



Salla Sohlo

SÄTEILYN AKTIIVISUUDEN MITTAUS RADIOJODIHOIDOSSA

¹³¹I-annosmittauslaitteiston kehitystyö

SÄTEILYN AKTIIVISUUDEN MITTAUS RADIOJODIHOIDOSSA

¹³¹I-annosmittauslaitteiston kehitystyö

Salla Sohlo

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma

Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Tekijä: Salla Sohlo

Opinnäytetyön nimi: Säteilyn aktiivisuuden mittaaminen radiojodihoitoon - ^{131}I -annosmittauslaitteiston kehitystyö

Työn ohjaajat: Anneli Holmström, Aino-Liisa Jussila ja Jukka Jauhiainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 63 + 4 liitesivua

Suomessa todetaan keskimäärin 360 uutta kilpirauhassyöpään sairastumista vuodessa. Heistä osa saa radioaktiivisella ^{131}I -isotoopilla toteutettavaa radiojodihoitoa. Hoitona käytetään radiojodihoidon lisäksi leikkausta, sytostaatteja ja ulkoista sädehoitoa. Radiojodihoito on sisäistä sädehoitoa, jolloin potilaasta tulee käytännössä säteilynlähde. Tämän sisäisen säteilyn takia potilas on eristyksessä, kunnes säteilyannos on pienentynyt riittävästi. Säteilyannosta seurataan asianmukaisin mittauksin. ^{131}I -isotooppi lähettää gamma- ja beetasäteilyä, joista mittaustekninen on gammasäteily läpikulkevuutensa takia.

Tämän opinnäytetyön toiminnallisena tavoitteena pitkällä aikavälillä oli parantaa radiojodihoidon säteilyturvallisuutta sekä antaa potilaalle ja henkilökunnalle tietoa hoidosta. Välittömänä tavoitteena oli ottaa käyttöön uusi mittauslaitteisto radiojodihoitoa saavan potilaan aktiivisuusmittauksissa. Tulostavoitteena oli tuottaa käyttöönottokoulutus ja pikakäyttöoppaat RKG-AT1320A-tuotekideilmaisimelle sekä MATLAB-ohjelman prototyyppi aktiivisuuden laskemiseen Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön henkilökunnalle. Opinnäytetyö oli tuotekehitysprojekti.

Projektin tuloksiksi saatiin kaksi pikakäyttöopasta sähköisenä ja laminoituna, kaksi koulutustapahutua RKG-AT1320A-laitteistolle sekä toimiva MATLAB-ohjelman prototyyppi. Jokainen tuote suunniteltiin ja kehitettiin erillisinä osina, mutta niissä kaikissa pystyttiin hyödyntämään samaa taustatutkimusta. Tuotetut pikakäyttöoppaat ja ohjelma testattiin suunnitelmien mukaan. Käyttöönottokoulutuksen laatua arvioitiin ohjeiden, teorian tiedon, palautteen sekä tarkastusten avulla.

Jatkokehityshaaste projektille voi olla MATLAB-ohjelman prototyypin kehittäminen valmiiksi tuotteeksi siten, että valmiilla ohjelmalla voi laskea aktiivisuuden valitusta spektristä. Pikakäyttöoppaaita tulee päivittää tarpeen mukaan, ja RKG-AT1320A-laitteistolle tulee järjestää tarvittaessa käytön lisäkoulutusta. Laitteistolle voi tehdä myös erilaisia mittaustestejä, jolloin sen käytöstä saadaan lisätietoa.

Asiasanat: radiojodihoito, annosmittaus, käyttöopas, käyttöönottokoulutus, kilpirauhassyöpä, ohjelmistokehitys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Medical Engineering
Degree Programme in Radiography and Radiation Therapy

Author: Salla Sohlo

Title of thesis: Radiation Activity Measurement in Radioiodine Treatment – Development of ^{131}I -measuring equipment

Supervisors: Anneli Holmström, Aino-Liisa Jussila and Jukka Jauhiainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012

Number of pages: 63 + 4 appendices

In Finland approximately 360 people get thyroid cancer per year. Some of these patients get radioiodine therapy, which is executed by radioactive ^{131}I isotope. Besides of radioiodine therapy, patients can be treated with chemotherapy, surgery or external radiation therapy. Radioiodine therapy is internal radiation therapy in which a patient becomes a radiation source. Because of this radiation, the patient is isolated until the radiation dose is low enough. The radiation dose is measured with an appropriate method. ^{131}I isotope emits both gamma and beta radiation but only the gamma radiation is measured because it is more penetrating.

The aim of this product development project was to produce education sessions and user guides of RKG-AT1320A gamma-radiometer and MATLAB software to calculate radiation activity. The purpose was to improve long-term radiation safety and give patients and personnel more information about the treatment. Products were developed for Department of Radiation Therapy of Oulu University Hospital.

The results of this project were two user guides and two education sessions for RKG-AT1320A gamma-radiometer and MATLAB software prototype. Each product was designed and developed separately. However, the same background research was utilized for all of them. The user guides and software were tested to ensure the quality of the products. The quality of education sessions were evaluated according to guidelines, theory knowledge, feedback and inspection.

Products were developed for the Department of Radiation Therapy of Oulu University Hospital. For a further development challenge I suggest MATLAB software development so that activity can be computed from a chosen spectrum. The user guides can be updated when necessary and further education of the use of RKG-AT1320A gamma-radiometer can be organized. Various test measurements can be performed for gamma-radiometer to acquire more information on its use.

Keywords: radioiodine therapy, thyroid cancer, dose measurement, user guide, software development, education session

SISÄLLYS

| | |
|---|-----------|
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TOTEUTUS..... | 8 |
| 2.1 Projektin vaiheet ja tavoitteet | 8 |
| 2.2 Projektioorganisaatio | 9 |
| 3 KILPIRAUHASSYÖVÄN RADIOJODIHOITO | 11 |
| 3.1 Syöpä kilpirauhasessa | 11 |
| 3.2 Radiojodihoito ¹³¹ I-isotoopilla..... | 12 |
| 4 ¹³¹I-ANNOSMITTAUKSEN SÄTEILYTURVALLISUUS..... | 16 |
| 4.1 Gamma- ja beetasäteily | 16 |
| 4.2 Säteilyn mittaaminen..... | 19 |
| 4.3 Säteilyturvallisuus radiojodihoidossa | 20 |
| 4.4 Säteilyeristyspotilaan ¹³¹ I-annosmittaus..... | 23 |
| 5 TUOTTEIDEN KEHITYSTYÖ JA SUUNNITTELU | 25 |
| 5.1 Jodimonitori RKG-AT1320A..... | 25 |
| 5.2 Mittauslaitteiston käytön testaus..... | 27 |
| 5.2.1 Testimittaukset laitteiston käytön opettelussa | 27 |
| 5.2.2 Testimittaukset säteilylähteillä | 28 |
| 5.2.3 Kilpirauhasmittaukset potilailla | 34 |
| 5.3 Tuotteiden laatu | 36 |
| 5.4 Pikakäyttöoppaiden tuottaminen | 37 |
| 5.5 Laitteiston käyttöönottokoulutuksen suunnittelu ja toteutus | 39 |
| 5.6 Ohjelman kehitystyö..... | 40 |
| 6 PROJEKTIN JA TULOSTEN ARVIOINTI..... | 48 |
| 6.1 Tuotteiden arviointi..... | 48 |
| 6.2 Projektin arviointi | 54 |
| 7 POHDINTA..... | 56 |
| LÄHTEET | 58 |
| LIITTEET | 64 |

1 JOHDANTO

Kilpirauhassyövän radiojodihoidossa käytettävä ^{131}I (jodi-131) tuottaa radioaktiivista säteilyä, jonka suuruutta seurataan annosmittauksilla. Tämän radioaktiivisen säteilyn takia hoitoa saava potilas on tietyn ajan yksin eristyksissä lyijyllä suojatussa säteilyeristys huoneessa, sillä potilas on käytännössä säteilyn lähde. Henkilökunnan ja vieraiden käyntiä eristys huoneessa rajoitetaan. Säteilyn annosmittaukset tekevä henkilö voi käydä huoneessa tekemässä mittaukset. Radioaktiivinen ^{131}I puoliintuu noin 8 päivässä ja vapaana oleva jodi poistuu elimistöstä yleensä 4–5 päivässä. Potilas kotiutuu yleensä parin päivän kuluttua hoidon saamisesta, jolloin säteilyannos on pienentynyt asetettujen annosrajoitusten alapuolelle. (International Atomic Energy Agency 2009, 130, 133–134, 136, 140–141, 143.)

Kilpirauhassyöpää on hoidettu radioaktiivisella jodilla maailmalla jo yli 50 vuoden ajan. ^{131}I -isotoopilla hoidettujen potilaiden paranemisesta raportoi Sam Seidlin vuonna 1946 (Korpela 2004, 222). Radiojodi on kohtalaisen halpa ja hyvin siedetty aine. Radioaktiivisen säteilyn takia säteilyturvallisuus tulee huomioida radiojodihoidon toteutuksessa. Turvallisuutta edistetään parhaiten käyttämällä mahdollisimman pieniä hoitoannoksia ALARA (as low as reasonably achievable) -periaatteen mukaisesti. Jodin isotooppeja tiedetään olevan 36 erilaista, joista vain yksi on stabiili. (Al-Shakhray 2008, 905; Mattsson, Johansson, Jönsson & Nosslin 2006, 1032.)

Kilpirauhassyövän radiojodihoidot aloitettiin Suomessa samoihin aikoihin kuin muualla maailmalla, ja sitä käytetään myös kilpirauhasen liikatoiminnan hoitoon. ^{131}I -isotoopilla tehtäviä radiojodihoidoja annetaan maassamme satoja vuodessa. Hoitoja annetaan keskussairaaloissa ja yliopistollisissa sairaaloissa ympäri Suomen. Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikössä hoitoja tehdään noin 50 vuodessa ja hoito voidaan uusina samalle potilaalle useampia kertoja hänen elämänsä aikana. Leikkaus- ja radiojodihoidon yhdistäminen on suurelle osalle potilaista parantava hoito, jolloin elinaika ei lyhene taudin seurauksena. (Pelttari, Mäenpää & Välimäki 2007, 2100; Heikkilä 5.5.2011, haastattelu; Öster 2006, 8.) Kilpirauhasen syöpä on naisilla yli kolme kertaa yleisempi kuin miehillä. Vuonna 2009 uusia kilpirauhassyöpiä todettiin Suomessa naisilla 296. (Pukkala, Sankila & Rautalahti 2011, 29, 37.) Miehillä kilpirauhassyöpää todettiin vuosina 2005–2009 keskimäärin 85 uutta tapaus vuodessa (Suomen syöpärekisteri, hakupäivä 2.3.2012).

Radioaktiivinen jodi muodostaa sekä gamma- että beetasäteilyä. Hoidossa pääasiallinen teho perustuu beetasäteilyyn, sillä gammasäteilyn energiasta vain pieni osa vaikuttaa kilpirauhaskudokseen. Beetapartikkelit tuhoavat kilpirauhaskudosta paikallisesti. Säteilyä voidaan havaita ja mitata erilaisilla ilmaisimilla. Säteilyn ilmaiseminen perustuu ilmaisinaineessa syntyviin muutoksiin, jotka voidaan havaita. Ilmaisimen valintaan vaikuttaa säteilyn laji ja energia sekä se, mitä suuretta halutaan mitata. (Sudbrock, Uhrhan, Rimpler & Schicha 2011, 1303; Peterson 2006, 35.)

Tämän opinnäytetyön tulostavoitteena on tuottaa käyttöönottokoulutus ja pikakäyttöoppaat jodimonitorille RKG-AT1320A sekä kehittää MATLAB-ohjelmiston prototyyppi. Idea laitteiston kehitystyöstä tuli Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön fyysikolta Vesa-Pekka Heikkilältä. Työn tilaajana toimii Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikkö. Projektissa valmistettavien tuotteiden tavoitteena on parantaa radiojodihoitoa saavan potilaan ja hoitohenkilökunnan säteilyturvallisuutta. Lisäksi potilas ja henkilökunta saavat tietoa hoidosta uuden mittauslaitteiston avulla. Projektin ansiosta potilas voi mahdollisesti tulevaisuudessa tehdä annosmittaukset itse, jolloin henkilökunnan säteilyaltistus vähenee. Projektin jatkokehityshaasteena on ohjelman kehitys eteenpäin. Myös tarvittavaa lisäkoulutusta laitteiston käyttöön voi järjestää ja pikakäyttöoppaita päivittää.

Tässä opinnäytetyön projektissa käsitellään Atomtixin liikuteltavaa RKG-AT1320A-gammaspektrometriä. Kyseinen jodimonitori on Säteilyturvakeskuksen (STUK) hankkima ja sen käyttötarkoituksena ovat kilpirauhasmittaukset esimerkiksi säteilyn suuronnettomuustilanteissa. Jodimonitoreja on jaettu ympäri Suomen keskussairaaloihin ja yliopistollisiin sairaaloihin. Tässä projektissa selvitetään mittauslaitteiston muita käyttötarkoituksia Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikössä. Mittauslaitteistoa testataan radiojodihoitoa saavien potilaiden säteilyannoksen määrittämiseen. Projektissa pyritään saamaan MATLABiin dataa mittauslaitteistolta sekä suunnittelemaan ohjelman prototyyppi, joka laskee mitatusta datasta aktiivisuuden tietyllä spektrin energiavälillä.

2 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TOTEUTUS

Tuotekehitysprojektin vaiheet ovat projektin käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (Jokinen 1993, 16). Tässä projektissa suunniteltiin, testattiin ja tuotettiin tilatut tuotteet sekä tehtiin dokumentointia. Projektin osapuolina olivat Oulun seudun ammattikorkeakoulun insinööri- ja röntgenhoitajaopiskelija Salla Sohlo, ohjaavat opettajat Jukka Jauhiainen, Aino-Liisa Jussila, Anneli Holmström sekä tilaaja Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikkö. Projektista tehtiin yksi yhteinen opinnäytetyön loppuraportti Tekniikan yksikköön ja Sosiaali- ja terveysalan yksikköön.

2.1 Projektin vaiheet ja tavoitteet

Tämän tuotekehitysprojektin tulostavoitteena oli tuottaa käyttöönottokoulutus ja pikakäyttöoppaat jodimonitori RKG-AT1320A-tuotteen osalta Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikköön. Pikakäyttöoppaita tehtiin kaksi erillistä tuotetta radiojodimittauksia suorittavan henkilökunnan käyttöön. Jodimonitorille on valmiit käyttöohjeet, jotka muokattiin selkeään, ymmärrettävään ja nopeasti käytettävään muotoon. Lisäksi projektissa tehtiin MATLAB-ohjelmistokehitystä jodimonitorille.

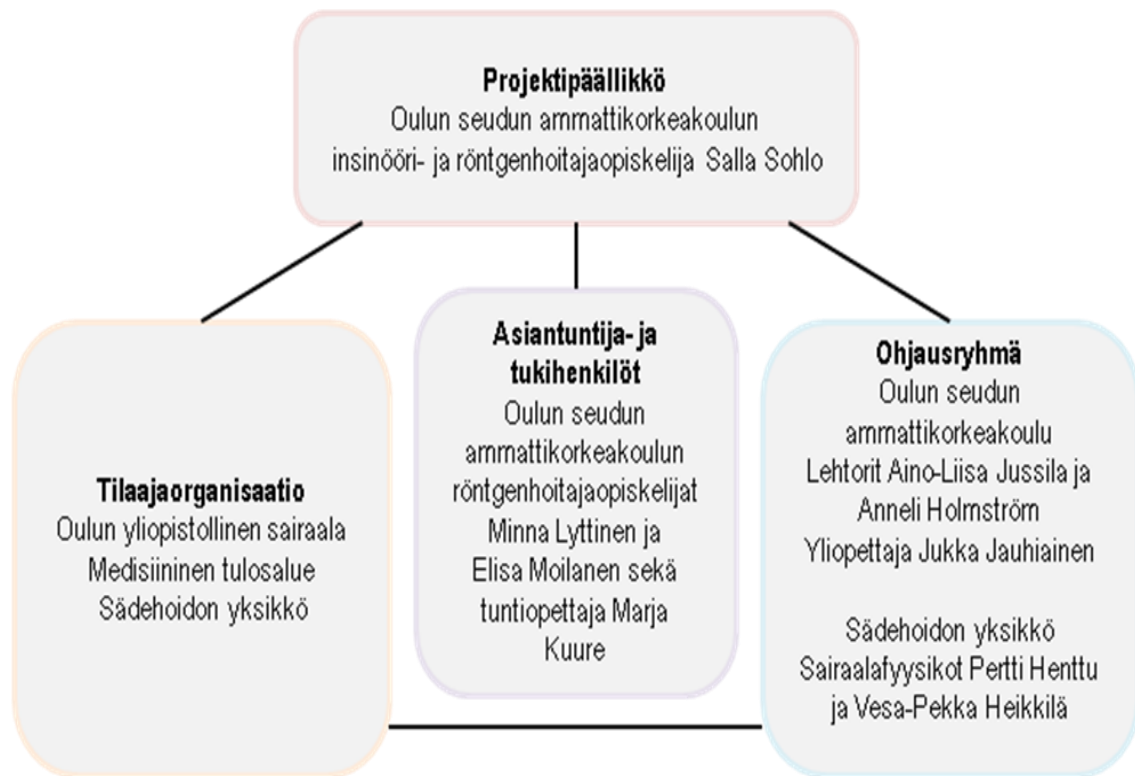
Toiminnallisena tavoitteena oli parantaa radiojodihoidon säteilyturvallisuutta pitkällä aikavälillä ja antaa potilaalle tietoa hänen hoidostaan. Välittömänä tavoitteena oli ottaa käyttöön uusi annosmittauslaitteisto. Mittauslaitteiston käyttöönotto mahdollistaa radiojodin annosmittausten luotettavan suorittamisen ja sen avulla potilaan on mahdollista suorittaa mittaus tulevaisuudessa myös itse, jolloin henkilökunta säästyy säteilystä. Omat oppimistavoitteet projektille olivat projektityöskentelyn ja tuotekehitysprojektin toteuttamisen oppiminen teoriassa ja käytännössä, isotooppihoitoon perehtyminen sekä mittauslaitteiston käytön hallinta. Tärkeimpänä oppimistavoitteena pidän ammattiini kasvua sekä molempien tulevien ammattieni yhdistämistä.

Projektin ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin projektiorganisaatio ja tarkat tavoitteet. Seuraavaksi laadittiin yhteistyösopimukset projektin osapuolten välille, määriteltiin tekijänoikeudet sekä annottiin tutkimuslupa. Sopimusvaiheen jälkeen tehtiin taustatutkimusta, tutustuttiin aiheeseen ja aloitettiin tuotteiden suunnittelu- ja testausvaihe. Viimeisessä vaiheessa laadittiin loppuraportti ja päätettiin projekti.

Projektissa tuotettiin ensin pikakäyttöoppaan prototyyppi laitteistolle. Oppaan prototyyppiä käytettiin opetusmateriaalina käyttöönottokoulutuksessa. Koulutustapahtuman jälkeen pikakäyttöoppaan prototyyppi testattiin ja sen pohjalta kehitettiin kaksi valmista tuotetta. Ohjelmistokehitysvaihe alkoi käyttöönottokoulutuksen suunnittelun jälkeen. Koko projektin ajan tehtiin dokumentointia eri vaiheissa.

2.2 Projektiorganisaatio

Projektin ohjausryhmään kuuluivat Oulun seudun ammattikorkeakoulun lehtorit Aino-Liisa Jussila ja Anneli Holmström sekä yliopettaja Jukka Jauhiainen. Yhteistyötä tehtiin Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön sairaalafysikoiden Pertti Hentun ja Vesa-Pekka Heikkilän kanssa. Yhteistyökumppanilta ohjaajana toimi Pertti Henttu. Kokonaisuudessa yhteistyötä tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön, Tekniikan yksikön sekä Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön välillä. Ohjausryhmä hyväksyi projektin tuotokset ja ohjasi työssä. Projektiorganisaatio koottiin tarvittavaksi ajaksi tuotekehitysprosessia varten (Pelin 2004, 25). Tilaajana toimi Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikkö. Projektin koulutustapahtuman vastaavana toimi ylifyysikko Antero Koivula. Projektiorganisaatio muodostui neljästä eri henkilöryhmästä (kuvio 1).



KUVIO 1. Projektioorganisaatio.

Projektiryhmään kuului röntgenhoitaja- ja insinööriopiskelija Salla Sohlo, joka toimi myös projektipäällikkönä. Projektipäällikkö vastasi projektioorganisaation toiminnasta sekä projektin toteutumisesta. Yhteistyökumppanina toimi OYS:n sädehoidon yksikkö. Tilaaajan yhteyshenkilöt Pertti Henttu ja Vesa-Pekka Heikkilä opastivat tuotekehitystyössä sekä toimivat asiantuntijoina. Sosiaali- ja terveysalan yksiköstä yhteyshenkilöinä olivat Aino-Liisa Jussila ja Anneli Holmström, ja he toimivat asiantuntijoina projektityöskentelyssä. Tekniikan yksikön yhteyshenkilönä oli Jukka Jauhiainen, joka ohjasi ohjelmistokehityksessä. Tukihenkilöinä toimivat Oulun seudun ammattikorkeakoulun röntgenhoitajaopiskelijat Minna Lyttinen ja Elisa Moilanen, jotka olivat tämän opinnäytetyön vertaisarvioijat. Opinnäytetyön tekstinojausta sain Oulun seudun ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön opettajalta Marja Kuurelta.

3 KILPIRAUHASSYÖVÄN RADIOJODIHOITO

Kilpirauhassyöpä on kohtalaisen harvinainen syöpä, ja sitä diagnosoidaan Suomessa vuosittain noin 350 uutta tapausta. Kilpirauhassyöpä on naisilla 2–4 kertaa yleisempi kuin miehillä. Naisilla sen osuus kaikista syövistä on 2,1 % ja miehillä 0,6 % (Suomen syöpärekisteri 2011, hakupäivä 2.3.2012). Kilpirauhassyövän esiintyvyys on hienoisessa kasvussa verrattuna viime vuosikymmeniin, mitä osittain selittävät parantuneet diagnostiset menetelmät ja lisääntynyt tutkimusten määrä. Yhä useampi syöpä löydetään varhaisessa vaiheessa ja pystytään hoitamaan parantavasti. Kilpirauhassyövän yhtenä hoitomuotona käytetään radioaktiivisen ¹³¹I-isotoopin säteilyä. Radiojodihoito on sisäistä sädehoitoa, jossa potilaalle aiheutuu säteilyrasitusta. Potilaasta tulee väliaikaisesti säteilylähde hoidon saatuaan. Säteilyn aktiivisuus laskee tietyllä isotoopille ominaisella nopeudella (puoliintumisaika) ja radioaktiivinen jodi erittyy potilaan elimistöstä pois. (Mäenpää & Välimäki 2010; Välimäki 2008; Säteilysuojelu 97 1999, 7, 21.) Radiojodihoidon vaikuttavuuden on todettu olevan hyvä (Maxon, Englaro, Thomas, Hertzberg, Hinnefeld, Chen, Smith, Cummings & Aden 1992, 1132).

3.1 Syöpä kilpirauhasessa

Kilpirauhasessa ilmenee sekä hyvän- että pahanlaatuisia kasvaimia. Yleisimmät kilpirauhas-syöpämuodot ovat papillaarinen, follikulaarinen ja medullaarinen kilpirauhassyöpä. Pahanlaatuisia kasvaimia on vain noin 5 %, ja nekin käyttäytyvät yleensä hyvänlaatuisesti eivätkä lyhennä syöpää sairastavan elinikää. Papillaarista ja follikulaarista syöpää sairastaville annetaan radiojodihoito, ellei kyseessä ole mikrosyöpä. (Kiviniemi & Mäkelä 2010; Mäenpää & Välimäki 2010; Välimäki 2008.)

Potilaan ennuste riippuu kilpirauhassyövän levinneisyydestä, tyypistä ja potilaan iästä. Ennuste on yleensä erinomainen. Kilpirauhassyövän synnylle ei tunneta erityistä syytä, mutta perinnöllisyydellä voi olla vähäistä vaikutusta. Kaulaan ja kilpirauhaseen kohdistunut sädetys, kuten sädehoito, voi kuitenkin lisätä syövän todennäköisyyttä. Myös ydinonnettomuuksissa vapautuva radioaktiivinen jodi hakeutuu kilpirauhaseen aiheuttaen sinne ylimääräisen säteilyannoksen, joka lisää syövän riskiä. Säteilysuojauksella voidaan ehkäistä kilpirauhasen syöpää. Viranomaisohjeiden

mukaisesti aloitettu jodilääkitys (kaliumjodidi) estää onnettomuudessa vapautuneen radioaktiivisen jodin kulkeutumista kilpirauhaseen. Lyijysuojilla taas pyritään suojaamaan kilpirauhaskudosta diagnostisessa radiologiassa. Sädehoidossa kilpirauhasen säteilyannosta pyritään pienentämään tarkalla annossuunnittelulla. (Sankila & Pukkala 2009; Välimäki 2008; Voutilainen 2001.)

Kilpirauhassyöpä ei yleensä aiheuta erityisiä oireita, mutta tavallisin oire on kova kyhmy kaulalla. Kyhmy on lähes aina kivuton eikä se aiheuta mitään paikallistuntemuksia. Kilpirauhasen toiminnassa havaitaan harvemmin syövän aiheuttamia muutoksia. Oireena voi kuitenkin esiintyä nielemisvaikeuksia, kipua tai paineoireita. Perustutkimuksena kilpirauhassyövän epäilyssä tehdään kilpirauhasen ja kaulan ultraäänitutkimus, jonka yhteydessä otetaan ohutneulanäyte. Myös verikokeet voidaan ottaa kilpirauhasen toiminnan arvioimiseksi. (Kiviniemi & Mäkelä 2010; Välimäki 2008; Pelttari ym. 2007, 2094.)

Mahdollisimman täydellinen kilpirauhasen poistoleikkaus on hoidon perusta papillaarisessa, follikulaarisessa ja medullaarisessa syövässä. Poistoleikkauksen yhteydessä poistetaan kaulan alueen sairastuneet imusolmukkeet lukuun ottamatta papillaarisia mikrosyöpiä. Näillä tarkoitetaan pieniä alle senttimetrin läpimittaisia kasvaimia, jotka on todettu sattumalöydöksenä hyvänlaatuisen kilpirauhas sairauden leikkaushoidon yhteydessä. Kilpirauhassyövän hoidossa voidaan käyttää myös tyreostaattilääkitystä, jossa lääkeaine estää kilpirauhasen toimintaa. Radiojodihoito annetaan tavallisesti kirurgisen hoidon lisäksi 4–5 viikon kuluttua leikkauksesta, minkä ajan potilas on ilman kilpirauhashormonihoitoa. (Al-Shakhrah 2008, 905; Välimäki 2008.)

3.2 Radiojodihoito ¹³¹I-isotoopilla

Radiojodihoidon eli ¹³¹I-isotoopilla toteutettavan sädehoidon tarkoituksena on tuhota koko kilpirauhaskudos radioaktiivisen säteilyn avulla aiheuttamatta muihin elimiin deterministisiä vaikutuksia. Kilpirauhassyöpäsolujen kyky ottaa jodia on häiriintynyt, joten kilpirauhanen ottaa ainoastaan pienen osan annetusta radioaktiivisesta jodista. Ylimääräinen jodi poistuu elimistöstä. Hoidon vuoksi potilas joutuu käyttämään loppuelämänsä ajan kilpirauhashormonihoitoa eli tyroksiinitabletteja, jolla korvataan elimistön omaa hormoni tuotantoa. Aivolisäkkeen erittämä hormoni, tyreotropiini eli TSH, saattaa edistää taudin uusiutumista, joten seerumin TSH:n pitoisuus pidetään tyreksiinihoidolla normaaliarvojen alarajoilla. Radiojodihoidolla vähennetään myös taudin uusiu-

tumisriskiä ja helpotetaan sairauden seurantaa myöhemmin. (Välimäki 2008; Öster 2006, 8; Säteilysuojelu 97 1999, 17, 23.)

Aineet ovat radioaktiivisia, jos niissä on virittyneitä ytimiä. Ytimen viritys purkautuu itsestään, jolloin ytimeistä irtaantuu hiukkanen sekä energiaa, ja aine säteilee. (Säteilyturvakeskus 2005, 2.) Alkuaineen eri isotoopit käyttäytyvät kemiallisesti samalla tavalla, mutta niiden ydinfysikaaliset ominaisuudet voivat olla aivan erilaiset (Sandberg & Paltema 2002, 12). Tämän vuoksi kaikki jodin isotoopit eivät ole radioaktiivisia, ja näin ollen niillä ei ole biologisia haittavaikutuksia.

Radioaktiivinen jodi muodostaa sekä gamma- että beetasäteilyä. Hoidon teho perustuu beetasäteilyyn, sillä gammasäteilyn energiasta vain pieni osa vaikuttaa kilpirauhaskudokseen. Beetapartikkelit tuhoavat kilpirauhaskudosta paikallisesti. ¹³¹I annostellaan pieninä määrinä kapseli-muodossa potilaan suuhun erillisen tikun avulla. Jokainen kapseli otetaan omalla erillisellä tikullaan, sormien tarpeettoman säteilyannoksen välttämiseksi. Annos voidaan antaa myös nestemäisenä, jos potilas ei pysty ottamaan kapselia. Kapselit tulee nielaista mahdollisimman nopeasti jodikapseleiden avaamisen jälkeen säteilysuojelullisista syistä. (Al-Shakhrah 2008, 909; Heikkilä 5.5.2011, haastattelu; Peterson 2006, 35.)

Normaali kertahoitoannos on 30 millicurieta (mCi), joka on noin 1110 megabecquerelia (MBq). Jos hoitoannos on suurempi, 60–100 mCi, kasvaimen mukaan annostellaan 1–2 kapselia hoitokerralla. Jodikapselit tilataan potilaskohtaisesti lääkärin määräämän hoitoannoksen mukaan, joten kapseleiden aktiivisuus voi vaihdella 30–100 mCi:n välillä. Radiojodihoitoa pidetään turvallisena, ellei kumulatiivinen annos ylitä 1 000 mCi:ta. Hoitoja voidaan toistaa useamman kerran samalle potilaalle hänen elämänsä aikana, kunhan kertyvä annos pysyy alle 1000 mCi:n. (Al-Shakhrah 2008, 909; Välimäki 2008.) Mahdollisten etäpesäkkeiden hoitamiseen tarvitaan huomattavasti suurempi annos ¹³¹I-isotooppia, esimerkiksi 100 tai 200 mCi (Säteilysuojelu 97 1999, 23, Heikkilä 5.5.2011, haastattelu). Jos leikkauksen jälkeen ei ole lainkaan jäljellä normaalia kudosta, mutta etäpesäkkeitä on syntynyt, suurempia annoksia annetaan välittömästi. Leikkauksen jälkeen on jäljellä ainoastaan pieni osa kilpirauhaskudosta. (Säteilysuojelu 97 1999, 23.)

¹³¹I käyttäytyy samoin kuin stabiili jodi. Tämä tarkoittaa sitä, että suurin osa elimistöön tulleesta määrästä kerääntyy kilpirauhaseen 24–48 tunnin sisällä. Kun radiojodi on nielaistunut, se leviää verenkiertoon, josta se kerääntyy kilpirauhaskudokseen sekä sen paikallis- ja etäpesäkkeisiin ympä-

ri kehoa. Vaurioituneet kilpirauhassolut menettävät kykynsä muuntaa jodia orgaaniseksi aineeksi, jolloin jodi vapautuu takaisin verenkiertoon, mikä johtaa sen erittymiseen. Ylimääräinen jodi poistuu suurimmaksi osaksi elimistöstä virtsan mukana ensimmäisen vuorokauden aikana, mutta sitä poistuu myös muiden eritteiden mukana. Syöpäpotilailla, joilla on suuria etäpesäkkeitä, jodin erittyminen kestää paljon kauemmin. ^{131}I :n säteilyannos puoliintuu noin kahdeksassa päivässä ja muutaman kuukauden kuluessa se häviää kokonaan elimistöstä. Pääasiallinen hajoamistuote on ksenon-131 (^{131}Xe), joka poistuu nopeasti elimistöstä. (Säteilysuojelu 97 1999, 21, 23.)

Kilpirauhanen kerää normaalisti itseensä jodia hormonituotantaan varten. Kun ylimääräistä jodia tulee elimistöön, kilpirauhanen ottaa siitä suoraan noin 25 prosenttia. Tämä määrä riippuu yksilön päivittäin ravinnosta saatavasta jodiannoksesta. Kun jodia saadaan vähän, kilpirauhanen voi ottaa siitä noin 50 prosenttia. Vastaavasti määrän ollessa suuri kilpirauhanen ottaa vain 5–10 prosenttia. Kilpirauhassyövän täsmähoito radiolääkkeellä perustuu jodin kilpirauhaseen kertymiseen. (Öster 2006, 8; Säteilysuojelu 97 1999, 21.)

Hoitoannos määräytyy aina potilaskohtaisesti. Potilaasta ulospäin säteilevän annoksen määrittämisessä tarvitaan hyvin tarkat tiedot radionuklidin jakautumisesta kehossa ja sen fysikaalisista ominaisuuksista. Laskettaessa tulee ottaa huomioon radioaktiivisen aineen hajoaminen ajan funktiona, elimistön reagointi aineeseen, aineen poistuminen kehosta sekä aineen kertyminen tiettyihin kudoksiin. Määrittystä hankaloittaa se, ettei kaikkia syövän mekanismeja tunneta. Radioaktiivisia aineita on kuitenkin käytetty menestyksellisesti kilpirauhassyövän hoitoon. (Korpela 2004, 242–243; Öster 2006, 8.)

Kuten aiemmin todettiin, papillaarista ja follikulaarista syöpää sairastaville annetaan radiojodihoito. Myös suuri kasvaimen koko, metastasoitunut tauti tai kasvaimen epätäydellinen resektio edellyttävät radiojodihoitoa. Diffuusien ja leikkaukseen soveltumattomien etäpesäkkeiden hoitona käytetään ensisijaisesti ^{131}I -isotoopilla toteutettavaa hoitoa. Radioaktiivista jodia suositellaan harkittavaksi kaikille alle 18-vuotiaille sekä niille, joilla kasvaimen koko on vähintään 1 senttimetri, kasvaimen histologia viittaa nopeakasvuuteen tai imusolmukkeiden poistoa ei ole tehty. Radiojodihoitoa ei anneta sattumalta todettuun papillaariseen mikrosyöpään eikä medullaariseen syöpään leikkauksen jälkeen. (Peltari ym. 2007, 2096.)

Radioaktiivinen jodi voi aiheuttaa akuutteja sivuvaikutuksia, kuten pahoinvointia ja kaulan alueen kipua. Nämä haitat häviävät kuitenkin nopeasti ja ovat harvinaisia. Sylkirauhasten kipuilu ja makuhäiriöt ovat lievänä yleisiä. Myöhäisten haittojen riski on myös pieni, mutta se lisääntyy kumulatiivisen annoksen kasvaessa. Lisäksi on raportoitu lisääntymisjärjestelmän häiriötä, suun ja hampaiston ongelmia sekä sekundaarisyöpiä. Radiojodihoitojen yhteydessä on myös todettu esiintyvän leukemioita sekä munuais-, virtsarakko- sekä sylkirauhaskasvaimia. Kilpirauhasen liikatoiminnan hoidoksi annetun radiojodihoidon ei ole todettu lisäävän kilpirauhassyövän riskiä. (Välimäki 2008; Pelttari ym. 2007, 2096; Mäenpää & Tenhunen 2003, 658.)

Papillaarisen ja follikulaarisen syövän seurannassa kontrollitutkimuksia suoritetaan radiojodihoidon jälkeisen kontrollikartoituksen jälkeen ensimmäisen kerran noin kuuden kuukauden kuluttua. Jos asiat ovat kunnossa, kontrollit jatkuvat vuoden välein. Jokaisella käynnillä tunnustellaan kaula huolellisesti, määritetään seerumista kasvainmerkkiaine, tyreoglobuliini, sekä tehdään verikokeita tyroksiiniannoksen määrittämiseksi. Kontrolleissa voidaan tarvittaessa tehdä kaulan ultraäänitutkimus. Seerumin tyreoglobuliinipitoisuuden tulee pysyä leikkauksen jälkeisellä tasolla. Gamma kuvaus on tärkeä etenkin, jos potilaan seerumissa todetaan vasta-aineita tyreoglobuliinille. Gammakuvauksesta saatava informaatio perustuu siihen, että kilpirauhassyöpäsolujen kyky ottaa jodia on huonompi kuin normaalin kilpirauhaskudoksen. (Välimäki 2008; Pelttari ym. 2007, 2096; Säteilysuojelu 97 1999, 23.)

4 ¹³¹I-ANNOSMITTAUKSEN SÄTEILYTURVALLISUUS

Kilpirauhassyöpään radiojodihoitoa saavan potilaan säteilyannoksen mittaaminen on tärkeää, jottei hän eristyksen jälkeen aiheuta turhaa säteilyrasitusta muille ihmisille. ¹³¹I-isotooppi emittoi eli lähettää gamma- ja beetasäteilyä. Säteilyn takia potilas joutuu olemaan eristyksissä, kunnes annos on puoliintunut riittävän pieneksi. Säteilyn annosnopeuden (Sv/h) mittaaminen tulee suorittaa ohjeiden mukaan, jotta mittaustulos on luotettava ja mittaushenkilö ei altistu turhaan säteilylle. Annosnopeudella kuvataan tietyn säteilylajin vaikutuksen vaarallisuutta oleskeltaessa tietyssä paikassa eli ihmisen saaman säteilyannoksen suuruutta tietyssä ajassa. (Säteilyturvakeskus 2005, 6.)

Säteilyn aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq). Becquerel on hyvin pieni yksikkö, joten yleensä käytetään yksiköinä kilobecquerelia (kBq) ja megabecquerelia (MBq). Yksi becquerel kuvaa radioaktiivisessa aineessa tapahtuvaa yhden ytimen virittyneen tilan laukeamista sekunnissa eli ydinmuutoksia. Säteilyä syntyy ydinmuutoksien määrän mukaan. Säteilyannoksella kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn haittoja. Säteilyannoksen yksikkö on sievert (Sv), joka on hyvin suuri yksikkö. Annoksista käytetään yleensä millisievertejä (mSv) tai mikrosievertejä (μSv). (Säteilyturvakeskus 2010, hakupäivä 27.5.2011.)

4.1 Gamma- ja beetasäteily

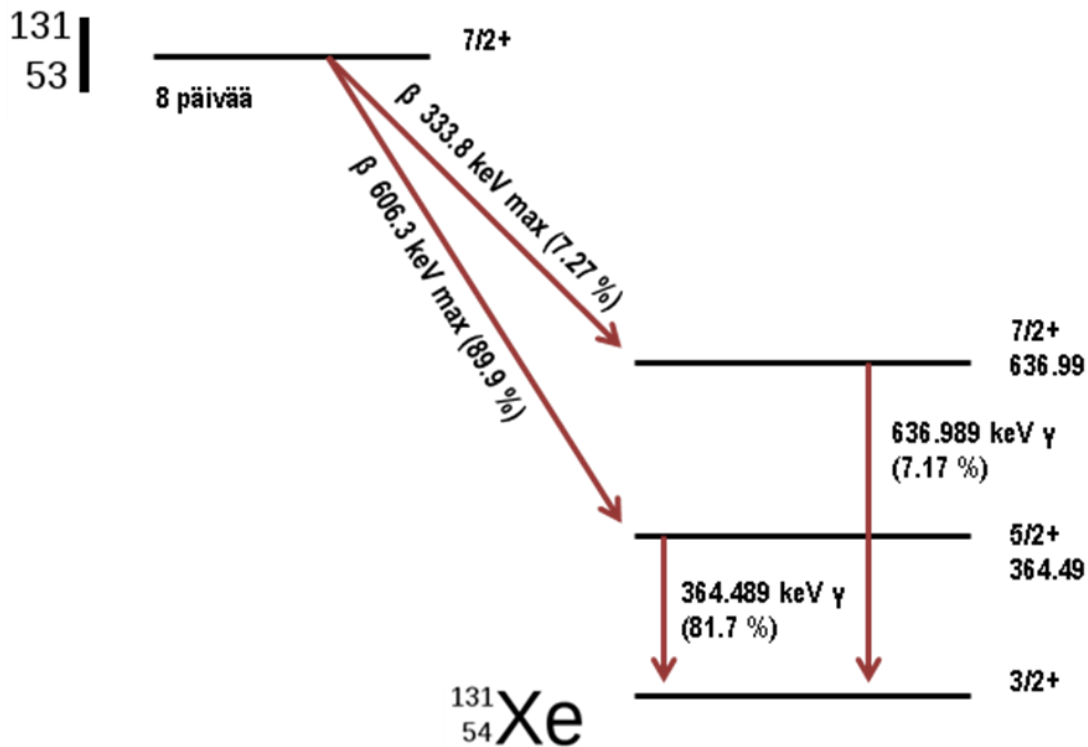
Ionisoiva säteily voi olla joko sähkömagneettista tai hiukkassäteilyä. Radiojodin tuottama gammasäteily on sähkömagneettista aaltoliikettä ja beetasäteily hiukkassäteilyä. Gammasäteilyä syntyy atomien ydinreaktioissa ja radioaktiivisten ydinten hajotessa. Radiojodin tuottama beetasäteily on hiukkassäteilyä, jota syntyy atomin virittyneen ytimen purkautumisen yhteydessä. Säteilykvantin suuri energia korostaa säteilyn hiukkasluonnetta. (Sandberg & Paltema 2002, 11; Säteilyturvakeskus 2005, 3.)

Gammasäteily on suurienergistä ionisoivaa säteilyä, jota ei voi aisteilla havaita. Ionisoiva säteily pystyy ionisoimaan atomeja eli irrottamaan aineen atomeista elektroneja tai hajottamaan molekyylejä. (Säteilyturvakeskus 2005, 2.) Nämä fyysiset vuorovaikutukset saavat aikaan kudoksessa kemiallisia muutoksia, jotka ilmenevät säteilyn biologisina haittavaikutuksina. Läpikäyty

gammäsäteily koostuu fotoneista eli energiakvanteista ja se aiheuttavaa radiojodihoidon säteilyaltistuksen. (Sandberg & Paltema 2002, 12.) Radiojodi on kohtalaisen edullista tuottaa, mutta sitä ei käytetä diagnostiseen kuvantamiseen suurienergisien gammäsäteilyn aiheuttaman huonon kuvanlaadun vuoksi (Rutherford, Franc & O'Connor 2008, 454).

Gammäsäteilyn aallonpituus on alle miljoonasosa mikrometrinä eli pikometrejä (pm), joten gammäsäteily on lyhytaaltoista ja hyvin läpitunkevaa (Jokela 2006, 17). Ulkoiselta gammäsäteilyltä suojautuminen on haastavampaa verrattuna muuhun säteilyyn. Gammäsäteilyä vaimennetaan paksulla kerroksella betonia, terästä tai lyijyä. Gammäsäteilyä on myös pienenergisempää, jolloin sen vaimentamiseen riittää noin millin paksuinen lyijykerros. (Säteilyturvakeskus 2005, 3.) Radiojodin gammäsäteilyn energia on pääosin 364 kiloenergiavoltia (keV), joten sen teho ei jää rajatulle hoitoalueelle, vaan se läpäisee kudoksen (Rutherford ym. 2008, 454; International Atomic Energy Agency 2009, 129).

Radiojodi säteilee keskisuurienergisiä beetapartikkeleita, joita hyödynnetään hoidossa (Rutherford ym. 2008, 454). Beetasäteily on nopeista elektroneista tai positroneista koostuvaa ionisoivaa säteilyä (Sandberg & Paltema 2002, 40–42). Radiojodihoidoissa hyödynnettävän beetasäteilyn energia on pääosin 606 keV (International Atomic Energy Agency 2009, 130). Kuviossa 2 esitetään ¹³¹I:n hajoamiskaavio ja säteilyn energiat. Beetasäteilyn kuratiivinen vaikutus perustuu riittävän suureen energiaan sekä absorboitumiskykyyn. Beetasäteilyn läpitunkevuus on vain noin 0,5 millimetriä, jolloin säteily jää kilpirauhaskudokseen. Pienen kohteeseen saadaan suuri annos, jolloin säteily aiheuttaa vaurioita kilpirauhaskudoksen soluissa. Solujen toiminta muuttuu ja ne tuhoutuvat. (International Atomic Energy Agency 2009, 116.)



KUVIO 2. Radiojodin hajoamiskaavio, jodi hajoaa ksenoniksi. (Piiros: Haar 2011, hakupäivä 21.3.2012. Kuvan mukaan.)

Radiojodin energiasta 67 % on gammasäteilyä ja loput beetasäteilyä. Suurin osa kilpirauhaseen absorboituneesta annoksesta on beetasäteilyä (90–95%) ja loput noin 5–10 % on gammasäteilyä. (Mattsson ym. 2006, 1034.) Säteilyn vaikutuksiin perustuvat ilmiöt ovat sattumanvaraisia. Pienikin säteily määrä voi aiheuttaa muutoksen, kun vastaavasti suurilla annoksilla ei välttämättä ilmene vaikutuksia. Säteilyn vaikutukset terveyteen ovat epätodennäköisempiä, kun säteilyannos on pieni. (Sandberg & Paltema 2002, 5.) Kansainvälinen säteilysuojelukomissio (ICRP) käyttää säteilyn syöpäriskin arvioinnissa lineaarista mallia (LNT, linear non-threshold), jonka mukaan riskin arvioidaan olevan vakio annosyksikköä kohti. Lineaarisuusoletus on käytännön säteilysuojelun tarpeisiin luotu työkalu ja sen avulla voidaan arvioida säteilyn aiheuttamaa syöpäriskiä ihmisen eliniän aikana.

4.2 Säteilyn mittaaminen

Säteilyä voidaan havaita ja mitata erilaisilla ilmaisimilla. Jotta säteilyä pystytään mittaamaan, täytyy aineessa syntyä muutoksia, jotka voidaan havaita. Ilmaisimen valintaan vaikuttavat säteilyn laji ja energia sekä se, mitä suuretta halutaan mitata. Säteilyn ilmaisimen materiaaleja ovat esimerkiksi termolosteilmaisoin (TLD), ionisaatiokammio, Geiger-Müller-mittari (GM-mittari), valomonistinputki, Tsherenkov-ilmaisoin, tuikeilmaisoin, verrannollisuuslaskuri, puolijohdeilmaisoin sekä filmi. (Sudbrock ym. 2011, 1304; Klemola 2002, 116.)

Radiojodihoidoissa tarvitaan kahdenlaisia säteilymittareita: henkilödosimetrit ja tutkimusmittarit (kuvio 3). Henkilödosimetreillä seurataan radiojodihoitoa saavan potilaan kanssa työskentelevän henkilökunnan säteilyaltistusta. Henkilödosimetrit ovat yleensä TLD-mittareita. Mittarit voivat hälyttää tietyn annosnopeusrajan ylittyessä. Tutkimusmittareilla seurataan esimerkiksi potilaasta lähtevää säteilyä tai säteilykontaminaatiota. (International Atomic Energy Agency 2009, 133.) Radiojodin emittoimaa gammasäteilyä mitataan GM-mittareilla ja tuikeilmaisimilla. Gammasäteilyn mittaaminen perustuu säteilyn ja aineen vuorovaikutusreaktioihin, kuten fotosähköiseen ilmiöön, Comptonin sirontaan ja parinmuodostukseen. Mittauksen tavoitteena on määrittää säteilyn energia ja intensiteetti eli energiaspektri. (Ikäheimonen, Klemola, Vesterbacka & Rahola 2002, 141.)



KUVIO 3. Säteilymittareita. Vasemmalta oikealle: puolijohdeilmaisoin (piidiodi), TLD-henkilödosimetri ja GM-mittari (S. Sohlo 2012).

GM-mittari on kohtalaisen halpa, riittävän tarkka ja yksinkertainen mittari havaitsemaan keskisuuria energiafotoneita. GM-mittari on kaasutäytteinen ilmaisin, jolla on laaja käyttöalue. Se voidaan kalibroida mittaamaan säteilyaltistusta tai absorboitunutta annosta ja ekvivalenttiannosta. Kaasutäytteiset ilmaisimet ja puolijohdemateriaalit perustuvat säteilyn synnyttämien varauksenkuljettajien aikaansaamaan virtaan ilmaisimen elektrodien välille. (Klemola 2002, 116, 120.)

Tuiekideilmaisimen oleelliset rakenteet ovat skintillaattori eli tuikeaine sekä valomonistinputki. Tuikeaine voi olla orgaanista kaasua, nestettä ja kiinteää ainetta tai epäorgaanisia aineita, jalkaasuja ja kiteitä. Säteilyn havaitseminen tuikeilmaisimessa perustuu säteilyn aiheuttamiin valon tuikahduksiin tuikeaineessa. Nämä valon tuikkeet muutetaan sähkövirraksi ja ne vahvistetaan lineaarivahvistimessa. Lineaarivahvistin tuottaa analogiapulsseja, joiden amplitudi riippuu lineaarisesti yksittäisen fotonin ilmaisinkiteessä luovuttamasta energiasta. Eri energiat jaetaan eri kanaville monikanava-analysaattorissa, josta ne edelleen muutetaan digitaaliseen muotoon energiaspektriiksi. Myös Tsherenkov-ilmaisimet perustuvat tähän tekniikkaan. Eri tuikeaineita yhdistämällä samaan ilmaimeen voidaan mitata samanaikaisesti sekä alfa-, beeta- että gammasäteilyä. (Klemola 2002, 116, 123.) Tuikeilmaisimet soveltuvat yksinkertaisten gammaspektrien mittauksiin varsinkin, jos tarvitaan suurta havaitsemistehokkuutta (Ikäheimonen ym. 2002, 139). Talliumilla aktivoitu natriumjodidikide (NaI(Tl)) on yleisesti käytetty fotonisäteilyn tuikeilmaisina (Klemola 2002, 124).

4.3 Säteilyturvallisuus radiojodihoidossa

Säteilyturvallisuus tulee huomioida ¹³¹I-hoitoa annettaessa siitä aiheutuvan radioaktiivisen säteilyn vuoksi. Potilaasta tulee säteilynlähte, kun hän on nielaissut radiojodikapselit, joten hän on mahdollinen altistuslähte muille ihmisille. Potilaiden käyttäytymistä koskevia ohjeita tarvitaan, jotta voidaan rajoittaa heidän perheenjäsenilleen, lähipiirilleen ja muille ihmisille aiheutuvia annoksia. Potilaan toimintaa rajoitetaan, kun kyseessä on isotooppitutkimus tai -hoito, jossa hänelle annetaan 30 MBq tai enemmän radiojodia, tai jos perheenjäsenille ja läheisille esitetyt annosrajoitukset voivat ylittyä. Tässä tapauksessa käytettyjä raja-arvoja kutsutaan annosrajoituksiksi. Ne ovat ohjeellisia ennusteita, joita ei ole tarkoitus ylittää, mutta ne eivät ole lakisääteisiä annosrajoja. (Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä 2003, 9; Säteilysuojelu 97 1999, 9.)

Potilaan suora ulkoinen säteily ¹³¹I saattaa aiheuttaa huomattavia annoksia muille ihmisille. Säteilylle altistuminen on estettävä tai sitä on vähennettävä niin paljon kuin käytännöllisin toimin on mahdollista. Säteilyasetuksen mukaan henkilölle, jonka kehoon säteilyä kohdistetaan tarkoituksella lääketieteellisessä toimenpiteessä, ei sovelleta säteilyaltistuksen enimmäisarvoja. Säteilyturvallisuuden toteuttamiseksi radiojodihoitoa saavalle potilaalle tulee järjestää annosmittaukset. Annosmittauksilla selvitetään turvallinen säteilyn annosmäärä, jolloin potilas ei aiheuta ulkopuolisille tarpeetonta säteilyrasitusta. (Säteilyasetus, 1143/1998 7 a §.)

Hoitoprosessiin osallistuu eri toimijoita, kuten lääkäri, fyysikko ja vuodeosaston hoitohenkilökunta. Toimiva yhteistyö eri tahojen välillä on tärkeää säteilyturvallisuuden toteutumisessa. Hoitava lääkäri määrää potilaan hoitoannoksen ja suunnittelee hoidon. Hoidon toteutuksesta vastaavat kuitenkin sädehoidon yksikön fyysikot. Vuodeosaston henkilökunta huolehtii eristyksen toteutumisesta ja potilaan perushoidosta. Kaikkien osapuolten tulee tiedostaa hoidon aiheuttama turvallisuusriski ja tuntea hoidon erityispiirteet. Potilaan informointiin ja ohjaukseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä tieto voi vähentää potilaan pelkoja ja edistää yhteistyötä. Kirjalliset säteilysuojeluohjeet tulee olla hoitoon osallistuvan henkilökunnan saatavilla. Isotooppihoidoissa annos on suunniteltava potilaskohtaisesti niin, että toivottu vaikutus saadaan aikaan hoidettavassa kudoksessa tai elimessä. Hoitokohteen ulkopuolisiin kudoksiin kohdistuvan säteilyrasituksen on oltava mahdollisimman vähäinen. (Al-Shakhray 2008, 906–907; Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä 2003, 3.)

Mittaustapahtuma tulee suorittaa säteilyturvallisesti ohjeiden mukaan. Ennen hoidon antamista jodikapselin säteily määritetään kaivokammioilla tai säteilyn yleismittarilla eli GM-mittarilla, joka mittaa annosnopeutta. Potilastietoihin on merkittävä radiolääkkeen aktiivisuus, radionuklidi ja radiolääkkeen kemiallinen muoto tai lyhenne, jota yleisesti käytetään radiolääkkeen kemiallisesta muodosta. Radioaktiivisen aineen kuljetus esimerkiksi osastolta toiselle tulee toteuttaa turvallisuusohjeiden mukaan, niin ettei turhaa säteilyrasitusta tapahdu. (Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä 2003, 4.)

Säteilyturvaministeriön asetuksen 10 §:ssä säädetään annosrajoituksia. Potilas, jolle on annettu radioaktiivista ainetta, voidaan kotiuttaa vasta, kun potilaassa jäljellä olevasta aktiivisuudesta aiheutuva säteilyaltistus on riittävän vähäinen perheenjäsenille ja muille ihmisille. Seuraavia annosrajoituksia sovelletaan potilaan perheenjäseniin ja läheisiin:

- Lapset (myös syntymättömät lapset) 1 mSv
- Aikuiset (alle 60-vuotiaat) 3 mSv
- Aikuiset (60-vuotiaat ja sitä vanhemmat) 15 mSv
- Muut ihmiset (väestö) 0,3 mSv.

Jos perheenjäsenten, läheisten ja muiden ihmisten annosrajoitusten ylittyminen on mahdollista, potilaan on jätävä sairaalaan, kunnes potilaassa jäljellä oleva aktiivisuus on vähentynyt riittävästi. ¹³¹I-hoidon jälkeen on ennen potilaan kotiuttamista varmistettava, että hänessä jäljellä oleva aktiivisuus on pienempi kuin 800 megabecquereliä. Yhden metrin etäisyydeltä mitattuna tämä vastaa annosnopeudeltaan noin 40 mikrosievertiä tunnissa. Radiojodihoitoa saaneelle potilaalle tai hänestä huolehtivalle henkilölle on annettava suulliset ja kirjalliset toimintaohjeet ennen kotiuttamista tarpeettoman säteilyaltistuksen välttämiseksi. Henkilökunnan on varmistettava, että potilas ymmärtää ohjeet, ja annetuista ohjeista tulee olla merkintä potilastiedoissa. (Öster 2006, 8; Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä 2003, 8.)

Radiojodihoitoa saaneen potilaan ei tulisi hankkiutua raskaaksi tai siittää lasta neljän ensimmäisen hoidon jälkeisen kuukauden aikana. Neljän kuukauden aikaa suositellaan, sillä siittiöt eivät elä sitä pidempään. Radiojodihoidon jälkeen imetys on yleensä lopetettava kokonaan. Potilaan suositellaan välttävän pitkäkestoista lähikontaktia ja nukkuvan erillisessä huoneessa viikon ajan. Eristyksen jälkeen on vältettävä kontaktia pienten lasten kanssa noin viikon ajan. Etäisyys muista ihmisistä on paras suoja. Potilaan tulee kiinnittää erityistä huomiota wc- ja ruokailuhygieniaan. (Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä 2003, 7; Säteilysuojelu 97 1999, 14–15,19.)

Veri- ja virtsanäytteet tulisi ottaa potilaasta ennen hoidon antoa. Jos radiojodihoidon saanut potilas tarvitsee välitöntä apua eristyksen aikana terveydentilansa takia, häntä kohdellaan kuten normaalia potilasta. Esimerkiksi jos potilasta täytyy elvyttää tai viedä kiireelliseen leikkaukseen, tällaisessa tilanteessa ei tarvitse välittää, vaikka hänessä jäljellä oleva aktiivisuus ylittäisikin aktiivisuusrajan. Jos mahdollista, sairaalafysikolta tulisi pyytää erityisneuvoja. (Säteilysuojelu 97 1999, 12.)

4.4 Säteilyeristyspotilaan ¹³¹I-annosmittaus

Radiojodihoitoa saavan potilaan säteilyn annosmittaus tulee toteuttaa suunnitelmallisesti. Mittaus-tavan tulee olla helposti toistettavissa, jotta erilaiset mittauskäytännöt eivät vaikuta tuloksen luotettavuuteen. Mittaus on toteutettava aina samalla tavalla, riippumatta siitä kuka mittauksen tekee. Eristys luo mittaukseen omat erityispiirteensä. Annosmittauksen tarkoituksena on selvittää potilaan säteilemän aktiivisuuden ja annosnopeuden suuruus.

Radiojodihoitoa saava potilas hoidetaan säteilyeristyksessä lyijysuojatussa huoneessa. Huoneeseen on pääsy kielletty sekä henkilökunnalta että vierailijoilta. Potilaan täytyy olla eristyksessä, sillä hänestä säteilee ulospäin ¹³¹I-isotoopin aiheuttamaa radioaktiivista säteilyä. Hoitoannokset ovat niin suuria, että ne voivat ylittää väestön säteilyannosrajat. Säteilysuojelullisesta näkökulmasta potilas ei saa olla tekemisissä toisten ihmisten kanssa, ennen kuin annoksen on todettu mittauksilla olevan riittävän alhainen. (Säteilysuojelu 97 1999, 9.)

Eristyshuone on yhden hengen, jossa voi olla muun muassa televisio, radio, sänky, wc, suihku, tuoli ja pöytä. Eristyshuoneen tulee sijaita käytävän päässä vähäliikenteisellä paikalla, ja siinä on hyvä olla välikko tai eteinen. Potilas voi ottaa huoneeseen omia tavaroitaan, esimerkiksi kannettavan tietokoneen ja puhelimen, tai saada käyttöönsä vaikka kuntopyörän. Potilas käyttää sairaalan vaatteita eristyksen ajan. Potilaan ruoat tuodaan eristyshuoneessa olevaan välikköön, jolloin etäisyys säteilylähteestä suojaa henkilökuntaa. Hoitajat ovat yhteydessä potilaaseen puhelimen välityksellä, mutta tilanteen niin vaatiessa, he voivat mennä eristyshuoneeseen. (Al-Shakhr 2008, 906–907; Heikkilä 5.5.2011, haastattelu.)

Potilas voi edistää säteilyturvallisuutta minimoimalla eristyshuoneen kontaminaatiota kertakäyttöisten ruokailuvälineiden avulla, jätteiden asianmukaisella hävittämisellä sekä toteuttamalla wc -hygieniää. Pesutiloissa ja wc:ssä on suurin kontaminaatoriski. Omat tavarat voi viedä huoletta huoneen ulkopuolelle eristyksen päätyttyä, jolloin tavallinen puhdistus eritteistä riittää. Säteilyturvallisuuden kannalta kannattaa kuitenkin ottaa mahdollisimman vähän henkilökohtaisia tavaroita eristyshuoneeseen. Sairaalan tavaroiden käyttö vähentää riskiä, että radioaktiivista ainetta kulkeutuu eristyshuoneen ulkopuolelle. Eristyksen aikana huoneesta ei saa tuoda tavaroita ulkopuolelle, ellei niitä ole ammattitaitoisesti puhdistettu radioaktiivisesta aineesta. Eristyksen päätyttyä potilaan pyykeistä tai muista eritteisistä tavaroista tulee mitata annosnopeus Geiger-Müller-

mittarilla. Tarvittaessa likapyykki tai muu radioaktiivinen tavara voidaan viedä lyijysuojattuun huoneeseen, kunnes annosnopeus on riittävän pieni. (Al-Shakhrah 2008, 905–907; Heikkilä 5.5.2011, haastattelu.)

Eristyspotilaan säteilyannoksen mittauksen suorittaa asiantunteva henkilö, esimerkiksi sairaalafyysikko. Mittaus voidaan tehdä GM-mittarilla pari päivää jodiannoksen antamisesta. Tarvittaessa toimipaikkakoulutettu lääkäri voi mitata annosnopeuden (esimerkiksi viikonloppuna), jos potilaan annosnopeus ei ole pienentynyt riittävästi. Mittaaja toteuttaa mittauksen mahdollisimman nopeasti, jottei hän altistu tarpeettomasti säteilylle. Mittaus tehdään yhden metrin etäisyydeltä potilaasta yleisesti maksimiannoksen kohdalla. Etäisyys varmistetaan mittatikun avulla. Säteilyn annosmittaus kestää vain muutamia sekunteja eikä se aiheuta potilaalle mitään tuntemuksia. (Heikkilä 5.5.2011, haastattelu; Kilpirauhasen jodimittaukset valmiustilanteissa 2006.)

Mittaaja altistuu itse säteilylle niin radiojodihoitoa annettaessa kuin säteilyannosta mitatessaan. Säteilyn voimakkuus riippuu hoitoannoksen suuruudesta, potilaan aineenvaihdunnan nopeudesta sekä kapselien nielemisestä kuluneesta ajasta. Mittaajan säteilyannoksen suuruus riippuu altistumisajasta ja etäisyydestä säteilynlähteeseen. Kilpirauhasmittaukset perustuvat ihmiskehossa olevien radioaktiivisten jodi-isotooppien hajotessaan lähettämän gammasäteilyn havaitsemiseen. (Kilpirauhasen jodimittaukset valmiustilanteissa 2006.)

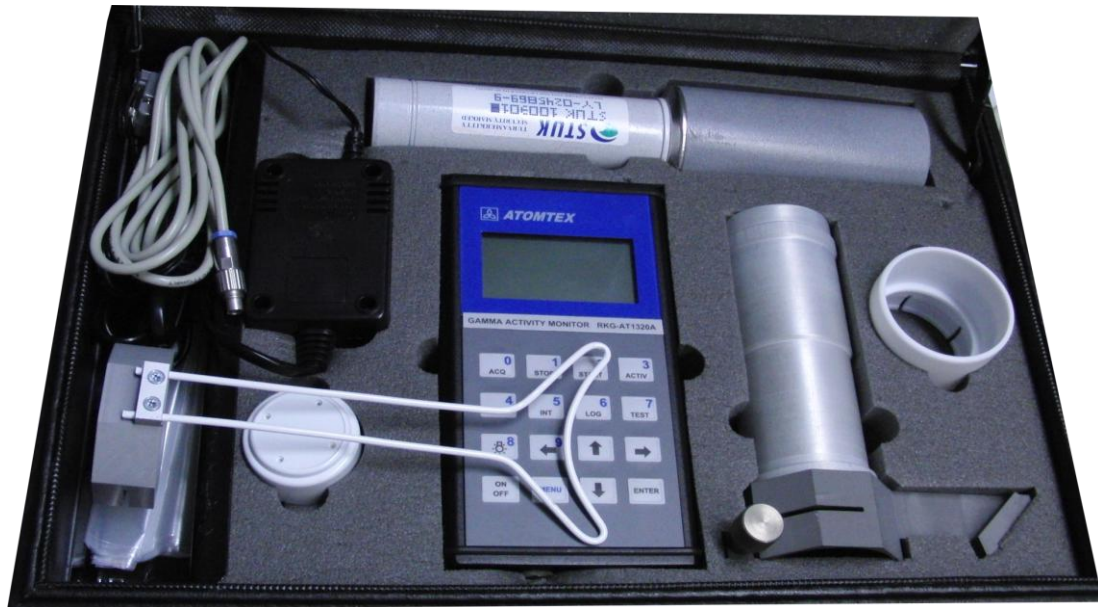
Radiojodihoitoa saava potilas pääsee kotiin, kun säteilyannos on alle 800 MBq (20 mCi). Kuitenkin useimmissa Suomen sairaaloissa potilas pääsee kotiin vasta, kun annosnopeus on pienempi kuin 20 $\mu\text{Sv/h}$ (noin 10 mCi). Jos annos on vielä liian suuri, uusi mittaus tehdään yleensä myöhemmin samana päivänä. Näin selvitetään annosnopeuden käyttäytyminen, eli mihin suuntaan annosnopeus on muuttumassa. Fyysikot voivat arvioida seuraavan mittausajankohdan annosnopeuden muutossuunnasta. Potilaiden kotiuttamisen on tapahduttava tiettyjen vaatimusten mukaisesti. Hoidosta vastaavan lääkärin on varmistettava, että asianmukaiset annosmittaukset tehdään, potilaille annetaan ohjeet suullisesti ja kirjallisesti ja potilaan kotioloista pyydetään tietoja. (Heikkilä 5.5.2011, haastattelu; Säteilysuojelu 97 1999, 11.)

5 TUOTTEIDEN KEHITYSTYÖ JA SUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyötä varten tehdyssä projektissa käsiteltiin Atomtexin liikuteltavaa RKG-AT1320A-kenttänäytemittaria. Kyseinen jodimonitori on Säteilyturvakeskuksen hankkima ja sen käyttötarkoituksena ovat kilpirauhasmittaukset esimerkiksi säteilyn suuronnettomuustilanteissa. Tässä projektissa selvitettiin mittauslaitteiston muita käyttötarkoituksia Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikössä. Mittauslaitteistoa testattiin radiojodihoitoa saavien potilaiden aktiivisuuden määrittämiseen. Projektissa pyrittiin saamaan MATLAB-ohjelmistoon dataa mittauslaitteistolta sekä suunnittelemaan ohjelman prototyyppi, joka laskee mitatusta datasta aktiivisuuden tietyllä spektrin energiavälillä. Projektissa tuotettiin jodimonitorille kaksi pikakäyttöopasta sekä henkilökunnan koulutustapahtumat. Jodimonitoriin tutustuttiin tuotekehitysvaiheessa.

5.1 Jodimonitori RKG-AT1320A

Jodimonitori perustuu talliumilla aktivoituun natriumjodidikiteeseen (NaI(Tl)). Tuikeilmaisoin on gammaspektrometri, joka mittaa ^{131}I -isotoopin lähettämän gammasäteilyn aktiivisuutta. Jodimonitorilla voidaan mitata myös muiden isotooppien aktiivisuutta, kuten cesium-137, koboltti-60 ja kalium-40 (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{40}K). Mittauslaitteisto koostuu ilmaisimesta ja prosessointiyksiköstä. Laitteistoon kuuluu lisäksi säilytysalkku, sarjakaapeli, sähköjohto, ^{137}Cs -kalibrointilähde, lyijykolimaattori, mittausetäisyyden säätöosat (2 kpl), mittauspöytäkirja sekä käyttö- ja mittausohje (kuvio 4). Laite toimii verkkovirralla sekä akulla. Akun toiminta-aika on noin kahdeksan tuntia, ja sen lataamiseen menee noin 4–5 tuntia. (Atomtex 2003, 3, 5, 8, 12.)



KUVIO 4. Jodimonitori säilytyssalkussaan (S. Sohlo 2012).

Laitteen ylläpitoon tulee kiinnittää huomiota, sillä laite on herkkä ja arvokas. Laitetta tulee käsitellä varoen ja säilyttää asianmukaisesti. Ilmaisim ei ole vedenpitävä eikä kestä iskuja. Ilmaisimen NaI(Tl)-kide ei kestä suuria lämpötilanvaihteluja, joten sitä ei saa säilyttää pakkasessa tai kuumassa. Laitteiston toimintaa on testattava kaksi kertaa vuodessa ja akku tulee purkaa ajoittain. Laitteiston voi puhdistaa teknisellä alkoholiliuoksella ja paperilla. (Atomtex 2003, 3, 6.)

Laitetta säilytetään sille kuuluvassa salkussa kuivassa ja lämpimässä paikassa. Laite tulee koota ennen käyttöä ja purkaa sen jälkeen. Kun laite on koottu käyttövalmiiksi, se tulee alkulämmittää ja kalibroida laitteistoon kuuluvan ^{137}Cs -lähteen avulla. Kalibrointilähde kiinnitetään ilmaisinosan päähän, jolloin laite suorittaa automaattisesti alkulämmityksen ja energiakalibroinnin tarkistuksen. Tarkistuksen jälkeen ^{137}Cs siirretään yli kahden metrin etäisyydelle ilmaisinosasta ja tehdään taustantarkistus. Tämän jälkeen voidaan aloittaa kilpirauhasmittaus. (Atomtex 2003, 9-12; Säteilyturvakeskus 2006.)

Kilpirauhasmittaus

Kilpirauhasmittaukset tulee tehdä ottaen huomioon säteilyturvallisuus. Mittaukset voi tehdä esimerkiksi säteilyeristys huoneessa. Mittari tulee suojata muovipussilla kontaminaation estämiseksi. Mittauksia tehdään kaksi kappaletta potilasta kohden. Ennen mittausta tulee varmistaa potilaan hyvä asento, sillä yhden mittauksen kesto aika on kaksi minuuttia ja potilaan tulee olla liikkumatta.

Ensimmäinen mittaus tehdään taustasäteilyn määrittämiseksi. Toinen mittaus tehdään potilaan säteilyaktiivisuuden määrittämiseksi. Molemmat mittaukset tulee tehdä aina käyttäen samaa mittaustaikaa ja geometriaa. Mittausetäisyys säädetään laitteistoon kuuluvilla mittauspälikoilla, jotka ovat joko 7 senttimetriä tai 20 senttimetriä. Lisäksi mittauksen voi tehdä yhden metrin etäisyydeltä, jolloin etäisyys säädetään mittanauhan avulla. Mittausajaksi suositellaan 120 sekuntia; kuitenkin väli voi olla 100–300 sekuntia.

Jokaisen mittauksen jälkeen spektri tallennetaan halutulla numerolla välillä 1–299. Jos taustaspektrin tallentaa numerolla 150, varsinaisen mittauksen spektri tallennetaan numerolla 150 + 1 eli 151. Laite vähentää aina tallennetun taustaspektrin varsinaisen mittauksen spektristä.

5.2 Mittauslaitteiston käytön testaus

Projektin taustatutkimukseen kuului kohteena olevaan laitteistoon perehtyminen käytön testausten avulla. Tämä vaihe aloitettiin suunnitelmasta poiketen kaksi kuukautta myöhässä tammikuussa 2012. Mittauslaitteiston testaukseen kuuluu monia eri osa-alueita. Projektin alussa mittauslaitteistoa opeteltiin käyttämään testimittauksia tekemällä. Testimittauksien avulla saatiin selvitettyä varsinainen kilpirauhasmittaustapahtuma, jolloin saatiin tietoa pikakäyttöoppaan ja koulutustapahtuman valmistusta varten. Testimittauksia toteutettiin säteilylähteillä sekä varsinaisissa kilpirauhasmittauksissa.

5.2.1 Testimittaukset laitteiston käytön opettelussa

Kun laitteistoon oli tutustuttu riittävästi taustatutkimuksen ja käyttöohjeen avulla, siirryttiin testausvaiheeseen. Ensimmäiset testimittaukset suoritettiin 16.1.2012 ohjaajan ja käyttöoppaan avustuksella. Laitteisto koottiin ja valmisteltiin ohjeiden mukaisesti, jonka jälkeen testimittauksia voitiin suorittaa. Laitteiston käytön opetteluvaiheen testimittauksissa ei käytetty säteilylähteitä. Laitteen kalibroinnissa käytetään toki aina ^{137}Cs -lähdettä, jonka aktiivisuus on mitättömän pieni (9,25 kBq).

Testimittauksia tehdessä laitteen käyttö ja toiminnot selkiintyivät ja laitteen käsittelyyn saatiin varmuutta. Testimittauksissa opeteltiin myös laitteiston mukana tulevan mittauspöytäkirjan täyttöä.

Kun laitteen valmistelu, kalibrointi, laitteen toiminnot sekä mittaustapahtuman kulku olivat selkeät, siirryttiin tekemään testimittauksia säteilylähteillä.

5.2.2 Testimittaukset säteilylähteillä

Ensimmäiset testimittaukset säteilylähteillä tehtiin 17.1.2012. Lähteenä toimi liuosmuotoisen ^{131}I -radiolääkkeen lyijypurkki, jonka sisältämä liuos oli jo käytetty potilashoitoon. Lyijypurkkiin oli kuitenkin jäänyt huomattava aktiivisuus, joten mittauksia voitiin suorittaa. Testissä mitattiin jäljellä olevaa aktiivisuutta ja annosnopeutta. Aktiivisuutta mitattiin projektin kohteena olevalla jodi-monitorilla RKG-AT1320A ja annosnopeutta Radoxin GM-mittarilla. Mittauksissa oli mukana ohjaava sairaalafyysikko.

Ennen mittausta käytiin huolellisesti läpi mittaustapahtuman kulku ja tehtiin vielä kolme harjoitusmittausta ilman säteilylähdettä. Näin varmistettiin, että mittausta sujuu nopeasti eikä säteilylähteen läheisyydessä oleskella turhaan. Laboratoriosta poistuttiin mittauksen ajaksi ja huoneessa käytiin vain tekemässä tarvittavat asetukset mittariin. Kahden metrin etäisyys säteilylähteestä riittää vaimentamaan säteilyn määrän lähes olemattomaksi (Sudbrock ym. 2011, 1306). Etäisyys ja lyhyt altistumisaika ovat paras säteilysuoja. Lyijyessut eivät juuri anna suojaa suurienergistä ^{131}I -gamma-säteilyä vastaan, joten niiden käytöstä ei ole hyötyä mittauksissa (International Atomic Energy Agency 2009, 134).

Mittaukset suoritettiin sädehoidon yksikön laboratoriossa, joka toimii valvonta-alueena. Ensimmäinen testimittaus tehtiin mittauspöydällä 70 senttimetrin päästä lyijysuojatusta ^{131}I -purkista siten, että RKG-AT1320A-ilmaisimien ja GM-mittari olivat mittauspöydällä vierekkäin. Laite koottiin ja valmisteltiin ennen valvonta-alueelle menoa. Ilmaisimien laitettiin pussiin kontaminaation ehkäisemiseksi. Laboratoriossa asetettiin mittari ja ilmaisimien huolellisesti oikeille paikoilleen ja aloitettiin mittaukset. Sädehoidon yksikön fyysikko nosti lyijypurkin mittaustaikalle. Laite antoi merkkiäänensä aina mittauksen valmistuttua, joten huoneesta oli helppo poistua mittauksen ajaksi.

Mittauksia suoritettiin kolme kappaletta, joissa jokaisessa mittausaikana oli 120 sekuntia. Yhteensä aikaa mittauksiin kului 12 minuuttia. GM-mittari ilmoittaa annosnopeutta ($\mu\text{Sv/h}$) ja jodi-monitori aktiivisuutta (Bq). Kirjaukset mittauspöytäkirjaan tehtiin valvonta-alueen ulkopuolella mittausten välillä tai jälkeen.

Mittauksia tehtiin myös jodipurkista ilman lyijypurkkia. Näissä mittauksissa säteilysuojelu korostui enemmän, sillä aktiivisuus nousi huomattavasti. Mittaushuone ja -pöytä valmisteltiin ennen mittausta. Esimerkiksi tilan siisteys varmistettiin ja tilassa käytäydyttiin suunnitelmallisesti. Mittauksia varten rakennettiin lyijylinna avoimen liuospurkin ympärille. Lyijylinnan suojaavuutta testattiin GM-mittarilla eri korkeudelta aivan lähietäisyydellä. Annosnopeuden todettiin olevan erittäin pieni (normaalin taustasäteilyn suuruinen) lyijylinnan suojan takana, joten mittaukset oli turvallista tehdä.

Liuospurkki pidettiin lyijypurkissa mahdollisimman pitkään. Mittauksia tehtiin 20 senttimetrin ja yhden metrin etäisyydeltä sekä jodimonitorilla että GM-mittarilla. Etäisyydet mitattiin ja merkittiin mittauspöytään ennen mittausta. Mittausgeometriaan käytettiin Aikuinen 20 cm ja mittausaikana 120 sekuntia.

Kun kaikki oli valmista mittausta varten, liuospurkki nostettiin nopeasti lyijypurkista mittauspaikalle. Fyysikko kävi nostamassa purkin lyijylinnaan ja takaisin lyijypurkkiin annoksen ollessa suuri. Mittauspaikka oli styroksin päällä merkityn rastin keskikohdassa. Styroksia käytettiin pullon alla, koska mittauspöytä oli peltiä, josta säteily olisi sironnut helposti ympäriinsä. Sironnut säteily olisi vähentänyt mittauksen luotettavuutta. Heti mittauksen päätyttyä liuospurkki nostettiin lyijypurkkiin suojaan, ettei se säteile turhaan ympäriinsä. Purkin käsittelyssä käytettiin suojahanskoja ja pidettiin mahdollisimman pitkä etäisyys lähteeseen sekä lyhyt käsittelyaika.

Mittauksia tehtiin yhteensä kuuden viikon ajan. Mitatut aktiivisuudet muunnettiin myös millicurieksi (mCi). Mittauksien tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Mitatuille aktiivisuuksille laskettiin vertailuarvot, joiden avulla varmistettiin jodimonitorilla tehtyjen mittauksien luotettavuus (kaava 1).

KAAVA 1. Aktiivisuus ajanhetkellä t .

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_1} \cdot t}, \text{ missä}$$

$A(t)$ = aktiivisuus ajan hetkellä t

A_0 = lähtöaktiivisuus

t = kulunut aika vuorokausina

$T_{\frac{1}{2}}$ = puoliintumisaika

Lähtöaktiivisuuden arvona (A_0) käytettiin ennen mittauksia määritettyä aktiivisuuden arvoa liuos-purkille. Määritys tehtiin kaivokammiolla, jossa mittarina käytettiin PTW CURIEMENTOR 4-laitteistoa. Mittari näytti aktiivisuuden arvon millicuriena (mCi). Taulukossa 1 on mittauspöytäkirja aktiivisuuden määritysmittauksista kaivokammiolla.

TAULUKKO 1. Käytetyn ^{131}I -liuoksen lähtöaktiivisuudet kaivokammiolla määritettynä.

| Pvm | Aine | Aika | Mitattu aktiivisuus 1, mCi | Mitattu aktiivisuus 2, mCi | Mitattu aktiivisuus 3, mCi | Mitattu aktiivisuus 4, mCi |
|-----------|----------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 18.1.2012 | Jodi-131 liuos | 10:25 | 7,962 | 7,961 | 7,962 | 7,964 |

Lähtöaktiivisuudeksi (A_0) määritettiin mitattujen aktiivisuuksien keskiarvo eli 7,962 mCi. Lähtöaktiivisuus määritettiin 18.1.2012. Tämän aktiivisuuden perusteella laskettiin vertailuarvot taulukossa 2 ja 3 esitetyille päville, joina jodimonitorilla tehtiin mittaukset 20 senttimetrin ja 1 metrin etäisyyksiltä.

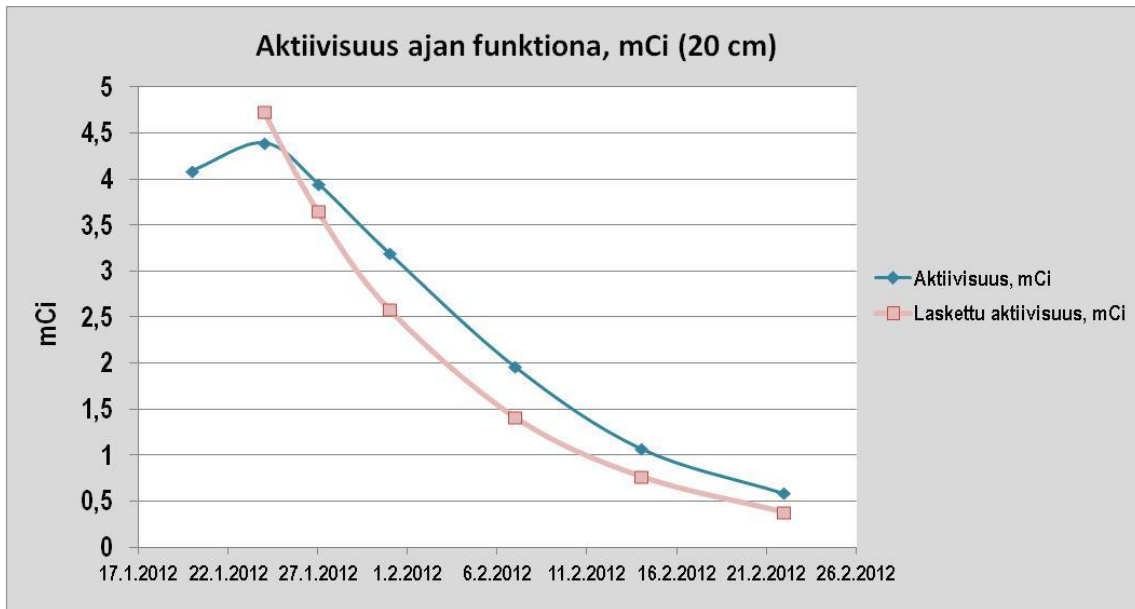
TAULUKKO 2. Lasketut ja mitatut vertailuarvot aktiivisuudelle etäisyydellä 20 cm.

| Pvm | Mitattu aktiivisuus, mCi | Laskettu referenssi-aktiivisuus, mCi |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|
| 18.1.2012 | 7,962 | |
| 24.1.2012 | 4,39 | 4,73 |
| 27.1.2012 | 3,95 | 3,65 |
| 31.1.2012 | 3,19 | 2,58 |
| 7.2.2012 | 1,96 | 1,41 |
| 14.2.2012 | 1,1 | 0,77 |
| 22.2.2012 | 0,59 | 0,38 |

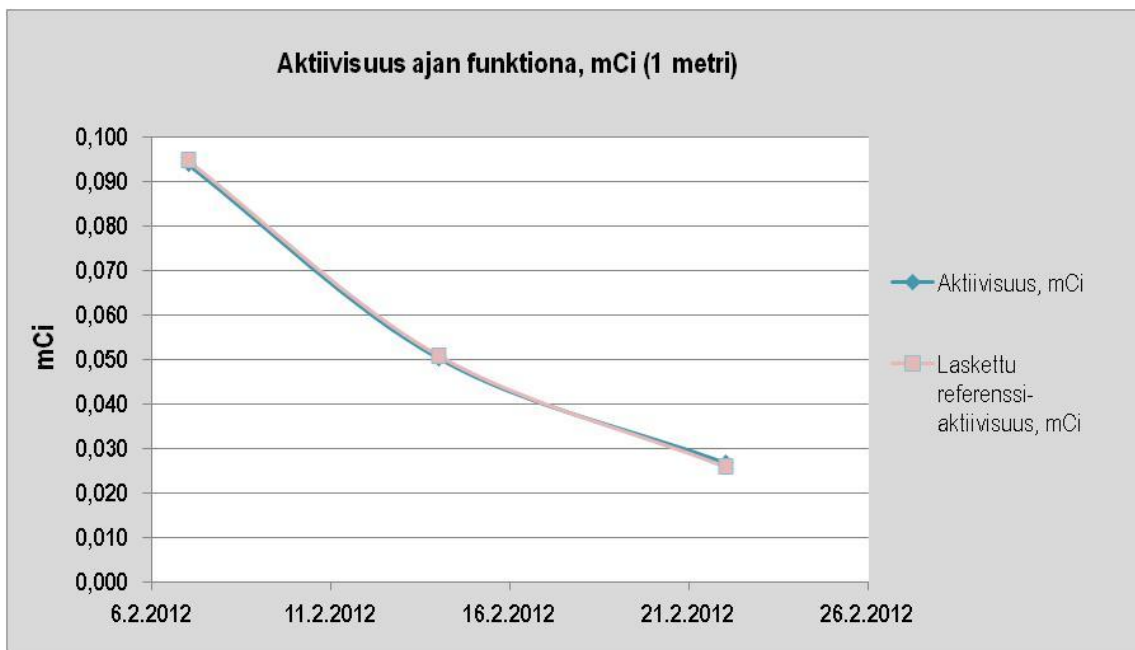
TAULUKKO 3. Lasketut ja mitatut vertailuarvot aktiivisuudelle etäisyydellä 1 metri.

| Pvm | Aktiivisuus, mCi | Laskettu referenssi-aktiivisuus, mCi |
|-----------|------------------|--------------------------------------|
| 7.2.2012 | 0,094 | 0,095 |
| 14.2.2012 | 0,050 | 0,051 |
| 22.2.2012 | 0,027 | 0,026 |

Mittaustuloksista laadittiin kuvaajat sekä 20 senttimetrin että yhden metrin etäisyyksiltä (kuviot 5 ja 6). Kuvaajissa esitetään ¹³¹I-isotoopin säteilyn aktiivisuuden pientyminen ajan funktiona. Aktiivisuudet on ilmoitettu millicurienä (mCi). Kuvioissa esitetään myös lasketut vertailuarvot aktiivisuudelle vaaleanpunaisella viivalla.



KUVIO 5. Mitattujen aktiivisuuksien muutos ajan funktiona (mittausetäisyys 20 senttimetriä).



KUVIO 6. Mitattujen aktiivisuuksien muutos ajan funktiona (mittausetäisyys yksi metri).

Yhden metrin etäisyydeltä tehtäviin mittauksiin tuli määrittää kalibrointikerroin, sillä laite on kalibroitu vain 7 ja 20 senttimetrin etäisyyksille. Kalibrointikerroin laskettiin vertaamalla jodimonitorilla mitattua aktiivisuutta (Bq) laskettuun aktiivisuuteen (kaava 2).

KAAVA 2. Kalibrointikertoimen määrittäminen aktiivisuuden perusteella.

$$k = \frac{A(t_i)}{A_m(t_i)}, \text{ missä}$$

$A(t)$ = laskettu aktiivisuus ajan hetkellä t_i

$A_m(t)$ = jodimonitorilla mitattu aktiivisuus ajan hetkellä t_i

t_i = kulunut aika vuorokausina

k = kalibrointikerroin

Jodimonitorilla mitattiin aktiivisuus (Bq) yhden metrin etäisyydellä taulukossa 4 esitettyinä päivinä. Mittausgeometriaan käytettiin Aikuinen 20 cm ja mittausaikana 120 sekuntia. Aktiivisuus muunnettiin vertailua varten millicurieksi. Laskettu kalibrointikerroin esitetään taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kalibrointikertoimen määrittäminen.

| Pvm | Aktiivisuus, mCi | Laskettu referenssi-aktiivisuus, mCi | Kalibrointikerroin, k |
|-----------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 7.2.2012 | 0,094092 | 0,095 | 14,985 |
| 14.2.2012 | 0,050312514 | 0,051 | 15,304 |
| 22.2.2012 | 0,026734405 | 0,026 | 14,214 |

Lasketuista kalibrointikertoimista määritettiin vielä keskiarvo, joka on lopullinen kalibrointikerroin yhden metrin etäisyydelle. Keskiarvoksi eli kalibrointikertoimeksi laskettiin 14,83. Kalibrointikerrointa hyödynnettiin myös MATLAB-ohjelmassa.

5.2.3 Kilpirauhasmittaukset potilailla

Radiojodihoitoa saaneiden potilaiden testimittaukset aloitettiin 18.1.2012. Mittaukset tehtiin OYS:n vuodeosastolla 19 säteilyeristys huoneessa. Mittaukset suoritettiin käyttöohjeen mukaan ja tulokset kirjattiin pöytäkirjaan. Potilaille kerrottiin mittauksen tarkoitus sekä ohjeistettiin mittaukseen.

Ensimmäisen testipotilaan mittaus sujui hyvin, sillä potilas oli yhteistyökykyinen ja jaksoi pitää mittarin paikallaan. Tässä testimittauksessa eristys huoneessa oltiin koko mittauksen ajan, jotta mittaustapahtuma tuli selväksi. Tulevissa mittauksissa huoneessa oltava aika pyritään pitämään minimissään. Mittauksen ajaksi ylimääräiset poistuvat huoneesta. Huoneessa käydään vain mittauksen välillä ja loppuessa. Etäisyys säteilylähteeseen on pidettävä mahdollisimman suurena koko huoneessa oltavan ajan.

Käyttöönottokoulutuksen jälkeen jodimonitorille kehitettiin mittaukseline potilasmittauksia varten. Toinen potilasmittaus suoritettiin 24.2.2012, jolloin testattiin kehitettyä mittaukselineä yhden metrin mittauksetäisyydellä (kuvio 7). Mittaus suoritettiin eristys huoneessa potilaan kotiinlähtövaiheessa. Mittauksen ajaksi poistuttiin eristys huoneesta. Mittaus tehtiin potilaan maassa sängyllä. Yhden metrin etäisyys mitattiin potilaan kaulakuopan ja navan puolivälistä ilmaisimeen. Telineessä oleva ilmaisin sijoitettiin potilaan sängyn yläpuolelle.



KUVIO 7. Projektin aikana kehitetty mittausteline (S. Sohlo 2012).

Seuraavassa potilasmittauksessa 12.3.2012 testattiin myös pikakäyttöoppaan toista prototyyppiä. Testin ja mittauksen suoritti sädehoidon yksikön fyysikko. Olin itse mukana opastamassa ja seuraamassa mittauksia. Eristyspotilaan läheisyydessä ei oleskeltu säteilysuojelullisista syistä.

Mittaukset yhden metrin etäisyydellä tulee tehdä aina samalla tavalla kuin kalibrointikerrointa määrittäessä tehdyt mittaukset. Mittausajan ja -geometrian tulee olla samat, eli 120 sekuntia ja geometriana Aikuinen 20 senttimetriä. Jos mittaustapa ei ole sama, kalibrointikerroin ei päde.

5.3 Tuotteiden laatu

Tuotekehitysprojektissa saatavien tulosten laatua varmistetaan koko projektin elinkaaren ajan. Laadunvarmistusta tehdään esimerkiksi laatumittauksilla ja määrittämällä tuotteille laatukriteerit. Tuotteen luotettavuus ja vaatimustenmukaisuus selvitetään laadunvarmistuksella. (Jämsä & Manninen 2000, 135.) Huolellisella ja tarkalla suunnittelulla varmistetaan aikataulujen ja tehtävien toteutuminen ja laatu. Suunnitelman avulla tiedetään tarkkaan, mitä tehdään, miten ja milloin. Laadunvarmistus tehdään erilaisilla mittauksilla, laskuilla, dokumentoinnilla ja testauksilla. Suomen kirjakielen hallinta dokumentoinnissa varmistaa osaltaan laatua. (Pelin 2004, 44–46, 85, 258, 341–342.) Projektissa kehitettävät tuotteet ovat mittauslaitteiston käyttöönottokoulutukset, pikakäyttöoppaat sekä MATLAB-ohjelman prototyyppi. Tuotteissa käytetään valittuja muotoiluja ja esittämistapoja.

Projektissa kehitetyt tuotteen suunnattiin fyysikoiden käyttöön, joten suunnittelussa tuli huomioida tämän ammattiryhmän tarpeet ja esitiedot. Pikakäyttöoppaat tuotettiin sekä sähköisenä Word-dokumenttina että paperiversiona. Paperiversioiset oppaat laminoitiin, jotta ne kestävät käyttöä. Näin päivitykset ja muutokset saadaan tehtyä helposti, ja oppaat ovat yksikön henkilökunnan saatavilla nopeasti. Oppaiden muotoilu ja kieli on selkeää ja yksinkertaista, joten niitä on nopea käyttää. Käyttöoppaat ovat käytettävyydeltään tarkoituksenmukaisia sekä virheettömiä testauksien ja palautteen perusteella. Oppaat sisältävät selkeät ja lyhyet sanalliset ohjeet mittauslaitteiston käyttöön. Sisältö perustuu mittauslaitteiston valmiiseen käyttöohjeeseen, taustatutkimukseen, testaukseen ja mittaustapahtuman kulkuun.

MATLAB-ohjelma on sähköisessä muodossa, jolloin päivitykset ja muutokset saadaan tehtyä helposti. Ohjelman muotoilu ei ole tietyn ohjeen mukainen, mutta käytettävyydeltään se on selkeä. Ohjelman on testauksella todettu toimivan virheettömästi ja antavan luotettavan tuloksen. Ohjelman antamia tuloksia verrattiin myös laskettuihin aktiivisuuden viitearvoihin. Ohjelman yksinkertaisuus on varmistettu sillä, ettei käyttäjän tarvitse tehdä kuin kaksi valintaa.

Kansainvälinen standardointi organisaatio (ISO) on kehittänyt ISO 9126 standardin tuotelaadun arviointia varten. Standardi esittää kuusi piirrettä, jotka määrittelevät tuotteen laadun. Piirteet ovat toiminnallisuus, luotettavuus, käytettävyys, tehokkuus, ylläpidettävyys ja siirrettävyys. (Joensuu yliopisto. 2007, hakupäivä 7.11.2011.) Tämän projektin tuotteiden laatua osoittavat ominaisuudet

eli laatuksiteerit ovat esimerkiksi ulkoasu, kirjallinen kieli, luotettavuus, käytettävyyys (helppous, virheettömyys), yksinkertaisuus, nopeus, vaikuttavuus, käyttötarkoitukseen sopivuus ja käyttöympäristöön sopivuus (taulukko 5, 6 ja 7).

Ohjelman laadunvarmistustoimenpiteitä ovat testaus, tarkastukset, katselmoinnit, ISO-standardeihin vertaaminen, suunnittelu ja dokumentointi. Pikakäyttöoppaan laadunvarmistustoimenpiteitä ovat kirjallisen asun tarkistus sekä testaus. Käyttöönottokoulutuksen laadunvarmistusta tehdään katselmoinneilla, dokumentoinnilla ja suunnittelulla.

5.4 Pikakäyttöoppaiden tuottaminen

Testimittauksien ja laitteistoon tutustumisen jälkeen jodimonitorille RKG-AT1320A tuotettiin kaksi pikakäyttöopasta. Jodimonitorille on valmis käyttöohje, jonka perusteella suunniteltiin yksikkökohtainen pikaopas koko kehon mittauksiin sekä yleinen pikaopas kilpirauhasmittauksiin suuronnettomuustilanteissa. Pikakäyttöoppaiden avulla koulutuksen saanut henkilö voi suorittaa kilpirauhasmittauksia sekä koko kehon mittauksia sujuvasti ja luotettavasti. Käyttöoppaan suunnittelu ja testaus aloitettiin tammikuussa 2012 suunnitelmaa mukaillen. Toinen pikakäyttöopas tuotettiin ensimmäisen pohjalta. Tuotteet valmistuivat maaliskuussa 2012.

Pikakäyttöoppaiden tuottaminen aloitettiin luonnosteluvaiheella eli päätettiin millaiset tuotteet valmistetaan. Oppaiden tuottamisessa tuli huomioida ulkonäkö sekä tietosisältö. Ulkonäöltään oppaiden tuli olla selkeitä ja nopeakäyttöisiä. Tuotteen ulkonäköön vaikuttavat värit, muotoilu, materiaalit, teksti ja siinä käytetyt käsitteet. Tiedon tuli olla luotettavaa, ajantasaista sekä helposti luettavaa. (Jämsä & Manninen 2000, 43, 56–57, 107.) Oppaat suunniteltiin Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön fyysikoiden käyttöön, mutta kilpirauhasmittaukseen suunniteltua opasta voi hyödyntää missä tahansa RKG-AT1320A-jodimonitorin käytössä.

Tuotekehitystyön aluksi selvitettiin käytettävä tiedostopohja käyttöoppaille. Oppaat päätettiin suunnitella vapaasti Word-tiedostoon niin, että ulkoasu säilyy selkeänä. Tuotteen väreiksi valittiin selkeä valkoinen pohja ja musta teksti. Tekstityyliksi valittiin helppolukuinen ja tuttu kirjasintyyppi Arial Narrow. Tekstin kooksi päätettiin 11 pt ja otsikon kooksi 14 pt. Otsikot helpottavat tekstin hahmottamista (Repo & Nuutinen 2003, 91). Oppaissa käytettiin tekstin lihavoitinta ja isoja kirjai-

mia tärkeimpien asioiden huomioimiseksi sekä luettavuuden varmistamiseksi. Tekstistä tehtiin loogisesti etenevä kokonaisuus.

Käyttöoppaat koottiin testimittauksissa tuotettujen raporttien ja valmiin käyttöohjeen perusteella. Pikakäyttöoppaan pituudeksi määritettiin yksi A4-arkki, jotta opas olisi nopeakäyttöinen. Pikakäyttöoppaille tehtiin testisuunnitelma, jonka mukaan oppaita testattiin eri tilanteissa. Pikakäyttöoppaiden prototyypit merkittiin mallikappaleeksi vesileimalla. Näin ollen mallikappaleena toimineet prototyypit eivät jää vahingossa käyttöön. Valmiissa pikakäyttöoppaissa vesileimaa ei ole.

Ensimmäiset testit suoritti työntekijä itse ilman säteilylähdettä. Havaitut virheet korjattiin ja testit tehtiin uudestaan. Kun virheitä ei enää löytynyt, testattiin opasta laitteiston käytännön käyttöönottokoulutuksen jälkeen. Yksi fyysikko teki mittauksen pikakäyttöoppaan mukaisesti simuloidussa kilpirauhasmittaustilanteessa, jossa toinen fyysikko toimi mitattavana. Testauksessa ilmenneet pikakäyttöoppaan prototyypin puutteet kirjattiin ja korjattiin. Korjattua prototyyppiä testattiin potilaan kilpirauhasmittauksessa.

Ensimmäisen testauksen uudelle prototyypille teki työntekijä. Havaitut virheet ja puutteet korjattiin. Tämän jälkeen prototyyppiä testattiin uudestaan testihenkilöllä. Testihenkilönä toimi sädehoidon yksikön fyysikko. Testihenkilö merkitsi paperimuotoiseen prototyyppiin havaintoja ja virheitä ja projektityöntekijä kirjasi erikseen virheet ja kehitysideat ylös. Testin perusteella päätettiin tehdä kaksi erillistä pikakäyttöopasta suuronnettomuustilanteisiin ja potilasmittauksiin. Käyttöoppaat olivat lähes samanlaisia, mutta selkeyden varmistamiseksi niistä päätettiin tehdä erilliset kappaleet.

Potilasmittauksia varten tehtiin ohje koko kehon annosmäärittämiseen yhden metrin mittausetäisyydeltä ja suuronnettomuustilanteisiin tehtiin ohje 7 ja 20 senttimetrin etäisyydeltä tehtäviin kilpirauhasmittauksiin. Työntekijä sekä testihenkilö testasivat vielä molempia pikakäyttöoppaan prototyyppejä. Kun työntekijä ei havainnut enää puutteita prototyypeissä, sädehoidon yksikön fyysikko teki vielä testaukset molemmille prototyypeille. Tuotteissa ei havaittu enää puutteita, joten tuotteet olivat valmiita. Pikakäyttöoppaat laminoitiin ja sijoitettiin jodimonitorin säilytyslaukuun. Pikakäyttöoppaan sijainnista tiedotettiin käyttäjäryhmää.

5.5 Laitteiston käyttöönottokoulutuksen suunnittelu ja toteutus

Pikakäyttöoppaan ensimmäisen prototyypin tuottamisen jälkeen pidettiin RKG-AT1320A-laitteiston käyttöönottokoulutus sädehoidon yksikön fyysikoille. Pikakäyttöoppaan prototyyppi toimi opetusmateriaalina varsinaisen käyttöoppaan rinnalla. Opetuksessa käytettiin lisäksi Microsoft PowerPoint -esitystä sekä RKG-AT1320A-laitteistoa ja sen käyttöohjetta.

Ennen koulutustapahtumaa tehtiin kattava suunnitelma koulutuksen toteutuksesta, sisällöstä ja aikatauluista. Koulutustapahtuman suunnittelun perustana olivat kuulijat. (Jämsä & Manninen 2000, 65–66.) Suunnitelmaa ja koulutusta tehdessä huomioitiin kuulijan oppimisprosessin vaiheet, jotta oppiminen tehostuisi. Vaiheita ovat esimerkiksi aikaisemman osaamisen aktivointi, tietopohjan lisääminen ja opitun omakohtaistaminen (Kupias 2007, 38–40). Suunnitelma pohjautui Oulun seudun ammattikorkeakoulun opetustapahtumalomakkeeseen sekä tehtyyn taustatutkimukseen. Suunnitelma hyväksyttiin sädehoidon yksikön ylifyysikko Antero Koivulalla. Suunnitelma on tämän raportin liitteenä (liite 1). Kun suunnitelma oli hyväksytty, sen pohjalta toteutettiin PowerPoint-esitys koulutustapahtumaan. PowerPoint-esitys myös hyväksyttiin ylifyysikko Antero Koivulalla.

Tuotteen esteettisyydellä voidaan vaikuttaa kuulijan kiinnostuksen herättämiseen sekä motivaatioon (Jämsä & Manninen 2000, 103). PowerPoint-esityksen valmistelussa huomioitiin havainnollistaminen, opetuksen kohderyhmä, koulutukseen varattu aika sekä tietosisältö. Esityksen ulkoasun tuli olla asiallinen ja selkeä. Havainnollistamiseksi esitykseen lisättiin kuvia laitteistosta ja rakenne pidettiin yksinkertaisena. Tietoa ei laitettu liikaa yhdelle dialle eikä kaikki tieto tullut kerrallaan näkyville. Näin varmistettiin, että kuulijat pystyivät seuraamaan esitystä.

Käyttöönottokoulutus järjestettiin 15.2.2012 sädehoidon yksikön läheisessä neuvotteluhuoneessa. Koulutuksen järjesti projektin työntekijä Salla Sohlo. Koulutukseen osallistuivat Pertti Henttu, Antero Koivula, Sini Ronkainen, Vesa-Pekka Heikkilä ja Aarno Kärnä. Koulutuksen kesto oli yksi tunti. Koulutuksen jälkeen osallistujilta kerättiin palautetta sekä kysymyksiä, jotka projektityöntekijä kirjasi ylös. Käyttöönottokoulutuksessa syntyi keskustelua aiheesta ja laitteen kehittämisestä. Kysymyksiä tuli esityksen aikana ja jälkeen. Koulutuksesta saatiin myös palautetta. Suunnitelmasta poiketen laitteen käyttöä ei harjoiteltu käytännössä. Koulutuksessa päätettiin pitää erillinen käytännön käyttökoulutus seuraavalla viikolla.

Toisessa koulutuksessa laitteen käyttöä demonstroititiin testimittauksella ja osallistujat pääsivät itse kokeilemaan laitetta. Käytännön käyttökoulutus järjestettiin 22.2.2012 ensimmäiseen koulutustapahtumaan osallistuneille henkilöille sädehoidon yksikön isotooppilaboratoriossa ja mittaus-huoneessa. Laitteen käyttöä demonstroititiin ensiksi liuosmuotoisen ^{131}I :n testimittauksella. Tämän jälkeen fyysikot tutustuivat laitteeseen. Koulutuksessa fyysikot tekivät myös kaivokammionmittauksen ^{131}I -liuospurkille, jotta jodimonitorilla saatua arvoa voitiin verrata mittaustulokseen. Tämän perusteella voitiin arvioida jodimonitorin aktiivisuusmittauksien luotettavuutta. Fyysikot harjoittelivat jodimonitorin käyttöä simuloidussa kilpirauhasmittauksessa. Yksi fyysikko toimi mitattavana ja toinen suoritti mittauksen pikakäyttöoppaan prototyypin avulla. Samalla pikakäyttöoppaan prototyyppiä testattiin.

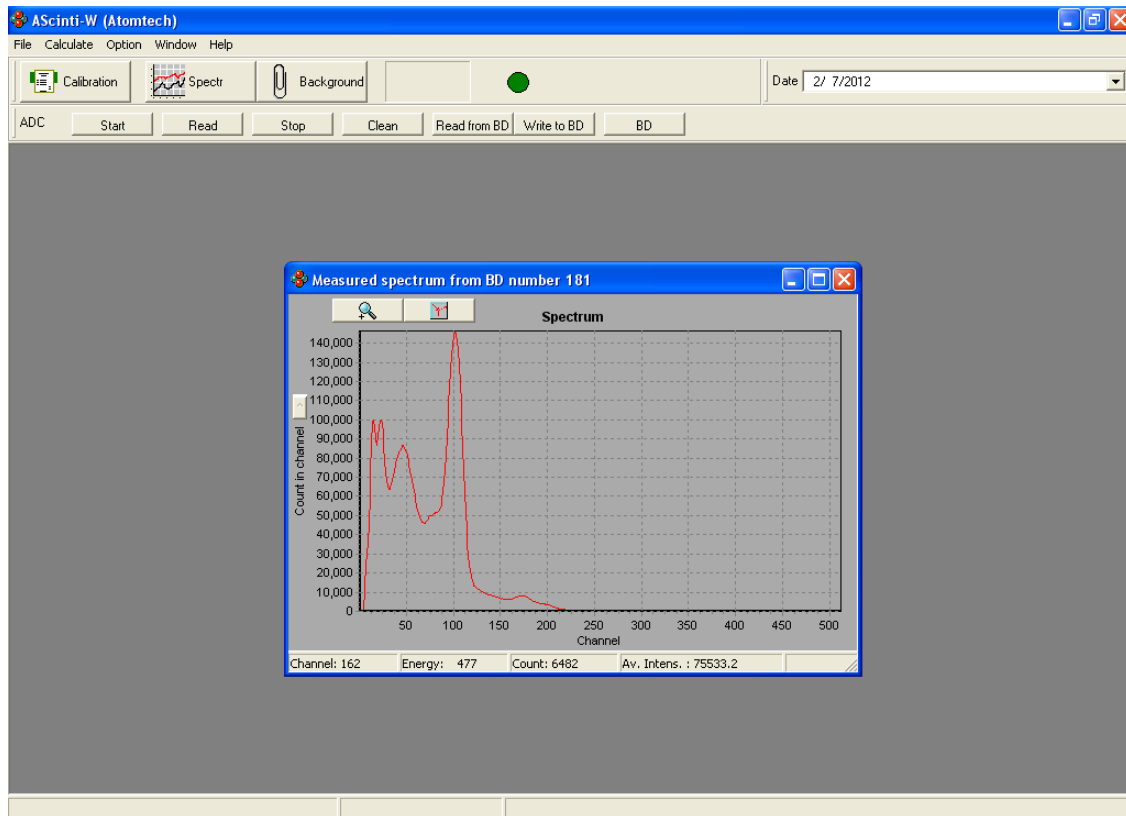
5.6 Ohjelman kehitystyö

Tässä projektissa kehitetty ohjelman prototyyppi on toteutettu MATLAB-ohjelmiston avulla. MATLAB (matrix laboratory) on tieteelliseen ja tekniseen laskentaan tarkoitettu ohjelmisto sekä siinä käytettävä ohjelmointikieli. MATLABilla voi käsitellä matriiseja, luoda käyttöliittymiä, visualisoida funktioita ja dataa sekä toteuttaa algoritmeja. MATLABin voi yhdistää muilla kielillä luotujen ohjelmien kanssa. Ohjelmistoon on saatavilla monia funktioita ja lisätyökaluja (toolbox), joiden avulla mukaan voidaan lisätä erityisaloja koskevaa toiminnallisuutta tai esimerkiksi mahdollisuus symboliseen laskentaan. MATLABia voi käyttää esimerkiksi signaalin- ja kuvankäsittelyssä. MATLAB on The MathWorks-yhtiön ylläpitämä kaupallinen ohjelmisto. (The MathWorks, Inc 1996, 1-3-1-5)

Ohjelman suunnittelu ja toteutus

Ohjelman kehitys aloitettiin viikolla 7. Sädehoidon yksikössä oli MATLAB-ohjelmointiin oppaita, joita hyödynnettiin työssä. Itse ohjelmassa on myös help-toiminto, jolla löytyy monipuolisesti tietoa, kun vain osaa oikeilla komennoilla hakea. Internetistä löytyy myös paljon tietoa ohjelmoinnin tueksi. Pohjatietona oli insinöörin opintoihin kuuluvat kurssit Johdatus ohjelmointiin, Olio-ohjelmointi, Digitaalinen kuvankäsittely ja Reaaliaikajärjestelmät.

Työn ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin miten mittauslaitteistolta saadaan data MATLABiin. Dataan päästiin käsiksi esimerkiksi laitteiston ohjelman AScinti-W_at avulla, jolla haluttu data avattiin ja tallennettiin haluttuun tiedostomuotoon ja kansioon (kuvio 8). Tallentaminen onnistui painamalla hiiren oikeaa näppäintä avatun spektrin kuvaajan päällä. Tällöin avautui valikko, josta voitiin klikata *Save spectrum as...* ja tallentaa data haluttuun muotoon. Data tallennettiin txt-tiedostoon, josta se siirrettiin Excel-tiedostoon.



KUVIO 8. Jodimonitorin ilmaisimesta saatu aktiivisuuden spektri laitteiston ohjelmassa AScinti-W_at.

Kun data saatiin ohjelmaan, pohdittiin spektrin kuvaajan arvojen sisältöä sekä sopivaa tapaa ikkunoida haluttu energiaväli. Asetetusta energiavälistä haluttiin saada laskettua ohjelmalla aktiivisuus. Kanavien välinen energia määritettiin ohjelman AScinti-W_at avulla laskemalla energian suhde kanavien lukumäärään. Ohjelmasta tai laitteesta ei saatu suoraan täsmällistä yhden kanavan energiaa. Ohjelman kuvaajasta valittiin sopiva energiaväli ja arvot kirjattiin pöytäkirjaan (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Ohjelman AScinti-W_at kuvaajasta luetut energian arvot tietyllä kanavalla.

| | Kanavan nro | Energia, keV |
|----------|-------------|--------------|
| Kanava1 | 138 | 400 |
| Kanava 2 | 295 | 900 |

Valittu kanavaväli laskettiin kaavalla 2.

KAAVA 2. Kahden eri kanavan väli (montako kanavaa niiden välillä on).

$$K_v = \text{Kanava2} - \text{Kanava1} = 295 - 138 = 157, \text{ missä}$$

K_v = kahden kanavan väli

Kanavaväliksi saatiin 157 kanavaa. Lasketaan energia tällä kanavavälillä (kaava 3.).

KAAVA 3. Energian laskeminen kanavien 1 ja 2 energioiden väliltä.

$$E_v = \text{Energia2} - \text{Energia1} = 900\text{keV} - 400\text{keV} = 500\text{keV}, \text{ missä}$$

E_v = kahden energian väli

KAAVA 4. Yhden kanavavälin energia (ΔE).

$$\Delta E = \frac{\text{Energiaväli}}{\text{Kanavaväli}} = \frac{500\text{keV}}{157} = 3,184713376\text{keV}/\text{kanava}$$

KAAVA 5. Valitun kanavan energian (E_k) laskeminen.

$$E_k = C \cdot \Delta E, \text{ missä}$$

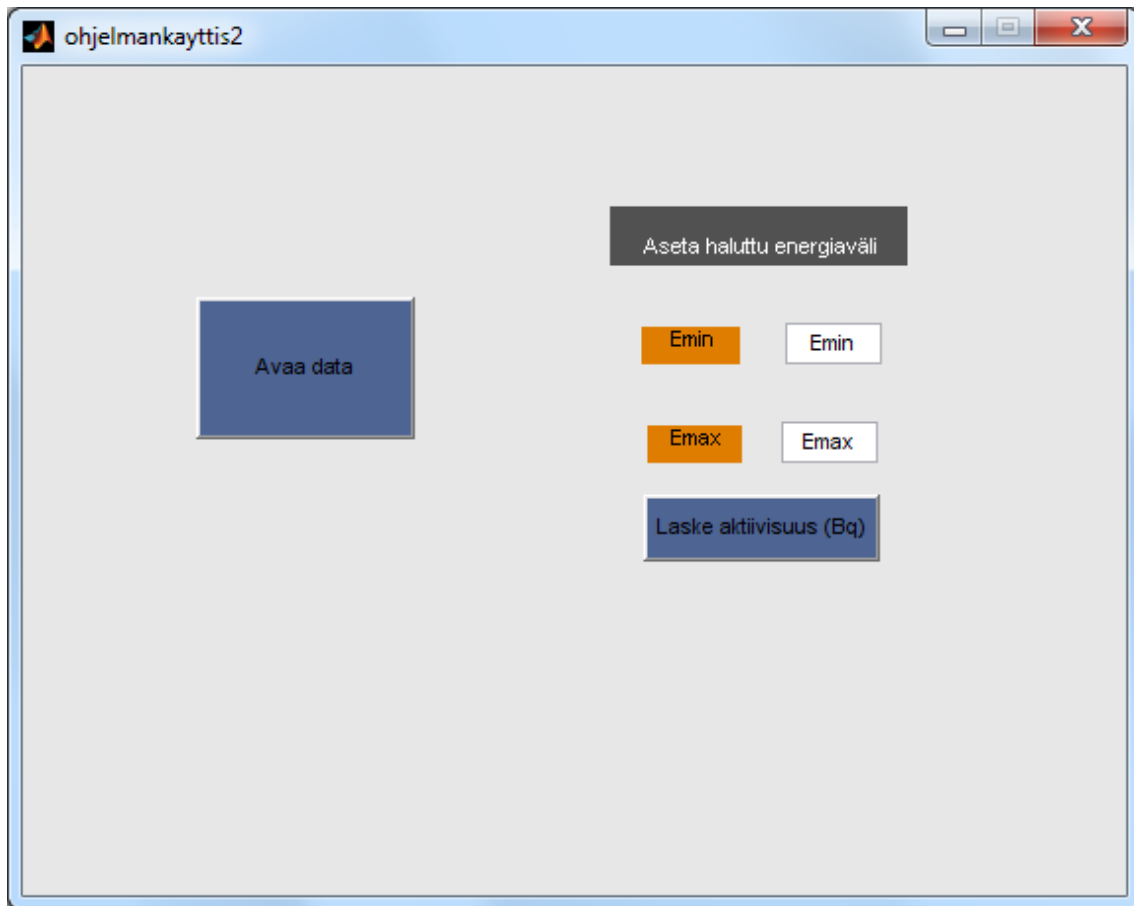
ΔE = kanavien energiaväli

E_k = kanavan energia

C = kanavan numero

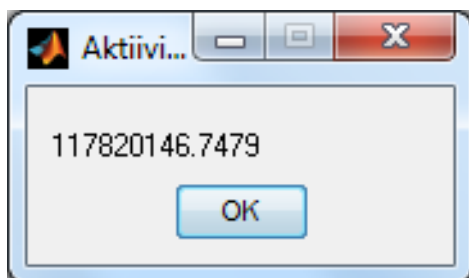
Kun mitattu data oli siirretty Microsoft Excel -tiedostoon, sitä oli helppo hyödyntää MATLAB-ohjelmointiin. Ohjelmaan kehitettiin MATLABilla käyttöliittymä, jossa käyttäjä voi syöttää halutun energiavälin, ja ohjelma näyttää lasketun aktiivisuuden kyseisellä energiavälillä. Ohjelma antaa myös virheilmoituksen, jos syöttö on virheellinen.

Käyttöliittymän väreiksi valittiin hillityt värit, jotka kuitenkin helpottavat käyttäjää hahmottamaan eri valinnat eivätkä häiritse käyttöä. Painonappien väreiksi valittiin sininen ja kirjoituskentät jätettiin valkoiseksi. Muut tekstikentät asetettiin eri väreillä selkeyden takaamiseksi. Tekstin värit valittiin niin, että ne erottuvat taustastaan (kuvio 9).



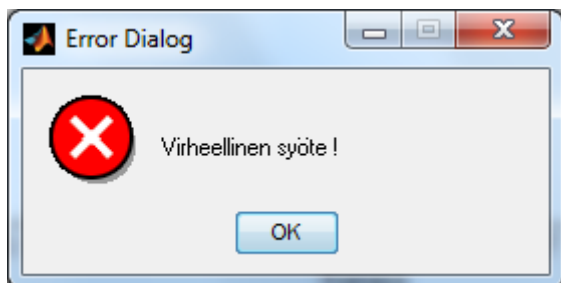
KUVIO 9. Ohjelman käyttöliittymä.

Painonapilla *Avaa data* ohjelma avaa Excel-tiedoston sisältämän spektrin datan. Valkoiseihin *Emin* ja *Emax* kirjoituskenttiin käyttäjä syöttää haluamansa energiavälin. Painonapilla *Laske aktiivisuus (Bq)* ohjelma laskee yhden metrin etäisyydelle kalibroidun aktiivisuuden spektristä. Ohjelman tulostaa aktiivisuuden becquereleina aktiivisuusikkunaan (kuvio 10).



KUVIO 10. Ohjelman laskema aktiivisuus ikkunassa.

Ohjelma tarkistaa kaikki käyttäjän valinnat luotettavan tuloksen varmistamiseksi. Ohjelma tarkistaa, onko käyttäjä avannut tiedoston, ovatko käyttäjän syötteet lukuja, onko maksimienergia suurempi kuin minimienergia, onko minimienergia pienempi kuin maksimienergia, onko minimienergia positiivinen luku ja onko maksimienergia pienempi kuin spektrin energia. Ohjelma tulostaa näytölle virheilmoituksen, jos virhe tapahtuu (kuvio 11).



KUVIO 11. Ohjelman antama virheilmoitus.

Ohjelman toimintaa ja sen laskeman aktiivisuuden luotettavuutta testattiin mittaustestien avulla. Säteihoidon yksikössä tehtiin ensin mittauksia ^{131}I -liuospurkista sekä kaivokammionlaella että jodimonitorilla. Mittauksia tehtiin kolme kappaletta ja tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan (taulukko 6). Seuraavaksi nämä kolme jodimonitorin mittausdataa siirrettiin Excel-tiedostoon, josta ne luettiin yksittellen MATLAB-ohjelmaan. Ohjelman käyttöliittymään asetettiin energiaväliksi $364 \text{ keV} \pm 10 \text{ keV}$. Energiaväli valittiin radiojodin gammasäteilyn energian mukaan, joka on pääosin 364 keV . Jodimonitori mittaa aktiivisuutta energiapiikin lähialueelta, mutta tarkkaa mittaussiväliä ei tiedetä. STUK on asettanut jodimonitoreihin tämän mittaussivälin. Mittausväli löytyy vain kokeilemalla ohjelmalla.

TAULUKKO 6. Ohjelman testauksen mittauspöytäkirja. Ohjelman aktiivisuus väliltä $354\text{--}374 \text{ keV}$.

| Mittaus 2.4.2012 | Kaivokammion aktiivisuus (Bq) | Laskettu aktiivisuus (Bq) | Jodimonitorin aktiivisuus (Bq) | Ohjelman aktiivisuus (Bq) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| mittaus1 | 538350 | 443678 | 3695 | 5714 |
| mittaus2 | 588300 | 443678 | 3444 | 5620 |
| mittaus3 | 669330 | 443678 | 3484 | 6659 |

Testimittauksilla saatuja arvoja vertailtiin ja huomattiin, että ohjelman antama aktiivisuus vastasi kohtalaisesti jodimonitorin näyttämää aktiivisuutta. Oikealla mittausvälillä ohjelman laskema aktiivisuus saataisiin vastaamaan paremmin jodimonitorin aktiivisuutta. Tulokseen vaikuttaa monet virhelähteet, kuten energiavälin valinta, mittaustapahtuman kulku ja mittarit. ¹³¹I-liuospurkin aktiivisuudelle määritettiin vielä laskennallinen arvo vertailua varten (kaava 1). Laskettu vertailuaktiivisuus kirjattiin myös testin pöytäkirjaan (taulukko 5). Mittauspöytäkirjan arvoista kaivokammion aktiivisuus on verrattavissa laskettuun aktiivisuuteen ja jodimonitorin aktiivisuus ohjelman laskemaan aktiivisuuteen. Tämä perustuu siihen, että laskettu aktiivisuus on määritetty 18.1.2012 tehtyjen kaivokammionmittausten perusteella. Jodimonitorissa ja ohjelmassa on eri mittausetäisyys kuin kaivokammiossa, jonka vuoksi arvot eivät ole vertailukelpoisia. Ohjelmassa ja jodimonitorissa mittausetäisyytenä oli yksi metri. Ohjelman laskema aktiivisuus on kalibroitu yhden metrin etäisyydelle kalibroitikertoimella 14,83.

Toisessa ohjelman testissä käyttöliittymään syötettiin jokaisen aktiivisuuden spektrin kokonaisenergiaväli, jolloin ohjelma tulosti yhden metrin etäisyydelle kalibroidun aktiivisuuden koko energiavälillä. Jokaisen testimittauksen data luettiin yksitellen MATLABiin. Energiaväliksi asetettiin 0–1630 keV. Mittaustulokset kirjattiin Excel-tiedostoon. Taulukossa 7 on toisen testauksen mittauspöytäkirja.

TAULUKKO 7. Ohjelman toisen testauksen mittauspöytäkirja. Ohjelman aktiivisuus energiaväliltä 0–1630 keV.

| Mittaus 2.4.2012 | Kaivokammion aktiivisuus (Bq) | Laskettu aktiivisuus (Bq) | Jodimonitorin aktiivisuus (Bq) | Ohjelman aktiivisuus (Bq) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| mittaus1 | 538350 | 443678 | 3695 | 200252 |
| mittaus2 | 588300 | 443678 | 3444 | 194585 |
| mittaus3 | 669330 | 443678 | 3484 | 198646 |

Ohjelma valmistui maaliskuussa 2012 ja se toimii prototyyppinä mahdollisissa jatkokehitysprojekteissa. Tuotettu ohjelma koostuu koodista sekä käyttöliittymästä (kuvio 12). Ohjelma avaa tällä hetkellä vain yhden sisälle valmiiksi koodatun spektrin datan Excel-tiedostosta. Ohjelmaa kannattaa jatkossa kehittää niin, että minkä vain mitatun aktiivisuuden spektrin saa ilmaisimelta ohjel-

maan. Ohjelmaan kehitetty käyttöliittymä on toimiva, sillä se on helppokäyttöinen eikä vaadi käyttäjältä useita valintoja. Käyttöliittymää voi hyödyntää jatkossakin, vaikka koodia muutetaan.

```

163 - if (handles.avattu==0)%testataan onko data avattu "Avaa tiedosto" painikkeella
164 -     error('Tiedostoa ei ole avattu !')
165 - end
166 - handles.Chmin=ceil(handles.Emin/handles.deltaE)%ceil pyöristää ylöspäin kokonaisluvuksi
167 - if handles.Chmin==0
168 -     handles.Chmin=1;%jos minimikanava 0 muutetaan 1
169 - end
170 - handles.Chmax=ceil(handles.Emax/handles.deltaE)%trapz laskee integraalin alueelta
171 - handles.aktiivisuus=trapz(handles.E(handles.Chmin:handles.Chmax),handles.c(handles.Chmin:handles.Chmax))
172 - handles.aktiivisuus=handles.aktiivisuus*14.83;%laskettu aktiivisuus spektristä kerrotaan kalibrointikertoimella
173 - handles.tulos=num2str(handles.aktiivisuus)
174 - msgbox(handles.tulos,'Aktiivisuus laskettu','Eka Matlab GUI');%tulostaa lasketun aktiivisuuden yksikkönä Bq,
175 - guidata(hObject,handles);
176 -
177 -
178 -
179 - % --- Executes on button press in pushbuttonavaa.
180 - function pushbuttonavaa_Callback(hObject,eventdata,handles)
181 - % hObject handle to pushbuttonavaa (see GCBO)
182 - % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
183 - % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
184 - %handles.a = xlsread('aktiivi.xlsx');
185 - %plot(handles.a)
186 - handles.c = xlsread('aktiivi.xls','sheet1','b7:b518');%luetaan data excelistä luokkaobjektiin
187 - handles.k = xlsread('aktiivi.xls','sheet1','c7:c518');
188 - title('Aktiivisuuden spektri')
189 - xlabel('Kanava')
190 - ylabel('Määrä kanavalla')
191 - figure
192 - plot(handles.k,handles.c,'.')%kuvaajaan aktiivisuuden spektri
193 -
194 - handles.deltaE=3.18471338 %ennalta laskettu yhden kanavan energia (energiaväli)
195 - handles.E=handles.deltaE*handles.k;
  
```

KUVIO 12. Ohjelman koodia.

6 PROJEKTIN JA TULOSTEN ARVIOINTI

Projektia ja tuotteita arvioitiin tuotekehityksen aikana ja jälkeen. Arviointi auttaa jäsentämään projektin kulkua, tavoitteisiin pääsyä kokonaisuutena ja omaa työskentelyä. Projektissa esiintyneitä ongelmia, onnistumisia ja ammatillista edistymistä arvioitiin. (Vilkka & Airaksinen 2003, 89, 152). Kehitettyjä tuotteita arvioitiin erillisinä kokonaisuuksina. Arviointia tehtiin testauksien, omien kokemusten, raportoinnin, kirjallisuuden, suunnitelman ja saadun palautteen perusteella.

6.1 Tuotteiden arviointi

Tuotteiden kehitystyössä auttoi laaja taustatutkimus ja viitekehityksen kokoaminen ennen projektin alkua. Projektille asetetut tavoitteet saavutettiin ja jokainen tuote saatiin valmiiksi, vaikka projektin edetessä tuli muutoksia. Mittauslaitteisto saatiin otettua käyttöön sädehoidon yksikössä ja ohjelman prototyyppi sekä pikakäyttöopas luovutettiin yksikön käyttöön. Tuotteiden arviointia helpottivat projektin aikana tehty huolellinen dokumentointi ja raportointi sekä projektisuunnitelmassa kootut laatukriteerit.

Projektissa tuotettiin kaksi pikakäyttöopasta. Kilpirauhasmittauksiin tuotettu opas on tehty alkupe-
räisen ohjeen mukaiseen mittaukseen 7 ja 20 senttimetrin mittausetäisyydelle. Koko kehon mitta-
uksiin suunniteltu opas soveltuu yhden metrin etäisyydeltä suoritettavaan mittaukseen. Käyttötar-
koitukseen käytettynä pikakäyttöoppaat ovat toimivia. Tuotteita voi päivittää, ja ne saa nopeasti
käyttöön laminoituna. Laminoituja pikakäyttöoppaita säilytetään laitteiston salkussa, ja sähköises-
sä muodossa ne löytyvät sädehoidon yksikön tietokoneelta. Molemmat pikakäyttöoppaat ovat
pituudeltaan yhden A4-arkin, joten niitä on nopea käyttää. Päivämäärä oppaassa kertoo tiedon
ajantasaisuuden. Päivittäjän nimi kirjoitetaan myös pikakäyttöoppaan yläviitteeseen. Pikakäyttö-
oppaiden laatukriteerit on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Pikakäyttöoppaiden laatukriteerit.

| LAATUKRITEERIT | OMINAISUUDET | LAADUN ARVIOINTI |
|-------------------|--|--|
| Käytettävyys | Opas helposti ja nopeasti saatavilla ymmärrettävässä muodossa. | Testataan, ymmärtävätkö eri käyttäjät tai ammattiryhmät ohjeen samalla tavalla. Onko ohjeen käyttö suoraviivaista, syntyykö virhetulkintoja? |
| Luotettavuus | Oppaaseen voidaan luottaa, siinä ei ole virheitä ja tieto on oikeaa. | Testauksella todennetaan oppaan luotettavuus. Huolellisella suunnittelulla ja mittauksetapahtumaan perehtymisellä varmistetaan luotettavuus. |
| Asiakaslähtöisyys | Opas on helposti ymmärrettävä, siisti, suoraviivainen ja yksinkertainen. Ulkoasu, kieli. | Testihenkilöillä testaus. Asiakkaan tarpeiden määrittäminen ja ymmärtäminen. |
| Ulkoasu | Selkeä rakenne, helppolukuinen, tasapainoinen. Kirjaintyyppi, jäsentely. | Testihenkilöillä testaus. Vertaaminen muihin ohjeisiin. |
| Kirjallinen kieli | Ymmärrettävä, yleiskieltä, suomenkielinen. | Kielen tarkistus, asiantuntijan käyttö tarkistuksessa. Vertaus muihin ohjeisiin. |
| Kestävyys | Opas sisältää ajankohtaista tietoa. Opasta voi päivittää. | Oppaan ajantasaisuutta voidaan arvioida tekemällä testauksia ja päivittämällä opasta. |

Jodimonitorin käyttöönottokoulutusta varten tehtiin suunnitelma ja PowerPoint-esitys. Käyttöönotkokoulutus oli onnistunut, sillä laitteisto saatiin otettua käyttöön sädehoidon yksikössä. Lisäksi saatiin kattavasti kehitysideoita nykyiseen sekä mahdollisiin tuleviin projekteihin. Koulutuksen aikana ja jälkeen syntyneestä keskustelusta huomasi, että kuulijat olivat motivoituneita laitteen käyttöön ja koulutukseen. Palautteen mukaan esitys oli tarpeellinen, tiivis ja yksityiskohtainen.

Suunnitelmasta poiketen pidettiin lisäksi toinen laitteiston käyttökoulutus, jossa opeteltiin laitteen käyttöä käytännössä. Mielenkiinto pidettiin näin yllä, kun kaikkea ei opetettu kerrallaan. Teoriatieto annettiin ennen käytännön harjoittelua, joten se oli käytännön koulutuksen pohjalla. Koulutukseen osallistuivat kaikki sädehoidon yksikön fyysikot. Käyttöönottokoulutuksen laatukriteerit esitetään alla olevassa taulukossa (taulukko 9).

Mittareita on Suomen sairaaloissa käyttämättöminä 25 kappaletta, joten toimivan käyttötavan kehittäminen edistää jodimonitorien käyttöönottoa myös muualla. Kun jodimonitorit ovat käytössä, niiden käyttäminen sujuu myös suuronnettomuustilanteissa. Tätä nykyä jodimonitorien käyttö onnettomuustilanteissa voi olla epävarmaa, sillä käyttäjillä ei ole käyttökokemusta. Tämän projektin ansiosta Oulun yliopistollisessa sairaalassa jodimonitoria osataan käyttää koulutuksen perusteella.

TAULUKKO 9. Käyttöönottokoulutuksen laatukriteerit.

| LAATUKRITEERIT | OMINAISUUDET | LAADUN ARVIOINTI |
|------------------------------|---|---|
| Sujuvuus | Osallistujamäärä, suunnitelmallisuus, aikataulussa pysyminen. | Koulutuksen sujuvuutta voidaan arvioida suunnitelman ja aikataulun mukaan. Dokumentoinnin avulla suoritetaan myös arviointia. |
| Luotettavuus | Suunnitelma, perehtyminen, tieto, lähteet. | Tiedon luotettavuuden arviointi käytettyjen lähteiden ja suunnitelman perusteella. |
| Asiakaslähtöisyys | Määritetyt käyttäjät, ajankohta, tiedon esittämistapa, opetustapa, kuulijoiden voimavarat. | Asiakaslähtöisyyttä voidaan arvioida riittävällä perehtymisellä asiakkaaseen sekä suunnitelman avulla. |
| Käyttöympäristöön sopivuus | Käyttöönotto on suunniteltu tiettyyn ympäristöön. Määritetyn käyttöympäristön saatavuus. | Arvioidaan dokumentoinnin perusteella. Riittävä taustatutkimus, tiloihin tutustuminen ja suunnittelu lisäävät laatua. |
| Käyttötarkoitukseen sopivuus | Suunniteltu tiettyä tarkoitusta varten. Käyttäjät tiedostavat tuotteen käyttötarkoituksen. Käyttäjät kokevat tiedon oleelliseksi. | Koulutuksen sopivuutta mitauslaitteiston käyttöönottoon voidaan arvioida dokumentoinnin perusteella. Koulutuksen vaikuttavuus kertoo myös sopivuudesta. |
| Vaikuttavuus | Motivaatio, tiedon ymmärtäminen, tiedon soveltaminen, tiedon omaksuminen. | Arvioidaan, miten koulutuksen saaneet omaksuvat koulutuksessa saadut tiedot osaksi toimintatapojaan dokumentoinnin ja havainnoinnin perusteella. |

Projektissa tuotettu MATLAB-ohjelman prototyyppi kehitettiin taustatutkimuksen ja suunnitelman perusteella. Tuotekehityksen ajan tehtiin testausta, kunnes tuote oli virheetön. Ohjelmaan kuuluu koodi sekä käyttöliittymä. Käyttöliittymän suunnittelussa käytettiin hyväksi insinöörin opintoihin kuuluvaa Käyttöliittymäsuunnittelun perusteet -kurssia. Ohjelman kehitysosio oli haastavin, sillä ohjelmointi ei ole ollut koskaan vahvin lajini. Ohjelmistokehityksessä sain apua Jukka Jauhiaiselta.

Aikataulut ja ohjelmoijan ammattitaito huomioon ottaen ohjelmistokehityksessä ei pyritty ihmeellisiin tuloksiin. Ohjelmasta tuli toimiva ja tilaajan toiveiden mukainen. Alkuperäisen suunnitelman mukainen ohjelmasta ei kuitenkaan tullut, vaan ohjelmaa kehitettiin projektin edetessä esille tulleiden asioiden pohjalta. Ohjelmalle saatiin luotua sujuvasti toimiva käyttöliittymä. Ohjelmasta tehtiin mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Aika oli suurin rajoittava asia ohjelmistokehityksessä, ja siksi päädyttiin tuottamaan vain toimiva prototyyppi. Taulukossa 10 esitetään ohjelmalle asetetut laatukriteerit.

TAULUKKO 10. Ohjelman laatukriteerit.

| LAATUKRITEERIT | OMINAISUUDET | LAADUN ARVIOINTI |
|------------------------------|---|--|
| Käytettävyys | Helposti ja nopeasti saatavilla. Yksinkertainen ja virheetön. Suoraviivainen eteneminen. Ei virhevalintojen mahdollisuutta tai ne korjataan automaattisesti. | Toteutetaan käyttäjätestauksilla. Voidaan mitata esimerkiksi virhetilanteiden määrää tai ajankäyttöä. |
| Luotettavuus | Ohjelma eli koodi on virheetön. Toiminta varmaa ja suoraviivaista. | Ohjelman testaus. Käyttäjätetit ja suunnittelijan testaus. Virheiden määrää/esiintyvyyttä voidaan mitata. |
| Asiakaslähtöisyys | Käytön osaaminen eri käyttäjäryhmissä. Ymmärrettävyys. Kaikki testikäyttäjät kulkevat saman polun ja pääsevät samaan lopputulokseen. | Mitataan asiakaskyselyillä tai etenemistä kuvaavilla kaavakkeilla. |
| Käyttöympäristöön sopivuus | Ohjelma on yhteensopiva tietokoneen ja mittarin ohjelman kanssa. | Ohjelman asennuksen testaus. Saadaanko ohjelma asennettua tietokoneeseen ja toimiiko se virheettömästi mittarin ohjelman kanssa? |
| Käyttötarkoitukseen sopivuus | Ohjelman rakenne on suunniteltu ja toteutettu määritetyn käyttötarkoituksen mukaan. Kun ohjelmaa käytetään sille suunniteltuun käyttötarkoitukseen, se toimii virheettömästi ja suoraviivaisesti. | Voidaan mitata asiakaskyselyillä ja testauksilla. |

6.2 Projektin arviointi

Minulla oli aikaisempaa kokemusta projektityöskentelystä, sillä olen suorittanut kaksi projektityön kurssia insinöörin opintoihin. Lisää tietoa projektityöskentelystä ja tuotekehityksestä sain röntgenhoitajan opintoihini kuuluvilla kursseilla Tutkimus- ja tilastomenetelmien perusteet sekä Tutkimus- ja kehittämismenetelmien sovellukset III. Syventävää tietoa tuotekehityksestä sain myös insinöörin opintoihin kuuluvista kursseista Käyttöliittymä suunnittelun perusteet ja Projektityöt 3.

Projektin toteutus onnistui todella sujuvasti, sillä yksin tehtäessä aikatauluja ei tarvitse sovittaa toisen ryhmäläisen kanssa yhteen. Hyvin tehty suunnitelma toimi perustana projektityöskentelyssä ja auttoi etenemään aikataulun mukaisesti. Aikataulussa oli huomioitu riittävä väljyys yllättäviä tehtäviä ja tilanteita varten. Myös muiden projektiorganisaatioon kuuluvien henkilöiden kanssa aikataulut saatiin sovittua lähes ongelmitta ja yhteistyö sujui erinomaisesti. Projektityöntekijä ei sairastunut ja henkiset voimavarat riittivät projektin läpivientiin ajallaan. Työtä varten suunniteltu budjetti ei ylittynyt. Lähteinä käytin kotimaisia sekä kansainvälisiä artikkeleita, tutkimuksia ja kirjallisuutta.

Raportointia tehtiin koko projektin ajan, mikä helpotti loppuraportin kirjoitusta. Hyvin tehty raportointi lisäsi myös projektin tulosten laatua. Pienet ja merkityksettömiltä tuntuvat asiat kirjattiin myös muistiin, sillä niitä tarvitsee usein myöhemmässä vaiheessa. Varsinaisessa tuotekehitysvaiheessa pidettiin opinnäytetyöpäiväkirjaa, joka sisälsi tavoitteet viikoittain ja toteumat päivittäin. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 19–20.) Viikkotavoitteet jaettiin pienempiin päiväkohtaisiin tavoitteisiin, mikä auttoi aikataulussa pysymisessä ja asioiden hoitamisessa. Työt eivät jääneet roikkumaan, kun tietylle päivälle oli tietty työ. Jos tehtävä jäi tekemättä, se tuli hoidettua heti seuraavana päivänä, jotteivät työt kasaantuisi.

Projektin edetessä havaittiin myös ongelmia. Tutkimusluvan hakemiseen kulunut aika aiheutti hieman viivästyksiä aikataulussa. Lisäksi ohjelman kehitys oli haastavaa ja aikaa vievää. Välillä myös koulun puolelta saatavan ohjauksen puute tai sen viivästyminen aiheutti ongelmia. Tilaajan puolelta saatiin tarvittavaa ohjausta. Työtä tehtäessä ilmeni, että tekemistä olisi ennakoitua enemmän. Projektin työmäärä piti rajata tavoitteiden saavuttamiseksi sopivaksi kokonaisuudeksi, sillä työhön oli varattu tietty tuntimäärä. Suuresta työmäärästä löytyi uusia aiheeseen liittyviä kehityshaasteita, joten aiheesta voi toteuttaa uusia projekteja. Ohjelman kehitystä hidasti se, ettei

työkoneellani ollut Excel-tilukkolaskentaohjelmaa, joten jouduin käymään ohjelmoimassa Tekniikan yksikössä.

Omat oppimistavoitteeni tälle projektille täyttyivät, sillä olen oppinut paljon lisää projektityöskentelystä. Olen tehnyt kaikki projektin osa-alueet itse, joten pystyn hahmottamaan projektin kokonaisuutena. Olen saanut harjoitusta jokaisesta projektin vaiheesta, mikä on etu tulevaisuutta varten. Työn aikana olen perehtynyt hyvin säteilysuojeluun ja isotooppeihin, mikä auttaa tulevassa röntgenhoitajan ammatissa. Mittauksista ja ohjelman kehityksestä olen saanut kokemusta insinöörin ammattiin.

7 POHDINTA

Valitsin opinnäytetyön aiheeksi radiojodihoidon annosmittauslaitteiston kehitystyön, koska halusin yhdistää kaksi eri ammattia yhdessä opinnäytetyössä. Lisäksi halusin ehdottomasti tehdä jotakin, josta on konkreettista hyötyä tilaajalle. Tuotekehitystyön valitsin, koska minulla oli aikaisempaa kokemusta tuotekehitysprojektista. Valintaa ohjasivat myös tilaajan asettamat tehtävät. Valittu aihe tarjosi puitteet sekä röntgenhoitajan että insinöörin ammattiin kasvuun.

Aikataulussa pysyttiin pääosin hyvin. Myöhästymiset johtuivat sopimus- ja lupa-asioiden hitaasta hoitamisesta. Aikataulu oli kuitenkin tehty hyvin joustavaksi ja aikaa koko projektiin oli varattu riittävästi. Myöhästymiset eivät vaikuttaneet työn etenemiseen, ja aikataulu saatiin nopeasti kiinni.

Projektissa havaittuja ongelmia olivat muutokset ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjeissa ja laaja aihe. Ohjaavilla opettajilla ei ollut vielä kokemusta uusien ohjeiden mukaan tehdyistä töistä, mikä hankaloitti hieman ohjausta. Koska aihe oli haastava ja laaja, sen rajaaminen oli keskeinen osa projektin onnistumista. Välillä työssä ilmeni liikaa kehitysideoita. Tehtävän rajaaminen oli epätarkka tilaajan puolelta, joten tehtävää ja tavoitteita muutettiin välillä. Projektissa oli kuitenkin tiedossa tehtävän muuttumisen mahdollisuus, sillä aluksi ei oikein tiedetty, mitä laitteistolla voi edes tehdä. Pelkästään laitteen käytön ja ominaisuuksien selvittelyyn olisi saanut kulumaan paljon aikaa. Tehtävänä oli kuitenkin myös tuotteiden teko ja raportointi, joten laitteen käyttöön ei voitu keskittyä niin syvästi. Yksi ongelma oli myös ohjelmoinnin tukihenkilön muutto pois paikkakunnalta, joten jouduin tulemaan toimeen opettajan ja tilaajan ohjaajien avustuksella.

Onnistumisia projektissa olivat aiheen valinta sekä oppimiskokemukset. Aihe oli mielenkiintoinen ja haastava, mikä lisäsi motivaatiota projektin läpivientiin sekä omaa oppimistani. Onnistumisen kokemukset työn teossa auttoivat jaksamaan silloin, kun tuntui, ettei työ etene. Säteihoidon yksikön ilmapiiri oli viihtyisä ja projektin etenemistä tukeva, ja tilaajan kanssa oli helppo tehdä yhteistyötä. Tuotekehitysvaiheessa opin rajaamaan aihetta ja työkokonaisuuksia sekä toteuttamaan tehtäviä aikataulun mukaisesti. Asiantuntemus kilpirauhassyövästä sekä isotooppien säteilyturvallisuudesta lisääntyi. Tiedonhaku oli yksi työn epämiellyttävimmistä vaiheista, mutta opin arvioimaan lähteitä sekä etsimään tieteellisiä ja päteviä tutkimuksia.

Mittauslaitteiston kehitystyön jatkotoimia suunniteltiin käyttöönottokoulutuksessa esille tulleiden ehdotusten ja pohdintojen perusteella. Jo projektin aikana päätettiin kehittää sängyssä suoritettava mittausprotokolla, jolloin potilaan ei tarvitse itse pitää mittaria. Tällöin potilaan kunto ei vaikuta mittaustulokseen ja mittauksen onnistumiseen. Sänkymittauksia varten sädehoidon yksikön fyyssikko rakensi jodimonitorille mittaustelineen. Mittaustelineeseen voidaan sijoittaa ilmaisin sekä prosessointiyksikkö. Sänkymittauksia päätettiin tehdä yhden metrin etäisyydeltä potilaan miekkalisäkkeen kohdalta. Lisäksi suoritettiin jodimonitorin kalibrointi yhden metrin mittausetäisyydelle laskemalla testimittauksista saatujen arvojen perusteella kalibroitikerroin. Yhden metrin etäisyydeltä tehtävässä mittauksessa tausta mitataan eristyshuoneen ulkopuolella ja potilasmittaus tehdään mittaustelineellä potilaan maatessa sängyllä. Sänky lasketaan mahdollisimman alas. Tuotettua ohjelmaa voidaan käyttää hyväksi mahdollisissa kehityshankkeissa. Nykyisellään ohjelma on lähinnä prototyyppi. Ohjelmaa kannattaa jatkossa kehittää niin, että minkä tahansa aktiivisuuden spektrin saa ilmaisimelta ohjelmaan.

Tämän projektin tuotteiden markkinointi kohdistetaan rajatulle asiakasryhmälle eli radiojodihoitoja tarjoaville yksiköille, joilla on käytössä jodimonitori RKG-AT1320A. Markkinointia voidaan toteuttaa esimerkiksi sähköpostilla. Kohderyhmän ollessa pieni markkinointia voidaan toteuttaa myös kohdennetuilla mainoslehtisillä. Kuluttajansuojalaki ja tuoteturvallisuuslaki säätelevät markkinointia (Jämsä & Manninen 2000, 124).

Säteilysuojelu oli yksi projektin keskeisimpiä asioita, jota tuli pohtia itsensä ja muiden kannalta. Säteilysuojelussa tuli ottaa huomioon lait, asetukset ja ohjeet. Käytännössä oma ja muiden säteilyaltistus tuli pitää mahdollisimman vähäisenä oikeilla työtavoilla. Omissa työtavoissa tuli ottaa huomioon ST-ohjeessa 1.6 esitetyt asiat, kuten oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaatteet sekä annosrajoitukset (Säteilyturvallisuus työpaikalla 2009, 3).

Projektityöskentelyn opettelemisesta on minulle hyötyä tulevissa ammateissani sekä insinöörinä että röntgenhoitajana. Monissa työpaikoissa toteutetaan projekteja, joten on hyvä, että työntekijät osaavat työskennellä niissä. Opinnäytetyö oli erittäin opettava ammattiin kasvun kannalta, sillä projekti oli monipuolinen ja sisälsi erityisosaamista monelta osa-alueelta.

LÄHTEET

Al-Shakhrah, I. 2008. Radioprotection using iodine-131 for thyroid cancer and hyperthyroidism: a review. *Clinical journal of oncology nursing* 12 (6), 905–912.

Atomtex. 2003. Gamma-radiometer RKG-AT1320 -Operation manual.

Becker, DV., Sawin, CT. 1996. Radioiodine and thyroid disease: the beginning. *Seminars in nuclear medicine* 26 (3), 155–64.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 5.9.2007/47/EY.

Haar, J. 2011. Iodine-131 Release Spreading Through Europe. Hakupäivä 21.3.2012, <http://www.decodedscience.com/iodine-131-release-spreading-through-europe/5688>.

Haikala, I. & Märijärvi, J. 2006. Ohjelmistotuotanto. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ikäheimonen, T. K., Klemola, S., Vesterbacka P. & Rahola, T. 2002. Aktiivisuuden määrittäminen. Teoksessa T. K. Ikäheimonen (toim.). *Säteily- ja ydinturvallisuus*. Hämeenlinna: Karisto Oy. Hakupäivä, 23.2.2012, http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja1/_files/12222632510020948/default/kirja1_5.pdf.

International Atomic Energy Agency. 2009. *Nuclear Medicine in Thyroid Cancer Management: A Practical Approach*. Wien.

International Organization for Standardization. 2011a. ISO/IEC 9126-1:2001. Hakupäivä 2.11.2011, http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=22749.

International Organization for Standardization. 2011b. ISO/IEC TR 9126-2:2003. Hakupäivä 14.11.2011,

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=22750.
International Organization for Standardization. 2011c. ISO/IEC TR 9126-3:2003. Hakupäivä 14.11.2011,
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=22891.

Jaakkola, M. Lahden kauppaoppilaitos. 2003. Ohjelmistotuotanto. Hakupäivä 12.11.2011,
<http://edu.phkk.fi/opiskelu/ohjperjava/ohjelmistotuotanto.htm>.

Joensuun yliopisto. Tietojenkäsittelytieteen laitos. 2007. Tuotelaatu - Product Quality. Hakupäivä 7.11.2011, http://cs.joensuu.fi/tSoft/stan_iso9126.htm.

Jokela, K. 2006. Ionisoimaton säteily ja sähkömagneettiset kentät. Teoksessa Nyberg, H. & Jokela, K. Sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna: Karisto Oy, 17.

Jokinen, T. 1993. Tuotekehitys 500. Helsinki: Kyriiri Oy, 16.

Jämsä, K. & Manninen, E. 2000. Osaamisen tuotteistaminen sosiaali- ja terveysalalla. Helsinki: Tammi.

Kilpirauhasen jodimittaukset valmiustilanteissa. 2006. Säteilyturvakeskuksen esite. Hakupäivä 5.5.2011,
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/esitteet/_files/12222632510021099/default/radioaktiivinen_jodi_ja_kilpirauhanen.pdf.

Kiviniemi, H. & Mäkelä, J. 2010. Kilpirauhaskyhmyn tutkimukset ja leikkausaiheet. Lääkärilehti 16 (65), 1425–1429.

Klemola, S. 2002. Säteilyn ilmaisimet. Teoksessa T. K. Ikäheimonen (toim.) Säteily ja ydin turvallisuus. Hämeenlinna: Karisto Oy, 116, 120, 123–124. Hakupäivä 23.2.2012,
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja1/_files/12222632510020947/default/kirja1_4.pdf.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa O. Pukkila (toim.) Säteilyn käyttö. Hämeenlinna: Karisto Oy, 222.

Kupias, P. 2007. Kouluttajana kehittyminen. Helsinki: Ylioppilaspaino.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 24.6.2010/629.

Mattsson, S., Johansson, L., Jönsson, H. & Nosslin, B. 2006. Radioactive iodine in thyroid medicine - How it started in Sweden and some of today's challenges. *Acta Oncologica* 45 (8), 1031–1036.

Maxon, H., Englaro, E., Thomas, S., Hertzberg, Y., Hinnefeld, J., Chen, L.S., Smith, H., Cummings, D. & Aden, M. 1992. *The Journal of Nuclear Medicine* 33 (6), 1132.

Mustajoki, P. 2009. Tietoa potilaalle: Kilpirauhasen kasvaimet (kyhmy kilpirauhasessa). Lääkärikirja Duodecim. Hakupäivä 27.4.2011,
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00664.

Mäenpää, H. & Tenhunen, M. 2003. Kilpirauhassyövän radiojodihoito. Teoksessa Sovijärvi, A., Ahonen, A., Hartiala, J., Länsimies, E., Savolainen, S., Turjanmaa, V. & Vanninen, E. (toim.) *Klininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Hämeenlinna: Karisto Oy, 655–659.

Mäenpää, H. & Välimäki, M. 2010. Papillaarisen ja follikulaarisen kilpirauhassyövän seuranta – mitä ja missä? *Aikakauskirja Duodecim* 126 (20), 2093–2101.

Pelin, R. 2004. Projektihallinnan käsikirja. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

Peltari, H., Mäenpää, H. & Välimäki, M. 2007. Papillaarinen ja follikulaarinen kilpirauhassyöpä. *Aikakauskirja Duodecim* 123 (17), 2093–2101.

Peterson, M. 2006. Radioiodine Treatment of Hyperthyroidism. *Clinical Techniques in Small Animal Practice* 21, 34–39.

Pukkala, E., Sankila, R. & Rautalahti, M. 2011. *Syöpä Suomessa 2011*. Helsinki: Painotalo Miktor Oy.

Rutherford, G-C., Franc, B. & O'Connor, A. 2008. Nuclear medicine in the assessment of differentiated thyroid cancer. *Clinical Radiology* 63, 453–463.

Sandberg, J. & Paltema, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Teoksessa T. K. Ikkäheimo-
nen (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Hämeenlinna: Karisto Oy, 5, 11–12, 40–42.

Sankila, R. & Pukkala, E. 2009. Sairauksien ehkäisy. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Haku-
päivä 26.4.2011, http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=seh00016#s7.

Suomen Syöpärekisteri, www.syoparekisteri.fi, päivitetty 21.10.2011. Tärkeimpiä tilastotietoja
lyhyesti Suomi – Kilpirauhanen. Hakupäivä 2.3.2012, [http://www-
dep.iarc.fr/NORDCAN/FI/StatsFact.asp?cancer=330&country=246](http://www-dep.iarc.fr/NORDCAN/FI/StatsFact.asp?cancer=330&country=246).

Suomen Syöpärekisteri, www.syoparekisteri.fi, päivitetty 21.10.2011. Vuosittaiset keskimääräiset
syöpätapauksien määrät vuosina 2005–2009 primaaripaikoittain ja sairaanhoitopiireittäin, miehet.
Hakupäivä 1.3.2012, <http://stats.cancerregistry.fi/stats/fin/vfin0011i0.html>.

Suomen Syöpärekisteri, www.syoparekisteri.fi, päivitetty 21.10.2011. Vuosittaiset keskimääräiset
syöpätapauksien määrät vuosina 2005–2009 primaaripaikoittain ja sairaanhoitopiireittäin, naiset.
Hakupäivä 1.3.2012, <http://stats.cancerregistry.fi/stats/fin/vfin0012i0.html>.

Sudbrock, F., Uhrhan, K., Rimpler, A. & Schicha, H. 2011. Dose and dose rate measurements for
radiation exposure scenarios in nuclear medicine. Radiation measurements 46 (11), 1303–1306.

Säteilylaki 27.3.1991/592.

Säteilynkäyttö isotooppilääketieteessä. 2003. ST-ohje 6.3. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Hakupäi-
vä 22.4.2011, http://www.finlex.fi/data/normit/14290-ST6_3.pdf.

Säteilysuojelu 97. Säteilysuojelu jodi 131 –hoidon jälkeen (avohoitopotilaista ja sairaalasta pääs-
seistä aiheutuva altistus). 1999. Luxemburg: Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto.
Hakupäivä 26.4.2011,
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/097_fi.pdf.

Säteilyturvakeskus. 2005. Ionisoiva säteily. Hakupäivä 7.9.2011,
http://www.stuk.fi/julkaisut/katsaukset/pdf/ionisoiva_sateily.pdf.

Säteilyturvakeskus. 2006. Kilpirauhasmittaukset valmiustilanteissa. Hakupäivä 14.2.2012, http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/esitteet/_files/12222632510021099/default/radioaktiivinen_jodi_ja_kilpirauhanen.pdf.

Säteilyturvakeskus. 2010. Ionisoiva säteily. Hakupäivä 27.5.2011, http://www.stuk.fi/sateilytietoa/mitaonsateily/fi_FI/ionisoiva/.

Säteilyturvallisuus työpaikalla. 2009. ST-ohje 1.6. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Hakupäivä 14.3.2012, <http://www.finlex.fi/data/normit/5773-ST1-6.pdf>.

Tekijänoikeuslaki 8.7.1961/404.

The MathWorks, Inc. 1996. Using MATLAB. Version 5.

Voutilainen, P. 2001. Kilpirauhassyövän ennuste ja ultraääniveitsen käyttö kilpirauhassyöpäkirurgiassa. Suomen Lääkärilehti 56 (8), 945.

Vilkka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Välimaa, V., Kankkunen, M., Lagerroos, O. & Lehtinen, M. 1994. Tuotekehitys – Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Välimäki, M. 2008. Kilpirauhasen syöpä. Suomen Endokrinologiyhdistys ry. Hakupäivä 20.4.2011, http://www.terveysportti.fi/pls/kotisivut/kotisivut.sivut.nayta?p_sivu=10479.

Öster, H. 2006. Täsmähoitoa radioaktiivisilla isotoopeilla. Alara, 3, 8-9. Hakupäivä 3.5.2011, http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/alara/alara_verkossa/fi_FI/alara_2006/_files/80804097613824036/default/Alara3_06.pdf.

Julkaisemattomat lähteet

Heikkilä, VP., sairaalafyysikko, Oulun yliopistollinen sairaala, Säteihoidon yksikkö. 2011. Haastattelu 5.5.2011.

LIITTEET

KÄYTTÖÖNOTTOKOULUTUKSEN SUUNNITELMA

LIITE 1

Tämä suunnitelma sisältää tiedot opinnäytetyön projektissa tuotettavan käyttöönottokoulutuksen aikatauluista ja sisällöstä. Koulutustapahtumassa esitellään jodimonitori RKG-AT1320A ja opetellaan sen käyttöä. Jodimonitori RKG-AT1320A on gammaspektrometri ja sitä käytetään gammasäteilyn aktiivisuuden määrittämiseen esimerkiksi radiojodihoitoa saavan potilaan mittauksissa.

Käyttöönottokoulutus järjestetään Oulun yliopistollisen sairaalan Säteihoidon yksikön fyysikoille. Koulutuksen kohderyhmänä on työikäisiä ja heillä voi olla aikaisempaa kokemusta laitteen käytöstä. Kattavaa koulutusta laitteiston käyttöön heillä ei kuitenkaan ole. Koulutuksen kesto on noin tunti ja se pidetään Säteihoidon yksikön läheisessä neuvottelu huoneessa.

Koulutuksen tavoitteena on ottaa käyttöön jodimonitori RKG-AT1320A Säteihoidon yksikössä. Kuulijoiden tavoitteena on oppia käyttämään laitteistoa työssään. Koulutuksen järjestäjän tavoitteena on toteuttaa koulutustapahtuma onnistuneesti sekä saada lisää kokemusta opetustapahtuman järjestämisestä. Ohjaavana oppimiskäsityksenä tapahtumassa on kognitiivinen ja kokemuksellinen oppimiskäsitys, sillä opetuksessa käytetään sekä suullista opetusta, pienryhmän pohdintaa että käytännön harjoittelua. Motivaationa kuulijoille on selkeä kohde, johon koulutusta tullaan käyttämään. Osallistuja ei saa mitään palkintoa oppimisestaan, vaan hän opiskelee itseään varten.

Käyttöönottokoulutus toteutetaan PowerPoint-esityksen, käyttöohjeiden sekä laitteiston esittelyn avulla. Koulutustilaisuudessa jaetaan osallistujille jodimonitori RKG-AT1329A pikakäyttöopas. Laitteiston käyttöohje laitetaan kiertämään, jotta osallistujat voivat selailla sitä. Opetusryhmä on pieni, joten yhtenä opetuskeinona on pohtiva keskustelu ja kysymykset. Kuulijat pääsevät myös itse käyttämään laitetta, jolloin oppiminen tehostuu.

Koulutuksen järjestää projektin työntekijä Salla Sohlo. Koulutus pohjautuu RKG-AT1329A laitteiston käyttöohjeeseen sekä tehtyyn taustatutkimukseen. Taustatutkimuksena on opeteltu käyttämään laitetta, tehty erilaisia testimittauksia sekä tutustuttu laitteen teknisiin ominaisuuksiin. Koulutustapahtuman jälkeen kerätään kuulijoilta suullista palautetta koulutuksen onnistumisesta. Koulutuksen pitäjä kirjaa palautteen ylös arviointia varten.

| Sisältö | Opetusmenetelmä | Havainnollis- taminen / oppi- materiaali | Aika | Oppijan tavoite | Arviointi |
|--|---|---|------------|--|--|
| Koulutuksen aloitus | Suullinen esitys. | PowerPoint | 2 min. | Orientoituminen opetukseen. Projektin taustan ymmärtäminen. | Osallistujien viestinnän havainnointi. |
| Jodimonitorin esittely | Suullinen esitys, laitteiston esittely käytännössä, käyttöohje ja pikakäyttöopas kiertävät. | PowerPoint Jodimonitori RKG-AT1320A | 3 min. | Laitteen rakenne ja käyttökohde selviää. | Osallistujien viestinnän havainnointi. |
| Taustan esittely | Suullinen esitys. | PowerPoint | 6 min. | Lisätietoa laitteesta ja projektista. | Osallistujien viestinnän havainnointi. |
| Laitteen käytön opettelu | Suullinen esitys, laitteiston esittely käytännössä, käyttöohje ja pikakäyttöopas kiertävät. | PowerPoint Jodimonitori RKG-AT1320A ja käyttöohje Pikakäyttöoppaan prototyyppi | 20 min. | Laitteen käyttö, valikot, näppäimet ja mittaus selviää. | Osallistujien viestinnän havainnointi. |
| Laitteen käytön harjoittelu, keskustelua | Suullinen opastus, ryhmätyöskentelyä ja pohdintaa. | PowerPoint Jodimonitori RKG-AT1320A ja käyttöohje Pikakäyttöoppaan prototyyppi | 15 min. | Opitaan käyttämään laitetta työssä. Syntyy keskustelua ja kysymyksiä | Osallistujien viestinnän havainnointi. |
| Koulutustapahtuman päättäminen | | PowerPoint | 1 min. | Koulutuksen sisältö on selvillä. | Osallistujien viestinnän havainnointi. |

Koulutuksen kulku

Ennen koulutusta

- Suunnitellaan koulutus. Selvitetään mitä koulutuksen tulee sisältää ja miten opetus järjestetään.
- Sovitaan osallistujille sopiva koulutuspäivä ja -aika. Varataan tarvittavat tilat (demonstraatio).
- Kutsutaan osallistujat koulutukseen (sähköposti ja suullinen kutsu).
- Järjestetään tarvittaessa kahvitarjoilu.
- Ladataan laitteisto. Pakataan laitteisto salkkuun. Järjestetään salkku koulutuspaikalle.

Koulutustapahtumassa

- Aloitus: Esittelen itseni ja opinnäytetyöni lyhyesti (PP, 2 min.).
- Jodimonitorin esittely: Jaetaan pikakäyttöopas ja laitetaan käyttöohje kiertämään. Otetaan laite esille salkusta. Laitteen esittely (PP + RKG-AT1320A laitteisto, 3 min.)
- Mittaustapahtuman esittely (PP, 3 min.)
- Tehdyt testimittaukset lyhyesti (PP, 2 min.).
- Testeillä havaitut virhetilanteet (PP, 3 min.).
- Jatkokehitystoimet: Mitä tulen vielä tekemään? Ohjelman kehityssuunnitelma (PP, 1 min.).
- Laitteen käytön opettelu: Pohjana PP ja pikakäyttöopas, joiden mukaan edetään. Tässä vaiheessa aletaan käyttämään laitetta. Ensin käydään läpi monitorin näppäimistöt ja valikot, seuraavaksi kytkennät, sitten alkuvalmistelut ja lopuksi varsinainen mittaustapahtuma. Lisäksi huomioidaan pöytäkirjan täyttö, virhetilanteiden ratkaisut ja laitteen ylläpito (PP ja laitteisto, 20 min.).
- Jokainen saa vapaasti harjoitella laitteen käyttöä pikakäyttöoppaan ja ohjeen avulla (20 min.). Kysymykset ja palaute (kirjataan ylös).
- Koulutustapahtuman päättäminen (1 min.).

PowerPoint-esitys

- Oma esittely.
- Opinnäytetyön esittely.
- Laite ja mittaustapahtuma.
- Testimittaukset.
- Jatkoimet (ohjelman kehitys).
- Laitteen käytön opetus (kuvia paljon, sillä pikakäyttöoppaassa niitä ei ole).
- Virhetilanteiden läpikäynti.
- Laitteen ylläpito ja käsittely.
- Koulutustapahtuman päättäminen.

Laitteiston esittely

- Esitellään mitä laitteeseen kuuluu ja mitä sillä tehdään.
- Mihin tarkoitukseen kehitetty? Mitä laitteella tullaan täällä tekemään?
- Laitteen kytkennät. Kuva laitteesta kytkettynä (laitteen tekniset ominaisuudet).

Laitteen käytön opettelu

- Käydään yhdessä läpi pikakäyttöopas. Opetellaan laitteen kokoaminen (kytkennät). Laitteen avaaminen ja sulkeminen. Lataus / verkkovirta.
- Laitteen valikot ja näppäimet.
- Käydään läpi laitteen alkutoimet eli alkulämmitys, energiakalibroinnin tarkistus ja taustan tarkistus.
- Käydään läpi mittaus eli taustan mittaus ja varsinainen kilpirauhasmittaus. Samalla käydään läpi spektrin tallennus.
- Käydään läpi mittauspöytäkirjaan tulevat arvot ja mistä ne saadaan.

Virhetilanteiden läpikäynti.

Laitteen ylläpito ja käsittely.

Koulutustapahtuman päättäminen.