

SÄTEILYALTISTUKSEN ENIMMÄIS- ARVOJEN SOVELTAMINEN JA SÄTEILY- ANNOKSEN LASKEMISPERUSTEET

1	YLEISTÄ	3
2	ANNOSRAJAT	3
2.1	Yleistä	3
2.2	Annosrajat työntekijöille, opiskelijoille ja väestölle	3
2.3	Muut enimmäisarvot	4
2.4	Säteilyn lääketieteellinen käyttö	4
3	MITATTAVAT JA LASKENNALLISET SUUREET ANNOSRAJOJEN SOVELTAMISEKSI	5
4	TYÖNTEKIJÖIDEN JA OPISKELIJOIDEN ANNOSRAJOJEN SOVELTAMINEN	5
4.1	Säteilyn käyttö	5
4.2	Luonnonsäteilylle altistava toiminta	6
5	VÄESTÖN ANNOSRAJOJEN SOVELTAMINEN	6
LIITE A	MÄÄRITELMIÄ	
LIITE B	EKVIVALENTTIANNOKSEN JA EFEKTIIVISEN ANNOKSEN LASKEMISESSA KÄYTETTÄVÄT KERTOIMET	

Tämä ohje on voimassa 1.10.2007 alkaen toistaiseksi.

Ohje korvaa 1.7.1999 annetun ohjeen ST 7.2, Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet.

Helsinki 2007
ISSN 1456-8160

ISBN 978-952-478-229-6 (nid.)
Edita Prima Oy / Helsinki 2007
ISBN 978-952-478-230-2 (pdf)
ISBN 978-952-478-231-9 (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.

1 Yleistä

Ionisoiva säteily aiheuttaa elimistölle haittavaikutuksia, jotka ovat jaettavissa kahteen ryhmään: suoriin ja satunnaisiin. Säteilyn suoria haittavaikutuksia ovat muun muassa säteilysairaus, palovamma, harmaakaihi ja sikiövauriot. Säteilyn suoria haittavaikutuksia esiintyy potilaiden tyypillisinä sivuvaikutuksina sädehoidossa. Lisäksi suoria haittavaikutuksia voi aiheutua onnettomuustapauksissa aiheutuneista suurista säteilyannoksista. Säteilyn satunnaisiin haittavaikutuksiin kuuluvat syöpä sekä sukusoluissa tapahtuvat, jälkeläisille periytyvät vauriot (geneettinen haitta). Säteilysuojelussa näiden haittavaikutusten arvioimiseen käytetään suuria ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos.

Tässä ohjeessa esitetään ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen määritelmät ja laskemisperusteet sekä enimmäisarvojen soveltamisohjeet. Lisäksi esitetään sisäisestä säteilystä aiheutuvan altistuksen seurantaan varten annosrajoista johdetut rajat (vuosisaantiraja ja ilman aktiivisuuspitoisuusraja). Ohjeessa ei käsitellä ionisoivalle säteilylle altistavista lääketieteellisistä tutkimuksista ja hoidoista potilaalle aiheutuvan säteilyannoksen laskemista.

Säteilyasetuksen (1512/1991) 2 luvussa on säädetty säteilyaltistuksen enimmäisarvot (vuosiannosrajat). Säteilyasetuksen 7 §:n mukaan Säteilyturvakeskus antaa tarkemmat ohjeet enimmäisarvojen soveltamisesta ja säteilyannoksen laskemisesta.

Säteilyaltistuksen seuranta käsitellään ohjeessa ST 7.1 ja sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskemista ohjeessa ST 7.3. Säteilysuojelussa efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen lisäksi käytettäviä muita suureita ja säteilyn mittaamista käsitellään ohjeessa ST 1.9.

2 Annosrajat

2.1 Yleistä

Säteilyasetuksessa ekvivalenttiannokselle ja efektiiviselle annokselle säädetty annosrajat koskevat sellaista työntekijöiden ja väestön altistusta, joka aiheutuu ionisoivan säteilyn tai

ydinenergian käytöstä (ks. poikkeukset kohdassa 2.4), tai sellaisesta luonnonsäteilylle altistavasta toiminnasta, joka on todettu säteilytoiminnaksi. Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen määritelmät on esitetty tämän ohjeen liitteessä A. Sisäiselle säteilylle altistuttaessa niitä vastaavien ekvivalenttiannoksen kertymän ja efektiivisen annoksen kertymän määritelmät on myös esitetty liitteessä A.

Annosrajat eivät koske sellaista altistusta, joka aiheutuu asuntojen hengitysilmän radonista, maan pinnan tasolla vallitsevasta avaruussäteilystä tai luonnontilassa olevan maankuoren sisältämien tai ihmiskehossa luonnostaan olevien radioaktiivisten aineiden lähettämästä säteilystä. Annosrajat eivät myöskään koske sellaista altistusta, joka aiheutuu kohdassa 2.4 luetelluista, säteilyn lääketieteelliseen käyttöön liittyvistä toimenpiteistä.

Jos henkilö altistuu sekä ulkoiselle että sisäiselle säteilylle, ulkoisesta säteilystä aiheutuva annos ja kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aiheuttama annoskertymä lasketaan yhteen. Tällöin on erityisesti huolehdittava siitä, ettei kokonaisaltistuksesta aiheudu asetettujen annosrajojen ylitystä.

2.2 Annosrajat työntekijöille, opiskelijoille ja väestölle

Säteilyasetuksessa on säädetty annosrajat kolmelle henkilöryhmälle, jotka ovat seuraavat:

- säteilytyötä tekevät työntekijät, joihin sovelletaan säteilyasetuksen 3 §:n annosrajoja
- ammatillisen koulutuksensa vuoksi säteilylähteiden käyttöön osallistuvat 16 vuotta täyttäneet mutta alle 18-vuotiaat opiskelijat ja harjoittelijat, joihin sovelletaan säteilyasetuksen 4 §:n annosrajoja
- väestö, johon sovelletaan säteilyasetuksen 6 §:n annosrajoja.

Säteilyasetuksessa säteilytyöksi on määritelty sellainen työ, jossa työntekijän säteilyaltistus voi ylittää jonkin väestölle säädetystä annosrajoista.

Eri henkilöryhmien annosrajat on esitetty taulukossa I.

Taulukko I. Annosrajat työntekijöille, opiskelijoille ja väestölle.

Rajoituksen kohde	Annosraja, mSv vuodessa		
	Säteilytyötä tekevät työntekijät	16–17-vuotiaat opiskelijat ja harjoittelijat	Väestö
Efektiivinen annos			
• keskiarvo viiden vuoden aikana	20	-	-
• yhden vuoden aikana	50	6	1
Ekvivalenttiannos			
• silmän mykiö	150	50	15
• iho	500	150	50
• kädet ja jalat ^{*)}	500	150	- ^{**)}
^{*)} Kämmenet, kämmenselät, sormet, ranteet ja kyynärvarret sekä jalkaterät ja nilkat. ^{**)} Annosrajaa ei ole erikseen säädetty, mutta ihon ekvivalenttiannoksen annosraja koskee myös käsien ja jalkojen ihoa.			

Efektiivisen annoksen annosrajat on säädetty säteilyn satunnaisten haittavaikutusten minimoimiseksi. Ekvivalenttiannoksen annosrajat kudoksille ja elimille on säädetty säteilyn suorien haittavaikutusten estämiseksi näissä kudoksissa ja elimissä.

Säteilytyötä tekevien työntekijöiden annosrajat koskevat sekä säteilytyöluokkaan A että säteilytyöluokkaan B kuuluvia työntekijöitä. Säteilytyöluokat A ja B on määritelty säteilyasetuksen 10 §:ssä. Luokittelua selvitetään tarkemmin ohjeessa ST 1.6.

Annosraja tarkoittaa altistuksen enimmäisarvoa kalenterivuotta kohti. Viiden vuoden jakso tarkoittaa viittä perättäistä kalenterivuotta.

Ihon ekvivalenttiannoksen annosraja ei ylitä, jos minkään pinta-alaltaan 1 cm²:n suuruisen ihoalueen keskimääräinen pinta-annos ei vuodessa ylitä annosrajan arvoa.

Silmän mykiön ekvivalenttiannosta arvioitaessa valitaan tarkastelusyvyudeksi 3 mm ja ihon ekvivalenttiannosta arvioitaessa 0,07 mm.

2.3 Muut enimmäisarvot

Sikiön suojeleminen

Sikiötä on säteilyasetuksen 5 §:n mukaan suojeltava samalla tavalla kuin väestön yksilöä. Kun nainen on ilmoittanut olevansa raskaana, ei sikiön ekvivalenttiannos ainakaan jäljellä olevan raskauden aikana saa ylittää arvoa 1 mSv.

Onnettomuustilanteet

Onnettomuustilanteissa säteilyvaaran rajoittamiseksi ja säteilylähteen hallintaan saamiseksi tehtävistä välttämättömistä ja välittömistä toimenpiteistä aiheutuvalle altistukselle on säädetty rajoituksia säteilyasetuksen 8 §:ssä. Jos ei ole kysymys ihmishenkien pelastamisesta, ei tällaisiin toimenpiteisiin osallistuvan henkilön efektiivinen annos saa ylittää arvoa 0,5 Sv eikä ihon annos arvoa 5 Sv.

2.4 Säteilyn lääketieteellinen käyttö

Annosrajat eivät säteilyasetuksen 7 a §:n mukaan koske sellaista altistusta, joka säteilyn lääketieteelliseen käyttöön liittyvissä toimenpiteissä aiheutuu

- toimenpiteen kohteena olevalle henkilölle (potilaalle)
- toimenpiteen kohteena olevaa henkilöä vapaaehtoisesti muuten kuin ammattinsa vuoksi auttavalle henkilölle, esimerkiksi lapsen tai iäkkään henkilön saattajalle
- henkilölle, johon kohdistetaan säteilyä muussa tarkoituksessa kuin sairauden tutkimiseksi tai hoitamiseksi, muun muassa tieteellisiin tutkimuksiin osallistuville ja oikeuslääketieteellisissä toimenpiteissä altistuville henkilöille.

Sosiaali- ja terveysministeriön säteilyn lääketieteellisestä käytöstä antamassa asetuksessa

(423/2000) säädetään perusteet edellä mainittujen henkilöryhmien annosten rajoittamiseksi. Potilaan auttajan, perheenjäsenten, läheisten ja muiden ihmisten annoksen rajoittamista on lisäksi käsitelty ohjeissa ST 3.3 ja ST 6.3.

3 Mitattavat ja laskennalliset suureet annosrajojen soveltamiseksi

Efektiivistä annosta ja ekvivalenttiannosta ei voida suoraan mitata. Niiden arvioimiseksi on käytettävä mitattavia tai laskennallisia suureita.

Kun henkilö altistuu ulkoiselle säteilylle, efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen arvioimiseksi käytetään mitattavia suureita syväannos ja pinta-annos. Niiden määritelmät on annettu ohjeessa ST 1.9.

Kun henkilö altistuu sisäiselle säteilylle, voidaan eri radionuklideille ja niiden yhdisteille laskea efektiivisen annoksen kertymä ihmisen kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aktiivisuuksien ja ohjeessa ST 7.3 annettujen annosmuuntokertoimien avulla. Efektiivisen annoksen tai ekvivalenttiannoksen annosrajojen perusteella voidaan myös laskea vuosisaantirajat (*ALI*-arvot) ja ilman aktiivisuuspitoisuusrajat (*DAC*-arvot). Niiden määritelmät ja laskemisohjeet on esitetty tämän ohjeen liitteessä A.

4 Työntekijöiden ja opiskelijoiden annosrajojen soveltaminen

4.1 Säteilyn käyttö

Ulkoisen säteily

Efektiivisen annoksen annosraja ei ylitä, jos mitattu syväannos ei ylitä annosrajan arvoa.

Röntgendiagnostiikassa, jossa käytetään henkilökohtaisia säteilysuojaimia, syväannos mitataan yleensä suojaimien päälle sijoitetulla annosmittarilla. Mitattu syväannos ei tällöin anna luotettavaa kuvaa efektiivisestä annokses-

ta, koska tärkeät kehon osat on suojattu. Efektiivisen annoksen määrittäminen syväannoksen perusteella on tehtävä aina tapauskohtaisesti, esimerkiksi jos halutaan syväannoksen perusteella arvioida efektiivisen annoksen annosrajan ylittymistä.

Jos pistemäiselle, ihokontaktissa olevalle beetalähteelle, esimerkiksi kuumalle hiukkaselle, ei ole käytettävissä tarkkaa annosarviota, voidaan olettaa, ettei ihon ekvivalenttiannos ylitä arvoa 500 mSv, jos kokonaisbeetaemissio ei altistusajana ylitä 10^9 beetahiukkasta. Esimerkiksi 0,28 MBq:n beetalähde aiheuttaa tämän suuruisen emission yhden tunnin aikana. Tehty oletus on varsin karkea. Pienienergisellä beetasäteilyllä altistus jää selvästi alle 500 mSv:n.

Silmän mykiön sekä käsien ja jalkojen vuotuinen ekvivalenttiannos arvioidaan syväannoksen ja pinta-annoksen tai tarvittaessa erillisten mitausten perusteella.

Jos ihminen on radioaktiivisen jalokaasun tai muun sellaisen radioaktiivisen kaasun ympäröimänä, jonka absorboituminen kehoon on vähäistä, ei efektiivisen annoksen annosraja tai ihon tai silmän ekvivalenttiannoksen annosraja ulkoisen säteilyn takia ylitä, jos hänen työssäoloaikanaan (2 000 tuntia vuodessa) kaasumaisen nuklidin keskimääräinen aktiivisuuspitoisuus ei ylitä ilman aktiivisuuspitoisuusrajaa (*DAC*) kyseiselle nuklidille. Sellaisia kaasuja, joilla rajoitettava tekijä on efektiivinen annos, ovat useimmat jalokaasut ja esimerkiksi nuklidit ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O ja ^{18}F . Poikkeuksen jalokaasuista muodostavat nuklidit ^{39}Ar , ^{85}Kr , $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ja ^{133}Xe , joilla rajoittavana tekijänä on ihon tai silmän ekvivalenttiannos.

Jos raskaana olevalle naiselle ulkoisesta säteilystä aiheutuva syväannos ei raskauden ilmoittamisen jälkeen jäljellä olevana raskausaikana ylitä arvoa 1 mSv, katsotaan, ettei myöskään sikiön ekvivalenttiannos ylitä 1 mSv:ä.

Sisäinen säteily

Kun kehoon joutuu vain yhtä radionuklidia joko hengityksen tai suun kautta, ei efektiivisen annoksen annosraja ylitä, jos työssäoloaikana (2 000 tuntia vuodessa) nuklidin keskimääräinen aktiivisuuspitoisuus ei ylitä ilman aktiivisuuspitoisuusrajaa tai jos nuklidin saanti ei ylitä vuosisaantirajaa (ks. liite A).

Kun radionuklidia joutuu kehoon sekä hengityksen että suun kautta tai kun altistuminen aiheutuu useammasta kuin yhdestä radionuklidista, ei efektiivisen annoksen annosraja ylity, jos seuraava ehto toteutuu:

$$\sum_k \frac{A_{k,h}}{ALI_{k,h}} + \sum_k \frac{A_{k,s}}{ALI_{k,s}} \leq 1, \quad (1)$$

missä $A_{k,h}$ on radionuklidin k saanti hengityksen ja $A_{k,s}$ suun kautta sekä $ALI_{k,h}$ on kyseisen nuklidin hengityksen kautta ja $ALI_{k,s}$ suun kautta tapahtuneen saannin vuosisaantiraja.

ALI -arvo riippuu suuresti radionuklidin fysikaalisesta ja kemiallisesta olomuodosta ja nuklidin saantitavasta (hengityksen tai suun kautta). Kun nuklidin olomuotoa ja saantitapaa ei tunneta, käytetään ALI -arvoista pienintä. Se saadaan, kun ALI -arvon laskemisessa käytetään muuntokerrointa, joka antaa sille pienimmän arvon (ks. liite A).

4.2 Luonnonsäteilylle altistava toiminta

Ulkoinen säteily

Avaruussäteilystä lentohenkilöstölle aiheutuva säteilyaltistus riippuu lentoajasta, -korkeudesta ja -reitistä sekä auringon aktiivisuudesta. Altistus määritetään nämä tekijät asianmukaisesti huomioon ottavilla laskentaohjelmilla. Lentohenkilöstön altistuksen määrittämistä ja lentohenkilöstölle asetetun annosrajoituksen soveltamista lentotoiminnassa on käsitelty tarkemmin ohjeessa ST 12.4.

Kun henkilö altistuu ulkoiselle säteilylle muussa luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa kuin lentotoiminnassa, sovelletaan annosrajoja kohdan 4.1 mukaisesti.

Sisäinen säteily

Kun henkilö altistuu hengitysilman radonille, efektiivinen annos lasketaan mittauksilla määritettävän radonpitoisuuden, tässä pitoisuudessa vietetyn ajan ja annosmuuntokertoimien avulla. Efektiivisen annoksen annosrajasta (viiden vuoden keskiarvo 20 mSv) johdettu työpaikan hengitysilman radonpitoisuuden enimmäisarvo säännöllisessä työssä on 3 000 Bq·m⁻³. Radonpitoisuuden toimenpide- ja enimmäisarvojen so-

veltamista ja annoksen laskemista on käsitelty tarkemmin ohjeessa ST 12.1.

Kun henkilö altistuu muulle kuin radonin aiheuttamalle sisäiselle säteilylle, sovelletaan annosrajoja kohdan 4.1 mukaisesti.

Raskaana olevan naisen keuhkoihin hengitysilman mukana joutuvasta radonista ei aiheudu sikiölle merkittävää annosta.

5 Väestön annosrajojen soveltaminen

Väestön altistumista ei voida valvoa samalla tavalla mittauksin kuin työntekijöiden altistumista, koska mittausten käytännön toteuttaminen olisi hyvin hankalaa ja sama henkilö voi altistua eri toiminnoista peräisin olevalle säteilylle. Siten väestön altistumista rajoitetaan ensisijaisesti asettamalla toiminto- tai lähdekohtaisia annosrajoituksia, joiden alittuminen voidaan todeta joko suurin mittauksin tai annosrajoituksesta johdettujen suureiden avulla. Tällaisia johdettuja suureita voivat olla esimerkiksi annosnopeus säteilylähteiden käyttötilan ulkopuolella tai toiminnosta ympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden aktiivisuus.

Sellaisille toiminnoille, joissa väestön altistuminen voi olla merkittävää, Säteilyturvakeskus asettaa säteilyasetuksen 7 §:n nojalla toiminto- tai lähdekohtaisia annosrajoituksia optimointiperiaatteen ja eri säteilylähteistä aiheutuvan altistuksen huomioon ottamiseksi. Annosrajoituksia on asetettu esimerkiksi sädehoito- ja röntgentutkimushuoneiden suojarakenteille (ohjeet ST 2.2 ja 3.6).

Väestön annosrajan ei katsota ylittyvän, jos toiminto- tai lähdekohtainen annosrajoitus ei ylity.

Väestön annosrajoja ei yleensä sovelleta luonnonsäteilystä aiheutuvaan altistukseen, joskin eräissä tapauksissa säteilytoiminnasta aiheutuvaa väestön altistumista luonnonsäteilylle on kuitenkin syytä rajoittaa. Toimenpidearvoja luonnonsäteilyaltistukselle, jonka aiheuttajana ovat muun muassa rakennusmateriaalit, talousvesi tai jätealueet, on annettu ohjeissa ST 12.2 ja 12.3.

Kirjallisuutta

- 1 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
- 2 International Commission on Radiological Protection. General Principles for the Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 75. Oxford: Pergamon Press; 1997.

LIITE A

Määritelmiä

Ekvivalenttiannos

Kudoksen tai elimen T ekvivalenttiannos $H_{T,R}$ on säteilyn painotuskertoimella w_R kerrottu kudoksen tai elimen keskimääräinen absorboitunut annos $D_{T,R}$:

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}, \quad (\text{A1})$$

missä

w_R on säteilyn painotuskerroin säteilylaadulle R ja

$D_{T,R}$ on säteilylaadusta R aiheutuva, kudoksen tai elimen T keskimääräinen absorboitunut annos.

Jos säteily koostuu useammasta kuin yhdestä, w_R -arvoltaan erilaisesta säteilylaadusta, ekvivalenttiannos H_T on:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}. \quad (\text{A2})$$

Ekvivalenttiannoksen yksikkö on sievert (Sv).

Jäljempänä kudoksella tarkoitetaan joko kudosta tai elintä.

Efektiivinen annos

Efektiivinen annos E on kudosten painotuskertoimilla w_T kerrottujen ekvivalenttiannosten H_T summa:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}. \quad (\text{A3})$$

Efektiivisen annoksen yksikkö on Sv.

Ekvivalenttiannoksen avulla arvioidaan säteilyn haittavaikutuksia tarkasteltavassa kudoksessa. Efektiivisen annoksen avulla arvioidaan lähinnä säteilyn ihmiselle aiheuttamien satunnaisten haittavaikutusten riskiä. Ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos koskevat sekä ulkoista että sisäistä säteilyä.

Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen laskemisessa tarvittavat w_R - ja w_T -kertoimet on esitetty tämän ohjeen liitteessä B. Suureiden määritelmässä esiintyvän keskimääräisen absor-

boituneen annoksen määritelmä on annettu ohjeessa ST 1.9.

Ekvivalenttiannoksen kertymä

Kudoksen T ekvivalenttiannoksen kertymä $H_T(\tau)$ on kehoon joutuneen radioaktiivisen aineen tälle kudokselle aiheuttama ekvivalenttiannos:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt, \quad (\text{A4})$$

missä

$\dot{H}_T(t)$ on ekvivalenttiannosnopeus kudoksessa T hetkellä t ja

t_0 on saantihetki.

Ekvivalenttiannoksen kertymän yksikkö on Sv.

Saantihetkestä laskettava integrointiaika τ ilmaistaan vuosina. Jos integrointiaikaa ei ole erikseen mainittu, sen oletetaan olevan aikuisille 50 vuotta ja lapsille (70-n) vuotta, missä n on lapsen ikä.

Efektiivisen annoksen kertymä

Efektiivisen annoksen kertymä $E(\tau)$ on kudosten painotuskertoimilla w_T kerrottujen ekvivalenttiannosten kertymien $H_T(\tau)$ summa:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau). \quad (\text{A5})$$

Efektiivisen annoksen kertymän yksikkö on Sv.

Ekvivalenttiannoksen kertymä ja efektiivisen annoksen kertymä ovat suureita, joilla arvioidaan kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aiheuttamaa ekvivalenttiannosta ja efektiivistä annosta. Kehoon joutunut radioaktiivinen aine voi aiheuttaa altistusta pitkään saannin jälkeen. Pitkänäkin ajanjaksona aiheutuva annos katsotaan kuitenkin saaduksi kokonaan sinä vuonna, jona saanti tapahtuu.

Vuosisaantiraja

Vuosisaantiraja *ALI* (Annual Limit on Intake) on saanti, josta aiheutuu vuosiannosrajan suuruisen efektiivisen annoksen kertymä.

Vuosisaantirajan yksikkö on becquerel (Bq).

Vuosisaantirajan määritelmässä esiintyvän saannin määritelmä on annettu ohjeessa ST 1.9.

Radionuklidin vuosisaantiraja ALI lasketaan seuraavasti:

$$ALI = \frac{D_{AL}}{h}, \quad (A6)$$

missä

D_{AL} on efektiivisen annoksen vuosiannosraja ja h on kyseisen nuklidin annosmuuntokerroin (efektiivisen annoksen kertymä aktiivisuuden yksikköä kohti).

Annosmuuntokertoimien arvot on annettu ohjeessa ST 7.3 (taulukot C1 ja C2 työntekijöille ja taulukot A, B ja G väestölle). Näissä kertoimissa on mukana myös ikäryhmäparametri g .

Ilman aktiivisuuspitoisuusraja

Ilman aktiivisuuspitoisuusraja DAC (Derived Air Concentration) radionuklidille on ilmassa olevan radionuklidin keskimääräinen aktiivisuuspitoisuus, jossa voidaan oleskella tai työskennellä (työssäoloaika 2 000 tuntia vuodessa) annosrajoja ylittämättä.

Ilman aktiivisuuspitoisuusrajan yksikkö on becquerel/kuutiometri ($Bq \cdot m^{-3}$).

Ilman aktiivisuuspitoisuusrajan määritelmässä esiintyvän aktiivisuuspitoisuuden määritelmä on annettu ohjeessa ST 1.9.

Ilman aktiivisuuspitoisuusraja DAC silloin, kun se koskee vain sisäistä säteilyä, lasketaan seuraavasti:

$$DAC = \frac{ALI}{V}, \quad (A7)$$

missä V on hengitetty ilmamäärä.

Kun kevyessä työssä (työssäoloaika 2 000 tuntia vuodessa) ihmisen hengitysnopeus on noin $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, saadaan V :n arvoksi noin $2\,400 \text{ m}^3$.

Ilman aktiivisuuspitoisuusraja DAC jalokaasuille ja sellaisille radioaktiivisille kaasuille, joiden absorboituminen elimistöön on vähäistä ja joiden aktiivisuuspitoisuusraja määräytyy siten ulkoisen säteilyn altistuksen perusteella (ks. kohta 4.1), lasketaan seuraavasti:

$$DAC = \frac{D_{AL}}{ht}, \quad (A8)$$

missä

D_{AL} on vuosiannosraja (nuklidin mukaan joko efektiivisen annoksen vuosiannosraja tai ihon tai silmän ekvivalenttiannoksen vuosiannosraja)

h on kyseisen nuklidin muuntokerroin (annosnopeus aktiivisuuspitoisuutta kohti)

t on altistusaika (työntekijöille työssäoloaika 2 000 tuntia vuodessa) kyseiselle nuklidille.

Efektiivisen annoksen laskemista varten muuntokertoimien arvot jalokaasunuklideille on annettu ohjeeseen ST 7.3 taulukossa H. Muuntokertoimien arvot nuklideille ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O ja ^{18}F saadaan esimerkiksi raportin NCRP 123 I taulukosta A.1 (sarake Atmospheric Submersion).

Kirjallisuutta

- 1 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
- 2 International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Oxford: Pergamon Press; 1996.
- 3 International Commission on Radiation Units and Measurements. Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. ICRU Report 47. Bethesda: MD; 1992.
- 4 National Council on Radiation Protection and Measurements. Screening Models for Releases of Radionuclides to Atmosphere, Surface Water, and Ground. NCRP Report 123 I. Bethesda; 1996.

LIITE B

Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen laskemisessa käytettävät kertoimet

Jäljempänä kudoksella tarkoitetaan joko kudosta tai elintä.

1 Yleistä

Säteilyn kudokselle aiheuttamien satunnaisten haittavaikutusten ilmaantumistodennäköisyyteen vaikuttavat kudoksen keskimääräinen absorboitunut annos ja säteilylaatu (säteilylaji ja -energia).

Kudoksen ekvivalenttiannosta laskettaessa säteilylaadun vaikutus pyritään ottamaan huomioon säteilyn painotuskertoimilla (w_R). Säteilyn painotuskerroin tietylle säteilylaadulle on pyritty valitsemaan siten, että se on pienillä annoksilla verrannollinen säteilyn biologiseen vaikutukseen. Säteilyn ihmiselle aiheuttama satunnainen haittavaikutus riippuu ekvivalenttiannoksen lisäksi myös siitä, mihin kudokseen säteily on kohdistunut. Todennäköisyys säteilyn aiheuttaman haitan syntymiselle on erilainen eri kudoksissa. Tämä pyritään efektiivistä annosta laskettaessa ottamaan huomioon kudosten painotuskertoimilla (w_T).

2 Ekvivalenttiannoksen laskemisessa tarvittavat säteilyn painotuskertoimet

Ekvivalenttiannoksen laskemisessa käytetään taulukossa BI esitettyjä säteilyn painotuskertoimia w_R .

Muille kuin taulukossa esitetyille säteilylaaduille saadaan w_R :n likiarvo laskemalla efektiivinen laatukerroin \bar{Q} 10 mm:n syvyydellä ICRU-pallossa (ks. ohje ST 1.9).

Kun lasketaan neutronisäteilyn aiheuttamaa ekvivalenttiannosta, voi taulukon BI arvojen käyttö olla hankalaa. Tällöin on parempi käyttää jatkuvaa funktiota, jota kuvaa seuraava matemaattinen lauseke:

$$w_R = 5 + 17e^{-(\ln(2E))^2/6}, \quad (B1)$$

missä E on neutronienergia (MeV).

Kuvassa B1 on esitetty neutronisäteilyn painotuskertoimet. Lausekkeesta (B1) laskettua, katkoviivalla piirrettyä kuvaajaa voidaan pitää taulukon BI arvojen mukaan piirretyn porraskäyrän likiarvona.

3 Efektiivisen annoksen laskemisessa tarvittavat kudosten painotuskertoimet

Efektiivisen annoksen avulla voidaan arvioida säteilyn ihmiselle aiheuttamia satunnaisia haittavaikutuksia riippumatta siitä, onko säteilystä aiheutuva annosjakauma kehossa tasainen vai epätasainen.

Efektiivisen annoksen laskemisessa käytetään taulukossa BII esitettyjä kudosten painotuskertoimia w_T . Kertoimet perustuvat kumpakin sukupuolta tasapuolisesti ja laajaa ikärakennetta edustavaan vertailuväestöön. Säteilyaltistuksen enimmäisarvoja sovellettaessa kertoimia käytetään työntekijöiden ja väestön sekä kummankin sukupuolen efektiivisen annoksen laskemisessa.

Kudosten painotuskertoimet on valittu siten, että kerroin ilmoittaa kyseisen kudoksen tai elimen suhteellisen osuuden kokonaishaitasta silloin, kun koko keho on tasaisesti altistunut säteilylle. Tämän vuoksi kertoimien summa on yksi.

Paksusuolen painotuskertoimella kerrotaan ylemmän ja alemman paksusuolen*) ekvivalenttiannosten painotettu summa. Painotettua summaa laskettaessa käytetään painokertoimina ylemmän ja alemman paksusuolen seinämien suhteellisia massoja. Painokertoimet (suhteelli-

*) Ylempi paksusuoli (Upper Large Intestine) käsittää paksusuolen alkuosan vasempaan mutkaan asti (mutka mukaan luettuna). Alempi paksusuoli (Lower Large Intestine) käsittää suolen loppuosan.

set massat) ovat 0,57 (ylempi paksusuoli) ja 0,43 (alempi paksusuoli).

Taulukossa BII tarkoitetaan muilla kudoksilla seuraavia kymmentä kudosta: lisämunuaiset, aivot, rintakehän ulkopuoliset hengitystiet, ohutsuoli, munuaiset, lihakset, haima, perna, kateenkorva ja kohtu [3]. Näille kudoksille annettua yhteistä painotuskerrontaa käytetään seuraavasti:

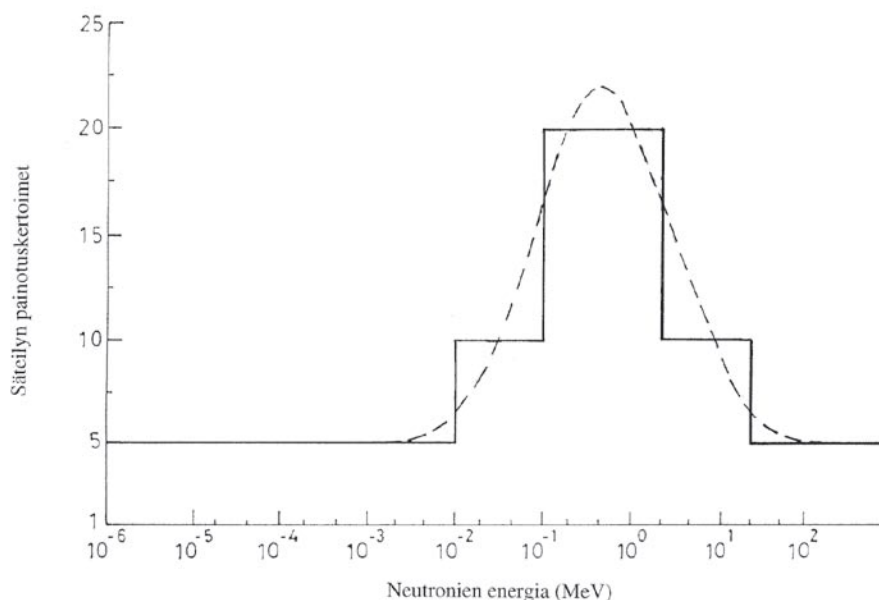
- Painotuskertoimella kerrotaan kudosten ekvivalenttiannosten painotettu keskiarvo, jossa painokertoimina ovat kudosten massat.
- Sellaisissa poikkeuksellisissa tapauksissa, joissa näistä kymmenestä kudoksesta yhden (ja vain yhden) ekvivalenttiannos on suurempi kuin suurin taulukossa BII mainittujen kahdentoista kudoksen ekvivalenttiannoksista, annetaan tälle kudokselle painotuskerronin 0,025 ja jäljellä oleville muille yhdeksälle kudokselle yhteinen kerroin 0,025.

Taulukon BII muiden kudosten luettelo sisältää sellaisia kudoksia ja elimiä, joiden tiedetään olevan syöpäherkkiä tai jotka joissakin altistus-tilanteissa (esimerkiksi radioaktiivisen aineen kertyessä kudokseen) voivat saada muita kehon kudoksia suuremman säteilyannoksen. Jos myö-

hemmin todetaan lisää sellaisia kudoksia tai elimiä, jotka myös ovat syöpäherkkiä, ne lisätään näiden muiden kudosten luetteloon tai tauluk- koon BII siten, että niille annetaan oma w_T -arvo. Luetteloon voidaan lisätä myös muita sellaisia kudoksia, jotka joissakin tilanteissa voivat saada muita kehon kudoksia suuremman annoksen (w_T -kertoimista ks. tarkemmin ICRP 71 [3], s. 4).

Kirjallisuutta

- 1 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Report 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
- 2 International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Oxford: Pergamon Press; 1994.
- 3 International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Oxford: Pergamon Press; 1996.



Kuva B1. Säteilyn painotuskertoimet neutroneille.

Taulukko BI. Säteilyn painotuskertoimet w_R eri säteilylaaduille [1].

Säteilylaatu	w_R
Fotonit, kaikki energiat	1
Elektronit*) ja myonit, kaikki energiat	1
Neutronit, energia	
• alle 10 keV	5
• vähintään 10 keV ja enintään 100 keV	10
• yli 100 keV ja enintään 2 MeV	20
• yli 2 MeV ja enintään 20 MeV	10
• yli 20 MeV	5
Protonit**), energia yli 2 MeV	5
Alfahiukkaset, fissiofragmentit, raskaat ytimet	20
*) Muut kuin DNA-molekyylisiin sitoutuneiden ydinten lähettämät Augerin elektronit	
**) Lukuun ottamatta rekyyliprotoneita	

Taulukko BII. Kudosten painotuskertoimet w_T [1].

Kudos tai elin	w_T
Sukurauhaset	0,20
Punainen luuydin	0,12
Paksusuoli	0,12
Keuhkot	0,12
Mahalaukku	0,12
Virtsarakko	0,05
Rintarauhaset	0,05
Maksa	0,05
Ruokatorvi	0,05
Kilpirauhanen	0,05
Iho	0,01
Luun pinta	0,01
Muut kudokset	0,05

ST-OHJEET (9.8.2007)

Yleiset ohjeet

- ST 1.1 Säteilytoiminnan turvallisuusperusteet, 23.5.2005
- ST 1.3 Säteilylähteiden varoitusmerkinnät, 16.5.2006
- ST 1.4 Säteilyn käyttöorganisaatio, 16.4.2004
- ST 1.5 Säteilyn käytön vapauttaminen turvallisuusluvasta ja ilmoitusvelvollisuudesta, 1.7.1999
- ST 1.6 Säteilysuojelutoimet työpaikalla, 29.12.1999
- ST 1.7 Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa, 17.2.2003
- ST 1.8 Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja pätevyyden edellyttämä säteilysuojelukoulutus, 16.4.2004

Sädehoito

- ST 2.1 Sädehoidon laadunvarmistus, 22.5.2003
- ST 2.2 Sädehoitolaitteiden ja -tilojen säteilyturvallisuus, 2.2.2001

Lääketieteellinen röntgentutkimus

- ST 3.1 Hammasröntgenlaitteiden käyttö ja valvonta, 27.5.1999
- ST 3.2 Mammografialaitteet ja niiden käyttö, 13.8.2001
- ST 3.3 Röntgentutkimukset terveydenhuollossa, 20.3.2006
- ST 3.6 Röntgentilojen säteilyturvallisuus, 24.9.2001
- ST 3.7 Mammografiaan perustuva rintasyöpäseulonta, 28.3.2001

Teollisuus, tutkimus, opetus ja kaupallinen toiminta

- ST 5.1 Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus, 17.2.1999
- ST 5.3 Ionisoivan säteilyn käyttö fysiikan ja kemian opetuksessa, 4.5.2007
- ST 5.4 Säteilylähteiden kauppa, 2.10.2000
- ST 5.6 Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa, 17.2.1999

- ST 5.8 Säteilylaitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyö, 17.2.1999

Avolähteet ja radioaktiiviset jätteet

- ST 6.1 Radionuklidilaboratorioiden säteilyturvallisuusvaatimukset, 1.7.1999
- ST 6.2 Radioaktiiviset jätteet ja päästöt, 1.7.1999
- ST 6.3 Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä, 18.3.2003

Säteilyannokset ja terveystarkkailu

- ST 7.1 Säteilyaltistuksen seuranta, 2.8.2007
- ST 7.2 Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet, 9.8.2007
- ST 7.3 Sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskeminen, 1.7.1999
- ST 7.4 Säteilyannosten rekisteröinti 25.2.2000
- ST 7.5 Säteilytyötä tekevien työntekijöiden terveystarkkailu, 4.5.2007

Ionisoimaton säteily

- ST 9.1 Solariumlaitteiden säteilyturvallisuusvaatimukset ja valvonta, 1.12.2003
- ST 9.2 Pulssitutkien säteilyturvallisuus, 2.9.2003
- ST 9.3 ULA- ja TV-asemien mastotöiden säteilyturvallisuus, 2.9.2003
- ST 9.4 Yleisoesityksissä käytettävien suuritehoisten laserlaitteistojen säteilyturvallisuus, 28.2.2007

Luonnonsäteily

- ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa, 6.4.2000
- ST 12.2 Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus, 8.10.2003
- ST 12.3 Talousveden radioaktiivisuus, 9.8.1993
- ST 12.4 Säteilyturvallisuus lentotoiminnassa, 20.6.2005