

# $^{241}\text{Am}$ -től származó sugárterhelés becslése – a munka folytatódik

Andrási Andor<sup>1</sup>, Kovács-Széles Éva<sup>2</sup>, Pántya Annamária<sup>2</sup>, Pázmándi Tamás<sup>2</sup>, Taba Gabriella<sup>1</sup>, Zagyvai Márton<sup>2</sup>, Zagyvai Péter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Meghívott sugárvédelmi szakértő*

<sup>2</sup>*MTA Energiatudományi Kutatóközpont*

# A szennyezést okozó kísérleti anyagok



Csonka körcikk alakú fémlemezekre „electroplating” technikával  $^{241}\text{Am}$ -réteget vittek fel, amit aranyfóliával fedtek le. A kísérletsorozat befejezése után ólomkonténerben helyezték el a lemezeket, az összes hulladékot 2013-ban Püspökszilágyra szállították.



# <sup>241</sup>Am inkorporációjának vizsgálata az MTA EK-ban az RHK megbízásából

- 2014: Kutatási jelentés a szennyezés eredetéről, annak fizikai és kémiai formájáról, az inkorporáció becsült mértékéről.
- 2015: Kutatási jelentés a több alkalommal deinkorporációs kezelést kapó személyek további vizsgálatáról, valamint dózisuknak a gyűjtött adatok felhasználásával készített értékeléséről.

A munkában az MTA EK alábbi szervezeti egységeinek munkatársai vettek részt:

- Környezetfizikai Laboratórium, Környezetvédelmi Szolgálat, Sugárbiztonsági Laboratórium, Sugárvédelmi Laboratórium, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium;
- valamint a dózisszámításban jártas „külsős” szakértőket is bevontunk az értékelésbe.



# 2015-ös munkáink fő részei

A lekötött és évenkénti dózis minél pontosabb megállapítása érdekében az alábbi vizsgálatokat végeztük:

- Egésztestszámlálás HPGe detektoros gamma-spektrometriával;
- Testrészek radioaktivitásának meghatározása HPGe detektoros gamma-spektrometriával;
- Vizeletvizsgálatok HPGe detektoros gamma-spektrometriával;
- Vizeletvizsgálatok a minták feldolgozását követően alfaspektrometriával és tömegspektrometriával;
- Modellszámítások számítógépes programokkal a dekorporációs kezelések eredményének értékelésére, az eddig elszennvedett és a várható dózis lehető legpontosabb becslésére.

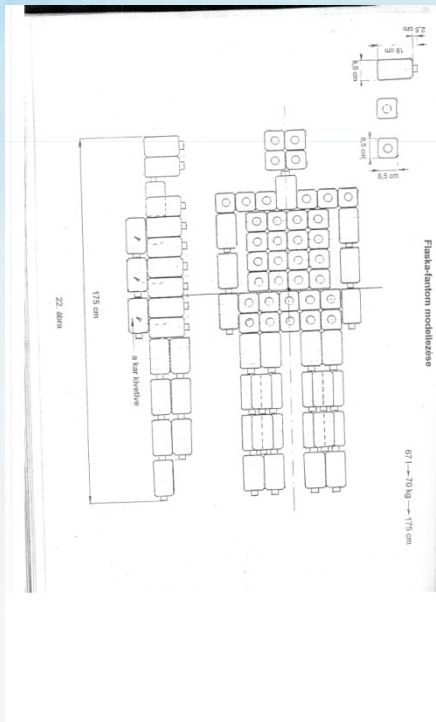
# Egésztest- és testrész-számlálások

- A mérőrendszer mozgó detektorral végzett egésztestszámláláshoz készített kalibrációjának ellenőrzése;
- Testrészek radioaktivitásának mérése rögzített félvezető detektorral
  - Kalibrációs mérések az LLNL mellkasfantommal
  - A tüdőmérések eredményei
  - A májmérések eredményei
  - Koponyamérések
- A szervezetben lévő radioaktivitás becslése a gamma-spektrumok alapján



# Egésztestszámlálás

- Kalibráció: „flaskafantom”, pásztázó HP Ge detektorral, csekély háttérű mérőfülkében.



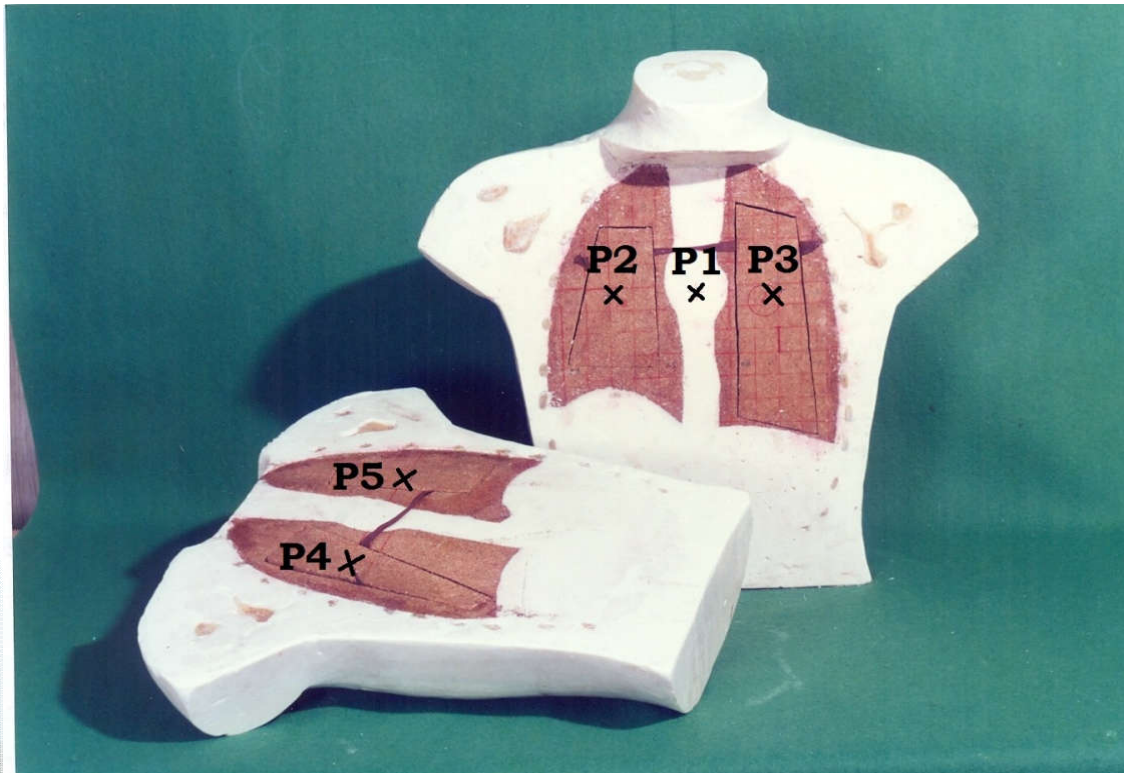
# Egésztetszámlálás – eredmények összefoglalása

Mérés időpontja	"A" Aktivitás (Bq)	"B" Aktivitás (Bq)	"C" Aktivitás (Bq)
2013. XII. 4.-5.	43700±8%	16900±12%	8060±15%
2013. XII. 11.	4400±31%	950±44%	2400±30%
2014. XI. 13.	<700	<700	-
2014. XII. 12.	600±45%	<430	<440
2015. IX. 3.	340±49%	<290	-
2015. XII. 10-15.	330±45%	<97	-





# Kalibrációs mérések testrész- számláláshoz



Mix-D fantom  
mellkas- és  
tüdőmérés  
kalibrációjához

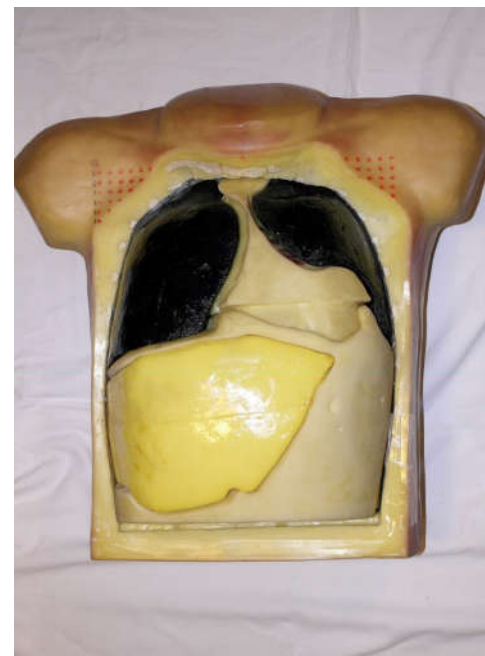




# Kalibrációs mérések testrész- számláláshoz



LLNL mellkas fantom a különböző testméreteket imitáló fedőrétegekkel a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségtől



Az LLNL fantom „belső szervei: tüdő és máj



# Testrész-számlálások - tüdő feletti mérések eredményei, kollimátor nélkül

Mérés időpontja	"A" Aktivitás (Bq)	"B" Aktivitás (Bq)	"C" Aktivitás (Bq)
2013. XII. 11.	4970±13%	510±34%	1300±20%
2014. XI. 13.	150±26%	40±56%	-
2014. XII. 12.	150±15%	<50	<40
2015. IX. 3.	80±34%	10±80%	-
2015. XII. 10-15.	50±36%	<6	-



# Kiürülési modell

EPR-  
MEDICAL  
2005

EMERGENCY PREPAREDNESS  
AND RESPONSE

## Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency



Co-sponsored by IAEA and WHO

PUBLICATION DATE: APRIL 2005



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

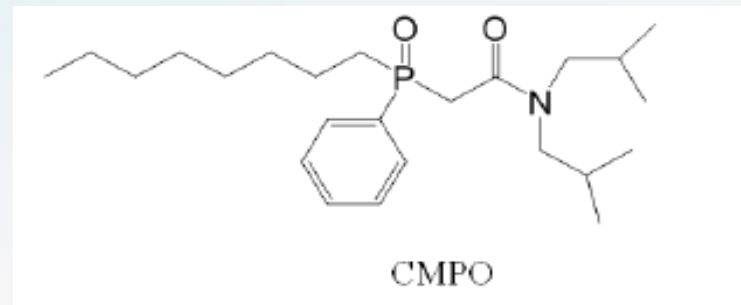
XII. függelék: Belégzéssel bejutott szennyező anyagok kiürülési hányada vizelettel és széklettel a felvételt követően

Felnőtt, 1  $\mu\text{m}$  AMAD

	vizelet	széklet	arány
1. nap	1,5E-03	5,3E-02	35
2.nap	2,2E-04	7,7E-02	350
3.nap	1,4E-04	4,1E-02	293
9.nap	6,9E-05	1,1E-03	16
30.nap	4,5E-05	5,3E-04	12

# $^{241}\text{Am}$ elválasztása alfaspektrometriához és tömegspektrometriához

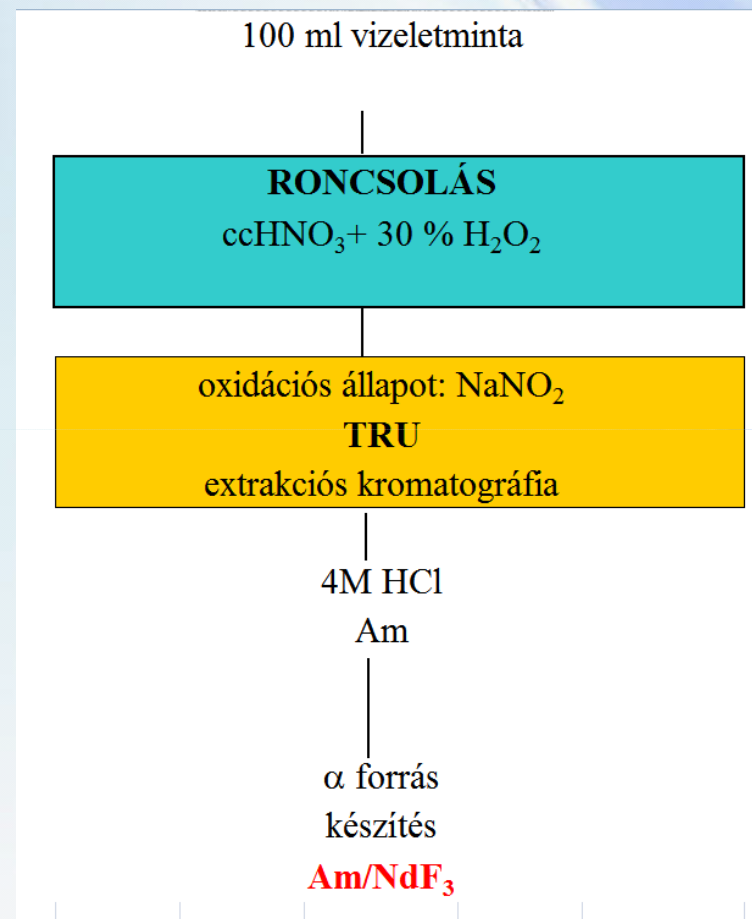
- CMPO: oktil-fenil-N,N-dibutil-karbamoil-foszfin-oxid – a TRU gyantájának „hatóanyaga” – akkreditált eljárás; kidolgozták: Vajda Nóra és munkatársai, RADANAL kft.
- DGA: N,N,N',N'-tetra-n-oktil-di-glikol-amid – kísérleti stádiumban, egyelőre a vizsgálatokhoz nem használtuk.



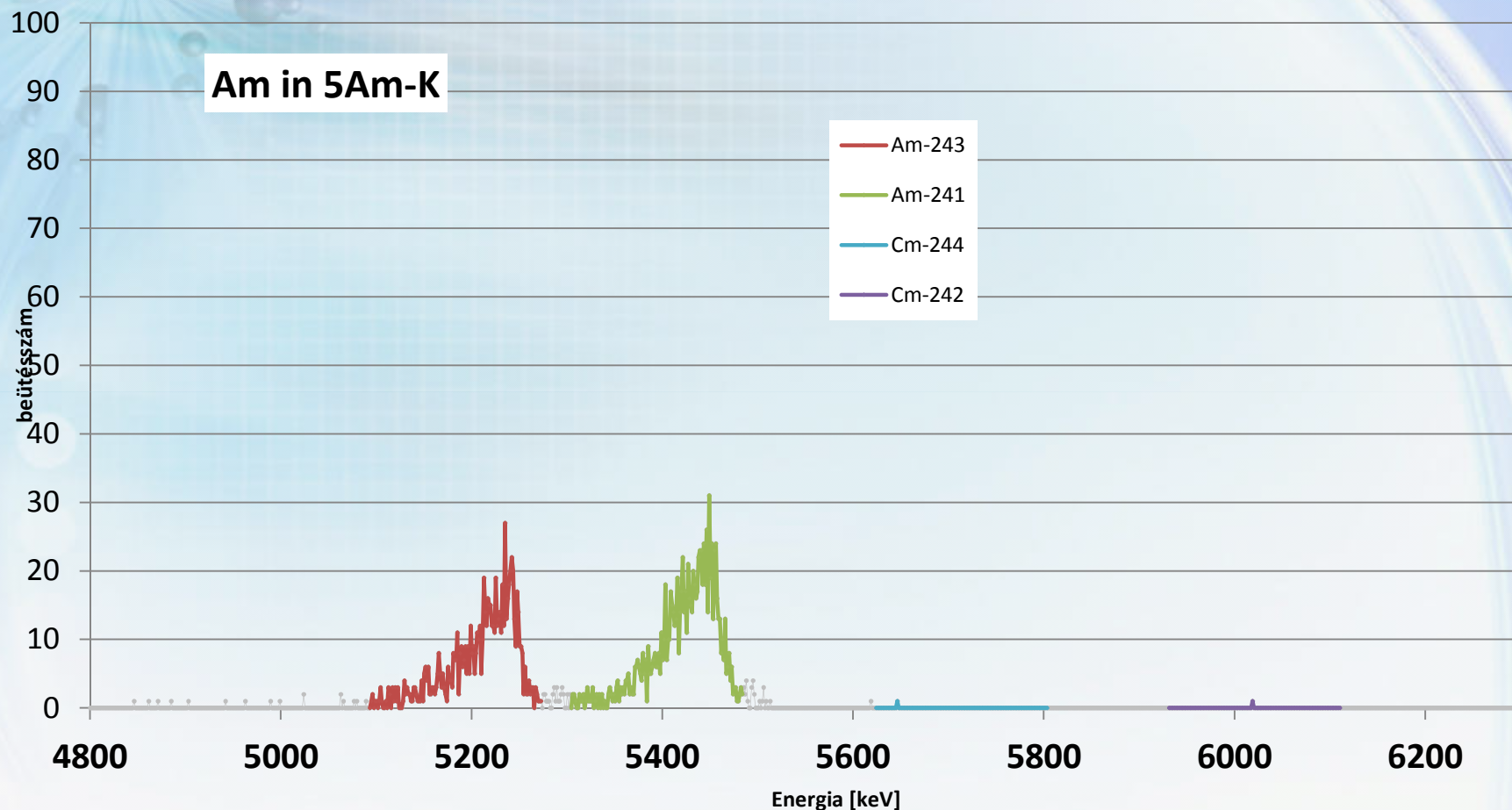


# $\alpha$ -forrás készítése vizeletmintából

- Szárazra párlás
- Savas roncsolás: cc.  $\text{HNO}_3$  + 30 %-os  $\text{H}_2\text{O}_2$
- $^{243}\text{Am}$  nyomjelző, oldás 2 M  $\text{HNO}_3$
- Felöntés TRU-gyantát\* tartalmazó oszlopra (magasság: 25 mm, átmérő 7 mm).
- Az Am-frakció eluálása 4 M HCl
- Mérőminták készítése az oldatból: együttelecsapás  $\text{NdF}_3$ -dal
- Szűrés 0,1 mikronos szűrőn
- Mérés  $\alpha$ -spektrometriával
- TRISKEM-International Inc. Terméke
- Hatóanyaga: CMPO/TBP



# Az egyik vizeletminta $\alpha$ -spektruma





# Vizeletminták alfaspektrometriás és tömegspektrometriás mérései



	$\alpha$ -spektr.	ICP-MS	$\alpha$ -spektr.	ICP-MS	$\alpha$ -spektr.	ICP-MS
Mintavétel ideje	"A" cA (Bq/dm <sup>3</sup> )	cA (Bq/dm <sup>3</sup> )	"B" cA (Bq/dm <sup>3</sup> )	cA (Bq/dm <sup>3</sup> )	"C" cA (Bq/dm <sup>3</sup> )	cA (Bq/dm <sup>3</sup> )
2013. XII. 11.	0,87±5%	0,77±10%	0,15±8%	0,16±12%	0,062±15%	0,083±18%
2014. XI.13.	0,042±7%		0,019±10%			
2014. XII. 12.	0,053±14%		0,01±14%			
2015. IX. 3.	0,043±10%	0,022±12%	0,0062±25%	<0,01		
2015. XII. 10.	0,0037±16%	0,0075±16%	0,0015±31%	0,0017±24%		



# Dózisbecslések a MONDAL-3 programmal, tüdőmérésekből

Felvétel óta eltelt idő (nap)	Becsült felvétel (Bq)	Becsült lekötött effektív dózis $H_E(50)$ (mSv)
9	52000	2000
346	17000	650
375	19000	750
640	48000	1900
738	54000	2100

„A”  
személy

Felvétel óta eltelt idő (nap)	Becsült felvétel (Bq)	Becsült lekötött effektív dózis $H_E(50)$ (mSv)
9	5300	210
346	4400	170
375	<6900	<270
640	5600	220
738	<6600	<260

„B”  
személy





# Dózisbecslések a MONDAL-3 programmal, vizeletmérésekből

A program belégzéssel, egyszeri alkalommal felvett radioaktivitás dózisának számításához a felvétel óta eltelt időt és a vizeletben, a székletben vagy a tüdőben mért radioaktivitást várja bemenő adatként.

Felvétel óta eltelt idő (nap)	Becsült felvétel (Bq)	Becsült lekötött effektív dózis $H_E(50)$ (mSv)
9	21000	820
9	19000	730
346	5700	220
375	7800	300
640	9300	360
640	4800	190
738	880	34
738	1790	69

„A” személy  
Dólt számokkal az  
ICP-MS  
mérésekből kapott  
számításokat  
jelöltük.



# Dózisbecslések a MONDAL-3 programmal, vizeletmérésekből

Felvétel óta eltelt idő (nap)	Becsült felvétel (Bq)	Becsült lekötött effektív dózis $H_E(50)$ (mSv)
9	3600	140
9	3900	150
346	2600	100
375	1500	58
640	1300	52
738	360	14
738	408	16

„B” személy  
Dőlt számokkal az ICP-MS mérésekből kapott számításokat jelöltük.



# Dózisbecslések az IDEA SYSTEM programmal

A program elsőfokú differenciálegyenletekkel modellezi a szervezetbe jutott radioaktivitás átvitelét, illetve felhalmozódását egyes szövetekben, majd kiürülését a szervezetből, időpont – mérési eredmény adatpárokat használ, így a teljes vizsgálati időtartamra megállapított becslést ad a felvett aktivitásra és az okozott dóziszra. Háromféle futtatást végeztünk: csak a vizeletmérések adatait, csak a tüdőmérések adatait és mindkét adatsort használtuk.



# Dózisbecslések az IDEA SYSTEM programmal

**Die Auswertung der Überwachungsdaten ergab die folgende Zufuhrwerte:**

Evaluation procedure	Standard (Level 2; selected parameters
Nuclide	Am-241
Intake	6.59E+03 Bq
Time pattern	Single intake
Pathway	Inhalation
Time of intake	2013.12.02.
Absorption type	M
Particle size	1,0 $\mu$ m AMAD
Effective dose	2.77E-01 Sv
Critical organ	Bone Surface
with organ dose	1.12E+01 Sv
Potential error (SF)	2,62





# Dózisbecslések az IDEA SYSTEM programmal

The screenshot displays the IDEA SYSTEM software interface for radionuclide dose assessment. The main window shows evaluation parameters for Am-241, including person ID (-1001), name (Kasza), and monitoring start date (2013.12.02). A table of measured data is visible, with columns for TOD, Nuclide, Date, TOM, Activity, LLD, and COM. The graph shows a sharp initial peak in activity concentration (Bq/d) that decays rapidly over time (d). The results window is open, displaying a list of organ doses with absolute and relative values. Several values are highlighted in red, indicating they are above the respective limits.

Organ dose	absolute (Sv)	relative
Effective	2.49E-01	1.25E+01
Bladder	1.72E-02	1.15E-01
Breast	1.72E-02	1.15E-01
ULI	1.72E-02	1.15E-01
LLI	1.72E-02	1.15E-01
SI	1.72E-02	1.15E-01
Brains	1.72E-02	1.15E-01
Skin	1.72E-02	3.44E-02
Testes	1.96E-01	3.92E+00
Bone Surface	1.01E+01	3.36E+01
Liver	5.93E-01	3.96E+00
Lungs	2.20E-01	1.46E+00
Stomach	1.72E-02	1.15E-01
Spleen	1.72E-02	1.15E-01
Adrenals	1.72E-02	1.15E-01
Kidneys	5.16E-02	3.44E-01
Ovaries	1.96E-01	3.92E+00
Pancreas	1.72E-02	1.15E-01
Red bone marrow	3.44E-01	6.88E+00
Thyroid	1.72E-02	5.74E-02
Thymus	1.72E-02	1.15E-01
Uterus	1.72E-02	3.44E-01
Oesophagus	1.72E-02	1.15E-01
Extrathoracic airways	5.58E-02	3.72E-01
Muscle	1.72E-02	1.15E-01



# Dózisbecslések az IDEA SYSTEM programmal

Felhasznált adatok	Felvétel (Bq)	$H_E(50)$ (mSv)	$H_{csf.}(50)$ (Sv)
5 vizelet	6590	277	11,2
5 vizelet + 5 tüdő	15000	631	25,5
5 vizelet + 4 tüdő	13100	550	22,3
5 tüdő	34300	1440	58,3

„A” személy

Felhasznált adatok	Felvétel (Bq)	$H_E(50)$ (mSv)	$H_{csf.}(50)$ (Sv)
5 vizelet	1480	62	2,51
5 vizelet + 5 tüdő	2350	99	4,00
5 vizelet + 4 tüdő	2100	88	3,57
5 tüdő	5110	215	8,69

„B” személy



# További dózisbecslések

Még két módon végeztünk dózisbecslést :

□ az IDEAS Guidelines alapján

[ C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Bérard, A. Giussani, M.A. Lopez: „IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data” **EURADOS** Report 2013-01]

□ „Primitív” módszerrel: az egészszteszszámlálások alapján a mérések időpontja között egyszerű exponenciális kiürülési- és bomlángörbét feltételezve számoltuk a testben történt bomlásokban leadott összes  $\alpha$ -energia dózisát.



# További dózisbecslések

Az IDEA Guidelines alapján számolt dózisok:

„A”	Felvétel: 8870 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>420 mSv</b>
„B”	Felvétel: 1490 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>71 mSv</b>
„C”	Felvétel: 700 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>33 mSv</b>

A „primitív módszer”-rel számolt dózisok:

„A”	Felvétel: 18900 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>150 mSv</b>
„B”	Felvétel: 3260 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>41 mSv</b>
„C”	Felvétel: 1350 Bq	Lekötött dózis 50 évre: <b>25 mSv</b>



# Összefoglalás

Az inkorporáció becsült dóziskövetkezményei:

„A”	$H_E(50)$	280 mSv
„B”	$H_E(50)$	60 mSv
„C”	$H_E(50)$	30 mSv

Az 1 évre jutó effektív dózis maximum 6 – 8 mSv. A becslés bizonytalansága  $\leq 50\%$ . Javasoltuk a megbízónak, hogy a három személy folytathassa a sugárveszélyes munkavégzést.

# A legutóbbi eredmények

$\alpha$ -spektrometriás vizeletmérések 2016. II. 12.-én vett mintákból, az utolsó dekorporációs kezelést követően

- „A”: 0,26 Bq/L – a 2015. IX.-i eredmény 4-szerese
- „B”: 0,043 Bq/L – a 2015. IX.-i eredmény 6-szorosa



**Köszönöm a figyelmet!**