

# SISÄISESTÄ SÄTEILYSTÄ AIHEUTUVAN ANNOKSEN LASKEMINEN

1	YLEISTÄ	3
2	EFEKTIIVISEN ANNOKSEN KERTYMÄN LASKEMINEN	3
3	ANNOSMUUNTOKERTOIMET	3
4	JALOKAASUJEN AIHEUTTAMA ALTISTUS	5
4.1	Radon ja toron	5
4.2	Muut jalokaasut	5
5	KIRJALLISUUTTA	5
LIITE	EFEKTIIVISEN ANNOKSEN KERTYMÄN LASKEMISESSÄ KÄYTETTÄVÄT MUUNTOKERTOIMET JA PARAMETRIT	

Tämä ohje on voimassa 1.11.2007 alkaen toistaiseksi.

Ohje korvaa 1.7.1999 annetun ohjeen ST 7.3, Sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskeminen.

2. uudistettu painos  
Helsinki 2007  
ISSN 1456-8160

ISBN 978-952-478-253-1 (nid.)  
Edita Prima Oy / Helsinki 2007  
ISBN 978-952-478-254-8 (pdf)  
ISBN 978-952-478-255-5 (html)

# Valtuutusperuste

Säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet, säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet), säteilylain (592/1991) 70 §:n 2 momentin nojalla.

Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST-ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.

Tämä ohje sisältää neuvoston direktiivin 96/29/Euratom; EYVL N:o L 159, 29.6.1996, s. 1 täytäntöönpanoon liittyviä vaatimuksia.

# 1 Yleistä

Säteilyaltistuksen seurantaan varten on tarpeen määrittää tai arvioida sekä ulkoisesta että sisäisestä säteilystä aiheutuva annos. Verrattaessa altistuksen suuruutta annosrajoihin on tällöin otettava huomioon eri lähteistä aiheutuva kokonaisannos.

Tässä ohjeessa esitetään sisäisestä säteilystä aiheutuvan efektiivisen annoksen kertymän laskeminen ja laskemista varten tarvittavat muuntokertoimet.

Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltamista on käsitelty ST-ohjeessa 7.2, jossa on myös esitetty altistuksen seurannassa yleisimmin käytettyjen suureiden ja käsitteiden määritelmät. Altistuksen seuranta ja annosten rekisteröintiä on käsitelty ST-ohjeissa 7.1 ja 7.4.

## 2 Efektiivisen annoksen kertymän laskeminen

Efektiivisen annoksen kertymä  $E(\tau)$  määritellään seuraavasti:

$$E(\tau) = \sum_T w_T \cdot H_T(\tau), \quad (1)$$

missä  $w_T$  on kudoksen  $T$  painotuskerroin  
 $H_T(\tau)$  on ekvivalenttiannoksen kertymä kudoksessa  $T$  aikana  $\tau$ .

Aika  $\tau$ , jona kertymä määritetään, on aikuisille 50 vuotta ja lapsille 70 vuoden ikään asti jäljellä olevien vuosien määrä. Efektiivisen annoksen kertymän yksikkö on sievert (Sv).

Efektiivisen annoksen kertymän arvoa ei tarvitse laskea kertymän määrittelykaavan perusteella, vaan laskennassa käytetään ihmisen kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aktiivisuuksia eli saantoa. Ikäryhmään  $g$  kuulu-

van henkilön efektiivisen annoksen kertymä  $E(\tau)$  lasketaan täten seuraavasta lausekkeesta:

$$E(\tau) = \sum_j h(g)_{j,s} \cdot J_{j,s} + \sum_j h(g)_{j,h} \cdot J_{j,h}, \quad (2)$$

missä  $h(g)_{j,s}$  ja  $h(g)_{j,h}$  ovat suun ( $s$ ) ja hengityksen ( $h$ ) kautta kehoon joutuneen radionuklidin  $j$  annosmuuntokertoimet ikäryhmään  $g$  kuuluvalla henkilöllä

$J_{j,s}$  ja  $J_{j,h}$  ovat suun ja hengityksen kautta kehoon joutuneen radionuklidin  $j$  aktiivisuudet.

Annosmuuntokerroin  $h(g)^*$  tarkoittaa efektiivisen annoksen kertymää aktiivisuuden (saannon) yksikköä kohti. Muuntokertoimen yksikkö on Sv·Bq<sup>-1</sup>.

Annosmuuntokertoimia käytettäessä on tiedettävä radioaktiivisen aineen saanto. Saanto tarkoittaa tässä yhteydessä nieltä aktiivisuutta tai sisään hengitettyä aktiivisuutta riippumatta siitä, mikä osuus aktiivisuudesta poistuu uloshengityksen mukana. Jos radioaktiivisen aineen aktiivisuus mitataan suoraan kehosta tai epäsuorasti eritteistä tai muista kehon näytteistä, voidaan muuntokertoimia käyttää, jos saanto on laskettavissa tai arvioitavissa mittaustuloksen perusteella. Saannon määrittämistä mittaustuloksen perusteella on selvitetty esimerkiksi ICRP:n julkaisussa nro 78 [5].

## 3 Annosmuuntokertoimet

Annosmuuntokertoimien arvot eri nuklideille on annettu taulukoituina tämän ohjeen liitteessä. Radonin ja toronin hajoamistuotteiden muuntokertoimien arvot on kuitenkin esitetty erikseen kohdassa 4.1, koska radonin ja toronin aiheuttaman annoksen laskemisperusteet poikkeavat

\* Alaindeksit on jätetty pois, jos asiayhteydestä selviää, mistä muuntokertoimesta on kysymys, tai jos tarkoitetaan muuntokerrointa yleisesti.

muiden nuklidien aiheuttaman annoksen laskemisperusteista.

Annosmuuntokertoimien arvot riippuvat paitsi saantotavasta myös radioaktiivista ainetta kehoonsa saaneen henkilön iästä. Ikäryhmät  $g$ , joille kertoimet on annettu, ovat alle 1, 1–2, 2–7, 7–12, 12–17 ja yli 17 vuotta.

Laskettaessa hengityksen kautta kehoon joutuneen radioaktiivisen aineen aiheuttamaa efektiivisen annoksen kertymää on lisäksi otettava huomioon keuhkoihin joutuneen aineen partikkelikoko ja keuhkoista poistumisen nopeus. Annosmuuntokertoimien arvot on annettu jälle keuhkoabsorptioluokalle, jotka kuvaavat sitä nopeutta, millä kyseinen yhdiste tai aine absorboituu keuhkoista kehon nesteisiin (ks. ICRP 78 [5], s.12 ja ICRP 72 [4], s. xii):

- V, erittäin nopea absorboituminen
- F, nopea absorboituminen
- M, kohtalaisen nopea absorboituminen
- S, hidask absorboituminen.

Keuhkoihin joutuneen aineen partikkelikoko ilmaistaan käsitteellä AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter eli partikkelin aerodynaamisen halkaisijan aktiivisuusjakauman mediaani). Annosmuuntokertoimien arvot on annettu kahdelle AMAD-arvolle 1  $\mu\text{m}$  ja 5  $\mu\text{m}$ . Jos partikkelikokoa ei tunneta, käytetään säteilytyötä tekevien työntekijöiden annosta laskettaessa partikkelikoon oletusarvona 5  $\mu\text{m}$ :ä.

Ruoansulatuskanavaan joutuneesta alkuaine- tai yhdistemäärästä kehon nesteisiin siirtyvä osuus kuvataan siirtokertoimella  $f_i$ . Kertoimien arvot on annettu liitteen taulukoissa\*\*.

Liitteen taulukossa A on esitetty suun kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien arvot väestön eri ikäryhmille. Taulukossa B on esitetty hengityksen kautta kehoon joutuneiden nuklidien muuntokertoimien

arvot väestön eri ikäryhmille ja eri keuhkoabsorptioluokille. Taulukoiden A ja B arvoja sovelletaan myös 16 vuotta täyttäneisiin, mutta alle 18-vuotiaisiin opiskelijoihin ja harjoittelijoihin, jotka ammatillisen koulutuksensa vuoksi osallistuvat säteilylähteiden käyttöön. Taulukoissa A ja B on lisäksi esitetty siirtokertoimien  $f_i$  arvot suun kautta kehoon joutuneille nuklideille ja hengityksen kautta kehoon joutuneille nuklideille keuhkoista ruoansulatuskanavaan siirtyneen saannon osalta.

Liitteen taulukossa C1 on esitetty suun tai hengityksen kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille. Hengityksen kautta tapahtuneelle saannolle muuntokertoimien arvot on esitetty eri AMAD-arvoille (kertoimien merkinnät  $h(g)_{1\mu\text{m}}$  ja  $h(g)_{5\mu\text{m}}$ ) ja eri keuhkoabsorptioluokille. Taulukossa C1 on esitetty myös siirtokertoimien  $f_i$  arvot. Taulukossa C2 on esitetty hengityksen kautta kehoon joutuneiden liukoisten tai reaktiivisten kaasujen ja höyryjen muuntokertoimien arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille.

Liitteen taulukossa D on esitetty alkuaineittain ja yhdisteittäin eriteltyinä suun kautta kehoon joutuneiden aineiden siirtokertoimien  $f_i$  arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille. Taulukon arvoja voidaan soveltaa myös väestöön.

Liitteen taulukossa E on esitetty alkuaineittain ja yhdisteittäin eriteltyinä hengityksen kautta kehoon joutuneiden aineiden keuhkoabsorptioluokat ja siirtokertoimien  $f_i$  arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille. Kirjallisuusviitteet, joista voidaan löytää vastaavat tiedot väestölle, on esitetty taulukossa F.

Liitteen taulukossa G on esitetty hengityksen kautta kehoon joutuneiden liukoisten tai reaktiivisten kaasujen ja höyryjen annosmuuntokertoimien arvot väestön eri ikäryhmille. Aikuisten

\*\*  $f_i$  -kertoimia ei tarvita tässä ohjeessa kuvatuissa annoslaskuissa, mutta ne on annettu, jotta kävisi ilmi ruoansulatuskanavaan joutuneesta ainemäärästä kehon nesteisiin siirtyvä osuus.  $f_i$ -kertoimia tarvitaan  $h(g)$ -kertoimien laskemisessa.

(yli 17-vuotiaat) arvot koskevat myös säteilytyötä tekeviä työntekijöitä. Taulukko *G* täydentää taulukossa *C2* esitettyjä tietoja.

## 4 Jalokaasujen aiheuttama altistus

### 4.1 Radon ja toron

Radonille ( $^{222}\text{Rn}$ ) ja toronille ( $^{220}\text{Rn}$ ) altistumisesta aiheutuva efektiivinen annos johtuu näiden nuklidien lyhytikäisistä hajoamistuotteista, jotka sisäänhengityksessä joutuvat keuhkoihin. Efektiivinen annos  $E$  lasketaan kaavasta:

$$E = h \cdot W, \quad (3)$$

missä  $h$  on hajoamistuotteiden muuntokerroin

$W$  on potentiaalinen alfaenergia-altistus.

Radonin ja toronin hajoamisketjuissa syntyvä potentiaalinen alfaenergia tarkoittaa kokonais-alfaenergiaa, joka emittoituu radonin ja toronin tytäraineiden hajotessa kokonaisuudessaan:

- $^{222}\text{Rn}$ :n hajotessa  $^{210}\text{Pb}$ :een asti (sitä mukaan lukematta)
- $^{220}\text{Rn}$ :n hajotessa stabiiliin  $^{208}\text{Pb}$ :aan asti.

Potentiaalisen alfaenergian yksikkö on joule (J).

Alfaenergiakonsentraatio on potentiaalinen alfaenergia tilavuusyksikköä kohti. Potentiaalinen alfaenergia-altistus  $W$  on alfaenergiakonsentraation ja altistusajan tulo ja sen yksikkö on  $\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Hajoamistuotteiden muuntokertoimien  $h$  yksikkö on  $\text{Sv}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^3$ . Kertoimille käytetään seuraavia lukuarvoja:

- radon asunnoissa 1,1
- radon työpaikalla 1,4
- toron työpaikalla 0,5.

### 4.2 Muut jalokaasut

Henkilön ollessa radioaktiivisen jalokaasun ympäröimänä hänen keuhkoihinsa sisäänhengityksessä joutuneesta kaasusta aiheutuva efektiivinen annos on yleensä vähäinen ulkoisesta säteilystä aiheutuvaan annokseen verrattuna. Ulkoisen säteilyn aiheuttama efektiivinen annos  $E$  voidaan laskea kaavasta:

$$E = \sum_j h_j \cdot c_j \cdot t_j, \quad (4)$$

missä  $h_j$  on nuklidin  $j$  muuntokerroin  
 $c_j$  on nuklidin  $j$  aktiivisuuskonsentraatio tai konsentraation keskiarvo altistusaikana  
 $t_j$  on altistusaika nuklidille  $j$ .

Liitteen taulukossa  $H$  on esitetty muuntokertoimien  $h_j$  arvot argonin, kryptonin ja ksenonin isotoopeille. Muuntokertoimien yksikkö on  $\text{Sv}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^3$ .

## 5 Kirjallisuutta

- 1 ICRP Publication 30 Part 1, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. The International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt, 1979.
- 2 ICRP Publication 66, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. The International Commission on Radiological Protection, Pergamon, 1994.
- 3 ICRP Publication 71, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients. The International Commission on Radiological Protection, Pergamon, 1995.

- 4 ICRP Publication 72, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. The International Commission on Radiological Protection, Pergamon, 1995.
- 5 ICRP Publication 78, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Replacement of ICRP Publication 54. The International Commission on Radiological Protection, Pergamon, 1998.
- 6 IAEA Safety Series No. 115, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.

## LIITE

## EFEKTIIVISEN ANNOKSEN KERTYMÄN LASKEMISESSA KÄYTETTÄVÄT MUUNTOKERTOIMET JA PARAMETRIT

		Sivu
TAULUKKO A	Suun kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ) väestölle.	8
TAULUKKO B	Hengityksen kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ) väestölle.	23
TAULUKKO C1	Suun tai hengityksen kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ) säteilytyötä tekeville työntekijöille.	52
TAULUKKO C2	Hengityksen kautta kehoon joutuneiden liukoisten tai reaktiivisten kaasujen ja höyryjen annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ) säteilytyötä tekeville työntekijöille.	76
TAULUKKO D	Suun kautta kehoon joutuneiden aineiden siirtokertoimien $f_i$ arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille eriteltyinä alkuaineittain ja yhdisteittäin. Kertoimia voidaan soveltaa myös väestöön.	77
TAULUKKO E	Hengityksen kautta kehoon joutuneiden aineiden keuhkoabsorptioluokat ja siirtokertoimien $f_i$ arvot säteilytyötä tekeville työntekijöille eriteltyinä alkuaineittain ja yhdisteittäin.	80
TAULUKKO F	Kirjallisuusviitteet alkuaineiden ja yhdisteiden keuhkoabsorptioluokille väestön altistuessa hengityksen kautta.	84
TAULUKKO G	Hengityksen kautta kehoon joutuneiden liukoisten tai reaktiivisten kaasujen ja höyryjen annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ) väestölle.	87
TAULUKKO H	Jalokaasuista argon, krypton ja ksenon aiheutuvan efektiivisen annoksen muuntokertoimien $h_j$ arvot ( $\text{Sv}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^3$ ) aikuisille.	90