

Säteily- ja ydin- turvallisuus

1 2 3 4 5 6 7

Säteily ympäristössä

Toimittanut Roy Pöllänen



Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarjan toimituskunta:
Sisko Salomaa, Roy Pöllänen, Anne Weltner, Tarja K. Ikäheimonen,
Olavi Pukkila, Wendla Paile, Jorma Sandberg, Heidi Nyberg,
Olli J. Marttila, Jarmo Lehtinen ja Hilikka Karvinen

Julkaisija

Säteilyturvakeskus

Toimittaja

Roy Pöllänen

Taitto

Tmi Eija Högman

Toimitussihteeri

Hilikka Karvinen

Kansi

Virma Oy

Grafiikka

Ulriikka Järvinen

Copyright

Säteilyturvakeskus

ISBN

951-712-497-X (sid.)

951-712-995-5 (pdf) 1. korj.

Paino

Karisto Oy:n kirjapaino, Hämeenlinna 2003

Tätä julkaisua myy

Säteilyturvakeskus, (09) 759 881

Laippatie 4, 00880 Helsinki

www.stuk.fi

ESIPUHE

Säteily ympäristössä -kirjassa tarkastellaan radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä ja ionisoivan säteilyn vaikutuksia ympäristössä ja ihmisessä. Kirjassa erityisenä painopisteenä ovat suomalaiset olosuhteet, mutta globaalia näkökulmaakaan ei ole unohdettu.

Ionisoivaa säteilyä lähettävät radioaktiiviset aineet kuuluvat osana ihmiseen ja hänen elinympäristöönsä. Säteilyleftistuksesta ylivoimaisesti suurin osa on peräisin luonnon taustasäteilystä. Huoneilman radon hajoamistuotteineen on suurin säteilyleftistaja ja sen arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin kaksisataa keuhkosyöpää vuodessa. Radonin esiintyminen, käyttäytyminen, säteilyvaikutukset ja torjunta ovatkin tärkeä osa kirjan sisältöä. Luonnon radioaktiiviset aineet kehossa, kosminen säteily sekä ulkoinen säteily rakennusten ja maaperän radioaktiivisista aineista aiheuttavat keskimääräisestä vuotuisesta säteilyannoksesta vajaa kolmanneksen.

Ilmakehässä 1950- ja 1960-luvuilla tehdyt ydinasekokeet ja Tshernobylin onnettomuus vuonna 1986 aiheuttivat radioaktiivisten aineiden laskeumaa ympäri maailman. Ympäristöön päässeet keinotekoiset radioaktiiviset aineet yhdessä säteilyn lääkinällisen käytön kanssa aiheuttavat Suomessa alle viidesosan keskimääräisestä vuotuisesta säteilyannoksesta.

Suuren yleisön huoli radioaktiivisten aineiden ja säteilyn vaikutuksista ympäristöön ja ihmisten terveyteen – yhdessä kasvavan ympäristötietouden kanssa – on korostanut tutkimuksen merkitystä. Tietämys sekä luonnon että keinotekoisien radioaktiivisten aineiden vaikutuksista on lisääntynyt. Keskeisenä asiana kirjassa onkin radioaktiivisten aineiden käyttäytyminen ympäristössä ja aineiden kulkeutuminen ravintoon ja edelleen ihmiseen. Säteilyannosten laskemisessa ja arvioimisessa käytetyt menetelmät käydään perusteellisesti läpi. Lisäksi paneudutaan niihin toimenpiteisiin, joilla säteilyleftistusta voidaan vähentää eri tilanteissa.

Säteily ympäristössä on toinen osa Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarjassa. Kirjasarjan ensimmäisessä osassa esitellään säteilyfysiikan käsitteet sekä mittauksissa käytettävät suuret ja menetelmät. Kolmannessa kirjassa tarkastellaan säteilyn käyttöä lääketieteessä, teollisuudessa ja tutkimuksessa. Säteilybiologia on ai-

heena kirjasarjan osassa 4, Säteilyn terveysvaikutukset. Sarjassa ilmestyy kaikkiaan seitsemän osaa, joista neljä ensimmäistä käsittelee ionisoivaa säteilyä, sen käyttöä ja siltä suojautumista, viides ydinturvallisuutta ja kaksi viimeistä osaa ionisoimatonta säteilyä. Kirjasarja on tarkoitettu säteily- ja ydinturvallisuuden parissa työskenteleville ammattikirjallisuudeksi sekä käytettäväksi koulutusmateriaalina yliopistoissa ja muissa oppilaitoksissa. Kirjaa voi tilata Säteilyturvakeskuksesta. Kirjat löytyvät myös pdf-muodossa STUKin internet-sivuilta osoitteesta www.stuk.fi.

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja täydentää ja uudistaa vuonna 1988 ilmestynyttä Säteily ja turvallisuus -teosta, jonka toimittivat Harri Toivonen, Tapio Rytömaa ja Antti Vuorinen. Kiitämme edellisen teoksen toimittajia ja muita kirjoitustyöhön osallistuneita Säteilyturvakeskuksen asiantuntijoita uraa uurtavasta pohjatyöstä, joka on ollut hyvänä perustana uudelle kirjasarjalle.

Säteily ympäristössä -kirjan toteutuksesta kuuluu kiitos asiantunneville kirjoittajille ja muille toimitustyöhön osallistuneille henkilöille. Erityisesti Anne Weltnerin panos kirjan suunnittelu- ja käynnistysvaiheessa oli huomattava. Kiitoksen ansaitsevat myös ne lukuisat asiantuntijat, jotka ovat kommentoineet ja oikolukeneet kirjan sisältöä.

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja

- 1 Säteily ja sen havaitseminen
- 2 Säteily ympäristössä**
- 3 Säteilyn käyttö
- 4 Säteilyn terveysvaikutukset
- 5 Ydinturvallisuus
- 6 Ionisoimaton säteily – Sähkömagneettiset kentät
- 7 Ionisoimaton säteily – Ultravioletti- ja lasersäteily

SISÄLLYSLUETTELO

1	RADIOAKTIIVISET AINEET, SÄTEILY JA YMPÄRISTÖ	11
	Roy Pöllänen	
1.1	Ympäristön radioaktiiviset aineet	12
1.2	Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen	15
1.3	Radioaktiivisten aineiden määrä ympäristössä	18
1.4	Säteilyaltistuksen määrittämisessä käytettäviä suureita	25
1.5	Säteilyannokset eri säteilylähteistä	27
2	KOSMINEN SÄTEILY	37
	Eija Vartiainen	
2.1	Mitä kosminen säteily on	38
2.2	Maan magneettikenttä suojaa kosmiselta säteilyltä	41
2.3	Ilmakehässä syntyy sekundaarisäteilyä	43
2.4	Kosmogeeniset radionuklidit	45
2.5	Ihminen altistuu kosmiselle säteilylle	46
2.6	Lentohenkilöstön säteilyaltistus on määritettävä	53
3	RADIOAKTIIVISET AINEET ULKOILMASSA	59
	Tuomas Valmari ja Roy Pöllänen	
3.1	Kaasut, höyryt ja hiukkaset	61
3.2	Aerosolihiukkasten pitoisuus ja kokojakauma	69
3.3	Hiukkasten liike ilmassa	72
3.4	Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen ilmassa	77
3.5	Laskeuma	89
3.6	Radioaktiiviset hiukkaset vakavista reaktorionnettomuuksista ja ydinasekokeista	94
3.7	Aerosolinäytteiden keruu- ja analyysimenetelmiä	101
3.8	Ilman ja laskeuman radioaktiivisten aineiden valvonta	105
4	RADON SISÄILMASSA	111
	Anne Weltner, Hannu Arvela, Tuukka Turtiainen, Ilona Mäkeläinen, Tuomas Valmari	
4.1	Terveyshaitta	112
4.2	Radonlähteet	120
4.3	Radonin alueellinen esiintyminen	122

4.4	Radonpitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä	128
4.5	Radonin ja hajoamistuotteiden mittaaminen	135
4.6	Radonia koskevat hallinnolliset ohjeet	140
4.7	Radonkorjaukset	143
4.8	Radon uudisrakentamisessa	149
4.9	Radonfysiikkaa	150
5	TALOUSVEDEN RADIOAKTIIVISET AINEET	163
	Laina Salonen, Pia Vesterbacka, Ilona Mäkeläinen, Anne Weltner, Hannu Arvela	
5.1	Radionuklidien pitoisuus suomalaisten talousvedessä	164
5.2	Luonnon radionuklidien epätasapaino pohjavedessä	167
5.3	Aktiivisuuspitoisuus vaihtelee alueellisesti	171
5.4	Talousveden radionuklidien terveyshaitat	180
5.5	Talousveden radioaktiivisuutta koskevat ohjeet	184
5.6	Mittausmenetelmät	185
5.7	Radionuklidien poistaminen vedestä	189
6	RADIOAKTIIVISET AINEET JA RAVINTO	201
	Ritva Saxén, Riitta Hänninen, Erkki Ilus, Kirsti-Liisa Sjöblom, Aino Rantavaara, Kristina Rissanen	
6.1	Radioaktiivisia aineita kulkeutuu ravintoon	203
6.2	Laskeuman nuklidit maatalouden ravinnekierrossa	206
6.3	¹³⁷ Cs säilyy metsäympäristön ravinnekierrossa	213
6.4	Lapin luonto on herkkä laskeuman vaikutuksille	216
6.5	Laskeuman radionuklidit vesiympäristössä	219
6.6	Radioekologiset laskentamallit	226
6.7	Säteilyaltistus elintarvikkeista ja juomavedestä	229
6.8	Elintarvikkeiden radioaktiivisten aineiden seuranta	232
6.9	Elintarvikkeiden suojaaminen säteilyvaaratilanteissa	234
6.10	Kasvien ja eläinten säteilysuojelu	237
7	SISÄINEN SÄTEILY	245
	Matti Suomela, Tua Rahola, Maarit Muikku	
7.1	Kehon radioaktiivisten aineiden käyttäytymismallit	246
7.2	Annoslaskujen perusyhtälöt	250
7.3	Radionuklidien biokineetiikan mallintaminen	255
7.4	Ruoansulatuselimistön biokineettinen malli	256
7.5	Hengityselinten biokineettinen malli	261
7.6	Imeytyminen hengityselimistöstä kehon nesteisiin	266
7.7	Käyttäytyminen elimistössä imeytymisen jälkeen	269
7.8	Annosmääritykset	273
7.9	Suorat mittausmenetelmät annosmäärityksissä	277
7.10	Epäsuorat mittausmenetelmät annosmäärityksissä	281
7.11	Suomalaisten altistus sisäiselle säteilylle	287
7.12	Radioaktiivinen jodi ja kilpirauhanen	290
7.13	Työperäinen säteilyaltistus	292

8	ULKOINEN SÄTEILY	301
	Juhani Lahtinen, Hannu Arvela, Roy Pöllänen, Mikael Moring	
8.1	Hiukkaskertymänopeus – annoslaskennan perusta	302
8.2	Lisäyskerroin	304
8.3	Säteilylähteiden geometriat ja säteilysuojukset	310
8.4	Laskennalliset menetelmät	319
8.5	Taustasäteily	319
8.6	Radioaktiivisesta pilvestä tuleva säteily	326
8.7	Annosnopeus maaperän radioaktiivisista aineista	327
8.8	Ulkoisen beetasäteily	338
8.9	Ulkoisen säteilyn havainnointi	341
9	SÄTEILYVAARATILANTEET JA SUOJAUTUMINEN	351
	Kyllikki Aakko ja Sisko Salomaa	
9.1	Säteilyvaaran aiheuttajat ja vaikutukset	352
9.2	Säteilyvaaratilanteen turvallisuusarviointi	360
9.3	Suojautumisen perusteet	362
9.4	Suojelutoimenpiteet säteilyvaaratilanteessa	366
	LIITTEET	373
1	Luonnon radionuklideja ja niiden ominaisuuksia	374
2	Luonnon hajoamissarjat	377
3	Keinotekoisia radionuklideja ja niiden ominaisuuksia	378
4	Suun kautta saadun ^{131}I :n annoskertymät eri elimille	381
5	Suun kautta saatujen radionuklidien annosmuuntokertoimet	382
6	Efektiviisen annoksen kertymän annosmuuntokertoimet	383
7	Gammasäteilyn massavaimennuskertoimet	385
8	Gammasäteilyn energia-absorption massakertoimet	386
9	Lisäyskertoimen parametrit pistelähteelle eri aineissa	387
10	Lisäyskertoimen parametrit pistelähteelle ilmassa	388
11	Radionuklidien säteilytysnopeus- ja kermanopeusvakiot	389
12	Sievertin integraali $F(\theta, b)$	390
13	Eksponentti-integraalit $E_1(x)$ ja $E_2(x)$	391
	HAKEMISTO	392