

GR 03: 01

Geislaálag starfsfólks sem

vinnur við jónandi

geislun á Íslandi

Yfirlit fyrir árið 2002

Geislavarnir ríkisins

Icelandic Radiation Protection Institute

Geislaálag starfsfólks sem

vinnur við jónandi

geislun á Íslandi

Yfirlit fyrir árið 2002

Reykjavík, júní 2003

Jóna Gréta Einarsdóttir, geislafræðingur

ISBN 9979-9568-0-1

**Geislaálag starfsfólks sem
vinnur við jónandi geislun á Íslandi
Yfirlit fyrir árið 2002**

Efnisyfirlit

SAMANTEKT.....	3
BAKGRUNNUR	3
FRAMKVÆMD	4
NÍÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA.....	6
HEIMILDIR.....	12
VIÐAUKI 1.....	13
<i>Leiðbeiningar vegna eftirlits með geislaálagi starfsfólks.....</i>	<i>13</i>
VIÐAUKI 2.....	15
<i>Grunnstærðir og mælieiningar geislavarna.....</i>	<i>15</i>
VIÐAUKI 3.....	19
<i>Töflur um meðal- og heildargeislaálag áranna 1998-2001.....</i>	<i>19</i>

Samantekt

Kynntar eru niðurstöður um geislaálag starfsfólks sem vann við jónandi geislun árið 2002. Samtals báru 577 einstaklingar geislaálag mældur. Geislun mældist hjá 153 aðilum af þessum 577 eða 26,5 %. Meðalgeislaálag var 0,21 mSv ef miðað er við alla sem báru mælifilmu og 0,65 mSv ef eingöngu er miðað við þá starfsmenn sem geislun mældist hjá. Þá var hópgeislaálagið (Collective effective dose) 0,14 manSv.

Bakgrunnur

Geislavarnir ríkisins (GR) starfa samkvæmt lögum um geislavarnir nr. 44/2002 og reglugerð nr. 356/1986 um öryggisráðstafanir gegn jónandi geislun en ný reglugerð er í vinnslu og verður væntanlega gefin út með haustinu.

Reglubundið eftirlit með geislaálagi starfsmanna sem vinna við jónandi geislun er eitt af lögbundnum verkefnum sem GR annast og er mikilvægur þáttur í starfsemi stofnunarinnar. Hjá stofnunni eru geymdar upplýsingar um geislaálag þeirra sem hafa unnið við jónandi geislun á Íslandi bæði íslendinga og erlendra starfsmanna. Samkvæmt lögum um geislavarnir er skylt að varðveita gögn um geislaálag starfsmanna allan þann tíma sem einstaklingur starfar við jónandi geislun og allt þar til hann verður 75 ára eða hefði orðið það, en undir engum kringumstæðum skemur en í 30 ár. Hjá GR eru varðveittar mælifilmur sem notaðar hafa verið frá upphafi mælinga á Íslandi eða síðan 1963. Í tölvutækum gagnagrunni eru til mæliniðurstöður frá 1989.

Gagnagrunnskerfið sem notað er við skráningu og geymslu upplýsinga um geislaálag starfsmanna uppfyllir kröfur sem gerðar eru um slíka skráningu af m.a. UNSCEAR (1) og ESB (2).

Framkvæmd

Geislavarnir eru í samvinnu við Dönsku geislavarnastofnunina (SIS) við eftirlit á geislaálagi starfsmanna. Fyrir hvert mælitímabil sendir SIS 600 mælifilmur og kvörðunarfilmur til GR. Kvörðunarfilmurnar eru geislaðar hjá SIS með fyrir fram þekktum geislaskammti. Þessar filmur eru síðan framkallaðar hjá GR með samsvarandi mælitímabili notenda. Kvörðunarfilmunarbúnaðurinn gera kleift að meta og reikna út þá geislun sem filmur notenda verða fyrir miðað við svertu á filmu.

Hér eru notaðar sérstakar filmur "Kodak Type 2" sem settar eru í filmuhylki af gerðinni "AERE/RPS", þessar filmur eru síðan bornar af starfsmönnum í 2ja mánaða tímabilum. Nokkrir einstaklingar bera einnig TLD¹ mæliflögur, þessir einstaklingar vinna við rannsóknir sem bera hærri geislaáhættu og eru mælingarnar frá TLD flögunum notaðar til að meta geislaálag á útlími og augu. Ein stofnun á Íslandi notar einnig nifteindafilmur en þar er unnið með mjög orkuháa nifteindageislun. GR er í samvinnu við rannsóknarstofuna í Risø í Danmörku, um mat á geislaálagi þessara starfsmanna

Hver einstaklingur sem fær mælifilmu er skráður í gagnagrunninn samkvæmt kennitölu. Mælifilmurnar eru bornar í tvo mánuði í senn, þannig að mælitímabilin eru 6 á ári. Starfsfólk við röntgengreiningu sem notar blýgúmmísvuntu við vinnu sína á að bera mælifilmuna undir henni. Allir starfsmenn eru með eins filmuhylki, en til viðbótar eru nokkrir starfsmenn á röntgendeildum með sérstök TLD mælihylki til að nema geislun fyrir utan blýgúmmísvuntu. Þessi hylki eru borin við kraga og þannig er hægt að meta þá geislun sem starfsmennirnir fá á augu, enda um að ræða starfsmenn sem vinna mikið við skyggingu. Nifteindafilmur eru bornar með venjulegu mælifilmunum og þá undir filmunum í bláu filmuhylkjunum.

Sú geislun sem lesin er af mælifilmunum og skráð er í gagnagrunninn, er **vegið geislaálag** (E = effective dose) (3). Lítið er svo á að geislunin sé jöfn á allan búkinn. Í gagnagrunninum er geislaálag skráð í 0,1 mSv þrepum (reporting level) (4) og geislaálag undir 0,05 mSv er skráð sem núll. Skráðir eru sérstaklega allir sem fá 0,3 mSv og hærri. Ef einstaklingur fær 1 mSv á einu einstöku mælitímabili þá er það skoðað nánar (investigation level) (4) í samstarfi við ábyrgðarmann og/eða

¹ Thermoluminescence detectors

starfsmanninn sjálfan á viðkomandi stað. Mælifilmur sem koma meira en tveimur mælitímabilum of seint til framköllunar eru ekki skráðar í gagnagrunninn. Þær eru þó framkallaðar og metnar, jafnvel þó þær komi allt að einu ári of seint, en ekki eldri en það.

Notkun mælifilma er ekki takmörkuð af hálfu stofnunarinnar. Þeir sem starfa með jónandi geislun geta fengið mælifilmur hjá Geislavörnum ríkisins, sé þess óskað. Á hverju ári er innheimt sérstakt gjald fyrir hvern notanda og er miðað við fjölda filma.

Niðurstöður og umræða

Í gagnagrunnskerfinu eru nú upplýsingar um geislaálag rúmlega 1600 einstaklinga sem starfað hafa við jónandi geislun frá árinu 1989. Á árinu 2002 báru 577 starfsmenn mælifilmur frá stofnuninni og starfa þeir hjá 73 fyrirtækjum og stofnunum. Stærstur hluti þeirra eða tæplega 64 % vinna störf sem tengjast notkun jónandi geislunar við læknisfræðilega myndgreiningu. Tannlæknar og dýralæknar eru rúmlega 8 % af heildarfjöldanum. Aðrir sem báru mælifilmur á árinu 2002 eru starfsmenn: við geislameðferð 4 %, við notkun á geislavirkum efnum á rannsóknarstofum og sjúkrahúsum 15 % og við notkun jónandi geislunar í iðnaði og eftirliti 9 %.

Á árinu 2002 voru sendar út tæplega 3000 filmur, þar af komu um 6% til baka ónotaðar og er þeim eytt úr kerfinu, en 9% af útsendum filmum skiluðu sér ekki, af ýmsum ástæðum. Þegar reiknað er út hópgeislaálag er fjöldi óendurheimtra filma áætlaður inn í niðurstöðuna.

Í **töflu 1** er sýnt meðal- og heildargeislaálag fyrir árið 2002 fyrir allar starfsgreinar og kemur þar fram að hæsta meðalársgeislaálag starfsmanna, er hjá starfsmönnum á rannsóknastofu B (einn staður) með 1,99 mSv. Þar á eftir eru starfsmenn við rannsóknastofu C (1 staður) með 1,45 mSv. Ef eingöngu er litið á meðalgeislaálag þeirra einstaklinga sem voru með mælanlega geislun þá eru það starfsmenn á rannsóknastofu B hæstir með 2,27 mSv (8 starfsmenn), á meðan starfsmenn við hjartaþræðingar eru með 1,58 mSv (31 starfsmaður). Hæsta geislaálag starfsmanns er 10,7 mSv fyrir allt árið. Um er að ræða starfsmann við almenna röntgengreiningu. Að öllum líkindum var hér um að ræða geislun á filmuna en ekki starfsmanninn.

Meðalársgeislaálag á röntgendeildum (starfskóði 01) er 0,20 mSv og er það hærri en í Danmörku sem er oftast í kringum 0,1-0,15 (5).

Í **töflu 2** sést dreifing geislaálags í stærðarflokkum og er flokkað eftir tegund starfa. Í heild eru 577 notendur mælifilma og þar af eru 424 ekki með mælanlegt geislaálag ($E=0$). Í læknisfræðilegri myndgreiningu eru 417 notendur mælifilma. 294 notendur eru ekki með mælanlegt geislaálag og 122 með mælanlegt geislaálag ($E>0$) eða 33,1%.

Af þeim 153 notendum mælifilma sem eru með mælanlegt geislaálag ($E > 0$) er tæplega helmingur þeirra eða 73 með $E < 0,5$ og $2/3$ eru með mælanlega geislun $E < 1,0$. Þetta sýnir að það þarf ekki nema nokkra einstaklinga með mikla geislun á filmu til að hækka meðalárs- og heildarársgeislaálagið verulega.

Tafla 1. Meðal- og heildarársgeislaálag fyrir 2002, flokkun eftir tegund starfa.

	Starfs- kóði	Fjöldi starfsm.	Fjöldi starfsm. með E = 0	Hlutfall (%) starfsmanna með E > 0	Meðal- ársgeislaálag (mSv)	Meðalárs- geislaálag f. starfsmenn með E > 0 (mSv)	Heildar- ársgeislaálag (mSv)
Almenn röntgengreining	1	294	194	34,0	0,20	0,60	60,4
Hjartapræðingar	2	31	14	54,8	0,86	1,58	26,7
Brjóstamyndatökur	3	9	5	44,5	0,21	0,47	1,8
Röntgengr. á skurðstofum	4	35	34	3,0	0,01	0,20	0,2
Röntgengr. hjá tannlæknum	5	37	36	3,0	0,00	0,10	0,1
Röntgengr. hjá dýralæknum	6	11	11	0,0	0,00	0,00	0,0
Geislalækningar	10	23	18	21,8	0,04	0,16	0,8
Rannsóknarstofa tegund C	21	2	0	0,0	1,45	1,45	2,9
Rannsóknarstofa tegund B	22	8	1	87,5	1,99	2,27	15,9
Rannsóknarstofa tegund D	25	74	62	16,0	0,02	0,14	1,6
Föst tæki (röntgen)	31	3	3	0,0	0,00	0,00	0,0
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	32	16	13	18,7	0,11	0,56	1,7
Hreyfanlegar lokaðar lindir	42	18	17	5,5	0,01	0,20	0,2
"X-ray diffraction" tæki	55	2	2	0,0	0,00	0,00	0,0
Öryggi og eftirlit	82	14	14	0,0	0,00	0,00	0,0
Læknisfræðileg myndgreining		417	294	29,50	0,21	0,78	89,2
Geislalækningar		23	18	21,74	0,03	0,45	0,8
Opnar geislalindir í lækningum		84	63	25,00	0,24	1,16	20,4
Efnisrannsóknir		53	49	7,55	0,04	0,45	1,9
Samtals		577	424	26,52	0,19	0,73	112,3

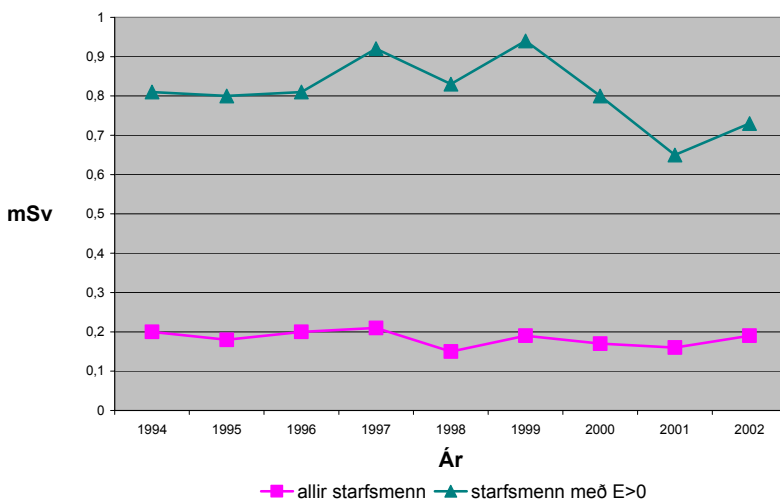
Ath. E stendur fyrir geislaálag í þessari og næstu töflum

Tafla 2. Dreifing árgeislálags 2002, flokkun eftir tegund starfa

Fjöldi starfsmanna / ársgeslaálag í stærðarflokkum																
	Starfs- kóði	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5- 0,6	0,7- 0,9	1,0- 1,9	2,0- 2,9	3,0- 3,9	4,0- 4,9	5,0- 6,9	7,0- 9,9	10,0-	Heild. fjöldi
Almenn röntgengreining	(1)	194	28	18	11	10	11	11	8	1	0	0	0	1	1 ^(a)	294
Hjartaþræðingar	(2)	14	0	1	1	0	3	2	6	0	3	1				31
Brjóstamyndatökur	(3)	5	0	2	0	0	1	1								9
Röntgengreining á skurðstofum	(4)	34	0	1												35
Röntgengr. hjá tannlæknum	(5)	36	1													37
Röntgengr. hjá dýralæknum	(6)	11														11
Megavolt (linac) meðferð og lokaðar geislalindir	(10)	18	3	1	1											23
Rannsóknastofa tegund C	(21)	0	0	0	0	0	0	1	0	1						2
Rannsóknastofa tegund B	(22)	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	0	1			8
Rannsóknastofa tegund D	(25)	62	10	1	0	1										74
Fast tæki (röntgen)	(31)	3														3
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	(32)	13	0	0	0	2	0	1								16
Hreyfanlegar lokaðar lindir	(42)	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			18
"X-ray diffraction" tæki	(55)	2														2
Öryggi og eftirlit	(82)	14														14
Læknisfræðileg myndgreining		294	29	22	12	10	15	14	14	1	3	1	0	1	1	417
Geislalækningar		18	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
Opnar geislalindir í lækningum		63	11	1	1	1	0	2	0	2	2	0	1	0	0	84
Efnisrannsóknir, "x-ray diffraction"		49	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	53
Samtals		424	43	24	14	13	15	17	14	3	5	1	2	1	1	577

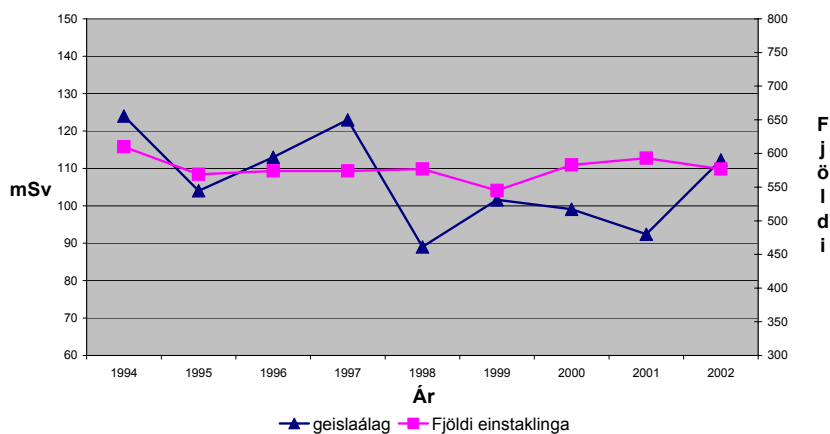
(a) 10,7 mSv

Á mynd 1 hér fyrir neðan sést hvernig meðalársgeislaálag hefur þróast frá árinu 1994. Dreifingin er annars vegar heildargeislaálagið deilt með öllum sem vinna við jónandi geislun á Íslandi og hins vegar eingöngu meðaltal þeirra sem mældust með geislun ($E > 0$).



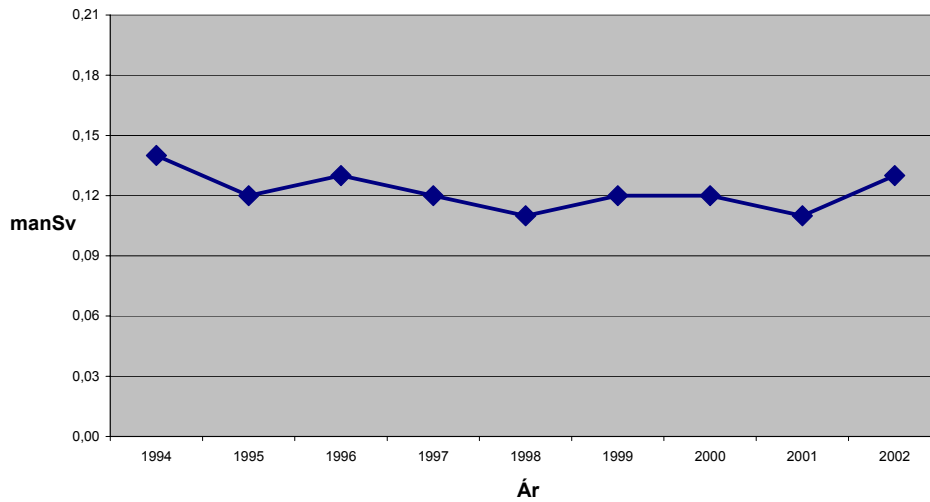
Mynd 1. Þróun meðalgeislaálags 1994-2002

Á mynd 2 er sýnd þróun heildarársgeislaálags (allir geislaskammtar lagðir saman) fyrir sama tímabil, ásamt fjölda einstaklinga hverju sinni. Árið 1999 fækkaði notendum í almenntri röntgengreiningu en notendum á rannsóknarstofum hefur fjölgað frá 2000. Miklar sveiflur í heildarársgeislaálagi á milli ára stafa af miklum áhrifum af mjög háu geislaálagi einstakra starfsmanna.



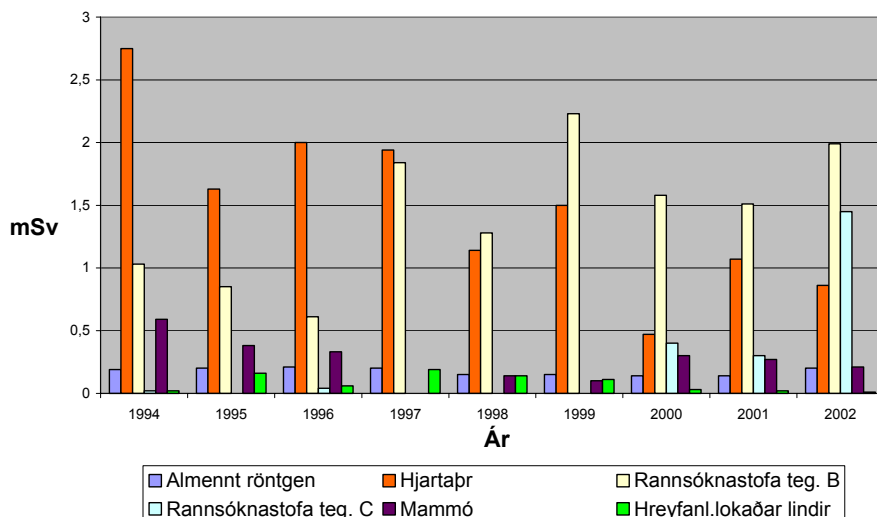
Mynd 2. Heildarársgeislaálag og fjöldi einstaklinga með mælifilmur á árunum 1994-2002

Á mynd 3 er sýnt hópgeislaálag (Collective effective dose) fyrir sama tímabil (manSv er skilgreind mælieining fyrir hópgeislaálag, sjá viðauka 2) og er þá búið að bæta við áætluðu geislaálagi vegna týndra filma, filma sem bárust of seint og geislunar undir greiningarmörkum



Mynd 3. Þróun hópgeislaálag 1994-2002

Á mynd 4 hér að neðan má sjá meðalársgeislaálag nokkurra starfshópa frá árinu 1994-2002. Greinileg og stöðug lækkun er á meðalgeislaálagi starfsmanna við hjartaþræðingu. Í þessum flokki hefur starfsmönnum fjölgað en meðalgeislaálagið lækkað.



Mynd 4. Þróun meðalgeislaálags nokkurra starfshópa

Árið 2000 var búinn til nýr flokkur fyrir starfsmenn á rannsóknastofum í tegund D, þar sem unnið er með α og β geislandi efni og þar sem geislaálag er yfirleitt mjög lágt. Við það fækkaði starfsmönnum í flokki C og þar af leiðandi hækkaði meðalgeislaálagið í þeim flokki.

Heimildir

1. UNSCEAR, 1982, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. 1982 Report to the General Assembly*, UN Publication. Sales No. E.82IX.8 06300P (New York: UN).
2. Christensen P., Julius H.W. and Marshall T.O., 1989, Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation (Revision of Report EUR 5287), Commission of the European Communities, Radiological Protection - XX.
3. International Commission on Radiological Protection, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1990).
4. European Commission, *Radiation Protection 73*, Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiations. EI 14852 EN, 1994.
5. Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålehygiejne, Dosisovervågning av stråleudsatte arbejdstagere, Maj 2001.

Viðauki 1

Leiðbeiningar vegna eftirlits með geislaálagi starfsfólks

Eitt af mikilvægustu verkefnum Geislavarna ríkisins er að fylgjast með geislaálagi starfsmanna sem vinna við jónandi geislun. Það er framkvæmt með þeim hætti að starfsmönnum er reglulega úthlutað geislaálagmælifilmmum sem þeir bera, í til þess gerðu filmuhylki, í tvo mánuði í senn.

Markmiðið með mælingum á geislaálagi starfsmanna sem starfa við jónandi geislun er tvíþætt, í fyrsta lagi að staðfesta að geislunin sé ætíð eins lág og frekast er unnt með tilliti til aðstæðna og í öðru lagi að tryggja að öll starfsemi með geislatæki og geislavirk efni fari fram með þeim hætti að geislaálag starfsmanna séu ætíð innan við þau mörk sem Alþjóðageislavarnaráðið (ICRP) hefur sett. Samkvæmt leiðbeiningum ICRP (publication 60, 1990) skal fylgjast með geislaálagi allra starfsmanna sem verða fyrir geislun við störf sín, nema ljóst sé að geislaálagið muni ætíð vera mjög lágt.

Það eru oft engin skýr mörk á milli starfsmannahópa á sama vinnustað sem vinna mikið með geislatæki og geislavirk efni og þeirra sem koma lítið að slíkri vinnu eða sem eru þannig staðsettir við vinnu sína að geislaálag þeirra eru mjög lítið eða hverfandi. Því er oft erfitt að segja fyrirfram hvaða starfsmenn á vinnustað eins og röntgendeild eigi að bera geislaálagmælifilmu. Taka verður tillit til nokkurra þátta sem snúa að starfsemi, vinnuáðstöðu og vinnubrögðum. Um er að ræða atriði eins og um hvers konar geislauppsprettu er að ræða, hvað lengi viðkomandi vinnur við geislauppsprettu, hvaða skermunarfyrirkomulag er á staðnum, um hvaða fjarlægðir er að ræða og hvaða möguleikar eru á óhappi með geislalind eða geislatæki. Hér verður að meta þörf hvers starfsmanns miðað við starfsumhverfi hans og einnig þá reynslu sem fyrri mælingar hafa leitt í ljós.

Geislaálagsmælingar með mælifilmmum (eða TLD) er auðveld og ódýr leið til þess að fylgjast með geislaálagi starfsmanna sem verða fyrir ytri geislun við störf sín. Því ættu allir starfsmenn sem vinna við jónandi geislun að bera geislaálagmælifilmu nema augljóst sé að geislaálag þeirra vegna ytri geislunar verði ætíð lágt.

Geislaálag mælingar og filmuhyllki henta vel til mælinga á geislaálagi starfsfólks á röntgendeildum. Leggið filmuna í filmuhyllkið, þannig að nafnið á filmunni sjáist í glugga á framhlið. Filman skal borin í tvo mánuði. Fyrir byrjun hvers tímabils senda Geislavarnir ríkisins nýjar filmur, þannig að hægt er að skipta um filmur í byrjun þess tímabils. Filmurnar eru næmar fyrir birtu og hita. Þess vegna geta "gamlar" filmur gefið villandi upplýsingar um geislaálag mælinga. Því er mikilvægt, að í byrjun hvers tímabils sé filmum fyrra tímabils safnað saman og þær sendar tímanlega, þannig að þær berist til Geislavarna ríkisins innan 10 daga. Filmur sem berast seinna en 16 vikum eftir útsendingu er yfirleitt ekki hægt að nota til ákvörðunar á geislaálagi. Farið varlega með filmurnar og gætið þess að böggla þær ekki, því þær eru viðkvæmar fyrir hnjaski.

Berið filmuhyllki á brjósti eða í mittisstað. Þegar notuð er blýsvunta, á að setja filmuhyllkið undir svuntuna.

Samkvæmt reglum Alþjóðageislavarnaráðsins (ICRP) eru efri mörk þeirrar geislunar, sem starfsfólk má verða fyrir við starf sitt, 20 mSv árlega að meðaltali á 5 ára tímabili, eða minna en 2 mSv mánaðarlega og 50mSv miðað við einstök ár. Hér er miðað við geislun á allan líkamann. Efri mörk geislunar á útlími eina eru 500 mSv árlega, og á augu 150 mSv árlega.

Þess skal gætt á hverjum vinnustað að halda geislaálagi starfsfólks eins lágu og framast er unnt með skynsamlegu tilliti til aðstæðna. Sem dæmi má nefna, að meðalgeislaálag hvers mánaðar á röntgendeildum liggur undir 0,1 mSv. Þó gerist oft að þeir, sem vinna við skyggningu, fá geislun er nemur 0,5 - 1,0 mSv eða meira. Neðri mörk geislunar sem mælist með filmu, er 0,1 mSv. Geislaálag neðan þessara marka eru því ekki skráð.

Viðauki 2

Grunnstærðir og mælieiningar geislavarna

Alþjóðleg hugtök í geislavörnum hafa einkum verið mótuð af alþjóðlegri nefnd vísindamanna, Alþjóða geislavarnaráðinu, ICRP (International Commission on Radiological Protection). Árið 1991 gaf ráðið út nýjar meginleiðbeiningar um geislavarnir í ritinu ICRP-60 og var þar heitum ýmissa stærða breytt, heiti mælieininga breyttust hins vegar ekki. Flest lönd og öll alþjóðasamtök nota nú SI-einingar við stærðir tengdar geislavörnum. Eldri einingar eru þó víða enn notaðar (t.d. í Bandaríkjunum) og þær er að finna í mörgum ritum og töflum.

Í eftirfarandi samantekt eru nokkrar grunnstærðir geislavarna tilgreindar og mælieiningar þeirra. Ensk (alþjóðleg) heiti á stærðum og mælieiningum eru gefin, bæði þau nýju og gömlu. Jafnframt er gefin einföld skilgreining eða skýring á viðkomandi stærð. Fæst íslensku heitanna hafa unnið sér sess í tungunni og verður því tíminn að skera úr um hversu vel þau reynast.

Stærð	Mælieining			
	Heiti	Tákn	Tákn	Íslenskt heiti (alþjóðlegt í sviga) SI grunn- einingar
Virkni, geislavirkni (activity)	A	Bq	bekerel (becquerel)	1 / s
Raffræðilegur geislaskammtur (exposure)	X	(R)	(röntgen)	C / kg
Geislaskammtur (absorbed dose, tissue dose)	D	Gy	grei (gray)	J / kg
Hlutálag, hlutgeislaálag (equivalent dose)	H _T	Sv	sívert (sievert)	J / kg
Geislaálag (effective dose)	E	Sv	sívert (sievert)	J / kg
Geislabyrði (committed effective dose)	E(τ)	Sv	sívert (sievert)	J / kg
Eðlisbyrði, eðlisgeislabyrði (dose coefficient)	e(τ)	Sv / Bq		J / kg · s
Hópálag, hópgeislaálag (collective effective dose)	S	manSv	mannsívert (mansievert)	J / kg

Hér koma nánari skilgreiningar á ofangreindum stærðum. Ensk (alþjóðleg) heiti eru gefin í sviga. Þar eru einnig gefin eldri heiti stærða og eininga, sem enn eru í notkun sums staðar, t.d. í Bandaríkjunum. Einingin „röntgen“ er ekki hluti hins alþjóðlega einingakerfis (SI), $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C / kg}$

Virgni, geislavirgni (activity)

Virgni kjarntegundar er:

$$\text{Meðalfjöldi kjarnbreytinga á tímaeiningu, } A = \frac{dN}{dt}$$

SI-eining: bekerel (becquerel), Bq

Eldri eining: kúrí (curie), Ci, $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Geislaskammtur (absorbed dose, tissue dose)

Geislaskammtur jónandi geislunar í efni er:

$$\text{Meðalorkuaukning efnis á massaeiningu vegna jónandi geislunar, } D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Geislaskammtur jónandi geislunar í tilteknum vef eða líffæri (sem auðkennt er með T) er:

Heildarorkuaukning vefs (eða líffæris) vegna jónandi geislunar, deilt með massa

$$\text{vefsins, } D_T = \frac{\varepsilon_T}{m_T}$$

SI-eining: grei (gray), Gy

Eldri eining: rad, $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$

(Stundum er einingin „cGy“ notuð. Í reynd er þá verið að halda í gömlu eininguna „rad“ því $1 \text{ cGy} = 1 \text{ rad}$)

Raffræðilegur geislaskammtur (exposure)

Raffræðilegur geislaskammtur er:

Sá skammtur röntgen- eða gammageisla sem leiðir til myndunar einingarskammts af jönum af hvoru formerki fyrir sig (+ og -) í massaeiningu af lofti.

Þessari mælistærð hefur ekki verið gefin sérstök eining í SI-kerfinu. Reynt hefur verið að láta mælistærðina *geislaskammt* koma í stað *raffræðilegs geislaskammts*. Stærðirnar meta mismunandi áhrif jónunar á massaeiningu:

Geislaskammtur: Meðalorkuaukning á massaeiningu

Raffræðilegur geislaskammtur: Magn jónunar í massaeiningu

Mælistærðin *raffræðilegur geislaskammtur* er engu að síður enn mikið notuð, enda lýsir hún beint því sem mörg mælitæki mæla.

Eining í gamla kerfinu: röntgen, R $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C / kg}$

Hlutálag, hlutgeislaálag (equivalent dose)

Hlutálag geislunar í ákveðnum vef (eða líffæri), auðkenndum með tákni T , er:

Geislaskammtur líffæris T margfaldaður með vægisstuðli viðkomandi geislunar,

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

Vægisstuðull geislunar, w_R , miðast við líffræðilega virkni hennar. Þessi stuðull er 1 fyrir fótónur og rafeindir (beta-geislun), en 20 fyrir alfa-geislun.

SI-eining: sívert (sievert), Sv

Eldra heiti á ensku: *dose equivalent*

Eldri eining: rem $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$

Áður var vægisstuðull „Q“ notaður í stað „ w_R “. Töluleg gildi voru þau sömu.

Geislaálag (*effective dose*)

Geislaálag gefur beint mat á áhættu einstaklings vegna jónandi geislunar í lágum skömmtum. Geislaálag er reiknað sem:

Vegið meðaltal hlutgeislaálags líffæra líkamans, þar sem hvert líffæri hefur vægisstuðul í samræmi við hlut þess í heildaráhættu líkamans, $E = \sum_T w_T \cdot H_T$

Eldra heiti á ensku og tákn: *Effective dose equivalent, H_E*

SI-eining: sívert (sievert), Sv (sama og fyrir geislaskammtsjafngildi)

Eldri eining: rem 1 rem = 0,01 Sv

Geislabyrði (*committed effective dose*)

Geislavirkt efni sem berst inn í líkama getur valdið geislaálagi löngu eftir inntökuna.

Geislabyrði er:

Heildargeislaálag af völdum allrar geislunar á gefnu tímabili τ frá geislavirku efni sem berst inn í líkamann.

$$E(\tau) = \int_0^{\tau} E(t) dt$$

Almennt er miðað við 50 ára tímabil fyrir starfsfólk sem vinnur við geislavirk efni. Geislabyrði er þá táknuð $E(50)$. Fyrir aðra er almennt miðað við geislaálag til 70 ára aldurs. Geislabyrði af völdum geislavirks efnis er háð því með hvaða hætti það berst inn í líkamann (um öndunar- eða meltingarveg). Það getur einnig verið háð efnafræðilegum eiginleikum þess efnasambands sem geislavirka efnið er bundið í. Sé viðmiðunartímabil ekki tilgreint, þá hefur venjulega verið miðað við 50 ár.

Geislabyrði hefur einnig verið nefnd: *Eftirfylgjandi geislaálag*

Eldra heiti á ensku og tákn: *Committed effective dose equivalent, $H_{E,50}$*

SI-eining: sívert (sievert), Sv (sama og fyrir geislaálag)

Eðlisbyrði, eðlisgeislabyrði (*dose coefficient eða committed effective dose per unit intake*)

Eðlisbyrði af völdum kjarntegundar í tilteknu efnasambandi er:

Geislabyrði af völdum einingarskammts af kjarntegund, sem berst með tilteknum hætti inn í líkamann

$$e(\tau) = \frac{E(\tau)}{A}$$

(Hér táknar A virkni kjarntegundarinnar)

SI-eining: sívert/bekerel, Sv/Bq

Hópálag, hópgeislaálag (*collective effective dose*)

Hópálag er mat á heildaráhættu hóps af völdum geislunar. Hópálag er:

Meðalgeislaálag einstaklinga í hópi margfaldað með fjölda þeirra $S = \bar{E} \cdot N$

Með svipuðum hætti má skilgreina *hópbyrði* (meðalgeislabyrði í hópi margfaldað með fjölda í honum). Venjulega þarf einnig að tiltaka viðmiðunarhóp og sé um hópbyrði að ræða, þá þarf að tiltaka tímabilið. Einstaklingarnir í hópnum þurfa ekki að vera uppi á sama tíma. Við mat á umhverfisáhrifum geislaamengunar er oft miðað við hópbyrði í tíu þúsund ár. Oft er ekki gerður greinarmunur á hvort um hópálag eða hópbyrði er að ræða, sérstaklega ef reiknað er með báðum þáttum.

Eining: mannsívert (manSv)

Eldra heiti á ensku: *Collective effective dose equivalent, S_E*

Algengur misskilningur er að skilgreina megi hópálag sem summu geislaálags einstaklinganna í hópnum. Geislaálag er eðlislæg (á ensku *intrinsic*) stærð eins og hiti, þrýstingur og eðlismassi. Merkingarlaust er að reikna samtölu eðlislægra stærða fyrir hóp (t.d. að finna heildarhita ákveðins hóps einstaklinga). Meðalgildi eðlislægra stærða eru hins vegar vel skilgreind (samanber meðalhiti).

Viðauki 3.

Tölur um meðal- og heildargeislaálag árána 1998-2001

Meðal- og heildarársgeislaálag fyrir 2001

	Starfs- kóði	Fjöldi starfsm.	Fjöldi starfsm. með E = 0	Hlutfall (%) starfsmanna með E > 0	Meðal- ársgeislaálag (mSv)	Meðalárs- geislaálag f. starfsmenn með E > 0 (mSv)	Heildar- ársgeislaálag (mSv)
Almenn röntgengreining	1	304	213	30	0,14	0,47	42,8
Hjartaþræðingar	2	23	11	52	1,07	2,06	24,7
Brjóstamyndatökur	3	9	3	67	0,27	0,40	2,4
Röntgengr. á skurðstofum	4	45	35	22	0,06	0,26	2,6
Röntgengr. hjá tannlæknum	5	37	36	3	0,00	0,10	0,1
Röntgengr. hjá dýralæknum	6	9	9	0	0,00	0,00	0,0
Geislalækningar	10	24	22	8	0,04	0,45	0,9
Rannsóknarstofa tegund C	21	3	1	67	0,30	0,45	0,9
Rannsóknarstofa tegund B	22	9	1	89	1,51	1,70	13,6
Rannsóknarstofa tegund D	25	92	88	4	0,02	0,45	1,8
Föst tæki (röntgen)	31	2	2	0	0,00	0,00	0,0
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	32	8	6	25	0,27	1,10	2,2
Hreyfanlegar lokaðar lindir	42	18	17	6	0,02	0,20	0,4
"X-ray diffraction" tæki	55	2	2	0	0,00	0,00	0,0
Öryggi og eftirlit	82	8	8	0	0,00	0,00	0,0
Læknisfræðileg myndgreining		427	307	28	0,17	0,59	72,6
Geislalækningar		24	22	8	0,04	0,45	0,9
Opnar geislalindir í lækningum		104	90	13	0,16	1,16	16,3
Efnisrannsóknir		38	35	8	0,07	0,45	2,6
Samtals		593	454	23	0,16	0,65	92,4

Meðal- og heildarársgeislaálag fyrir 2000

	Starfs- kóði	Fjöldi starfsm.	Fjöldi starfsm. með E = 0	Hlutfall (%) starfsmanna með E > 0	Meðal- ársgeislaálag (mSv)	Meðalárs- geislaálag f. starfsmenn með E > 0 (mSv)	Heildar- ársgeislaálag (mSv)
Almenn röntgengreining	1	292	210	28	0,14	0,51	41,2
Hjartaþræðingar	2	23	11	52	0,47	0,91	10,9
Brjóstamyndatökur	3	9	5	44	0,30	0,69	2,7
Röntgengr. á skurðstofum	4	44	36	18	0,46	2,25	20,4
Röntgengr. hjá tannlæknum	5	43	43	0	0,00	0,00	0,0
Röntgengr. hjá dýralæknum	6	11	11	0	0,00	0,00	0,0
Geislalækningar	10	20	18	10	0,14	1,35	2,7
Rannsóknarstofa tegund C	21	2	0	100	0,40	0,40	0,8
Rannsóknarstofa tegund B	22	8	1	88	1,58	1,80	12,6
Rannsóknarstofa tegund D	25	94	91	3	0,05	1,70	5,1
Föst tæki (röntgen)	31	8	6	25	0,20	0,80	1,6
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	32	2	2	0	0,03	0,00	0,0
Hreyfanlegar lokaðar lindir	42	19	18	5	0,00	0,50	0,5
"X-ray diffraction" tæki	55	2	2	0	0,00	0,00	0,0
Öryggi og eftirlit	82	6	6	0	0,00	0,00	0,0
Læknisfræðileg myndgreining		422	316	25	0,18	0,71	75,2
Geislalækningar		20	18	10	0,14	1,35	2,7
Opnar geislalindir í lækningum		104	92	12	0,18	1,54	18,5
Efnisrannsóknir		37	34	8	0,06	0,70	2,1
Samtals		583	460	21	0,17	0,80	98,5

Meðal- og heildarársgeislaálag fyrir 1999

	Starfs- kóði	Fjöldi starfsm.	Fjöldi starfsm. með E = 0	Hlutfall (%) starfsmanna með E > 0	Meðal- ársgeislaálag (mSv)	Meðalárs- geislaálag f. starfsmenn með E > 0 (mSv)	Heildar- ársgeislaálag (mSv)
Almenn röntgengreining	1	277	199	28	0,15	0,54	42,1
Hjartaþræðingar	2	21	11	48	1,50	3,14	31,4
Brjóstamyndatökur	3	8	6	25	0,10	0,40	0,8
Röntgengr. á skurðstofum	4	52	45	13	0,09	0,67	4,7
Röntgengr. hjá tannlæknum	5	40	40	0	0,00	0,00	0,0
Röntgengr. hjá dýralæknum	6	10	10	0	0,00	0,00	0,0
Geislalækningar	10	18	16	11	0,15	1,35	2,7
Rannsóknarstofa tegund C	21	80	80	0	0,40	0,00	0,0
Rannsóknarstofa tegund B	22	8	3	63	2,23	3,56	17,8
Rannsóknarstofa tegund D	25	0	0		0,00	0,00	0,0
Föst tæki (röntgen)	31	0	0		0,00	0,00	0,0
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	32	19	16	16	0,11	0,67	2,0
Hreyfanlegar lokaðar lindir	42	0	0		0,00	0,00	0,0
"X-ray diffraction" tæki	55	12	11	8	0,01	0,10	0,1
Öryggi og eftirlit	82	0	0		0,00	0,00	0,0
Læknisfræðileg myndgreining		408	311	24	0,19	0,81	79,0
Geislalækningar		18	16	11	0,15	1,35	2,7
Opnar geislalindir í lækningum		88	83	6	0,20	3,56	17,8
Efnisrannsóknir		31	27	13	0,07	0,42	2,1
Samtals		545	437	20	0,19	0,94	101,6

Meðal- og heildarársgeislaálag fyrir 1998

	Starfs- kóði	Fjöldi starfsm.	Fjöldi starfsm. með E = 0	Hlutfall (%) starfsmanna með E > 0	Meðal- ársgeislaálag (mSv)	Meðalárs- geislaálag f. starfsmenn með E > 0 (mSv)	Heildar- ársgeislaálag (mSv)
Almenn röntgengreining	1	287	207	28	0,15	0,56	44,4
Hjartaþræðingar	2	20	11	45	1,14	2,52	22,7
Brjóstamyndatökur	3	12	7	42	0,14	0,34	1,7
Röntgengr. á skurðstofum	4	49	46	6	0,03	0,50	1,5
Röntgengr. hjá tannlæknum	5	38	38	0	0,00	0,00	0,0
Röntgengr. hjá dýralæknum	6	13	13	0	0,00	0,00	0,0
Geislalækningar	10	21	20	5	0,12	2,60	2,6
Rannsóknarstofa tegund C	21	86	86	0	0,00	0,00	0,0
Rannsóknarstofa tegund B	22	9	2	78	1,28	1,64	11,5
Rannsóknarstofa tegund D	25	0	0		0,00	0,00	0,0
Föst tæki (röntgen)	31	0	0		0,00	0,00	0,0
Færanleg tæki (iðnaðarrtg.)	32	30	28	7	0,14	2,05	4,1
Hreyfanlegar lokaðar lindir	42	0	0		0,00	0,00	0,0
"X-ray diffraction" tæki	55	12	12	0	0,00	0,00	0,0
Öryggi og eftirlit	82	0	0		0,00	0,00	0,0
Læknisfræðileg myndgreining		419	322	23	0,17	0,72	70,3
Geislalækningar		21	20	5	0,12	2,60	2,6
Opnar geislalindir í lækningum		95	88	7	0,12	1,64	11,5
Efnisrannsóknir		42	40	5	0,10	2,05	4,1
Samtals		577	470	19	0,15	0,83	88,5