



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Lauri Haavisto, Antti Löytökorpi

## Excel-työkirja SPECT-TT-laitteiden käytönaikaisille laadunvalvontatesteille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Radiografia ja sädehoito

Röntgenhoitaja (AMK)

Opinnäytetyö

18.11.2020

Tekijät Otsikko	Lauri Haavisto, Antti Löytökorpi Excel-työkirja SPECT-TT-laitteiden käytönaikaisille laadunvalvontatesteille
Sivumäärä Aika	31 sivua 18.11.2020
Tutkinto	Radiografia ja sädehoito
Tutkinto-ohjelma	Röntgenhoitaja (AMK)
Ohjaajat	Lehtori Ulla Nikupaaavo Lehtori Sanna Törnroos
<p>Kehitimme isotooppihoitoyksikön SPECT-TT-laitteen käytönaikaisen laadunvalvonnan helpottamiseksi kaksi yksikön laadunvalvontaohjelmaan perustuvaa Excel-työkirjaa, toisen tulosten keräämistä ja toisen tulosten analysointia varten.</p> <p>Työkirjan tietopohjana käytimme yksikön laadunvalvontasuunnitelmaa, NEMA-NU 1-2018-standardia, laitevalmistajan oppaita, sekä Säteilyturvakeskuksen oppaita. Käytimme kehittämistyön toteuttamisessa ketteriä ohjelmistokehitysmenetelmiä, sekä Steve Jobsilta lainattua muutolufilosofiaa. Pyrimme tekemään työkirjasta mahdollisimman ystävällisen näköisen ja helppokäyttöisen. Kaikki työkirjan tärkeimmät toiminnallisuudet löytyvät etusivulta käytön nopeuttamiseksi ja sujuvoittamiseksi.</p> <p>Työkirjat koostuvat 32 välilehdestä, 14 datan syöttämistä nopeuttavasta lomakkeesta, 90 automaattisesti päivittyvistä kuvaajasta. Työkirjat mahdollistavat myös 65 sivuisen raportin tulostamisen yhtä nappulaa painamalla. Raportti koostuu työkirjan automaattisesti analysoimasta datasta ja niistä muodostetuista kuvaajista. Työkirja aikatauluttaa yksikön käytönaikaiset laadunvalvontatestit värikoodatusti ja huomioi vertailutasot reaaliajassa. Lukuisien pikanappuloiden avulla käyttäjä pystyy nopeasti siirtymään sivulta toiselle ja käynnistämään työkirjan toiminnot. Työkirja näyttää laadunvalvontatestien tulokset tiivistetysti tilastomuuttujien, viivadiagrammien, sekä laatikko- ja janakuvioiden avulla.</p> <p>Ajoitettujen laadunvarmistustestien suorittaminen uuden työkirjan avulla on helpompaa verrattuna yksikön aikaisempaan ratkaisuun. Tulosten syöttö vaatii vähemmän toimintoja käyttäjältä eikä rankaise syöttövirheistä yhtä raskaasti. Datan analysointi tapahtuu monipuolisemmin ja käyttäjäystävällisemmin. Työkirjan testit on tässä versiossa sidottu isotooppihoitoyksikön laadunvalvontaohjelmaan, joten työkirjojen soveltaminen muiden yksiköiden käyttöön onnistuu oletettavasti pienin muutoksin.</p>	
Avainsanat	yksifotoniemissiotomografia, laadunvalvonta, excel

Authors Title	Lauri Haavisto, Antti Löytökorpi Excel workbook for SPECT-CT equipment routine quality control tests
Number of Pages Date	31 pages 18 November 2020
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Radiography and Radiotherapy
Instructors	Ulla Nikupaavo, Senior Lecturer Sanna Törnroos, Senior Lecturer
<p>We developed two Excel workbooks for SPECT/CT device's routine quality control tests of a nuclear medicine unit according its quality assurance program. One for collecting test results and the other for analyzing said results.</p> <p>We based our development research on Radiation and Nuclear Safety Authority's instructions, NEMA-NU 1-2018-standard, SPECT/CT user manuals and the quality assurance program of the nuclear medicine unit. We used agile software development methods and our design philosophy was inspired by Steve Jobs. The workbook is designed to look friendly and easy to use. The most important functions are all on the frontpage allowing faster and smoother user experience.</p> <p>The workbooks consist of 32 different sheets, 14 Userforms easing test result entry, 90 automatically updating charts. Workbooks make possible the printing of a 65-page report by a click of a single button. The workbook contains graphs formed with analyzed data and the analyzed data itself. The workbook schedules the routine quality control tests with color coding and takes tolerance limits into account in real time. Numerous quick buttons allow the user to move from page-to-page easily and to start the functions of the workbook. The workbook shows a summary of the results of routine quality control tests with statistical variables, line graphs and boxplots.</p> <p>Scheduled quality control tests are easier to complete with the new workbook compared to the original used by the unit. Entering results requires less actions from the user and input errors aren't as punishing as before. Data analyzation is more versatile and user friendly. In this version of the workbook the tests are bound to the quality assurance program of the nuclear medicine unit, so applying the workbook for other units is most likely manageable with little changes.</p>	
Keywords	single photon emission computed tomography computed tomography, quality control, excel

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kehittämistyön tarkoitus ja tavoitteet	1
3	SPECT-TT-laitteen toiminnan perusteet	2
4	Laadunvalvonta isotooppitutkimuksissa	5
4.1	Käytönaikaiset laadunvalvontatestit SPECT-laitteille	9
4.2	Käytönaikaiset TT-testit	15
5	Kehittämistyön toteuttaminen	17
5.1	Toimintaympäristö, kohderyhmä, hyödynsaajat	17
5.2	Toiminnan etenemisen ja työskentelyn kuvaus	18
5.2.1	Ensimmäinen kehityssykli	18
5.2.2	Isotooppihoitoyksikön palaute	19
5.2.3	Toinen kehityssykli	20
6	Kehittämistyön tuotos	20
6.1	Tilastollinen analyysi	24
6.2	Tuloksien tulostaminen	26
7	Pohdinta	26
7.1	Tuotoksen tarkastelu	26
7.2	Tuotoksen hyödyntäminen	27
7.3	Kehittämisehdotukset	27
7.4	Eettisyys ja luotettavuus	28
7.5	Ammatillinen kasvu	28
	Lähteet	30

## 1 Johdanto

Isotooppihoitoyksikössä käytettävälle SPECT-TT-laitteelle tehdään päivittäin useita käytönaikaisia laadunvalvontatestejä, joiden tulokset, tekijä ja ajankohta tulee kirjata ylös laitekohtaiseen kronologiseen lokikirjaan (STUK 2010: 12, 23). STUK ehdottaakin laadunvalvonnan toteuttamiseen sähköistä järjestelmää, joka muistuttaa testien suorittamisesta ja valvoo testien toteuttamista. Tällöin saatuja tuloksia on helpompi seurata ja mahdolliset hitaatkin suorituskyvyn heikkenemiset voidaan havaita tehokkaammin. STUK mainitsee graafisen esitystavan helpottavan osaltaan laadunvalvontatestien tulosten tarkkailemista. (STUK 2010: 11-12.)

Isotooppihoitoyksikön testien tulokset syötettiin vuonna 2003 kehitettyyn, natiiviröntgenlaitteille suunniteltuun Excel-työkirjaan, jonka kehittäjä ei ollut työskennellyt yksikössä pitkään aikaan. Laadunvalvonnan toteuttaminen vaati työntekijöiltä ylimääräistä työtä, sillä työkirjaa riivanneet puutteet tekivät sen käyttämisestä hidasta ja kömpelöä.

Microsoft Excel on taulukkuloskentaohjelma, jonka avulla voi toteuttaa laadunvalvonnan laskentaa ja tilastointia vaativia tehtäviä. Ohjelmassa on tehokkaita työkaluja kerätyn datan analysointiin mm. kuvaajien, lomakkeiden ja taulukoiden avulla. (Walkenbach 2007: 3.)

Kehitämme yhteistyössä isotooppihoitoyksikön kanssa modernisoidun version työkirjasta vastaamaan yksikön tarpeita, käyttäen ketteriä ohjelmistokehitysmenetelmiä, sekä Steve Jobsilta lainattua muotolufilosofiaa (Agile Practice Guide 2017, Isaacson 2011: 141-151). Automaattiset datananalysointiratkaisut rakennamme käyttämällä hyväksi Microsoft Excelin tarjoamia työkaluja (Walkenbach 2007: 3). Teemme työkirjan käyttämisestä virtaviivaisempaa ja nopeampaa datan syöttöä optimoimalla.

## 2 Kehittämistyön tarkoitus ja tavoitteet

Työmme tavoitteena helpottaa isotooppihoitoyksikön käytönaikaista SPECT-TT-laitteen laadunvarmistusta. Jokapäiväistä laadunvarmistustestien tulosten kirjaamista ja aikataulun seuraamista helpottamalla ja virtaviivaistamalla pyrimme vähentämään epätietoisuutta ja mahdollisien virheiden määrää, sekä säästämään aikaa.

Opinnäytetyömme tarkoituksena on kehittää Excel –muotoinen laadunvalvontatyökalu SPECT-TT laitteille. Työkirja suunnitellaan yhteistyössä isotooppihoitoyksikön henkilökunnan kanssa ja kehitämme sen vastaamaan heidän tarpeitaan. Työkirjan kehitystavoitteina on kattaa ja aikatauluttaa SPECT-TT laitteiden käytönaikaiset laadunvalvontatellit, tehdä kirjaamisesta käyttäjälle mahdollisimman helppoa ja nopeaa, sekä analysoida kirjattua dataa automaattisesti. Isotooppihoitoyksikön käyttämä SPECT-TT-laite on malliltaan Siemens Intevo T6 Symbia.

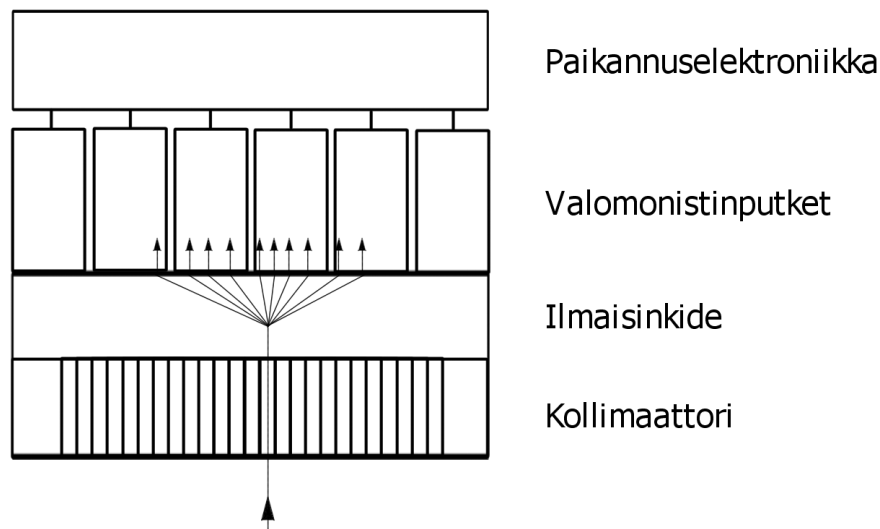
Laadunvalvonnan ollessa ohjelmistoavusteista ihmisestä johtuvien virheiden määrää on mahdollista vähentää. Kun dataa syötetään manuaalisesti taulukkolaskentaohjelmaan, käyttäjä tekee virheen keskimäärin 2-5% tapauksista (Aurigemma – Panko 2010). Tietokoneen vastaanottaessa ja arkistoidessa dataa se menee aina oikeaan paikkaan ja syötövirheitä on mahdollista havaita ja eliminoida tehokkaasti (Thimbleby – Cairns 2010: 1435). Testien ajoituksia ja korjausrajoja voidaan tarkkailla Excelin toiminnallisuuksia käyttämällä. Kuvaajien avulla detektorien suorituskyvyn hitaan heikentymisen voi havaita mahdollisimman aikaisin ja siihen voidaan reagoita ennen varsinaisten ongelmien ilmenemistä. (Ely – Dawson – Lemke – Rosenberg 1997: 268.)

### 3 SPECT-TT-laitteen toiminnan perusteet

SPECT-TT tarkoittaa hybridilaitetta, jossa tietokonetomografia-, eli TT-laitteeseen on liitetty kohdetta kiertävä gammakamera. *Single photon emission computed tomography* eli SPECT kerää radioaktiivisesti hajoavan merkkiaineen synnyttäviä fotoneita monesta suunnasta, muodostaen niistä tasokuvia (Knuuti – Kajander 2017). TT:ssä kohteen ympäri pyörivä röntgenputki ja sen vastapuolella oleva detektori keräävät kohteen läpäisevästä röntgensäteilystä dataa, josta muodostetaan leike- ja kolmiulotteisia kuvia (STUK 2016: 9).

Isotooppilääketieteessä käytettävistä radionuklideista yleisin on Teknetium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ), jonka ominaisuudet sopivat erittäin hyvin kuvantamiseen ja jolla voi leimata useita yhdisteitä, mahdollistaen lähes kaikkien elinten tutkimisen. Toinen yleinen isotooppi on Jodi-131 ( $^{131}\text{I}$ ), jota käytetään kilpirauhaseen liittyvissä tutkimuksissa ja hoidoissa. (Cherry – Soreson – Phelps 2012: 4, 57.)

SPECT –kuvauksessa merkkiaine kerääntyy enimmäkseen vain haluttuihin kudoksiin ja täten SPECT kuvasta usein puuttuu anatomisia maamerkkejä, joiden avulla paikallistaa löydökset. SPECT –kuvien heikko resoluutio kompensoidaan TT-kuvien korkealla resoluutiolla (Patton – Turkington 2008: 1-3). SPECT –laitteen tomografisesti uudelleenmuokatuissa kuvissa merkkiaineen kertymä syväkudoksiin näkyy todellisuutta lievempänä väliaineen vaimennuksen takia. SPECT:llä saatu kuva vaimennuskorjataan TT – kuvia ja algoritmejä käyttämällä, jolloin saadaan luotettavaa paikkatietoa anatomiasta ja merkkiaineen leviämisestä. (Patton 2008: 2.) TT-kuvaus auttaa siis paikallistamaan SPECT –kuvauksen löydökset (STUK 2016: 25). TT-ohjelma tulee valita tarpeen mukaan. Anatomian paikannus ja vaimennuskorjaus onnistuvat myös matalan annoksen TT-ohjelmalla, jolloin TT-kuva ei itsessään sovellu diagnoosin tekemiseen. (Patton – Turkington 2008: 8)



Kuvio 1. Gammakamera

SPECT-kuvauksessa käytettävän gammakameran kuvan muodostuksen ketju, jota on havainnollistettu kuviossa 1, alkaa kollimaattorilla, joka rajaa detektoria kohti tulevaa siroannutta säteilyä pois. Kollimaattori on yleensä reikäinen lyijylevy, jolla määritetään havaittavan säteilyn suunta. (Cherry – Soreson – Phelps 2012: 198.) Gammasäteily aiheuttaa välähdykseen sen osuessa detektorin natriumjodidi kiteeseen (IAEA 2009: 243). SPECT-detektorisysteemeistä yleisin on natriumjodidikiteen ja valomonistinputkikennoston yhdistelmä (Peterson – Furenlid 2012: 1). Detektorin valomonistimet muuttavat valon sähköiseksi informaatioksi. Tämä informaatio analysoidaan, sen paikkatieto ja voimakkuus määritellään paikannuselektroniikalla. (Korpela 2004: 236.)

Kollimaattorin laatu on suuri tekijä SPECT-kuvantamisessa, koska kollimaattorin toiminta on riippuvainen kuvantamisessa käytetystä energiasta ja kuvattavasta kohteesta. Kollimaattorin reikien koko, syvyys ja väliseinien paksuus kaikki vaikuttavat kuvaan. Esimerkiksi reikien pienentäminen ja syventäminen parantavat paikkaerotuskykyä, mutta heikentävät sensitiivisyyttä. Kollimaattorin reikien kulmauksella voi vaikuttaa kuva-alueen kokoon, odotettuun paikkaerotuskykyyn sekä sensitiivisyyteen. Pientä kohdetta kuvattaessa viuhkakollimaattoria käyttämällä saa paremman paikkaerotuskyvyn ja sensitiivisyyden kuva-alan pienentyessä. (EANM 2017: 71-74.) Kollimaattorit on kategorisoitu kollimaattorin reikien väliseinien paksuuden ja vaimennuskyvyn mukaan. Matalan energian (low-energy), eli LE-kollimaattori ei vaimenna korkeaenergistä säteilyä käytännössä ollenkaan. Korkean energian (high-energy), eli HE-kollimaattorit ja keskivahvuisen energian (medium-energy), eli ME-kollimaattorit taas onnistuvat vaimentamaan korkeaenergisempää sironnutta säteilyä, mutta samalla paksumpiin väliseiniin pysähtyy myös siroamatontakin säteilyä, heikentäen kollimaattorin hyötysuhdetta. (Cherry – Soreson – Phelps 2012: 221.)

Paikkaerotuskyky on järjestelmän kyky erottaa erilliset säteilynlähteet toisistaan (NEMA NU 1-2018: 3). Sensitiivisyydellä tarkoitetaan kollimoidun detektorin havaitseman säteilyn määrää (IAEA 2009: 244).

Yleisimmät detektorit havaitsevat säteilyä tuiekiteiden avulla, joiden tuottama valo muutetaan elektroniseksi signaaliksi valomonistinputkissa. Kiteen tyyppi ja paksuus vaikuttavat sensitiivisyyteen ja paikkaerotuskykyyn. Yleisin kidetyyppi on natriumjodidi. Paksuus taas riippuu käytetystä energiasta. Korkeaenergisistä fotoneja havaittaessa suositaan paksumpaa kidettä. Paksummalla kiteellä havaitessa matalaenergisistä fotoneja paikkaerotuskyky heikkenee, vaikka sensitiivisyys paranisikin. (EANM 2017: 74.) Puolijohdedetektorit edustavat todennäköisintä vaihtoehtoa tuikeilmaisimille tulevaisuudessa. Ne mahdollistavat säteilyn suoran muunnon sähköiseksi signaaliksi eliminoiden tuiekiteen ja valomonistimen välisen muutoksen aiheuttamat sattumanvaraisuudet. (Peterson – Furenlid 2012.)

Valomonistinputket vaativat tarkkaa säätöä, jotta kaikki putket muodostaisivat sähköisiä pulsseja samassa suhteessa. Pienetkin muutokset valomonistinputken välillä vaikuttavat muodostettuun kuvaan. (EANM 2017: 74-75.)



Tuiekiteen synnyttämä valonvälähdys osuu useaan valomonistinputkeen ja kunkin valomonistimen saama välähdyksen osan voimakkuus tulkitaan. Kauempana osumakohdasta olevat valomonistimet saavat pienemmän osan. Tämän tiedon avulla fotonille määritellään paikkatieto. Samalla vastaanotetusta informaatiosta saadaan signaalin voimakkuus. Paikannuselektroniikka myös rajaa tulkituista signaaleista pois sironneen energian ja täten vähentää väärin tulkittua paikkatietoa. Analogisesta digitaaliseksi muuntaja (ADC) mahdollistaa signaalin digitalisoinnin ja jatkokäsittelyn tietokoneella. Täysin digitaalisella tuikeilmaisimella valomonistinputket digitalisoivat signaalit suoraan ja pulssien paikkatieto lasketaan tietokoneella. Tämä mahdollistaa analogista monipuolisemman tiedon käsittelyn. (IAEA 2009: 12-15.)

#### 4 Laadunvalvonta isotooppitutkimuksissa

*Laadunvarmistuksella* tarkoitetaan määriteltäviä ja toteutettavia järjestelmällisiä toimenpiteitä, joilla varmistutaan laatutavoitteiden, sekä laissa säädettyjen vaatimusten toteutumisesta (STUK 2018). *Laadunvalvonta* on laadunvarmistusta suppeampi termi, joka tarkoittaa niitä laadunvarmistustoimenpiteitä, joilla voidaan osoittaa laitteiden ja niiden suorituskyvyn olevan asetettujen vaatimusten mukaiset. (STUK 2018.) Turvallisuussluvan saamiseksi toiminnanharjoittajan tulee asettaa laatutavoitteet ja huolehtia laadunvarmistuksen toteutumisesta Säteilylain (859/2018) mukaan. STUK eli Säteilyturvakeskus valvoo säteilyturvallisuutta Suomessa sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalaisena viranomaisena.

Toiminnan harjoittajan velvollisuudesta laadunvarmistuksen järjestämiseen ja laadunvarmistusohjelman laatimiseen säättää säteilylain 30§ ja STUKin määräys. Tietyt STUKin julkaisemista oppaista toimivat laadunvalvontaohjelmien laatimisen apuna. (STUK 2018.) *Toiminnanharjoittajalla* tarkoitetaan tahoa, joka käyttää toiminnassaan säteilynlähteitä. Heillä tulee olla säteilytoimintaa harjoittaakseen voimassa oleva, Säteilyturvakeskukselta haettu turvallisuuss lupa. (STUK 2018.)

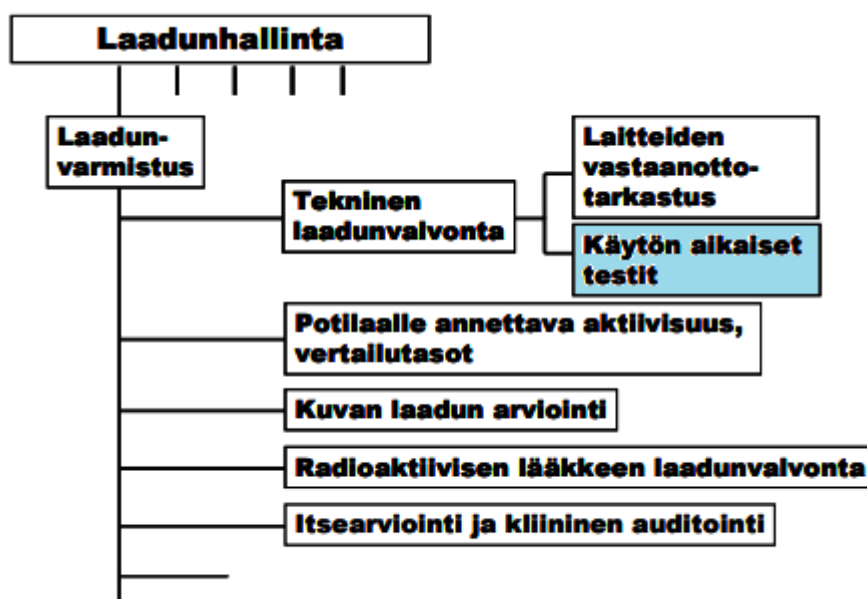
National Electrical Manufacturers Association (NEMA) -järjestö julkaisee standardeja (mm. NEMA NU 1-2018, NEMA NU 2-2018), joita STUK käyttää lääketieteen säteilyä tuottavien laitteiden laadunvalvontaoppaissaan. STUK mainitsee myös IAEA:n ja

EANM:n julkaisut isotooppitutkimuslaitteiden laadunvalvonnan suosituksien tarjoajina. (STUK 2010: 15.)

Laitevalmistajien ohjeet tulevat lain mukaan sisältää tiedot säteilylähteen turvallisuuteen vaikuttavista ominaisuuksista (Säteilylaki 859/2018 § 73) tai terveydenhuollon laitteen turvallisuuden kannalta tärkeistä ominaisuuksista (Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010 § 12). Nämä ohjeet antavat teknisen laadunvarmistuksen suorittamista varten laitekohtaista tietoa.

Toiminnan harjoittajan tulee laatia *laadunvarmistusohjelma* laadunvarmistuksen toteuttamista varten. Sen tulee pitää sisällään laadunvarmistustoimenpiteet, niiden suorittamisen, suoritusvälit, toimenpiderajat, toimenpiteet toimenpiderajojen ylittyessä ja ohjelman toteuttamista koskevat vastuut, sekä ohjeet laitteiston tarkistukseen ja tekniseen testaukseen. Laadunvarmistusohjelmaa tulee arvioida säännöllisesti ja sen tulokset on dokumentoitava. Tarkemmat määräykset laadunvarmistustoimenpiteiden toteuttamisesta antaa Säteilyturvakeskus. (Säteilylaki 859/2018 § 30.)

Isotooppitutkimuslaitteiden *teknisellä laadunvalvonnalla* tarkoitetaan laitteiden suoritusominaisuuksien ja toimintakunnon jatkuvaa seurantaa. Se luo perusedellytykset säteily-suojelun optimointiperiaatteen jatkuvaan toteutumiseen ja osaltaan varmistaa tutkimuksien pysyvän kliinisesti hyödyllisinä. Käytön aikainen laadunvalvonta on osa teknistä laadunvalvontaa, josta on eroteltu vastaanottotarkastuksen testit pois. (STUK 2010: 7) Käytön aikaisten laadunvalvontatestien osuutta laadunhallinnasta voi tarkastella kuviosta 2.



Kuvio 2. Isotooppitutkimustoiminnan laadunhallinnan sisältö (STUK 2010).

Isotooppitutkimuksien tulee tuottaa kliinistä hyötyä potilaan hoitoa varten. Tutkimuksen tulee samaan aikaan tuottaa luotettava diagnoosi ja pitää potilaan säteilyannos mahdollisimman pienenä. Säteilynkäytön optimointi edellyttää teknistä laadunvalvontaa, säteilyannoksien seuraamista, ohjelmistojen toimivuuden varmistamista, sekä kuvanlaadun arviointia. (STUK 2010: 7.)

Laitekohtaisen laadunvalvontaohjelman tulee sisältää kaikki suoritettavat testit ja niiden tarkoitukset, mittausmenetelmät, käytettävät välineet, suoritusvälit, toimenpiderajat ja toimenpiteet rajojen ylittyessä. Käytönaikaiset laadunvalvontatestit tulee toteuttaa kirjallisen laadunvalvontaohjelman mukaisesti. Ne kannattaa ajoittaa mahdollisimman tasaisesti vuoden mittaan, yksikön resurssit huomioiden. Kaikkia vastaanottotarkastukseen sisältyneitä testejä ei ole tarpeen tehdä säännöllisesti, vaan ne voidaan suorittaa huollon yhteydessä ja laitteen suorituskykyä epäiltäessä. (STUK 2010: 11-12.) Laitekohtainen laadunvalvontaopas voi perustua säteilyturvakeskuksen ohjeisiin, mutta sen tulee huomioida myös laitevalmistajan ohjeet. Laitevalmistajan suosittelemat testit ja niiden aika-aulutus, voivat erota säteilyturvakeskuksen suosituksista. (STUK 2010: 6.)

Laadunvalvontaan liittyvistä mittauksista ja tarkastuksista pidetään laitekohtaista ja kronologista kirjaa, johon merkitään toimenpiteiden suorittaminen, suorittaja, tulokset, sekä mahdollisesti tehdyt toimenpiteet. Tämä voidaan toteuttaa myös sähköisesti, joka mahdollistaa testauksen toteuttamista helpottavat automaattiset muistutukset ja tuloksien

valvonnan. Tuloksia tulee arvioida säännöllisesti ja laadunvalvontaohjelmaa tulee muuttaa tarvittaessa. (STUK 2010: 12.) Vastaanottotarkastuksessa SPECT-TT-laitteen asianmukainen ja turvallinen toiminta varmistetaan laajamittaisten testien ja mittauksien avulla, ennen sen kliinistä käyttöönottoa. Siinä tulee tarkistaa, että laitteen mukana tulevat varusteet, asiakirjat, käsikirjat ja käyttöohjeet on toimitettu. Laitteen suorituskyvyn vertailuarvot määritellään tekemällä kaikki käytönaikaisen laadunvalvonnan testit ja tallentamalla niiden tulokset. Myöhemmillä testeillä laitteen suorituskyvyn mahdolliset heikkenemiset voidaan huomata vertaamalla mittaustuloksia vertailuarvoihin. Vastaanottotarkastuksessa tulee määritellä testituloksille korjausrajat, joita voidaan tarvittaessa muokata myös myöhemmin. (STUK 2010:11.)

*Toimintatesteillä* tarkoitetaan toimenpiteitä, joiden avulla laitteen suorituskyyä mitataan. Niiden tarkoituksena on varmistaa, että järjestelmän suorituskyy on sille asetettujen korjausrajojen sisällä. Toimintatestit ovat tyypillisesti vakioisuustestauksia ja on tärkeää, että ne tehdään aina samalla tavalla, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia. (STUK 2010: 10.) Säteilyturvakeskuksen suosittelemat testit perustuvat National Electrical Manufacturers Associationin, eli NEMA:n asettamiin standardeihin, jotka päivitetään viiden vuoden välein (STUK 2010: 15). Näistä kirjoituksen ajankohtana viimeisin on NEMA NU 1-18, joka käsittelee gammakameroiden laadunvarmistusta (NEMA 2019).

*Toimenpiderajat* määritellään laadunvalvontaohjelmassa Säteilylain 30 § perustuen, Säteilyturvakeskuksen määräyksien mukaisesti. Toimenpiderajat jaetaan kahteen luokkaan, hyväksyttävyyssrajiin ja korjausrajiin. Hyväksyttävyyssraja on laitteen suorituskyyille annettu vähimmäisvaatimus, jonka ylityttyä on ryhdyttävä välittömiin toimenpiteisiin laitteen suorituskyyyn palauttamiseksi, tai poistettava laite tai laitteiston osa käytöstä. (STUK 2010: 13.)

*Korjausraja* on luokista tiukempi ja se määrittää laitteen sallitun poikkeaman suorituskyyyn optimaalisista arvoista, jotka mitataan yleensä vastaanottotarkastuksen yhteydessä. Toiminnanharjoittaja voi itse määritellä korjausrajat, mutta niiden tulee olla toimenpiderajoja tiukemmat. Korjausrajan ylityttyä on aloitettava korjaustoimenpiteiden järjestelyt ja usein joudutaan myös selvittämään syy suorituskyyyn laskuun. Korjaukselle asetetaan aikataulu ja arvioidaan, tulisiko kyseisen ominaisuuden mittauksia tehdä useammin korjausta edeltävällä ajalla. Tarvittaessa laitteelle voidaan myös asettaa käyttörajoituksia. (STUK 2010: 13.)

Isotooppitutkimuksien säteilymittauksissa esiintyy huomattavia epävarmuustekijöitä, liittyen mittarin energia- ja annosnopeusriippuvuuteen, mittausetäisyyteen, sekä säteilyn laatuun, joiden seurauksena annosmittauksien virhemarginaali on usein 10% tienoilla. Tästä syystä ennen toimenpiteisiin ryhtymistä, tulee tarkistaa mittalaitteiden toiminta, varmistaa että mittausta on tehty varmasti oikein ja suorittaa toistomittauksia mittaustulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. (STUK 2010: 14.)

#### 4.1 Käytönaikaiset laadunvalvontatestit SPECT-laitteille

Kaikki käytönaikaiset laadunvalvontatestit on koottu taulukkoon 1. Eri standardien välillä on huomattavia eroja, jotka saattavat hankaloittaa kokonaisuuden hahmottamista. Standardeista tärkeimpiä Suomessa ovat kuitenkin STUKin ja laitevalmistajan antamat ohjeet (Säteilylaki 857/2018 § 30, STUK 2010: 7).

Taulukko 1. Usean standardin ja ohjeen mukaiset testien suoritusvälit SPECT-TT-laitteilla (STUK 2010:23, IAEA 2009: 53-54, EANM 2010: 664-665, Siemens 2007: 259-260).

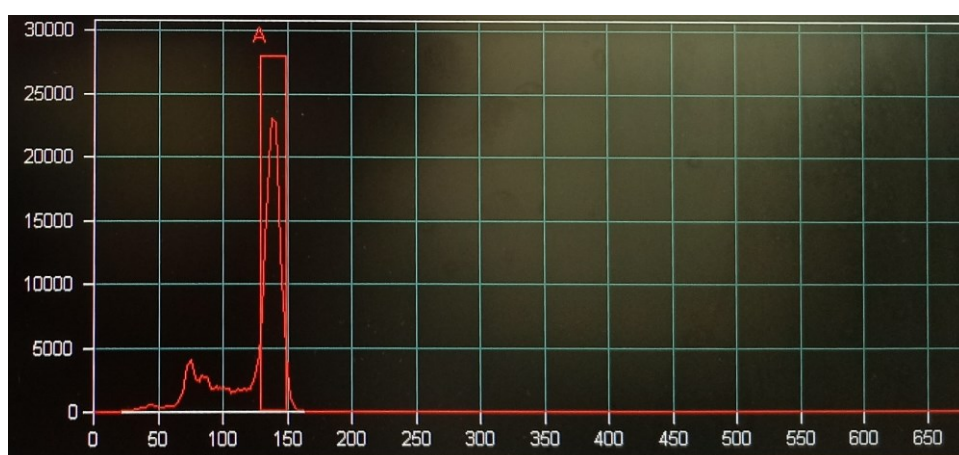
Testin suoritusvälit	STUK 2010	EANM 2010	Siemens	IAEA 2009	Yksikön ohje
<b>Gammakameratestit</b>					
Energiaikkunan tarkistus	1pv	1pv		1pv	1pv
Taustasäteily ja kontaminaatio	1pv	1pv		1pv	1pv
Kuvakentän tasaisuus	1-3pv	1pv	1pv	1pv	1pv
<b>SPECT-testit</b>					
Pyörimiskeskipeite, COR/MHR	1kk	1vko/1kk	1kk	1vko	1kk
Pään kohdistus, HAC/HAV			1kk	1vko	
SPECT-suorituskyky (Ei NEMA mittaus)	1v	6kk			1v
<b>TT-testit</b>					
TT-tarkistus: TT-laitteen lämmitys ja ilmakalibrointi	1pv	1pv	1pv		1pv
TT-laatu: TT-luku, kohina, kuvavirheet	1vk	1kk			1vk
TT-pysyvyys			1kk		1kk
TT-annosindeksi CTDI	6kk				1v
TT-laatu, laaja	6kk				1v
<b>SPECT-TT-testit</b>					
SPECT ja TT-laitteiden kohdistus		1kk	1kk		1kk

**Turvallisuustesteihin** kuuluvat säteilyn ilmaisinten, säteilysuojainten, säteilysuojelumittareiden, varoitusvalojen, hätäkytkimien, törmäyssuojien, laitteen mekaanisen toiminnan ja kunnan tarkistukset (STUK 2010: 10). Törmäyssuojat tulee tarkistaa aina kollimaattorin vaihdon jälkeen ja muut turvallisuustestit päivittäin (EANM 2010: 664).

**Laitteiston kunto** tulee tarkistaa silmämääräisesti päivittäin mahdollisten vaurioiden havaitsemiseksi (STUK 2010: 23).

**Taustasäteilyn ja kontaminaation tarkastus** tulee tehdä päivittäin, mahdollisen kontaminaation havaitsemiseksi. Taustasäteilyn tulisi pysyä suhteellisen tasaisena mittauksien välillä. (EANM 2017: 33.) Testi suositellaan tehtäväksi päivittäin (STUK 2010: 23).

Energiaspektri on havaituista fotoneista ja niiden energiasta piirretty käyrä. (IAEA 2009: 242). Kaikille kliinisesti käytettäville radionuklideille on asetettu etukäteen energiaikkunat, eli hyväksyttävyyssrajat fotonien energialle. Ne näkyvät kuviossa 3. Jos energia on asetettujen rajojen ulkopuolella, tulos hylätään. (IAEA 2009: 242.) Energiaikkuna kuvataan joko rajoina (esim. 126-154 keV) tai prosenttina huippuarvosta (esim. 10% 140keV) (NEMA NU 1-2018: 2).



Kuvio 3. Energiaspektri ja energiaikkuna Tc99m

Näiden **Energia-asetusten oikeellisuus** tulee tarkistaa päivittäin, jotta varmistutaan siitä, että ennalta asetetut *energiaikkunat* ovat keskitetty oikein radionuklidien aikaansaamien fotopiikkien ympärille (STUK 2010: 23). Testistä käytetään myös nimeä “piikkaus”. Testi suositellaan tehtäväksi päivittäin kaikille sinä päivänä kliinisesti käytettäville radionuklideille (EANM 2017: 33). Piikkaustestin parametrejä ovat huipun siirtymä ja kuollut aika.

*Huipun siirtymä* on fotopiikin huipun siirtymä energiaikkunan keskeltä. Tämä voi johtua esimerkiksi korkeasta pulssitaajuudesta, jolloin useampi havainto detektorilla tulkitaan yhtenä vääräenergisena pulssina. (Cherry – Soreson – Phelps 2012: 112-113.)

*Kuollut aika* on säteilymittarin vaatima aika, joka kuluu pulssin havainnoinnista sen käsittelemiseen. Jos säteilymittari saa uuden havainnon tämän ajan sisällä se jätetään huomioimatta. (IAEA 2009: 242.)

**Kuvakentän tasaisuus** voidaan tilanteesta riippuen suorittaa 1-3 päivän välein. Mittauksella varmistetaan gammakameran tuottavan tasaisen kuvan tasaisesta lähteestä. Rutiinitesti tehdään ilman kollimaattoria pistelähteellä, mutta kollimaattorin kunnon varmistamiseksi, se kannattaa myös toistaa tasaisin väliajoin tasolähteellä kollimaattorin kanssa. (STUK 2010: 23.)

Gammakameran suorituskyvystä puhuttaessa testit jaetaan usein sisäiseen ja ulkoiseen testaukseen. Sisäinen kuvaa pelkästään gammakameran suorituskkyä, pois lukien kaikki ulkoiset muuttujat, kuten kollimaattorit ja näytöt. (NEMA NU 1-2018: 3.) Ulkoisissa testeissä nämä muuttujat puolestaan otetaan huomioon.

**Sisäinen tarkistus** on Siemensin toimintatesti, joka tarkistaa kuvakentän tasaisuuden käyttämällä pistelähdettä. Korjausrajat ovat integraalinen CFOV 5%, integraalinen UFOV 6%, differentiaalinen CFOV 2,5% ja differentiaalinen UFOV 3%. Testi voidaan tehdä ilman tuunausta päivätestinä tai virityksen kanssa viikkotestinä. (Siemens 2007: 290.) Virityksellä, eli ”tuunauksella” tarkoitetaan valomonistinputkien säätämistä yhteneviksi, jotta niiden kaikkien tasaisesta säteilynlähteestä tuottamat signaalit olisivat saman vahvuisia (Ljungberg – Pretorius 1991: 6).

*Differenretiaalinen tasaisuus* on sisäisen kuvakentän tasaisuuden testauksen tulospaarametri. Siinä jaetaan kuva-alueen pikselit viiden samansuuntaisen ja vierekkäisen pikselin ryppäisiin. Niistä tarkistetaan jokaisen pikselin havaitsema pulssitaajuus ja valitaan suurin ja pienin arvo kaavaan:

$$\text{differentiaalinen tasaisuus} = \pm 100 \times \frac{(\max - \min)}{(\max + \min)}$$

Kaava lasketaan kuva-alueen kaikille mahdolliselle viiden vierekkäisen ja samansuuntaisen pikselin kombinaatioille. Kun kaikki kombinaatiot on laskettu, raportoidaan niistä suurin arvo kuva-alueen differentiaalisesti tasaisuudeksi. (NEMA NU 1-2018: 14.)

*Integraalinen tasaisuus* on sisäisen kuvakentän tasaisuuden testauksen toinen tulospaarametri. Kaikista kuva-alueen pikseleistä tarkistetaan niiden havaitsemien pulssien määrä, UFOV:in ja CFOV:in alueilla erikseen. Etsitään kaikista suurin ja kaikista pienin arvo ja sijoitetaan ne kaavaan:



$$\text{integraalinen tasaisuus} = \pm 100 \times \frac{(\max - \min)}{(\max + \min)}$$

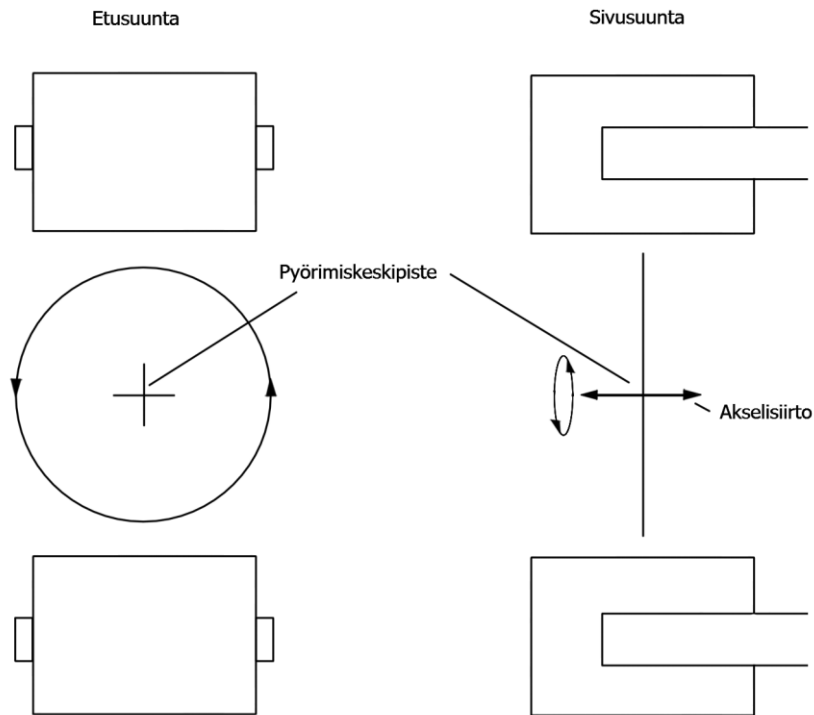
Tulokseksi saadaan valitun kuva-alueen integraalinen tasaisuus prosentteina ilmaistuna. (NEMA NU 1-2018: 14.) Hyväksyttävyyssraja on integraaliselle UFOV:ille 7% (STUK 2019: 23).

**Sisäinen kalibrointi** on Siemensin määrittelemä laadunvalvontatesti, jossa sisäisen tarkistuksen jälkeen järjestelmän asetukset säädetään kohdalleen saatujen mittausten perusteella. Toimivien detektorien suorituskyky muuttuu käytettäessä eri tahtia ja eroavaisuudet korjataan säännöllisten hienosäätöjen avulla. Tulokset tarkistetaan heti kalibroinnin jälkeen ja korjattuja tuloksia käytetään vertailutasona tuleville sisäisen tarkistuksen testauksille. Sisäisen kalibroinnin tulokset tulee tarkistaa, mukaan lukien korjaamattoman virtauksen ja tasaisuuden saamat arvot. Sisäisen tarkistusvirtauksen tulisi näyttää silmämääräisesti samalta, kun tilastoitujen samankaltaisuuslukujen. Jos tulokset ylittävät 7%, tulee ottaa yhteyttä laitevalmistajan edustajaan. (Siemens 2007: 303-314.)

Pyörähdyskeskipiste (COR), jota havainnollistaa kuvio 4, on tarkka pikseli SPECT projektiokuvassa, jonka ympärillä kollimaattorit pyörivät (NEMA NU 1-2018). Pisteeseen pitäisi vastata kaikkien kuvien keskipistettä x-suunnassa, jokaisesta kollimaattorin jokaisesta kulmasta mitattuna (IAEA 2009: 241). **Pyörimiskeskipistetestien** tarkoituksena on selvittää ovatko mekaaninen pyörimiskeskipiste ja kuvien keskipiste kohdakkain kaikilla SPECT-tutkimuksissa käytetyillä kollimaattoreilla ja detektorien välisillä kulmilla. Testi suoritetaan kuukausittain. (STUK 2010: 23). Hyväksyttävyyssraja on 1 pikseli (STUK 2019: 23). **Pyörähdyskeskipisteen kalibroiminen** on yksi tärkeimmistä laadunvalvontatoimenpiteistä. Se ei mittaa suorituskykyä, vaan kalibroi järjestelmän ottamat kuvat vastaamaan rekonstruoitujen kuvien keskikohtaa tietokoneella. Jokaisella laitevalmistajalla on oma protokollansa, jota tulee noudattaa tarkasti. (Grapham 1995: 1474.)

**COR/MHR-kalibraatio** on Siemensin kehittämä laadunvalvontatesti pyörähdyskeskipisteen kalibroimiseen. Siinä käytetään viittä Tc99m, 1 mCi vahvuista, pistelähdettä aseteltuna laitteen mukana tulleeeseen fantomiin (Wagner ym. 2009). Testi suositellaan tehtäväksi kuukausittain, kaikille kollimaattoreille ja kaikille kliinisille konfiguraatioille, joista yleisimpiä ovat 180°, 90°, 76° ja viuhkakollimaattoreilla 180°. Jos tulosparametrit ovat x-siirrolla/pyörimiskeskiöllä alle 2mm, y-siirrolla/akselisiirrolla alle 0,5 pikseliä ja takaisin-

projisointikulma on alle  $0,1^\circ$ , niin riittää että vain COR/MHR  $180^\circ$ -kalibraatio tehdään yleisimmin käytettävän matalan energian kollimaattorin kanssa (esim. LEHR). (Siemens 2007: 314.)



Kuvio 4. Pyörimiskeskiste ja akselisiirto

**Pään kohdistamisen tarkistus (HAV)** on nopea rutiininmainen testi, joka varmistaa gammakameroiden olevan samansuuntaiset pyörähdyskeskipisteeseen ja toisiinsa nähden viivasäteilijän avulla (IAEA 2009: 186). Korjausrajat HAV:ille ovat takaisinheijastus  $0,2^\circ$  ja COR 2mm (Siemens 2007: 323).

**Pään kohdistamisen kalibraatio (HAC)** on SPECT-TT-laitteen kalibraatio, jossa gammakamerat suunnataan kohtisuoraan pyörähdyskeskipisteeseen ja toisiinsa nähden viivasäteilijän avulla. Tämän jälkeen järjestelmä suorittaa HAV:in tulosten tarkastamiseksi. Korjausrajat ovat COR 10mm, akselinsiirto (Kuvio 4) 5mm, takaisinheijastuskulma  $0,8^\circ$  ja viuhkakollimaattoreilla pääsäde 8mm. (Siemens 2007: 320-323)

## 4.2 Käytönaikaiset TT-testit

SPECT-TT:lle suositellaan tehtäväksi samat testit kuin muillekin tietokonetomografialaitteille. Hybridikuvantamislaitteilla on myös tarkistettava **laitteiden geometrinen asema toisiinsa nähden**. (STUK 2010: 26.) Hyväksyttävyyssraja on yksi SPECT-kuvan pikseli (STUK 2019: 23).

**TT-tarkistus** on Siemensin käyttämä nimitys TT-laitteen automaattisille toimintatarkastuksille ja lämmityskuvauksille. Jos TT-laitetta käytetään harvoin kuvauksissa, tulee testi toistaa tunnin sisällä potilaskuvauksen alkamisesta. (Siemens 2007: 336.)

**TT-kalibraatio** on Siemensin nimitys TT:n ilmakalibroinnille, joka tulee heidän ohjeidensa mukaan suorittaa tunti TT-tarkistuksen jälkeen (Siemens 2007: 336).

Vuodesta 2002 lähtien valmistetuissa TT-laitteissa tulee olla annosnäyttö, joka näyttää absorboituneen annoksen standardi fantomissa, eli TT-annosindeksin (STUK 2004a:15).

**Annosnäytön oikeellisuus** tulee tarkistaa kaikilla kenttäkoilla (STUK 2008: 50).

*TT-annosindeksi*, eli annoksen tilavuuskeskiarvo (CTDI tai MSAD) on yleisesti hyväksytty standardi säteilyannoksen määrittämiseksi TT-laitteilla (Kim ym. 2011). Se tulisi suorittaa SPECT-TT-laitteilla kerran puolessa vuodessa (STUK 2008: 58). Standardoidulla 100mm kynänmuotoisella ionisaatiokammioilla. TT-annosindeksin laskukaava on:

$$CTDI_{100} = \frac{1}{nT} \int_{-50mm}^{50mm} D(z) dz$$

Jossa n on leikkeiden lukumäärä, T on leikepaksuus ja D(z) on annosprofiili pyörähdysakselin suuntaisesti. (Kim ym. 2011.)

**TT-laatu** on laitevalmistajan nimittämä laadunvalvontakokonaisuus, johon kuuluvat TT-luvun, putkijännitteen, sekä TT-kuvan kohinan ja kuvavirheiden tarkistaminen (Siemens 2007: 339).

Viikoittain tulee tarkistaa **TT-luku**, joka mittaa vakioisuutta välittäjäaineessa, sekä **TT-kuvan kohina ja kuvavirheet**, jotka saadaan fantom -mittauksen ja TT-lukujen keskiarvon avulla. Kuvasta tarkistetaan myös mahdolliset artefaktat. (STUK 2008: 49–51.)

**TT-luku** on vakiintunut käytäntö pikselin arvon ilmaisemiselle TT-kuvissa. Se lasketaan kaavalla:

$$TT - luku = 1000 * \frac{\mu - \mu_{vesi}}{\mu_{vesi}}$$

Jossa  $\mu$  on vokselin keskimääräinen vaimennuskerroin potilaassa ja  $\mu_{vesi}$  on veden matkavaimennuskerroin. Tuloksena saadaan pikselin arvo Hounsfieldeissä (HU). (STUK 2004b: 71.)

**TT-kuvan kohina**, eli rakeisuus on kuvanlaatuun vaikuttava tekijä. Koska kohina on kääntäen verrannollinen säteilyannoksen neliöjuureen, potilaan sädeannosta voidaan vähentää hyväksymällä heikompi kuvanlaatu. SPECT-TT:n vaimennuskorjausta varten otetun TT-kuvan laadun ei tarvitse olla hyvä. (STUK 2016: 11-13.)

**TT-kuvan kuvavirhe, artefakta** on mikä tahansa systemaattinen eroavaisuus TT:llä muodostetun kuvan ja kohteen todellisten vaimennuskertoimen välillä (Barrett – Keat 2004). TT-kuvassa mahdollisesti näkyvät kuvavirheet, tulee tarkastaa silmämääräisesti viikoittain (STUK 2008:49).

**TT-pysyvyys** on laitevalmistajan useiden laadunvalvontatestien kokonaisuus, jolla tarkistetaan erinäisiä TT-tutkimuksen parametreja. Näitä ovat valomerkin sijainti, leikepak-suudet, yhtenäisyydet kaikilla kV-arvoilla, pikseliääni kaikilla kV-arvoilla, modulaation läpäisyfunktio (MTF), sekä potilaspöydän sijainti. Nämä tulee tarkistaa kerran kuukaudessa. (Siemens 2007: C3.)

*Laitteen paikan asettelutarkkuus* tarkistaa vastaako aksiaalileikekuvat kohdaltaan asetteluvaloja ja pyyhkäisykuvaa (STUK 2008: 50).

*TT-kuvan geometrinen tarkkuus* tarkistaa vastaako x- ja y-suuntien mitat testikappaleen todellisia mittoja (STUK 2008: 50–51).

*Leikepaksuus* tarkistetaan mittaamalla leikepaksuus ja vertaamalla sitä asetettuun leikepaksuuteen aksiaalisuunnassa (STUK 2008: 55).

*Potilaspöydän liiketarkkuus* mitataan nostamalla tai laskemalla kuormitettua potilaspöytää yhtenäisellä liikkeellä ja leike kerrallaan siirtyen (STUK 2008: 50, 55).

*Korkean kontrastin erotuskyky* määritellään testikappaleesta yksityiskohtien näkyvyyden perusteella tai modulaation siirtymäfunktion mittauksella (MTF). Testikappaleen yksityiskohtien ja muun rakenneaineen absorptioero tulee olla vähintään 100 HU. (STUK 2008: 50, 57.)

## 5 Kehittämistyön toteuttaminen

### 5.1 Toimintaympäristö, kohderyhmä, hyödynsaajat

Kehittämämme Excel-työkirja perustuu isotooppiyksikön omaan laadunvalvontaohjelmaan, STUKin suositukseen, NEMA-NU 1-2018 ohjekirjaan, IAEA:n julkaisuun, sekä laitevalmistajan ohjeisiin. Isotooppiyksikössä aikaisemmin käytetyssä laadunvalvontatyökirjassa oli käytettävyyden kannalta puutteita, joiden korjaamiseen he kaipasivat apua. Työkirjassa vain osa tarvittavista testeistä ja lomakkeista puuttui tarpeellisia vaihtoehtoja. He joutuivat kompensoimaan puutteellisia lomakkeita lisäämällä tietyt testit omalle välilehdelleen käsin ja toisissa testeissä he joutuivat vaihtamaan manuaalisesti yhden muuttujan arvon toiseen. Tarvittavista testeistä ja niiden suoritusaikataulusta oli myös epäselvyyttä.

Yksikön alkuperäisinä kehitystavoitteina oli lisätä HE-kollimaattori lomakkeisiin, poistaa turhat muuttujat lomakkeista, saada fyysikolle kuukausitesteihin nappulat ja lomakkeet. He halusivat myös muistutukset viiva- ja pistelähteiden uusimisesta, jonkinlaisen varoituksen korjaus- ja vertailutasojen ylityksestä, vapaamuotoisen vikavihkon, selkeämmän aikataulun tarvittaville testeille, sekä käytettävämmät lomakkeet, sillä aiemmin yksi tyhjä kohta pakotti käyttäjän lisäämään kaiken datan uudestaan. Itse tunnistamamme kehityskohteita olivat etusivu, aikataulut, kuvaajien kehittäminen, datan analysointi, lomakkeiden rakenne, kirjauksen nopeuttaminen, sekä tulosten tallentaminen.

## 5.2 Toiminnan etenemisen ja työskentelyn kuvaus

Ohjelmiston kehitystyö noudatti ketterän ohjelmistokehityksen periaatteita: toimiva ohjelma on dokumentaatiota tärkeämpää, ihmiset ja kommunikaatio ovat prosesseja tärkeämpiä, muutoksiin reagoiminen on suunnittelua tärkeämpää ja yhteistyökumppanin tarpeet ovat neuvotteluja tärkeämpiä (Agile Practice Guide 2017: 8). Kehitystyö tapahtui vaiheittain, tärkeimmät ominaisuudet priorisoiden, yksi ominaisuus kerrallaan. Työjärjestys oli suunnittelu, koodaus, testaus ja muotoilu.

Suunnitteluvaiheessa valitsimme kehityskohteen ja suunnittelimme ohjelmarakenteen toiminnallisuuden rakentamiseksi. Kun toiminnallisuus saatiin valmiiksi, otimme sen käyttöön myös muissa käyttökohteissa. Esimerkiksi yhden toimenpiderajan testauksen valmistuttua laajensimme testit koskemaan kaikkia toimintatestejä.

Teimme ohjelmiston testausta aina ohjelmointivaiheen päätyttyä. Täten varmistimme ominaisuuden toimivan halutulla tavalla ja korjasimme mahdolliset ohjelmointivirheet ennen seuraavaan ominaisuuteen siirtymistä.

Otimme työkirjan muotoiluun innostusta Applen kehittäjän Steve Jobsin muotoilufilosofiasta hänen elämänkerrassaan kuvattuna: pyrimme tekemään työkirjasta mahdollisimman ystävällisen näköisen, suosimme nappuloissamme pyöristettyjä reunoja ja pyrimme tekemään kaiken kaikkiaan mahdollisimman yksinkertaisen (Isaacson 2011: 141-151). Panostimme erityisesti etusivun muotoiluun, sillä käyttäjät tulevat katsomaan sitä joka päivä. Kaikki työkirjan tärkeimmät toiminnallisuudet löytyvät etusivulta, käytön nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi.

Monet työkirjan toiminnallisuuksista kävivät läpi useampia kehitysversioita ja palasimme korjaamaan niissä havaittuja kehitystarpeita sitä mukaa kun niitä nousi esille. Koodin refaktorointia, eli sen uudelleen kirjoittamista toiminnallisuudet säilyttäen, tehtiin sitä mukaa kun selkeyttämisen tarpeita nousi ajankohtaiseksi.

### 5.2.1 Ensimmäinen kehityssykli

Työmme alkoi Excelin ja muiden Office-ohjelmien käyttämän ohjelmistokielen VBA:n (Visual Basic for Applications) ja makrojen opettelemisella. Makronauhurin avulla käyttäjän

toimintoja voi tallentaa ja suorittaa myöhemmin automattisesti. VBA ja makrot mahdollistavat Excelin toiminnallisuuksien yhdistämisen, makro-pohjaisten ohjelmien tekemisen ja helppokäyttöisen käyttöliittymän luomisen (Walkenbach 2007: 682).

Lomakkeet ovat tiedon syöttämisen helpottamiseksi suunniteltuja pohjia (Walkenbach 2007: 682). Esimerkin lomakkeesta näet kuviossa 7. Ensimmäisenä parannuksena poistimme alkuperäisistä lomakkeista turhat arvot, jonka jälkeen lisäsimme HE-kollimaattorin toiminnallisuuksineen. Tämän jälkeen loimme varoitusikkunan, jos jokin kohta jää tyhjäksi ja ohjelmoimme kirjaamisen päivämäärän ilmestyvän lomakkeeseen automaattisesti. Samalla muutimme myös lomakkeiden asettelua käyttäjäystävällisemmäksi. Nopeutimme käyttäjän toimintaa sulkemalla lomakkeen automaattisesti, kun data on tallennettu. Sitten ohjelmoimme vertailutasojen tarkistuksen lomakkeeseen, jotta liian suuria arvoja ei syötettäisi vahingossa. Lisäsimme nappulat COR:ille, ESV:lle, TT-vaimennukselle ja vikalistalle, sekä jaoimme tasaisuustestit kolmeen eri nappulaan yhden klikkauksen säästämiseksi ja koodin yksinkertaistamiseksi.

Tämän jälkeen helpotimme sivulta toiselle liikkumista pikanäppäimillä. Lisäsimme nappulat, jotka siirtävät käyttäjän viimeisimmän mittauksen kohdalle ja takaisin ylös. Jäädysimme ylimmän rivin, jotta ne näkyvät myös selatessa arvoja alaspäin. Lisäsimme välilehtien luettavuutta lisäämällä sivuille raidoituksen, sekä tiivistämällä ja uudelleenmuotoilemalla sarakkeet.

Tämän jälkeen aloimme kehittää kuvaajia ja tilastomuuttujien kokoamista analyysiä varten. Jotta kaikki laadunvalvontatestin kuvaajat ja taulukot saatiin siististi samalle sivulle, teimme kaksi piilossa olevaa välilehteä, joista toiseen kokosimme taulukot ja toiseen laskukaavat. Tämä pitää työkirjan ulkoasun siistinä, eikä käyttäjä voi vahingossakaan tuhota sen toiminnallisuutta. Kuvaajien ja taulukoiden toiminta tarkistettiin satunnaisilla lukuarvoilla, jotka eivät millään tavalla vastaa todellisia mittaustuloksia.

### 5.2.2 Isotooppihoitoyksikön palaute

Ensimmäisessä palautekeskustelussa isotooppihoitoyksikön kanssa he halusivat analyysisivun myös COR-mittauksille, lomakkeen energiaikkunan tarkistukseen ja kissakuvia etusivulle. Muihin ominaisuuksiin he olivat tyytyväisiä.

### 5.2.3 Toinen kehityssykli

Palautteen jälkeen loimme lomakkeet piste- ja viivalähteille, sekä energiaikkunan tarkistukselle. Sitten kehitimme toiminnallisuuden analyysin tuloksien tulostamiseen tekstin käsittelyohjelma Wordiin, jonka jälkeen aloimme kehittämään etusivua ja testien ohjelmallista aikataulutusta. Etusivun kuvat ovat vapaita kaupalliseen käyttöön, eikä niiden kuvaajaan tai lähteeseen tarvitse viitata. Valitsimme etusivulle yksikön toivomien kissakuvien lisäksi myös koirakuvia, erilaisten eläinpreferenssien huomioimiseksi, sekä fyysikoiden ja röntgenhoitajien suorittamien testien erottamiseksi toisistaan. Toteutimme nappuloihin värikoodauksen, sekä seuraavan testin aikataulun. Etusivun toiminnallisuudet ja laskukaavat ovat myös piilotetussa välilehdessä. Kehitimme surullisten ja iloisten eläimien ratkaisun kuvaamaan nopeasti, onko tarvittavat testit tehty aikataulun mukaan.

Tässä kohtaa huomasimme työkirjan muuttuneen mielestämme turhan hitaaksi. Laskeamisen vaihtaminen pois automaattisesta ei nopeuttanut työkirjaa tarpeeksi, joten loimme kevyemmän version, josta karsittiin analyysiosio pois kokonaan. Koitimme siirtää mitaustulokset Excelin omaa import-työkalua käyttämällä, mutta se rikkoi sivujen muotoilun ja automaattisen korjausrajojen testauksen, joten kehitimme oman ratkaisumme VBAta käyttämällä. Ensimmäisessä versiossamme toiminnallisuus oli jaettu kahden nappulan kesken, mutta onnistuimme yhdistämään prosessit, jonka seurauksena datan siirtäminen vaatii vain yhden nappulan painamisen ja hieman kärsivällisyyttä.

Näytimme työkirjan isotooppiyksikölle ja he halusivat päästä testaamaan sitä käytännössä. Annoimme heille käyttöön testidatasta tyhjennetyn version, jolloin huomasimme, että kun taulukot ovat tyhjiä, etusivun nappulat väittävät, että testejä ei ole tehty ja niissä näkyivät ikävät #Value-virheet päivämäärien sijaan. Korjasimme oletusarvoksi testit tehdyksi ja seuraavan testin kokeileminen alkaa vasta ensimmäisen testin tekemisen jälkeen. Lisäsimme loogiset testit virheiden varalta, jotta käyttäjän ei tarvitsisi nähdä niitä.

## 6 Kehittämistyön tuotos

Kehittämämme työkirjat koostuvat 32 välilehdestä, 14 datan syöttämistä nopeuttavasta lomakkeesta ja 90 automaattisesti päivittyvistä kuvaajasta. Työkirjat mahdollistavat myös 65 sivuisen raportin tulostamisen yhtä nappulaa painamalla. Tulostettu raportti



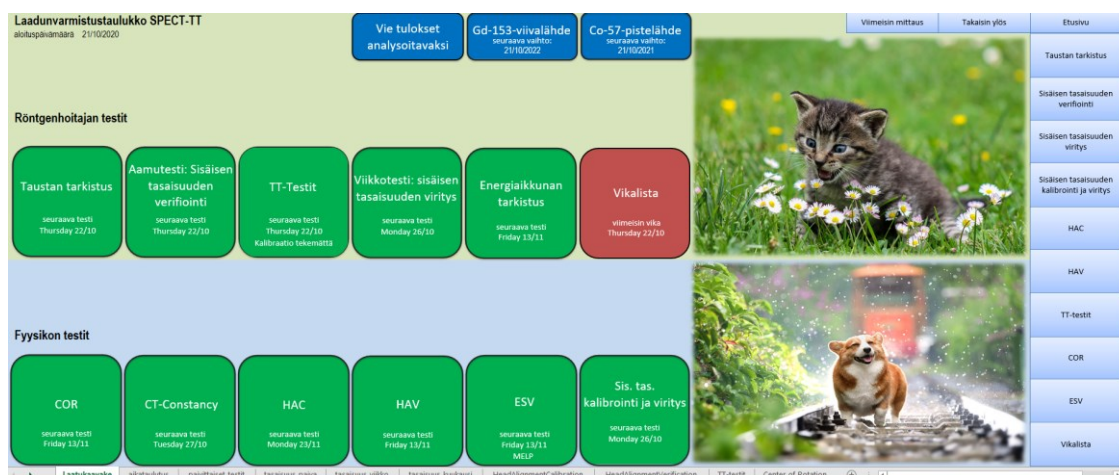
koostuu työkirjan automaattisesti analysoimasta datasta ja niistä muodostetuista kuvajista. Työkirja aikatauluttaa yksikön käytönaikaiset laadunvalvontatestit värikoodatusti ja huomioi vertailutasot reaaliajassa. Lukuisien pikanappuloiden avulla käyttäjä pystyy nopeasti siirtymään sivulta toiselle ja käynnistämään työkirjan toiminnot. Työkirja näyttää laadunvalvontatestien tulokset tiivistetysti tilastomuuttujien, viivadiagrammien, sekä laattikko- ja janakuvioiden avulla.

Etusivulla, joka on havainnollistettu kuvioissa 5 ja 6, on pikanappulat kaikille tarvittaville laadunvalvontatesteille, jaoteltuna röntgenhoitajien ja fyysikoiden suorittamien testien välille. Nappulaa painamalla avautuu lomakkeet, johon voi kirjata testien mittaustulokset. Nappulat on värikoodattu siten, että kun testi on suoritettu ajallaan, se on väriltään vihreä ja kun sitä ei ole vielä suoritettu väri on oranssi. Vikalista pysyy aina punaisena. Nappuloista näkee myös seuraavan testin viikonpäivän ja päivämäärän. ESV-testeissä myös seuraavaan testiin käytettävä kollimaattori on näkyvillä. TT-testeissä nappula näyttää onko TT-kalibraatiota vielä kirjattu tänään, koska TT-testeissä ilmakalibraatio tehdään noin tunti TT-tarkistuksen jälkeen (Siemens 2007: 259). Kun käyttäjä kirjaa TT-kalibraation, sen tekijä lisätään muiden TT-testien tekijän kanssa samalle riville pilkulla erotettuna ja testi merkataan tehdyksi.



Kuvio 5. Etusivu kun testejä on tekemättä

Kun testit on kaikki tehty ajallaan etusivun kissa ja koira vaihtuvat iloisempiin kuviin, vertaa kuviot 5 ja 6. Tämän tarkoituksena on rohkaista yksikköä tekemään testinsä ajallaan ja kirjaamaan mittauksien tulokset.



Kuvio 6. Etusivu, kun testit ovat tehty aikataulun mukaan

Punaisesta nappulasta avautuu vikalista, johon voi kirjoittaa vapaamuotoista kuvailua SPECT-TT:n toiminnassa havaituista virheistä. Siinä on mahdollista kirjoittaa ongelman kuvailu ja ratkaisu ongelmaan samalla kertaa tai myöhemmin täyttämällä "Miten asia ratkaistiin" kohdan ja painamalla "liittyy viimeisimpään vikailmoitukseen" -nappulaa, jolloin ratkaisu menee automaattisesti edellisen vikailmoituksen ratkaisuksi.

Laadunvalvontatesteistä saatujen mittaustuloksien lisäämisen helpottamiseksi työkirjassamme on useita erilaisia VBA-ohjelmointikielellä kirjoitettuja lomakkeita, jotka lisäävät tulokset automaattisesti Excelin oikealle välilehdelle. Esimerkki lomakkeesta näkyy kuviossa 7. Tämä mahdollistaa datan lisäämisen siirtymättä pois ensimmäiseltä sivulta, nopeuttaen prosessia. Päivämäärä on lomakkeissa oletuksena sama kuin tietokoneen mutta se voidaan tarvittaessa muuttaa. Kaikille kollimaattoreille on oma pikanäppäimensä, joka lisää tunnisteen kyseisen mittauksen kohdalle automaattisesti. Kun mittaustuloksen lisää, lomake sulkeutuu automaattisesti. Lomakkeet on suunniteltu jokaiselle käyttäjätestille erikseen, nappula jokaista testiä kohden. Jos vertailutasot ylittyvät, työkirja pyytää varmistamaan datan oikeellisuuden, mahdollisten näppäilyvirheiden estämiseksi, jolloin tallennettu tieto on luotettavampaa. Kaikki mittaustulokset, sekä mittauksen suorittajan nimi tulee lisätä lomakkeeseen, ennen kuin tiedot voi tallentaa. Jos näin ei ole tehty, hälytysikkuna tulee esille.

Head Alignment Verification

Syötä tulokset kuvausohjelman välilehdeltä "Head Alignment Verification".

	DETEKTORI 1	DETEKTORI 2
Center of Rotation	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Axial Shift	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Back Projection Angle	<input type="text"/>	<input type="text"/>
System resolution at 20cm	<input type="text"/>	<input type="text"/>

☐ Huolto      Tekijät:

☒ LEHR  
☐ MELP  
☐ HE

Päivämäärä (pp.kk.vvvv)     

Kuvio 7. Esimerkki lomakkeesta: Head Alignment Verification

Excel-työkirjan välilehdet ovat muotoiltu siten, että joka toinen rivi on eri värillä, jotta rivien seuraaminen olisi helpompaa. Vertailurajojen ylitykset ovat merkitty muusta massasta erottuvalla oranssilla värillä. Samankaltaisten testien sivujen raidoitus on eri värillä, jotta käyttäjä huomaisi todennäköisemmin olevansa väärällä sivulla. Yleisesti ottaen päivätestien teema on vihreä, viikkotestien sininen ja kuukausitestien punainen

Jokaisen sivun oikealla reunalla on pikanäppäimet, jotka liikuttavat käyttäjän nopeasti haluttuun paikkaan. Viimeisin mittaus vie käyttäjän välilehden viimeisen mittauksen kohdalle ja takaisin ylös vie käyttäjän välilehden ensimmäisen mittauksen kohdalle. Ylimmät näppäimet liikkuvat sivun mukana, jotta mittauksia tarkasteltuaan käyttäjä pääsee liikkumaan nopeasti eteen päin. Nappuloiden paikka riippuu käytettävän monitorin resoluutiosta ja työkirjamme on muotoiltu yleisen 1920x1080 resoluution mukaisesti. 70% suurennosta käytettäessä nappulat asettuvat näytön oikean reunan myötäisesti.

Työkirjan etusivulla näkyy vaihtopäivämäärät SPECT-TT laitteessa käytettäville viiva- ja pistelähteille. Isotooppihoitoyksikön mukaan Gd-153 tulee vaihtaa kahden vuoden välein ja Co-57 vuoden välein. Nappulaa painamalla voi asettaa lähteen vaihtopäivämäärän ja työkirja laskee automaattisesti, milloin säteilijä tulee seuraavan kerran vaihtaa.

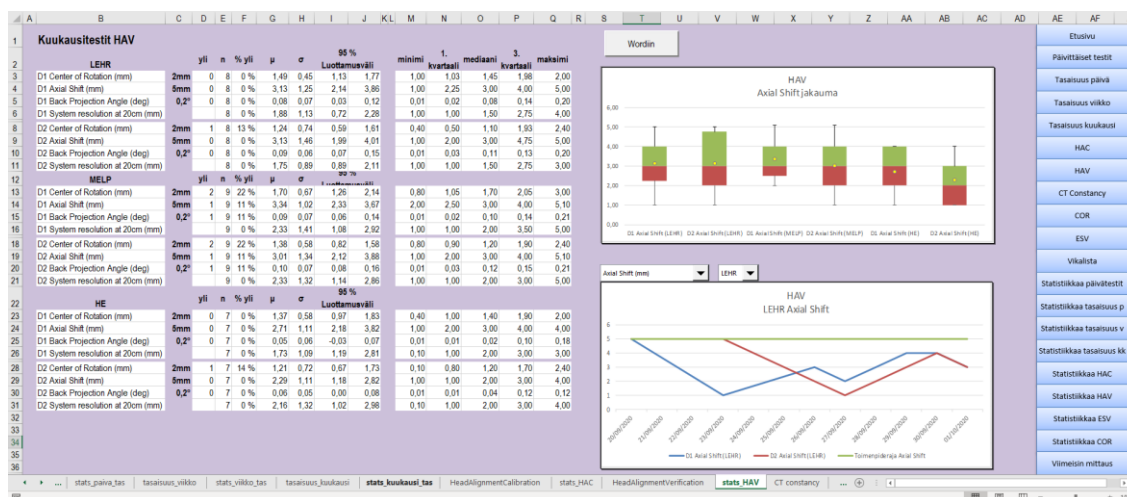
Rakensimme kaksi rinnakkaista Excel-työkirjaa. Tähän ratkaisuun päädyimme sen takia, että työkirjan monimutkaisuus teki sen päivittämisestä turhan hidasta. Excelillä tapahtuva optimointi ei tehnyt toiminnasta kovin paljon nopeampaa. Yhden testin tietojen tallentamiseen kului tietokoneesta riippuen noin 8-20 sekuntia. Kevennetyssä versiossamme tähän kuluu noin 2 sekuntia. Kerätyt mittaustulokset siirretään etusivun "Vie tulokset analysoitavaksi" -nappulan avulla työkirjamme raskaampaan versioon, jossa itse datan analysointi tapahtuu.

## 6.1 Tilastollinen analyysi

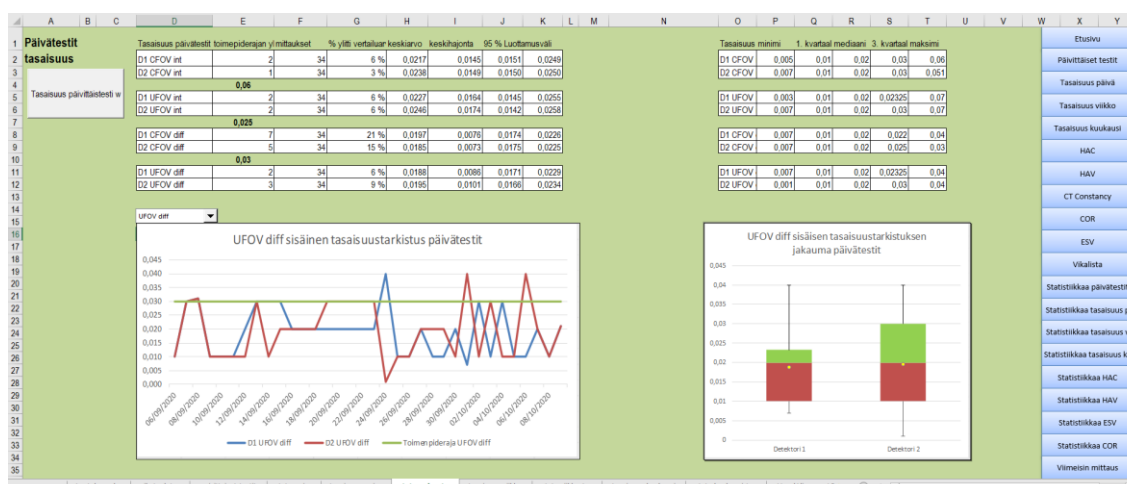
Excel-työkirjan analyysiversio tiivistää laadunvalvonnan aikana kerättyä dataa koontisivuille, josta näkee taulukoituja tilastomuuttujia, sekä kuvaajia. Koontisivut on muotoiltu kahdella eri tyylillä, sillä vain osassa testeistä käytetään kollimaattoria. TT-testien jälkeen tietokone ilmoittaa vain onko mittausta vertailurajojen sisällä vai ei, joten niille ei ole erillistä koontisivua. Esimerkit erilaisista analyysisivuista näkyvät kuvioissa 8 ja 9. Muiden testien analyysisivut ovat muotoiltu samalla tyylillä, mutta sivujen erottamiseksi toisistaan, ne ovat väriykseltään erilaiset.

Käytönaikaisista laadunvalvontatesteistä työkirjassa on oma sivunsa taustan tarkistukselle, sisäisen tasaisuuden verifiointille, sisäisen tasaisuuden viritykselle, sisäisen tasaisuuden kalibroinnille ja viritykselle, pyörähdyskeskipisteelle, pään kohdistuksen varmistukselle (HAV), pään kohdistuksen kalibroinnille (HAC) ja ulkoiselle pyyhkäisy tarkistukselle (ESV).

Mittaukset on jaettu jokaisen testin ja kollimaattorin mukaan ja niistä on piirretty viivadiagrammit, joissa vertailutaso näkyy vihreällä. Sivuilla olevia kuvaajia pystyy muuttamaan vetovalikon avulla, josta voi valita näytettäväksi haluamansa mittaussparametrin ja kollimaattorin. Tämän avulla jokaisen laadunvalvontatestin kaikki kuvaajat ovat samalla sivulla. Yksikön tavoitteena on tarkastella tuloksia kerran vuodessa.



Kuvio 8. Esimerkki tilastollisen analyysin sivusta: Pyörähdyskeskipiste (COR)



Kuvio 9. Esimerkki tilastollisen analyysin sivusta: Sisäisen tasaisuuden verifiointi

Tilastomuuttujat on aseteltu sivun taulukoihin. Niistä näkyvät vertailuarvon ylitykset, otoskoko, keskiarvo, keskihajonta, 95% luottamusväli, sekä minimi alakvartaali, mediaani, yläkvartaali ja maksimi.

Valitsimme keskiluvuiksi aritmeettisen keskiarvon ja mediaanin. Keskiarvo kuvaa parhaiten tyypillisintä mittaustulosta homogeenisesta aineistosta. Jos mittaustulokset poikkeavat toisistaan huomattavasti mediaanin tarkastelu antaa paremman kuvan jakauman keskimääräisestä mittaustuloksesta. Keskihajonta on luonteva valinta hajontaluvuksi, kun keskilukuna on aritmeettinen keskiarvo. (Mellin 2006: 30, 36.)

Mittaustuloksien jakaumaa havainnollitimme box and whiskers, eli boxplot, eli laatikko- ja janakuviolla. Kokosimme myös kuvaajissa näkyvät tunnusluvut omaan taulukkoonsa.

Laatikko- ja janakuvion muodostavat minimi, alakvartiili, mediaani, yläkvartiili ja maksimi, jotka jakavat tilastoaineiston neljään alueeseen, jotka kaikki kattavat 25% mittaustuloksista. Näiden muotoa tarkastelemalla voidaan tehdä johtopäätöksiä mittaustulosten jakauman sijainnista, sekä hajonnasta. (Mellin 2006: 45-46.) Koska keskiarvon ja mediaanin välinen ero kuvaa jakauman vinoutta, lisäsimme kuvaajaan myös keskiarvon, jolloin jakauman mahdollinen vinous tulee selville myös tältä osin visuaalisesti (Mellin 2006: 43-44).

Koska laadunvalvontatestien tarkoituksena on osoittaa järjestelmän suorituskkyjen muutokset mahdollisimman hyvin, on järkevää tarkastella arvoja ajan funktiona (STUK 2010: 8). Sopivin kuvaajatyyppe tähän on viivadiagrammi (Mellin 2006). Viivadiagrammeista näkee molempien detektorien saamat arvot, sekä vertailutasot.

Taulukoissa näkyy myös havaintoyksiköiden lukumäärä, vertailutason yritysten määrä ja näistä laskettu todennäköisyys vertailutason ylittävälle mittaustulokselle. Otoskoko on tärkeä muuttuja, tulosten luotettavuutta tarkasteltaessa ja sen tulisi olla riittävän suuri, ennen johtopäätösten tekemistä. Vertailutason ylityksiin tulee kuitenkin reagoida välittömästi (STUK 2010: 13).

## 6.2 Tuloksien tulostaminen

Työkirjan jokaiselta kokoamissivulta löytyy nappula, joka tulostaa välilehden taulukot ja kuvaajat Wordiin. Koska kaikkia taulukoita ja kuvaajia voi tarkastella dokumenttia selaaamalla, datan tarkastelu on täten nopeampaa, kuin Excelin nappuloita painamalla. Datan jatkoystöistäminen raporttia varten on myös tämän avulla oletettavasti helpompaa. Pienempi tiedostokoko helpottaa tilastotiedon tallentamista ja siirtämistä.

## 7 Pohdinta

### 7.1 Tuotoksen tarkastelu

Ajoitettujen laadunvarmistustestien suorittaminen uuden työkirjan avulla on helpompaa verrattuna yksikön aikaisempaan ratkaisuun ja tulosten syöttö vaatii vähemmän toimintoja käyttäjältä eikä rankaise syöttövirheistä yhtä raskaasti. Datan analysointi tapahtuu

monipuolisemmin ja käyttäjäystävällisemmin. Laitevalmistajien olisi hyvä selvittää oppaissaan mihin standardien suosittelemiin testeihin laitteen omat laadunvalvontatestit viittaavat ja tallentaa ohjeensa PDF-muotoon tiedonhaun helpottamiseksi. Kaikki oppaat eivät kerro suoraan mitkä testit laite suorittaa automaattisesti ja mitä kaikkia ominaisuuksia laitteen omat testit tarkastavatkaan.

Opinnäytetyöprosessin aikainen COVID-19 pandemia on vaikeuttanut työryhmän sisäistä ja yksikön välistä yhteistyötä. World Health Organization eli WHO julisti alkuvuodesta 2020 koronaviruksen pandemiaksi. Sitä seuranneet hallituksen asettamat rajoitukset ja yksikön vierailuja koskevat säädökset vähensivät vierailujen määrää yksikössä, sekä muuttivat ryhmätyöskentelystrategiaa etätyöskentelypainotteisemmaksi. Pandemian tilanne Suomessa ja siitä aiheutuneet prioriteettien muutokset sekä epävarmuus olivat osaltaan hankaloittamassa projektin kulkua. Yksiköltä kerättävä palaute on yksi ryhmän ohjelmistokehityssuunnitelman tärkeimpiä osia ja sen vaikeutuessa työtämme oli vaikeampi kohdistaa vastaamaan kohderyhmämme kaikkia toiveita. Tästä huolimatta keräsimme palautetta työstä kolme kertaa.

## 7.2 Tuotoksen hyödyntäminen

Annoimme tuotoksemme isotooppihoitoyksikön käyttöön heidän pyynnöstään 20.10.2020. Ensivaikutelma valmista lopputulosta kohtaan oli innokasta, varsinkin etusivun muuttuvat kissa- ja koirakuvat saivat kehuja. Käytön aikana havaittiin ohjelmointivirhe päivämääriä syöttäessä, joka korjattiin välittömästi. Yksikkö kirjasi tulokset prosentteina numeroarvon sijaan, joten muokkasimme korjausrajat vastaamaan heidän tarpeitaan.

Kehittämäämme Excel-työkirjaa voisi käyttää hieman muunneltuna myös muiden SPECT- ja SPECT-TT-laitteiden laadunvalvontaan. Käyttämillämme metodeilla Excel-työkirjoja voisi kehittää muidenkin röntgenlaitteiden laadunvalvontaa varten.

## 7.3 Kehittämisehdotukset

Työkirjan sisällä on vielä jonkin verran vanhentuneita makroja, lomakkeita, sekä VBA-koodia, jotka voisi käydä läpi ja poistaa. Muutamat kovakoodatut viittaukset voisi korvata suhteellisilla viittauksilla ja monia työkirjan toiminnallisuuksia voisi optimoida tehokkaammiksi. Työkirjan mahdollisen kehitystyön helpottamiseksi koodia olisi voinut kommentoida enemmän ja nimeämiskäytäntöjä johdonmukaistaa kautta linjan.



Laadunvalvontamittauksien aikataulut on tässä versioissa sidottu isotooppiyksikön oman aikataulutuksen mukaan. Sen kehittäminen vapaasti muunneltavaksi olisi hyödyllinen ominaisuus, jos kiinnostusta työkirjan käyttämiselle löytyy muistakin SPECT-TT-laitteiden käyttöorganisaatioista.

Työkirjan analyysiosuuden käytännön tason testaaminen ei ollut mahdollista opinnäytetyön toteutuksen aikana, sillä mittauksien kerääminen työkirjaan vie viikko- ja kuukausitietien kohdalla pitkän aikaa. Olemme kuitenkin sopineet tekevämme yhteistyötä isotooppiyksikön kanssa, kun on aika käydä mittaustulokset läpi ja analysoida data.

#### 7.4 Eettisyys ja luotettavuus

Työ ei käsittele potilastietoja tai muuta salassa pidettävää materiaalia. Kanssamme yhteistyötä tekevän yksikön tiedot eivät tule työssä esille. Hyvää tieteellistä käytäntöä on noudatettu, muiden tutkimuksiin on viitattu asianmukaisesti. Kuvien kanssa on noudatettu hyvää taiteellista käytäntöä tekijänoikeuksia noudattamalla. Tuotoksen koodi on meidän luomaamme. Alkuperäisiä tulostenkeräyslomakkeita on käytetty visuaalisena ja toiminnallisena pohjana uusille lomakkeille, mutta niihin on tehty suuria muutoksia käytännöllisyyden ja toiminallisuuden parantamiseksi.

Viranomaiset laativat standardeja ja ohjeita, jotka antavat luotettavaa tietoa laadunvalvontatoimista. Standardit ja ohjeet tarjoavat kuitenkin testeille monia eri tekniikoita ja suoritusvälejä, mikä tekee laadunvalvontatestien kokonaisuuden hahmottamisesta haastavaa. Tietopohjaa rakennettaessa aineistoa löytyi paljon ja käytimme lähteistämme vain luotettavimmat.

#### 7.5 Ammatillinen kasvu

Opinnäytetyön teon aikana on tullut tutustuttua laadunhallintaan tavallista röntgenhoitajan koulutusta syvemmin. Tietomme SPECT-TT-laitteesta ja sen toiminnasta ovat kasvaneet huomattavasti. Kerättyjä tuloksia analysoidessa olemme päivittäneet tilastomatematiikan taitojamme. Kansainvälisiin standardeihin ja tutkimuksiin perehtyminen on kasvattanut englanninkielitaitojamme, kehittänyt tieteellisen tekstin lukutaitojamme, sekä antanut meille tietoa röntgenhoitajan tehtävistä ulkomailla. Meille on kertynyt laaja teoreettinen osaaminen SPECT-TT-laitteiden laadunvalvontatesteistä.



Teimme opinnäytetyötä varten huomattavan paljon ylimääräistä tutkimustyötä, jotka rajojasimme lopullisen tuotoksen ulkopuolelle: edellisen versiomme pituus oli 54 sivua. Työn aikaisempi rajaaminen, tarkempi suunnittelu ja aktiivisempi kommunikaatio olisivat tehneet työskentelystämme tehokkaampaa. Saamamme opetukset ovat erittäin arvokkaita tulevaisuuden työtehtäviä ja projekteja ajatellen.

Yhteistyötaitojamme olemme kehittäneet työryhmämme sisäisen toiminnan lisäksi myös moniammatillisesti työyhteisön kanssa. Ohjelman kehitystyö syvensi Excel osaamistamme valtavasti. Nykyään osaamme myös suunnitella ja toteuttaa ohjelmistokehitysprojehtin, tiedämme kehitystyön vaiheet paremmin ja osaamme toteutuksessamme soveltaa hyviä ohjelmointikäytäntöjä.

## Lähteet

Agile Practice Guide 2017. Practice Guide. Project Management Institute 2017.

Aurigemma, S – Panko, R. 2010. The Detection of Human Spreadsheet Errors by Humans versus Inspection (Auditing) Software. University of Hawaii. Verkkodokumentti. Päivitetty 9.2010. Luettu 6.11.2020.

Barrett, J – Keat, N 2004. Artifacts in CT: Recognition and Avoidance. RadioGraphics 24 (6). 1679-1691.

Cherry, S – Soreson, J – Phelps, M 2012. Physics in Nuclear Medicine 4th Edition. Philadelphia: Saunders.

EANM 2010. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging 2010 (37). 662-671.

EANM 2017. Quality control of nuclear medicine instrumentation and protocol standardisation. EANM technologists guide. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10/2017. <<https://www.eanm.org/publications/technologists-guide/qualitycontrol/>>. Luettu 24.10.2019.

Ely, J – Dawson, J – Lemke, J – Rosenberg, J 1997. An Introduction to Time-Trend Analysis. Infection control and hospital epidemiology: the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America 18:267-274.

Grapham, Stephen. 1995. The effect of point source configuration on MHR/COR calibration. Radiographics 1995;15:1471.

IAEA 2009. Quality Assurance for SPECT Systems, Human Health Series No. 6. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Isaacson, W 2011. Steve Jobs. Helsinki: Otava.

Kim, Sangroh – Song, Haijun – Samei, Ehsan – Yin, Fang-Fang – Yoshizumi, Terry. Computed tomography dose index and dose length product for cone-beam CT: Monte Carlo simulations. J Appl Clin Med Phys. 2011 Jan 19;12(2):3395.

Knuuti, J – Kajander, S 2017. Isotooppitutkimukset, molekyyli- ja fuusiokuvantaminen. Verkkojulkaisu. Duodecim. <<https://www.oppiportti.fi/op/krd01301/do>>. Luettu 17.10.2019.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa O. Pukkila (toim.) Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus 3. Helsinki. STUK.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010. Annettu Naantalissa 24.6.2010.

Ljungberg – Pretorius. 1991. SPECT/CT: an update on technological developments and clinical applications. Br J Radiol. 2018 Jan; 91(1081): 20160402.

NEMA Standards Publication NU 1-2018. Performance Measurements of Positron Emission Tomographs. Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association; 2007. (www.nema.org).

Patton, J – Turkington, T 2008. SPECT/CT Physical Principles and Attenuation Correction. Journal of Nuclear Medicine Technology 36 (1).

Peterson, T – Furenlid, L 2012. SPECT detectors: the Anger Camera and beyond. Physics in Medicine & Biology 56 (17).

Säteilylaki 859/2018. Annettu Helsingissä 9.11.2018.

Siemens. 2007. Käyttöohjeet Symbia-järjestelmä T6 / T2 / T-sarja. Päivitetty 1.10.2007.

STUK 2004a. Röntgentutkimuksesta potilaalle aiheutuvan säteilyaltistuksen määrittäminen. Tiedote. Päivitetty 1/2004. <<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125145/rontgensateily.pdf?sequence=1>> Luettu 6.11.2020.

STUK 2004b. Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK 2008. Terveydenhuollon röntgenlaitteiden laadunvalvontaopas. Tiedote. Päivitetty 2/2008. <<https://www.stuk.fi/documents/12547/718600/STUK-tiedottaa-2-2008.pdf/eff89f1a-38cb-4c98-811b-65191f601c0b>>. Luettu 24.10.2019.

STUK 2010. Isotooppitutkimuslaitteiden laadunvalvontaopas. Tiedote. Päivitetty 1/2010. <<https://www.stuk.fi/documents/12547/718600/STUK-tiedottaa1-2010-isotooppitutk-laitteet.pdf/004ccf88-95ae-4eea-981d-7cf3f439a431>>. Luettu 24.10.2019.

STUK 2016. Isotooppilääketieteen TT-opas. Opas. Päivitetty 11/2016. <<http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131345/STUK-opastaa-TT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 24.10.2019.

STUK 2018. Laadunvarmistus terveydenhuollon säteilyn käytössä. Verkkojulkaisu. Päivitetty 18.12.2018. <<https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/sateilytoiminnan-turvallisuus/sateilylaitteet-ja-laadunvalvonta/laadunvarmistus-terveydenhuollon-sateilyn-kaytossa>>. Luettu 22.10.2019.

Thimbleby, H – Cairns, P 2010. Reducing number entry errors: solving a widespread, serious problem. Journal of the Royal Society Interface 7(51):1429-1439.

Walkenbach, J 2007. Excel 2007 Bible. Indianapolis: Wiley Publishing