulutetaan tähän työvaiheeseen turhaan aikaa. Laser säädetään niin hyväksi kuin pystyy, jonka jälkeen pätkäillä, onko laser tarpeeksi kapea ja terävä. Sitten linssiä yritetään hienosäätää, jos keilasta sittenkin voisi saada vielä paremman. Syntyy ylimääräistä toistoa.

Vaikka 3D-työohjeita paranneltiin ja ne ovat teoriassa erinomaiset, työn eteneminen ei edelleenkään ole täysin mutkatonta. Ohjelmiston tuomat muutokset vähensivät yhteysongelmia, mutta kalibrointivaiheissa esiintyy edelleen ongelmia, joita on vaikea analysoida. Tiedetään, että mekaaniset asetelmat ovat kunnossa ja kaiken pitäisi toimia, saattaa ohjelmiston analysointi silti mennä pieleen. Tuotekehitys on tietoinen ongelmista ja yrittää ratkaista asiaa aktiivisesti.

Toinen työohjeisiin liittyvä ongelma on työvaiheiden nopeat muutokset. Tuotannossa on aika ajoin hetkellisiä ongelmia, jotka ovat riippuvaisia esim. huonolaatuisesta erästä tiettyjä osia. Tällöin työn etenemiseen tulee muutos esim. kuvannuskorkeuden varmistus, joka ei ilmene työohjeissa. Koska ongelman uskotaan olevan vain hetkellinen ja katoavan seuraavassa erässä, ei työohjeisiin tehdä pieniä muutoksia. Kaikki muutokset pyritään korjaamaan kerralla, sillä ohjeiden muuttaminen on aina iso prosessi viranomaisten laatuvaatimuksien takia. Ohjeet täytyy korjata, tarkistuttaa eri henkilöllä, hyväksyttää asiantuntijalla ja tämän jälkeen jakaa uudet paperiset versiot kaikille suuntaustyöntekijöille. Kyseinen menettelytapa on laatustandardien mukainen, mutta tuo oman jäykkyytensä toimintaan.

Lisäksi uudet 3D-ohjeet kattavat vain tietyn osan työvaiheista, sillä koneiden variaatioita ja lisäominaisuuksia on tarjolla runsaasti. Jotta kaikki suuntauksen työohjeet olisivat jatkuvasti ajan tasalla, täytyisi tähän toimintaan varata runsaasti aikaa. Tällä hetkellä ohjeiden päivittäminen on kuitenkin vain yksi osa menetelmäsuunnittelijan työtä eikä välttämättä priorisoidu yhtä korkealle kuin muut työtehtävät. Myös nykyinen toimintamalli työohjeiden kanssa on kannattamaton reaaliaikaiseen ylläpitämiseen prosessin etenemisen hitauden vuoksi.

#### 5.4 Lean ja A3

Yrityksessä on otettu käyttöön Lean-ajattelutapaa. Sen sisäänajaminen jatkuu edelleen. Leanin peruseriaatteena on parantaa asiakastytyväisyyttä ja laatua, pienentää toiminnan kustannuksia ja lyhentää läpimenoaikoja. Käytännössä tämä onnistuu kehittämällä toimintaa päivittäin vähentämällä kaikkea turhaa ja tekemällä asiat kerralla oikein. Turhia asioita ovat:

- ylituotanto
- odottelu
- tarpeeton kuljettaminen
- ylikäsittely tai virheellinen käsittely
- tarpeettomat varastot
- tarpeeton liikkuminen
- viat
- työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen [15]

Ongelmia varten on useita ongelmanratkaisutyökaluja, A3 on yksi niistä. Tuotannossa se otettiin kokeilukäyttöön kesän alussa.

A3 on Toyotalla kehitetty ongelmanratkaisumenetelmä, joka pakottaa tutkimaan ongelmaa analyttisemmin. Normaalisti on totuttu havaitsemaan ongelma ja korjaamaan se mahdollisimman nopeasti. Tämänkaltaisella menettelyllä saatetaan kuitenkin korjata vain hetkellinen ongelma ja juurisyy jää selvittämättä. Nimi A3 tulee siitä, että kaikki tarpeellinen tieto ongelmasta, sen analysoinnista ja toimenpiteistä oli saatava mahtumaan yhdelle A3-paperille, jotta se voitiin aikanaan faksata helposti.

A3 on seitsemänosainen prosessi. Esimmäiseksi tulee kertoa tausta. Miksi aiheesta puhutaan ja minkä takia siitä pitäisi olla huolestunut? Seuraavaksi kartoitetaan nykytilanne mahdollisimman laajasti, jotta kaikki asianomaiset saavat tilanteesta selvän kokonaiskuvan. Tilanne on parempi visualisoida kuin kirjoittaa valtavasti.

Kolmannessa vaiheessa kirjataan päämäärät ja tavoitteet. Minkälainen tilanne olisi ihanteellinen? Vasta näiden vaiheiden jälkeen voidaan alkaa analysoida, mistä alkuperäinen ongelma johtuu. Ongelmien juurisyitä voi etsiä esim. tekemällä kalanruotokaavion tai käyttämällä ”5 kertaa miksi” tapaa.

Voidaan ottaa esimerkiksi tyhjä auton akku. Luonnollinen korjaustapa olisi ladata se täyteen, käynnistää auto hyppyaapeleilla tai vaihtaa uuteen, mutta juurisyy tyhjäan akkuun jää kuitenkin selvittämättä. A3:sen ”5 Whys” voi löytää juurisyyn tarkastelemalla tilannetta syvemältä. Auto ei käynnisty:

- Miksi? Akku on tyhjä.
- Miksi? Vaihtovirtalaturi ei toimi.
- Miksi? Vaihtovirtalaturin hihna on poikki.
- Miksi? Vaihtovirtalaturin hihnaa käytettiin pitempää, kuin sen eliniänodote oli eikä vaihdettu uuteen.
- Miksi? Ajoneuvoa ei ollut huollettu suositellun huoltovälien mukaisesti.  
[13]

Yrityksessä on totuttu ratkaisemaan ongelmat keräämällä joukko toimihenkilöitä pohtimaan ongelmaa toimistotiloissa. A3:ssa lähdetään siitä, että hyvän kokonaiskuvan saamiseksi ongelmaa pitää tutkia paikanpäällä yhdessä käytännön työntekijöiden kanssa.

### 5.5 Ongelmanratkaisukaavio

Ennen lopputyön aloittamista yhdeksi tavoitteeksi oli asetettu ongelmanratkaisukaavion tekeminen, josta työntekijä voisi tarkistaa ongelmatilanteen ilmaantuessa todennäköisimmän korjaavan toimenpiteen. Kaavion tekeminen aloitettiin, mutta A3-kokouksessa todettiin, että siinä on paljon tekijöitä, minkä vuoksi se ei olisi kovin hyvä työkalu.

Suuntaustyössä ei ole aikaisemmin ollut varteenotettavaa dokumentaatiota häiriöiden korjaustavoista. Häiriöt kirjataan yrityksessä käytettävään Lean2000-järjestelmään, jossa on mm. osiot "Vian kuvaus" ja "Toimenpiteet". Ei ole kuitenkaan standardoitu, miten häiriöt tulee kirjata, kuinka tarkasti ja minkälaisia asioita. Kaikki häiriöt on voitu kirjata esim. yhden koneen kohdalta kokonaisuikana työn lopussa tai vaikkapa koko viikon häiriöt kerralla. Vian kuvaukset ja toimenpiteet ovat myös monesti epäselvästi ilmaistuja ja niitä on vaikea toisen jälkikäteen tulkita. Työntekijän näkökulmasta häiriökirjauksia tehdään vain siksi, jotta saataisiin häiriöihin mennyt aika ylös ja näin lisättyä aika tuotantolisälaskelmiin. Mm. näistä syistä on ollut hankalaa tehdä ohjeita ongelmatilanteisiin ja tutkia, minkälaiset ongelmat tuottavat eniten ongelmia.

Tutkimalla ja ylöskirjaamalla korjaustavat saadaan sen hetkiseen tilanteeseen pätevä kaavio, mutta tällainen menetelmä ei ole kovin pitkäikäinen. Kuten todettu, tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat osaksi erä- ja ohjelmistonversiorippuvaisia. Tästä syystä esim.



ohjelmiston virheestä johtuva häiriö on voitu korjata jo parin kuukauden päästä julkaistavaan uuteen ohjelmistoon ja tämän jälkeen korjaavan toimenpide on turhaa tietoa.

Tällainen kaavio tarvitsisi päivittäistä tai viikoittaista päivittämistä, jotta se olisi uskottava. Kysymys kuuluukin, kuka olisi vastuussa sen ylläpitämisestä. Menetelmäsuunnittelijalla on jo valmiiksi kädet täynnä töitä ja uuden tietokannan ylläpitäminen vain kasvattaisi työmäärää. Suuntauksen työntekijät olisi vaikea motivoita ylläpitämään sitä, sillä työstä ei maksettaisi ylimääräistä ja voisi jopa olla pois tuotantolisistä. Lisäksi asiantuntijan pitäisi vielä tarkistaa korjausmenetelmät, että ne ovat varmasti hyväksyttäviä toimenpiteitä.

Vaikka ongelmanratkaisukaavio päädyttäisiin tekemään, tulisi ongelmaksi vielä sen sijainti. Työohjeisiin sitä ei voisi liittää, sillä se vaatisi jatkuvaa ylläpitämistä. Kuten aikaisemmin on todettu, työohjeiden päivittäminen on liian hidas ja raskas prosessi.

Jos kaaviosta taas tehtäisiin paperinen versio, olisi kysymysmerkinä sen käyttöaste. Tiedetään, että nykyään edes paperisia työohjeita ei mielellään käytetä. Tieto tarkistetaan joko viereisiltä suuntaajilta ja menetelmäsuunnittelijalta. Olisi todennäköistä, että kaaviosta tulisi vain yksi lisäpaino paperisten työohjeiden ja infolappujen pinoon.

Alkuperäinen ongelmanratkaisukaavio tyrmättiin A3-kokouksessa, johon osallistui tutkimuksen tekijän lisäksi menetelmäsuunnittelija ja kaksi suuntaustyöntekijää, joista toinen oli suunnannut vain muutaman kuukauden ja toinen viisi vuotta. Sen sijaan pohdittiin, millaista järjestelmää oikeasti käytettäisiin.

Ensinnäkin tiedon pitäisi löytyä koneelta. Vielä parempi, jos tietojärjestelmä olisi selainpohjainen, eikä tietoa tarvitsisi kaivaa verkkolevyjen uumenista. Toisekseen tietojen tulisi päivittyä jatkuvasti, jotta se pysyisi ajantasaisena. Käytännössä jokaisen häiriön tulisi näkyä järjestelmässä, jotta niiden esiintyvyydestä ja ratkaisumenetelmästä löytyisi tilastoitua tietoa. Kolmanneksi tärkein asia oli, että tieto kulkisi vaivattomasti tuotekehityksen korviin. Tällä hetkellä tuotekehitys on melko tietämätön tuotannon ongelmista ja saa tietää vain joistain niistä.

Koska tuotekehitys sekä tuotanto olivat pitkään toivoneet sähköistä tiedonkulkujärjestelmää, päätettiin sellainen kehittää. Tietojärjestelmä kehitettiin lähtökohtaisesti tuotekehityksen tarpeisiin, josta näkyisi virhe ja työvaihe, jossa se on esiintynyt. Tällä tuotekehitys halusi saada tietoa ongelmien esiintyvyydestä ja vakavuudesta, jotta voitaisiin paremmin arvioida, mihin ongelmiin tuotekehityksen tulee puuttua.

Tutkimuksen häiriöt ja niiden korjausmenetelmät oli kirjattu ylös, joten sisällön tuottaminen oli suhteellisen helppoa. Nämä toimivat ohjelman esivalintoina, jolloin ohjelma ei ole täysin tyhjä suuntaajille mennessä. Sisältöä tulee jatkuvasti lisää, mutta esivalinnat antavat paremman kuvan ohjelman käytettävyydestä, jolloin se on helpompi ns. myydä suuntaustyöntekijöille.

## 5.6 Toimenpiteet tutkimuksen jälkeen

Koska todettiin, että alkutuotannon osakoonnosten työntekijöillä ei välttämättä ole kovin hyvää kuvaa siitä, miten heidän tuotteitaan käytetään koneen loppupäässä, alettiin kehittää yrityksen sisäistä kouluttamista. Alkukokoonpanon työntekijät pääsevät katsomaan seuraavalle työpisteelle, miten heidän tekemiään koonnoksia käytetään, minkälaisia vaatimuksia seuraavalla käyttäjälle on niille ja mitä asioita joutuu usein jälkikäteen korjaamaan. Tämän on tarkoitus auttaa ymmärtämään ongelmat konkreettisesti ja kiinnittämään enemmän huomiota omaan tekemiseen. Tämänkaltaiseen sisäiseen asiakkuuteen on yrityksessä aikaisemmin kiinnitetty melko vähän huomiota.

Testiksi muutama alkukokoonpanon ryhmää vietiin suuntaukseen katsomaan oman tuotteensa säätämistä. Tuli ilmi, että alkukokoonpanossa kiinnitetään huomiota joihinkin asioihin, jotka eivät ole kovin kriittisiä. Esimerkiksi potilasasettelumekanismi on kiinnitetty erittäin tiukalle potilastukivarteen tiettyyn asentoon, koska sen on luultu olevan tärkeää. Kuitenkin suuntauksessa kyseinen kiinnitys löysätään joka kerta ja potilasasettelumekanismi säädetään jokaiseen koneeseen eri tavalla. Samoin lasereita on esisäädetty, vaikka ne joka kerta kuitenkin säädetään alusta alkaen, jolloin esisäädöt ovat tarpeettomat.

Samalla huomattiin, että käsitys laadusta ja tärkeistä osista poikkeavat huomattavasti linjakokoonpanojen välillä. Laatuasiat, joihin alkukokoonpanossa kiinnitetään paljon huomiota, voivat olla merkityksettömiä niin suuntaajalle kuin lopulliselle asiakkaalle.

Lasereiden laatukriteereiden todettiin olevan liian tiukat ja epäselvät. Lasereiden tuli olla tarkat ja kapeat, vaikka todellisuudessa riittää, että ne ovat tasapaksut ja tarpeeksi pitkät. Lasereiden todellisia vaatimuksia alettiin pohtia uudelleen ja toivon mukaan niistä aiheutuva hukka ja turha ajankäyttö poistuu pian.

Uusi häiriönkirjausjärjestelmä todettiin toimivaksi ja se otetaan käyttöön muutamalle suuntaajalle testiksi. Viimeistelyjen jälkeen se voidaan ottaa laajaan käyttöön. Tällä ohjelmalla saadaan korvattua Lean2000-järjestelmän häiriökirjaukset. Ennen häiriökirjausten pääasiallinen tarkoitus oli saada selvitys siihen, miksi kone ei ole valmistunut ajallaan. Uuden ohjelmiston avulla kirjaukset saadaan kategorisoitua helpommin, jolloin tuotekehitys saa tarkempaa tietoa mm. kalibrointiohjelmien virheistä. Ohjelma palvelee myös menetelmäsuunnittelijaa antamalla tarkempaa tietoa mm. tiettyjen mekaanisten ongelmien esiintyvyydestä.

## **6 Suuntauksen osittaminen**

Suuntaustyövaihe kestää tällä hetkellä 1,5 – 9,5 tuntia koneesta riippuen. Tästä syystä vaikka kone olisi merkattu aloitetuksi suuntauksessa, on hyvin vaikea arvioida sen valmistumista, kun päälle lasketaan satunnainen määrä häiriöitä. Tämän vuoksi on pohdittu, voisiko suuntaamista osittaa järkevästi.

Monet suuntauksen työvaiheista liittyvät toisiinsa. Esimerkiksi linjat voi säätää potilastukipöydän kanssa kohdilleen jo heti alussa, mutta jos kaihtimen tai sensorin asentoa täytyy muuttaa, ne liikkuvat myös horisontaalisessa tasossa ja aikaisempi linjojensäätö on tämän jälkeen merkityksetön. Suuntaustyötä osittaessa on siis jatkuvasti pidettävä mielessä, mitkä työvaiheet voi tehdä missäkin järjestyksessä.

Yksi lähestymistapa olisi jakaa työ kahteen vaiheeseen. Toinen työvaihe vaatii lyijyvuorattua suuntauskoppia ja toisen työvaiheen voi tehdä ilman säteilyvaaraa ja röntgenlaitteen seinäkiinnitystä. Simuloidaan koneen loppukokoonpano tällä menetelmällä

Ensimmäisessä vaiheessa työ aloitetaan tarkistamalla kuvantamisen kannalta tärkeät asiat: potentiometri kiinnitys, varsiston klappaus pitovirralla ja askelmoottorien kiinnitys. Verkkoasetukset ja lisensointi voidaan tehdä kuten ennen, mutta lisenssitulostetta ei oteta. Tällä säästetään tulosteen hakemiselta.

Mekaanisten osien suoruus varmistetaan normaalisti, jolloin sensorin liitinlevy, sensori, geometrialevy ja kaihdin ovat samassa kulmassa. Tässä vaiheessa on normaalisti totuttu säättämään ohimotuet ja potilasasetteluvalot, mutta tämä on tarpeetonta suuntaustyön etenemisen kannalta. Potilasasetteluvaloissa riittää, että offset-laserin potentiometri nollataan tiettyyn kohtaan. Tavallisesti offset asetetaan kuvantamistilanteessa osoittamaan potilaan etuhampaiden kohdille, mutta kun testausvaiheissa käytetään aina samoja testikalloja, voi niihin merkata sopivat standardiarvot. Samoin bottom-laserin avulla potilastukivarsi ajetaan oikeaan korkeuteen, mutta kalloihin voi merkata leukatuen säädön asennon.

Tästä eteenpäin työ jatkuu normaalisti kefalostaatin säätämiseen saakka pois lukien tomovalojen säädöt. Tomografiatestikuvantamisessa käytetään oletusarvoja, vaikka tomovalot näyttäisivät hieman eri kohtaan. Riittää, että tomografiatestikuvat ovat tietyn näköisiä. Näiden työvaiheiden jälkeen röntgenlaite ei tarvitse enää lyijykoppia, sillä kalibroinnit ja testikuvat on jo otettu ja tallennettu verkkolevylle.

Toisessa vaiheessa tehdään loput koneen tarkastukset; tolpan ajoäännet, maalipinnat, moottorin karan rasvaus ja niin edelleen. Ohimotuen säädöt tehdään tarkastusten jälkeen. Mikäli ohimotuen akselit ja moottori eivät toimi kunnolla, ne voidaan vaihtaa ilman, että aikaisemmin tehdyt säädöt kärsisivät.

Potilasasetteluvalot säädetään tavalliseen tapaan. Layer-laserin potentiometri on jo aikaisemmin nollattu tiettyyn kohtaan, joten enää tarvitsee asettaa sädekeila osoittamaan oikeaan kohtaan. Samassa yhteydessä säädetään frankfort-, bottom-laser ja tomovalot.

Lopputoimenpiteet eivät eroa merkittävästi aikaisemmasta. Kalibroitiedostot ja testikuvat haetaan verkkolevyltä suuntaajan tallentamasta paikasta, jonka jälkeen ne poistetaan viemästä tilaa. Suuntaajan asettamat lisenssit tulostetaan paperiversiona asiakkaalle ja samalla käsitellään muut kuittaukset ja paperitulosteet. Lopputoimenpiteiden jälkeen kone voidaan jatkaa loppuun pakkaamossa.

Tällä menettelyllä nykyinen suuntaustyö voitaisiin jakaa järkevästi kahteen eri osioon. Lisäksi, kun kone on merkattu suunnantuksi ja se on viimeistelyvaiheessa, olisi sen valmistumisen arviointi huomattavasti helpompaa. Paljon aikaa vievät ja vaikeasti analysoitavat ongelmat esiintyvät usein kalibrointivaiheissa, niihin verrattuna jälkimmäisten työvaiheiden ongelmat ovat melko pieniä. Vaikka esim. lasereita tai ohimotuen moottorin joutuisi vaihtamaan, voidaan siihen menevä aika arvioida verrattain helposti.

## **7 Yhteenveto**

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, onko suuntaustyö standardiaikamittavaa, voiko suuntauksen häiriöt saada alle 10 % ja tehdä ongelmanratkaisukaavio häiriötilanteiden korjaamisen standardoimiseksi.

Koneiden tutkimusvaiheessa tehtiin tarkat kirjaukset koneen etenemisen ajoista: aloitus, lopetus, häiriöt ja muut keskeytykset. Kun verrataan koneiden nettoaikoja keskenään, on koneisiin mennyt melkolailla sama aika. Tämä puhuu sen puolesta, että suuntausta kannattaa edelleen käsitellä standardiaikamittavana työvaiheena.

Häiriöajat vaihtelevat voimakkaasti koneiden välillä. Joissain koneissa häiriöissä päästiin alle 10 %, keskivertokoneessa häiriöiden osuus oli n. 20 %. Häiriölähteet voi karkeasti jakaa neljään tekijään: alkukokoonpano, ohjelmistoviat, laatu ja oma ammattitaito.

Alkukokoonpanon häiriötekijöistä voi päästä osaksi eroon lisäkoulutuksella, mutta niin kauan, kuin osakoonoksilla ei ole kunnollisia laatutarkastuksia ja kriteereitä, voi näistä olettaa tulevan häiriötä.

Ohjelmistoviat ovat aina läsnä, mutta niiden määrä on laskenut huomattavasti aikaisempaan verrattuna. Hyvänä esimerkkinä toimivat koneet, jotka täytyi suunnata vanhoilla ohjelmistoversioilla. Pahimmassa tapauksessa vanhan ohjelmiston ongelmien kanssa meni yli yli 50 % koko koneen suuntausajasta. Kyseiset ohjelmisto-ongelmat on tänä päivänä korjattu.

Osaan laatuun liittyvistä häiriöistä voidaan vaikuttaa tarkastelemalla laatukriteereitä. Kaikki ongelmat eivät välttämättä ole todellisia, vaan ennemminkin on pyritty ylilaatuun. Kuitenkin osa laatuongelmista tulee luultavasti jäämään esim. pyöristyvät ruuvinkannat. Ne aiheuttavat päänvaivaa, mutta eivät merkittävästi hidasta tuotannon kulkua. Lisäksi halpoja ruuveja on käytetty yleensä paikoissa, jotka eivät ole niin kriittisiä verrattuna esimerkiksi tukirakenteiden kiinnityspultteihin.

Suuntaajien ammattitaitoa voisi kasvattaa kehittämällä järjestelmällisen suuntauskoulutuksen, mutta se on käytännössä vaikea toteuttaa. Tämänhetkinen suuntaustyö vaihtelee koneittain niin paljon, että päivässä voi standardiaikojen mukaan saada valmiiksi 0 – 4 konetta. Ilman uusia aluejakoja kattavien ohjeiden ja koulutuksen järjestäminen on yhdelle ihmiselle todella haastavaa ja tarvitsisi useamman vuoden kokemuksen suuntaustyöstä.

Perinteinen ongelmanratkaisukaavio todettiin käytettävyydeltään huonoksi. Tästä syystä tutkimuksen aikana tullut data häiriöistä ja niiden korjaustavoista liitettiin uuden häiriökirjausjärjestelmän esivalinnoiksi, jolloin se on helpompi ottaa käyttöön suuntauksessa.

## Lähteet

- 1 Rosberg, Jukka. 1997. Hammaslääketieteellinen radiologia – Tekniikka ja diagnostiikka. Oulu: Oulun yliopistopaino.
- 2 DICOM. 2014. (www-dokumentti) <http://en.wikipedia.org/wiki/DICOM> Luettu 26.2.2014.
- 3 Planmeca Groupin yritykset. (www-dokumentti) <http://www.planmeca.com/fi/Yritys/Planmeca-Group/> Luettu 27.2.2014.
- 4 Planmeca Oy:n hammashoitokoneet <http://www.planmeca.com/fi/Hammashoitokoneet/> Luettu 18.3.2014.
- 5 Planmeca Oy:n röntgenlaitteet <http://www.planmeca.com/fi/Rontgenlaitteet/> Luettu 18.3.2014.
- 6 Röntgenklinikka Tomodentin sivut [http://www.tomodent.fi/index.php?article\\_id=83](http://www.tomodent.fi/index.php?article_id=83) Luettu 24.3.2014.
- 7 Säteilyn hyödyntäminen STUK [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/terveydenhuolto/fi\\_FI/hammasrontgen/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/terveydenhuolto/fi_FI/hammasrontgen/) Luettu 24.3.2014.
- 8 Hammasröntgen [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/terveydenhuolto/fi\\_FI/hammasrontgen/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/terveydenhuolto/fi_FI/hammasrontgen/) Luettu 26.3.2014.
- 9 Säteilyannokset [http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/ihmisen\\_radioaktiivisuus/fi\\_FI/keskimaarainen\\_sateilyannos/](http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/ihmisen_radioaktiivisuus/fi_FI/keskimaarainen_sateilyannos/) Luettu 24.3.2014.
- 10 Langlund, Langlais, Preece. 2002. Principles of Dental Imaging. Printed in the United States of America.
- 11 Ekvivalenttiannos <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ekvivalenttiannos> Luettu 19.5.2014.
- 12 Efektiivinen annos [http://fi.wikipedia.org/wiki/Efektiivinen\\_annos](http://fi.wikipedia.org/wiki/Efektiivinen_annos) Luettu 19.5.2014.
- 13 5 kertaa ”miksi” [http://en.wikipedia.org/wiki/5\\_Whys](http://en.wikipedia.org/wiki/5_Whys) Luettu 24.6.2014.
- 14 Lean <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lean> Luettu 25.6.2014.
- 15 Niemi, Marko. 2006. Toyotan tapaan. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.