

# SÄTEILYLÄHTEIDEN KÄYTTÖTILOJEN SUUNNITTELU

1	YLEISTÄ	3
2	ANNOSRAJOITUKSET JA SUUNNITTELUARVOT	3
2.1	Annosrajoitukset	3
2.2	Suunnitteluarvot	3
3	SÄTEILYSUOJUSTEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN	4
3.1	Suunta- ja oleskelutekijät	4
3.2	Suunnitteluetaisyydet	4
3.3	Säteilylaite ja sen käyttö	4
3.4	Muita näkökohtia	5
4	SÄTEILYTURVALLISUUSJÄRJESTELYT	6
4.1	Varoitusmerkit ja -valot	6
4.2	Muut säteilyturvallisuusjärjestelyt	6
5	SÄTEILYSUOJUSTEN JA TILOJEN HYVÄKSYNTÄ	7

- LIITE A SÄTEILYSUOJUSTEN SUUNNITTELU YLEISIMMISSÄ TAPAUKSISSA  
LIITE B LASKENTAKAAVAT  
LIITE C LASKENTAKAAVOISSA KÄYTETTÄVIEN PARAMETRIEN ARVOT  
LIITE D MÄÄRITELMIÄ JA KÄSITTEITÄ

Tämä ohje on voimassa 1.10.2011 alkaen toistaiseksi.

Ohje korvaa 2.2.2001 annetun ohjeen ST 2.2, Sädehoitolaitteiden ja -tilojen säteilyturvallisuus ja 24.9.2001 annetun ohjeen ST 3.6, Röntgentilojen säteilyturvallisuus.

Helsinki 2011

ISSN 0789-4368

ISBN 978-952-478-615-7 (nid.)

Edita Prima Oy/Helsinki 2011

ISBN 978-952-478-616-4 (pdf)

ISBN 978-952-478-617-1 (html)

# Valtuutusperuste

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

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

# 1 Yleistä

Tässä ohjeessa esitetään vaatimuksia säteilylähteiden käyttötilojen ja näitä tiloja ympäröivien tilojen säteilysuojusten ja säteilyturvallisuusjärjestelyjen suunnittelua varten. Tilojen suunnittelussa on huomioitava erikseen myös turvajärjestelyt.

Tämä ohje koskee ensisijaisesti fotonisäteilyä (gamma- ja röntgensäteily) lähettävien säteilylaitteiden ja umpilähteinä käytettävien radioaktiivisten aineiden käyttötiloja. Terveystieteiden ja teollisuudessa käytettävien yleisimpien fotonisäteilylähteiden käyttötilojen säteilysuojusten suunnitteluun annetaan ohjeet sekä laskentakaavat ja parametritaulukot tämän ohjeen liitteissä A, B ja C.

Ohje koskee myös neutronisäteilyn tuottamiseen tarkoitettujen laitteiden ja aineiden sekä tutkimustoimintaan tai radionuklidituotantoon tarkoitettujen hiukkaskiihdyttimien käyttötiloja ja säteilytyslaitoksia. Näiden tilojen ja laitosten säteilysuojusten suunnitteluun ei kuitenkaan anneta erikseen laskentaohjeita tai -kaavoja.

Avolähteiden käsittelytiloille tätä ohjetta sovelletaan vain tilojen säteilysuojusten osalta.

Säteilyn käytön eri sovelluksia koskevissa ST-ohjeissa on annettu varoitus- ja turvallisuusjärjestelyjä sekä tiloja varten täsmäntäviä ohjeita ja vaatimuksia erikseen kutakin sovellusta varten.

*Säteilyturvakeskuksen oikeudesta vahvistaa vaatimukset säteilylaitteiden ja radioaktiivisten aineiden käytön turvallisuuteen vaikuttavien rakenteiden ja tilojen suunnitteluun säädetään säteilylain (592/1991) 24 ja 26 §:ssä.*

## 2 Annosrajoitukset ja suunnitteluarvot

### 2.1 Annosrajoitukset

Säteilytyössä työskentelypaikat on tarvittaessa jaettava (luokiteltava) valvonta-alueisiin ja tarkkailualueisiin, joiden ulkopuoliset alueet ovat luokittelemattomia.

Säteilylähteen käyttötilojen ja niitä ympäröivien tilojen säteilysuojukset on suunniteltava ja rakennettava siten, että lähteestä aiheutuva

säteilyaltistus jää niin pieneksi kuin kohtuullisin toimenpitein on mahdollista eikä efektiivinen annos ainakaan ylitä seuraavia annosrajoituksia:

- 6 mSv vuodessa tarkkailualueella
- 0,3 mSv vuodessa luokittelemattomalla alueella.

Annosrajoitus on lähdekohtainen. Jos kuitenkin käyttötilassa on useita säteilylähteitä, niitä kaikkia pidetään yhtenä lähteenä käyttötilan säteilysuojuksia tarkasteltaessa. Jos käyttötiloja on useita vierekkäin, niissä olevien kaikkien säteilylähteiden yhteisvaikutus on otettava huomioon siten, ettei säteilyasetuksessa säädettyjä annosrajoja ylitetä.

*Valvonta- ja tarkkailualueiden luokittelusta säädetään säteilylain 32 §:ssä. Alueiden luokittelua on tarkemmin käsitelty ohjeessa ST 1.6. Säteilyturvakeskuksen oikeudesta asettaa annosrajoituksia säädetään säteilyasetuksen (1512/1991) 7 §:n momentissa 2. Annosrajat on asetettu säteilyasetuksen luvussa 2. Efektiivisen annoksen sekä muiden tässä ohjeessa mainittujen annossuureiden määritelmät on esitetty ohjeissa ST 1.9 ja ST 7.2.*

### 2.2 Suunnitteluarvot

Kohdassa 2.1 asetetut annosrajoitukset on annettu efektiiviselle annokselle. Säteilysuojauksen suunnittelussa käytetään efektiivisen annoksen sijasta tietyssä paikassa mitattavissa olevia suureita. Tässä ohjeessa käytetään säteilysuojauksen suunnitteluperusteena vapaata annosekvivalenttia, jonka arvo on riittävän tarkka likiarvo mittauskohdassa ulkoisesta säteilystä aiheutuvalle efektiiviselle annokselle.

Jatkuvassa ja säännönmukaisessa toiminnassa käytetään säteilylaitteille usein viikoittaisia käyttöarvoja. Myös vapaalle annosekvivalentille voidaan käyttää viikoittaisia arvoja. Tällöin suojukset suunnitellaan niin, että vapaan annosekvivalentin viikoittaiset arvot jäävät niin pieniksi kuin kohtuullisin toimenpitein on mahdollista eivätkä ainakaan ylitä seuraavia likimääräisiä arvoja:

- 120 µSv viikossa tarkkailualueella
- 6 µSv viikossa luokittelemattomalla alueella.

## 3 Säteilysuojusten suunnittelu ja rakentaminen

### 3.1 Suunta- ja oleskelutekijät

Säteilysuojusten suunnittelussa voidaan käyttää suunta- ja oleskelutekijöitä, joilla huomioidaan säteilylähteen käyttötapa ja lähteen käyttötilaa ympäröivien tilojen käyttö.

Säteilylaitteen suuntatekijälle  $U$  tarkasteltavassa suunnassa on käytettävä arvoa, joka on vähintään yhtä suuri kuin se osuus laitteen käyttöajasta, jonka laitteen primäärisäteily laitteen odotettavissa olevan käytön mukaan kohdistuu tähän suuntaan. Jos radioaktiivista ainetta käytetään suojaamattomana, on sen suuntatekijälle käytettävä arvo  $U = 1$  kaikissa suunnissa.

Henkilölle tietyssä tilassa vuodessa aiheutuvaa efektiivistä annosta voidaan arvioida kertomalla kyseisessä tilassa määritetty, yhtä vuotta koskeva vapaa annosekvivalentti tälle tilalle arvioidulla oleskelutekijällä  $T$ . Oleskelutekijälle on käytettävä seuraavia arvoja:

- Jatkuvässä käytössä olevissa työtiloissa on käytettävä arvoa  $T = 1$ .
- Terveysthuollon potilastiloissa ja odotustiloissa on käytettävä arvoa  $T = 1$ . Jos odotustilassa ei säteilyä käytön aikana ole jatkuvasti ihmisiä, voidaan tälle tilalle käyttää pienempääkin oleskelutekijän arvoa. Pienempää arvoa kuin  $T = 0,1$  ei kuitenkaan saa käyttää.
- Sellaisissa asuin- ja oleskelutiloissa, jotka eivät ole toiminnan harjoittajan hallinnassa, on käytettävä arvoa  $T = 1$ .
- Sisä- ja ulkotiloissa, joissa kukaan yksittäinen henkilö ei oleskele jatkuvasti (esimerkiksi WC, käytävä, pukuhuone, varasto tai pysäköintialue), oleskelutekijälle on käytettävä arvoa, joka on vähintään yhtä suuri kuin se osuus ajasta, jona tiloissa eniten oleskeleva henkilö voi siellä olla. Pienempää arvoa kuin  $T = 0,1$  ei saa käyttää, ellei sitä ole erikseen hyväksyttävästi perusteltu.

### 3.2 Suunnitteluetaisyudet

Säteilysuojusten vaimennusvaikutusta arvioidaessa on tarkkailualueella tai luokittelematto-

malla alueella työskentelevien tai oleskelevien henkilöiden työskentely- tai oleskeluetaisyyksille suojuksista käytettävä seuraavia arvoja:

- suojuksen takana tai yläpuolella 0,3 m
- suojuksen alapuolella 1,5 m mitattuna suojuksen alapuolisen tilan lattiasta.

Näiden arvojen peruste on se, että kukaan ei yleensä oleskele 0,3 metriä lähempänä seinää eikä kenenkään keho ole keskimäärin 1,5 metriä ylempänä lattiasta. Suurempia arvoja voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että oleskeluetaisyudet ovat pysyvästi edellä esitettyjä arvoja suurempia. On kuitenkin huomioitava, että usean säteilylähteen yhteisvaikutus tai sironnut säteily voi aiheuttaa tilanteen, jossa annosnopeus on suurimmillaan muualla kuin edellä mainituilla etäisyyksillä suojuksista (ks. kohta 3.4, Suojusten riittävyden todentaminen).

### 3.3 Säteilylaite ja sen käyttö

Säteilylaitteen kiihdytysjännite (tai röntgenputken jännite), primäärisäteilyn kenttäkoko ja säteilyn annosnopeus voivat vaihdella laitetta käytettäessä. Käyttötilan säteilysuojuksia suunniteltaessa voidaan jännitteelle, kenttäkoolle ja annosnopeudelle käyttää laitteen odotettavissa olevan käytön mukaisia arvoja. Näitä arvoja ei kuitenkaan saa aliarvioida. Myöskään ei saa aliarvioida laitteen suuntatekijöitä ja käyttömäärää eikä ympäröivien tilojen oleskelutekijöitä. Jos laitteen käyttötapa tai sen käyttötilaa ympäröivien tilojen käyttötarkoitus muuttuu tai jos käyttötilaan tulee uusi laite, on säteilysuojusten riittävyys arvioitava muuttuneessa tilanteessa uudelleen.

Säteilyn alaisena olevan kohteen (potilas, kuvattava tai säteilytetty esine) ja sen tuen (esimerkiksi hoitopöytä tai tutkimusteline) vaimentavaa vaikutusta ei yleensä huomioida. Suunniteltaessa laitteen käyttötilan suojuksia primäärisäteilylle voidaan kuitenkin huomioida sellainen laitteen rakenteeseen kiinteästi kuuluva primäärisäteilyn suojuks, joka kattaa koko primäärikeitilan.

Jos säteilyä käytetään useammassa kuin yhdessä työvuorossa, on käyttötilojen säteilysuojukset suunniteltava säteilyaltistusta eniten tuottavan vuoron mukaan. Kaikkien työvuorojen yhteen laskettu säteilyn käyttö on huomioitava,

kun suojaus koskee

- asuintiloja
- sellaisia sisätiloja, jotka eivät ole toiminnan harjoittajan hallinnassa
- potilashuoneita.

### 3.4 Muita näkökohtia

#### Tilojen ja lähteiden sijoittelu

Säteilylähteiden käyttötiloihin tarvittavien suojusten paksuuksia voidaan pienentää sijoittamalla tilat paikkoihin, joiden lähellä ei ole muuta toimintaa. Esimerkiksi isotooppilääketieteessä positroniemitterien ja <sup>131</sup>I-isotoopin lähettämän gammasäteilyn edellyttämä suojaustarve vähennee, jos potilaiden odotustilat ja eristys huoneet sijoitetaan erilleen muista jatkuvassa käytössä olevista tiloista. Myös jo olemassa olevia suojattuja tiloja voidaan hyödyntää.

Suojusten paksuuksia voidaan vähentää myös säteilylähteen oikealla sijoittelulla (esimerkiksi lähteen primäärisäteilyn suunnan sopivalla valinnalla).

#### Suojusten rakentaminen ja kattavuus

Primäärisäteilyn suuntaan tarvittavan säteilysuojuksen on katettava vähintään se ala, jolle primäärisäteily voi kohdistua.

Säteilysuojauksen tasalaatuisuuteen ja suojusmateriaalin soveltavuuteen on kiinnitettävä huomiota. Rakennusten välipohjat rakennetaan usein betonilaatoista, jotka ovat profiloituja tai joissa on onteloita. Tällöin betonin paksuus ei kaikissa kohdissa ole yhtä suuri kuin suojuksen nimellinen paksuus. Rakenteen säteilysuojausta on siksi lisättävä, jotta se olisi kaikissa kohdissa riittävä. Samoin on meneteltävä esimerkiksi reikätiilistä rakennettujen seinien tapauksessa.

Suojuksiin käytettävät lyijylevyt on yhdistettävä toisiinsa tiiviillä puskuliitoksella tai vetämällä levyt limittäin päällekkäin. Puskuliitosta käytettäessä on syytä peittää levyjen saumakohdat ylimääräisellä lyijylevykaistalla, jottei levyjen väliin jää suojaamatonta rakoa.

Suojuksissa olevat reiät ja ohennukset, kuten seinisiin upotetut putket, sähköasiat ja katkaisijat sekä vastaavat, on huomioitava. Myös käyttötiloissa olevien ovien ja ikkunoiden sekä niiden

karmien asianmukaiseen suojauskykyyn on kiinnitettävä huomiota. Suojuksen suojauskykyyn on kauttaaltaan oltava riittävä. Jos suojattavassa tilassa tehdään usein mittauksia, joissa tarvitaan esimerkiksi sähkö- ja mittaускаapeleita, on kaapeleille suunniteltava säteilyturvallisuuden kannalta sopiva läpivienti tilan suojuksiin.

Terveydenhuollon röntgentoiminnassa on suojusten lyijyvastaavuusarvot merkittävä näkyviin sellaisiin oviin, joihin on rakennettu säteilysuojuksia. Myös lyijylasi-ikkunoihin on merkittävä näkyviin niiden lyijyvastaavuusarvot.

#### Suojusten riittävyyden todentaminen

Toiminnan harjoittajan on varmistettava, että suojukset rakennetaan kaikilta osin suunnitelmien mukaisesti ja että suojukset ovat riittävät.

Asianmukainen rakennusaikainen valvonta on oleellinen osa suojusten riittävyyden varmistamista. Suojusten rakentamisen jälkeen suojusten riittävyydestä voidaan varmistua säteilymittauksilla.

Mittaukset on tehtävä ainakin niillä etäisyyksillä suojuksista, joita suojuksia suunniteltaessa on käytetty henkilöiden työskentely- tai oleskeluetäisyyksinä (ks. kohta 3.2). Joskus voi olla syytä tehdä mittauksia muuallakin, esimerkiksi silloin, kun suojattavaan tilaan kohdistuu suojuksen ohittavaa, rakenteista sironnutta säteilyä tai kun tilaan kohdistuu säteilyä useasta säteilylähteestä. Jos tilan katon suojauskyky on vähäinen, on tarpeen huomioida myös katon yläpuolisesta ilmatilasta sironnut säteily (taivassironna). Mittauksia on tehtävä riittävän monessa pisteessä, jotta voidaan varmistua myös suojusten kattavuudesta ja tasalaatuisuudesta. Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää eri materiaaleista tehtyjen suojusten liitoskohtiin sekä ovien ja ikkunoiden karmeihin, sillä niiden suojauskykyssä on havaittu eniten rakennusteknisistä syistä johtuvia puutteita.

Jos sädehoitoon tarkoitettujen laitteiden käyttötiloja ympäröivissä tiloissa löydetään alueita, joissa säteilyn annosnopeus ylittää arvon 20 µSv/h, on huolehdittava siitä, ettei kukaan joudu jatkuvasti työskentelemään tai muuten pitempiaikaisesti oleskelemaan näillä alueilla.

## 4 Säteilyturvallisuusjärjestelyt

### 4.1 Varoitusmerkit ja -valot

#### **Yleiset vaatimukset**

Säteilylähteiden läheisyydessä tai lähteiden käyttötiloihin johtavilla ovilla on oltava säteilyvaaraa osoittava merkintä, kun on tarpeen varoittaa ionisoivan säteilyn aiheuttamasta vaarasta.

Sellaiset tilat, joita koskevat säteilysuojukset on suunniteltu käyttäen oleskelutekijälle arvoa  $T < 1$  ja joissa kenenkään ei oleteta oleskelevan jatkuvasti (esimerkiksi varastot ja siivousväline-tilat), on merkittävä esimerkiksi kyltillä, jossa kielletään pysyvä oleskelu näissä tiloissa.

Jos säteilylähteen käyttötilaan johtavien ovien välittömässä läheisyydessä käytetään merkkivaloja, suositellaan valojen toimivan seuraavasti:

- Keltainen tai valkoinen valo osoittaa, milloin säteilylaite on kytketty toimintavalmiuteen. Valoon suositellaan tekstiä "LAITE TOIMINTAVALMIS".
- Punainen valo osoittaa, milloin säteilylaite tuottaa säteilyä tai milloin radioaktiivinen aine on suojaamattomana. Valoon suositellaan tekstiä "PÄÄSY KIELLETTY".

Valot on hyvä sijoittaa luonnolliselle katselukorkeudelle tai niiden on muuten oltava helposti havaittavia.

Radioaktiivisen aineen suojausäiliössä on oltava säteilyvaaraa osoittava merkintä ja merkintä, josta käy ilmi, mikä on säiliössä olevan aineen (tai aineiden) aktiivisuus tiettyinä ajankohtana ja mitä radionuklidia aine on.

*Säteilylähteiden varoitusmerkintöjä on käsitelty ohjeessa ST 1.3 ja käyttötilojen merkintöjä ohjeessa ST 1.6.*

#### **Erityisvaatimukset sädehoitoon**

Hoituhuoneeseen johtavalla ovella on oltava merkintä, joka osoittaa, että huonetta käytetään sädehoitoon.

Hoituhuoneen sisäpuolella on oltava punainen merkkivalo (tai äänimerkki), joka osoittaa, milloin sädehoitolaite tuottaa säteilyä. Jälkilataushoitolaitteessa merkkivalo on kytkettävä jatkuvatoimiseen annosnopeusmittariin. Tällöin merkkivalo toimii itsenäisesti ja on hoitolaitteen ohjausjärjestelmästä riippumaton.

Jos jälkilataushoitolaitteessa on hoitoon käytettävien radioaktiivisten aineiden suojausäiliön lisäksi muita jatkuvasti säteileviä osia, joiden pinnalla annosnopeus on suurempi kuin  $20 \mu\text{Sv/h}$ , on myös näissä osissa oltava säteilyvaaraa osoittava merkintä.

Isotooppihoidoissa ja joissakin tykösädehoitoissa potilas on usein muutamia päiviä eristettynä, tavallisesti omassa huoneessa vuodeosastolla. Tällaisen huoneen ovella ei tarvita muita varoitusmerkkejä tai -valoja kuin edellä mainittu säteilyvaaramerkki ja merkintä huoneen käytöstä sädehoitoon.

#### **Erityisvaatimukset teollisuuteen**

Kuvaushuonetta koskevat erityisvaatimukset teollisuusradiografiassa on annettu ohjeessa ST 5.6. Umpilähteiden sekä tarkastus- ja analyysiröntgenlaitteiden käyttöä koskevat erityisvaatimukset on annettu ohjeissa ST 5.1 ja ST 5.2.

#### **Erityisvaatimukset avolähteille**

Avolähteiden käyttöä koskevat erityisvaatimukset on annettu ohjeissa ST 6.1, ST 6.2 ja ST 6.3.

### 4.2 Muut säteilyturvallisuusjärjestelyt

#### **Yleiset vaatimukset**

Asiaton pääsy valvonta-alueiksi luokiteltuihin säteilylähteiden käyttötiloihin on estettävä rakenteilla, lukituksilla tai kulunvalvonnalla.

Säteilylähteen käyttötilaan johtavista ovista vähintään yhden on oltava sellainen, että se voidaan aina avata tilan sisäpuolelta. Tilaan ja sieltä pois on päästävä myös silloin, kun oven koneellinen avaus ei toimi.

Terveystieteiden säteilyn käytössä on ohjaushuoneesta oltava näkö- ja kuuloyhteys hoitotai tutkimushuoneessa olevaan potilaaseen sekä mahdollisuus puhua potilaille. Lisäksi ohjaushuoneesta on oltava näköyhteys hoito- tai tutki-

mushuoneeseen johtaville oville, elleivät ovet ole lukittuja.

### **Lähteiden käyttötilojen koko**

Säteilylähteiden käyttötilojen pinta-ala ja tilojen muoto suunnitellaan toiminnan laadun mukaisesti. Lähteiden ympärillä on oltava riittävästi liikkumatilaa säteilyturvalliseen työskentelyyn ja liikuteltavia tai esimerkiksi kattoon kiinnitetyjä säteilysuojuksia on tarvittaessa pystyttävä käyttämään.

### **Erityisvaatimukset sädehoitoon**

Hoituhuoneen ovella on oltava kaksi turvalaitetta, jotka toistensa toiminnasta riippumatta estävät hoitolaitteen toiminnan silloin, kun joku pyrkii sisään hoituhuoneeseen. Toisen näistä turvalaitteista on oltava katkaisija, joka estää laitteen toiminnan, jos ovi ei ole kiinni. Katkaisijan on oltava tyypiltään sellainen, että se vioittusaankin estää toiminnan. Toiseksi turvalaitteeksi suositellaan ovelle sijoitettua valokennolaitetta, joka keskeyttää toiminnan, kun valokennon ohi kuljetaan. Kumpikin turvalaite on kytkettävä siten, että hoitolaitteen toiminnan jatkaminen on mahdollista vain ohjauspöydästä.

Kiihdytinhoituhuoneen valvontalaitteeksi suositellaan esimerkiksi kameraa, jolla voidaan varmistaa, ettei huoneessa ole hoidon aikana muita kuin potilas.

Hoituhuoneessa ja ohjaushuoneessa on oltava näkyvällä paikalla hätäpainikkeet, joita painamalla laitteen toiminta katkeaa, laitteen liikkeet pysähtyvät ja laitteen kiihdytysjännite kytkeytyy pois päältä tai radioaktiiviset aineet palaavat suojaosäiliönsä. Toiminnan jatkaminen saa olla mahdollista vain ohjauspöydästä. Jälkilataushoitolaitteessa on oltava lisäksi laite, jolla radioaktiiviset aineet voidaan käsikäyttöisesti palauttaa suojaosäiliöön.

Jälkilataushoitolaitteen suojaosäiliön on oltava rakenteeltaan sellainen, ettei radioaktiivisia aineita voi poistaa säiliöstä ilman erikoistyökaluja. Jos aineet häiriötilanteessa joutuvat suojaosäiliön ulkopuolelle, henkilökunnan käytettävissä

on oltava välineet, joilla ne voidaan tilapäisesti suojata.

Tykosädehoidossa tai isotooppihoidossa olevan potilaan eristystä varten (ks. kohta 4.1, Erityisvaatimukset sädehoitoon) ei säteilyturvallisuuden varmistamiseksi tarvita erityisiä laitteita tai järjestelyjä eristysruoneen mahdollisen säteilysuojuksen lisäksi. Henkilökunnalla on kuitenkin oltava ohjeet eristysruoneen käytöstä (esimerkiksi ohjeet huoneessa työskentelystä ja vierailijoiden käynneistä).

### **Erityisvaatimukset teollisuuteen**

Kuvaushuonetta koskevat erityisvaatimukset teollisuusradiografiassa on annettu ohjeessa ST 5.6.

### **Erityisvaatimukset avolähteille**

Avolähteiden käyttöä koskevat erityisvaatimukset on annettu ohjeissa ST 6.1, ST 6.2 ja ST 6.3.

## **5 Säteilysuojusten ja tilojen hyväksyntä**

Säteilyturvakeskus tarkastaa säteilylähteiden käyttötilojen ja niitä ympäröivien tilojen säteilysuojukset ja säteilyturvallisuusjärjestelyt turvallisuuslupahakemusten käsittelyn yhteydessä sekä säteilyn käyttöpaikoille tehtävien tarkastusten yhteydessä. Säteilyturvakeskus hyväksyy yleisimpien säteilylähteiden käyttötilojen suojukset, jos ne ovat tässä ohjeessa esitettyjen vaatimusten mukaiset, sekä turvallisuusjärjestelyt, jos ne ovat tässä ohjeessa ja eri sovelluksia varten muissa ST-ohjeissa esitettyjen vaatimusten mukaiset. Muiden säteilyn käyttötapauksien suojukset ja järjestelyt hyväksytään tässä ohjeessa esitettyjen vaatimusten ja tapauskohtaisen turvallisuusarvioinnin perusteella.

Säteilysuojausta suunniteltaessa Säteilyturvakeskus antaa pyydettyä ennakkolausunnon suojusten riittävydestä. Ennakkolausunto on syytä pyytää, kun suunnitellaan seuraavia tiloja:

- A-tyyppin laboratoriotila<sup>\*)</sup>
- sädehoitotilaa
- kiihdytinlaitosta<sup>\*)</sup>
- säteilytyslaitosta tai säteilytyslaitteen käyttötilaa
- teollisuuskvaustilaa, jossa aiotaan käyttää hiukkaskiihdytintä tai korkea-aktiivista umpilähdettä.

Ennakkolausunto on syytä pyytää mahdollisimman varhaisessa suunnitteluvaiheessa ennen rakennussuunnitelman hyväksymistä.

## Kirjallisuutta

1. Archer BR, Fewell TR, Conway BJ, Quinn PW. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. *Med. Phys.* 1994; 21: 1499–1507.
2. Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P, Hickman C. Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002. *Rad. Prot. Dos.* 2002; 98 (1).
3. DIN 6812. Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
4. DIN 6844-3 und DIN 6844-3 Berichtigung 1. Nuklearmedizinische Betriebe – Teil 3: Strahlenschutzberechnungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
5. DIN 6847-2. Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen – Teil 2: Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
6. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities. Safety Reports Series No. 47. Vienna: IAEA; 2006.
7. International Commission on Radiological Protection. Protection against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine. ICRP Publication 33. Oxford: Pergamon Press; 1982.
8. Madsen MT, Anderson JA, Halama JR, Kleck J, Simpkin DJ, Votaw JR, Wendt RE III, Williams LE, Yester MV. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements. *Med. Phys.* 2006; 33: 4–15.
9. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP Report No. 144. Bethesda, MD: NCRP; 2003.
10. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147. Bethesda, MD: NCRP; 2004.
11. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities. NCRP Report No. 151. Bethesda, MD: NCRP; 2005.
12. Pukkila O. (toim.). Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuuskirjasarja, osa 3. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.
13. Tapiovaara M. Röntgenhuoneen säteilysuojaustarpeen arviointiin käytettävä tietokoneohjelma: RtgSuojaus. STUK-STO-TR 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2005.

<sup>\*)</sup> A-tyyppin laboratoriotiloja suunniteltaessa on Säteilyturvakeskukselle lisäksi toimitettava lausuntoa varten ohjeessa ST 6.1 tarkoitettu, päästöjä koskeva suunnitelma. Lausunto edellytetään myös suunniteltaessa tiloja radionuklidituotantoon tarkoitettua kiihdytinlaitosta varten.



## LIITE A

### Säteilysuojusten suunnittelu yleisimmissä tapauksissa

Säteilylähteiden käyttötilojen säteilysuojusten suunnittelussa voidaan käyttää tätä tarkoitusta varten tehtyjä tietokoneohjelmia, Monte Carlo -laskentaa tai mittauksiin perustuvaa tietoa. Monte Carlo -menetelmä voi olla erityisen käytökelpoinen tilanteissa, joissa joudutaan huomioimaan moninkertaisen sironnan vaikutusta.

Jos laskentaohjelmia tai muita menetelmiä ei ole käytettävissä, voidaan suojukset suunnitella tässä liitteessä sekä liitteissä B ja C esitettyjä menettelytapoja, laskentakaavoja ja parametreja käyttäen. On huomattava, että esitetyt kaavat ja niissä käytettävien parametrien arvot johtavat tulokseen, joka ei ainakaan pyri aliarvioimaan tarvittavaa suojausta. Laskennan epävarmuuden takia lopullinen varmuus suojauksen riittävyydestä saadaan vasta mittauksilla.

#### A.1 Sädehoitokiihdyttimet

Sädehoidossa kiihdyttimien käyttömäärää arvioitaessa käytetään absorboitunutta annosta veteen. Sen yksikkö on gray (Gy). Fotonisäteilyä koskevissa suojauslaskuissa voidaan absorboituneen annoksen Gy-yksiköissä ilmaistua arvoa useimmiten pitää riittävällä tarkkuudella myös vapaan annosekvivalentin Sv-yksiköissä ilmaisuna arvona.

#### Primäärisäteily

Sädehoitokiihdyttimien käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B$  primäärisäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B4) siten, että kaavaan sijoitetaan tulon  $\dot{H}_0 \cdot t$  paikalle laitteen viikoittainen käyttömäärä  $W$  (absorboitunut annos veteen isosentrissä viikon aikana). Kaavassa (B4)  $d_0$  tarkoittaa tällöin laitteen kohtion etäisyyttä isosentrissä.

Kiihdyttimien viikoittaiselle käyttömäärälle  $W$  on käytettävä vähintään arvoa 800 Gy/viikko (800 Sv/viikko). Pienempää arvoa voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että käyttömäärä on pysyvästi tätä pienempi.

Kiihdyttimien primäärisäteilyn kymmenespaksuuksien arvot eri suojusmateriaaleille ja eri kiihdytysjännitteille on esitetty liitteen C

taulukossa C1.

#### Vuotosäteily

Sädehoitokiihdyttimien käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_v$  vuotosäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B5) siten, että kaavaan sijoitetaan  $\dot{H}_v$  :lle arvo, joka on 0,5 % isosentriannosnopeudesta. Pienempää arvoa voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että vuotosäteilyn annosnopeus on tätä pienempi. Vuotosäteilyn arvo on ilmaistu yhden metrin etäisyydellä kiihdyttimen kohtiosta, joten kaavassa B(5)  $d_0 = 1$  m.

Kiihdyttimien vuotosäteilyn kymmenespaksuuksien arvoina eri suojusmateriaaleille voidaan käyttää liitteen C taulukossa C1 esitettyjä  $TVL_e$ -arvoja.

#### Sironnut fotonisäteily

Sädehoitokiihdyttimien käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_s$  potilaasta tai sädehoitohuoneen seinistä, lattiasta tai katosta sironneelle fotonisäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B6) siten, että kaavaan sijoitetaan tulon  $\dot{H}_0 \cdot t$  paikalle viikoittainen käyttömäärä  $W$ . Lisäksi kaavaan sijoitetaan A:n arvoksi se pinta-ala sirottavan kohteen pinnalla, johon primäärisäteily osuu. Kaavassa (B6)  $d_0$  tarkoittaa tällöin laitteen kohtion etäisyyttä isosentrissä.

Jos kiihdyttimen käyttötilan katto on ohut, on erikseen huomioitava katon yläpuolisesta ilmatilasta käyttötilaa ympäröiviin tiloihin siroava säteily (taivassironta) silloin, kun kiihdytin on suunnattu ylöspäin.

Primäärisäteilyn sirontakertoimien arvot eri sirontakulmille ja eri kiihdytysjännitteille on annettu liitteen C taulukossa C2. Sironneen fotonisäteilyn kymmenespaksuuksien arvot lyijylle ja betonille, eri kiihdytysjännitteille ja eri sirontakulmille on esitetty liitteen C taulukoissa C3-1 ja C3-2.

Sironneen fotonisäteilyn osuus yli 10 MV:n kiihdytysjännitteillä on useimmiten merkityksellön fotonivuotosäteilyyn verrattuna.

## Neutronisäteily

Jos sädehoitokiihdytin toimii yli 10 MV:n kiihdytysjännitteellä, syntyy laitteessa aina myös neutronisäteilyä, jolle parhaita suojusmateriaaleja ovat vetytitoiset aineet. Sädehoitokiihdyttimien suojukset on yleensä rakennettu betonista, joka sisältämänsä veden kautta sisältää myös vetyä. Jos betoniset suojukset on suunniteltu riittäviksi fotonisäteilylle, ne ovat yleensä riittävät myös neutronisäteilylle. Tällöin ainoa paikka, jossa neutronisäteily on erikseen huomioitava, on sädehoitohuoneeseen johtavan kulkukäytävän ovi-aukko, johon hoitohuoneessa syntyvät neutronit pääsevät siroamaan kulkukäytävää pitkin. Kulkukäytävään on tarvittaessa rakennettava säteilysuojausovi.

Kiihdyttimissä mahdollisesti syntyvien ja hoitohuoneeseen johtavaa kulkukäytävää pitkin hoitohuoneen ovelle sironneen neutronisäteilyn annosnopeus voidaan arvioida liitteen B kaavasta (B7).

## A.2 Röntgenlaitteiden käyttö terveydenhuollossa

Terveydenhuollon röntgenlaitteiden säteilytuotto ilmoitetaan ilmakerman avulla. Sen yksikkö on gray (Gy). Röntgensäteilyn säteilysuojauslaskuissa voidaan ilmakerman Gy-yksiköissä ilmaistua arvoa useimmiten pitää riittävällä tarkkuudella myös vapaan annosekvivalentin Sv-yksiköissä ilmaistuna arvona.

Röntgenlaitteiden käyttötilojen säteilysuojukset olisi suunniteltava niin, ettei näiden tilojen ulkopuolisia tiloja tarvitse luokitella tarkkailualueiksi. Tämä vaatimustaso on yleensä helposti saavutettavissa, jolloin välttyään ympäröivien tilojen käyttörajoituksilta.

Röntgenlaitteiden käytössä olisi myös vältettävä ohjaustiloja, joissa suojus ei ulotu kattoon asti tai tilan ovet puuttuvat. Tällaiset avoimet tilat saattavat johtaa käyttöhenkilökunnan työkentelyn rajoituksiin esimerkiksi työntekijän raskauden aikana.

## Tavanomaiset röntgenlaitteet

Useimpien tavanomaiseen\*) käyttöön tarkoitettujen terveydenhuollon röntgenlaitteiden käyttötilojen suojuksia ei ole tarpeen määrittää laskennallisesti. Useimmiten suojukseksi riittää primäärisäteilyn suunnassa 3 mm lyijyä tai 300 mm betonia. Suunnissa, joihin kohdistuu vain vuotosäteilyä ja sironnutta säteilyä, suojukseksi riittää 2 mm lyijyä tai 200 mm betonia. Tämä suojus ulottuu yleensä vähintään 2 m:n korkeudelle. Tätä ylempänä riittää yleensä 1 mm lyijyä tai 100 mm betonia, mikäli suurempi paksuus ei ole tarpeen yläkerroksessa sijaitsevien tilojen suojaamiseksi.

## Mammografialaitteet

Mammografialaitteen suojukseksi riittää 0,25 mm lyijyä (vastaa 1,3 mm terästä, 30 mm betonia tai 78 mm kipsilevyä), kun kuvausjännite on alle 35 kV. Jos mammografialaite sijoitetaan huoneeseen, jonka seinät ovat betonia tai tiiltä, seiniin ei yleensä tarvita lisäsuojausta. Tarkkailuikkunan ja ovien lisäsuojaustarve on kuitenkin erikseen arvioitava.

Jos laitteen käyttäjä on tutkimuksen aikana tutkimushuoneessa eikä voi hyödyntää kiinteitä suojuksia, on hänen säteilysuojauksestaan tarvittaessa huolehdittava esimerkiksi käyttämällä laitteeseen liittyvää käyttäjän säteilysuojusta tai liikuteltavia säteilysuojuksia.

## Tavanomaiset hammaskuvauslaitteet sekä suojatut tai pienikeilaiset pienitehoiset laitteet

Tiloissa, joissa käytetään tavanomaisia hammaskuvauslaitteita tai hyvin suojattuja tai pienellä säteilykeilalla toimivia hyvin pienitehoisia röntgenlaitteita (esimerkiksi kudoksenäytteiden röntgenkuvaukseen tarkoitettu suojattu röntgenlaite tai hyvin pienellä säteilykeilalla toimiva luun mineraalipitoisuuden mittaussäteilylaite), ei välttämättä tarvita erillisiä säteilysuojuksia. Suojusten tarve on kuitenkin arvioitava, jos laitteen käyttötilan seinät ovat kevytrakenteiset (esimerkiksi puuta tai kipsi- tai lastulevyä).

\*) Terveydenhuollon röntgenlaitteen tavanomaisella käytöllä tarkoitetaan tässä sellaista toimintaa, jossa tehdään perinteisiä luusto-, pehmytosa- ja keuhkokuvauksia (laitteen jännite enintään 150 kV). Tutkimusten määrä vuodessa on enintään 10 000.

Jos laitteen käyttäjä on tutkimuksen aikana tutkimushuoneessa, on hänen säteilysuojauksestaan tarvittaessa huolehdittava esimerkiksi käyttämällä liikuteltavia säteilysuojuksia.

*Joitakin esimerkkejä hammaskuvauslaitteiden suojusten määrittämisestä on annettu Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa oppaassa "Hammassäteilysuojauksen laadunvalvonta ja kuvaushuoneen säteilysuojaus" (STUK opastaa 1/2011).*

### Kiinteästi asennetut läpivalaisulaitteet ja tietokonetomografialaitteet

Kiinteiden läpivalaisulaitteiden tai tietokonetomografialaitteiden (TT-laitteiden) käyttötilojen suojukset on määritettävä laskennallisesti tiloissa, jotka ovat pinta-alaltaan pieniä ja joissa laite sijoitetaan lähelle seinää tai säätötilaa. Myös jos laitteen käyttömäärä on poikkeuksellisen suuri, on suojukset määritettävä laskennallisesti. Muissa tapauksissa riittää suojus, jonka lyijyvastaavuus on 3 mm.

### Kuljetettavat röntgenkuvaus- ja läpivalaisulaitteet

Jos kuljetettavia röntgenlaitteita käytettäessä ei voida hyödyntää kiinteitä suojuksia, on huolehdittava laitteen käyttäjän sekä muiden työntekijöiden ja potilaiden riittävästä suojauksesta henkilökohtaisin säteilysuojaimin ja liikuteltavin suojuksin. Jos laitteita käytetään jatkuvasti samassa tilassa (esimerkiksi leikkaussali), on tällaisen tilan suojaustarve erikseen selvitetävä.

### Muut laitteet

Niiden terveydenhuollon röntgenlaitteiden käyttötilojen suojukset, joita ei edellä ole mainittu tai joiden suojaustarpeen määrittämiseen on edellä erikseen viitattu, suunnitellaan seuraavissa kohdissa esitettyjen menettelyjen mukaisesti.

### Primäärisäteily

Terveydenhuollon röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B$  primäärisäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B4) siten, että kaavaan sijoitetaan tulo  $\dot{H}_0 \cdot t$  paikalle tulo  $W \cdot K$ , jossa  $W$  on röntgenlaitteen viikoittainen käyttömäärä (mAmin/ viikko) ja  $K$  on röntgenputken säteilytuotto.

Röntgenputken säteilytuotto  $K$  yksiköissä mGy/mAmin (mSv/mAmin) yhden metrin etäisyydellä putken fokuksesta eri putkijännitteille on esitetty liitteen C taulukossa C4. Kaavassa (B4) on silloin  $d_0 = 1$  m.

Röntgenlaitteiden primäärisäteilyn kymmenpaksuuksien arvot eri suojustamateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille on esitetty liitteen C taulukoissa C5-1, C5-2 ja C5-3. Joidenkin suojustamateriaalien lyijyvastaavuusarvot on esitetty liitteen C taulukossa C6.

### Vuotosäteily

Terveydenhuollon röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_v$  vuotosäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B5) siten, että kaavaan sijoitetaan  $\dot{H}_v = 1$  mSv/h (tavanomaisilla hammaskuvauslaitteilla 0,25 mSv/h). Pienempää arvoa voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että vuotosäteilyn annosnopeus on tätä pienempi. Vuotosäteilyn annosnopeuden arvo on määritetty yhden metrin etäisyydellä röntgenputken fokuksesta, joten kaavaan (B5) on silloin myös sijoitettava  $d_0 = 1$  m. Vuotosäteilyn arvo  $\dot{H}_v = 1$  mSv/h koskee laitteelle sallittua maksimijännitettä ja tunnin aikana sallittavaa suurinta keskimääräistä putkitehoa. Siksi kaavassa (B5) on käytettävä efektiivistä viikossa käytettävää aikaa (suurinta jatkuvaa putkivirtaa vastaavaa, viikossa käytettävää aikaa) eli  $t = W / I_{jatk}$ , jossa  $I_{jatk}$  on suurin tunnin aikana jatkuvasti käytettäväksi sallittu putkivirta ja  $W$  on laitteen viikoittainen käyttömäärä.

Röntgenlaitteiden vuotosäteilyn kymmenpaksuuksien arvoina eri suojustamateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille voidaan käyttää liitteen C taulukoissa C5-1, C5-2 ja C5-3 annettuja  $TVL_c$ -arvoja.

### Sironnut säteily

Terveydenhuollon röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_s$  potilaasta sironneelle säteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B6) siten, että kaavaan sijoitetaan tulo  $\dot{H}_0 \cdot t$  paikalle tulo  $W \cdot K$ . Jos  $K$ :lle käytetään taulukon C4 arvoja, on silloin kaavassa (B6)  $d_0 = 1$  m. Lisäksi kaavaan sijoitetaan  $A$ :n arvoksi se pinta-ala sirottavan kohteen pinnalla, johon primäärikeila osuu.

Primääriröntgensäteilyn sirontakertoimien

arvot eri sirontakulmille ja röntgenputken eri jännitteille on esitetty liitteen C taulukossa C7. Sironneen röntgensäteilyn kymmenyspaksuuksien arvoina eri suojusmateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille voidaan käyttää primäärisäteilyn kymmenyspaksuuksien arvoja (liitteen C taulukot C5-1, C5-2 ja C5-3).

### A.3 Röntgenlaitteiden käyttö teollisuudessa, tutkimuksessa ja opetuksessa

Suljettujen röntgenlaitteiden ja suojattujen röntgenlaitteiden käyttötiloihin ei tarvita erillisiä säteilysuojuksia. Muissa tapauksissa suojukset suunnitellaan tässä kohdassa esitetyn mukaisesti.

*Suljettuja ja suojattuja laitteita käsitellään ohjeessa ST 5.2.*

#### Primäärisäteily

Teollisuuden röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B$  primäärisäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B4). Tällöin on tunnettava laitteen primäärisäteilyn annosnopeus.

Teollisuuden röntgenlaitteiden primäärisäteilyn kymmenyspaksuuksien arvot eri suojusmateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille on esitetty liitteen C taulukoissa C5-1, C5-2 ja C5-3. Joidenkin suojusmateriaalien lyijyvastaavuusarvot on esitetty liitteen C taulukossa C6.

#### Vuotosäteily

Teollisuuden röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_v$  vuotosäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B5). Teollisuuden radiografialaitteille on vuotosäteilyn annosnopeudelle  $\dot{H}_v$  käytettävä seuraavia arvoja:

$\dot{H}_v = 1$  mSv/h, kun putken jännite on alle 150 kV

$\dot{H}_v = 2,5$  mSv/h, kun putken jännite on 150–200 kV

$\dot{H}_v = 5$  mSv/h, kun putken jännite on yli 200 kV.

Pienempiä arvoja voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että vuotosäteilyn annosnopeus on mainittuja arvoja pienempi. Vuotosäteilyn annosnopeuden arvo on määritetty yhden metrin etäisyydellä

röntgenputken fokuksesta, jolloin kaavaan (B5) sijoitetaan  $d_o = 1$  m.

Röntgenlaitteiden vuotosäteilyn kymmenyspaksuuksien arvoina eri suojusmateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille voidaan käyttää liitteen C taulukoissa C5-1, C5-2 ja C5-3 annettuja  $TVL_e$ -arvoja.

*Radiografialaitteiden vuotosäteilyä käsitellään ohjeessa ST 5.6.*

#### Sironnut säteily

Teollisuuden röntgenlaitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_s$  säteilytettävästä kohteesta tai käyttötilan seinistä, lattiasta tai katosta sironneelle säteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B6). Tällöin on tunnettava laitteen primäärisäteilyn annosnopeus. Lisäksi kaavaan sijoitetaan  $A$ :n arvoksi se pinta-ala sirottavan kohteen pinnalla, johon primäärikeila osuu.

Primääriröntgensäteilyn sirontakertoimien arvot eri sirontakulmille ja röntgenputken eri jännitteille vedestä tapahtuvalle sironnalle on annettu liitteen C taulukossa C7. Teollisuuden röntgensäteilyn käytössä voidaan veden sirontakertoimia käyttää riittävän turvallisena ylärajana myös muista aineista (betoni, teräs) tapahtuvassa sironnassa. Sironneen röntgensäteilyn kymmenyspaksuuksien arvoina voidaan eri suojusmateriaaleille ja röntgenputken eri jännitteille käyttää primäärisäteilyn kymmenyspaksuuksien arvoja (liitteen C taulukot C5-1, C5-2 ja C5-3).

### A.4 Radioaktiiviset aineet

Radioaktiivisia aineita sisältävien teollisuuden radiometrinen mittalaitteiden käyttötiloihin ei tarvita erillisiä säteilysuojuksia. Muissa tapauksissa suojukset suunnitellaan tässä kohdassa esitetyn mukaisesti.

*Radiometrisia laitteita käsitellään ohjeessa ST 5.1*

#### Primäärisäteily

Radioaktiivista ainetta sisältävien laitteiden tai suojaamattoman radioaktiivisen aineen (ts. aineen ympärillä ei ole mitään omaa suojusta)

käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B$  primäärisäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B4). Tällöin  $d_0$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen etäisyyttä pisteestä, jossa aineen tuottaman säteilyn annosnopeus on määritetty, ja  $d$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen lyhintä etäisyyttä tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskentelevistä tai oleskelevistä ihmisistä. Suuntatekijälle  $U$  on käytettävä arvoa  $U = 1$ , jos aine on suojaamaton.

Joidenkin yleisesti käytettyjen radioaktiivisten aineiden lähettämän säteilyn kymmenespaksuuksien arvot eri suojusmateriaaleille on esitetty liitteen C taulukossa C8.

Jos radioaktiivisesta aineesta aiheutuvaa annosnopeutta  $\dot{H}_0$  ei tunneta, se voidaan laskea aineen aktiivisuuden  $A$  perusteella seuraavasti:

$$\dot{H}_0 = \Gamma \cdot A \quad (\text{A1})$$

Kaavassa (A1)  $\Gamma$  on annosnopeusvakio (gamma-vakio). Tämän vakion arvot yleisesti käytetyille radioaktiivisille aineille on esitetty liitteen C taulukossa C9. Vakioden arvot on annettu niin, että ne kuvaavat aktiivisuudeltaan 1 GBq:n suuruisen radioaktiivisen aineen aiheuttamaa annosnopeutta yhden metrin etäisyydellä aineesta. Jos tällä tavalla laskettu annosnopeus sijoitetaan liitteen B kaavaan (B4), on kaavassa  $d_0 = 1$  m.

### Vuotosäteily

Radioaktiivista ainetta sisältävien laitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_v$  vuotosäteilylle lasketaan liitteen B kaavasta (B5). Tällöin  $d_0$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen etäisyyttä pisteestä, jossa aineen tuottaman vuotosäteilyn annosnopeus on määritetty, ja  $d$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen lyhintä etäisyyttä tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskentelevistä tai oleskelevistä ihmisistä. Lisäksi on kaavaan sijoitettava  $t = 1$  työtiloille ja asuintiloille sekä sellaisille tiloille, joissa mahdollisesti oleskellaan jatkuvasti.

Radioaktiivisten aineiden suojausäiliön vuotosäteilyn annosnopeudelle  $\dot{H}_v$  yhden metrin päässä säiliön pinnasta on käytettävä seuraavia arvoja:

$\dot{H}_v = 7,5 \mu\text{Sv/h}$  teollisuuden radiometrisille mittalaitteille

$\dot{H}_v = 10 \mu\text{Sv/h}$  sädehoidon jälkilatauslaitteille

$\dot{H}_v = 20 \mu\text{Sv/h}$  teollisuuden radiografialaitteille.

Käytettäessä näitä arvoja liitteen B kaavassa (B5) on kaavassa  $d_0 = 1$  m. Pienempiä annosnopeusarvoja voi käyttää, jos voidaan osoittaa, että annosnopeus on mainittuja arvoja pienempi.

Radioaktiivista ainetta sisältävien laitteiden vuotosäteilyn kymmenespaksuuksien arvoina eri suojusmateriaaleille voidaan käyttää liitteen C taulukossa C8 annettuja  $TVL_e$ -arvoja.

*Radioaktiivisten aineiden suojausäiliöiden vuotosäteilyn annosnopeuksia käsitellään ohjeissa ST 5.1 ja ST 5.6.*

### Sironnut säteily

Radioaktiivista ainetta sisältävien laitteiden käyttötiloja varten tarvittavan säteilysuojuksen läpäisykerroin  $B_s$  säteilyn kohteena olevasta kappaleesta sironnutta säteilyä varten lasketaan liitteen B kaavasta (B6). Tällöin  $d_0$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen etäisyyttä pisteestä, jossa aineen tuottaman säteilyn annosnopeus on määritetty, ja  $d_1$  tarkoittaa radioaktiivisen aineen etäisyyttä sirottavasta kohteesta.

Radioaktiivisten aineiden lähettämän säteilyn sirontakertoimien arvot betonille ja teräkselle sekä eri sirontakulmille on annettu liitteen C taulukossa C10. Sironneen säteilyn kymmenespaksuuksien arvoina eri suojusmateriaaleille voidaan käyttää kunkin radioaktiivisen aineen primäärisäteilyn kymmenespaksuuksien arvoja (liitteen C taulukko C8). Kuitenkin  $^{60}\text{Co}$ :lle,  $^{137}\text{Cs}$ :lle ja  $^{226}\text{Ra}$ :lle sekä muille nuklideille, joiden gammaenergia on yli 0,5 MeV, voidaan käyttää positroniemitterien kymmenespaksuuksien arvoja silloin, kun sirontakulma on yli  $70^\circ$ . Alle  $70^\circ$ :n sirontakulmilla on niillekin käytettävä primäärisäteilyn kymmenespaksuuksia.

## LIITE B

### Laskentakaavat

Tässä liitteessä (säteily)annos tarkoittaa aina vapaata annosekvivalenttia, jos erikseen ei toisin mainita.

#### Suojuksen läpäisykerroin ja paksuus

Säteilysuojusta suunniteltaessa lasketaan ensin ns. läpäisykerroin  $B$ , joka tarkoittaa suojuksen läpiltulleesta säteilystä aiheutuvan annoksen  $H$  suhdetta säteilyannokseen  $H_0$  ilman suojusta:

$$B = H/H_0 \quad (\text{B1})$$

Suojukseen tarvittavan materiaalin kymmenespaksuuksien  $TVL$  lukumäärä  $n$  lasketaan läpäisykerroimesta seuraavasti:

$$n = \log_{10}(1/B) \quad (\text{B2})$$

Suojuksen paksuus  $s$  on tällöin

$$s = n \cdot TVL_1 \quad \text{jos } n \leq 1 \quad (\text{B3-1})$$

$$s = TVL_1 + (n-1) \cdot TVL_2 \quad \text{jos } 1 < n \leq 2 \quad (\text{B3-2})$$

$$s = TVL_1 + TVL_2 + (n-2) \cdot TVL_3 \quad \text{jos } 2 < n \leq 3 \quad (\text{B3-3})$$

$$s = TVL_1 + TVL_2 + TVL_3 + (n-3) \cdot TVL_e \quad \text{jos } n > 3 \quad (\text{B3-4})$$

joissa  $TVL_1, TVL_2$  ja  $TVL_3$  ovat ensimmäinen, toinen ja kolmas kymmenespaksuus  
 $TVL_e$  on ns. tasapainotilan kymmenespaksuus (kymmenespaksuus säteilyä voimakkaasti vaimentavan suojuksen takana).

Säteilysuojelutarkoituksissa on kymmenespaksuuden  $TVL$  ja puoliintumispaksuuden  $HVL$  ( $1 HVL_e = 0,3 TVL_e$ ) arvoina käytettävä ns. leveän keilan geometriassa mitattuja arvoja.

Kun on laskettu tarvittavat suojuspaksuudet vuotosäteilylle ja sironneelle säteilylle, voidaan näiden säteilykomponenttien yhteisvaikutusta varten tarvittava suojuspaksuus arvioida kummallekin komponentille erikseen laskettujen paksuuksien erosta seuraavasti:

- Jos suojuspaksuuksien erotus on pienempi kuin yksi  $TVL_e$ , on tarvittava suojuspaksuus suurempi paksuus lisättynä vielä yhdellä  $HVL_e$ :llä.
- Jos suojuspaksuuksien erotus on yhtä suuri tai suurempi kuin yksi  $TVL_e$ , voidaan tarvittavana suojuspaksuutena käyttää suurempaa paksuutta.

Mikäli vuotosäteilyn ja sironneen säteilyn  $TVL_e$ :t ovat erisuuruiset, on varmintä käyttää  $HVL_e$ :n laskemiseen suurempaa näistä arvoista. Suojuspaksuuksien suunnittelussa mahdollisesti käytettävät laskentaohjelmat voivat huomioida eri säteilykomponenttien yhteisvaikutuksen ilman erillisiä toimenpiteitä.

**Primäärisäteily**

Säteilylaitteen\*) käyttötilaa varten tarvittavan primäärisäteilyn suojuksen läpäisykerroin  $B$  lasketaan kaavasta

$$B = \frac{\dot{H}_A \cdot d^2}{\dot{H}_0 \cdot t \cdot U \cdot T \cdot d_0^2} \quad (\text{B4})$$

jossa

- $\dot{H}_A$  on suunnitteluarvo (joko 120  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (6  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) tai 6  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (0,3  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) riippuen siitä, onko suojuksella tarkoitus suojata tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskenteleviä tai oleskelevia henkilöitä)
- $\dot{H}_0$  on laitteen primäärisäteilyn annosnopeus etäisyydellä  $d_0$  laitteen kohtiosta (fokuksesta)
- $t$  on sen ajan suhteellinen osuus viikkotyöajasta, jona laite tuottaa säteilyä\*\*)
- $U$  on laitteen suuntatekijä tarkastellussa suunnassa
- $T$  on oleskelutekijä
- $d_0$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys pisteestä, jossa primäärisäteilyn annosnopeus on määritetty
- $d$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskentelevistä tai oleskelevistä henkilöistä.

**Vuotosäteily**

Säteilylaitteen käyttötilaa varten tarvittavan vuotosäteilyn suojuksen läpäisykerroin  $B_v$  lasketaan kaavasta

$$B_v = \frac{\dot{H}_A \cdot d^2}{\dot{H}_v \cdot t \cdot T \cdot d_0^2} \quad (\text{B5})$$

jossa

- $\dot{H}_A$  on suunnitteluarvo (joko 120  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (6  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) tai 6  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (0,3  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) riippuen siitä, onko suojuksella tarkoitus suojata tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskenteleviä tai oleskelevia henkilöitä)
- $\dot{H}_v$  on laitteen vuotosäteilyn annosnopeus etäisyydellä  $d_0$  laitteen kohtiosta (fokuksesta)
- $t$  on sen ajan suhteellinen osuus viikkotyöajasta, jona laite tuottaa säteilyä\*\*)
- $T$  on oleskelutekijä
- $d_0$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys pisteestä, jossa vuotosäteilyn annosnopeus on määritetty
- $d$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskentelevistä tai oleskelevistä henkilöistä.

**Sironnut säteily**

Säteilylaitteen käyttötilaa varten tarvittavan sironneen säteilyn suojuksen läpäisykerroin  $B_s$  lasketaan kaavasta

$$B_s = \frac{\dot{H}_A \cdot d_1^2 \cdot d_2^2}{\dot{H}_0 \cdot t \cdot \alpha \cdot A \cdot T \cdot d_0^2} \quad (\text{B6})$$

jossa

- $\dot{H}_A$  on suunnitteluarvo (joko 120  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (6  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) tai 6  $\mu\text{Sv}/\text{viikko}$  (0,3  $\text{mSv}/\text{vuosi}$ ) riippuen siitä, onko suojuksella tarkoitus suojata tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskenteleviä tai oleskelevia henkilöitä)
- $\dot{H}_0$  on laitteen primäärisäteilyn annosnopeus etäisyydellä  $d_0$  laitteen kohtiosta (fokuksesta)
- $t$  on sen ajan suhteellinen osuus viikkotyöajasta, jona laite tuottaa säteilyä\*\*)
- $\alpha$  on sironnakerroin tarkasteltavaan suuntaan

\*) Tässä tapauksessa säteilylaite voi tarkoittaa myös suojaamatonta radioaktiivista ainetta.

\*\*) Vuorotyön osalta ks. kohta 3.3, kolmas kappale.

- $A$  on se pinta-ala sirottavan kohteen pinnalla, johon primäärikeila osuu  
 $T$  on oleskelutekijä  
 $d_0$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys pisteestä, jossa primäärisäteilyn annosnopeus on määritetty  
 $d_1$  on laitteen kohtion (fokuksen) etäisyys sirottavasta kohteesta  
 $d_2$  on sirottavan kohteen etäisyys tarkkailualueella tai luokittelemattomalla alueella työskentelevistä tai oleskelevistä henkilöistä.

### Sädehoitokiihdyttimien tuottamien neutronien sironta

Sironneen neutronisäteilyn annosnopeus  $\dot{H}_s$  hoituhuoneeseen johtavan kulkukäytävän ovella (ilman ovea) voidaan laskea kaavasta:

$$\dot{H}_s = \dot{H}_0 \cdot \frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{d_0^2}{d_1^2} \cdot 10^{-d_2/5m} \quad (B7)$$

jossa

- $\dot{H}_0$  on neutronisäteilyn annosnopeus etäisyydellä  $d_0$  laitteen kohtiosta  
 $A_0$  on kulkukäytävästä hoituhuoneeseen avautuvan aukon poikkipinta-ala  
 $A_1$  on kulkukäytävän poikkipinta-ala  
 $d_0$  on laitteen kohtion etäisyys pisteestä, jossa neutronisäteilyn annosnopeus on määritetty  
 $d_1$  on laitteen isosentrin etäisyys kulkukäytävän keskilinjan siihen pisteeseen, josta isosentri on vielä nähtävissä  
 $d_2$  on kulkukäytävän oviaukon etäisyys kulkukäytävän keskilinjaa pitkin siihen pisteeseen, josta isosentri on vielä nähtävissä.

Kaavasta (B7) voidaan laskea neutroniannosnopeus sellaisissa tilanteissa, joissa hoituhuoneen ja kulkukäytävän välillä on yksi mutka. Jos mutkia on kaksi, on toisen mutkan mukanaan tuoma etäisyyden lisäys otettava huomioon parametrissa  $d_2$  ja lisäksi kaavan oikealle puolelle on lisättävä kerroin 1/3.

Hoituhuoneesta kulkukäytävää pitkin kulkukäytävän ovelle siroavat neutronit aiheuttavat käytävän seinissä kokemiensa sironta- ja absorptioreaktioiden kautta myös suurienergistä fotonisäteilyä (gamma-säteilyä). Sen annosnopeus oviaukossa on 25–50 % neutroniannosnopeudesta.

Kulkukäytävän oveen tarvittavan suojuksen suunnittelussa voidaan käyttää seuraavia kymmenpaksuusarvoja:

- neutronisäteily,  $TVL = 45$  mm parafiinia tai vetypitoista muovia
- fotonisäteily,  $TVL = 61$  mm lyijyä.

Ovi on rakennettava siten, että vetypitoinen aine on hoituhuoneen (kulkukäytävän) puolella.



## LIITE C

### Laskentakaavoissa käytettävien parametrien arvot

Tässä liitteessä eri suojustamateriaaleille annetut kymmenespaksuusarvot ja lyijyvastaavuusarvot pätevät seuraaville materiaali-tyyppityksille:

- lyijy 11,3 g/cm<sup>3</sup>
- teräs 7,4–7,9 g/cm<sup>3</sup>
- betoni 2,3–2,4 g/cm<sup>3</sup>
- umpinainen tiili 1,8 g/cm<sup>3</sup>
- kipsi 0,84 g/cm<sup>3</sup>.

**Taulukko C1.** Primäärisäteilyn kymmenespaksuudet (MV-alue) [7].

Kiihdytysjännite (MV)	Kymmenespaksuus (mm) eri suojustamateriaaleille (TVL <sub>2</sub> =TVL <sub>3</sub> =TVL <sub>e</sub> )					
	Lyijy		Teräs		Betoni	
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>
2	35	40	75	70	220	200
4	50	55	90	90	290	290
6	55	55	100	100	350	350
8	55	55	105	105	380	380
10	55	55	105	105	410	400
12	55	55	105	105	440	420
15	55	55	110	110	470	440
20	55	55	110	110	490	450
25	55	55	110	110	510	460

**Taulukko C2.** Primäärisäteilyn sirontakerroimet (MV-alue) [6].

Kiihdytysjännite (MV)	Sirontakerroin (m <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> ) eri sirontakulmilla					
	30°	45°	60°	90°	135°	150°
6	6,9·10 <sup>-6</sup>	3,5·10 <sup>-6</sup>	2,1·10 <sup>-6</sup>	1,1·10 <sup>-6</sup>	0,75·10 <sup>-6</sup>	0,72·10 <sup>-6</sup>
10	8,0·10 <sup>-6</sup>	3,4·10 <sup>-6</sup>	1,9·10 <sup>-6</sup>	1,0·10 <sup>-6</sup>	0,76·10 <sup>-6</sup>	0,69·10 <sup>-6</sup>

Sirontakerroin on annettu potilaasta (vedestä) tapahtuvalle sironnalle. Se kuvaa yhden metrin päässä potilaasta mitatun, sironneesta säteilyä aiheutuvan annoksen suhdetta primäärikeilassa potilaan iholla mitattuun annokseen (ilman takaisinsirontaa) silloin, kun kenttäkoko potilaan iholla on 1 cm<sup>2</sup>.

Sironta kulmaan 0° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on sama kuin primäärisäteilyn suunta. Vastaavasti sironta kulmaan 180° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on vastakkainen primäärisäteilyn suunnalle.

**Taulukko C3-1.** Sironneen säteilyn kymmenespaksuudet lyijylle (MV-alue) [6].

Kiihdytys- jännite (MV)	Kymmenespaksuus (mm) eri sirontakulmilla (TVL <sub>2</sub> =TVL <sub>3</sub> =TVL <sub>e</sub> )									
	30°		45°		60°		90°		120°	
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>e</sub>
4	33	37	24	31	18	25	9	13	5	8
6	38	44	28	34	19	26	10	15	5	8
10	43	45	31	36	21	27	12	16	8	14

Kymmenespaksuus on annettu potilaasta (vedestä) sironneelle säteilylle. Sironta kulmaan 0° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on sama kuin primäärisäteilyn suunta. Vastaavasti sironta kulmaan 180° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on vastakkainen primäärisäteilyn suunnalle.

**Taulukko C3-2.** Sironneen säteilyn kymmenespaksuudet betonille (MV-alue) [6].

Kiihdytys- jännite (MV)	Kymmenespaksuus (mm) eri sirontakulmilla (TVL <sub>1</sub> =TVL <sub>2</sub> =TVL <sub>3</sub> =TVL <sub>e</sub> )					
	15°	30°	45°	60°	90°	135°
4	300	250	220	210	170	140
6	340	260	230	210	170	150
10	390	280	250	220	180	150

Kymmenespaksuus on annettu potilaasta (vedestä) sironneelle säteilylle. Sironta kulmaan 0° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on sama kuin primäärisäteilyn suunta. Vastaavasti sironta kulmaan 180° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on vastakkainen primäärisäteilyn suunnalle.

**Taulukko C4.** Röntgenputken säteilytuotto [8].

Röntgenputken jännite (kV)	Säteilytuotto (mGy/mAmin)
30	2,6
50	1,1
70	2,2
85	3,3
100	4,7
125	7,2
150	9,8

Säteilytuottoarvot on mitattu yhden metrin päässä röntgenputken fokuksesta. Putken kokonaissuodatus on noin 2,5 mm alumiinia kaikilla muilla kV-arvoilla, paitsi arvolla 30 kV, jossa on molybdeenisuodatus.

**Taulukko C5-1.** Primäärisäteilyn kymmenespaksuudet (kV-alue) lyijylle, 50–150 kV [8], 200–400 kV [2]. 30 kV:n ja 35 kV:n arvot on laskettu Säteilysäilyturvakeskuksessa viitteen [5] tietojen perusteella.

Röntgenputken jännite (kV)	Kymmenespaksuus (mm) lyijylle			
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>3</sub>	TVL <sub>e</sub>
30	0,015	0,025	0,036	0,05
35	0,018	0,032	0,049	0,07
50	0,07	0,13	0,18	0,25
70	0,13	0,28	0,37	0,42
85	0,19	0,47	0,62	0,67
100	0,25	0,66	0,84	0,93
125	0,35	0,69	0,87	1,0
150	0,45	0,66	0,87	1,3
200	0,6	0,8	1,1	1,4
250	0,9	1,5	2,0	3,6
300	2,0	2,7	4,3	5,4
400	3,6	5,0	6,4	8,2

**Taulukko C5-2.** Primäärisäteilyn kymmenespaksuudet (kV-alue) teräkselle, 50–150 kV [8]. 30 kV:n ja 35 kV:n arvot on laskettu Säteilysäilyturvakeskuksessa viitteen [5] tietojen perusteella.

Röntgenputken jännite (kV)	Kymmenespaksuus (mm) teräkselle			
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>3</sub>	TVL <sub>e</sub>
30	0,07	0,12	0,20	0,28
35	0,08	0,16	0,28	0,36
50	0,4	0,8	1,1	1,3
70	0,9	1,7	2,6	3,1
85	1,3	3,1	4,5	5,0
100	1,8	4,4	6,1	
125	2,8	7,1		
150	4,2	10,6		

**Taulukko C5-3.** Primäärisäteilyn kymmenespaksuudet (kV-alue) betonille, 50–150 kV [8], 200–400 kV [2]. 30 kV:n ja 35 kV:n arvot on laskettu Säteilysäilyturvakeskuksessa viitteen [5] tietojen perusteella.

Röntgenputken jännite (kV)	Kymmenespaksuus (mm) betonille			
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>3</sub>	TVL <sub>e</sub>
30	1,6	2,9	4,3	6,4
35	1,8	3,7	6,1	8,1
50	11	18	21	25
70	19	30	37	39
85	23	43	48	48
100	31	50	53	53
125	42	60	62	63
150	50	68	70	72
200	65	83	83	83
250	71	87	87	87
300	75	100	100	100
400	135	100	95	95

**Taulukko C6.** Joidenkin suojusmateriaalien lyijyvastaavuusarvot (kV-alue) [7]. 0,5 mm:n lyijynpaksuutta vastaavat arvot on laskettu Säteilyturvakeskuksessa.

Suojusmateriaali	Lyijyn paksuus (mm)	Lyijysuojuksen paksuutta vastaava muun suojusmateriaalin paksuus (mm) röntgenputken eri jännitteillä (kV)					
		50	70	100	150	200	300
Betoni	0,5	65	58	51	56		
	1	130	105	80	105	95	80
	2		195	140	180	165	125
	3		285	190	250	220	155
	4			240	300	270	185
	6			340	410	360	240
Tiili (umpinainen)	0,5	94	84	74	81		
	1	200		120	150	130	105
	2			195	260	230	165
	3			260	340	310	210
	4			330	420	370	250
	6			450	570	490	330
Teräs	0,5	3,0	3,2	3,4	5,1		
	1	6,5		6,5	14	16	16
	2			13	28	32	26
Kipsi	0,5	157	145	132	153		
	1	290		200	270	240	190

**Taulukko C7.** Primäärisäteilyn sirontakertoimet (kV-alue), 30–150 kV [5], 200–300 kV [3].

Röntgenputken jännite (kV)	Sirontakerroin (m <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> ) eri sirontakulmilla					
	30°	45°	60°	90°	120°	135°
30	0,6·10 <sup>-6</sup>	0,2·10 <sup>-6</sup>	0,2·10 <sup>-6</sup>	0,3·10 <sup>-6</sup>	0,9·10 <sup>-6</sup>	1,3·10 <sup>-6</sup>
50	4,7·10 <sup>-6</sup>	4,1·10 <sup>-6</sup>	3,7·10 <sup>-6</sup>	3,9·10 <sup>-6</sup>	5,1·10 <sup>-6</sup>	5,9·10 <sup>-6</sup>
70	5,1·10 <sup>-6</sup>	4,4·10 <sup>-6</sup>	4,1·10 <sup>-6</sup>	4,3·10 <sup>-6</sup>	5,4·10 <sup>-6</sup>	6,2·10 <sup>-6</sup>
100	5,5·10 <sup>-6</sup>	4,9·10 <sup>-6</sup>	4,5·10 <sup>-6</sup>	4,7·10 <sup>-6</sup>	5,9·10 <sup>-6</sup>	6,7·10 <sup>-6</sup>
125	5,9·10 <sup>-6</sup>	5,3·10 <sup>-6</sup>	4,9·10 <sup>-6</sup>	5,1·10 <sup>-6</sup>	6,3·10 <sup>-6</sup>	7,1·10 <sup>-6</sup>
150	6,3·10 <sup>-6</sup>	5,7·10 <sup>-6</sup>	5,3·10 <sup>-6</sup>	5,5·10 <sup>-6</sup>	6,7·10 <sup>-6</sup>	7,5·10 <sup>-6</sup>
200	6,0·10 <sup>-6</sup>	5,0·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	6,8·10 <sup>-6</sup>	7,0·10 <sup>-6</sup>
250	6,3·10 <sup>-6</sup>	5,3·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	6,8·10 <sup>-6</sup>	7,0·10 <sup>-6</sup>
300	6,5·10 <sup>-6</sup>	5,5·10 <sup>-6</sup>	5,0·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	6,5·10 <sup>-6</sup>	7,0·10 <sup>-6</sup>

Sirontakerroin on annettu potilaasta (vedestä) tapahtuvalle sironnalle. Se kuvaa yhden metrin päässä potilaasta mitatun, sironneesta säteilystä aiheutuvan annoksen suhdetta primäärikeilassa potilaan iholla mitattuun annokseen (ilman takaisinsirontaa) silloin, kun kenttäkoko potilaan iholla on 1 cm<sup>2</sup>.

Sironta kulmaan 0° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on sama kuin primäärisäteilyn suunta. Vastaavasti sironta kulmaan 180° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on vastakkainen primäärisäteilyn suunnalle.

**Taulukko C8.** Radioaktiivisten aineiden lähettämän säteilyn kymmenespaksuudet, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>192</sup>Ir, <sup>226</sup>Ra [2], positroniemitterit, <sup>99</sup>Mo, <sup>99m</sup>Tc, <sup>111</sup>In, <sup>123</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>201</sup>Tl [9].

Radioaktiivinen aine	Kymmenespaksuus (mm) eri suojusmateriaaleille (TVL <sub>3</sub> =TVL <sub>e</sub> )								
	Lyijy			Teräs			Betoni		
	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>e</sub>	TVL <sub>1</sub>	TVL <sub>2</sub>	TVL <sub>e</sub>
Positroniemitterit <sup>*)</sup>	15	15	14	63	44	43	225	150	125
<sup>60</sup> Co	45	40	40	72	70	70	280	205	205
<sup>99</sup> Mo	20	25	24	56	58	45	210	160	155
<sup>99m</sup> Tc	0,9	0,9	0,9	20	17	16	145	90	75
<sup>111</sup> In	2,5	3,5	3,5	31	29	29	160	105	95
<sup>123</sup> I	2	10	17	21	31	45	130	110	115
<sup>131</sup> I	11	17	22	56	43	44	210	140	140
<sup>137</sup> Cs	21	22	22	65	50	50	210	165	165
<sup>192</sup> Ir	12	18	18	48	42	42	170	140	140
<sup>201</sup> Tl	1,3	1,3	1,3	12	21	21	105	90	90
<sup>226</sup> Ra	44	44	44	80	70	70	250	245	245

<sup>\*)</sup> Esimerkiksi <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O, <sup>18</sup>F.

**Taulukko C9.** Radioaktiivisten aineiden annosnopeusvakioita [1], <sup>226</sup>Ra [10].

Radioaktiivinen aine	Annosnopeusvakio (mSv/h)/GBq
Positroniemitterit <sup>*)</sup>	0,16
<sup>60</sup> Co	0,33
<sup>99</sup> Mo	0,046
<sup>99m</sup> Tc	0,022
<sup>111</sup> In	0,072
<sup>123</sup> I	0,034
<sup>131</sup> I	0,064
<sup>137</sup> Cs	0,092
<sup>192</sup> Ir	0,14
<sup>201</sup> Tl	0,018
<sup>226</sup> Ra	0,20

<sup>\*)</sup> Esimerkiksi <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O, <sup>18</sup>F.

Annosnopeusvakio tarkoittaa aktiivisuudeltaan 1 GBq olevan radioaktiivisen aineen aiheuttamaa annosnopeutta ilmassa yhden metrin päässä aineesta.

Huom. Lyhytikäisille aineille (puoliintumisaika minuuttien luokkaa) annosnopeusvakion mukaan laskettu annos on (huomattavasti) suurempi kuin aineesta tunnin aikana aiheutuva todellinen annos.

**Taulukko C10.** Radioaktiivisten aineiden lähettämän säteilyn sirontakertoimet [4].

Säteilyn energia (MeV)	Sirontakerroin (m <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> ) eri sirontakulmilla					
	105°		120°		180°	
	Betoni	Teräs	Betoni	Teräs	Betoni	Teräs
0,2	2·10 <sup>-6</sup>	0,7·10 <sup>-6</sup>	3·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>
0,5	1·10 <sup>-6</sup>	0,7·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>
1,0	0,6·10 <sup>-6</sup>	0,5·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	0,7·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	0,9·10 <sup>-6</sup>
2,0	0,4·10 <sup>-6</sup>	0,3·10 <sup>-6</sup>	0,6·10 <sup>-6</sup>	0,4·10 <sup>-6</sup>	0,6·10 <sup>-6</sup>	0,5·10 <sup>-6</sup>

Sirontakerroin kuvaa yhden metrin päässä sirottavasta aineesta mitatun, sironneesta säteilystä aiheutuvan annoksen suhdetta primäärikeilassa sirottavan aineen pinnalla mitattuun annokseen (ilman takaisinsirontaa) silloin, kun kenttäkoko sirottavan kohteen pinnalla on 1 cm<sup>2</sup>.

Sironta kulmaan 0° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on sama kuin primäärisäteilyn suunta. Vastaavasti sironta kulmaan 180° tarkoittaa sitä, että sironneen säteilyn suunta on vastakkainen primäärisäteilyn suunnalle.

### **Kirjallisuus**

1. Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P, Hickman C. Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002. Rad. Prot. Dos. 2002; 98 (1).
2. International Commission on Radiological Protection. Protection against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine. ICRP Publication 33. Oxford: Pergamon Press; 1982.
3. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities. Safety Reports Series No. 47. Vienna: IAEA; 2006.
4. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP Report No. 144. Bethesda, MD: NCRP; 2003.
5. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147. Bethesda, MD: NCRP; 2004.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities. NCRP Report No. 151. Bethesda, MD: NCRP; 2005.
7. Pukkila O (toim.). Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuuskirjasarja, osa 3. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.
8. Tapiovaara M. Röntgenhuoneen säteilysuojaustarpeen arviointiin käytettävä tietokoneohjelma: RtgSuojaus. STUK-STO-TR 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2005.
9. DIN 6844-3 und DIN 6844-3 Berichtigung 1. Nuklearmedizinische Betriebe - Teil 3: Strahlenschutzberechnungen. DIN Deutsches Institut für Normung. e.V.
10. Toivonen H, Rytömaa T, Vuorinen A (toim.). Säteily ja turvallisuus. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1988.

## LIITE D

### Määritelmiä ja käsitteitä

#### **Kymmenyspaksuus (TVL, Tenth-Value Layer)**

Ainekerros, joka pienentää säteilyannoksen tai -annosnopeuden kymmenesosaan sen alkuperäisestä arvosta.

#### **Oleskelutekijä (T)**

Tekijä, joka ilmoittaa, kuinka suuren osan säteilylähteen säteilyn tuottoajasta säteilyn kohteena olevassa tilassa oleskellaan tai työskennellään.

#### **Primäärisäteily**

Säteilylähteestä tuleva säteily, joka ei ole vaimentunut lähteen omassa suojuksessa.

#### **Puoliintumispaksuus (HVL, Half-Value Layer)**

Ainekerros, joka pienentää säteilyannoksen tai -annosnopeuden puoleen sen alkuperäisestä arvosta.

#### **Sironnut säteily**

Säteily, joka kohteeseen osuessaan on poikennut alkuperäisestä suunnastaan tai menettänyt osan alkuperäisestä energiastaan.

Lisäselitys: Tässä ohjeessa lähteen omassa suojuksessa sironnut säteily katsotaan vuotosäteilyksi.

#### **Suuntatekijä (U)**

Tekijä, joka ilmoittaa, kuinka suuren osan säteilylaitteen säteilyn tuottoajasta laitteen primäärisäteily kohdistuu tiettyyn suuntaan.

#### **Säteilylaite**

Laite, joka sähköisesti tuottaa säteilyä tai joka sisältää radioaktiivista ainetta.

#### **Säteilylähde**

Säteilylaite tai radioaktiivinen aine.

#### **(Säteily)suojaus**

Säteilyn annosnopeuden pienentäminen säteily-suojuksen tai -suojusten avulla.

#### **(Säteily)suojus**

Materiaali, rakenne tai väline, jota käytetään säteilyn annosnopeuden pienentämiseksi.

Lisäselitys: Säteilysuojus tässä ohjeessa ei tarkoita säteilylaitteen omaa suojusta ts. suojusta tai vaippaa, joka on välittömästi säteilylaitteen säteilevän osan ympärillä, eikä esimerkiksi jälkilatauslaitteen suojaäiliötä tai vastaavaa.

#### **Säteilyturvallisuustoimenpiteet**

Toimenpiteet, joilla ihmisille aiheutuvia säteilyannoksia ja säteilyhaittoja pyritään estämään tai vähentämään ja joilla varmistetaan toiminnan harjoittajan omien työntekijöiden, opiskelijoiden ja harjoittelijoiden sekä toiminnan harjoittajan töitä tekevien ulkopuolisten työntekijöiden ja väestöön kuuluvien henkilöiden turvallisuus. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat myös menettelyt, joilla pyritään estämään onnettomuuksia ja lievennetään niiden seurauksia.

#### **Turvajärjestelyt**

Toimenpiteet, joilla pyritään havaitsemaan ja ehkäisemään säteilylähteen varkaus, sabotointi tai laitton siirtäminen, luvaton sisään tunkeutuminen näitä lähteitä sisältäviin laitoksiin tai tiloihin tai muu vastaava pahantahtoinen teko. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat myös vastatoimenpiteet pahantahtoisien teon tapahduttua.

#### **Vuotosäteily**

Säteilylähteestä lähteen oman säteilysuojuksen läpi tuleva säteily.

# ST-OHJEET (15.7.2011)

## **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 Säteilyturvallisuus työpaikalla, 10.12.2009
- ST 1.7 Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa, 17.2.2003
- ST 1.8 Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja pätevyyden edellyttämä säteilysuojelukoulutus, 16.4.2004
- ST 1.9 Säteilytoiminta ja säteilymittaukset, 17.3.2008
- ST 1.10 Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu, 14.7.2011

## **Sädehoito**

- ST 2.1 Sädehoidon turvallisuus, 18.4.2011
- 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, 7.11.2007
- ST 5.2 Tarkastus- ja analyysiröntgenlaitteiden käyttö, 26.9.2008
- ST 5.3 Ionisoivan säteilyn käyttö fysiikan ja kemian opetuksessa, 4.5.2007

- ST 5.4 Säteilylähteiden kauppa, 19.12.2008
- ST 5.6 Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa, 17.2.1999
- ST 5.7 Radioaktiivisen jätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen siirrot, 6.6.2011
- ST 5.8 Säteilylaitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyö, 4.10.2007

## **Avolähteet ja radioaktiiviset jätteet**

- ST 6.1 Säteilyturvallisuus avolähteiden käytössä, 17.3.2008
- 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, 23.9.2007
- ST 7.4 Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen, 9.9.2008
- 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 Yleisöesityksissä käytettävien suuritehoisten laserlaitteistojen säteilyturvallisuus, 28.2.2007

## **Luonnonsäteily**

- ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa, 2.2.2011
- ST 12.2 Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus, 17.12.2010
- ST 12.3 Talousveden radioaktiivisuus, 9.8.1993
- ST 12.4 Säteilyturvallisuus lentotoiminnassa, 20.6.2005