



A BELSŐ SUGÁRTERHELÉS ELLENŐRZÉSE

Útmutató az ÁNTSZ Sugáregészségügyi Decentrumok részére

2. változat

OKK-OSSKI

Sugáregészségügyi Főosztály I. – Ionizáló Sugárzások Főosztálya

Budapest, 2002. december

1. A főbb jogszabályi előírások és szakmai szempontok áttekintése

A 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet (Rendelet) előírásai szerint:

a) nyitott radioaktív készítmény szervezetbe kerülésének *lehetősége* vagy ennek *gyanúja esetén* ... a belső sugárterhelést ellenőrizni kell. Az ellenőrzés *kötelezettségét a megyei intézet* állapítja meg. Az eredmények nyilvántartásának és jelentésének módját, illetve *gyakoriságát* az MSSZ-ben kell rögzíteni ... az ellenőrzés módját és eredményeit az OSZDSZ-nek kell megküldeni (IV.1.4.)

b) a belső sugárterhelés vizsgálatát végző laboratóriumnak *akkreditációval* kell rendelkeznie (2. sz. melléklet 2. sz. függelék 16. pont)

c) a belső sugárterhelés vizsgálat eredményét *lekötött effektív dózisban* kell megadni (2. sz. melléklet 2. sz. függelék 17. pont)

d) abban az izotóp-laboratóriumban, ahol *nagy* a radioaktív belső szennyeződés *veszélye*, a munkavállalók személyi ellenőrzését a belső szennyeződés vizsgálatával is ki kell egészíteni. A vizsgálat szükségességét és módszerét az MSSZ határozza meg (5. Sz. melléklet 4.10.4. pont).

A d) pontban szereplő *nagy* radioaktív szennyeződésveszély értelmezéséhez és szám-szerűsítéséhez nyújt támpontot a 2.1. táblázat segítségével elvégezhető kritérium-számítás és az útmutató 1. függelékében részletezett szakmai megalapozás. Azonban már itt is fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) IAEA RS-G-1.2 ajánlása szerint 1 mSv az az éves "szignifikáns sugárterhelés", amelynek potenciális elérése esetén a belső sugárterhelés ellenőrzése végrehajtandó [1].

2. A hatósági ellenőrzés célja és szempontjai

A hatósági ellenőrzés fő célja annak vizsgálata, hogy az MSSZ-nek a belső sugárterhelés ellenőrzésére vonatkozó szabályozása összhangban van-e a Rendelet előírásaival.

A belső sugárterhelés ellenőrzését alapvetően két módon lehet elvégezni:

- rutin ellenőrzéssel (olyan esetben, amikor a tevékenység folyamatos és a belső szennyeződés veszélye nem köthető egyes munkafázisokhoz),
- speciális¹ ellenőrzéssel (ismétlődő, ám időben jól elkülönülő, a belső szennyeződés veszélye szempontjából egyértelműen azonosítható munkafázisok esetén).

A speciális ellenőrzés megtervezése és kivitelezése lényegesen egyszerűbb, legalábbis a munkahelyi "előszűrés"-t tekintve. Az útmutató ezért túlnyomórészt a rutin ellenőrzés problematikáját tárgyalja.

¹ A "speciális ellenőrzés" fogalom az Útmutató-ban lefedi a szorosan vett speciális, valamint a feladathoz kötött ellenőrzést is

A hatósági ellenőrzés gyakorlati szempontjai a következők legyenek:

- a) tartalmazza-e az MSSZ a belső sugárterhelés ellenőrzésére vonatkozó előírásokat, ha a tevékenység ezt indokolja? (2.1. táblázat és 1. függelék),
- b) megfelelő-e az MSSZ-ben előírt ellenőrzési módszer, a felhasznált mérőberendezés és az ellenőrzési gyakoriság? (2.2.a-b. táblázat és 2. függelék),
- c) az ellenőrzésre választott laboratórium rendelkezik-e akkreditációval?
- d) megfelelő-e az OSZDSZ-nek (OKK-OSSKI) történő eredmény-továbbításra vonatkozó szabályozás? (az eredményeket célszerű pl. a filmdoziméterek havi/kéthavi visszaküldésével egyidőben továbbítani).

Elfogadható az a szabályozás, miszerint a munkahely sugárvédelmi megbízottja a rendelkezésére álló mérőeszközökkel (pl. NaI(Tl) detektorral, vagy GM-csővel működő számláló) ún. „előszűrést” végez. Különösen indokolt lehet speciális ellenőrzés esetén, pl. az egyszerűbb mérési geometriát jelentő pajzsmirigy vizsgálata. Ebben az esetben azonban az MSSZ-nek egyértelmű eljárásrendet kell tartalmaznia arra az esetre, ha a vizsgálati eredmény meghalad egy munkahelyi cselekvési szintet, és az ezen szinthez rendelhető sugárterhelés bizonyítottan nem haladhatja meg az 1 mSv dózisanak a vizsgálati időszakra (két mérés közötti átlagos idő) eső hányadát.

2.1. A belső sugárterhelés ellenőrzésének indokoltsága

A 2.1. táblázat azon munkahelyek (tevékenységek) azonosításához nyújt segítséget, amelyek esetében az 1 mSv éves belső sugárterhelés kialakulásának kockázata számottevő. A táblázatot munkahelyi egységenként² kell kitölteni. Minden radioizotópnál a második sor a tárolásra vonatkozik, az itt feltüntetendő aktivitás általában nem egyezik meg a munkafolyamatok során felhasználttal. Ha egy izotóppal többféle tevékenységet folytatnak, akkor az összes aktivitást és a korlátozóbb munkafolyamatot jellemző tényezőket kell beírni.

Amennyiben a táblázat soraiban kiszámolt egyes d_j számok 1-nél nagyobbak, akkor az ellenőrzést az adott radionuklid(ok)ra vonatkozóan mindenképpen végre kell hajtani. Hasonlóan indokolt az ellenőrzés bevezetése, ha az egyes d_j mennyiségek külön-külön nem, azonban együttesen már meghaladják az 1-et. Ebben az esetben azonban nem szükséges azon radionuklidok egyedi ellenőrzése, amelyek járuléka lényegesen kisebb mint 0,1.

A 2.1. táblázatban feltüntetett radionuklidok által okozott belső szennyeződés ellenőrzésére a következő módszerek használhatók:

- gamma-sugárzó izotópok esetén in-vivo vizsgálat (egésztest-, vagy szervaktivitás mérése egésztest-számlálóval),
- alfa- és béta-sugárzások esetén in-vitro vizsgálat (vizelet vagy széklet analízise béta-számlálással, alfa-spektrometriával).

A 2.2.a. táblázat tartalmazza a belső sugárterhelés rutin ellenőrzése esetén az elfogadható legkisebb mérési gyakoriságot és a tájékoztató kimutatási határokat. A speciális ellenőrzéshez szükséges kimutatási határokat a 2.2.b. táblázatban foglaltuk össze.

Megjegyezzük, hogy a néhány (2-3) óránál rövidebb fizikai felezési idejű radionuklidoknál általában nem szükséges a belső sugárterhelés ellenőrzése.

² Egy munkahelyi egységnek számít azon osztály, laboratórium stb., amely más egységektől térben elválasztott, illetve az itt foglalkoztatott dolgozók más egységben nyílt izotópos munkát nem végeznek. Ha ezen feltételek valamelyike nem teljesül, akkor az egységet megfelelő módon tágitani kell.

2.1. Táblázat A belső sugárterhelés ellenőrzése indokoltságának felmérése (munkahelyi egységenként töltendő ki, a részletes magyarázatot ld. az 1. függelékben)

Radionuklid	$10e(g)_{j,inh}$	x	A_j	x	f_{hs}	x	f_{ps}	=	d_j
H-3 (HTO)	1,8E-10	x		x		x		=	
H-3 (HTO)	1,8E-10	x		x	0,01	x	0,01	=	
C-14 (gőz)	5,8e-09	x		x		x		=	
C-14 (gőz)	5,8e-09	x		x	0,01	x	0,01	=	
P-32	2,9E-08	x		x		x		=	
P-32	2,9E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Cr-51	3,6E-10	x		x		x		=	
Cr-51	3,6E-10	x		x	0,01	x	0,01	=	
Mn-54	1,2E-08	x		x		x		=	
Mn-54	1,2E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Fe-55	9,2E-09	x		x		x		=	
Fe-55	9,2E-09	x		x	0,01	x	0,01	=	
Fe-59	3,2E-08	x		x		x		=	
Fe-59	3,2E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Co-57	6,1E-09	x		x		x		=	
Co-57	6,1E-09	x		x	0,01	x	0,01	=	
Co-58	1,7E-08	x		x		x		=	
Co-58	1,7E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Co-60	1,7E-07	x		x		x		=	
Co-60	1,7E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
Sr-85	6,4E-09	x		x		x		=	
Sr-85	6,4E-09	x		x	0,01	x	0,01	=	
Sr-89	5,6E-08	x		x		x		=	
Sr-89	5,6E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Sr-90	7,7E-07	x		x		x		=	
Sr-90	7,7E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
Zr-95	4,2E-08	x		x		x		=	
Zr-95	4,2E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Tc-99m	2,9E-10	x		x		x		=	
Tc-99m	2,9E-10	x		x	0,01	x	0,01	=	
Ru-106	3,5E-07	x		x		x		=	
Ru-106	3,5E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
Ag-110m	5,9e-08	x		x		x		=	
Ag-110m	5,9e-08	x		x	0,01	x	0,01	=	

Sb-125	3,3E-08	x		x		x		=	
Sb-125	3,3E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	

2.1. Táblázat (folytatás)

Radionuklid	10e(g) _{j,inh}	x	A _j	x	f _{hs}	x	f _{ps}	=	d _j
I-125	7,3E-08	x		x		x		=	
I-125	7,3E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
I-129	5,1E-07	x		x		x		=	
I-129	5,1E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
I-131	1,1E-07	x		x		x		=	
I-131	1,1E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
Cs-134	9,6E-08	x		x		x		=	
Cs-134	9,6E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Cs-137	6,7E-08	x		x		x		=	
Cs-137	6,7E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Ce-141	3,1E-08	x		x		x		=	
Ce-141	3,1E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Ce-144	2,9E-07	x		x		x		=	
Ce-144	2,9E-07	x		x	0,01	x	0,01	=	
Hg-203	1,9E-08	x		x		x		=	
Hg-203	1,9E-08	x		x	0,01	x	0,01	=	
Ra-226	2,2E-05	x		x		x		=	
Ra-226	2,2E-05	x		x	0,01	x	0,01	=	
Th-232	2,9E-04	x		x		x		=	
Th-232	2,9E-04	x		x	0,01	x	0,01	=	
U-234	6,8E-05	x		x		x		=	
U-234	6,8E-05	x		x	0,01	x	0,01	=	
U-235	6,1E-05	x		x		x		=	
U-235	6,1E-05	x		x	0,01	x	0,01	=	
U-238	5,7E-05	x		x		x		=	
U-238	5,7E-05	x		x	0,01	x	0,01	=	
Pu radioiz.	3,2E-04	x		x		x		=	
Pu radioiz.	3,2E-04	x		x	0,01	x	0,01	=	
Cm radioiz.	1,7e-04	x		x		x		=	
Cm radioiz.	1,7e-04	x		x	0,01	x	0,01	=	
Am-241	2,7E-04	x		x		x		=	
Am-241	2,7E-04	x		x	0,01	x	0,01	=	
D =								Σ	

2.2.a Táblázat Rutin ellenőrzés elfogadható legkisebb mérési gyakorisága és a szükséges, illetve jellemző kimutatási határok (a részletes magyarázatot ld. a 2. függelékben)

Radionuklid	Mérési módszer	Elfogadható legkisebb mérési gyakoriság/év	Szükséges MDA (Bq vagy Bq/l)	Jellemző MDA (Bq vagy Bq/l)
H-3 (HTO)	vizelet/béta	12	350000	20
C-14	vizelet/béta	3	3000	20
Cr-51	egészttest	3	300000	1000
Mn-54	egészttest	2	25000	70
Fe-55	vizelet/béta	1	2,5	1
Fe-59	egészttest	3	10000	100
Co-57	egészttest	2	65000	100
Co-58	egészttest	3	15000	70
Co-60	egészttest	1	2500	70
Sr-85	egészttest	2	20000	70
Sr-89	vizelet/béta	12	3,5	1
Sr-90	vizelet/béta	1	0,025	1
Zr-95	egészttest	3	7000	150
Ru-106	egészttest	1	1000	500
Ag-110m	egészttest	2	6000	70
Sb-125	egészttest	1	4000	200
I-125	pajzsmirigy	3	6500	30
I-129	pajzsmirigy	1	850	50
I-131	pajzsmirigy	12	3000	30
Cs-134	egészttest	2	20000	70
Cs-137	egészttest	1	20000	70
Ce-141	egészttest	3	7000	150
Ce-144	egészttest	1	1500	1000
Hg-203	egészttest	3	10000	100
Ra-226	vizelet/alfa	2	0.001	0,001
Th-232	vizelet/alfa	1	0.00015	0,001
U radioizotópok	vizelet/alfa	1	0.02	0,001
Pu radioizotópok	vizelet/alfa	1	0.0001	0,001
Cm radioizotópok	vizelet/alfa	1	0.0004	0,001
Am-241	tüdő	1	0,4	100

2.2.b Táblázat A belső sugárterhelés speciális ellenőrzéséhez szükséges, illetve a jellemző kimutatási határok (a részletes magyarázatot ld. a 2. függelékben)

Radionuklid	Mérési módszer	Szükséges MDA (Bq vagy Bq/l)	Jellemző MDA (Bq vagy Bq/l)
H-3 (HTO)	vizelet/béta	1000000	20
C-14	vizelet/béta	8000	20
P-32*	vizelet/béta	350	20
Cr-51	egészttest	4000000	1000
Mn-54	egészttest	150000	70
Fe-55	vizelet/béta	15	1
Fe-59	egészttest	55000	100
Co-57	egészttest	200000	100
Co-58	egészttest	80000	70
Co-60	egészttest	8000	70
Sr-85	egészttest	200000	70
Sr-89	vizelet/béta	25	1
Sr-90	vizelet/béta	1,5	1
Zr-95	egészttest	30000	150
Tc-99m*	egészttest	250	100
Ru-106	egészttest	4000	500
Ag-110m	egészttest	40000	70
Sb-125	egészttest	45000	200
I-125	pajzsmirigy	15000	30
I-129	pajzsmirigy	2500	50
I-131	pajzsmirigy	10000	20
Cs-134	egészttest	45000	70
Cs-137	egészttest	65000	70
Ce-141	egészttest	40000	150
Ce-144	egészttest	4500	1000
Hg-203	egészttest	75000	100
Ra-226	vizelet/alfa	0,06	0,001
Th-232	vizelet/alfa	0,003	0,001
U radioizotópok	vizelet/alfa	0,003	0,001
Pu radioizotópok	vizelet/alfa	0,0015	0,001
Cm radioizotópok	vizelet/alfa	0,005	0,001
Am-241	vizelet/alfa	0,003	0,001

Megjegyzés: a *-gal jelölt radionuklidoknál 1/12 értékű dóziscsökkentést alkalmaztunk

1. Függelék. A belső sugárterhelés ellenőrzésének indokoltsága

A belső sugárterhelés ellenőrzésének indokoltságát több tényező együttesen határozza meg, így a felhasznált aktivitás, a radionuklid és fizikai-kémiai formája, a műveletek fajtája és az alkalmazott védelem.

Az [1] ajánlás szerint egy adott radionuklidra, műveletre, illetve műveleti körülményekre vonatkozóan a következő döntési kritérium vizsgálandó:

$$d_j = \frac{A_j e(g)_{j,inh} f_{fs} f_{hs} f_{ps}}{0,001} \quad (F1.1)$$

ahol A_j a j radionuklid éves felhasznált aktivitása (Bq), $e(g)_{j,inh}$ a j radionuklidra vonatkozó belégzési dózistényező (Sv/Bq), 0,001 a „szignifikáns foglalkozási sugárterhelés” (Sv), az f tényezők jelentését ld. alább.

f_{fs} a radionuklid fizikai-kémiai formájától függő biztonsági tényező, alapértéke 0,01 (indokolt esetekben 0,001 érték választható).

f_{hs} a műveleti biztonsági tényező, értékét ld. az F1.1. táblázatban.

f_{ps} az alkalmazott védelemre vonatkozó biztonsági tényező (F1.2. táblázat).

Az F1.1 képlet f_{fs} alapértékének figyelembe vételével a következő egyszerű formában írható:

$$d_j = 10 A_j e(g)_{j,inh} f_{hs} f_{ps} \quad (F1.2)$$

Amennyiben d_j értéke eléri, vagy meghaladja az 1-et, akkor a belső sugárterhelés ellenőrzése indokolt. Ha több radionukliddal kell számolni, akkor a

$$D = \sum_j d_j \geq 1 \quad (F1.3)$$

kritérium teljesülése vizsgálandó.

A $D \geq 1$ esetben sem kell ellenőrizni azon radionuklidokat, amelyek egyedi d_j tényezői sokkal kisebbek 0,1-nél.

A legfontosabb radionuklidok belégzési dózistényezőinek 10-szeresét a 2.1. táblázatban közöltük (a legkedvezőtlenebb kémiai formára és AMAD=5 μm részecskeméretű aeroszolra).

F1.1. Táblázat A műveleti biztonsági tényező értékei [1]

Művelet	f_{hs}
tárolás	0,01
egyszerű nedves műveletek	0,1
szokványos kémiai műveletek	1
bonyolult nedves műveletek, a kiömlés veszélyével	10
egyszerű száraz műveletek	10
illékony anyagok kezelése	100
porlódással járó száraz műveletek	100

F1.2. Táblázat A védelmi biztonsági tényező értékei [1]

Védelem	f_{ps}
nincs védelem	1
elszívófülke	0,1
hermetikus box	0,01

2. Függelék. A belső sugárterhelés ellenőrzésének kritériumai

2.1. Rutin ellenőrzés

A belső sugárterhelés programjának szakmai szempontból ki kell elégítenie a NAÜ Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzatban [2] leírt fő követelményt: "A személyi dozimetriai ellenőrzés módját, gyakoriságát és pontosságát a sugárterhelés mértékének és lehetséges fluktuációjának, valamint a potenciális sugárterhelés valószínűségének és nagyságának figyelembevételével kell meghatározni". A belső ellenőrzés módja és gyakorisága megállapításának a munkahely jellemzésén kell alapulnia, beleértve a felhasznált radionuklidokra, fizikai és kémiai formájukra vonatkozó információt.

Az adott ellenőrzési módszer (mérési módszer és gyakoriság) gyakorlati értékelésének két fő szempontja a következő:

- az adott ellenőrzési gyakorisághoz tartozó, a feltételezett felvételtől a mérésig tartó idő alatt kialakuló egésztest (szerv) aktivitás, vagy vizelettel kiürített aktivitás legyen meghatározható a mérési módszerrel [1],
- a felvétel alulbecslésének mértéke az ismeretlen felvételi időpont miatt a monitorozási intervallumon belül legyen kisebb háromnál, a szokásos közép időre vonatkozó becsléshez viszonyítva [3].

Következésképpen, a rutin ellenőrzés optimális gyakoriságát úgy határozhatjuk meg, mint az adott mérési módszerhez, mérőberendezéshez tartozó legkisebb gyakoriság, amely még kielégíti a fenti követelményeket, az összes ellenőrizendő radionuklid minden szóbjáphető kémiai és fizikai formájára vonatkozóan.

2.1.a) A mérőberendezés (módszer) kimutatási határa és a szervezetben maradó, illetve kiürített aktivitások közötti összefüggés

Nyilvánvaló, hogy a felvétel "rejtett" marad, ha a szervezetben maradó, illetve kiürített aktivitás értéke a fizikai bomlás, illetve biológiai kiürülés miatt a módszer kimutatási határa alá csökken. Emiatt a mérési technika érzékenysége erősen befolyásolja a szükséges mérési gyakoriságot.

Adott idővel a felvétel után a szervezetben maradó, illetve onnan kiürített aktivitás értékét a fizikai és biológiai felezési idők, valamint a felvétel és a mérés (mintavétel) között eltelt idő határozza meg. Általában a belső ellenőrzési módszertől (beleértve a módszert és gyakoriságot egyaránt) azt várjuk el, hogy legyen alkalmas a dóziskorlát adott hányadának megfelelő felvétel meghatározására.

Ennek megfelelően a következő egyenlet írható fel:

$$I_j \times m(t)_j \times c \geq MDA_j, \quad (F2.1)$$

ahol I_j az éves dóziskorlátnak (20 mSv) megfelelő radionuklid-felvétel; c az éves dóziskorlát azon hányada, amelyet még ki akarunk mutatni (alapértéke 0,05); $m(t)_j$ a felvétel azon hányada, amely a szervezetben marad, illetve onnan kiürül t idő múlva; MDA_j a j radionuklid kimutatási határa.

Ily módon, N éves ellenőrzési gyakoriság esetén, a közép időben történő radionuklid-felvétel feltételezésével:

$$0,001/e(g)_{inh,j} \times m(365/2/N)_j \geq MDA_j \quad (F2.2)$$

ahol $e(g)_{inh,j}$ az adott radionuklidhoz tartozó belégzési dózistényező (ld. 1. Függelék).

A fenti egyenlőtlenség teljesülését minden radionuklid feltételezett oldékonysági típusára ellenőrizni kell.

2.1.b) Az ellenőrzési időszakhoz tartozó alulbecslés vizsgálata

A középidőben történő radionuklid-felvétel feltételezése a legelterjedtebb a sugárvédelmi gyakorlatban. Nyilvánvaló azonban, hogy ezen feltevés mellett az ellenőrzési időszak elején történő felvételt alá fogjuk becsülni. Az alábecslés mértékét a retenció/exkréciónak függvény időbeli lefutása és az időintervallum nagysága, azaz az ellenőrzési gyakoriság határozza meg.

Így N éves ellenőrzési gyakoriság esetén a következő feltételnek kell teljesülnie:

$$m(365/N)_j / m(365/2/N)_j > 1/3 \quad (F2.3)$$

A fenti egyenlőtlenség teljesülését ugyancsak ellenőrizni kell minden radionuklid feltételezett oldékonysági típusára.

Az $m(t)$ értékeket az ICRP új modelljein alapuló MONDAL szoftver [4] segítségével határoztuk meg, AMAD=5 μm aeroszol méretű, általában M oldékonysági osztályú vegyületekre.

2.2. Speciális ellenőrzés

Amint azt a fő részben említettük, a speciális ellenőrzéssel kapcsolatos kérdéskör lényegesen egyszerűbb, hiszen itt ellenőrzési gyakoriságot előre általában nem is lehet meghatározni. Így a legfontosabb követelmény az, hogy az ebben az esetben ismert időpontban bekövetkezett radionuklid-felvételt mihamarabb követő méréssel az éves dóziskorlát adott hányadához tartozó felvételtől a szervezetben maradt, illetve onnan kiürített aktivitás az alkalmazott mérési módszerrel kimutatható legyen.

Ekkor a következő feltétel írható fel:

$$0,001/e(g)_{inh,j}/N \times m(T)_j \geq MDA_j \quad (F2.4)$$

A gyakorlati számítások elvégzéséhez a következő feltevéseket tettük: T a felvételt követő munkanap (konzervatív közelítéssel 3 nap), N értéke a ^{32}P és $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioizotópokra 12, egyébként 1.

Megjegyezzük, hogy az 1 mSv szignifikáns dózis 12 részre történő felosztása talán túlzottan konzervatív eredményekre is vezet, ez azonban az igen rövid fizikai és/vagy biológiai felezési idejű izotópoknál indokolható. Ezekben az esetekben ugyanis az 1 mSv dózis minden egyes, szükség esetén évente nagy számot is elérő, speciális ellenőrzéshez történő hozzárendelése végeredményben jelentős éves dózisek kimutatásának elmulasztását eredményezhetné, ami mindenképpen elkerülendő.

Irodalom

[1] Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides (IAEA Safety Guide, No. RS-G-1.2, Vienna, 1999)

[2] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (IAEA Safety Series No. 115, Vienna, 1996)

[3] Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (ICRP Publication No. 78, 1997)

[4] N. Ishigure: MONDAL (National Institute of Radiological Sciences, NIRS, Japan)