



Henkilökontaminaatiomittarin herkkyyden määrittäminen gammäsäteilylle

Sanni Lamberg

Milja Tuominen

OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2019

Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu

LAMBERG, SANNI & TUOMINEN, MILJA:

Henkilökontaminaatiomittarin herkkyuden määrittäminen gammasäteilylle

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Syyskuu 2019

Isotooppihoitoja antavat ja avolähteitä käsittelevät työntekijät kuuluvat säteilytyöluokkaan A, ja heidän saamansa säteilyannosta on seurattava säännöllisesti. Säteilymittauksia tehdään siihen soveltuvilla mittareilla tai altistus selvitetään laskennallisesti. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tietoa Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen yksikön isotooppilaboratorion henkilökunnalle siitä, millä herkkyydellä heillä käytössään oleva henkilökontaminaatiomittari mittaa gammasäteilyä. Tarkoituksena oli suorittaa kontaminaatiomittauksia, joilla mittarin herkkyys gammasäteilylle pystytään määrittämään. Tutkimuskysymyksenä oli, minkälaisia määriä gammasäteilyä henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan.

Kontaminaatiot suoritettiin testiaineella, jota valmistettiin kahden eri laimennoksen verran. Kummallekin laimennokselle tehtiin oman väriset testikappaleet, joihin kontaminaatiopisarat pipetin avulla laitettiin. Vihreille testikappaleille valmistettu laimennos oli aktiivisuudeltaan korkeampi kuin punaisille tehty testiainelaimennos. Mittaukset suoritettiin yhteistyökumppanin käytössä olevalla henkilökontaminaatiomittarilla.

Punaisten testikappaleiden tulokset sijoituivat välille $0,13 \text{ Bq/cm}^2 - 6,31 \text{ Bq/cm}^2$ ja vihreiden testikappaleiden välille $0,56 \text{ Bq/cm}^2 - 7,23 \text{ Bq/cm}^2$. Muutamissa kohdissa kontaminaatiomittarin antama aktiivisuusarvo ei kasvanut täysin lineaarisesti. Aktiivisuusarvot alkoivat poiketa linjasta molempien testikappaleryhmien kohdalla sitä enemmän, mitä suurempi tilavuus kontaminaatiopisaralla oli.

Tehtyjen mittausten perusteella henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan gammasäteilyn aktiivisuusarvoja alle asetetun hälytysrajan, mutta ei antamaan niistä täysin tarkkaa tai luotettavaa aktiivisuusarvolukemaa. Kehittämisehdotuksena on kontaminaatiomittausten suorittaminen vielä pienempien aktiivisuusarvojen välillä. Uusimalla mittaukset voidaan tarkentaa herkkyysrajaa, jolla mittari havaitsee gammasäteilevän kontaminaation.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Radiography and Radiotherapy

LAMBERG, SANNI & TUOMINEN, MILJA:
Determinating contamination monitors sensitivity to gamma radiation

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 2 pages
September 2019

People who work with nuclear medicine examinations and unsealed radionuclides belong radiation category A and their exposure to radiation must be monitored with the correct measuring equipment and with mathematical calculations. The aim of this study was to increase the knowledge of Pirkanmaa Hospital District's nuclear medicine workers on what level their contamination monitors measures gamma radiation. The objective for the study was to perform measurements where the indicator's sensitivity to gamma radiation can be defined.

The contamination measurements were carried out with two different test substance dilutions. Both dilutions had their own coloured test samples. The dilutions prepared for the green samples had higher activity than the dilutions for the red samples. The measurements were performed with a cooperation partner's available contamination monitor.

The results of the red samples were between 0,13 Bq/cm² – 6,31 Bq/cm² and those of the green samples between 0,56 Bq/cm² – 7,23 Bq/cm². The activity values obtained with the contamination monitors did not go fully linearly. The activity values started to deviate from the line on both samples the more volume the contamination monitor had.

With help of the contamination monitor gamma radiation activity values can be detected, but precise or reliable activity values can not, however be obtained.

Key words: nuclear medicine, occupational radiation exposure, contamination monitor, radiation contamination

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	RADIOAKTIIVISET AINEET JA NIIDEN SÄTEILY	6
3	TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SÄTEILYSUOJELUTOIMET ISOTOOPPILABORATORIOSSA	8
	3.1 Isotooppilaboratoriotyöntekijöiden säteilysuojelun periaatteet.....	8
	3.2 Gammasäteilyltä suojautuminen isotooppiosastolla.....	11
	3.3 Isotooppilaboratoriotyöntekijöiden altistusolosuhteiden tarkkailu .	12
4	SÄTEILYKONTAMINAATION MITTAAMINEN JA PUHDISTAMINEN ISOTOOPPILABORATORIOSSA	15
	4.1 Työskentelytilat isotooppilaboratoriossa.....	15
	4.2 Säteilykontaminaatio isotooppilaboratoriossa	16
	4.3 Pintakontaminaation aktiivisuuskate	16
	4.4 Säteilykontaminaation havaitseminen mittarilla.....	17
	4.5 Ulkoisen ja sisäisen säteilykontaminaation puhdistaminen	19
5	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMA.....	22
6	MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT	23
	6.1 Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä	23
	6.2 Aineiston keruu ja analyysi.....	24
7	TUTKIMUSTULOKSET	28
8	POHDINTA	33
	8.1 Tulosten tarkastelu.....	33
	8.2 Luotettavuus ja eettisyys.....	35
	8.3 Oppimiskokemus ja jatkotutkimusehdotukset.....	37
	LÄHTEET	40
	LIITTEET.....	43

1 JOHDANTO

Isotooppilääketiede on lääketieteen erikoisala, jossa avolähteinä käytettäviä radioaktiivisia aineita käytetään diagnostimenetelmänä sairauksien tutkimiseen, hoitoihin ja niiden seurantaan (IAEA 2019). Avolähteeksi kutsutaan radioaktiivista ainetta, jota ei ole suljettu tiiviiseen suojakuoreen, mikä estäisi aineen leviämisen (STUK n.d. a). Isotooppien parissa työskentelevien säteilynkäyttäjien on tiedettävä oikeat työtavat ja niiden parissa työskentelyyn liittyvät vaarat (Sovijärvi ym. 2003, 671). Avolähteiden parissa työskennellessä on riskinä kontaminaatio, joka jo vähäisissä määrin on terveydelle haitallista (Tuovinen 2017). Kontaminaatiolla tarkoitetaan tässä radioaktiivista kontaminaatiota eli radioaktiivisen aineen joutumista pinnalle tai tilavuuteen ei-toivotulla tavalla (STUK n.d. b). Työntekijät altistuvat säteilylle radiolääkeaineita valmistaessa, injektoidessa, sekä kuvausten yhteydessä (Mattsson 2012, 110).

Kontaminaatiomittauksia tulee tehdä säännöllisesti siihen soveltuvalla kontaminaatiomittarilla (Pastila 2015). Mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavat kontaminaatiomittarin valinta, kontaminaation luonne ja radionuklidin ominaisuudet. Kontaminaatiomittarin on sovelluttava säteilyn mittaamiseen niillä arvoilla, säteilylajeilla ja energioilla, joita käyttöpaikalla esiintyy. (Tuovinen 2017.)

Opinnäytetyön aihe on saatu Pirkanmaan sairaanhoitopiirin (PSHP) Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen yksikön isotooppilaboratoriolta (myöhemmin isotooppilaboratorio). Opinnäytetyössä määritetään yhteistyökumppanin PSHP:n isotooppilaboratorion käsisenkä -henkilökontaminaatiomittarin herkkyys gammasäteilylle. Herkkyys määrittää mittarin näyttämien arvojen ja mitattavan gammasäteilyn mittaussuurearvojen yhteyden (STUK n.d. c). Säteilykontaminaatiota mittaava henkilökontaminaatiomittari on tarkoitettu ensisijaisesti alfa- ja beetasäteilykontaminaatioiden mittaamiselle, mutta se pystyy mittaamaan myös gammasäteilyä. Laittevalmistaja ei ole kuitenkaan määritellyt mittarin herkkyyttä erikseen gammasäteilylle.

2 RADIOAKTIIVISET AINEET JA NIIDEN SÄTEILY

Aineet, joissa on virittyneitä ytimiä, ovat radioaktiivisia (STUK 2015a). Tällöin ytimestä on joko liian paljon tai liian vähä neutroneja (STUK 2005). Kun tämä viritystila purkautuu, ytimestä irtoaa jokin hiukkanen ja energiaa, jolloin aine säteilee (STUK 2015a). Säteilyn osuessa aineeseen, aiheuttaa se ionisaatiota ja virittymistä atomeissa. Ionisaatiossa atomin elektroni irtoaa ja atomista tulee varauksellinen. (Mustonen & Salo 2002, 28.) Isotoopit ilmaistaan massaluvulla, esimerkiksi Tc-99m. Massaluku kertoo ytimestä olevien protonien ja neutronien lukumäärän. (STUK 2005.)

Radioaktiiviset aineet lähettävät ionisoivaa säteilyä, jota pystytään myös esimerkiksi röntgenlaitteilla tuottamaan. Ionisoiva säteily vaurioittaa solulle tärkeitä makromolekyylejä, jotka aiheutuvat seurauksena fysikaalisista tapahtumista ja niitä seuraavista kemiallisista reaktioista. Hyvin pienikin säteilyannos kykenee aiheuttamaan runsaasti ionisaatiota ja vaurioittamaan solun makromolekyylejä. (STUK 2015a.) Esimerkiksi 1mGy absorboitunut annos gammasäteilyä aiheuttaa noin 70 ionisaatiota solun tumaan. Säteily jakautuu kuitenkin kudoksessa hyvin epätasaisesti ja sen vaikutukset yksittäisen solun tasolla ovat siksi vaikeasti ennakoitavissa. (Mustonen & Salo 2002, 28.)

Säteilylajeista alfa- ja beetasäteily ovat hiukkassäteilyä ja gammasäteily sähkömagneettista aaltoliikettä (STUK 2015a). Alfahiukkaset koostuvat kahdesta protonista ja kahdesta neutronista (STUK 2005). Alfasäteily ei läpäise paperia tai ihmiskehoa ja on vaarallista, mikäli sitä lähettäviä radioaktiivisia aineita päätyy elimistöön (STUK 2005). Beetahiukkaset voivat olla joko elektroneja eli negatiivisesti varautuneita, tai positroneja eli positiivisesti varautuneita. Ne ovat alfahiukkasia läpäisykykyisempiä ja ovat vaaraksi päästessään joko iholle tai elimistöön. (STUK 2005.)

Gammasäteily ei ole hiukkassäteilyä (STUK 2005). Sitä voidaan kuvata energiapakkauksina, joita virittynyt ydin lähettää (STUK 2015a). Gammasäteily syntyy radioaktiivisten isotooppien hajoamisen seurauksena (Kortesniemi 2008). Gam-

masäteily on yleensä erittäin läpitunkevaa ja siltä suojautuminen on haastavampaa, kuin muulta säteilyltä (STUK 2015a). Gammasäteily voi kulkea aineessa pitkiäkin matkoja ja se voi läpäistä paksujakin kerroksia (Kortesniemi 2008). Gammasäteilyn energian ollessa pieni, sen pystyy vaimentamaan noin millimetrin paksuinen lyijykerros, mutta suurempienergiseltä gammasäteilyltä suojautumiseen vaaditaan paksu kerros terästä, betonia tai lyijyä (STUK 2016a).

Teknetium, Tc-99m, on yleisimmin isotooppitutkimuksissa käytetty radionuklidi (Korpela 2004, 223). Tc-99m lähettää 140 kiloelektronivoltin gammasäteilyä, jota hyödynnetään isotooppilääketieteessä (Korpela 2004, 224). Elektronit kulkevat energiansa mukaisen matkan mutkitellen ja hidastuvat lopulta pysähtyen kokonaan (Mustonen & Salo 2002, 28-29).

3 TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SÄTEILYSUOJELUTOIMET ISO-TOOPPILABORATORIOSSA

3.1 Isotooppilaboratoriotyöntekijöiden säteilysuojelun periaatteet

Säteilytyöntekijöiden säteilysuojelu tulee järjestää säteilylain 859/2018 luvun 12 mukaisesti. Säteilysuojelun periaatteet perustuvat ICRP:n (International Commission on Radiological Protection) suosituksiin. (STUK n.d. a.) Säteilyn käytön ollessa hyväksyttävää on sen täytettävä oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaatteet. Optimointiperiaate ja yksilönsuojaperiaate ovat myös työntekijöitä koskevia peruseriaatteita. (Säteilylaki 859/2018.) Optimointiperiaatteen mukaan säteilytoiminta tulee järjestää niin, että työperäinen altistus ja väestön altistus ionisoivalle säteilylle pysyy niin vähäisenä, kuin se käytännöllisin keinoin on mahdollista. Yksilönsuojaperiaatteen mukaan työntekijän ja väestön yksilön säteilyannos ei saa ylittää asetettua annosrajaa. (STUK n.d. a.) Työperäistä altistusta ja väestön altistusta koskevat annosrajat asetetaan niin, että jokaisesta turvallisuuslupaa edellyttävästä toiminnasta aiheutuvan säteilyannoksen yhteismäärän ennakoidaan jäävän annosrajaa vähäisemmäksi. Säteilyturvakeskus antaa määräykset annosrajoituksista ja potentiaalista altistusta koskevista rajoituksista ja niiden käytöstä. Potentiaalisella altistuksella tarkoitetaan säteilyaltistusta, joka voi aiheutua käyttövirheestä, laiteviasta tai muusta tapahtumasta, jota ei odoteta tapahtuvan. (Säteilylaki 859/2018.)

Toiminnan harjoittajan vastuulla on tehdä säteilytoimintaa koskevat luokitukset toiminnasta aiheutuvasta säteilyaltistuksesta ja toiminnassa käytettävistä säteilylähteistä. Toiminnan harjoittaja tekee luokitukset turvallisuuslupahakemusta varten. (Säteilylaki 859/2018.) Luokitus määräytyy normaalista toiminnasta aiheutuvan säteilyaltistuksen ja säteilyturvallisuuspoikkeamista aiheutuvan potentiaalisen altistuksen perusteella. Säteilytoimintaa koskevat luokitukset on määriteltävä työperäiselle altistukselle, väestön altistukselle ja lääketieteelliselle altistukselle (taulukko 1). Taulukossa 1 efektiivisellä annoksella tarkoitetaan työntekijän tai altistuvan henkilön vuosittaista annosta. Potilaan säteilyaltistuksella tarkoitetaan yhdestä tutkimuksesta, toimenpiteestä tai hoitokerrasta aiheutuvaa annosta. (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018.)

TAULUKKO 1. Säteilyaltistuksen luokat (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018)

Altistus	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1
Työperäinen altistus	Efektiivinen annos $1 \leq \text{mSv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $\leq 6 \text{ mSv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $> 6 \text{ mSv}$ vuodessa tai elimen ekvivalenttiannos $> 3/10$ annosrajasta.
Väestön altistus	Efektiivinen annos $\leq 0,1 \text{ mSv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $\leq 0,3 \text{ mSv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $> 0,3 \text{ mSv}$ vuodessa.
Lääketieteellinen altistus	Efektiivinen annos $\leq 0,1 \text{ mSv}$, ja toiminnasta ei aiheudu potilaalle determinististä säteilyhaittaa.	Efektiivinen annos $\leq 100 \text{ mSv}$, ja toiminnasta ei aiheudu potilaalle determinististä säteilyhaittaa	Efektiivinen annos $> 100 \text{ mSv}$, tai paikallinen tai elimen absorboitunut annos $> 10 \text{ Gy}$, tai toiminnasta voi aiheutua potilaalle deterministinen säteilyhaitta

Luokitus on tehtävä myös avolähteille laboratoriossa, radioaktiivisten aineiden päästöille ja umpilähteille. Luokitus koskee myös läjityksenä loppusijoitettavia jätteitä. Luokka voi olla 1, 2 tai 3 säteilyaltistukselle tai säteilylähteelle. Luokka 3 tarkoittaa pienintä säteilyaltistusta, säteilylähteen aktiivisuutta tai jätteen aktiivisuuspitoisuutta ja luokka 1 vastaa suurinta altistusta tai aktiivisuutta. Säteilylähteen luokkaa E käytetään, jos jotain luokituksen perusteena olevaa säteilylähdettä tai -altistusta ei ole kyseisessä toiminnassa. Säteilylähteiden luokat on esitetty taulukossa 2. Avolähteiden käsittelyssä laboratoriossa k-kerroin määräytyy toiminnan mukaan. Taulukossa 2 erityisen riskialttiin työn k-kerroin on 0,1, käsittely tavanomaisin kemiallisin menetelmin on k-kerroin 1, yksinkertainen käsittely on k-kerroin 10 ja varastointi antaa k-kertoimelle arvon 100. Aktiivisuus tarkoittaa kerralla käsiteltävän avolähteen suurinta aktiivisuutta. (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018.)

TAULUKKO 2. Säteilylähteiden luokat (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018)

Säteilylähteet	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1
Avolähteet laboratoriossa	Aktiivisuus $\leq k \cdot 10$ · vapaaraja	Aktiivisuus $\leq k \cdot 10000$ · vapaaraja	Aktiivisuus $> k \cdot 10$ · vapaaraja
Radioaktiivisten aineiden päästöt	Efektiivinen annos $\leq 10 \mu\text{Sv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $\leq 0,1 \mu\text{Sv}$ vuodessa	Efektiivinen annos $> 0,1 \text{ mSv}$ vuodessa
Umpilähteet	Aktiivisuus \leq korkea-aktiivisen umpilähteen aktiivisuuden arvo	Aktiivisuus ≤ 1000 · korkea-aktiivisen umpilähteen aktiivisuuden arvo	Aktiivisuus > 1000 · korkea-aktiivisen umpilähteen aktiivisuuden arvo

Säteilytyöntekijät luokitellaan A ja B luokkiin työstä aiheutuvan säteilyaltistuksen ja potentiaalisen altistuksen perusteella. Säteilytyöluokkaan A luokitellaan työntekijät, joilla työstä aiheutuva efektiivinen annos voi olla suurempi kuin 6 mSv vuodessa. Verrattain väestön säteilyaltistuksen annosrajaksi on määritelty enintään 1 mSv/v. Silmän mykiölle on asetettu väestön ekvivalenttiannosrajaksi 15 mSv/v ja iholle 50 mSv/v. Säteilytyöluokkaan A kuuluvat myös ne, joilla ekvivalenttiannos on kolme kymmenosaa suurempi kuin säädetyt annosrajat iholle, käsillemme, silmän mykiölle tai jaloille. (Säteilylaki 859/2018.) Säteilytyöluokkaan A kuuluvat mm. isotooppihoitoja antavat ja avolähteitä käsittelevät työntekijät (STUK 2009). Säteilytyöluokkaan A kuuluvat työntekijät, jotka käsittelevät radioaktiivisia aineita, ovat vaarassa altistua säteilylle erityisesti valmistellessaan ja antaessaan niitä potilaille (Mattsson 2012, 110). Luokkaan A kuuluvilla työntekijöillä tulee olla työterveyslääkärin antama arvio työntekijän terveydentilasta ja soveltuvuudesta säteilytyöluokkaan A. Terveydentila tulee tarkistuttaa lääkärin alkutarkistuksessa ennen työn aloittamista, sekä vähintään kolmen vuoden välein tehtävissä seurantatarkastuksissa. Säteilytyöluokkaan A kuuluville työntekijöille tulee järjestää henkilökohtainen annostarkkailu. Alueet, joissa työskentely määritellään kuuluvaksi luokkaan A, ovat valvonta-alueita. Säteilytyöntekijät, jotka eivät kuulu luokkaan A, luokitellaan luokkaan B kuuluviksi. Toiminnanharjoittajan tulee huolehtia, että säteilytoimintaan osallistuvilla työntekijöillä sekä niillä työntekijöillä, joiden

tehtävät muutoin edellyttävät säteilysuojelun erityisosaamista, on oltava toiminnan ja tehtävien edellyttämä kelpoisuus, säteilysuojelukoulutus ja perehdytys työtehtäviinsä. (Säteilylaki 859/2018.)

Säteilysuojelulla pyritään ennaltaehkäisemään säteilystä johtuvien terveyshaittojen syntyä. Tavoitteena on, ettei säteilystä aiheutuisi varhaishaittoja ja pitkäaikashaitat pidettäisiin mahdollisimman vähäisinä. Säteilyn aiheuttamia pitkäaikashaittoja on muun muassa syöpä ja perinnölliset haitat. (STUK 2015b.) Pitkäaikaiset haitat eli stokastiset haittavaikutukset voivat saada alkunsa pienestäkin säteilyannoksesta, koska niillä ei ole kynnsarvoa. Stokastisten haittavaikutusten kokonaisriskin määrittää elinaikana kerääntynyt kumulatiivinen annos. (Paile 2002, 45-46.) Stokastisia haittavaikutuksia voi syntyä, jos säteily vaurioittaa solun DNA:ta (ICRP 2007, 50). Korean Yliopiston julkaisemassa tutkimuksessa arvioitiin työperäiselle säteilylle altistuvien terveydenhuollon työntekijöiden syöpään liittyvää elinikäistä riskiä ja todennäköisyyttä sairastua syöpään. Työperäisen säteilyaltistuksen vaikutuksia kartoitettiin kyselylomakkeiden, kliinisten tutkimusten ja biomarkkereiden tutkimisen avulla. Tutkimustuloksista selvisi, että pitkäaikaisella työperäisellä säteilyaltistuksella on yhteys työntekijöiden terveyteen ja syöpään sairastuvuuteen. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan vahvistaa käsitystä säteilysuojelun tärkeydestä työntekijöiden altistumisriskin pienentämisessä. (Ko, Chung, Cho, Jin, Kim, Ha, M., Bang, Ha, Y. W. & Lee 2017.)

3.2 Gammasäteilyltä suojautuminen isotooppiosastolla

Suurin säteilyaltistus isotooppiosastolla aiheutuu tyypillisimmin radiolääkkeiden käyttökuntoon saattamisesta, sekä potilaiden valmisteluista tutkimuksiin (Zito, Canzi & Voltini 2007, 23). Radiolääkkeeksi kutsutaan kemiallista yhdistettä, johon on liitetty radionuklidi (Korpela 2004, 228). Nassefin ja Kinsaran tekemän tutkimuksen mukaan suurimmat vuosittaiset annokset kertyy isotooppiosastolla työskenteleville röntgenhoitajille verrattuna sädehoidossa ja diagnostisessa kuvantamisessa työskenteleviin (Nassef & Kinsara 2017).

Suuri osa radioaktiivisista aineista ei läpäise ihoa, mutta esimerkiksi ihon pinnan haavojen kautta radioaktiivista ainetta voi päästä syvemmälle kudoksiin (Kumar,

Goel, Chawla, Silambarasan, & Sharma 2010). Tärkeimmät tavat ulkoisen säteilyaltistuksen minimoimiseen ovat aika, etäisyys ja väliaine. Turhaa oleskelua säteilylähteen lähetyvillä tulee välttää. Kun etäisyys säteilylähteeseen kasvaa, säteilyannos pienenee suhteessa etäisyyden neliöön. (Rep 2016, 99-100.)

Teknetiumgeneraattorissa valmistettua eluaattia tai radiolääkeaineen kittipulloa käsiteltäessä, siirrettäessä ja aktiivisuuksia mitattaessa tulisi apuna käyttää pitkiä pihtejä. Kuvaustilanteessa potilaaseen pyritään pitämään etäisyyttä. (Sovijärvi ym. 2003, 671.) Riittävä suojaus riippuu säteilyn laadusta ja energiasta (Zito ym. 2007, 23). Gammasäteilyn intensiteetti pienenee eksponentiaalisesti käytetyn väliaineen paksuuteen nähden (Rep 2016, 101). Eluoitaessa teknetiumgeneraattoria tulee aina käyttää suojaa. Radiolääkkeen valmistusvaiheessa tulisi käyttää ruiskunsuojaa ja leimaukset tehdä lyijylasista valmistetun suojuksen takana. Aktiivisen aineen siirtäminen pullosta ruiskuun tulee tehdä lyijylasin takana. Radiolääkkeen kuljettamisen ja injektion antamisen aikana käytetään ruiskunsuojaa. (Sovijärvi ym. 2003, 671.)

Radioaktiivisia aineita käsiteltäessä työntekijän on käytettävä kertakäyttöisiä käsineitä ja riittävää suojavaatetusta (Sovijärvi ym. 2003, 670). Kontaminaatiovaaraa sisältävien työtehtävien ajaksi tulee työalustat suojata kontaminaation leviämisen estävällä materiaalilla (Säteilylaki 859/2018). Kontaminaatiomittaukset on tehtävä työn päätyttyä, sekä aina kun on syytä epäillä tapahtuneen merkittävää kontaminaatiota. Mittaustulokset tulee dokumentoida. (STUK 2016a.)

3.3 Isotooppilaboratoriotyöntekijöiden altistusolosuhteiden tarkkailu

Toiminnan harjoittajan järjestämään työpaikan altistusolosuhteiden tarkkailuun kuuluu säteilyn annosnopeuden mittaaminen, kontaminaatiomittaukset, sekä havainnot turvalaitteiden tarkoituksenmukaisesta toimintakunnosta. (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018.) Säteilylain (859/2018) mukaan ennen säteilytyön aloittamista on arvioitava työntekijään kohdistuva säteilyaltistus ja toimet sen vähentämiseksi. Myös aiempi altistus tulee olla selvillä. Säteilytyöluokkaan A kuuluvien työntekijöiden saamaa säteilyannosta on seurattava. Annostarkkailu toteutetaan henkilökohtaisilla annosmittauksilla tai se perustuu muuhun henkilökohtaiseen annosmääritykseen. Annostarkkailujakson pituus säteily-

työluokassa A on enintään kuukausi. Annosmittarin tulokset kirjataan annosrekisteriin. Annosrekisteriä ylläpitää Säteilyturvakeskus. Toiminnanharjoittajan vastuulla on toimittaa jokaisen työntekijän tunnistetiedot ja säteilyaltistuksen seurannan tulokset asianmukaisesti Säteilyturvakeskukselle. Myös työoloja on tarkkailtava niin, että työntekijän säteilyaltistus on määritettävissä. (Säteilylaki 859/2018.) Valvonta-alueella työskentelevän ja säteilytyöluokkaan A kuuluvan työntekijän työskentelyjaksolla mitattu annos on voitava määrittää altistusolosuhteiden tarkkailun avulla, mikäli annosta ei ole mahdollista saada henkilökohtaisesta annosmittarista (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018).

Toiminnanharjoittajan vastuulla on kirjata altistusolosuhteiden tarkkailun tuloksiin mm. tarkkailun tai mittausten ajankohta, työntekijöiden altistuksen kesto ja työntekijän kontaminaatiomittauksen tulokset, määritetty annos tai ulkoisen säteilyn annosnopeudet, jolloin kirjataan myös säteilylaji, -energia tai säteilyä tuottava radionuklidi, kontaminaatiota aiheuttanut radioaktiivinen aine ja sen aktiivisuuskate. (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018.) Aktiivisuuskate tarkoittaa pinnalla olevaa aktiivisuutta jaettuna pinta-alalla (Bq/m^2) (Sandberg & Paltemaa 2002, 19).

Szewczakin, Jednorógin ja Krajewskin (2013) tekemän tutkimuksen mukaan radioaktiivisia lähteitä käsittelevien työntekijöiden raajojen annostarkkailu on tärkeää. Tutkimuksessa osoitettiin, että näillä työntekijöillä on korkea riski käsien sädealtistukseen. Tutkimus tehtiin Puolassa kahdeksassa eri isotooppiyksikössä, joissa työntekijöiden henkilökohtaista työperäistä sädealtistusta mitattiin vuoden ajan. Tutkimuksessa käytettiin kolmea erilaista termoluminenssi-dosimetria (TLD), joista yksi keräsi tietoa koko kehon efektiivisestä annoksesta, toinen oli sormidosimetri ja kolmas oli kiinnitettynä ranteeseen. Tutkimuksen mukaan TLDannosmittarit ovat käyttökelpoisia isotooppiyksiköiden työntekijöiden annostarkkailuun. Tutkimuksessa kävi ilmi, että tutkimukseen osallistuvista työntekijöistä korkeimmat annoslukemat olivat niiden työntekijöiden mittareissa, jotka osallistuivat radioaktiivisten lähteiden valmisteluun. (Szewczak, Jednoróg & Krajewski 2013.) STUK:n julkaisemassa raportissa käy myös ilmi, että avolähteitä

käsittelytyöntekijöiden säteilyaltistus on epätasaisesti jakautunutta. Työntekijän efektiivinen annos voi jäädä pieneksi, mutta esimerkiksi käsien annos on suuri.

Raportin mukaan radioaktiivisten aineiden valmistuksessa käsien iholle aiheutuneet annokset ovat hieman kasvaneet, kun taas muilla terveydenhuollossa, teollisuudessa ja tutkimuksen toimialoilla annokset ovat pienentyneet. (Pastila 2018, 19.)

4 SÄTEILYKONTAMINAATION MITTAAMINEN JA PUHDISTAMINEN ISO-TOOPPILABORATORIOSSA

4.1 Työskentelytilat isotooppilaboratoriossa

Työskentelytilat luokitellaan valvonta- ja tarkkailualueiksi. Jaottelun perusteena on toiminnan luonne ja siitä aiheutuvan säteilyriskin suuruus. Molemmilla alueilla on oltava merkinnät alueen luokituksesta, säteilylähteiden luonne ja niihin liittyvät vaarat. Tarkkailualueella työntekijän efektiivinen annos voi olla suurempi kuin 1 mSv vuodessa tai silmän mykiön ekvivalenttiannos voi olla 15 mSv vuodessa tai ihon, käsien, käsivarsien, jalkaterien tai nilkkojen ekvivalenttiannos voi olla suurempi kuin 50 mSv vuodessa. Valvonta-alueeksi luokitellaan alue, jossa säteily- ja kontaminaatoriskin vuoksi vaaditaan erityisiä toimia säteilyltä suojautumiseksi. Valvonta-alueella työskenteleville on annettava säteilysuojelullisista syistä asianmukaiset henkilönsuojaimet ja heidän tulee saada työtehtävien erityispiirteitä koskevaa koulutusta. Mikäli valvonta-alueella on riski radioaktiivisen kontaminaation leviämiseksi, on tehtävä tarvittavia järjestelyjä alueelle saapumisen ja poistumisen kannalta. (Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä 1034/2018.)

Laboratorion tilat tulee olla sellaiset, että niissä työskenteleminen on turvallista, radioaktiivisten aineiden ympäristöpäästöt jäävät mahdollisimman vähäisiksi ja aineiden joutuminen sivullisten haltuun tulee olla estetty. Lisäksi tulee tehdä tarvittavat järjestelyt säteilyltä suojaamiseksi ja kontaminaation leviämisen estämiseksi. (Sovijärvi ym. 2003, 670.) Toiminnanharjoittajan on huolehdittava siitä, että säteilylähde, sekä sen käyttö- ja säilytyspaikka ovat turvallisesti käytettävissä. Työskentelytiloissa kuten radionuklidilaboratoriossa tai muilla säteilyn käyttöpaikoilla on kontaminaatiomittauksista ja puhdistuksesta pidettävä kirjaa. (Säteilylaki 859/2018.) Tiloissa tulee olla välineet mahdollisen kontaminaation poistamiseksi (Sovijärvi ym. 2003, 670).

4.2 Säteilykontaminaatio isotooppilaboratoriossa

Säteilyä on tarpeen mitata muun muassa työntekijöiden ja työolojen annostarkkailun vuoksi, terveydenhuollon säteilyn käytön laadunvarmistuksessa tai potilasannosten määrittämistä varten. Säteilymittauksia tehdään säteilyn mittaukseen soveltuvilla mittareilla tai säteilyaltistus voidaan selvittää myös laskennallisesti. (STUK n.d. c.)

Ihminen voi kontaminoitua radioaktiivisilla aineilla ulkoisesti tai sisäisesti (Kumar, Goel, Chawla, Silambarasan, & Sharma, 2010). Erityisesti avolähteiden käytössä kontaminaatio on mahdollinen (Tuovinen 2017, 3). Radioaktiivinen aine voi joutua kontaminoiduilta pinnoilta tai ilmasta ihmiskehoon hengityksen kautta, ihon läpi tai suun kautta (Tuovinen 2017, 5). Ulkoisesti kontaminoitunut ihminen voi kontaminoitua sisäisesti esimerkiksi viemällä kontaminoituneiden käsien kautta radioaktiivista ainetta suuhunsa (STM 2008, 35). Radioaktiivisen aineen päästessä sisälle kehoon, se voi aiheuttaa vaaraa elimille ja soluille sisäisellä säteilyllä (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011). Radioaktiivisten lääkkeiden aktiivisuudet voivat olla korkeita, ja työntekijät joutuvat pitämään käsiään lähellä niitä. Niin ulkoisen, kuin sisäisen kontaminaation vaara on olemassa. (Ginjaume, Sans-Merce, Carnicer, Donadille, Barth & Vanhavere 2012, 122.) Jos työntekijä kontaminoituu ulkoisesti, saattaa hän kontaminoida myös potilaan radioaktiivisilla aineilla (Kumar ym., 2010).

4.3 Pintakontaminaation aktiivisuuskate

Aktiivisuuskatetta käytetään puhuttaessa pintakontaminaatiosta. Radioaktiivisen lähteen aktiivisuuden yksikkö on Becquerel (Bq) ja se tarkoittaa radioaktiivisten hajoamisten lukumäärää aikayksikössä. Aktiivisuus voidaan ilmaista massaa, tilavuutta tai pinta-alaa kohti. Aktiivisuus pinta-alaa kohden ilmaistuna on aktiivisuuskate, eli tietyllä pinnalla oleva aktiivisuus jaettuna pinta-alalla (Bq/m^2). (Sandberg & Paltemaa 2002, 19.)

Aktiivisuuskatteen rajat pintakontaminaatiota mitattaessa on määriteltynä erikseen työpaikalle ja työvälineille, sekä työntekijöille (taulukko 3). Aktiivisuuskatteen rajat ovat määriteltä Säteilyturvakeskuksen päätöksessä, joka on Säteilylaki 859/2018 mukainen. Aktiivisuuskatteen rajat määräytyvät Euratom 2013/59 neuvoston direktiivin mukaisesti. (STUK 2018a.) Valvonta-alue ja tarkkailualue on määriteltä Säteilylaissa 859/2018 (Säteilylaki 859/2018).

TAULUKKO 3. Aktiivisuuskatteen rajat avolähteiden käytössä (STUK 2018a)

Radioaktiivinen aine	Työpaikat ja työvälineet		Työntekijät	
	Valvontaalue (Bq/cm ²)	Tarkkailualue ja muu alue (Bq/cm ²)	Vaatteet (Bq/cm ²)	Iho (Bq/cm ²)
Alfasäteilijät	4	0,4	0,4	0,2
Beeta- ja gammasäteilijät	40	4	4	2

Pintakontaminaatio voidaan määrittää enintään 100 cm²:n alueelta. Pintakontaminaation aktiivisuus ilmoitetaan mitatun alueen keskimääräisenä aktiivisuutena. (Väisälä ym. 2004, 289.) Jos aktiivisuuskate ylittää nämä rajat, on ryhdyttävä kontaminaation poistamiseen tai eristämiseen (STUK 2018a). Vetokaappien tai vastaavien käsittelytilojen sisäpintojen ja kontaminaatio suojausten kontaminaatio on pidettävä mahdollisimman pienenä, vaikka aktiivisuuskatteen raja-arvot eivät koske niitä (Väisälä, Korpela & Kaituri 2004, 289).

4.4 Säteilykontaminaation havaitseminen mittarilla

Mittarin tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat toistettavuus ja herkkyys. Herkkyydellä tarkoitetaan mittaustuloksen ja tunnetun referenssiarvon muutoksen välistä suhdetta. Mittausarvon ja referenssiarvon välinen suhde kuvaa yksinkertaistetusti mittarin tarkkuutta; mitä yhdenmukaisempia arvot ovat, sen tarkempi mittari on. Tarkkuuteen sisältyy myös toistettavuus, eli mittarin kyky antaa samanlainen tulos vastaavissa olosuhteissa. (Vaisala 2016.)

Säteilymittarin on oltava rakenteeltaan sellainen, että se kestää säteilyn käyttöpaikalla ja työympäristössä vallitsevat olosuhteet, kuten lämpötilan ja kosteuden (STUK. n.d. c). Kontaminaatiomittarilta vaaditaan, että se soveltuu säteilyn käyttöpaikalla ja sen ympäristössä esiintyvän säteilylajin ja energian mittaamiseen. Kontaminaatiomittareiden ominaisuutena on mitata taustasäteilyn määrää silloin, kun niitä ei käytetä henkilön annoksen mittaamiseen, ja reagoida taustasäteilyn muutoksiin. Tämän johdosta mittari pystyy havaitsemaan myös kontaminaation oikein. Alfa- ja beetasäteilyn kontaminaatiomittaukseen tarkoitettu mittarissa säteilyä havaitsevat detektorit ovat yleensä lähellä toisiaan. Tällaisia ovat esimerkiksi käsi-kenkä -henkilökontaminaatiomittarit. (Burgess ym. 2011, 15-16.) Kontaminaatiomittarin tulee havaita vähintään asetettujen pintakontaminaatorajojen suuruksia aktiivisuuksia (Tuovinen 2017, 11). On huomioitava, ettei ulkoiset tekijät, kuten sähkö- tai magneettikentät, häiritse säteilymittarin toimintaa (STUK. n.d. c). Huomioitavaa on myös se, näyttääkö mittari pulssitaajuutta vai annosnopeutta (Tuovinen 2017, 11). Mittarin tulee olla asianmukaisesti kalibroitu (STUK. n.d. cF).

Geiger-Müller -mittari (myöhemmin geigermittari) on yksi yleisimmin käytetyistä mittareista radioaktiivisuuden havaitsemiseen (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011). Geigermittaria käytetään gammasäteilyä mitattaessa (Tuovinen 2017, 15). Suuri herkkyys, yksinkertainen elektroniikka ja hinta vaikuttavat mittarin suosioon (Klemola 2002, 122). Mittari reagoi taustasäteilyyn. Jos mittari näyttää yli kaksinkertaista annosta aiemmin määritettyyn taustasäteilyyn verrattuna, katsotaan alue yleensä kontaminoituneeksi. Kollimoimattomalla gammakameralla voidaan havaita ulkoista kontaminaatiota, joka gammasäteilee 35-140 KeV välillä. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.)

Henkilökontaminaatiomittareita on olemassa erilaisia, kuten käsi-kenkä -henkilökontaminaatiomittari tai pinnalla liikuteltava kontaminaation mittausturi. Yleensä henkilökontaminaatiomittari mittaa kontaminaation joko käsistä tai jaloista tai molemmista. Osassa mittareista on käsille ja jaloille tarkoitettut paikat, joihin henkilö asettaa raajansa ja asettuu määrätyn laiseen asentoon kontaminaation mittaamista varten. Liikuteltava anturi kuuluu usein yhtenä osana kiinteään mittariin. (Burgess, Keightley, Lee, Pottinger, Renouf, & Williams 2011, 15.)

Pintakontaminaatiomittaria pidetään 1-2 senttimetrin etäisyydellä pinnasta niin, ettei se kosketa mihinkään. Mittaria liikutellaan nopeudella 2-3 cm/s. Kontaminaatiota mitattaessa ihon pinnalta huomioidaan tarkasti haavat, ruumiinaukot, ihopoimut, kädet ja alueet, joilla on karvoitusta. (STM 2008, 32.)

STUK:n vuoden 2017 ”Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta” vuosi-
raportin mukaan isotooppilääketieteessä kontaminaatiomittauksiin on tarkastuk-
sissa kiinnitetty erityishuomiota. Useamman vuoden ajan työntekijöiden kontami-
naation mittaamiseen on suositeltu käsi- ja jalkakontaminaation valvontalaitetta.
(Pastila 2018, 13.) Kontaminaatiotilanteessa pintakontaminaation havaitse-
miseksi käytetään ensisijaisesti beeta-anturilla varustettua mittaria. Mikäli sel-
laista ei ole saatavilla, myös geigermittaria voidaan käyttää. (STM 2008, 32.) Jos
radionuklidi emittoi niin beeta-, alfa- kuin gammasäteilyäkin, mitataan yleensä
beeta- ja alfasäteilyä pienien kontaminaatioiden havaitsemiseksi (Tuovinen 2017,
15).

4.5 Ulkoisen ja sisäisen säteilykontaminaation puhdistaminen

STUK:n määräyksen ja säteilylain (859/2018) mukaan toiminnassa, jossa sätei-
lyaltisuuden luokka on 1, on oltava kirjalliset toimintaohjeet kontaminaation leviä-
misen estämiseksi. Toimenpiteillä pyritään säteilyaltistuksen rajoittamiseen sätei-
lyturvallisuuspoikkeamatilanteissa. Säteilyturvallisuuspoikkeaman vuoksi työnte-
kijän tai väestön säteilyturvallisuus voi vaarantua tai siitä voi aiheutua merkittävä
suunnittelematon lääketieteellinen altistus. Säteilyturvallisuuspoikkeamatilan-
teeksi lukeutuu myös radioaktiivisen aineen merkittävä leviäminen sisätilaan tai
ympäristöön tai turvallisuusluvan edellyttämän säteilylähteen katoaminen tai lu-
vaton käyttö. Säteilyturvallisuuspoikkeamatilanteissa on välittömästi tunnistet-
tava ja rajattava säteilyvaarallinen alue, sekä estettävä ulkopuolisten pääsy raja-
tulle alueelle. Säteilyturvallisuuspoikkeamasta tulee ilmoittaa Säteilylain
(859/2018) nojalla säteilyturvallisuusvastaavalle, Säteilyturvakeskukselle ja sä-
teilyturvallisuuspoikkeamassa mukana olleille. Tapahtumien kulku on kirjattava
niin, että siitä selviää tehdyt toimenpiteet ja niiden ajankohdat sekä altistuneiden
ja osallisina olleiden henkilöiden yhteystiedot. (STUK 2018b.) Dekontaminaa-
tiolla tarkoitetaan radioaktiivisen saasteen puhdistamista (STUK n.d. b). Nopea

ja oikein tehty dekontaminaatio rajoittaa kontaminaation leviämistä (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011). Puhdistaminen aloitetaan ensin kontaminoituneista henkilöistä ja sen jälkeen puhdistetaan työskentelytilat (Tuovinen 2017, 19). Kontaminoituneet vaatteet riisutaan rullaamalla niitä pois päin ihon pinnasta siten, että kontaminoitunut alue jää rullan sisään. Mikäli rullaaminen ei onnistu, voidaan vaatteet myös leikata niin, että ne saadaan turvallisesti poistettua ilman kontaminaation leviämistä. Kaikki kontaminoituneet vaatteet, vuodevaatteet yms. materiaalit laitetaan suljettuun ja merkittyyn muovipussiin ja hävitetään asianmukaisesti. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.)

Kontaminoitunut iho pestään haalealla vedellä. Kuuma vesi lisää ihon verenkiertoa ja voi näin ollen nopeuttaa radioaktiivisen aineen absorboitumista. Kylmä vesi taas sulkee ihohuokokset, jolloin kontaminaatio jää niiden sisään. Pään alueen kontaminaation puhdistamisessa pään tulee olla takakenossa, jolloin huuhteluvesi ei valu silmiin, nenään tai suuhun. Kontaminoituneen alueen puhdistaminen aloitetaan alueen reunoilta siirtyen kohti keskustaa. Dekontaminaatioon käytetään saippuaa ja vettä. Ihoärsytystä on vältettävä pestessä, ettei ihon pinta rikkoudu ja radioaktiivinen aine pääse sitä kautta elimistöön. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.)

Radioaktiivisen aineen absorboituminen elimistöön voi olla nopeampaa ruumiin aukkojen ja limakalvojen kautta. Siksi kontaminaation puhdistamisessa ruumiin aukot ja haavat on huomioitava erityisesti. Kontaminoituneista haavoista säteily pääsee ympäröiviin kudoksiin aiheuttaen niille vahinkoa. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.) Kontaminoituneiden haavojen puhdistaminen on aloitettava viipymättä, jotta radioaktiivisten aineiden liukeneminen vereen saataisiin estettyä (IAEA 2018, 244). Haavojen kontaminaation puhdistamisessa on oltava huolellinen. Haavassa oleva kudokset saattaa peittää kontaminaatiomittarilta heikkoja beeta- ja alfasäteilijöitä. (Kumar ym. 2010.) Kontaminoituneet ruumiin aukot puhdistetaan vedellä tai suolaliuoksella. Puhtaana pysyneet haavat ja aukot suojataan vesitiiviisti ennen pesua. (STM 2008, 33.)

Jos radioaktiivista ainetta joutuu kehon sisälle esimerkiksi hengitettynä, nieltynä tai haavojen kautta, on kyseessä sisäinen kontaminaatio. Radioaktiivinen aine kehon sisällä voi aiheuttaa esimerkiksi jodikertymän kilpirauhaseen tai radiumin,

plutoniumin tai americiumin kertymistä luihin. Sisäiseen kontaminaatioon on reagoitava nopeasti, koska tietyt radioaktiiviset aineet voivat kulkeutua tunneissa tai jopa minuuteissa eri elimiin, ja tällöin niiden poistaminen elimistöstä hankaloituu. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.) Elimet, joiden proteiini- ja rasvapitoisuus on suuri, sitouttavat parhaiten radioaktiivisia aineita itseensä. Tällaisia elimiä ovat esimerkiksi maksa, munuaiset, rasvakudos ja luu. (Kumar ym. 2010.)

Sisäisen kontaminaation tutkiminen voidaan aloittaa, kun henkilön terveydentila on vakaa ja ulkoinen kontaminaatio on puhdistettu. Sisäisen kontaminaation toteuttamiseksi voidaan ottaa pyyhintänäyte kummastakin sieraimesta ja kielen alta. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.) Näytteet otetaan pumpulipuikolla, jotka suljetaan muoviseen pussiin. Pyyhintänäyte tulisi ottaa mahdollisimman pian säteilyaltistuksen jälkeen. Näytteiden kontaminaatiota mitataan pintakontaminaatiomittarilla. Mittaria liikutetaan pussin yllä, jonne näyte on suljettu. (STM 2008, 35.) Kontaminaatiomittarin alhaiseen lukemaan ei voida suoraan luottaa, vaan myös aika, jolloin mahdollinen sisäinen kontaminaatio on tapahtunut, täytyy ottaa huomioon (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011).

Sisäisesti kontaminoituneen säteilyannosta voidaan pienentää käyttämällä vasta-aineita, jotka nopeuttavat tietynlaisten radioaktiivisten aineiden poistumista kehosta. Vasta-aineiden teho on kuitenkin rajallinen. Radioaktiivisia aineita, joiden poistumista kehosta voidaan nopeuttaa, on esimerkiksi jodi ja tallium. (STM 2008, 35.) Esimerkiksi kaliumjodidi estää radioaktiivisen jodin tai teknetiumin kertymistä kilpirauhaseen. Maha-suolikanavaan joutuneen radioaktiivisen aineen absorboitumista voidaan vähentää vatsahuuhtelulla. Nopeavaikeutiset laksatiivit stimuloivat suolen toimintaa ja lisäävät nesteen liikettä suolistossa, jolloin suolen sisältö poistuu noin 3-6 tunnissa. Joissain tapauksissa nesteenpoistolääkkeitä voidaan käyttää nopeuttamaan virtsan mukana erityyppien radioaktiivisten aineiden poistumista elimistöstä. Sisäisen ja ulkoisen dekontaminaation onnistuminen tarkistetaan säteilymittarilla. Tarvittaessa kontaminoituneet alueet puhdistetaan uudelleen. (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011.)

5 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMA

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa tietoa PSHP:n isotooppilaboratorion henkilökunnalle siitä, millä herkkyydellä henkilökontaminaatiomittari mittaa kontaminaation gammasäteilyä. Tarkoituksena on suorittaa mittauksia, joilla pystytään määrittämään henkilökontaminaatiomittarin herkkyys gammasäteilylle. Tutkimuskysymyksenä on, minkälaisia määriä gammasäteilyä henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan.

6 MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT

6.1 Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä

Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus soveltuu sellaiseen tutkimukseen, jossa tarkastelun kohteena ovat numeerisesti kuvattavat asiat. Kvantitatiivisella tutkimuksella halutaan vastaus kysymykseen ”kuinka paljon” tai ”kuinka usein”. (Vilkkä 2007, 13-14.) Kvantitatiivisessa tutkimuksessa selvitetään tutkittavaan ilmiöön liittyvien eri asioiden välisiä riippuvuuksia tai tapahtuneita muutoksia (Heikkilä 2014). Tutkimustieto kerätään ja käsitellään numeerisessa muodossa (Vilkkä 2007, 14). Numeerinen tieto avataan sanallisella selityksellä (Heikkilä 2014). Selittävällä tutkimuksella on tavoitteena tehdä tutkittavasta asiasta aiempaa ymmärrettävämpi tai selkeämpi. Se tapahtuu esittämällä asioiden välisiä kausaalisuhteita eli syy-seuraus -suhteita. (Vilkkä 2007, 19.) Selittävän tutkimuksen yksi muoto on kokeellinen tutkimus, jossa tutkitaan kontrolloiduissa olosuhteissa jonkin tekijän vaikutusta tutkittavaan ilmiöön tai asiaan (Heikkilä 2014).

Määrällisessä tutkimuksessa tieto saadaan määrälliseksi mittarin avulla (Vilkkä 2017, 14). Mittarin valintaan vaikuttaa sen sopivuus tutkittavaan kohteeseen. Tutkittavaan kohteeseen liittyvät käsitteet on määriteltävä mitattavaan muotoon. Tätä kutsutaan operationalisoinniksi. (Menetelmäopetuksen tietovaranto 2013.) Tutkimuksessa käytettäviä mittareita voi olla kysely-, haastattelu tai havainnointilomake (Vilkkä 2017, 14). Mitattavaa asiaa kutsutaan muuttujaksi. Määrällisessä tutkimuksessa muuttuja on kysymys, johon vastataan. (Kananen 2011, 57.) Tutkimuksen kohderyhmää kutsutaan populaatioksi tai perusjoukoksi. Perusjoukosta otetaan otos, joka tutkimuksessa edustaa koko joukkoa. Otoksen kokoon vaikuttavia tekijöitä on tarkkuusvaatimus, perusjoukon koko ja budjetti. (Kananen 2011, 65-66.)

Opinnäytetyössä käytetään kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän kokeellista tutkimusstrategiaa henkilökontaminaatiomittarin herkkyyden määrittämiseksi gammasäteilylle. Otoksen koko ja tavoiteltavat aktiivisuusarvot määräytyivät aiemmin yhteistyökumppanin toimesta tehdyn, suuntaa antavan mittauksen perusteella.

Aiemman mittauksen perusteella otoksen koko arvioitiin riittäväksi gammasäteilykontaminaation havaitsemisalueen löytämiseksi. Mittaukset suunniteltiin tehtäväksi tasaisesti kasvavilla aktiivisuusarvoilla, jotta todennetaan, reagoiko kontaminaatiomittari antamalla myös loogisesti kasvavia arvoja havaitsemastaan kontaminaatiosta.

6.2 Aineiston keruu ja analyysi

Tyypillisesti kvantitatiivisessa tutkimusmenetelmässä tiedonkeruuseen käytetään lomakekyselyä tai haastattelua. Tiedonkeruumenetelmä tulee valita tutkimusongelman ja tutkimuksen perusjoukon mukaan. (Heikkilä 2014.) Opinnäytetyössä käytettyyn kokeelliseen tutkimusstrategiaan sopivin tiedonkeruumenetelmä oli suunnitella tiedonkeruulomakkeet, joihin opinnäytetyön tekijät kirjasivat tutkimuksen tulokset.

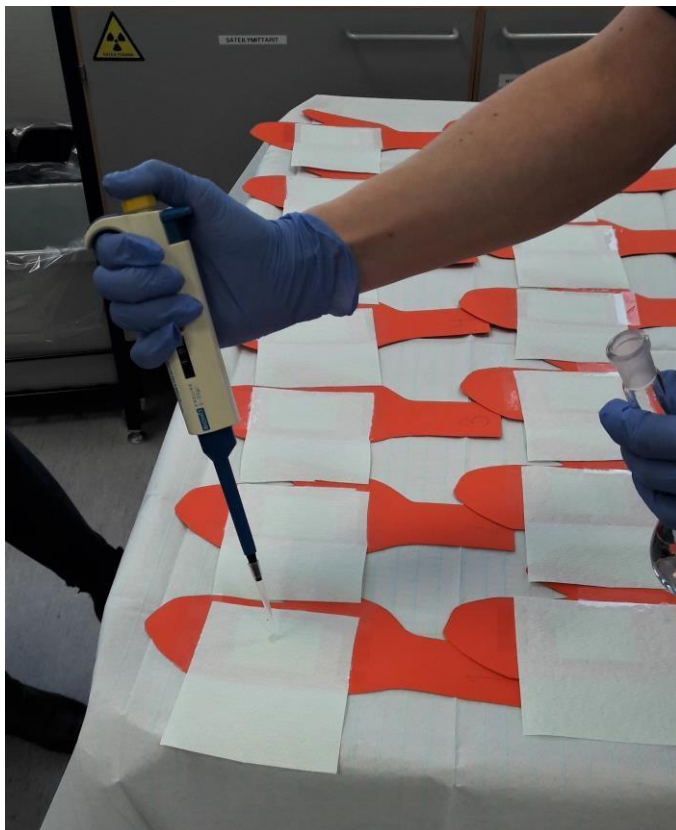
Opinnäytetyössä gammasäteilyn herkkyuden määrittäminen tehtiin yhteistyökumppanin käytössä olevalle käsi-kenkä -henkilökontaminaatiomittarille ja aineisto kerättiin mittarin antamista aktiivisuusarvoista (kuva 1). Mittari on tarkoitettu lääketieteellisessä käytössä oleville radioisotoopeille, kuten Teknetium-99m, Coboltti-57 tai Jodi-125 ja se havaitsee alfa-, beeta- ja gammasäteilyä. Pienimmät havaittavat aktiivisuusarvot Teknetium-99m radioisotoopille on määritelty käsille 48 Bq ja jaloille 85 Bq. Aktiivisuus havaitaan detektoreiden avulla, joita on käsille tarkoitettuissa laatikoissa, jalkojen alla, sekä vaatteille tarkoitettussa liikuteltavassa mittausanturissa. Kontaminaatiota mitattaessa mittari antaa hälytysäänen, jos kontaminaation kynnysarvo ylittyy. Kummallekin kädelle on oma laatikko ja laatikossa on kaksi detektoria molemmin puolin. Kun sekä kätet että jalat on aseteltu niille tarkoitetuille sijoille oikein ja asetteluvalot peittyvät, alkaa mittari mitata kontaminaatiota. Jos kontaminaatiota havaitaan, mittari antaa äänimerkin ja näytöllä näkyy, mikä detektori on tehnyt havainnon. Näytöllä näkyy myös mittauslukema kontaminaatiosta. Mittausparametrit saa valita eri vaihtoehdoista laitteen asetuksista, ja mittausparametriksi on valittu Bq/cm².



KUVA 1. Käsi-kenkä -henkilökontaminaatiomittari

Isotooppilaboratorion työntekijä avusti opinnäytetyön tekijöitä valmistamalla pyydetyn määrän testiainetta. Kontaminaatiot suoritettiin testiaineella, jonka valmistamiseen oli käytetty Teknetium-99m. Testiainetta valmistettiin kahden eri laimennoksen verran. Laimennosten suhteet olivat 41,89 MBq 100 millilitrassa punaisille testikappaleille ja 95,2 MBq 100 millilitrassa vihreille testikappaleille. Laimennosten aktiivisuudet mitattiin annoskalibraattorilla. Isotooppilaboratorion työntekijä kontaminoi testikappaleita pipetin avulla (kuva 2). 41,89 MBq:n laimennosta annosteltiin punaisille testikappaleille 10 mikrolitran välein aloittaen 10 mikrolitrasta ja edeten 190 mikrolitraan asti (liite 1). 95,2 MBq:n laimennosta annosteltiin vihreille testikappaleille 5 mikrolitran välein aloittaen 5 mikrolitrasta ja edeten 95 mikrolitraan asti (liite 2). Testikappaleiden materiaalina käytettiin kartonkia, joihin teipattiin imevää suojapaperia. Imevän suojapaperin päälle pipetoitiin kontaminaatiopiste. Pipettinä käytettiin 5 ja 10 mikrolitran pipettejä. Kontaminoinnin jälkeen imupaperia taitettiin kontaminaatiopisteen päälle ja paperi teipattiin kiinni. Koko testikappale pussitettiin saumalliseen muovipussiin ennen kuin se asetettiin

henkilökontaminaatiomittarin käden sijaan. Näin estettiin kontaminaatiomittarin ja muun ympäristön kontaminoituminen. Yhtä laimennosta kohden testikappaleita oli 19 ja testikappaleet olivat numeroitu 1-19. Mittaukset suoritettiin henkilökontaminaatiomittarin kädelle tarkoitetuilla antureilla. Testikappaleet asetettiin oikean käden puoleiseen laatikon vasempaan seinämään kiinni.



KUVA 2. Testikappaleiden kontaminointi pipetin avulla

Henkilökontaminaatiomittari ilmoitti havaitsemansa kontaminaation yksikössä Bq/cm^2 . Nämä mittaustulokset kirjattiin tietojenkeruulomakkeille (liite 1, liite 2). Tietojenkeruulomakkeilla on tavoitteelliset aktiivisuusarvot, joiden perusteella laimennokset valmistettiin. Tavoitteellisia aktiivisuusarvoja ei kirjattu enää tuloksiin, koska niitä tarvittiin vain halutun vahvuisen laimennoksen aikaansaamiseksi. Kontaminaatiopisteiden todelliset aktiivisuusarvot määritettiin laskemalla ne annoskalibraattorilla mitattujen laimennosten aktiivisuuksien pohjalta. Myös todelliset aktiivisuusarvot merkittiin tietojenkeruulomakkeelle. Tietojenkeruulomakkeille merkittiin myös, jos henkilökontaminaatiomittari antoi äänimerkillisen hälytyksen kontaminaatiosta.

Määrällisessä tutkimuksessa aineiston käsittely sisältää tavallisesti kolme eri vaihetta, jotka ovat lomakkeiden tarkistus, aineiston muuttaminen numeraalisesti käsiteltävään muotoon ja tallennetun aineiston tarkistus (Vilkka 2007, 107). Opinnäytetyön tutkimusmateriaali oli valmiiksi numeraalisessa muodossa, joten kerätty aineisto oli heti käsiteltävissä ilman muokkaamista. Tutkimustulokset kirjattiin Microsoft Excel 2013 -ohjelmalla (myöhemmin Excel) tehtyihin taulukoihin. Taulukot olivat muodoltaan samankaltaisia, kuin tietojenkeruulomakkeet.

Analyysimenetelmän tulee olla sellainen, joka sopii tutkimusongelmaan ja antaa tietoa siitä, mitä ollaan tutkimassa. Tapa analysoida aineistoa, valitaan muuttujien määrän mukaan. Mikäli kyseessä on yksi muuttuja, josta tietoa halutaan saada, kannattaa siitä selvittää useampia tunnuslukuja. Tunnuslukuja ovat muun muassa sijaintiluvut tai hajontaluvut. (Vilkka 2007, 119-123.) Opinnäytetyössä tutkimuskysymykseen vastasi henkilökontaminaatiomittarista saadut aktiivisuusarvot, jotka kerättiin tietojenkeruulomakkeille. Tietojenkeruulomakkeet muokattiin taulukoiksi, joista käy ilmi, millä aktiivisuusarvoilla henkilökontaminaatiomittari reagoi kontaminaatiopisaroihin ja millä aktiivisuusarvoilla kontaminaatiomittari antaa hälytyksen. Tulosten havainnolliseen esittämiseen käytettiin Excelillä tehtyjä viivakaavioita. Viivakaavioiden avulla visualisoitiin aktiivisuusarvojen lineaarisuutta. Vähäisestä muuttujamäärästä johtuen tulosten analysointiin ei ollut tarpeen käyttää useampia havainnollistamismenetelmiä.

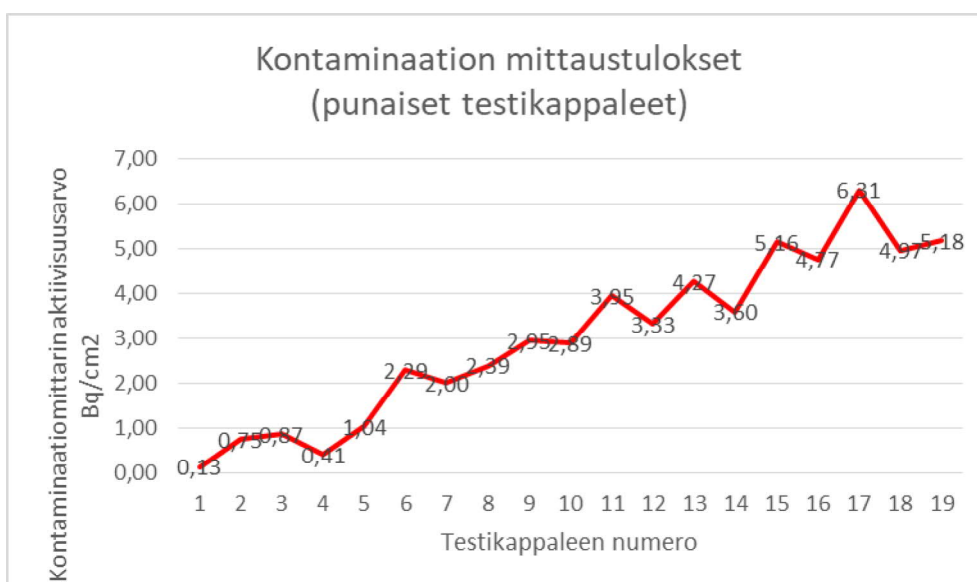
7 TUTKIMUSTULOKSET

Punaisia testikappaleita varten valmistetun liuoksen kokonaistilavuus oli 100 ml. Tilavuudesta pipetoitiin pisaroita 10 mikrolitran välein 10 mikrolitrasta 190 mikrolitraan. Liuoksen kokonaisaktiivisuusmäärästä lasketut aktiivisuusarvot pipetoituille pisaroille olivat välillä 4,189 kBq – 79,591 kBq. Henkilökontaminaatiomittarin tulokset sijoittuivat välille 0,13 Bq/cm² – 6,31 Bq/cm². Kontaminaatiomittari antoi hälytyksen aktiivisuusarvoille välillä 2,00 Bq/cm² – 6,31 Bq/cm². Korkein aktiivisuusarvo, joka ei aiheuttanut hälytystä oli 1,04 Bq/cm². (taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Kontaminaatiomittarin tulokset punaisille testikappaleille

#	liuoksen tilavuus	liuoksen todellinen akt kBq	kontaminaatiomittarin tulos akt Bq/cm ²	hälytys	
				kyllä	ei
1	10µl	4,189	0,13		x
2	20µl	8,378	0,75		x
3	30µl	12,567	0,87		x
4	40µl	16,756	0,41		x
5	50µl	20,945	1,04		x
6	60µl	25,134	2,29	x	
7	70µl	29,323	2,00	x	
8	80µl	33,512	2,39	x	
9	90µl	37,701	2,95	x	
10	100µl	41,89	2,89	x	
11	110µl	46,079	3,95	x	
12	120µl	50,268	3,33	x	
13	130µl	54,457	4,27	x	
14	140µl	58,646	3,60	x	
15	150µl	62,835	5,16	x	
16	160µl	67,024	4,77	x	
17	170µl	71,213	6,31	x	
18	180µl	75,402	4,97	x	
19	190µl	79,591	5,18	x	

Kuviossa 1 on esitettyinä punaisten testikappaleiden mittaustulokset viivakaavion muodossa. Testikappaleet on numeroitu 1-19 edeten pienimmästä aktiivisuusravosta $0,13 \text{ Bq/cm}^2$ suurempiin aktiivisuusravoihin. Kuvion y-akselilla on kontaminaatiomittarin aktiivisuusravot Bq/cm^2 ja x-akselilla testikappaleiden numerot. (kuvio 1.)



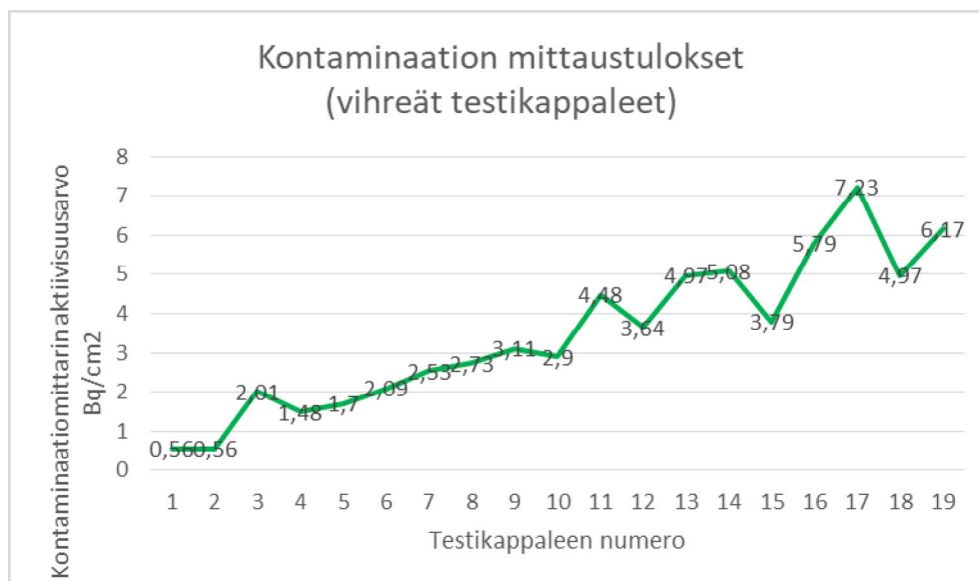
KUVIO 1. Kontaminaation mittaustulokset (punaiset testikappaleet)

Vihreitä testikappaleita varten valmistetun liuoksen kokonaistilavuus oli 100 ml. Tilavuudesta pipetoitiin pisaroita 5 mikrolitran välein 5 mikrolitrasta 95 mikrolitaraan. Liuoksen kokonaisaktiivisuusravasta lasketut aktiivisuusravot pipetoituille pisaroille olivat välillä 4,76 kBq – 90,44 kBq. Henkilökontaminaatiomittarin tulokset sijoituivat välille $0,56 \text{ Bq/cm}^2$ – $7,23 \text{ Bq/cm}^2$. Kontaminaatiomittari antoi hälytyksen aktiivisuusravolle välillä $1,48 \text{ Bq/cm}^2$ – $7,23 \text{ Bq/cm}^2$. Korkein aktiivisuusravo, joka ei aiheuttanut hälytystä oli $0,56 \text{ Bq/cm}^2$. (taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Kontaminaatiomittarin tulokset vihreille testikappaleille

#	liuoksen tilavuus	liuoksen todellinen akt kBq	kontaminaatiomittarin tulos akt Bq/cm ²	hälytys	
				kyllä	ei
1	5µl	4,76	0,56		x
2	10µl	9,52	0,56		x
3	15µl	14,28	2,01	x	
4	20µl	19,04	1,48	x	
5	25µl	23,8	1,70	x	
6	30µl	28,56	2,09	x	
7	35µl	33,32	2,53	x	
8	40µl	38,08	2,73	x	
9	45µl	42,84	3,11	x	
10	50µl	47,6	2,90	x	
11	55µl	52,36	4,48	x	
12	60µl	57,12	3,64	x	
13	65µl	61,88	4,97	x	
14	70µl	66,64	5,08	x	
15	75µl	71,4	3,79	x	
16	80µl	76,16	5,79	x	
17	85µl	80,92	7,23	x	
18	90µl	85,68	4,97	x	
19	95µl	90,44	6,17	x	

Kuviossa 2 on esitetty vihreiden testikappaleiden mittaustulokset viivakaavion muodossa. Testikappaleet on numeroitu 1-19 edeten pienimmästä aktiivisuusarvosta 0,56 Bq/cm² suurempiin aktiivisuusarvoihin. Kuvion y-akselilla on kontaminaation mittarin aktiivisuusarvot Bq/cm² ja x-akselilla testikappaleiden numerot. (kuvio 2.)



KUVIO 2. Kontaminaation mittaustulokset (vihreät testikappaleet)

8 POHDINTA

8.1 Tulosten tarkastelu

Matalin aktiivisuusarvo, jolla kontaminaatiomittari antoi hälytyksen, oli 1,48 Bq/cm². Hälytystä ei tullut aktiivisuusarvoille, jotka olivat alle 1,00 Bq/cm². Kun aktiivisuusarvo ensimmäisen kerran ylitti hälytysrajan, antoi kontaminaatiomittari hälytyksen myös sitä suuremmille aktiivisuusarvoille. Kontaminaatiomittarille on asetettu hälytysrajaksi aktiivisuusarvo 2 Bq/cm². Mittausten matalin aktiivisuusarvo, joka sai aikaan hälytyksen, oli alle kontaminaatiomittarille asetetun hälytysrajan 2 Bq/cm². Vihreille testikappaleille valmistettu testiainelaimennos oli aktiivisuudeltaan korkeampi, kuin punaisille tehty testiainelaimennos, jolloin vihreiden testikappaleiden kontaminaatiopisarot olivat tilavuudeltaan pienempiä, kuin punaisten testikappaleiden pisarat. Kontaminaatiomittari reagoi herkemmin, eli matalammilla aktiivisuusarvoilla, vihreiden testikappaleiden kohdalla antaen hälytyksen jo 1,48 Bq/cm² aktiivisuusarvolle, kun taas punaisten testikappaleiden kohdalla matalin aktiivisuusarvo, joka sai aikaan hälytyksen, oli 2,00 Bq/cm².

Tavoitteellisen aktiivisuusarvon kasvaessa kontaminaatiomittarin näyttämä aktiivisuusarvo ei kasvanut täysin lineaarisesti. Muutamissa kohdissa kontaminaatiomittarin antama aktiivisuusarvo oli edellistä lukemaa matalampi, vaikka oletuksena oli, että aktiivisuusarvo kasvaisi lineaarisesti, kuten tavoitteellinen aktiivisuusarvo. Punaisten testikappaleiden kohdalla lineaarisuuden hajoamista tapahtui enemmän, kuin vihreiden testikappaleiden kohdalla. Aktiivisuusarvot alkoivat poiketa linjasta molempien testikappaleryhmien kohdalla sitä enemmän, mitä suurempi tilavuus kontaminaatiopisaralla oli.

Punaisia testikappaleita varten valmistetusta laimennoksesta täytyi pipetoida tilavuudeltaan kaksinkertainen annos vihreiden testikappaleiden laimennokseen verrattuna, jotta saadaan sama aktiivisuus yhteen pisaraan. Ensimmäisten testikappaleiden kontaminaatiopisaroiden aktiivisuudeksi tavoiteltiin kummassakin testiryhmässä 5 kBq. Punaisten testikappaleiden kohdalla se tarkoitti 10 µl koosta pisaraa ja vihreiden testikappaleiden kohdalla 5 µl pisaraa. Punaisten testikappaleiden kontaminaatiopisarot olivat siis tilavuudeltaan suurempia ja saadut

tulokset poikkesivat tasaisesta linjasta enemmän verrattuna vihreisiin testikappaleisiin, joiden kohdalla kontaminaatiopisarat olivat puolet pienempiä aktiivisuuksien ollessa kuitenkin tavoitteellisesti samat. Näin ollen aktiivisuuden leviämisen isompaan tilavuuteen verrattuna saman aktiivisuuden leviämisen pienempään tilavuuteen vaikuttaa olevan merkitystä henkilökontaminaatiomittarin tarkkuuteen mitata gammasäteilyä aiheutuvaa kontaminaatiota.

Tutkimuskysymyksenä oli selvittää, minkälaisia määriä gammasäteilyä henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan. Tehtyjen mittausten perusteella henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan alle asetetun hälytysrajan 2 Bq/cm^2 gammasäteilyn aktiivisuusarvoja, mutta ei antamaan niistä täysin tarkkaa tai luotettavaa aktiivisuusarvolukemaa. Esimerkiksi vihreiden testikappaleiden kohdalla kahdesta ensimmäisestä testikappaleesta henkilökontaminaatiomittari antoi täysin samat aktiivisuusarvot, vaikka todellisuudessa annosta nostettiin. Henkilökontaminaatiomittari antoi kuitenkin hälytyksen asetetun hälytysrajan mukaisesti havaitessaan yli 2 Bq/cm^2 kontaminaation. Mittausten perusteella voidaan sanoa, että henkilökontaminaatiomittari pystyy havaitsemaan gammasäteilyä aiheutuvaa kontaminaatiota ja antamaan siitä hälytyksen, mikäli kontaminaatiomittariin asetettu pintakontaminaation hälytysraja ylittyy.

Aiemmin mainitun Szewczakin, Jednorógin ja Krajewskin (2013) tekemän tutkimuksen mukaan isotooppilaboratorion henkilökunnalla on riski saada kontaminaatiota käsiinsä radioaktiivisia aineita käsiteltäessä ja saatettaessa käyttökuntoon. Henkilökontaminaatiomittarin yhdeksi tehtäväksi voidaan ajatella sellaisten pienten kontaminaatiopisaroiden havaitseminen, joita työntekijä ei silmin huomaa työskentelyn lomassa roiskuneen. Toisin sanoen tällaisten kontaminaatiopisaroiden tilavuus on hyvin pieni, muutamia mikrolitroja. Näin ollen voidaan ajatella, että kyseessä oleva henkilökontaminaatiomittari on mittausten perusteella vähintäänkin suuntaa antava pienten kontaminaatiopisaroiden havaitsemisessa. Vaikkei kontaminaatiomittarin tarkkuus riittäisikään ilmoittamaan täysin tarkkaa ja luotettavaa aktiivisuusmäärää havaitsemalleen kontaminaatiolle, lienee tärkeämpää, että kontaminaatio yleensäkin havaitaan. Huomionarvoista on, että henkilökontaminaatiomittari antaa hälytyksen asetetun rajan mukaisesti myös gammasäteilevälle kontaminaatiolle, vaikka mittari on tarkoitettu ensisijaisesti alfa- ja

beetasäteilyn mittaamiseen. Kun kontaminaatio havaitaan, voidaan ryhtyä Säteilylain 859/2018 määrittelemiin, tarpeellisiin toimiin sen poistamiseksi. Sillä pyritään säteilyaltistuksen rajoittamiseen ja vaikuttamaan työntekijöiden säteilyturvallisuuksiin (STUK 2018b).

8.2 Luotettavuus ja eettisyys

Tutkimuksen kokonaisluotettavuuteen vaikuttavat validiteetti ja reliabiliteetti. Validiteetti tarkoittaa, että tutkimus on toteutettu niin, että se vastaa tutkimuskysymykseen. (Kananen 2011, 118.) Tutkimuksen validius varmistetaan huolellisella suunnittelulla ja harkitulla tiedonkeruulla (Heikkilä 2014). Tutkimusongelma määriteltiin täsmälliseen muotoon, jotta tutkimuksen tekeminen pysyy validina.

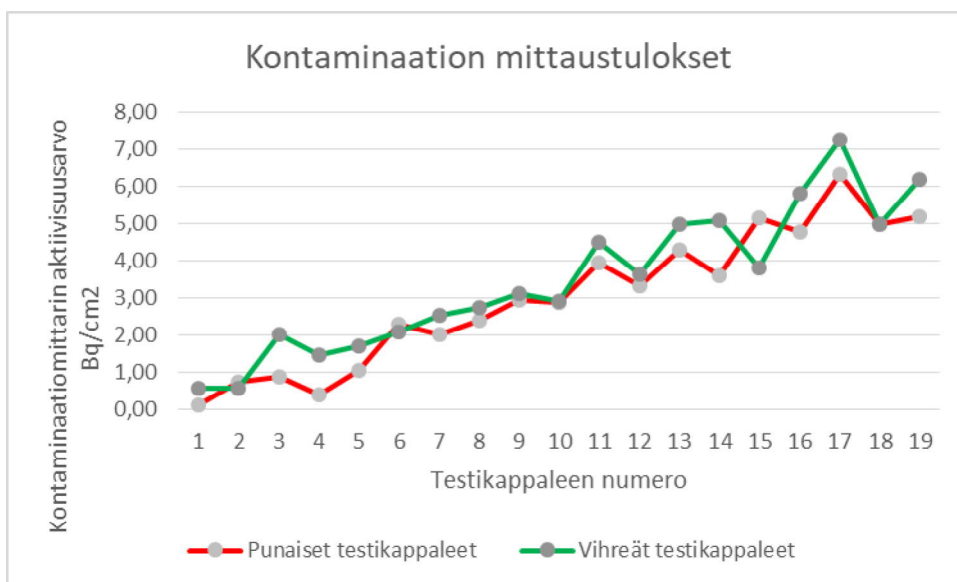
Reliabiliteetti tarkoittaa, että tutkimus on toistettavissa samoin tuloksina ja saadut tulokset ovat tarkkoja (Vilkkä 2007, 149; Heikkilä 2014). Tutkimuksen luotettavuutta lisää tutkimusongelman tarkkuus ja selkeys, sekä selkeästi määritelty perusjoukko. Luotettavuutta edesauttaa myös hyvin tehty tutkimussuunnitelma, sovellova tiedonkeruumenetelmä ja edustava otos. (Heikkilä 2014.)

Kontaminaatiomittauksia varten tehtiin kaksi eri testiainetta 100 millilitraan eri aktiivisuuksilla. Tällä tavoin varmistettiin henkilökontaminaatiomittarin antamien tulosten yhdenmukaisuutta ja luotettavuutta. Toisin sanoen aktiivisuuden ollessa sama, olisi kontaminaatiomittarin antaman tuloksenkin oltava sama riippumatta siitä, minkälaisesta laimennoksesta se on otettu. Sujuvuuden, tunnistamisen ja virheiden minimoimiseksi testikappaleet eroteltiin toisistaan kahdella eri värillä sen mukaan, kumpaa testiainetta käytettiin. Kummankin erän testikappaleet numeroitiin 1-19 ja mittaukset suoritettiin aloittaen numerosta 1, jolle kontaminoitiin pienin aktiivisuus. Molempien erien testikappaleille oli oma tietojenkeruulomake, johon oli merkitty myös numerot 1-19 testikappaleen numeron mukaisesti. (liite 1, liite 2.)

Testikappaleet pyrittiin asettamaan henkilökontaminaatiomittarin oikealle kädelle tarkoitettuun laatikkoon jokaisen mittauksen kohdalla samalla tavalla. Testikap-

pale asetettiin kiinni vasemman puolen seinään, jolloin se osuu samalle mittavalle anturille. Silmämääräisesti arvioituna testikappale asetettiin korkeussuunnassa keskelle laatikkoa. Koska testikappaleet eivät olleet täsmälleen samanlaisia ja asettelu tehtiin osittain silmämääräisesti, aiheuttaa se osaltaan mittauserävarmuutta. Tämä saattaa osittain selittää kontaminaatiomittarin antamien tulosten lineaarisuuden pienet poikkeavuudet.

Testikappaleiden eli otoksen vähäinen määrä heikentää tutkimuksen luotettavuutta. Mittaukset kuitenkin toistettiin kahdella eri laimennoksella ja kahdella eri testikappale-erällä. Toistettavuus lisää luotettavuutta. Kuviossa 3 on esitetty sekä punaisten että vihreiden testikappaleiden aktiivisuusarvojen lineaarisuutta suhteessa toisiinsa. Kuvio todentaa molempien testikappale-erien kohdalla, että kontaminaatiomittarin antamat aktiivisuusarvot kasvavat samassa linjassa kontaminaatiopisaran aktiivisuudenkin kasvaessa. Pientä poikkeavuutta täysin suoraviivaisesti nousevassa linjassa perustellaan tarkemmin muun muassa aiemmassa alaluvussa ”Tulosten tarkastelu”.



KUVIO 3. Kontaminaation mittaustulokset

Koska aineisto, eli kontaminaatiomittarin antamat aktiivisuuslukemat, olivat valmiiksi numeraalisessa muodossa, ei niitä tarvinnut muokata numeraaliseen muotoon tulosten käsittelyä varten. Se pienensi virheiden riskin määrää aineiston käsittelyvaiheessa. Tutkimustulokset esitettiin kuvioden lisäksi Excel-taulukoissa,

jotka olivat muodoltaan samankaltaisia, kuin tietojenkeruulomakkeet. Myös se vähensi osaltaan virheiden riskiä tulosten kirjaamisessa. Kokonaisuudessaan raportti laadittiin huolellisesti ja selkeästi niin, että tehdyt mittaukset on mahdollista suorittaa samalla tavalla uudelleen ja saada niistä samankaltaiset tulokset, kuin opinnäytetyössä esitetyt.

Tutkimusetiikassa määritellään tutkimustyöhön liittyvät säännöt kollegoiden, tutkimuskohteen, rahoittajien, toimeksiantajien ja suuren yleisön suhteen. Tutkijoiden tulee noudattaa tutkijan ammattietiikkaa ja hyvää tieteellistä käytäntöä tutkimusta toteuttaessaan. Tutkimuksen tavoitteet, aineistonkeruu ja käsittely, tulosten esittäminen tai aineiston säilytys eivät saa loukata tutkimuksen kohderyhmää, tiedeyhteisöä, eikä hyvää tieteellistä tapaa. Lisäksi tutkimusta tehdessä on huomioitava lainsäädäntö koskien esimerkiksi yksityisyyttä ja tekijänoikeuksia. Eettiseen tutkimukseen kuuluu, että lähteet merkitään kirjalliseen raporttiin asianmukaisesti. Tällä tavoin kunnioitetaan toisten tekemää työtä. (Vilka 2007, 89-91, 165.) Julkaistun tekstin kirjoittajat ovat lähtökohtaisesti vastuussa raportistaan. He ovat vastuussa tutkimustulosten luotettavuudesta, tekstin oikeinkirjoituksesta ja laadusta sekä oikein tehdyistä viittauksista. Aineiston käsittely on oltava luotamuksellista. Tutkijan tulee noudattaa antamiaan lupauksia aineiston käyttämisestä ja hävittämisestä. (Mäkinen 2006, 123, 148.)

Opinnäytetyössä käytetyt tekstiviitteet ja lähdeviitteet ovat Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) raportointiohjeen mukaisesti merkitty. Lähteinä käytettiin alkuperäisiä lähteitä, mikäli ne olivat saatavilla. Opinnäytetyön tekijät ovat vastuussa tekemiensä mittausten oikeellisuudesta ja rehellisestä raportoinnista, ja antavat saamansa tutkimustulokset yhteistyökumppaninsa vapaaseen käyttöön.

8.3 Oppimiskokemus ja jatkotutkimusehdotukset

TAMK:n ohjeissa opinnäytetyön tekemiseen on asetettu opinnäytetyön tavoitteiksi muun muassa harjaannuttaa ammattikorkeakouluopiskelijan taitoja itsenäiseen ja kriittiseen tiedonhankintaan ja hankkimansa tiedon analyysiin. Tavoit-

teena on harjaannuttaa myös ongelmanratkaisu-, päättely- ja argumentaatiotaitoja. Opinnäytetyön raportin laadinnassa opiskelijan tavoitteena on harjaantua kirjallisessa viestinnässä. (TAMK 2013.)

Opinnäytetyön tekeminen on ollut omiaan harjaannuttamaan itsenäistä tiedon hankintaa, sekä hankitun tiedon kriittistä tutkimista. Opinnäytetyön aihe on sen verran erityislaatuinen ja tarkkarajainen, että täsmällistä tutkimustietoa oli haastavaa alkaa etsiä. Nopeasti kävi ilmi, että aihetta parhaiten sivuavat tutkimusartikkelit olivat kansainvälisiä, joten artikkelien kieli oli useimmiten englanti. Tutkimusartikkelien lukeminen harjaannutti näin ollen myös kielitaitoa. Opinnäytetyön aihe vaati opiskelijoilta syvällistä perehtymistä isotooppien maailmaan. Erityisesti työperäinen säteilyaltistus sisäistyi käsitteenä tarkasti.

Opinnäytetyötä varten tehdyt mittaukset henkilökontaminaatiomittarille vaativat opiskelijoilta suunnittelukykyä ja muun muassa työturvallisuuden ja säteilyturvallisuuden huomioimista. Käsiteltäessä radioaktiivisella aineella kontaminoituja testikappaleita oli suunniteltava tarkkaan, kuinka altistusaika jää mahdollisimman lyhyeksi ja millä tavoin radioaktiivisella aineella kontaminoidut testikappaleet tulee lain mukaan oikeaoppisesti ja turvallisesti kuljettaa tiloista toiseen ja lopulta hävittää. Mittausten suunnittelun myötä säteilylaki ja työturvallisuusohjeet isotooppilaboratoriossa tulivat tutuiksi. Mittausten toteuttaminen vaati tietysti myös tiivistä yhteistyötä yhteistyökumppanin kanssa, koska yhteistyökumppani tarjosi opiskelijoille tilat ja avun radioaktiivisten aineiden käsittelyssä ja käyttökuntoon saattamisessa. Tämä mittasi opiskelijoiden sosiaalisia taitoja toimia yhteistyökumppanin kanssa ja sopia käytännön asioista mittausten tekemisen onnistumiseksi.

Numeeristen mittaustulosten käsittely, esittäminen ja analysointi veivät opiskelijat pois mukavuusalueelta. Mittaustulosten ymmärtäminen ja ymmärrettävään muotoon saattaminen opinnäytetyöraporttiin vaikutti lähtökohtaisesti haastavalta. Se kehitti kuitenkin pitkän pinnan lisäksi kykyä tehdä erilaisia taulukoita ja kuvioita, sekä sanallista analyysiä. Kirjalliset argumentaatiotaidot kehittyivät opinnäytetyön pohdintaosuudessa, jossa saaduista mittaustuloksista tuli kertoa perustellut johtopäätökset ja arvioida kuinka hyvin alkuperäiseen tutkimusongelmaan saatiin vastaus.

Jatkotutkimusehdotuksena henkilökontaminaatiomittarin herkkyuden määrittämiseen gammasäteilylle ehdotetaan samankaltaisten kontaminaatiomittausten tekemistä vielä pienempien kontaminaation aktiivisuusarvojen vaihteluvälillä, kuin tässä työssä. Herkkyysrajaa, jolla mittari havaitsee gammasäteilevän kontaminaation, on mahdollista tarkentaa uusimalla mittaukset. Henkilökontaminaatiomittarissa on kummallekin jalalle ja kädelle omat laatikkonsa, joissa säteilyä tunnistavat anturit ovat. Tämän opinnäytetyön mittauksissa käytettiin vain toisen puolen kädelle tarkoitettua anturia. Jatkotutkimusehdotuksena voi tutkia tuleeko mittaustuloksiin eroja eri anturien välillä.

LÄHTEET

Burgess, P., Keightley, L., Lee, C., Pottinger, M., Renouf, M. & Williams, D. 2011. Good Practice Guide No.14. The Examination, Testing & Calibration of Portable Radiation Protection Instruments. National Physical Laboratory. Luettu 4.2.2019. http://www.npl.co.uk/upload/pdf/gpg29_consultation_draft.pdf

Domínguez-Gadea, L. & Cerezo, L. 2011. Repost of Practical Oncology and Radiotherapy: Decontamination of radioisotopes. Elsevier Urban & Partner Sp. Jul; 16 (4), 147-152.

Ginjaume, M., Sans-Merce, M., Carnicer, A., Donadille, L., Barth, I., Vanhavere, F. 2012. Assessing and reducing exposures to nuclear medicine staff. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade. Vienna: IAEA 2015.

Heikkilä, T. 2014. Kvantitatiivinen tutkimus. Edita. Luettu 21.11.2018. <http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>

ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. 37 Nos. 2-4 2007.

IAEA. 2018. Occupational radiation protection. General safety guide. Vienna.

IAEA. 2019. Radiation protection in nuclear medicine. Luettu 6.7.2019. <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/nuclear-medicine>

Kananen, J. 2011. Kvantti: Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Klemola, S. 2002. Säteilyn ilmaisimet. Teoksessa Ikäheimonen, T. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto-Oy:n kirjapaino.

Ko, S., Chung, H. H., Cho, S. B., Jin, Y. W., Kim, K. P., Ha, M., Bang, Y. J., Ha, Y. W., Lee, W. J. 2017. Occupational radiation exposure and health effects on interventional medical workers: study protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open*. 7 (12)

Korpela, H. 2004. Säteilyn käyttö. Isotooppilääketiede. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Kortesniemi, M. 2008. Säteilylähteet terveydenhuollossa. Luettu 7.4.2019. <https://www.physicomedicae.fi/uncategorized/sateilylahteet-terveydenhuollossa/>

Kumar, V., Goel, R., Chawla, R., Silambarasan, M. & Sharma, R. K. 2010. Chemical, biological, radiological, and nuclear decontamination: Recent trends and future perspective. *Journal of Pharmacy & BioAllied Sciences* 2 (3), 220-238.

Mattsson, S. 2012. Radiation protection of patients and staff in diagnostic nuclear medicine and hybrid imaging. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade. Vienna: IAEA 2015.

Menetelmäopetuksen tietovaranto. 2013. Menetelmäopetuksen tietovaranto – Yhteiskuntatieteellinen tietovarasto (FSD). Luettu 29.03.2019. <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/index.html>

Mustonen, R & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveystvaikutukset. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Mäkinen, O. 2006. Tutkimusetiikan ABC. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Nassef M.H. & Kinsara A.A. 2017. Occupational radiation dose for medical workers at a university hospital. Journal of Taibah University for science. In press.

Paile, W. 2002. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveystvaikutukset. Hämeenlinna: Karisto Oy. 43.

Pastila, R (toim.). 2015. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2014. STUK-B 189. Säteilyturvakeskus.

Pastila, R (toim.). 2018. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2017. STUK-B 224. Säteilyturvakeskus.

Rep, S. 2016. Occupational Radiation Protection. Teoksessa Rep, S., Santos, A., Testanera, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimisation. EANM, 99–106.

Sandberg, J. & Paltemaa, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Teoksessa Ikäheimonen, T. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto-Oy:n kirjapaino.

Sovijärvi, A., Ahonen, A., Hartiala, J., Länsimies, E., Savolainen, S., Turjanmaa, V., Vanninen, E. 2003. Kliininen fysiologia ja isotooppiäätiede. 1. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

STM. 2008. Säteilyonnettomuudet. Säteilylle altistuneiden tutkimus ja hoito. Sosiaali- ja terveystministeriö.

STUK. 2005. Ionisoiva säteily. Luettu 7.7.2019. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125242/ionisoiva_sateily.pdf?sequence=1

STUK. 2009. Säteilyturvallisuus työpaikalla. ST 1.6. 10.12.2009. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK. 2015a. Ionisoiva säteily. Luettu 8.4.2019. <https://www.stuk.fi/aiheet/mitasateily-on/ionisoiva-sateily>

STUK. 2015b. Terveysthaittojen ehkäiseminen säteilysuojelulla. Luettu 6.5.2019. <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/terveyshaittojen-ehkaiseminen-sateily-suojelulla>

STUK. 2016a. Säteilyturvallisuus avolähteiden käytössä. ST 6.1. 2.3.2016. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK. 2018a. Säteilyturvakeskuksen määräys työperäisen altistuksen selvittämisestä, arvioinnista ja seurannasta. S/1/2018. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK. 2018b. Säteilyturvakeskuksen määräys suunnitelmasta säteilyturvallisuuspoikkeamien varalle sekä toimista säteilyturvallisuuspoikkeamien aikana ja niiden jälkeen. S/2/2018. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK. n.d. a. Säteilysuojelun periaatteet. Luettu 5.4.2019. <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/sateilytoiminnan-turvallisuus/sateilysuojelun-periaatteet>

STUK. n.d. b. Mitä säteily on? Sanasto. Luettu 1.11.2018. <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/sanasto>

STUK. n.d. c. STUK valvoo. Säteilymittaukset. Luettu 11.01.2019. <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/sateilymittaukset>

Szewczak, K., Slawomir, J. & Krajewski, P. 2013. Individual dose monitoring of the nuclear medicine departments staff controlled by Central Laboratory for Radiological Protection. Nuclear Medicine Review. 16, 2: 62-65.

Säteilylaki 9.11.2018/859.

TAMK. 2013. Ohje opinnäytetyön tekemiseen. Luettu 29.07.2019. <https://intra.tamk.fi/web/tutkinto-opinto-opas/ohje-opinnaytetyon-tekemiseen#luku2>

Tuovinen, H. 2017. Kontaminaation mittaus säteilyn käytössä. STUK. Luettu 1.11.2018. <https://www.stuk.fi/documents/12547/3239352/Tuovinen+Hanna+Kontaminaation+mittaus+s%C3%A4teilyn+k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4+TEOL2017.pdf/6857667c-b604-37bcfc59-48ef5f66d4fa>

Vaisala. 2016. Miten tulkita oikein mittalaitteiden suorituskykyä ja teknisiä tietoja. Sovellusesite. Luettu 4.2.2019. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Understanding-Accuracy-Specifications-Technical-note.pdf>

Valtioneuvoston asetus ionioivasta säteilystä 22.11.2018 1034/2018.

Vilkkä, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Väisälä, S., Korpela, H. & Kaituri, M. 2004. Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa. Teoksessa Pukkila, O. (toim.) Säteilyn käyttö. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto Oy:n kirjapaino.

Zito, F., Canzi, C. & Voltini, F. 2007. Best practice in radiation protection. Teoksessa Hugget, S. (toim.) Best practice in nuclear medicine. Part 2. Technologist's guide. EANM, 21–29.

LIITTEET

Liite 1. Tietojenkeruulomake Punaiset testikappaleet

#	tilavuus (μl)	tavoite akt kBq	todellinen akt kBq	tulos	hälytys	
					kyllä	ei
1	10μl	5				
2	20μl	10				
3	30μl	15				
4	40μl	20				
5	50μl	25				
6	60μl	30				
7	70μl	35				
8	80μl	40				
9	90μl	45				
10	100μl	50				
11	110μl	55				
12	120μl	60				
13	130μl	65				
14	140μl	70				
15	150μl	75				
16	160μl	80				
17	170μl	85				
18	180μl	90				
19	190μl	95				

Liite 2. Tietojenkeruulomake Vihreät testikappaleet

#	tilavuus (μl)	tavoite akt kBq	todellinen akt kBq	tulos	hälytys	
					kyllä	ei
1	5μl	5				
2	10μl	10				
3	15μl	15				
4	20μl	20				
5	25μl	25				
6	30μl	30				
7	35μl	35				
8	40μl	40				
9	45μl	45				
10	50μl	50				
11	55μl	55				
12	60μl	60				
13	65μl	65				
14	70μl	70				
15	75μl	75				
16	80μl	80				
17	85μl	85				
18	90μl	90				
19	95μl	95				