

RÖNTGENHUONEEN SÄTEILYSUOJAUSTARPEEN ARVIOINTIIN KÄYTETTÄVÄ TIETOKONEOHJELMA: RtgSuojaus

Markku Tapiovaara

ISBN 952-478-021-6 (nid.) Dark Oy, Vantaa 2005
ISBN 952-478-022-4 (pdf)
ISSN 1795-5025

TAPIOVAARA Markku. Röntgenhuoneen säteilysojaustarpeen arviointiin käytettävä tietokoneohjelma: RtgSuojaus. STUK-STO-TR 2. Helsinki 2005. 15 s. + liitteet 7 s.

Avainsanat: säteilysojaus, säteilysojus, laskentamalli, röntgendiagnostiikka, röntgentutkimushuone, tietokoneohjelma, käyttöohje

Tiivistelmä

Raportissa kuvataan terveydenhuollon röntgentutkimushuoneiden säteilysojaustarpeen arviointiin tarkoitetun tietokoneohjelman toimintaperiaate ja laskennassa käytettävät lähtötiedot. Ohjelman käyttöohje on raportin liitteenä.

TAPIOVAARA Markku. A PC program for calculating the radiation shielding needed in a medical x-ray examination room: RtgSuojaus. STUK-STO-TR 2. Helsinki 2005. 15 pp. + apps. 7 pp.

Key words: radiation shielding, calculation model, x-ray diagnostics, x-ray examination room, computer program, User's Manual

Abstract

The report describes a PC program which is intended for estimating the need for radiation shielding in medical x-ray examination rooms. The report explains the calculation method and the data used for the calculation. The User's Manual of the program is given as an appendix to the report. (In Finnish)

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 ANNOSSUUREET	8
3 SUOJAUSTARPEEN LASKENTAMENETELMÄ JA LÄHTÖDATAT	10
4 TULOSTEN TARKKUUTEEN JA SUOJAUSTARPEESEEN LIITTYVIÄ TEKIJÖITÄ	13
KIRJALLISUUSVIITTEET	15
LIITE 1 RtgSUOJAUS-OHJELMAN KÄYTTÖOHJE	16
LIITE 2 RAKENNUSMATERIAALIEN LÄPÄISYKERTOIMET	20

1 Johdanto

Röntgentutkimushuoneiden säteilysuojausten mitoituksessa tehtiin aikoinaan joukko suojaustarvetta merkittävästi liioittelevia oletuksia (NCRP 1976, STM:n päätös 594/1968). Esimerkiksi röntgenputken jännitteenä käytettiin laitteen maksimiarvoa ja käyttömäärä arvioitiin suureksi: usein käytetty arvo tavanomaiselle röntgenkuvaushuoneelle oli 1 000 mAmin/viikko. Toinen merkittävä oletus oli, että röntgenputken vaipan läpi tulevasta vuotosäteilystä aiheutuvan annoksen oletettiin olevan laitevaatimuksissa annetun maksimiarvon suuruista laitteen käyttöarvoista riippumatta. Tämän säteilysuojausten laskentakäytännön jatkaminen olisi tuottanut melkoisia hankaluuksia ja johtanut suojaustarpeen merkittävään yliarviointiin, kun säteilytyöntekijöiden ja väestön vuosiannosrajoja pienennettiin Suomessa vuonna 1991 (Säteilyasetus 1512/1991) ja kun STUK antoi ohjeessaan ST 3.6 röntgentilojen säteilysuojaukselle annosrajoituksen 0,3 mSv vuodessa^{*)}. Siksi on tarvittu laskentamenetelmää, joka antaa tarvittavalle säteilysuojaukselle realistisemmän arvion kuin vanhoilla menetelmillä saatiin.

RtgSuojaus-ohjelman laskentaperiaatetta on käytetty STUKissa jo 1990-luvun puolivälistä al-

kaen, mutta ohjelmaa ei ole ollut yleisesti saatavilla. Nyt julkistettavan ohjelmaversion käyttöliittymää on parannettu aikaisemmasta ja ohjelma on muutettu nykyisiin Windows-käyttöjärjestelmiin sopivaksi. Ohjelma antaa tulokset useille materiaaleille: lyijylle, teräkselle, betonille, lasille, kipsilevyille ja puulle. Muista kiviaineksista tehtyjen säteilysuojaseinien paksuustarvetta voidaan arvioida likimääräisesti betonille laskettujen suojuspaksuuksien avulla, ottamalla huomioon kyseisen materiaalin ja betonin tiheysero^{**)}. Näin tehdyn arvion tarkkuus voi kuitenkin olla huono, jos vertailtavien rakennusaineiden alkuainekoostumus poikkeaa toisistaan huomattavasti.

Ohjelman antamat suojuspaksuudet ovat vain mallin mukaisen laskennan antamia arvioita; käytetty laskentamalli, siinä tehdyt oletukset ja lähtötiedot esitetään tässä raportissa. Tarvittava säteilysuojaus riippuu todellisessa käytännössä niin monesta tekijästä ja oletuksesta, että suojausten hyväksyttävyyttä voidaan – ainakin rajatapauksissa – ratkaista lopullisesti vasta käyttöpaikalla tehtyjen mittausten ja muiden tarkastusten perusteella.

^{*)} Ohje ST 3.6 ilmaisee STUKin vaatimukset diagnostisten röntgentilojen säteilysuojaukselle muussa kuin mammografia- ja hammaskuvauskäytössä, joiden säteilysuojausvaatimukset on esitetty ohjeissa ST 3.2 ja ST 3.1. Näiden ohjeiden lisäksi suojauksen suunnitteluun liittyviä seikkoja on käsitelty muun muassa röntgentutkimushuoneiden säteilysuojausta koskevassa STUKin raportissa (Karppinen 1997, jossa on käytetty samaa laskentamallia kuin RtgSuojaus-ohjelmassa), ”Säteilyn käyttö” -kirjassa (Pukkila 2004) ja NCRP:n säteilysuojausta koskevassa raportissa (NCRP 2004). NCRP:n raportti käsittelee myös säteilysuojusten rakenteisiin ja tarkastuksiin liittyviä asioita.

^{**)} Saman säteilyn vaimennuksen aikaansaamiseksi esimerkiksi tiilestä (tiheys 1,8 g/cm³) tehdyn seinän on oltava noin 1,3 kertaa niin paksu kuin seinän, joka on tehty betonista (tiheys 2,4 g/cm³).

2 Annossuureet

Säteilyn haittavaikutusten arvioimiseen käytetään laskennallisia annossuureita. Näitä ovat eri elinten tai kudosten ekvivalenttiannos (H_T) ja ihmisen kokonaisaltistusta kuvaava efektiivinen annos (E). Säteilysuojauksen riittävyttä tarkasteltaessa mittaussuureena voidaan käyttää joko ilmakermaa (K) tai vapaata annosekvivalenttia ($H^*(10)$). Näiden mittaussuureiden ja muiden tietojen perusteella voidaan arvioida efektiivistä annosta. Annossuureita on esitelty mm. ohjeessa ST 7.2. Perusteellisemmin niitä on käsitelty esimerkiksi ”Säteily ja sen havaitseminen” -kirjassa (Ikäheimonen 2002) ja ICRU:n (International Commission on Radiation Units and Measurements) raporteissa 51, 57 ja 60.

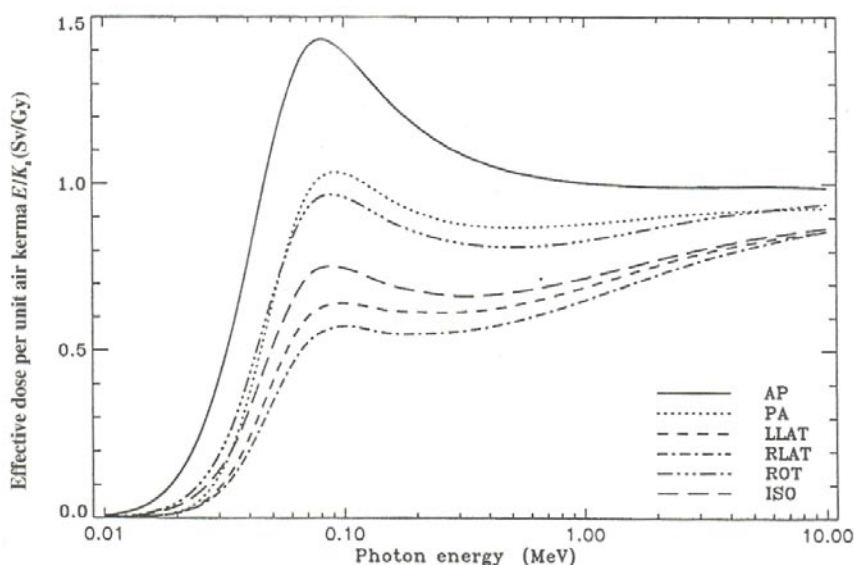
Säteilyaltistukselle asetetut annosrajat koskevat efektiivistä annosta ja tiettyjen kehon osien ekvivalenttiannosta. Suojauksia tarkasteltaessa voidaan tavallisesti ajatella, että koko keho on tasaisessa säteilykentässä. Silloin yleensä riittää arvioida pelkkää efektiivistä annosta. Sen tarkka arviointi on kuitenkin hankalaa, koska efektiivinen annos riippuu säteilyn määrän ja energian lisäksi mm. säteilyn tulosuunnasta (ks. kuva 1 ja taulukko I). Röntgendiagnostiikan fotonienenergia-alueella, 10–150 keV, efektiivisen annoksen ja ilmakerman suhde (E/K) vaihtelee lähes nollassa noin arvoon 1,5 Sv/Gy.

Taulukkoon I on laskettu PCXMC-ohjelman avulla (Tapiovaara ym. 1997) muunnoskerroin ilmakermaasta efektiiviseen annokseen suojuksessa vaimentuneelle primäärisäteilylle. Paksun suojuksen takana havaittavasta säteilystä suuri osa on kuitenkin suojuksessa itsessään syntyvää sekundäärisäteilyä. Todelliset, sekundäärisäteilyn spektrin huomioonottavat arvot olisivat yleisesti

taulukossa esitettyjä arvoja pienempiä.

RtgSuojaus-ohjelmassa laskentaan käytettävä suure on ilmakerma. Laskentamenetelmän epätarkkuuden ja efektiivisen annoksen säteilytys-suuntariippuvuuden takia ei ole katsottu aiheelliseksi yrittää tehdä tarkkaa muunnosta ilmakermaasta efektiiviseen annokseen: voidaan ajatella, että muunnoskerroimen arvona ohjelmassa on käytetty arvoa $E/K_e = 1,0$ Sv/Gy. Tämä kerroin voi – ainakin periaatteessa, kuvan 1 ja taulukon I mukaan – aliarvioida efektiivistä annosta joissakin tilanteissa. Käytännössä aliarviota tuskin aiheutuu suojuksessa syntyneen sekundäärisäteilyn primäärisäteilyä pienemmän energian takia ja siksi, että pelkkä AP-suunnassa tapahtuva altistus ei ole todennäköinen. Muista suunnista ihmiseen kohdistuvalle röntgensäteilylle muunnoskerroimen arvo on pienempi kuin 1 Sv/Gy. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi laskettaessa suojaustarvetta pelkässä mammografiakäytössä olevalle tutkimushuoneelle, voitaisiin taulukon I perusteella käyttää pienempääkin muunnoskerroimen arvoa (ohjelmaan syötettäväksi vuosiannosrajaksi voitaisiin tällöin kirjoittaa tarkoitettua vuosiannosrajaa suurempi annosarvo).

Ohjelma laskee ilmakerman pisteessä, jonka etäisyyden röntgenputkesta ja potilaasta käyttäjä valitsee. Laskennassa käytettävä piste voidaan NCRP:n mukaan (NCRP 2004) valita turvallisuutta liioitellen siten, että se sijaitsee esimerkiksi röntgentilan viereisessä huoneessa 0,3 m:n etäisyydellä suojaavasta seinästä. Katon suojausta tarkasteltaessa tarkastelu voidaan tehdä 0,5 m:n korkeudella ylempänä sijaitsevan suojattavan tilan lattiasta ja lattian suojausta tarkasteltaessa 1,7 m:n korkeudella alempana sijaitsevan tilan lattiasta.



Kuva 1. Efektiivisen annoksen, E , ja ilmakerman, K (ilmassa, ilman takaisinsirontaa), välinen suhde eräissä säteilytilanteissa fotonien energian funktiona. AP tarkoittaa edestäpäin, PA takaa, LLAT vasemmalta sivulta ja RLAT oikealta sivulta tulevaa säteilyä. ROT-geometria kuvaa tilannetta, missä säteily tulee vaakasuunnassa yhdensuuntaisena ja fantomi (tai henkilö) pyörittää pystyakselinsa ympäri. ISO kuvaa isotrooppista tilannetta, jossa fotonivuo avaruuskuulmaa kohti on sama kaikista suunnista. (ICRU Report 57)

Taulukko I. Efektiivisen annoksen ja vapaasti ilmassa mitatun ilmakerman suhde (E/K) eri putkijännitteillä ja lyijysuojuksen paksuuksilla. Taulukossa olevat arvot (yksikkö Sv/Gy) on laskettu yhdensuuntaiselle, suoraan edestäpäin (AP), suoraan takaapäin (PA) ja vasemmalta sivulta (LLAT) henkilöön kohdistuvalle primäärisäteilylle. Tuloksissa ei ole huomioitu kokonaissäteily-spektrin pehmenemistä suojuksessa syntyvän sekundäärisäteilyn vaikutuksesta. Taulukossa esitetyt arvot ovat siksi todellista tilannetta suurempia.

Putkijännite	Muunnoskerroin ilmakermasta efektiiviseen annokseen, E/K (Sv/Gy)		
	Suojaus paksuus		
	1 mm Pb	2 mm Pb	3 mm Pb
30 kV	AP: 0,37 PA: 0,12 LLAT: 0,08	AP: 0,38 PA: 0,13 LLAT: 0,08	AP: 0,39 PA: 0,13 LLAT: 0,08
50 kV	AP: 1,01 PA: 0,56 LLAT: 0,33	AP: 1,05 PA: 0,60 LLAT: 0,35	AP: 1,07 PA: 0,61 LLAT: 0,36
70 kV	AP: 1,29 PA: 0,85 LLAT: 0,50	AP: 1,33 PA: 0,90 LLAT: 0,53	AP: 1,34 PA: 0,92 LLAT: 0,54
85 kV	AP: 1,38 PA: 0,94 LLAT: 0,57	AP: 1,42 PA: 0,97 LLAT: 0,60	AP: 1,42 PA: 0,97 LLAT: 0,61
100 kV	AP: 1,40 PA: 0,95 LLAT: 0,59	AP: 1,41 PA: 0,96 LLAT: 0,61	AP: 1,41 PA: 0,96 LLAT: 0,61
125 kV	AP: 1,39 PA: 0,95 LLAT: 0,59	AP: 1,41 PA: 0,96 LLAT: 0,61	AP: 1,41 PA: 0,96 LLAT: 0,61
150 kV	AP: 1,36 PA: 0,94 LLAT: 0,59	AP: 1,38 PA: 0,95 LLAT: 0,61	AP: 1,39 PA: 0,95 LLAT: 0,61

3 Suojaustarpeen laskentamenetelmä ja lähtödatat

Röntgentutkimushuonetta ympäröiviin tiloihin kohdistuva säteily voidaan jakaa kolmeen komponenttiin: (i) primäärisäteilyyn, jolla tarkoitetaan säteilyä varsinaisessa säteilykeilassa, (ii) potilaasta tai muusta säteilykeilassa olevasta kohteesta sironneeseen säteilyyn ja (iii) röntgenputken vai-pan läpi tulleeseen vuotosäteilyyn. Näistä kahta viimeistä yhdessä kutsutaan tässä hajasäteilyksi. RtgSuojaus-ohjelmassa arvioidaan laskentapisteeseen aiheutuva annos kustakin näistä kolmesta komponentista erikseen.

Ohjelma käyttää lähtötietoinaan röntgenputken säteilytuottoarviota ja eri materiaalien vaimennustietoja. Röntgenputken säteilytuotolle (ilmakermalle säteilykeilan keskellä, yhden metrin etäisyydellä fokuksesta, yhden yksikön suuruista putkivirran ja säteilytysajan tuloa kohti) käytetään diagnostisille röntgenlaitteille mitattuja tyypillisiä arvoja (Archer ym. 1994, 30 kV: NCRP 2004), jotka on esitetty taulukossa II. Liitteessä 2 on esitetty ohjelman käyttämät läpäisykerroimet (leveän keilan mittausgeometriassa suojuksen takana mitatun ja ilman suojusta mitatun ilmakermanopeuden suhde) eri putkijännitteille, suojustamateriaaleille ja -paksuuksille. Nämä vaimennuskäyrät on annettu ohjelmaan muodossa (Archer ym. 1983)

$$B_M(x, U) = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}, \quad (1)$$

missä α , β ja γ ovat materiaalista M ja röntgenputken jännitteestä U riippuvia parametreja (Archer ym. 1994, 30 kV: NCRP 2004), x on suojuksen paksuus ja $B_M(x, U)$ suojuksen läpäisykerroin. Säteilyn vaimentuminen on likimain samanlaista lasissa ja betonissa. Koska betonille ei ole julkaistu yksivaiheisiin röntgenlaitteisiin liittyvää dataa, käytetään niille molemmille RtgSuojaus-ohjelmassa lasin vaimennusparametreja. Tämä on turvalliseen suuntaan tehtävä approksimaatio, joka voi

liioitella tarvittavaa betonipaksuutta noin 0–2 cm, jännitteestä ja suojuksen paksuudesta riippuen.

Taulukko II. RtgSuojaus-ohjelmassa käytetyt säteilytuottoarvot $K_p^1(U)$ (Archer ym. 1994, 30 kV ja 85 kV: NCRP 2004). Taulukon luvut ilmaisevat primäärisäteilykeilassa, yhden metrin fokusetäisyydellä mitatut ilmakerma-arvot 1 mAmin suuruista putkivirran ja ajan tuloa (käyttömäärää) kohti. Röntgenputken kokonais-suodatus noin 2,5 mm Al, paitsi 30 kV:n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.

Jännite (kV)	Säteilytuotto (mGy/mAmin)	
	1-vaihelaite	3-vaihelaite
30	-	2,61
50	0,71	1,07
70	1,63	2,17
85	-	3,30
100	3,60	4,72
125	5,31	7,17
150	7,28	9,76

RtgSuojaus-ohjelma arvioi ilmakermaksi primäärisäteilykeilassa olevaan, säteilysuojuksen takana sijaitsevaan laskentapisteeseen yhden viikon aikana

$$K_p(x; M) = \sum_U W_p(U) \cdot K_p^1(U) \cdot B_M(x, U) \cdot (1 \text{ m})^2 / d_p^2 \quad (2)$$

Tässä $W_p(U)$ kuvaa röntgenputken viikoittaista käyttömäärää (mAmin/viikko) tarkasteltavaa pistettä kohti jännitteellä U . $K_p^1(U)$ on röntgenputken säteilytuotto (mGy/mAmin) mitattuna yhden metrin fokusetäisyydellä, $B_M(x, U)$ on materiaalista M valmistetun x -paksuisen suojuksen aiheuttama vaimennus ja d_p tarkasteltavan laskentapisteen etäisyys röntgenputken fokuksesta. Summaus

tehdään käytettävien putkijännitteiden yli; ohjelmassa käytetään seitsemää (yksivaiheisilla röntgenlaitteilla kuutta) eri jännitealuetta ja laskenta tehdään kunkin jännitealueen suurimmalla jännitteellä.

Potilaista sironneesta säteilystä viikossa laskeutapisteeseen aiheutuva ilmakerma lasketaan olettamalla, että sironneen säteilyn määrä on suoraan verrannollinen keskimääräiseen annokseen ja kenttäkokoan potilaiden pinnalla

$$K_s(x; M) = \sum_U W_s(U) \cdot K_p^1(U) \cdot \frac{A}{\text{cm}^2} \cdot S(U, \Omega) \cdot B_M(x, U) \cdot \left(\frac{FSD \cdot d_s}{\text{m}^2} \right)^2 \quad (3)$$

Tässä $W_s(U)$ on röntgenputken viikoittainen, muualle kuin tarkastelupistettä kohti suuntautuva käyttömäärä (mAmin/viikko) jännitteellä U . A on säteilykeilan poikkipinta-ala potilaan ihon tasalla, FSD fokus-ihoetäisyys, d_s etäisyys potilaasta tarkastelupisteeseen ja $S(U, \Omega)$ suuntaan Ω liittyvä (likimääräinen) sirontakerroin: sironneesta säteilystä tarkastelusuuntaan Ω yhden metrin etäisyydellä aiheutuvan ilmakerman ja primäärikeilassa potilaan ihon tasalla vapaasti ilmassa mitatun ilmakerman suhde, kun säteilykeilan poikkipinta-ala on potilaan ihon tasalla 1 cm^2 . Ohjelmassa käytetyt sirontakertoimet (NCRP 2004) on esitetty taulukossa III. Sirontakertoimen käyttö ei tietenkään anna tarkkaa arviota sironneen säteilyn määrästä, koska sironneen säteilyn määrä riippuu mm. tutkittavasta kehon osasta ja kehon omasta varjostavasta vaikutuksesta. Sironnutta säteilyä koskeva läpäisykerroin approksimoidaan tässä samaksi kuin mitä käytetään primäärisäteilylle. Summaus tehdään käytettävien putkijännitteiden yli; ohjelmassa käytetään seitsemää (yksivaihelaitteille kuutta) eri jännitealuetta ja laskenta tehdään kunkin jännitealueen suurimmalla jännitteellä.

Röntgentutkimuslaitteiden röntgenputki on sijoitettu suojavaippaan, jonka tarkoitus on vaimentaa mahdollisimman hyvin röntgenputkesta muualle kuin säteilykeilaan suuntautuva säteily. Röntgenlaitteita koskevan säteilyturvallisuusstandardin (IEC 1994) mukaisesti röntgenputken vaipan läpi tuleva vuotosäteily ei saa ylittää arvoa

1 mGy/h, kun mittaus tehdään yhden metrin etäisyydellä ja röntgenputkea käytetään sen maksimijännitteellä ja suurimmalla jatkuvalla putkivirralla. Hammasröntgenlaitteille tämä raja on 0,25 mGy/h.

Röntgenputken vaipan läpi tulevan vuotosäteilyn annosnopeus säteilysuojuksen takana laskeutetaan samaan tapaan kuin primäärisäteilyn annosnopeus, mutta siinä arvioidaan ensin, kuinka paksu (b) vaippa tarvittaisiin, jotta primäärisäteilyn annosnopeus maksimikäyttöarvoilla alittaisi vuotosäteilyn annosnopeusrajan. Tämän jälkeen vuotosäteilystä viikossa saatava ilmakerma laskeutetaan olettamalla, että annos tarkasteltavassa pisteessä aiheutuu primäärisäteilystä, joka on vaimentunut sekä vaipassa (arvioitu paksuus b) että säteilysuojuksessa (paksuus x):

$$K_v(x; M) = \sum_U W_s(U) \cdot K_p^1(U) \cdot B_M(x + b, U) \cdot (1 \text{ m})^2 / d_p^2. \quad (4)$$

RtgSuojaus-ohjelmassa röntgenputken vaipan aiheuttamaa vaimennusta approksimoidaan käytämällä laskennassa vaippamateriaalina samaa materiaalia, josta tehdyn säteilysuojuksenkin paksuutta arvioidaan. Tämä ei tietenkään aina vastaa todellista tilannetta, koska yleensä vaippa on suojattu lyijyllä. Toinen approksimaatio vaipan paksuuden arvioinnissa on leveän keilan geometriassa mitattujen läpäisykertoimien käyttö. Tämä jälkimmäinen approksimaatio saattaa yliarvioida vaipan paksuutta ja täten aliarvioida tutkimushuoneen säteilysuojaustarvetta. Toisaalta ensimmäinen approksimaatio voi yliarvioida säteilysuojaustarvetta, kun tarkastellaan muusta materiaalista kuin lyijystä tehtyjä tutkimushuoneen suojauksia. Turvallisuutta liioittelevaa approksimointia aiheuttaa myös se, että röntgenputken vaipan vuoto on usein huomattavasti laitevaatimuksissa määriteltäviä maksimiarvoa vähäisempää ja se, että laskeutamalli olettaa vuotosäteilyn olevan isotrooppista: yhtä voimakasta kaikkiin suuntiin. Näin ei todellisuudessa ole, vaan esimerkiksi röntgenputken anodilautasen varjostamassa suunnassa vuotosäteily on vähäistä.

RtgSuojaus-ohjelma laskee suojaustarpeen ko-

keilemalla. Se aloittaa laskennan suojustaksuudesta 0 mm ja lisää suojuksen paksuutta kerrallaan määrällä Δx , kunnes

$$\begin{aligned} &K_p(x; M) + K_s(x; M) + K_v(x; M) \\ &\leq P < \\ &K_p(x - \Delta x; M) + K_s(x - \Delta x; M) + K_v(x - \Delta x; M). \end{aligned} \quad (5)$$

Tässä P on laskennassa määritelty suurin viikos-

sa hyväksyttävä annos ja x tarvittava suojuksen paksuus. Laskennan aikana paksuutta muutetaan määrällä $\Delta x = 0,1$ mm lyijylle ja teräkselle ja määrällä $\Delta x = 1,0$ mm betonille, lasille, kipsille ja puulle. Nämä Δx :n arvot eivät vastaa laskennan todellista tarkkuutta; se on tätä näyttötarkkuutta huonompi.

Taulukko III. RtgSuojaus-ohjelmassa käytetyt sirontakertoimet, $S(U; \Omega)$ (NCRP 2004). Taulukon luvut kuvaavat metrin päässä potilaasta mitatun ilmakerman suhdetta primäärikeilassa potilaan iholla mitattuun ilmakermaan (ilman takaisinsirontaa), kun kenttäkoko potilaan iholla on 1 cm^2 . Sirontakerroin riippuu 30 kV:n jännitteellä erityisen voimakkaasti kuvattavassa kohteessa itsessään tapahtuvasta absorptiosta; RtgSuojaus-ohjelmassa tehdään 30 kV:n jännitteellä sironneen säteilyn määrää liioitteleva oletus ja käytetään kaikissa suunnissa potilaasta takaisin sironneen (135°) säteilyn sirontakerrointa. Röntgenputken kokonaissuodatus noin 2,5 mm Al, paitsi 30 kV:n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.

Jännite (kV)	Sirontakulma		
	45°	90°	135°
30	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
50	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$
70	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$
85	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$
100	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$
125	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$
150	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-6}$

4 Tulosten tarkkuuteen ja suojaustarpeeseen liittyviä tekijöitä

Kuten edellä jo mainittiin, säteilysuojusten laskennalliseen arviointiin liittyy monia likimääräisyyksiä, eikä ole syytä kuvitella, että laskennalla päästäisiin tarkkoihin tuloksiin. Tällaisia approksimaatioita ovat ainakin:

- Suojattavan henkilön etäisyys suojaavasta seinästä tai röntgenhuoneen ylä- tai alapuolella sijaitsevan tilan lattiasta. Tekstissä mainittuja etäisyyksiä (0,3 m, 0,5 m ja 1,7 m) voidaan pitää annosta liioittelevina turvallisina oletuksina.
- Laskenta tehdään ilmakerman avulla. Efekttiivisen annoksen laskemiseen käytetty muunnoskertoimen arvo 1 Sv/Gy saattaa yliarvioida annosta monissa tilanteissa (ks. taulukko I).
- Taulukko I yliarvioi annosta tilanteissa, joissa suojuksessa syntynyt sekundäärisäteily on suojuksen läpäisyyttä primäärisäteilyä pehmeämpää.
- Potilaan ja kuvareseptorilaitteiden aiheuttama vaimennus. Laskennassa ei yleensä oteta huomioon potilaan ja tutkimuslaitteiston aiheuttamaa vaimennusta primäärisäteilykeilassa, koska keilan rajoittumisesta näiden kattamalle alueelle ei aina ole täyttä varmuutta. Niiden aiheuttama vaimennus voi kuitenkin olla merkittävää: on arvioitu (Dixon 1994), että röntgenkuvauskasettien keskimääräinen suojausvaikutus vastaa tyypillisesti 0,2 mm lyijyä, kuvauskasetti, hajasäteilyhila ja Buckytelineen rakenteet voivat yhdessä vastata noin 0,8 mm lyijyä ja yhdessä 20 cm:n paksuisen potilaan kanssa näiden osien vaimennus voi vastata jopa 1,5 mm lyijysuojausta.
- Joissakin laitteissa (mammografialaitteet, tietokonetomografialaitteet, hampaiston kuvaukseen käytettävät panoraamatomografialaitteet, monet läpivalaisulaitteet) on laitteiden rakenteeseen kuuluva primäärisäteilyn suojuus, joten niiden osalta ei yleensä tarvitse erikseen tarkastella röntgenhuoneen lisäsuojausta primäärisäteilylle.
- Primäärisäteilysuojuksia mitoitettaessa tulisi ottaa huomioon, että skannaavien laitteiden primäärisäteilykeila on pieni ja osuu tarkasteltavaan pisteeseen vain vähäisen osan laitteen kokonaissäteilyajasta. Primäärisäteilyn suojausta on kuitenkin syytä tarkastella koko sillä alueella, johon primäärikeila voi kohdistua.
- RtgSuojaus-ohjelma käyttää kullekin jännitealueelle tämän alueen suurimman jännitteen mukaisia tietoja (säteilytuotto ja läpäisykerroin). Tämä voi yliarvioida laskentapisteen annosta merkittävästi.
- Betonille käytetään lasin vaimennustietoja. Käytettävissä olevien datojen mukaan (NCRP 2004) betoni kuitenkin vaimentaa säteilyä jonkin verran tehokkaammin kuin lasi.
- Suojusten paksuudet lasketaan suojukselle kohtisuoraan lankeavan säteilyn mukaisesti. Viistosti seinään osuvalle säteilylle tarvittavan suojuksen paksuus olisi jonkin verran pienempi (joskaan ei niin pieni kuin arvio $x/|\cos(\phi)|$ antaisi; tässä ϕ on säteilyn tulosuunnan ja seinän normaalin välinen kulma).
- Laskenta ei ota huomioon laitteisiin liittyviä sekundäärisäteilyn suojaimia, huoneessa olevia muita säteilysuojaseiniä tai -levyjä, laitekaappeja tai huoneessa työskentelevän henkilökunnan ja heidän lyijykumisuojaustensa vaikutusta.
- Sirontakertoimen käyttö yliarvioi sironneen säteilyn määrää: potilaan omaa varjostavaa vaikutusta sivusuuntiin tapahtuvassa sironnassa ei oteta kokonaan huomioon.
- Potilaasta sironneen säteilyn oletetaan vaimenevan samoin kuin primäärisäteily, vaikka sen kvanttien energia on pienempi.
- Laskennassa röntgenputken vaipan läpi tulevaa vuotosäteilyä käsitellään ikään kuin se olisi isotrooppista. Todellisuudessa vuotosäteilyä koskevat mittaustiedot koskevat kuitenkin suuntaa, jossa annosnopeus on maksimissaan.

Röntgenputken ja vaipan rakenteet (mm. anodilautanen) aiheuttavat sen, että säteilyannos on monissa suunnissa paljon maksimiarvoa pienempi.

- Laskennassa röntgenputken vaippaa käsitellään ikään kuin se olisi tehty samasta materiaalista kuin tarkasteltava suojuus. Tämä saattaa yliarvioida annosta muiden kuin lyijystä tehtyjen suojusten takana. Toisaalta laskennassa käytetään leveän keilan geometriassa mitattuja vaimennuskäyriä, millä on päinvastainen vaikutus.
- Annoslaskenta tehdään suojattavassa tilassa olevalle pisteelle. Tarkoituksena ei kuitenkaan ole suojata tiloja vaan ihmisiä. Tämä voidaan osittain ottaa huomioon käyttämällä tarkasteltavalle tilalle sopivaa oleskelutekijää (T), eli käyttämällä laskennassa annosrajan P sijasta annosrajan arvoa P/T . Oleskelutekijän arvon on kuitenkin oltava aina vähintään sen suuruinen kuin se osuus ajasta, jona tiloissa oleskellaan röntgenlaitteen käytön aikana, eikä pienempää arvoa kuin $T = 0,1$ hyväksyttyä (Ohje ST 3.6).

Monet yllä esitetyistä seikoista ovat turvallisuutta liioittelevia ja voivat aiheuttaa suojaustarpeen merkittäväkin yliarviointia. Yleensä tästä ei kuitenkaan ole suurta haittaa, koska suojaus kannattaa jo rakennusaikana tehdä sellaiseksi, että se on hyväksyttävä myös siinä tapauksessa, että tutkimusmäärät, laitteet, kuvausarvot ja käyttötavat muuttuvat myöhemmin – säteilysuojauksen parantaminen jälkikäteen voi olla huomattavasti kalliimpaa ja hankalampaa. Turvamarginaali saattaa olla tarpeen myös siksi, että käytettävät suojausmateriaalit eivät aina ole homogeenisia, vaan saattavat sisältää huokosia ja onteloita. On myös syytä muistaa, että rakenteiden nimellispaksuus poikkeaa usein suojaavan ainekerroksen paksuudesta: esimerkiksi kipsilevyn paksuudesta noin 1 mm koostuu levyn molemmilla puolilla sijaitse-

vasta paperikerroksesta, jonka suojausmerkitys on mitätön, ja välipohjien betonilaattojen ohuimmat kohdat voivat olla merkittävästi ohuempia kuin laattojen nimellinen paksuus (ontelo- tai profiililaatat). Rakenteiden valmistustoleranssienkin huomioon ottaminen saattaa olla tarpeen.

Säteilysuojaukselta suunniteltaessa tulee varautua myös kuvaussuuntiin, joita voidaan käyttää esimerkiksi irtokasetille kuvattaessa, vaikka tämä tapahtuisi vain satunnaisesti. Filmin säilytystilojen ja filmillä ladattujen kasettien säilytyspaikkoihin ja niiden säteilysuojaukseen kannattaa myös kiinnittää huomiota. NCRP:n raportin (2004) mukaan filmivarastossa saatavan annoksen ei tulisi ylittää arvoa 0,1 mGy filmien säilytysaikana, eikä kasettien säilytystilassa arvoa 0,5 μ Gy sillä aikavälillä, joka kuluu ennen kasetissa olevan filmin käyttöä ja kehittämistä. Lienee kuitenkin järkevää pyrkiä tätäkin parempaan filmien suojaukseen, jotta välttyttäisiin filmien turhalta hunnuttumiselta. Jos käytetään (digitaalisia) kuvalevyjä, on syytä huolehtia siitä, että levyt eivät altistu hajasäteilylle levyjen tyhjennyksen jälkeen ennen niiden käyttöä.

RtgSuojaus-ohjelma tarkastelee vain suojusten paksuuksia. Se ei ota huomioon moninkertaisen sironnan mahdollisuutta. Tällä voi olla merkitystä tilanteissa, joissa säteilyä käytetään paljon ja suojarakenteet ovat jossain suunnissa avoimia: primääri- tai hajasäteilylle altistuvat rakenteet toimivat myös sironneen säteilyn lähteinä ja moneen kertaan sironnut säteily pääsee siten kiertämään suojaseinän taakse. Moninkertaisesti sironneesta säteilystä aiheutuva annos voi olla huomattavasti suurempi kuin suojuksen läpi tulevan säteilyn aiheuttama annos, kun suojaseinä on paksu. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi säätötilassa, jonka suojaus ei ulotu kattoon tai viereisiin seiniin asti, tai röntgenhuonetta ympäröivissä tiloissa, jos huone on suojattu vain määräkorkuudelle (esimerkiksi kahteen metriin) asti.

Kirjallisuusviitteet

- Archer BR, Thornby JI, Bushong SC. Diagnostic x-ray shielding design based on an empirical model of photon attenuation. *Health Phys.* 44: 507–517; 1983.
- Archer BR, Fewell TR, Conway BJ, Quinn PW. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. *Med.Phys.* 21: 1499–1507; 1994.
- Dixon RL. Primary barrier in diagnostic x-ray shielding. *Med.Phys.* 21: 1785–1793; 1994.
- ICRU Report 51. Quantities and units in radiation protection dosimetry. Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurements; 1993.
- ICRU Report 57. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurements; 1998.
- ICRU Report 60. Fundamental quantities and units for ionizing radiation. Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurements; 1998.
- IEC 60601-1-3. Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for safety 3. Collateral standard: General requirements for radiation protection in diagnostic x-ray equipment. Geneva: International Electrotechnical Commission; 1994.
- Ikäheimonen TK (toim.). Säteily ja sen havaitseminen. Säteily- ja ydinturvallisuus: osa 1. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2002.
- Karppinen J. Röntgentutkimushuoneen säteilysojauksen laskeminen. Raportti STUK-A 147, Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1997.
- NCRP Report 49. Structural shielding design and evaluation for medical use of x-rays and gamma rays of energies up to 10 MeV. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurement; 1976.
- NCRP Report 147. Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurement; 2004.
- Ohje ST 3.1. Hammasröntgenlaitteiden käyttö ja valvonta (27.5.1999). Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1999.
- Ohje ST 3.2. Mammografialaitteet ja niiden käyttö (13.8.2001). Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2001.
- Ohje ST 3.6. Röntgentilojen säteilyturvallisuus (24.9.2001). Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2001.
- Ohje ST 7.2. Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannosten laskemisperusteet (1.7.1999). Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1999.
- Pukkila O (toim.). Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus: osa 3. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.
- Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A. PCXMC – A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. STUK-A139. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1997.

LIITE 1

RTGSUOJAUS-OHJELMAN KÄYTTÖOHJE

Tässä liitteessä esitetään ohjelman asennus ja käyttö. Alleviivatut sanat viittaavat ohjelmaikkunan painikkeisiin tai muihin komponentteihin. Suluissa olevat numerot viittaavat kuvaan A1 isoilla harmailla numeroilla (1–12) merkittyihin kohtiin.

Laitteistovaatimukset

RtgSuojaus-ohjelma toimii Microsoft Windows 95, 98, NT4, 2000 ja XP -käyttöjärjestelmillä varustetuissa tietokoneissa. Ohjelman sujuva käyttö edellyttää, että tietokoneen näytön koko on vähintään 1024x768 pikseliä ja että käyttöön on valittu pienet fontit. (Katso ongelmatilanteessa tietokoneen näytönohjaimen asetukset.)

Ohjelman asentaminen tietokoneeseen

Ohjelma ei käytä erillisiä datatiedostoja: ohjelman asentamiseksi riittää kopioida tietokoneeseen tiedosto "RtgSuojaus.exe". Jos ohjelma halutaan näkyviin myös "Käynnistä"-valikon "Ohjelmat"-osion, asennus voidaan tehdä helpoimmin ajamalla ohjelman asennuslevykkeeltä asennusohjelma setup.exe.

Ohjelma voidaan asentaa mihin kansioon tahansa, esimerkiksi työpöydälle (Desktop). Ohjelmalla laskettujen tulosten (tekstitiedosto) tallennuksen oletushakemisto on sama kuin itse ohjelman sisältävä hakemisto. Kun ohjelma asennetaan työpöydälle, edellä mainittu tulostiedosto saadaan myös helposti suoraan työpöydälle.

Ohjelman käynnistäminen

Ohjelma käynnistetään tavanomaisella tavalla, esimerkiksi kaksoisnäpäyttämällä ohjelman

ikonia, kaksoisnäpäyttämällä ohjelman nimeä (RtgSuojaus.exe) Windows Explorerissa tai valitsemalla ohjelma "Start"-valikon kautta (asennustavasta riippuen). Ohjelman käynnistyessä avautuu kuvan A1 kaltainen ikkuna. (Kuvasta A1 poiketen ohjelman alussa laskennan asetusarvot on alustettu vakioarvoihin: esimerkiksi käyttömäärä kaikilla jännitealueilla on asetettu arvoon 0 mAmin/viikko ja laskennan annosraja arvoon 0,3 mSv/vuosi.)

Laskennan suorittaminen – lyhyt ohje

Laskentaa varten käyttäjä syöttää valintakohtiin haluamansa tiedot, jolloin eri materiaaleista tehtäville säteilysuojuksille tarvittava paksuus nähdään lomakkeen yläosasta, paneelistä Tulokset (11). Tietoja syötettäessä ohjelma muuttaa tuloksia jatkuvasti vastaamaan kulloistakin syötettyjen tietojen yhdistelmää. Kun kaikki laskennassa tarvittavat arvot on syötetty, käyttäjä voi kopioida laskemansa tulokset ja laskennassa käytetyt syötötiedot ohjelman teksti-ikkunaan (12) painamalla Lisää tulostaulukkoon -nappia. Jokainen Lisää tulostaulukkoon -napin painallus lisää sen hetkiset laskentatiedot ikkunan tekstin loppuun hävitettämättä aikaisempaa tekstiä. Samassa ohjelman käyttöistunnossa voi siten laskea suojaustarpeen moneen eri tilanteeseen ja tallentaa kaikki tulokset samaan tekstitiedostoon. Ohjelman käyttäjä voi kirjoittaa teksti-ikkunaan myös omia muistiinpanojaan ja kommenttejaan. Teksti-ikkunassa olevan tekstin voi tallentaa haluamansa nimiseksi tekstitiedostoksi painamalla Tallenna tulokset -nappia. Ohjelman käyttö lopetetaan painamalla Lopetus-nappia tai ohjelmaikkunan oikean yläkulman rastia.

Rtg-suojaus

Annosraja: [mSv/vuosi] **0,3** 1
 (mSv/viikko): **0,00575**

Suunnittelun annosrajoitus: 0,3 mSv/vuosi
 Tarkkailualueen annosrajoitus: 6 mSv/vuosi
 Väestön annosraja: 1 mSv/vuosi
 Säteilysuojauksen annosraja: 20 mSv/vuosi

Rtg-laitteen tasasuuntaus
 1-vaihe
 3-vaihe tai parempi 2

Primäärisäteily:
 Käyttömäärä (mAmin/viikko):
 Alle 30 kV: **0**
 31 - 50 kV: **100**
 51 - 70 kV: **80**
 71 - 85 kV: **0** 3
 86 - 100 kV: **0**
 101 - 125 kV: **0**
 126 - 150 kV: **0**
 Etäisyys rtg-putkesta (m): **1** 4

10 **Sekundäärisäteily:**
 Käyttömäärä (mAmin/viikko):
 Alle 30 kV: **0**
 31 - 50 kV: **0**
 51 - 70 kV: **0**
 71 - 85 kV: **0** 5
 86 - 100 kV: **0**
 101 - 125 kV: **10**
 126 - 150 kV: **0**
 Etäisyys rtg-putkesta (m): **1**
 Etäisyys potilaasta (m): **2** 6

Röntgenputki:
 Vaipan maksimivuoto 1 m etäisyydellä **1** mSv/h
 Röntgenputken maksimijännite **150** kV 7
 ... ja suurin jatkuva virta **3** mA --> jatkuva teho **450** W
 FSD **1,8** m
 Kenttäkoko potilaan ihon tasalla **900** cm² 8
 Sironnakulma
 45 ast 90 ast 135 ast 9

Tulokset

Tarvittava Pb-suojus	(11.35 g/cm ³)	1,5 mm	
terassuojus	(7.4 g/cm ³)	10,0 mm	
lasi (2.6 g/cm ³) tai betoni (2.4 g/cm ³)		144,0 mm	11
kipsilevysuojus	(0.75 g/cm ³)	367,0 mm	
puusuojus	(0.55 g/cm ³)	1206,0 mm	

Lisää tulostaulukkoon Tallenna tulokset Tyhjennä tulostaulukko

RÖNTGENSÄTEILYN SUOJAUSLASKUJA 23.5.2005 12
 RtgSuojaus v:2.0

Laskennassa käytetty annosraja : 0,00575 mSv/viikko (0,3 mSv/vuosi)

Käyttömäärä (mAmin/viikko) eri jännitteillä
 Jännite (kV) Primääri Sekundääri

Tietoja ohjelmasta Lopetus

Kuva A1. RtgSuojaus-ohjelman käyttöikkuna, jossa on mahdollisuus valita laskentaan käytettävät arvot. Säteilyn käyttötietojen ja valitun annosrajan mukaiset suojuospaksuudet näkyvät välittömästi Tulokset-paneelissa (11). Kuvassa näkyvän ikkunan tietoja on muutettu ohjelman käynnistystilanteen arvoista: tässä on laskettu tarvittava suojausta suunnassa, johon röntgenputken käyttömäärä on 100 mAmin/viikko alle 50 kV:n jännitteellä ja 80 mAmin/viikko 51–70 kV:n jännitteellä. Suojattavaan kohtaan kohdistuu myös hajasäteilyä (10 mAmin/viikko 101–125 kV:n jännitteellä). Tarkasteltavan kohdan etäisyys röntgenputkesta on 1 m ja potilaasta 2 m (sekundäärisuunnassa). Isot harmaat numerot viittaavat tekstissä sulkuihin merkittyihin numeroihin.

Laskennan suorittaminen – yksityiskohtainen ohje

Ohjelmaan syötettävät tiedot

Ohjelmaan syötetään tiedot tekstilaatikoiden kautta ja tekemällä valinnat vaihtoehtopainikkeista (röntgenlaitteen tasasuuntaus ja sironnakulma). Kulloinkin näkyvät tulostiedot (11) vastaavat sillä hetkellä näkyviä syöttötietojen arvoja. Käyttäjä ei voi muuttaa harmaana näkyviä tekstilaatikoiden

numeroarvoja. Desimaalierottimenä käytetään käyttöjärjestelmän mukaista merkkiä (pilkku tai piste).

Annosraja (mSv/vuosi) -kohtaan (1) käyttäjä syöttää haluamansa arvon (P_v). Tyypillisesti se on STUKin asettama, röntgentutkimushuoneita ympäröiviä tiloja koskeva annosrajoitus efektiiviselle annokselle, 0,3 mSv vuodessa (Ohje ST 3.6). RtgSuojaus-ohjelma olettaa, että muunnoskerroin ilmakermosta efektiiviseen annokseen on 1 Sv/Gy

ja että suojattavaan tilaan liittyy oleskelutekijä $T = 1$. Jos suojattavalle tilalle halutaan – ja voidaan – käyttää tätä pienempää oleskelutekijän arvoa, annosraja-kohtaan merkitään oleskelutekijällä jaettu annosrajan arvo (P_j/T). Oleskelutekijän käyttöön liittyviä sääntöjä on esitetty ohjeessa ST 3.6. Vastaavasti, pelkässä mammografiakäytössä olevan röntgentutkimushuoneen tapauksessa voidaan ottaa huomioon pehmeälle säteilylle paremmin soveltuva efektiivisen annoksen muunnoskerroin E/K_a (ks. taulukko I). Annosraja-kohtaan voidaan silloin syöttää laskennassa käytettävä efektiivisen annoksen vuosiansosraja jaettuna tällä muunnoskertoimella.

Ohjelma laskee syötetystä vuosiansosrajasta yhtä viikkoa vastaavan suunnitteluannosrajan (7-vuosiansosraja/365) ja näyttää sen mSv/viikko-näytössä.

Rtg-laitteen tasasuuntaus -vaihtoehtopainikkeiden (2) asennoksi voidaan valita 1-vaihe silloin, kun röntgengeneraattori on ns. yksi- tai kaksipulssilaite, jossa suurjännitteen vaihtelu on 100 %. Kaikissa muissa tapauksissa valitaan 3-vaihe tai parempi. Valinta vaikuttaa suojauksen laskennassa käytettäviin röntgenputken säteilytuototietoihin ja materiaalien vaimennustietoihin. Poikkeuksena on 30 kV:n jännite, jossa ohjelma käyttää molemmille tasasuuntaustavoille samoja tietoja. Valinta vaikuttaa myös lomakkeella olevaan jatkuva teho -näyttöön.

Röntgenlaitteen käyttömäärät syötetään primäärisäteily- ja sekundäärisäteily-otsakkeiden alla oleviin kohtiin (3 ja 5). Käyttömäärät ilmaistaan kullakin jännitealueella viikossa käytettävänä sähkömääränä (mAmin).

Mikäli suojuksia lasketaan sellaiseen suuntaan, johon kohdistuu vain primäärisäteilyä, merkitään primäärisäteilyn käyttömääriin kullakin putkijännitealueella viikossa käytettävä mAmin-määrä (3). Lisäksi primäärisäteilyä koskevan taulukon viimeiseksi tiedoksi on merkittävä tämän tarkasteltavan kohdan etäisyys röntgenputkesta (4). Sekundäärisäteilyn käyttömäärät (5) on asetettava nolliksi. Halutessaan käyttäjä voi poistaa tarkistusrastin (10) sekundäärisäteily -otsikon vierestä, jolloin ohjelma itse asettaa sekundäärisäteilyä (oikeammin: hajasäteilyä) vastaavat käyttömäärät nolliksi. Kun tarkasteltavaan pisteeseen – jossa annosrajaehdon täyttymistä siis tarkastel-

laan – kohdistuu pelkästään primäärisäteilyä, tarvittavaan suojuksen paksuuteen vaikuttavat vain edellä mainitut syöttötiedot. Muilla lomakkeen syöttötiedoilla ei ole vaikutusta tulokseen (sekundäärisäteilyyn liittyvät etäisyydet röntgenputkesta ja potilaasta, röntgenputkeen liittyvät tiedot, FSD, kenttäkoko, sirontakulma).

Mikäli tarkasteltavaan pisteeseen ei kohdistu lainkaan primäärisäteilyä, primäärisäteilyn käyttömäärät (3) asetetaan nolllaksi, ja käyttömääriä kuvataan pelkkien sekundäärisäteilyn käyttömäärien (5) avulla; kuhunkin jännitealueeseen merkitään tällä jännitealueella viikoittain käytettävä sähkömäärä (mAmin/viikko). Tässä tapauksessa tarkasteltavaan pisteeseen kohdistuu sekä potilaasta sironnutta säteilyä (jota koskee etäisyys potilaasta (6)) että röntgenputken vaipan läpi tulleutta (vuoto)säteilyä (jota koskee etäisyys röntgenputkesta (6)).

Röntgenputken vaipan läpi tulevan vuotosäteilyn määrän arvioimiseksi röntgenputkea koskeviin tietoihin (7) merkitään vaipan läpi tulevan säteilyn annosnopeus metrin etäisyydellä ja tätä annosnopeutta vastaava putkijännite ja -virta. Jos tarkempaa tietoa ei ole, voidaan maksimiannosnopeutena käyttää suurinta röntgenputken vaipalle sallittua arvoa (hammasröntgenlaitteille 0,25 mSv/h, muille laitteille 1 mSv/h), ja käyttöarvoina röntgenputken ja -vaipan valmistajan röntgenputkelle ilmoittamaa maksimijännitettä ja suurinta tunnin aikana sallimaa kuormitusta (suurin jatkuva putkivirta).

Potilaista siroavan säteilyn aiheuttama annos riippuu – paitsi käyttöjännitteistä ja -määristä – myös säteilykeilan koosta. Se ilmaistaan täytämällä tiedot kohtiin FSD (fokus-ihoetäisyys) ja kenttäkoko potilaan ihon tasalla (8). Tulos on sama jos näihin kohtiin merkitään etäisyys fokuksesta kuvatasoon (FID) ja tällä etäisyydellä olevan kuvan pinta-ala. Sironneesta säteilystä aiheutuva annos riippuu myös sirontasuunnasta (9). Sironta on suurinta takaisinpäin potilaasta röntgenputken suuntaan. Siksi on turvallisin valinta käyttää sirontakulmana 135°.

Mikäli suojuksia tarkastellaan suunnassa, johon kohdistuu sekä primääri- että hajasäteilyä, asetetaan molempien käyttömäärät niiden jännitealueiden mukaan: tarkasteltavaan suuntaan kohdistettavaan säteilykeilaan liittyvät käyttömäärät primäärisäteilytaulukkoon ja muulle kohdistet-

tavaan keilaan liittyvät käyttömäärät sekundaarisäteilytaulukkoon. Etäisyystiedot syötetään kuten edellä on selitetty.

Arvio vähintään tarvittavasta suojuksen paksuudesta näkyy jatkuvasti Tulokset-ikkunassa (11) kulloistenkin syöttötietojen mukaisena. Lyijy- ja teräsuojusten paksuudet esitetään 0,1 mm:n tarkkuudella, kun taas lasista, betonista, kipsistä ja puusta tehtyjen seinämien paksuudet esitetään yhden millimetrin tarkkuudella. Laskennan tarkkuus on todellisuudessa kuitenkin huonompi kuin tämä tulosten esitystarkkuus.

Toimintanapit

Lisää tulostaulukkoon -nappi lisää senhetkisen laskentatuloksen tiedot tulostaulukkoon (12). Tiedot liitetään taulukon loppuun, eivätkä ne päällekirjoita aikaisempia tuloksia. Ohjelman käyttäjä voi painaa nappia useita kertoja yhden laskentais-tunnon aikana ja saa talletettua kaikki lasketut tulokset samaan taulukkoon. Ohjelman käyttäjä voi kirjoittaa tulostaulukkoon myös omia muistiinpanojaan ja kommenttejaan.

Tallenna tulokset -nappi avaa tallennusdialogi-ikkunan. Käyttäjä antaa tulostaulukolle haluamansa nimen (ilman päätettä – ohjelma lisää automaattisesti .txt-päätteen) ja voi tallentaa tiedoston haluamaansa kansioon. Oletuksena tallennus tehdään samaan kansioon, missä ohjelma RtgSuojaus.exe sijaitsee; kun ohjelma sijaitsee työpöydällä, myös tulostiedosto voidaan helposti tallettaa suoraan työpöydälle. Tallennettu tiedosto on normaali ASCII-tekstiedosto (plain text (.txt)), joka voidaan tulostaa suoraan tai joka voidaan avata ja käsitellä tekstieditorin (esim. Notepad) avulla.

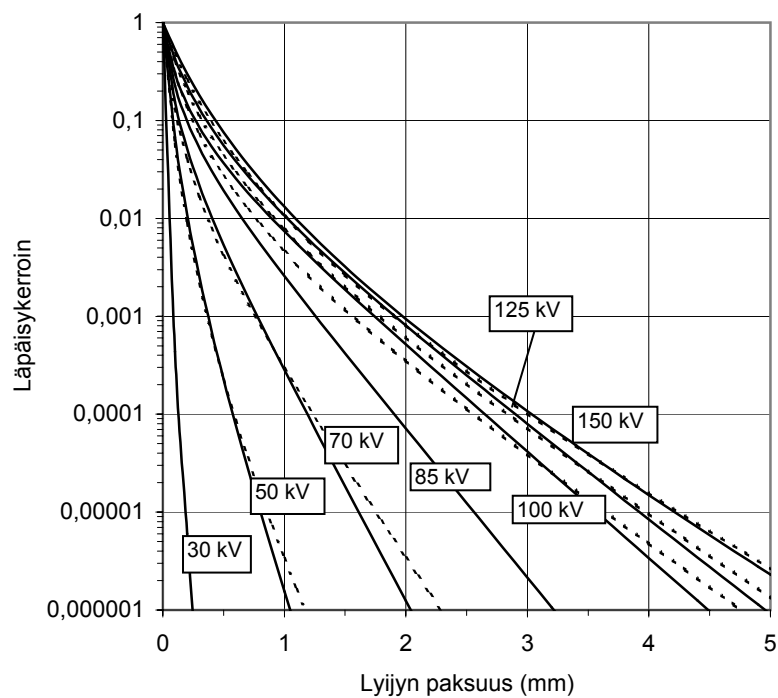
Tyhjennä tulostaulukko -nappi pyyhkii pois tulostaulukon tekstin.

Tietoja ohjelmasta -nappi näyttää joitakin ohjelmaan liittyviä tietoja.

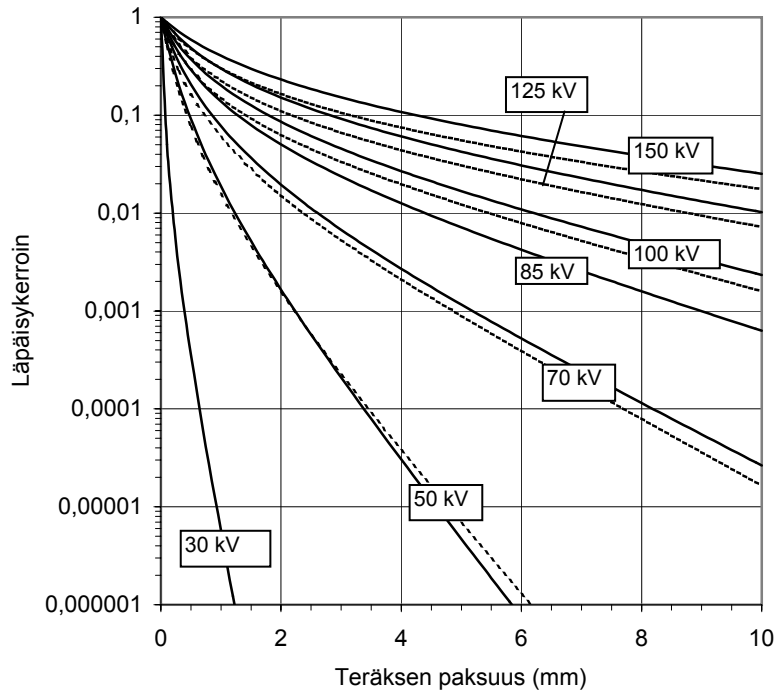
Lopetus -nappi päättää ohjelman suorituksen. Ohjelma voidaan lopettaa myös ohjelmaikkunan oikean yläkulman rastista.

Kuvissa B1–B5 on esitetty RtgSuojaus-ohjelman käyttämät, leveän keilan geometriaa koskevat läpäisykertoimet (vaimennetun ja vaimentamattoman säteilyn ilmakermanopeuksien suhde) eri rakennusmateriaaleille, suojuspaksuuksille ja

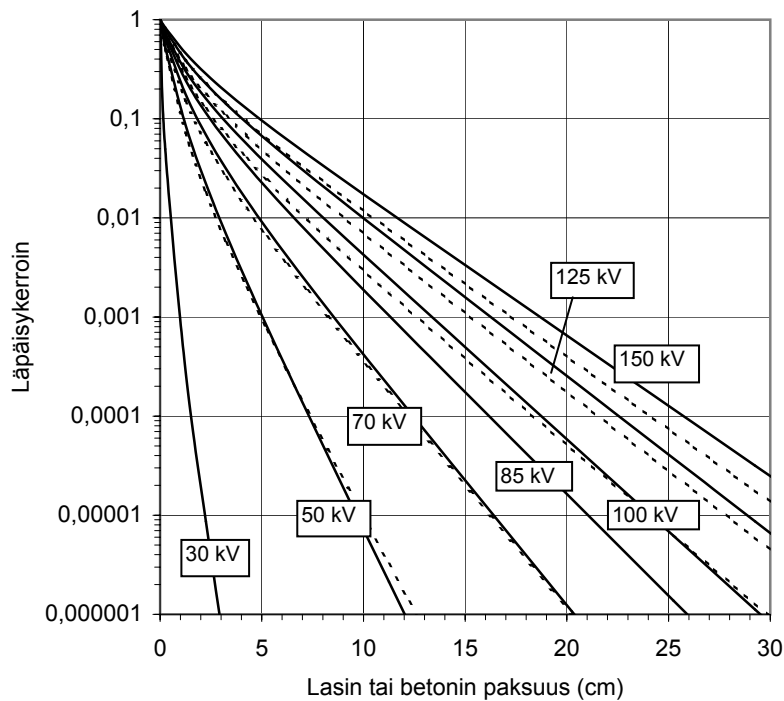
putkijännitteille. Käyrät on laskettu yhtälön (1) mukaisesti käyttämällä eri materiaaleille sovitettuja yhtälön parametrien arvoja (Archer ym. 1994, 30 kV ja 85 kV: NCRP 2004).



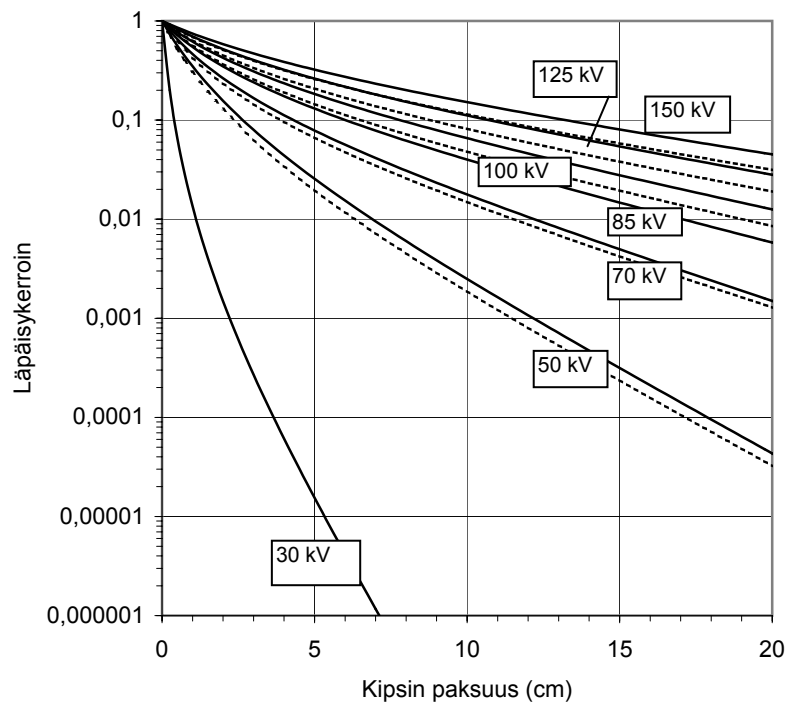
Kuva B1. Lyijylle ($11,35 \text{ g/cm}^3$) käytetyt läpäisykertoimet. — kolmivaiheröntgenlaite, ----- yksivaiheröntgenlaite. Röntgenputken kokonaissuodatus noin 2,5 mm Al, paitsi 30 kV:n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.



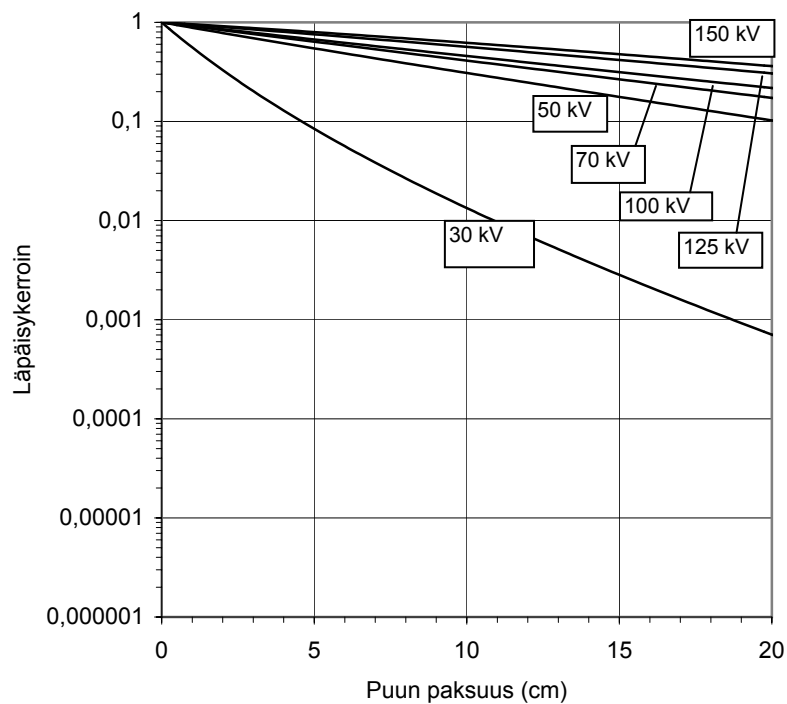
Kuva B2. Teräkselle ($7,4 \text{ g/cm}^3$) käytetyt läpäisykertoimet. — kolmivaiheröntgenlaite, ----- yksivaiheröntgenlaite. Röntgenputken kokonaissuodatus noin 2,5 mm Al, paitsi 30 kV:n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.



Kuva B3. Lasille ($2,6 \text{ g/cm}^3$) ja betonille ($2,4 \text{ g/cm}^3$) käytetyt läpäisykertoimet. — kolmivaiheröntgenlaite, ----- yksivaiheröntgenlaite. Röntgenputken kokonaissuodatus noin 2,5 mm Al, paitsi 30 kV:n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.



Kuva B4. Kipsille ($0,75 \text{ g/cm}^3$) käytetyt läpäisykertoimet. — kolmivaiheröntgenlaite, - - - - yksivaiheröntgenlaite. Röntgenputken kokonaissuodatus noin $2,5 \text{ mm Al}$, paitsi 30 kV :n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.



Kuva B5. Puulle ($0,55 \text{ g/cm}^3$) käytetyt läpäisykertoimet. Kuvaan on selvyden vuoksi piirretty vain kolmivaihelaitteita koskeva data. Röntgenputken kokonaissuodatus noin $2,5 \text{ mm Al}$, paitsi 30 kV :n jännitteellä, jossa molybdeenisuodatus.