

## <sup>125</sup>I inkorporációs esemény vizsgálata

Bodor Károly<sup>1</sup>, Taba Gabriella<sup>2</sup>, Remeli Anton<sup>2</sup> Földi Anikó<sup>1</sup>, Kocsonya András<sup>1</sup>,  
Beleznai Péter<sup>1</sup>, Harangozó Imréné<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Kutatóközpont,  
<sup>2</sup>Izotóp Intézet Kft.

1121, Budapest Konkoly Thege M. út 29-33.  
bodor.karoly@energia.mta.hu

*Title: A <sup>125</sup>Iodine incorporation case study*

*Abstract – In the course of a routine operation, an employee of the Institute of Isotopes Co. Ltd. has been internally contaminated by <sup>125</sup>I isotope, assumingly by inhalation. The paper describes the long term study based on thyroid activity measurements in order to assess the related committed effective dose.*

*Keywords- <sup>125</sup>Iodine, incorporation, acute inhalation, thyroid activity measurment, committed effectív dose*

### **Kivonat**

*Egy rutin művelet során az Izotóp Intézet Kft. egyik munkatársának szervezetébe, feltételezhetően belégzés útján, <sup>125</sup>I izotóp került. A cikk az esemény következtében fellépett lekötött effektív dózis meghatározásával foglalkozik, a személy pajzsmirigy aktivitásának hosszú időn keresztül történő nyomon követésével.*

*Kulcsszavak – <sup>125</sup>Jód, inkorporáció, akut belélegzés, pajzsmirigy aktivitásmérés, lekötött effektív dózis*

### **BEVEZETÉS**

A KFKI Telephelyén üzemel az Izotóp Intézet Kft., ahol jód tartalmú radiofarmakológiai készítményeket állítanak elő. A <sup>125</sup>I izotóptartalmú termék gyártási folyamata során egy rutin művelet alkalmával, 37 GBq/ml aktivitáskoncentrációjú alapanyag osztásakor az ampullából jódgőz szabadult ki feltehetően az ampullában lévő túlnyomás miatt. A <sup>125</sup>I izotóp tartalmú gőz kijutást követően a vegyi fülke, a művelethez használt laboratóriumi eszközök, a laboratórium különböző felületei, valamint a feldolgozást végző személy belsőleg is elszennyeződött <sup>125</sup>I izotóppal. A szennyeződést a következő napi műszeres mérésekkel vették észre.

A szennyezést követően felkérésre az MTA EK Környezetvédelmi Szolgálatán (KVSZ) az eseményben érintett személyen ellenőrző mérést végeztünk. A mérési eredmények a kivizsgálási szintet meghaladó izotóp felvételére utaltak, ezért a <sup>125</sup>I izotóppal szennyezett dolgozót a minél pontosabb dózisbecslés érdekében, párhuzamosan az Izotóp Intézet Kft-ben, és az MTA EK-ban, még hosszú időn keresztül mértük. Az MTA EK KVSZ laboratóriumában végzett mérési eredményeket a lekötött effektív dózis meghatározása érdekében a MONDAL3 program segítségével értékeltük ki, mely nagyrészt az ICRP Publ. 78.(1997)-ban [4] alkalmazott modelleket veszi figyelembe.

### **JÓD BIOAKKUMULÁCIÓJA AZ EMBERI PAJZSMIRIGYBEN**

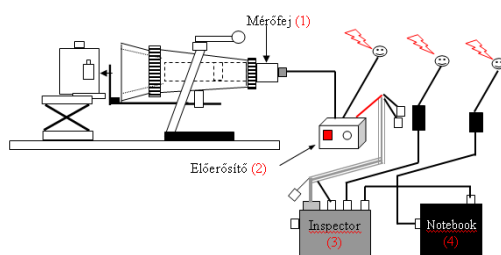
A pajzsmirigy a gége és a légcső felső részének két oldalán elhelyezkedő kétlebenyes mirigy, az anyagcsere folyamatok egyik legfontosabb hormonjának, a tiroxinnak a termelődési helye. A hormon fontos alkotóeleme a jód. A jód a gyomor-bél traktusból, illetve a tüdőn keresztül könnyen felszívódik. A radioaktív jód néhány perccel a szervezetbe jutás után a pajzsmirigy hámsejtékben, 12 órával utána az ún. kolloid állományban dúsul fel.

## AZ ALKALMAZOTT MÉRŐRENDSZEREK ÉS KALIBRÁCIÓJUK

A  $^{125}\text{I}$  felezési ideje 60 nap, a  $^{125}\text{I}$  kis energiákon emittál röntgen és gamma fotonokat, melyek max. energiája 35,5 keV, ezért a kimutatásnál igen fontos a megfelelő árnyékolás és a kis foton energiák mérésére alkalmas detektor.

### Az MTA EK laboratórium mérőrendszere és kalibrációja

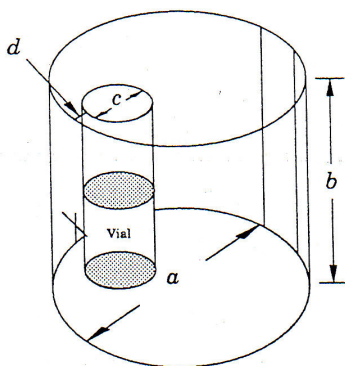
A felvett jód izotóp aktivitásának meghatározására az MTA EK Környezetvédelmi Szolgálatnál (KVSZ) egy speciális, kifejezetten pajzsmirigyméréshez kifejlesztett mérőrendszert alkalmaztunk. A rendszer  $\varnothing 40 \times 6,3$  mm-es, kis energiájú fotonok mérésére alkalmas NaI(Tl) kristállyal ellátott spektrumstabilizált szcintillációs detektorból, erősítőből, spektrumanalizátorból és speciális kollimátorral ellátott ólom árnyékolásból áll (1. ábra). A teljesenergia csúcsra vonatkozó hatásfokok meghatározását három mérési pozícióban végeztük el.



1. ábra: Az MTA EK KVSZ pajzsmirigymérő rendszere

Ezzel párhuzamosan a KVSZ egészsztesztzámlálójának HPGe detektorával is történtek mérések. Az egészsztesztzámlálás mérés egy 30%-os relatív hatásfokkal rendelkező és kis energiás fotonok mérésére is alkalmazható HPGe félvezető detektorral, a pajzsmirigy feltételezett helye felett tipikusan 20 cm távolságra, fix pozícióban történt, feltételezve, hogy a mérendő személy fekvő helyzetben helyezkedik el.

A kalibráláshoz az ICRU Report 48-ban bemutatott IAEA/ANSI típusú nyakfantomot használtuk (2. ábra). A fantom plexiből készült henger, melynek átmérője és magassága azonos (12,7 cm), a hengerben a palást felszínétől 5 mm-re egy 3 cm átmérőjű hengeres üreg található, ebbe helyeztük a hengeres küvetta bémért 20 ml ismert aktivitású kalibráló oldatot. Megjegyezzük, hogy az alkalmazott nyakfantomot eredetileg  $^{131}\text{I}$  izotóp mérésére dolgozták ki, ami valószínűsíti, hogy  $^{125}\text{I}$  kis energiás fotonjaira alkalmazva geometriai okokból bizonyos alulbecslést, míg a gyengítési effektus következtében felülbecslést eredményezhet egy antropomorf kiképzésű fantommal szemben.



2. ábra: Az MTA EK KVSZ és Izotóp Intézet Kft. által kalibrálásra használt nyakfantom [3]

A kalibrálást három különböző aktivitáskoncentrációjú oldattal végeztük. A hatásfok (cps/kBq) meghatározásánál a Genie program által számított, valamint a 15,1–51,3 keV-es energia intervallumon belüli háttér nélküli csúcsterületet vettük figyelembe, majd a mért beütésszámokat az aktivitás függvényében ábrázoltuk az Origin program segítségével. A hatásfokot egyenes illesztéssel határoztuk meg, melynek értékeit a pajzsmirigymérő választott mérési pozícióiban az 1. táblázatban tüntettünk fel.

1. táblázat: A KVSZ pajzsmirigy aktivitást mérő rendszereinek jellemzői és  $^{125}\text{I}$ -re vonatkozó hatásfokai

Detektor	Pozíció	Kollimátor	Távolság (cm)	Hatásfok (cps/kBq)
NaI(Tl)	Ülő - 1	van	Kollimátortól 12,5	0,50
NaI(Tl)	Ülő - 2	van	Kollimátortól 4,0	0,78
NaI(Tl)	Ülő - 3	nincs	Detektortól 12,5	2,48
HPGe	Fekvő	nincs	Detektortól 20,0	5,18

#### *Az Izotóp Intézet Kft. mérőrendszere és kalibrációja*

Az Izotóp Intézet Kft. belső sugárvédelmi laboratóriumában a pajzsmirigymérő rendszer két különálló szcintillációs mérőfejből és kétcsatornás impulzus számlálóból áll. A  $^{125}\text{I}$  mérésére alkalmas mérőfej detektoraként egy 40 mm átmérőjű többfunkciós, szendvics-szerűen összeállított szcintillátor szolgál, mely széles foton-energia tartományban használható. A detektor árnyékolását a szcintillátor elé helyezett kónikus apertúra egészíti ki, így az alkalmazott mérési geometria hasonlít, az MTA EK laboratóriumában használt mérőrendszer kollimátor nélküli geometriájához (3. ábra). Az Izotóp Intézet Kft. sugárvédelmi laboratóriumában ezt a pajzsmirigymérő rendszert, a KVSZ által is használt és a fentiekben bemutatott nyakfantommal kalibráltuk. A kalibráció során a nyakfantom az apertúra külső felületéhez illetve 10,5 cm távolságra került a szcintillátor árnyékoláson belüli felszínétől (2. táblázat).



3. ábra: Az Izotóp Intézet Kft. pajzsmirigymérő rendszere

A mérési eredményekre illesztett egyenes meredeksége alapján számított hatások 3,73 cps/kBq-nek adódtak.

2. táblázat: Az Izotóp Intézet Kft. pajzsmirigy aktivitást mérő rendszerének jellemzői és  $^{125}\text{I}$ -re vonatkozó hatások

Detektor	Pozíció	Kollimátor	Távolság (cm)	Hatások (cps/kBq)
NaI(Tl)	Ülő - 4	nincs	Szcintillátor felületétől 10,5	3,73

A KVSZ által meghatározott hatásokhoz képest az Izotóp Intézet Kft. detektor hatások eltér egymástól egyrészt a detektorok, de főként a mérési pozíciók különbözősége miatt.

## IN VIVO MÉRÉSEK

### *Mérési program*

Az inkorporációs eseményt követően az Izotóp Intézet Kft. felkérésére, az érintett dolgozó a KVSZ-ben is mérésre került. A mérés során kimutatható volt a  $^{125}\text{I}$  jelenléte jelentős aktivitással. Minthogy az ebből becsült lekötött effektív dózis értéke meghaladta a 6 mSv vizsgálati szintet, szükségessé vált a belső sugárterhelés mértékének minél pontosabb meghatározása. A két laboratórium megegyezett, hogy a pajzsmirigy-mérő rendszerek és az egészségtesztámláló bevonásával tovább folytatja a méréseket. Ismeretes, hogy a pajzsmirigy-működés többféle okból nagymértékben személyfüggő, ami alapvetően befolyásolja a sugárterhelés mértékét, ezért a retenció időbeli változásának nyomon követése volt a feladat, az aktivitás felvétel és az ebből származó lekötött effektív dózis megbízható becslése érdekében. Az inkorporációs eseményt követően a dolgozó további elszennyeződésére nem kerülhetett sor, és csak a mérő laboratóriumokat látogatta a további mérések elvégzése érdekében.

Minthogy az eseményt követő több mint két hetes időszakra nem áll rendelkezésre értékelhető mérési adat, az inkorporált személy pajzsmirigyének  $^{125}\text{I}$  tartalmát az inkorporációt követő 19. napon mértük először, majd a 47., 79., 136., 169., 297. napon folytattuk a mérést a KVSZ és az Izotóp Intézet Kft mérőeszközeivel, az egyeztetett mérési geometriákban. (3. táblázat, 3. ábra és 4. ábra). A mérési időpontokat az inkorporációt szenvedett személy rendelkezésre állása szabta meg.



4. ábra:  $^{125}\text{I}$ -el inkorporált személy pajzsmirigymérése, 4/a. ábra: KVSZ pajzsmirigymérővel (2. pozíció), 4/b. ábra: egésztestszámlálóval

### Eredmények

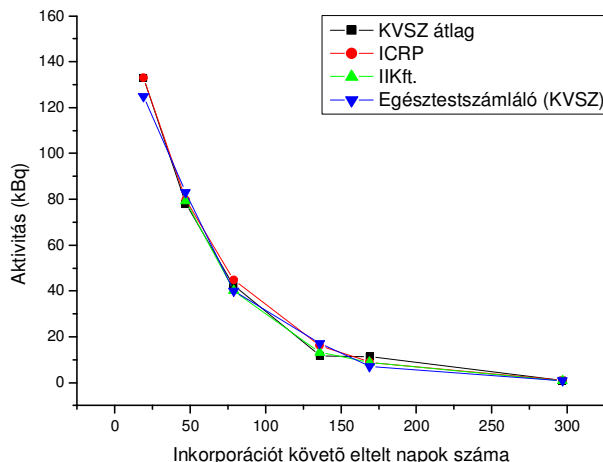
Az in vivo mérési eredményeket tartalmazza a 3. táblázat, melyben feltüntettük mind a három mérőeszköz által, az összesen öt mérési pozícióban nyert adatokat, továbbá a KVSZ PM átlag első mérési időpont adataira, a MONDAL3 program alapján normált un. ICRP értékeket.

3. táblázat. Az inkorporációt elszenvedett személy pajzsmirigyének, a különböző elrendezésben mért aktivitásai, a felvételtől számított időpontokban

Eszköz/Geometria	A felvételtől eltelt idő (nap)					
	19	47	79	136	169	297
	Pajzsmirigy aktivitás (kBq)					
KVSZ: PM mérő-1	125	92	38,6	15,5	9,7	1,32*
KVSZ: PM mérő-2	141	79	45,7	11,0	10,8	0,76
KVSZ: PM mérő-3	228*	63	42,6	9,0	13,3	0,86
KVSZ: PM átlag	133	78	42,3	11,8	11,3	0,81
KVSZ: Egésztest	125	83	40	17,1	7,2	0,85
II. Kft: PM mérő-4	na	79,1	39,9	13,2	8,9	0,69
ICRP	133	79,6	44,8	16,2	8,9	0,91

\*az átlagolásból kihagyva

A mérési eredmények alapján (5. ábra) látható, hogy az egésztestszámlálóval és a pajzsmirigymérő berendezésekkel végzett mérések eredményei nagy vonalakban követik az ICRP-ben foglaltakat. Az Izotóp Intézet Kft. a 19. napon, egy olyan mérési pozíciót alkalmazott, ami nem illeszkedett a mérési sorozathoz, ezért azt nem vettük figyelembe. A továbbiakban a KVSZ pajzsmirigymérő rendszerének különböző mérési pozíciók eredményeinek átlagát vettük alapul.



5 ábra: A KVSZ és II. Kft. által mért  $^{125}\text{I}$ -től származó aktivitások a pajzsmirigyben

A 3. táblázat adatai jól mutatják az *in vivo* mérések nehézségeit, különösen olyan mérési geometriában, melynél a személy testhelyzete, kényelmi okokból nehezen tartható és így a méréssorozat alatt reprodukálhatósága sem biztosított. Különösen szembevetendő a 19. napon a 3-as és a 297-ik napon az 1-es pozícióban mért adatok eltérése a többitől. Tehát a helyes pozicionálás és a lehetőleg mozdulatlan testtartás hiánya okozhat jelentős eltéréseket is, mivel a kis energiájú fotonok detektálási határfoka igen érzékeny a távolságra. Célszerűen több mérési pozíciót alkalmaztunk, így a közeli mérések erős geometriai (távolság, szög) paraméter érzékenységből adódó eltérések csökkenthetők. Az eltérések nem csak a geometriai pozíció, mozgás, hanem a humán anatómiai aszimmetriának is köszönhető.

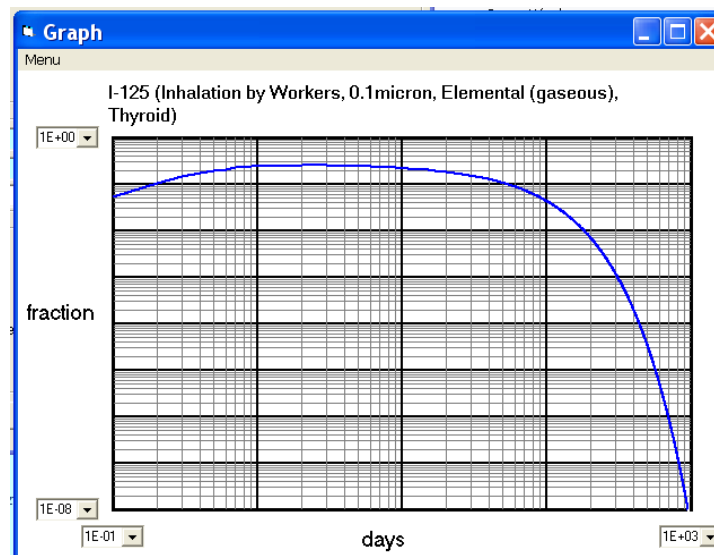
Amennyiben a MONDAL3 program által alkalmazott ICRP modellel számítjuk ki az egyes mérési időpontokban várható pajzsmirigy aktivitás értékeket úgy, hogy ránormáljuk a 19. napon mért aktivitásokhoz, akkor meglehetősen jó egyezést kapunk a mért és a számított retenciós adatok többségénél, mint ahogy az az 5. ábrán is jól látható.

### Dózisbecslés

A szervezetbe felvétel útján bekerült  $^{125}\text{I}$  mennyiségét és az abból származó lekötött effektív dózist a MONDAL3 program (3.01 verzió) segítségével határoztuk meg (6. ábra. és 7. ábra. ábra). A program alkalmas a belső sugárterhelés meghatározása érdekében végzett mérések értelmezésére az izotóp felvétel és ezen keresztül a lekötött effektív dózis kiszámításával. A kód bemeneti paramétereit az esetleírás adatai alapján adtuk meg azzal a feltételezéssel, hogy a gőz halmazállapotú, és elemi jód kémiai formában lévő  $^{125}\text{I}$ , akut módon, belégzés útján került a dolgozó szervezetébe. A program bemenő adatai között szerepel még a mért aktivitás, a felvételtől eltelt idő valamint, hogy a mérés a pajzsmirigy aktivitására irányult. A program lényegében az ICRP Publ. 78-ban közölt biokinetikai és dozimetriai modelleket alkalmazza a számítások során.

The screenshot shows the MONDAL Ver. 3.01 software interface. The main window is titled "MONDAL Ver. 3.01" and has a menu bar with "File", "Setup", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a section for "Radionuclide / Intake route and Subject". The "Radionuclide" is set to "I-125", the "Half-life" is "60.1 d", and the "Decay constants" are " $\lambda$ (0.027-0.032MeV)140%, gamma(0.035MeV)6.7%". There are four radio buttons for intake routes: "Inhalation by Workers" (selected), "Inhalation by Members of the Public", "Ingestion by Workers", and "Ingestion by Members of the Public". Below this is the "AMAD or Age / Type or f1" section, with "AMAD" set to "0.1micron", "Absorption Type" set to "Elemental (gaseous)", and "Elemental iodine" selected. The "Mode of Intake" section has "Acute" selected, with "Chronic" and "Uneven Chronic" also available. The "Measurement" section includes a "Measurement" dropdown set to "Thyroid", a "Graph" button, "Working hours" and "Calculation" buttons, and a "Period of intake" dropdown set to "days". The "Measured at" field is "19 days after last intake" and the "Measured activity" is "133000 Bq". The "Result" section shows "Fraction at measurement day" as "1.87E-01 Bq/Bq", "Activity of intake" as "7.1E+05 Bq", and "Effective dose" as "1.0E-02 Sv". There are buttons for "Exit", "Print form", "Print result", "Save to file", and "Tissue equivalent dose".

6. ábra: A MONDAL3 program input paramétereit (19. napra) [1]



7. ábra: A MONDAL3 program grafikus eredménye, a várható retenció az eltelt napok függvényében [1]

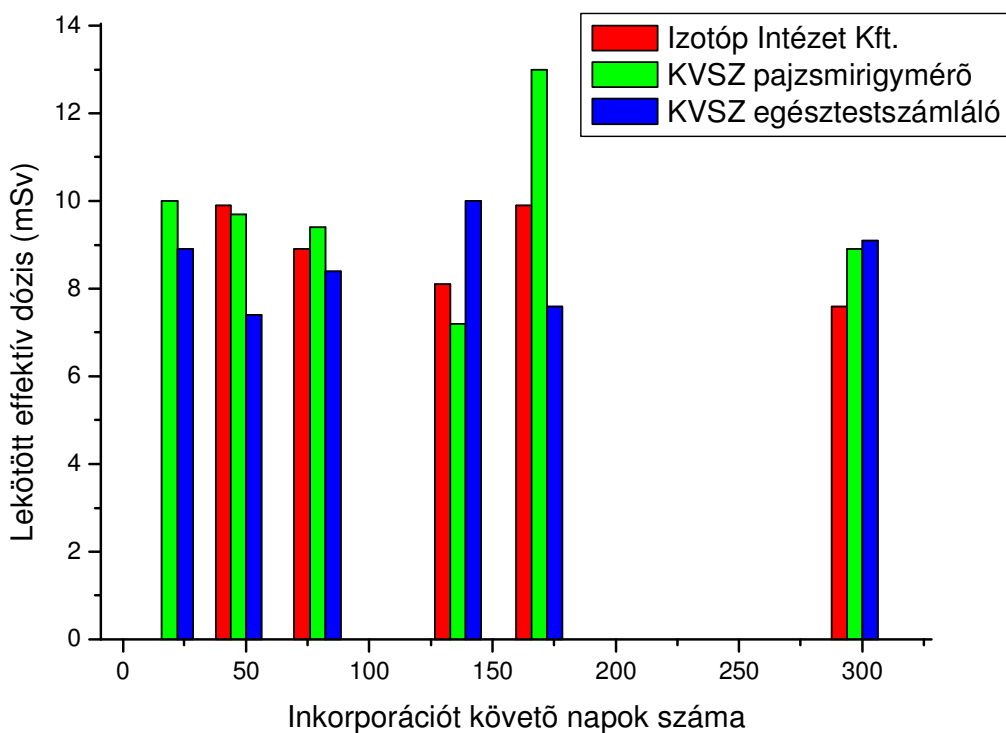
A KVSZ és Izotóp Intézet Kft. a mért beütésszám alapján határozta meg a pajzsmirigy aktivitását. A pajzsmirigy aktivitás felvételét és az ebből származó effektív dózisbecslést a KVSZ pajzsmirigymérő rendszerének mért adatainak átlagát és az Izotóp Intézet Kft. adatsorát adtuk meg bemenő adatként a MONDAL3 kódnak. A MONDAL3 kód által számolt aktivitás felvétel és az ebből származó effektív dózis eredmények láthatóak a 4. táblázatban.



4. táblázat: A MONDAL3 program segítségével számolt aktivitás felvétel és lekötött effektív dózis értékek az egyes mérőhelyeken, különböző mérési időpontokban mért aktivitások alapján.

Eltelt napok száma	Izotóp Intézet Kft.		KVSZ PM átlag		Egésztest számláló KVSZ	
	Felvétel (Bq)	Lekötött effektív dózis (Sv)	Felvétel (Bq)	Lekötött effektív dózis (Sv)	Felvétel (Bq)	Lekötött effektív dózis (Sv)
19	-	-	7,1E+05	1,0E-02	6,3E+05	8,9E-03
47	7,1E+05	9,9E-03	7,0E+05	9,7E-03	5,3E+05	7,4E-03
79	6,3E+05	8,9E-03	6,7E+05	9,4E-03	6,0E+05	8,4E-03
136	5,8E+05	8,1E-03	5,2E+05	7,2E-03	7,3E+05	1,0E-02
169	7,1E+05	9,9E-03	5,5E+05	1,3E-02	5,4E+05	7,6E-03
297	5,4E+05	7,6E-03	6,3E+05	8,9E-03	6,5E+05	9,1E-03
Átlag	6,34E+05	8,88E-03	6,3E+05	9,7E-03	6,0E+05	8,35E-03

A 4. táblázat alapján megállapítható, hogy a különböző napokon és mérőhelyeken mért pajzsmirigy aktivitás adatokból, a MONDAL3 kód által számított aktivitás felvétel (Bq) és lekötött effektív dózis (Sv) értékek – figyelembe véve a mérési bizonytalanságokat – elfogadható egyezést mutatnak. Erre utal a 8. ábra is, mely a számított lekötött effektív dózis értékeket szemlélteti.



8. ábra: A Mondal kód által számított lekötött effektív dózis (mSv) értékek különböző időpontokban mért aktivitásokból számolva



Összefoglalva megállapítható, hogy a MONDAL3 program alapján számolt pajzsmirigy aktivitások időbeli lefutása a 19-ik napot követően jó közelítésben megegyezik a mért adatokkal, így okkal feltételezhető, hogy a program által alkalmazott ICRP referencia modellek jól leírják az érintett személy egyedi biokinetikai viszonyait és így a program megbízható adatokat szolgáltat az adott személy sugárterhelésére.

## ÖSSZEGZÉS

A radioaktív jód bontásakor a műveletet végző dolgozó szervezetébe a feltételezések szerint radioaktív  $^{125}\text{I}$  izotóp tartalmú gőz került. A mérési adatok alapján a jód a pajzsmirigyben halmozódott fel az élettani sajátosságok következtében (más testrész mérésénél nem volt kimutatható a  $^{125}\text{I}$  jelenléte).

A KVSZ és Izotóp Intézet Kft. ugyanazon kalibráló forrással és standard nyakfantommal kalibrálta a pajzsmirigymérő rendszereket. A mérések megbízhatóságát javította a mérési geometriák összehangolása és a laboratóriumok közötti összehangolt együttműködés.

A kalibrálást követően az inkorporációt szenvedett dolgozót több időpontban mértük pajzsmirigy-mérő rendszerekkel és kiegészítettük egésztestszámlálóban végzett mérésekkel is. A több mérési pozícióban végzett mérések rámutattak arra, hogy pajzsmirigymérés esetén a mérési geometria és a távolság nagyban befolyásolja a mérés pontosságát. A két különböző laboratóriumban hosszú időszak alatt elvégzett mérések jól megközelítettek az ICRP modellben leírt elméleti kiürülési tendenciát.

A MONDAL 3 kód által számított effektív dózisos meghaladták a 6 mSv-et, ami bejelentési kötelezettség alá került és kivizsgálást vont maga után. A mérések megbízhatóságának, reprodukálhatóságának javítása érdekében célszerű kifejezetten  $^{125}\text{I}$ -ra alkalmasabb fantomot készíteni, illetve további kalibrálásokat végezni a REMCAL nyakfantommal.

## IRODALOM

- [1] MONDAL3, version 3.01, National Institute of Radiological Sciences (NIRS), Japan
- [2] ICRP 30, ICRP Publication 30: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, (Oxford: Pergamon Press), 1979.
- [3] Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection, ICRU Report 48, Appendix B, 98. oldal, Bethesda, Maryland, 1992.
- [4] ICRP 78, ICRP Publication 78: Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing), (Oxford: Pergamon Press), 1997.