

TK 155.618

KFKI-1984-38

ZOMBORI P.  
NÉMETH I.  
ANDRÁSI A.  
GERMÁN E.  
KEMENES L.

KÖRNYEZETI DÓZISINTENZITÁS HELYSZÍNI  
MEGHATÁROZÁSA  $Ge(Li)$ -SPEKTROMETRIÁVAL  
A MÓDSZER ALKALMAZÁSA

*Hungarian Academy of Sciences*

CENTRAL  
RESEARCH  
INSTITUTE FOR  
PHYSICS

BUDAPEST

2017

KÖRNYEZETI DÓZISINTENZITÁS HELYSZÍNI  
MEGHATÁROZÁSA  $Ge(Li)$ -SPEKTROMETRIÁVAL

A MÓDSZER ALKALMAZÁSA

ZOMBORI P., NÉMETH I., ANDRÁSI A.

Központi Fizikai Kutató Intézet  
1525 Budapest 114, Pf.49

GERMÁN E., KEMENES L.

Paksi Atomerőmű Vállalat  
7031 Paks Pf.71

## KIVONAT

Reportunkban a környezeti dózisteljesítmény Ge(Li) spektrometriával történő helyszíni meghatározását ismertetjük.

Méréseket végeztünk a paksi atomerőmű környezetében és részt vettünk nemzetközi összemérésekben is. Eredményeinket összevetettük korábbi mérések adataival. Meghatároztuk a rendszer érzékenységét néhány természetes és mesterséges radioizotópra.

Ugy találtuk, hogy Ge(Li) detektor alkalmazásával a mesterséges radioaktivitás kimutathatósági szintje kb. egy nagyságrenddel csökkent.

## АННОТАЦИЯ

В работе описывается определение мощности дозы окружающей среды, осуществляемое на местах с помощью спектрометрии с Ge(Li)-детектором.

Измерения проводили в окрестности АЭС "Пакш", а также принимали участие в международных сличениях. Полученные результаты сравнили с данными более ранних измерений. Определили чувствительность системы по нескольким естественным и искусственным радиоизотопам.

Нашли, что при применении Ge(Li)-детектора предел чувствительности к искусственной радиоактивности улучшается, примерно, на один порядок.

## ABSTRACT

The in situ determination of the environmental dose rate by Ge(Li) spectrometry is discussed in this report.

We carried out the measurements in the vicinity of the Paks Nuclear Power Station and also participated in international intercomparisons. The results were compared to the data of previous measurements. We determined the sensitivity of the system for some natural and manmade radionuclides.

It was found that the detection limit for manmade radioactivity decreased by one order of magnitude using this method.

## T A R T A L O M

1. Bevezetés .....	1
2. A mérőrendszer és a mérési módszer .....	2
3. Helyszini mérések a paksi atomerőmű környezetében .....	9
4. KGST összemérés Csehszlovákiában .....	25
5. Csehszlovák-magyar összemérés a paksi atom- erőmű környezetében .....	36
6. Következtetések .....	49
Hivatkozások .....	63

1014727

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

## 1. Bevezetés

1982-ben lezárult a paksi atomerőmű környezetében végzett sugárzási alapszintmérési program, amelynek során három éven át, évente több alkalommal végeztünk helyszíni méréseket az erőmű körzetének 23 pontján a PAV Környezetellenőrző Laboratóriumának mérőkocsijával. A NaI/Tl/ spektrométerrel és GM-csőves detektorokkal felszerelt mozgó laboratórium segítségével meghatároztuk az egyes mérési pontokon kialakuló gamma sugárzási tér minőségi összetételét, időbeli változását, komponensenkénti és együttes dózisteljesítményét és az egyes természetes radioizotópok átlagos talajbeli aktivitáskoncentrációját. A legérzékenyebbnek adódó NaI/Tl/-spektrometriai módszerrel jól mérhetők a természetes radionuklidok gamma-vonalai, az erőműtől származó, várhatóan kismértékű környezeti szennyeződés kimutatására azonban a rosszabb felbontóképesség miatt csak korlátozottan alkalmas. Erre utalt az is, hogy az alapszintmérés során felvett spektrumokból a világmérvű lerakódásból származó  $^{137}\text{Cs}$  gammavonalának intenzitását, így az attól származó dózisteljesítmény-járulékot is csak nagy hibával, tulajdonképpen csak becslés jelleggel tudtuk meghatározni. Ez készítette a Paksi Atomerőmű Vállalatot arra, hogy a mérési lehetőségeknek a jobb energiafelbontás irányába történő kiterjesztése érdekében egy Ge/Li/ detektort a szükséges elektronikus egységekkel együtt beszerezzen.

Az új mérőberendezés rendszerbeállításának első lépéseként 1982. során elvégeztük a spektrométer kalibrálását, meghatároztuk mindazokat a mennyiségeket, amelyek a

mérések kiértékeléséhez, a mért spektrumokból dozimetriai adatok kiszámításához szükségesek. Erről a munkáról az elmúlt évi jelentésünkben számoltunk be [1]. A laboratóriumi kalibrációs mérésekhez használt kísérleti összeállításról át kellett térnünk a tényleges helyszini mérésekre alkalmas, mozgó laboratóriumi berendezésekre, amely számos technikai jellegű problémát vetett fel. Ezek megoldása és az első helyszini környezeti mérések elvégzése, kiértékelése és interpretálása alkotta munkánk zömét az elmúlt év során. Az új Ge/Li/-spektrometriai módszer eredményei, összehasonlítva a korábban alkalmazott módszerekével, messzemenően igazolták elképzeléseinket, alkalmazásával kb. egy nagyságrenddel csökken a környezetbe kijutó radioaktivitás kimutathatósági szintje. A berendezés a paksi környezetellenőrző rendszer mozgó laboratóriumának szerves része, amellyel a jövőben rendszeres környezeti mérések, szükség esetén rendkívüli baleseti felmérés is végezhető.

## 2. A mérőrendszer és a mérési módszer

A környezeti dózisteljesítmény helyszini mérésére szolgáló berendezések egy terepjáró gépkocsiban foglalnak helyet.

Az 1979-82. között végzett alapszintméréseket egy 3" x 3"-es NaI/Tl/ detektorral és egy GM-csőves detektorpárral végeztük /az egyik detektor ón és ólom árnyékolással van ellátva/. A szcintillációs detektor információt szolgáltat a környezeti sugárzás minőségi elemzéséhez,

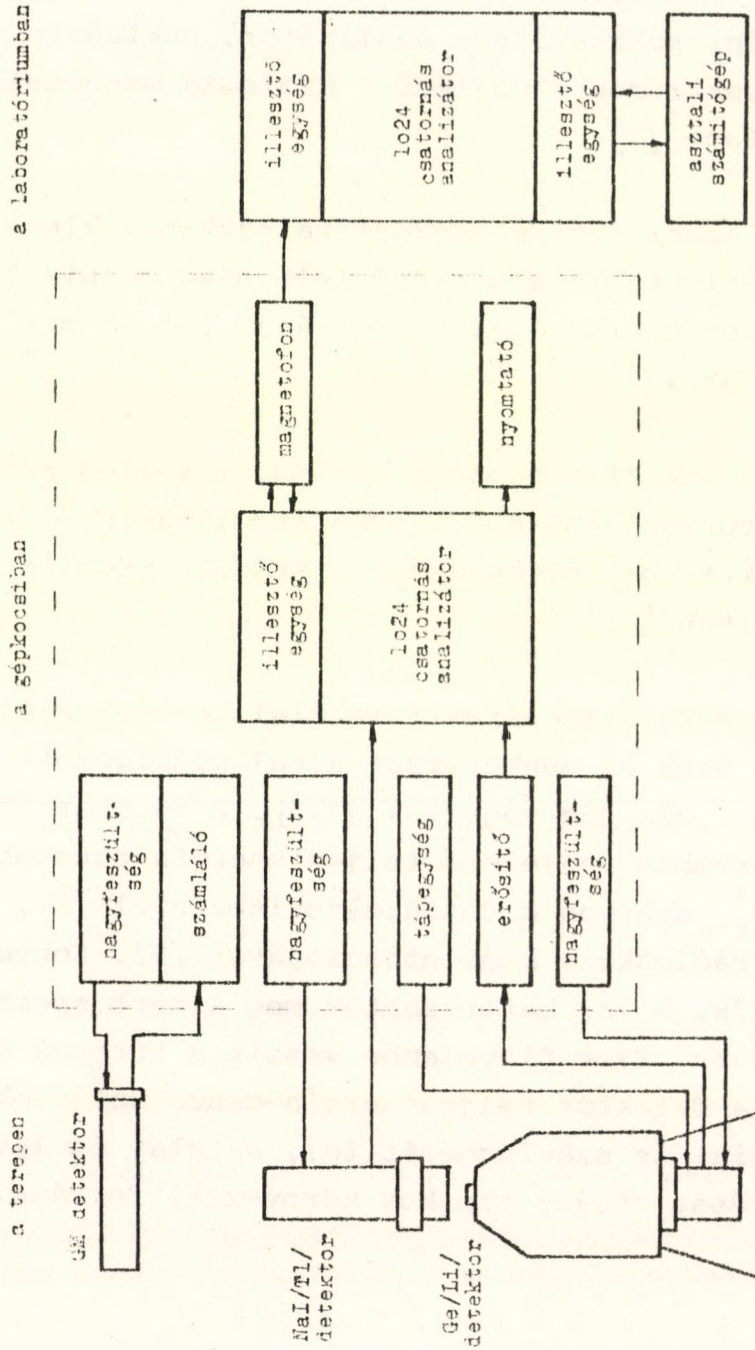


a GM-csöves detektorok jelzései pedig közvetlenül összevethetők az erőmű környezetében telepített mérőállomások GM-csöves szintjelzésének adataival. A gépkocsiban helyezkednek el a detektorokat ellátó berendezések: nagyfeszültségű tápegység, sokcsatornás analizátor, nukleáris spektrométer és a spektrumok rögzítésére szolgáló magnetofon, valamint interface [2].

A mozgó laboratórium eszköztára 1982-ben kiegészült egy  $85 \text{ cm}^3$  aktív térfogatu talaj felé néző Ge/Li/ detektorral és a hozzátartozó elektronikával [1]. A mérőrendszer vázlata az 1. ábrán látható.

A spektrumok kiértékelése a Környezetellenőrző Laboratóriumban történt EMG 666 típusu számítógéppel [2]. A Ge/Li/ spektrumok értékelésére a MEASSYS programrendszert használtuk [3].

A környezeti gamma-spektrometriai mérések kiértékelését a H.L. Beck és munkatársai által kidolgozott ún. "csucsmódszer" alapján végeztük [4,5]. A módszer lényege, hogy a spektrumban megjelenő teljes energia-csúcsok intenzitása  $N_f$  arányos a dózisteljesítménnyel  $\dot{X}$ , illetve a forrás radioaktív koncentrációjával  $S$ . Konverziós tényezők  $N_f/S$ ,  $N_f/\dot{X}$  határozhatók meg a mért spektrum minden csúcsára. Ezek figyelembe veszik a fotonok szögeloszlását, a detektor teljesenergia-csúcs hatásfokát /annak energia- és szögfüggését is/, a talaj és levegő gyengítő hatását néhány tipikus környezeti forráseloszlás esetén.



1. ábra: A mérőrendszer

A konverziós tényezők további faktorok szorzatára bonthatók:

$$\frac{N_f}{S} = \frac{N_f}{N_o} \cdot \frac{N_o}{\phi} \cdot \frac{\phi}{S}$$

$$\frac{N_f}{\dot{X}} = \frac{N_f}{S} \cdot \frac{S}{\dot{X}}, \text{ ahol}$$

$N_f$  a teljesenergia-csucsban mért számlálási sebesség /cps/,  $S$  a forrás talajbeli radioaktív koncentrációja /Bq.kg<sup>-1</sup> vagy Bq.cm<sup>-3</sup>/,  $N_o$  a teljesenergia-csucsban mért számlálási sebesség /cps/, ha a forrás a detektor tengelyében helyezkedik el,  $\phi$  az ütköztelen gamma foton fluxus /foton.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>/ 1 m-rel a talaj felett,  $\dot{X}$  pedig az ott mérhető levegőbeni dózisteljesítmény /nGy.h<sup>-1</sup>/.

A kalibráció során meghatároztuk pontszerű sugárforrások segítségével a detektorok érzékenységének energia- és irányfüggését /N/ $\phi$  / [1, 2].

A konverziós tényezők meghatározásához az alábbi forráseloszlásokat tételeztük fel. A természetes eredetű radioizotópok esetén /<sup>40</sup>K, U-Ra sor, Th sor/ a talajban egyenletes /S<sub>o</sub>/, a mesterséges eredetű radioizotópokra talajfelszíni sík eloszlást /S<sub>A</sub>/ tételeztünk fel.

A  $\phi/S$  és az  $S/\dot{X}$  faktorok kiszámításához a szakirodalomban [5] közölt táblázatokat használtuk fel. Az  $N_f/N_o$  értékek meghatározása az érzékenységmátrixok és a fluxus irány szerinti eloszlásának felhasználásával történt [1, 2]. Az 1. táblázat tartalmazza a konverziós tényezőket a NaI/Tl/ detektor esetén [2].

1. táblázat: Konverziós tényezők a dózisteljesítmény-járulékok és a radioaktív koncentrációk számításához NaI/Tl/ detektor esetén

energia /keV/	egyenletes eloszlás		sikkeloszlás	
	$N_f/\dot{X}$ /cps.nGy <sup>-1</sup> .h/	$N_f/S_O$ /cps.Bq <sup>-1</sup> .kg/	$N_f/\dot{X}$ /cps.nGy <sup>-1</sup> .h/	$N_f/S_A$ /cps.Bq <sup>-1</sup> .cm <sup>2</sup> /
609 /U-Ra sor/	1,21 /-1/	5,37 /-2/	-	-
662 / <sup>137</sup> Cs/	7,10 /-1/	1,64 /-1/	1,34	3,37 /1/
1460 / <sup>40</sup> K/	2,40 /-1/	1,01 /-2/	-	-
1760 /U-Ra sor/	2,45 /-2/	1,05 /-2/	-	-
2620 /Th-sor/	3,08 /-2/	2,05 /-2/	-	-

A 2. táblázat tartalmazza Ge/Li/ detektor esetén az egyenletes eloszlású természetes radioizotópokra vonatkozó konverziós tényezőket a spektrumban található legintenzívebb vonalakra [1].

Meghatároztunk számos olyan mesterséges eredetű és sikkeli eloszlású radioizotópra vonatkozó konverziós tényezőt, amelyek az irodalomban közölt tapasztalatok alapján környezeti mintákban várhatóan előfordulnak [1]. A helyszíni mérések során további, korábban nem feltételezett nuklidokat sikerült azonosítani, az is kiderült továbbá, hogy bizonyos esetekben a mesterséges eredetű forrásokat is célszerű egyenletes talajbeli eloszlásúnak feltételezni. A 3. táblázat tartalmazza ezen radioizotópokra vonatkozó konverziós tényezőket mind sikkeli, mind egyenletes forráseloszlások esetén.

2. táblázat: Konverziós tényezők természetes radioizotópokra Ge/Li/ detektor esetén.

izotóp	energia /keV/	$N_f/\dot{X}$ /cps.nGy <sup>-1</sup> .h/	$N_f/S_o$ /cps.Bq <sup>-1</sup> .kg/
<sup>40</sup> K	1460,8	2,84 /-2/	1,22 /-3/
U-Ra sor	295,2	9,60 /-3/	4,26 /-3/
	352,0	1,71 /-2/	7,58 /-3/
	609,4	1,62 /-2/	7,20 /-3/
	1120,4	4,22 /-3/	1,87 /-3/
	1238,2	1,54 /-3/	6,84 /-4/
	1764,6	3,48 /-3/	1,55 /-3/
	2204,5	9,22 /-4/	4,09 /-4/
Th-sor	238,6	1,89 /-2/	1,24 /-2/
	338,5	4,23 /-3/	2,77 /-3/
	583,1	7,77 /-3/	5,09 /-3/
	727,1	1,67 /-3/	1,09 /-3/
	911,1	6,23 /-3/	4,08 /-3/
	968,9	3,79 /-3/	2,49 /-3/
	2614,5	4,29 /-3/	2,81 /-3/

3. táblázat: Konverziós tényezők néhány sík- és egyenletes eloszlású radioizotópra Ge/Li/ detektor esetén.

izotóp	energia /keV/	síkeloszlás		egyenletes eloszlás	
		$N_f/\dot{X}$	$N_f/S_A$	$N_f/\dot{X}$	$N_f/S_O$
		/cps.nGy <sup>-1</sup> .h/	/cps.Bq <sup>-1</sup> .cm <sup>2</sup> /	/cps.nGy <sup>-1</sup> .h/	/cps.Bq <sup>-1</sup> .kg/
<sup>7</sup> Be	477,4	3,39 /-1/	7,53 /-1/	-	-
<sup>54</sup> Mn	834,8	1,27 /-1/ *	4,59	6,65 /-2/	2,34 /-2/
<sup>58</sup> Co	810,8	1,34 /-1/	4,67	6,96 /-2/	2,33 /-2/
<sup>60</sup> Co	1173	3,43 /-2/	3,48	1,90 /-2/	2,05 /-2/
	1333	3,05 /-2/	3,09	1,79 /-2/	1,93 /-2/
<sup>110m</sup> Ag	657,7	4,43 /-2/	5,18	2,10 /-2/	2,40 /-2/
	884,7	2,72 /-2/	3,18	1,41 /-2/	1,62 /-2/
	937,5	1,23 /-2/	1,43	6,70 /-3/	7,63 /-3/
	1384	6,27 /-3/	7,33 /-1/	4,00 /-3/	4,54 /-3/
<sup>137</sup> Cs	661,6	1,85 /-1/	4,60	9,58 /-2/	2,21 /-2/

A GM-csőves detektorpár jelzéseinek értelmezéséhez figyelembe vettük a kozmikus sugárzás által okozott detektorjelzés - járulékot és megmértük a detektorok érzékenységének energia- és irányfüggését. A POKER-CAMP program [6] segítségével meghatároztuk az egyes természetes radioizotópok, illetve sorok egységnyi talajbeli koncentrációjától eredő detektorjelzéseket és dózisteljesítmény-járulékokat, majd átlagos koncentrációkat feltételezve

kiszámítottuk az eredő detektorjelzéseket és a dózisteljesítményt. Az ilyen módon kapott számlálási sebesség - dózisteljesítmény átszámítási képletek árnyékolatlan mérőfej esetén:

$$\dot{X} = \frac{\dot{N} - 1,80}{0,026} ,$$

árnyékolt mérőfej esetén:

$$\dot{X} = \frac{\dot{N} - 1,74}{0,018} , \text{ ahol}$$

$\dot{N}$  a mért számlálási sebesség cps-ben,

$\dot{X}$  a dózisteljesítmény nGy.h<sup>-1</sup>-ban [2].

Átlagos környezeti háttérsugárzás esetén a dózisteljesítmény összbizonytalansága kb. 8 %.

### 3. Helyszini mérések a paksi atomerőmű környezetében

1983. júliusában került első ízben sor a helyszini mérésekre szolgáló Ge/Li/ spektrométer terepen történő kipróbálására. Július 22-24. között az atomerőmű környezetének négy pontján végeztünk méréseket. A mérések az alábbi helyeken történtek:

1. a telepített környezetellenőrző rendszer 6. sz. mérőállomásán, a 6. sz. főut és az erőmű déli bekötőútja találkozásánál,
2. az erőmű szennyvizisztitójának fekáliás ülepitő medencéje melletti iszaphányón,
3. a környezetellenőrző rendszer 5. sz. mérőállomásán, az erőműtől kb. 1,5 km-re délkeletre,
4. a környezetellenőrző laboratórium kertjében.

Az 1., 3. és 4. pontok megválasztásánál azt a szempontot vettük figyelembe, hogy a mérések eredményét össze tudjuk vetni a nullszintmérések során kapott adatokkal. A 2. pont választását az indokolta, hogy az erőmű üzemelése során tervezetten és ellenőrzötten kibocsátott radioaktivitás nagy része a szennyvизtisztító ülepitőjében visszamarad és a kiterített szennyviziszap felett kialakuló sugárzási térben jól mérhető a mesterséges eredetű radioizotópok gamma-kvantumai is.

Minden ponton mindhárom detektorral végeztünk méréseket. A 2000 s-os NaI/Tl/-spektrometriai mérések után 5000 s-ig mértünk a Ge/Li/ spektrométerrel, a spektrometriai mérésekkel egyidőben pedig 1000 s-os méréseket végeztünk az árnyékolt és az árnyékolatlan GM-detektorral. A mérési idők megválasztását egyrészt a megfelelő statisztikai pontosság, másfelől a gyakorlati feltételek szabják meg.

A Ge/Li/ spektrometriai mérések részletes eredményeit a 4., 6., 8. és 10. táblázatok tartalmazzák. A táblázatokban a nettó csúcsterület mellett feltüntettük zárójelben a százalékos statisztikus hibát is. Mivel az U-Ra sor és a Th sor dózisteljesítmény-járulékának meghatározása a sorok több vonala alapján is lehetséges, a keresett járulékot a legintenzívebb vonalak által kapott eredmények egyszerű átlagolásával kaptuk meg. Ugyanigy jártunk el a több vonal alapján meghatározható mesterséges eredetű radioizotópok esetében / $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ / is. Az egy izotóphoz, ill. bomlási sorhoz több vonal alapján meghatározható dózisteljesítmény-járulékokat külön ábrákon tüntettük fel, annak szemléltetésére, hogy a különböző energiákra meghatározott dóziskonverziós tényezők energia szerinti torzítást nem tartalmaznak /ld. 2.-10. ábrák/. A különböző módszerekkel mért dózisteljesítményeket, valamint /ahol



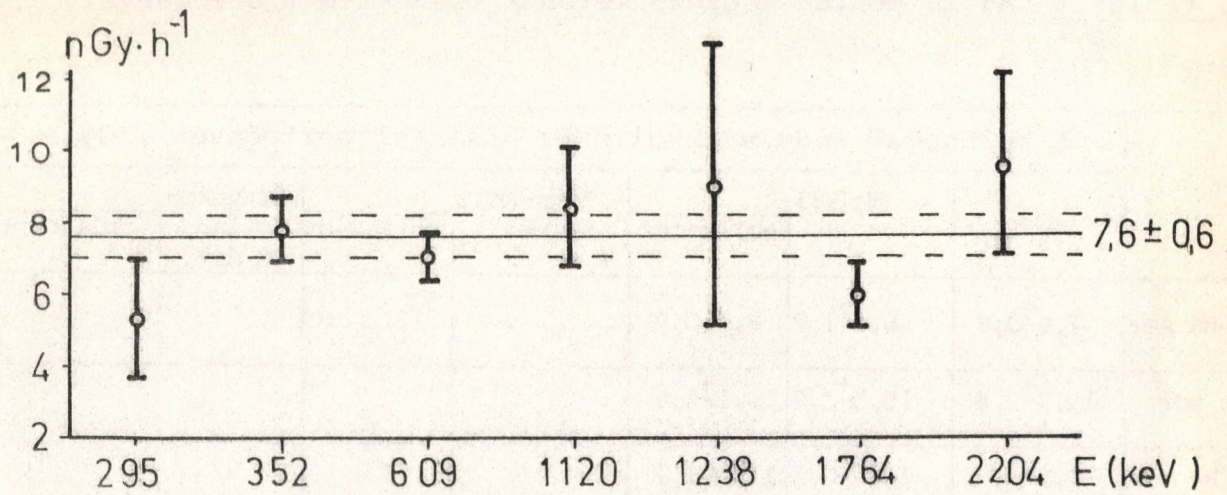
rendelkezésre álltak/ a korábbi nullszintmérés eredményeit mérési pontonként az 5., 7., 9. és 11. táblázatban foglaltuk össze. A szcintillációs spektrumok esetében a mesterséges eredetű izotópokra megadott dózisteljesítmény-járulékok becslés jellegűek, mivel az összetett spektrumból a csúcsterületek csak nagy hibával határozhatók meg. A természetes eredetű radioizotópok talajbeli eloszlását mindig egyenletesnek vettük, a globális falloutból származó radionuklidokra / $^7\text{Be}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ / síkbeli forráseloszlást tételeztünk fel. Az iszaphányó /2. mérési pont/ felett mért spektrumok esetén az iszapban levő mesterséges radioizotópok dózisteljesítményét és becsült aktivitáskoncentrációját mindkét /azaz egyenletes és síkbeli/ eloszlás feltételezésével meghatároztuk, feltételezve, hogy a tényleges forráseloszlás e két szélső eset közé esik.

A 4. mérési ponton a NaI/Tl/ detektor meghibásodása miatt szcintillációs spektrometriai mérést végezni nem tudtunk.

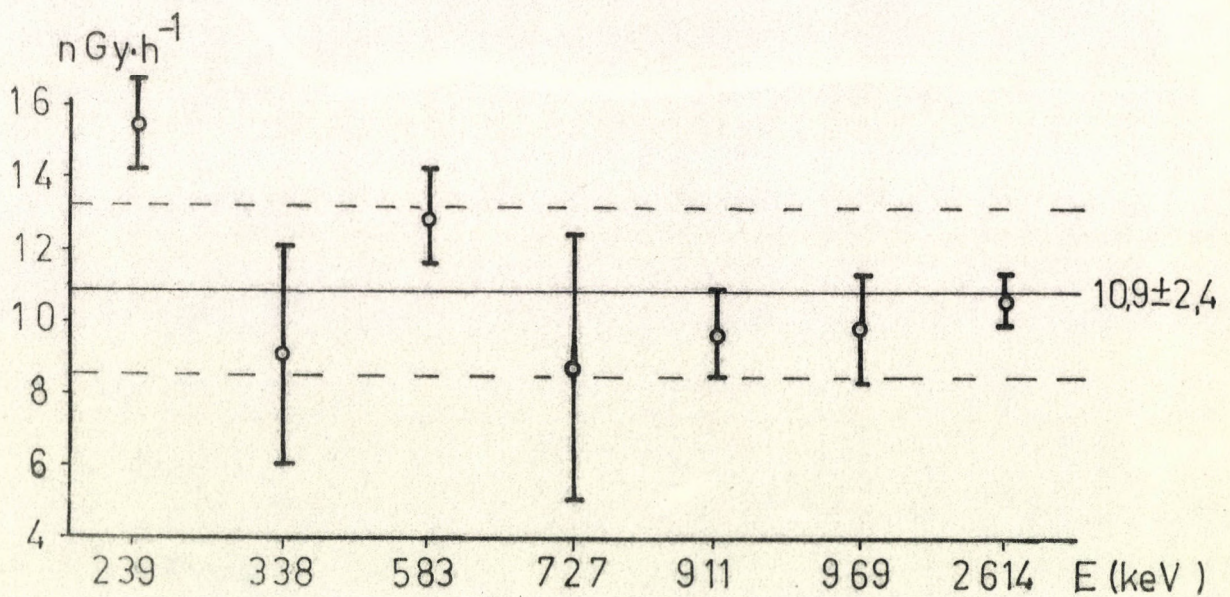
4. táblázat Az 1. ponton végzett Ge/Li/-spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csucs hely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csucsterület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás konc. /Bq.kg <sup>-1</sup> /
84	239	1602 /7,6 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	15,5 ± 1,2	23,7 ± 1,7
103	295	256 /30 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	5,3 ± 1,6	12,0 ± 3,6
118	338	193 /34 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,1 ± 3,1	13,9 ± 4,7
123	352	628 /12 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	7,8 ± 0,9	16,6 ± 2,0
167	477	90 /52 %/	<sup>7</sup> Be	0,05 ± 0,03 <sup>*/</sup>	238 ± 124 <sup>*/</sup>
178	511	295 /17 %/	Ann.	-	-
203	583	502 /10 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	12,9 ± 1,3	19,7 ± 2,0
212	609	564 /8,4 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	6,96 ± 0,58	15,7 ± 1,3
231	662	713 /6,7 %/	<sup>137</sup> Cs	0,77 ± 0,05 <sup>*/</sup>	310 ± 21 <sup>*/</sup>
253	727	73 /44 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	8,7 ± 3,7	13,4 ± 5,9
317	911	301 /12 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,7 ± 1,2	14,8 ± 1,8
337	969	246 /15 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,9 ± 1,5	15,1 ± 2,3
389	1120	177 /19 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	8,4 ± 1,6	19,2 ± 3,6
430	1238	69 /44 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	9,0 ± 3,9	20,2 ± 8,8
507	1460	1688 /2,7 %/	<sup>40</sup> K	11,9 ± 0,3	277 ± 7
613	1764	103 /15 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	5,92 ± 0,89	13,3 ± 2,0
764	2204	44 /26 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	9,5 ± 2,5	21,5 ± 5,6
906	2614	229 /6,6 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	10,7 ± 0,7	16,3 ± 1,1

<sup>\*/</sup> Sikbéli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitás koncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



2. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma vonala alapján az 1. mérési ponton.



3. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma vonala alapján az 1. mérési ponton.

5. táblázat Az 1. ponton végzett mérések összesített eredményei

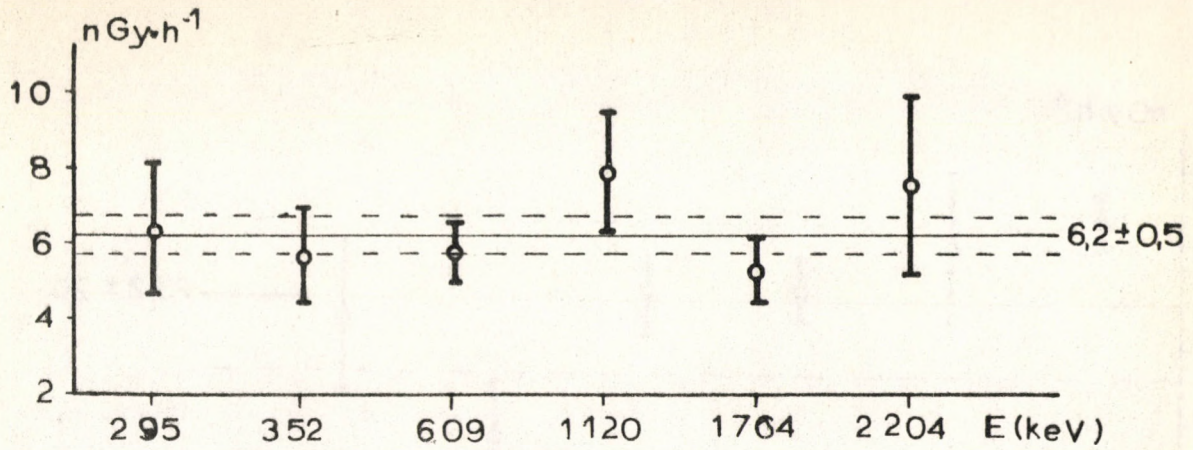
	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /						
	Ge/Li/	NaI/Tl/ nullszint		Árnyékolt GM det.	Árnyéko- latlan GM det.	Árnyéko- latlan GM det.	Árnyéko- latlan GM det.
U-Ra sor	7,6 <sup>±</sup> 0,6	6,1 <sup>±</sup> 1,2	8,9 <sup>±</sup> 0,7				
Th sor	10,9 <sup>±</sup> 2,4	15,5 <sup>±</sup> 0,9	13,1 <sup>±</sup> 1,6				
<sup>40</sup> K	11,9 <sup>±</sup> 0,3	14,7 <sup>±</sup> 0,5	11,0 <sup>±</sup> 1,1				
<sup>137</sup> Cs	0,77 <sup>±</sup> 0,05	1,3 <sup>±</sup> 0,3	0,5 <sup>±</sup> 0,3				
<sup>7</sup> Be	0,05 <sup>±</sup> 0,03	-	-				
teljes	31,0 <sup>±</sup> 2,5	37,6 <sup>±</sup> 1,6	33,5 <sup>±</sup> 2,1	26,5 <sup>±</sup> 2,1	29 <sup>±</sup> 12	30,2 <sup>±</sup> 2,4	30,4 <sup>±</sup> 7,6

6. táblázat A 2. ponton végzett Ge/Li/-spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

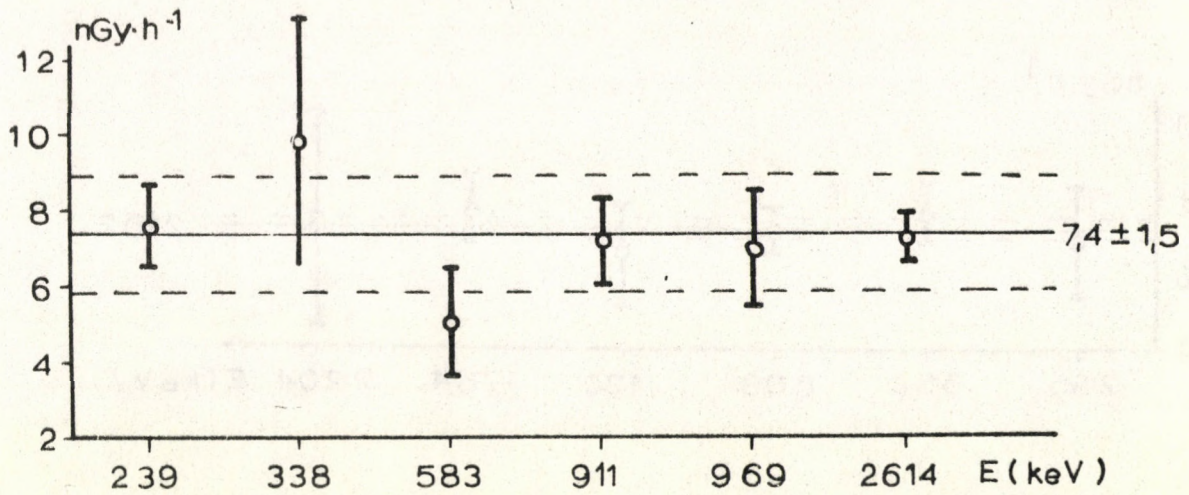
Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csúcsterület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény		Aktivitás koncentráció	
				egyenletes /nGy.h <sup>-1</sup> /	sík	egyenletes /Bq.kg <sup>-1</sup> /	sík /Bq.m <sup>-2</sup> /
83	239	787 /15 %/	<sup>212</sup> Pb/Th/	7,6 ± 1,1	—	11,7 ± 1,7	—
103	295	309 /26 %/	<sup>214</sup> Pb/U-Ra/	6,4 ± 1,7	—	14,5 ± 3,8	—
118	338	210 /33 %/	<sup>228</sup> Ac/Th/	9,9 ± 3,3	—	15,1 ± 5,0	—
123	352	490 /20 %/	<sup>214</sup> Pb/U-Ra/	5,7 ± 1,2	—	12,9 ± 2,6	—
166	477	94 /67 %/	<sup>7</sup> Be	—	0,06 ± 0,05	—	250 ± 170
178	511	518 /13 %/	Ann.	—	—	—	—
203	583	198 /28 %/	<sup>208</sup> Tl/Th/	5,1 ± 1,4	—	7,8 ± 2,2	—
212	609	388 /16 %/	<sup>214</sup> Bi/U-Ra/	4,8 ± 0,8	—	10,7 ± 1,7	—
228	658	2669 /2,9%/	<sup>110m</sup> Ag	25,4 ± 0,7	12,1 ± 0,4	22,2 ± 0,6	1030 ± 30
235	678	233 /21 %/	<sup>110m</sup> Ag	19,6 ± 4,1	9,5 ± 2,0	17,1 ± 3,6	813 ± 170
245	707	454 /10 %/	<sup>110m</sup> Ag	24,9 ± 2,5	12,2 ± 1,2	21,7 ± 2,2	1047 ± 105
258	744	151 /25 %/	<sup>110m</sup> Ag	30,4 ± 7,6	15,0 ± 3,8	26,5 ± 6,6	1290 ± 323
265	764	587 /8,1%/	<sup>110m</sup> Ag	24,7 ± 2,0	12,4 ± 1,0	21,5 ± 1,7	1065 ± 86
281	811	626 /7,5%/	<sup>58</sup> Co	1,80 ± 0,14	0,94 ± 0,07	5,4 ± 0,4	268 ± 20
284	818	167 /20%/	<sup>110m</sup> Ag	22,9 ± 4,6	11,5 ± 2,3	20,0 ± 4,0	985 ± 197
290	835	362 /11 %/	<sup>54</sup> Mn	1,09 ± 0,12	0,57 ± 0,06	3,1 ± 0,3	158 ± 17
307	885	1655 /3,2%/	<sup>110m</sup> Ag	23,5 ± 0,8	12,3 ± 0,4	20,4 ± 0,6	1040 ± 33
316	911	223 /15 %/	<sup>228</sup> Ac/Th/	7,2 ± 1,1	—	10,9 ± 1,6	—
325	937	781 /5,3%/	<sup>110m</sup> Ag	23,5 ± 1,2	13,0 ± 0,7	20,5 ± 1,1	1092 ± 58
336	969	173 /21 %/	<sup>228</sup> Ac/Th/	7,0 ± 1,5	—	10,6 ± 2,2	—

/6. tábl. folytatása/

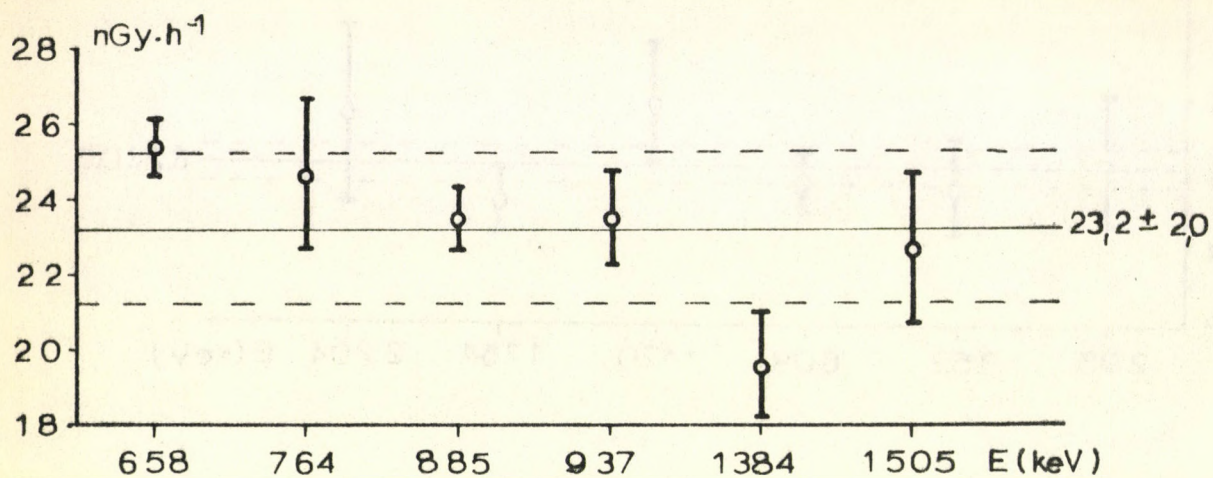
388	1120	166 /20 %/	$^{214}\text{Bi}$ /U-Ra/	$7,9 \pm 1,6$	—	$17,8 \pm 3,6$	—
406	1173	131 /23 %/	$^{60}\text{Co}$	$1,38 \pm 0,31$	$0,76 \pm 0,17$	$1,28 \pm 0,29$	$75 \pm 17$
461	1333	139 /16 %/	$^{60}\text{Co}$	$1,55 \pm 0,24$	$0,91 \pm 0,14$	$1,44 \pm 0,23$	$90 \pm 14$
479	1384	389 /7,2%/	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$19,6 \pm 1,4$	$12,6 \pm 0,9$	$17,1 \pm 1,2$	$1061 \pm 76$
506	1461	1169 /3,2%/	$^{40}\text{K}$	$8,23 \pm 0,26$	—	$191,6 \pm 6,1$	—
511	1476	46 /29 %/	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$14,6 \pm 4,2$	$9,6 \pm 2,8$	$12,8 \pm 3,7$	$821 \pm 238$
521	1505	229 /8,8%/	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$22,7 \pm 2,0$	$14,9 \pm 1,3$	$19,7 \pm 1,7$	$1275 \pm 112$
610	1764	92 /15 %/	$^{214}\text{Bi}$ /U-Ra/	$5,29 \pm 0,79$	—	$11,9 \pm 1,8$	—
763	2204	35 /30 %/	$^{214}\text{Bi}$ /U-Ra/	$7,6 \pm 2,3$	—	$17,1 \pm 5,1$	—
903	2614	157 /8,6%/	$^{208}\text{Tl}$ /Th/	$7,32 \pm 0,62$	—	$11,2 \pm 1,0$	—



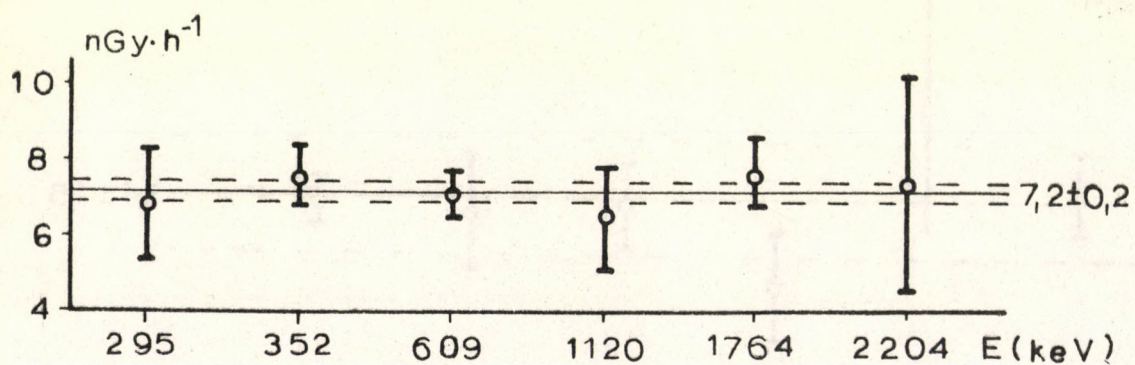
4. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.



5. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.



6. ábra Az  $^{110m}\text{Ag}$  dózisteljesítmény-járuléka a nuklid néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.



7. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.



7. táblázat A 2. ponton végzett mérések összesített eredményei

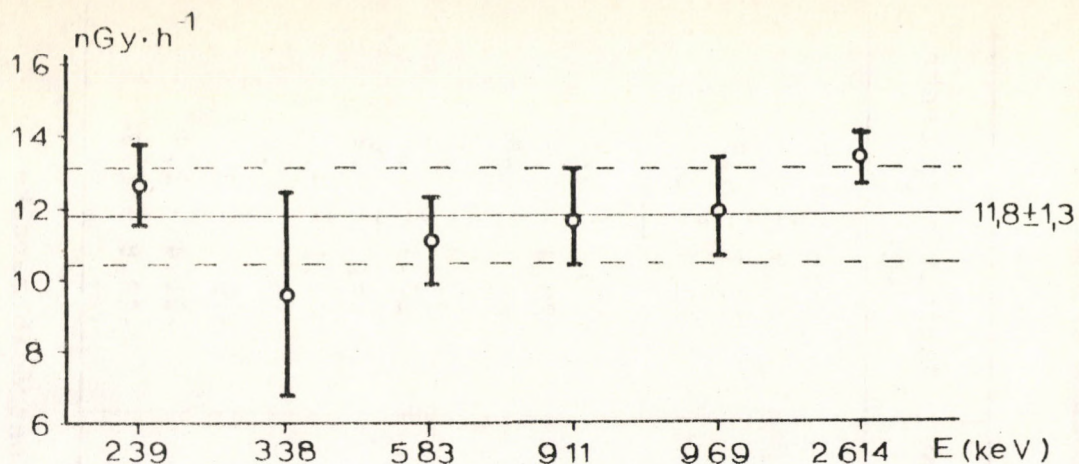
	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM-detektor	Árnyékolatlan GM-detektor
U-Ra sor	6,2 <sup>±</sup> 0,5	5,1 <sup>±</sup> 1,0		
Th sor	7,4 <sup>±</sup> 1,5	7,1 <sup>±</sup> 0,6		
<sup>40</sup> K	8,2 <sup>±</sup> 0,3	11,2 <sup>±</sup> 0,4		
<sup>110m</sup> Ag	23,2 <sup>±</sup> 2,0 /12,9 <sup>±</sup> 1,1/*/	22 <sup>±</sup> 15 /12 <sup>±</sup> 8/*/		
<sup>58</sup> Co	1,80 <sup>±</sup> 0,14 /0,94 <sup>±</sup> 0,07/*/	-		
<sup>60</sup> Co	1,46 <sup>±</sup> 0,20 /0,84 <sup>±</sup> 0,11/*/	1,2 <sup>±</sup> 0,7 /0,7 <sup>±</sup> 0,4/*/		
<sup>54</sup> Mn	1,09 <sup>±</sup> 0,12 /0,57 <sup>±</sup> 0,06/*/	-		
<sup>7</sup> Be	0,06 <sup>±</sup> 0,05/*/	-		
teljes	49,4 <sup>±</sup> 2,6 /37,1 <sup>±</sup> 2,0/*/	47 <sup>±</sup> 15 /36 <sup>±</sup> 8/*/	36,7 <sup>±</sup> 2,9	36,8 <sup>±</sup> 3,0

/\*/ Sikbeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték.

8. táblázat A 3. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcs hely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csúcs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentr. /Bq.kg <sup>-1</sup> /
65	186	216 /52 %/	<sup>226</sup> Ra /U-Ra/	10,9 ± 5,6	24,5 ± 12,8
83	239	1303 /8,7 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	12,7 ± 1,1	19,3 ± 1,7
103	295	332 /20 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	6,9 ± 1,4	15,6 ± 3,1
118	338	202 /29 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,6 ± 2,8	14,6 ± 4,2
123	352	646 /10 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	7,56 ± 0,76	17,0 ± 1,7
166	477	157 /34 %/	<sup>7</sup> Be	0,10 ± 0,03 <sup>*/</sup>	415 ± 141 <sup>*/</sup>
178	511	279 /17 %/	Ann	—	—
203	583	432 /11 %/	<sup>208</sup> Tl/Th/	11,1 ± 1,2	17,0 ± 1,9
212	609	571 /8,3 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	7,05 ± 0,58	15,9 ± 1,3
230	662	1063 /4,8 %/	<sup>137</sup> Cs	1,15 ± 0,06 <sup>*/</sup>	462 ± 22 <sup>*/</sup>
253	727	65 /50 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	7,8 ± 3,9	11,9 ± 6,0
316	911	366 /11 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	11,7 ± 1,3	17,9 ± 2,0
336	969	297 /11 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	12,0 ± 1,3	18,2 ± 2,0
388	1120	138 /21 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	6,5 ± 1,4	14,8 ± 3,1
429	1238	70 /45 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	9,1 ± 4,1	20,5 ± 9,2
506	1461	1569 /2,8 %/	<sup>40</sup> K	11,0 ± 0,3	257 ± 7
611	1764	134 /12 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	7,7 ± 0,9	17,3 ± 2,1
762	2204	34 /38 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	7,4 ± 2,8	16,6 ± 6,3
904	2614	287 /6,3 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	13,4 ± 0,8	20,4 ± 1,3

\*/ Sikkeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitás koncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>



8. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.

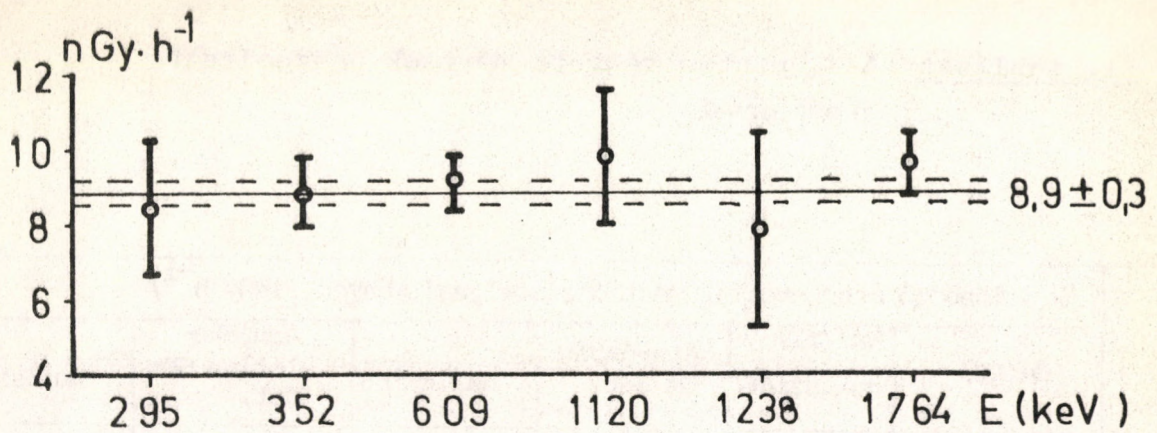
9. táblázat A 3. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /						
	Ge/Li/	NaI/Tl/	nullszint	Árnyékolt GM det.	nullszint	Árnyékolatlan GM det.	nullszint
U-Ra sor	7,2 <sup>±</sup> 0,2	5,8 <sup>±</sup> 1,1	10,3 <sup>±</sup> 3,4				
Th sor	11,8 <sup>±</sup> 1,3	14,7 <sup>±</sup> 0,8	13,6 <sup>±</sup> 1,5				
<sup>40</sup> K	11,0 <sup>±</sup> 0,3	10,1 <sup>±</sup> 0,4	10,4 <sup>±</sup> 0,6				
<sup>137</sup> Cs	1,15 <sup>±</sup> 0,06	1,4 <sup>±</sup> 0,3	0,2 <sup>±</sup> 0,1				
<sup>7</sup> Be	0,10 <sup>±</sup> 0,03	-	-				
teljes	31,3 <sup>±</sup> 1,3	32,0 <sup>±</sup> 1,5	34,3 <sup>±</sup> 3,7	26,4 <sup>±</sup> 2,1	29,3 <sup>±</sup> 6,0	33,4 <sup>±</sup> 2,7	32,4 <sup>±</sup> 2,4

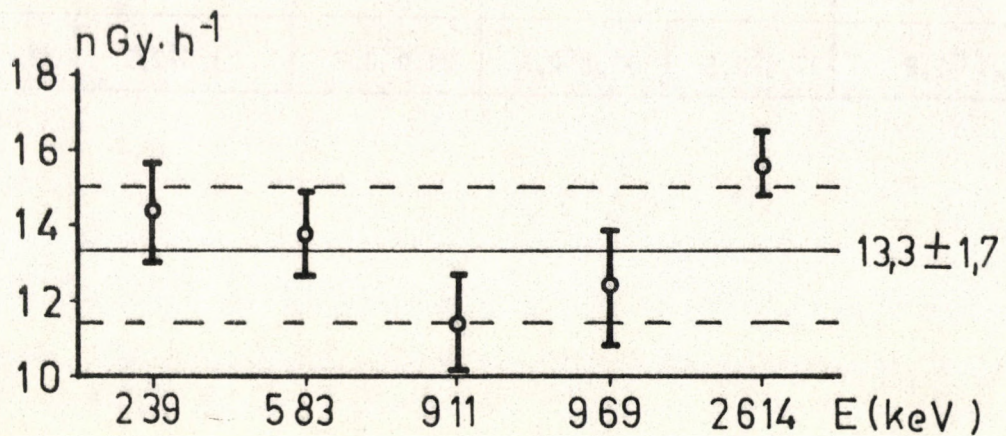
10. táblázat A 4. ponton végzett Ge/Li/-spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csúcs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentr. /Bq.kg <sup>-1</sup> /
83	239	1469 /8,9 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	14,3 ± 1,3	21,8 ± 1,9
102	295	403 /21 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	8,4 ± 1,8	18,9 ± 4,0
117	338	167 /37 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	7,9 ± 2,9	12,1 ± 4,5
122	352	754 /10 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	8,8 ± 0,9	19,9 ± 2,0
176	511	323 /15 %/	Ann.	—	—
201	583	492 /9,0 %/	<sup>208</sup> Tl/Th/	12,7 ± 1,1	19,3 ± 1,8
210	609	735 /7,5 %/	<sup>214</sup> Bi/U-Ra/	9,1 ± 0,7	20,4 ± 1,5
228	662	163 /26 %/	<sup>137</sup> Cs	0,18 ± 0,05 <sup>*/</sup>	71 ± 18 <sup>*/</sup>
251	727	89 /40 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	10,7 ± 4,3	16,3 ± 6,5
314	911	355 /11 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	11,4 ± 1,3	17,4 ± 1,9
334	969	305 /12 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	12,3 ± 1,5	18,7 ± 2,2
386	1120	207 /18 %/	<sup>214</sup> Bi/U-Ra/	9,8 ± 1,8	22,1 ± 4,0
427	1238	60 /34 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	7,8 ± 2,6	17,5 ± 6,0
503	1461	1930 /2,4 %/	<sup>40</sup> K	13,6 ± 0,3	316 ± 8
608	1764	166 /7,9 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	9,5 ± 0,8	21,4 ± 1,7
900	2614	335 /5,4 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	15,6 ± 0,8	23,8 ± 1,3

<sup>\*/</sup> Síkbeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitás koncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



9. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 4. mérési ponton.



10. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 4. mérési ponton.

11. táblázat A 4. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /					
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM det.	nullszint	Árnyéko- latlan GM- det.	nullszint
		nullszint				
U-Ra sor	8,9 <sup>±</sup> 0,3	9,8 <sup>±</sup> 2,0				
Th sor	13,3 <sup>±</sup> 1,7	15,5 <sup>±</sup> 1,2				
<sup>40</sup> K	13,6 <sup>±</sup> 0,3	12,0 <sup>±</sup> 0,8				
<sup>137</sup> Cs	0,18 <sup>±</sup> 0,05	-				
teljes	36,0 <sup>±</sup> 1,8	37,4 <sup>±</sup> 2,5	30,8 <sup>±</sup> 2,5	29,9 <sup>±</sup> 3,7	33,5 <sup>±</sup> 2,7	32,6 <sup>±</sup> 0,2

#### 4. KGST összemérés Csehszlovákiában

A KGST Atomenergia Állandó Bizottság Sugárbiztonsági Tudományos-Műszaki Tanácsa a kis dózisteljesítményű ionizáló sugárzás szabadban történő összemérését 1983. szeptember 12-17. között rendezte meg a csehszlovákiai Piestianyban /Pöstyén/.

Az összemérés résztvevői csehszlovák, lengyel, román, bolgár, NDK-beli és magyar szakemberek voltak. Magyar részről a Paksi Atomerőmű Vállalat Környezetellenőrző Laboratóriumának és a KFKI Sugárvédelmi Főosztályának munkatársai vettek részt az összemérésben.

A mérések az alábbi helyeken történtek:

1. futballpályán Piestiany határában, 200 m magasságban a tengerszint felett;
2. a Váh /Vág/ folyó víztárolójának vízfelszínén, 190 m magasságban a tengerszint felett, 10 m-re a parttól, a vízmélység 3 m volt;
3. a jaslovské bohunicei /Apátszentmihályi/ atomerőmű környezetében a hidrometeorológiai állomáson, 120 m magasságban a tengerszint felett;
4. a 970 m tengerszint feletti magasságu Velké Javorina hegy tetején.

A 2. mérési ponton történt az összemérésben résztvevő felek által használt mérőberendezések /főként ionizációs kamrák és GM detektorok/ kozmikus és saját

hátterének meghatározása.

Minden mérési ponton mindhárom detektorral végeztünk méréseket - kivéve a 2. pontot, ahol Ge/Li/ detektoros mérés nem történt. A 2000 s-os NaI/Tl/-spektrometriai mérések után 5000 s-ig mértünk a Ge/Li/ spektrométerrel, ezekkel egyidőben pedig 1000 s-os méréseket végeztünk a GM-csőves detektorokkal.

A Ge/Li/ spektrometriai mérések részletes eredményeit a 12., 15. és 17. táblázatok tartalmazzák. Az U-Ra és a Th sor dózisteljesítményjárulékának meghatározása a sorok több gamma vonala alapján történt, a járulékokat az eredmények egyszerű átlagolásával kaptuk. Az egy bomlási sorhoz több vonal alapján meghatározható dózisteljesítmény-járulékok láthatók a 11-16. ábrákon.

Az ábrákból kitűnik, hogy a különböző energiájú gamma vonalak alapján meghatározott dózisteljesítmény-járulékok elég jól egyeznek egymással. A természetes radioizotópokra egyenletes, a globális falloutból származó  $^7\text{Be}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  izotópokra sikkeli forráseloszlást tételeztünk fel.

A szcintillációs spektrumok esetében egy helyen sikerült a  $^{137}\text{Cs}$  radioizotópot meghatározni, természetesen csak nagy hibával, mivel a 662 keV energiájú csucs összeolvadt az U-Ra sor 609 keV energiájú csucsával.

A 13., 14., 16. és 18. táblázatokban foglaltuk össze a különböző módszerekkel mért dózisteljesítményeket.

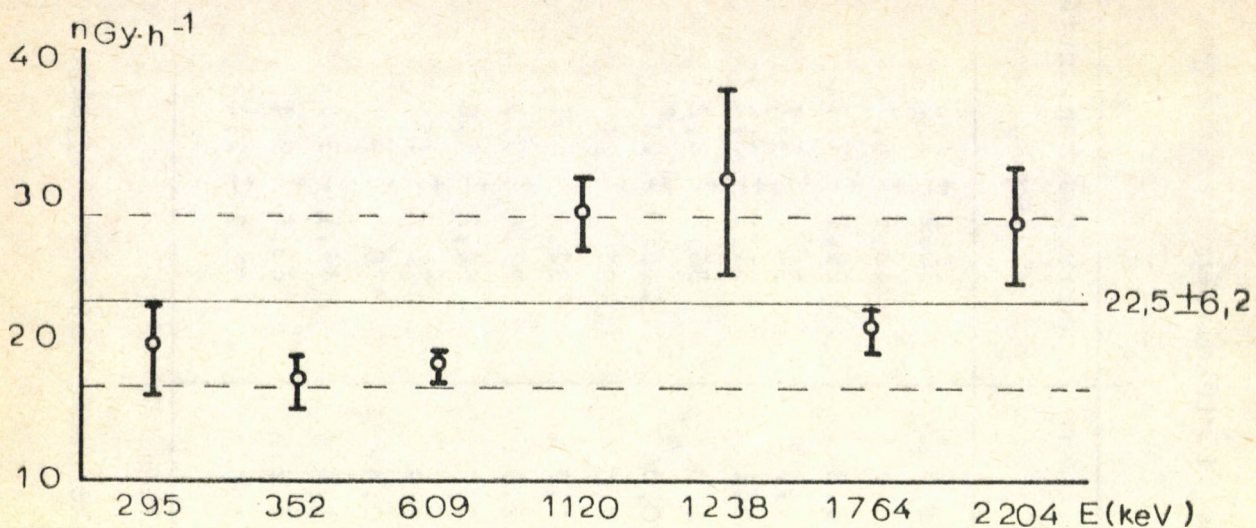
Az összemérésben résztvevő felek eredményei még nem ismertek.



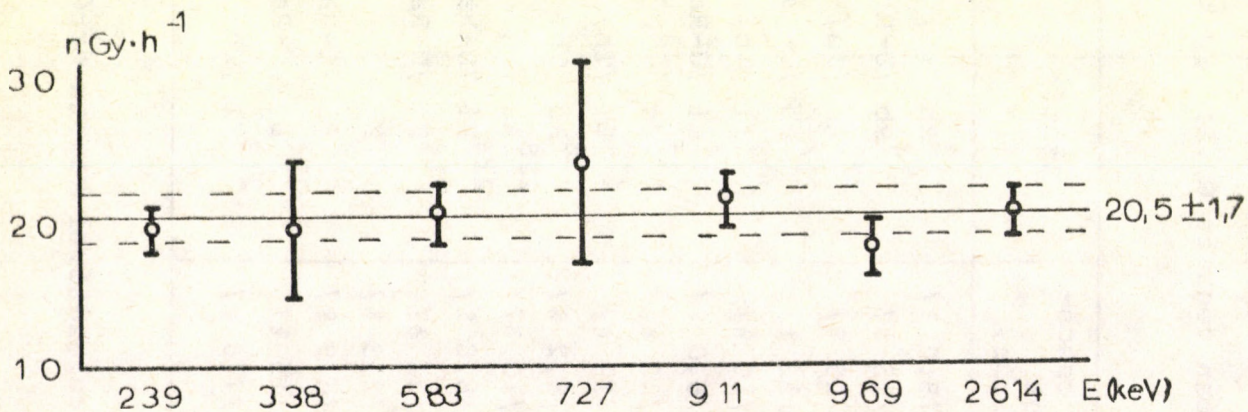
12. táblázat Az 1. pontban végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Netto csúcsterület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentráció /Bq.kg <sup>-1</sup> /
82	239	1870 /8,2 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	19,8 ± 1,6	30,2 ± 2,5
101	295	927 /15 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	19,3 ± 3,0	43,5 ± 6,7
116	338	411 /25 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	19,4 ± 4,8	29,7 ± 7,3
121	352	1201 /12 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	14,0 ± 1,6	31,6 ± 3,7
200	583	791 /10 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	20,4 ± 2,1	31,1 ± 3,2
209	609	1316 /6,0 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	16,2 ± 1,0	36,5 ± 2,2
229	662	466 /13 %/	<sup>137</sup> Cs	0,50 ± 0,06 <sup>*/</sup>	200 ± 26 <sup>*/</sup>
249	727	201 /29 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	24,1 ± 7,0	37 ± 11
312	911	663 /8,2 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	21,3 ± 1,7	32,5 ± 2,7
332	969	353 /10 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	18,1 ± 2,0	27,6 ± 3,0
384	1120	602 /8,8 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	28,5 ± 2,5	64,3 ± 5,6
424	1238	238 /21 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	30,9 ± 6,6	70 ± 15
500	1460	2311 /2,3 %/	<sup>40</sup> K	16,3 ± 0,4	378 ± 9
604	1764	356 /6,9 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	20,5 ± 1,4	46,1 ± 3,2
755	2204	130 /15 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	28,2 ± 4,2	63,5 ± 9,4
896	2614	405 /7,6 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	20,4 ± 1,6	31,2 ± 2,4

<sup>\*/</sup> Sikkbéli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitáskoncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



11. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján az 1. mérési ponton.



12. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján az 1. mérési ponton.

13. táblázat Az 1. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM detektor	Árnyékolatlan GM detektor
U-Ra sor	22,5 <sup>±</sup> 6,2	20,0 <sup>±</sup> 5,0		
Th sor	20,5 <sup>±</sup> 1,7	20,4 <sup>±</sup> 1,0		
<sup>40</sup> K	16,3 <sup>±</sup> 0,4	14,5 <sup>±</sup> 0,5		
<sup>137</sup> Cs	0,50 <sup>±</sup> 0,06	-		
teljes	59,8 <sup>±</sup> 6,4	54,9 <sup>±</sup> 5,1	53,8 <sup>±</sup> 5,1	63,1 <sup>±</sup> 5,8

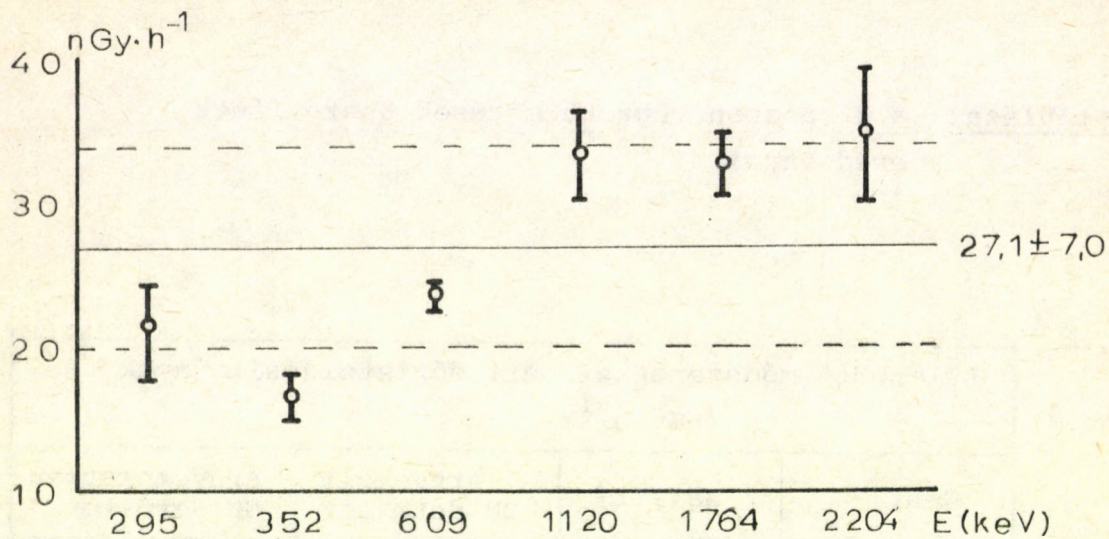
14. táblázat A 2. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /		
	NaI/Tl/	Árnyékolt GM detektor	Árnyékolatlan GM detektor
U-Ra sor	1,2 <sup>±</sup> 0,2		
<sup>40</sup> K	0,9 <sup>±</sup> 0,1		
teljes	2,1 <sup>±</sup> 0,2	< 5,0	< 4,0

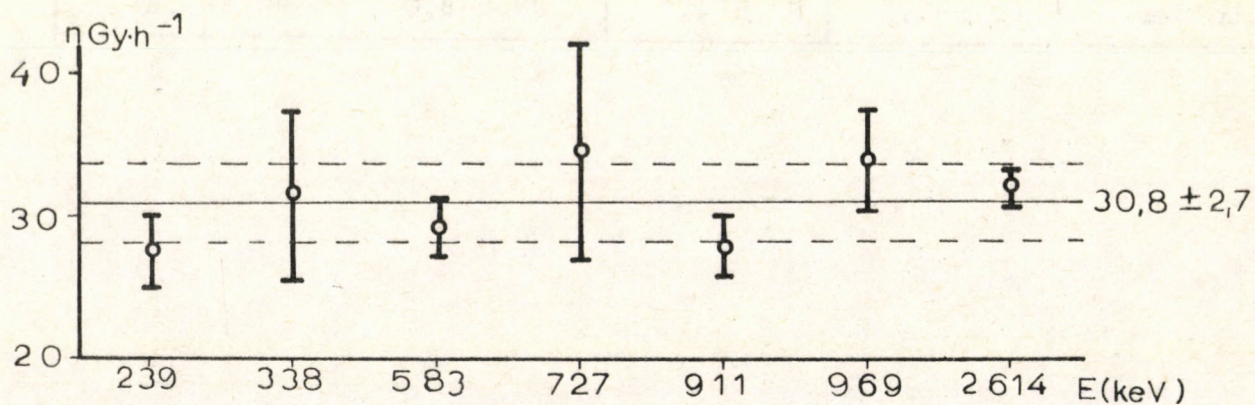
15. táblázat A 3. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Netto csúcs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás konc. /Bq.kg <sup>-1</sup> /
83	239	2618 /9,5 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	27,4 ± 2,6	41,8 ± 4,0
103	295	1039 /16 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	21,4 ± 3,4	48,1 ± 7,7
118	338	671 /19 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	31,3 ± 5,9	47,8 ± 9,0
123	352	1423 /8,6 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	16,5 ± 1,4	37,1 ± 3,2
203	583	1145 /6,8 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	28,9 ± 2,0	44,2 ± 3,0
211	609	1952 /4,6 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	23,8 ± 1,1	53,5 ± 2,4
229	662	785 /9,6 %/	<sup>137</sup> Cs	0,84 ± 0,08 <sup>*/</sup>	340 ± 30 <sup>*/</sup>
253	727	289 /22 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	34,5 ± 7,5	53 ± 11
315	911	874 /7,7 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	27,6 ± 2,1	42,1 ± 3,3
336	969	643 /10 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	33,8 ± 3,4	51,6 ± 5,2
387	1120	724 /9,0 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	33,7 ± 3,0	76,0 ± 6,8
504	1460	3192 /2,1 %/	<sup>40</sup> K	22,2 ± 0,5	515 ± 11
608	1764	577 /5,5 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	32,7 ± 1,8	73,7 ± 4,0
759	2204	164 /14 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	34,8 ± 4,9	78 ± 11
900	2614	695 /3,9 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	31,9 ± 1,3	48,8 ± 1,9

<sup>\*/</sup> Sikkeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitáskoncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



13. ábra: Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.



14. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.

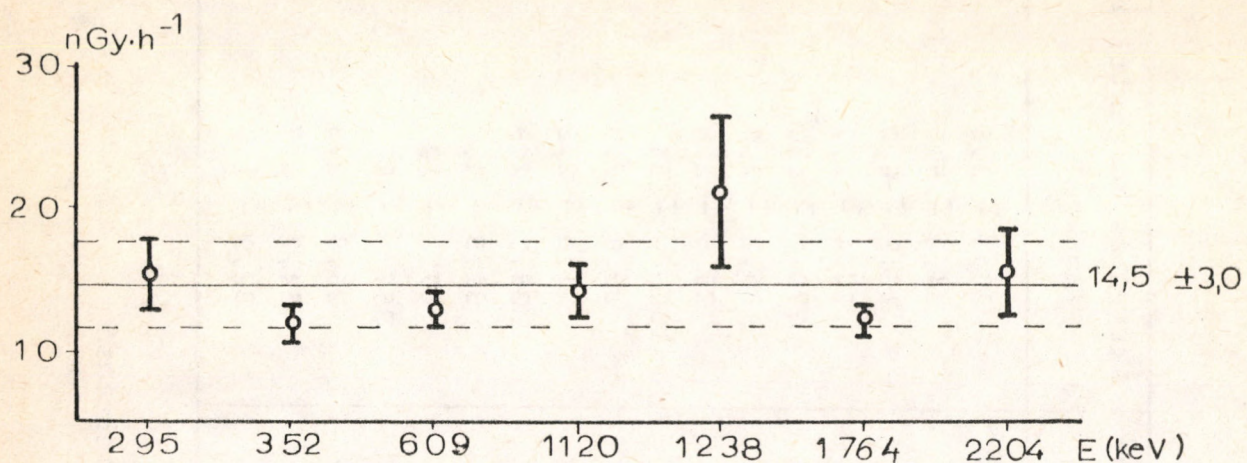
16. táblázat a 3. ponton végzett mérések összesített eredményei

	Különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	GeLi/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM detektor	Árnyékolatlan GM detektor
U-Ra sor	27,1 <sup>±</sup> 7,0	30,4 <sup>±</sup> 4,2		
Th sor	30,8 <sup>±</sup> 2,7	34,1 <sup>±</sup> 1,5		
<sup>40</sup> K	22,2 <sup>±</sup> 0,5	19,3 <sup>±</sup> 0,7		
<sup>137</sup> Cs	0,84 <sup>±</sup> 0,08	-		
teljes	80,9 <sup>±</sup> 7,5	83,8 <sup>±</sup> 4,5	92,9 <sup>±</sup> 8,0	90,8 <sup>±</sup> 7,5

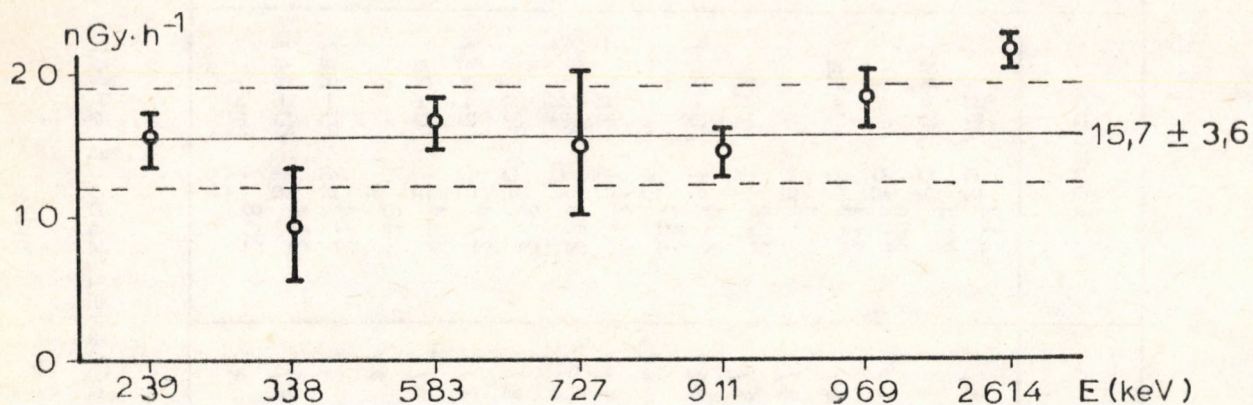
17. táblázat A 4. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csucs hely /csatorna/	Energia /keV/	Netto csucs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentráció /Bq.kg <sup>-1</sup> /
79	239	1439 /11 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	15,3 ± 1,7	23,3 ± 2,6
97	295	740 /16 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	15,2 ± 2,5	34,3 ± 5,7
112	338	194 /45 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,1 ± 4,1	13,9 ± 6,2
116	352	1005 /10 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	11,7 ± 1,2	26,4 ± 2,7
158	477	100 /70 %/	<sup>7</sup> Be	0,06 ± 0,04 <sup>*/</sup>	270 ± 190 <sup>*/</sup>
193	583	642 /10 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	16,6 ± 1,7	25,3 ± 2,6
201	609	1025 /6,4 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	12,7 ± 0,8	28,5 ± 1,8
219	662	3572 /2,2 %/	<sup>137</sup> Cs	3,9 ± 0,1 <sup>*/</sup>	1550 ± 34 <sup>*/</sup>
240	727	121 /33 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	15,0 ± 4,9	22,9 ± 7,5
301	911	444 /10 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	14,3 ± 1,5	21,8 ± 2,2
320	969	351 /10 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	18,3 ± 1,9	28,0 ± 2,9
370	1120	292 /13 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	14,0 ± 1,8	31,5 ± 4,0
409	1238	162 /25 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	21,0 ± 5,3	47 ± 12
483	1460	2181 /2,4 %/	<sup>40</sup> K	15,4 ± 0,4	357 ± 8
583	1764	209 /8,7 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	11,9 ± 1,0	26,8 ± 2,3
729	2204	69 /20 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	15,2 ± 3,0	34,2 ± 6,7
864	2614	462 /4,9 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	21,5 ± 1,0	32,9 ± 1,6

<sup>\*/</sup> Síkbeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitáskoncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



15. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma vonala alapján a 4. mérési ponton.



16. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma vonala alapján a 4. mérési ponton.



18. táblázat A 4. ponton végzett mérések összesített eredményei

	Különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM detektor	Árnyékolatlan GM detektor
U-Ra sor	14,5 <sup>±</sup> 3,0	13,1 <sup>±</sup> 0,7		
Th sor	15,7 <sup>±</sup> 3,6	19,1 <sup>±</sup> 1,0		
<sup>40</sup> K	15,4 <sup>±</sup> 0,4	15,5 <sup>±</sup> 0,6		
<sup>7</sup> Be	0,06 <sup>±</sup> 0,04	-		
<sup>137</sup> Cs	3,9 <sup>±</sup> 0,1	1,5 <sup>±</sup> 0,5		
teljes	49,6 <sup>±</sup> 4,7	49,2 <sup>±</sup> 1,4	70,1 <sup>±</sup> 6,3	66,5 <sup>±</sup> 5,8

## 5. Csehszlovák-magyar összemérés a paksi atomerőmű környezetében

1983. október 10-12. között ismét Paks körzetében került sor az in situ Ge/Li/-spektrometria alkalmazására. A Paksi Atomerőmű Vállalat és a csehszlovák Jaslovské bohunicei atomerőmű /EBO/ közötti együttműködési megállapodás keretében közös helyszíni méréseket végeztünk a paksi atomerőmű környezetében. A mérésekben magyar részről a PAV és a KFKI Sugárvédelmi Osztályának munkatársai, csehszlovák részről az EBO, az Atomerőmű Kutató Intézet /VUJE/ és a Dukovaniban épülő új atomerőmű munkatársai vettek részt. A helyszíni méréseket az alábbi helyeken végeztük:

1. a telepített környezetellenőrző rendszer 1. sz. mérőállomásán, az erőműtől kb. 1,5 km-re északra,
2. az erőmű szennyvизtisztítójának fekáliás ülepitő medencéje melletti iszaphányón,
3. a Duna vízfelszine felett, 100 m magasságban a tengersizint felett, a paksi kompon.

Az 1. ponton egy rendszeres mérésekkel ellenőrzött, jól ismert gamma-sugárzási teret vizsgáltunk. A 2. mérési pont a korábbi mérésekből már ismert, mesterséges eredetű radioizotópokat is tartalmazó környezet helyszíni mérésére adott lehetőséget. A Duna feletti méréssel a kozmikus sugárzás és a mérőberendezések saját háttérének járulékát kívántuk ismételtén meghatározni.

A környezeti összemérés során a résztvevők számos detektort használtak: a PAV mozgó laboratóriuma által alkalmazott /korábban már leirt/ NaI/Tl/ és Ge/Li/-spektrométeren, valamint GM-csőves detektorpáron kívül a csehszlovák kollégák által hozott NaI/Tl/ és Ge/Li/-spektrométerekkel, RSS-111 ionizációs kamrával és CsI detektoros monitorral is történtek mérések. E detektorokkal végzett mérések eredményei a jelentés megírásakor még nem állnak rendelkezésre, saját méréseinkkel való összevetésük egy későbbi tanulmány tárgyát képezik.

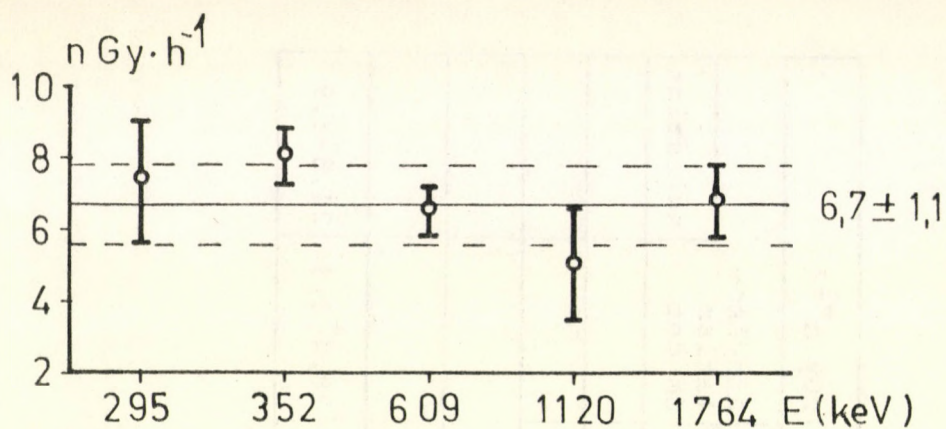
A mozgó laboratórium berendezéseivel végzett méréseket a korábbi mérési gyakorlat szerint ütemeztük. A 2000 s-os NaI/Tl/-spektrometriai mérés után 5000 s-ig mértünk a Ge/Li/-spektrométerrel, ezekkel egyidőben pedig 1000 s-os méréseket végeztünk a GM-csőves detektorokkal.

A Ge/Li/ spektrometriai mérések részletes eredményeit a 19., 21. és 23. táblázatok mutatják. Az U-Ra és a Th-sor dózisteljesítmény járulékának meghatározása a korábbi mérésekhez hasonlóan a sorok több intenzív gamma-vonala alapján történt, a járulékokat egyszerű átlagképzéssel határoztuk meg. Az egy bomlási sorhoz több vonal alapján meghatározható dózisteljesítmény-járulékokat a 17.-23. ábrákon tüntettük fel. Az iszaphányó feletti mérés kiértékelésénél a mesterséges eredetű izotópok dózisteljesítmény-járulékát /a 3. fejezetben leirtak szerint/ mind egyenletes, mind sük-beli forráseloszlás feltételezésével meghatároztuk. A 20., 22. és a 24. táblázatok mutatják a különböző módszerekkel meghatározott dózisteljesítményeket.

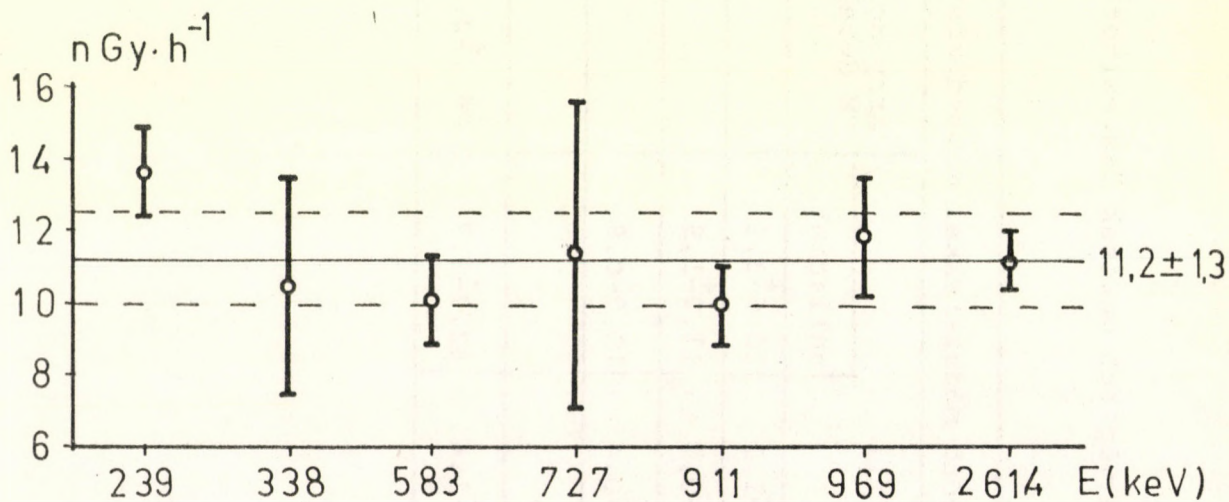
19. táblázat Az 1. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csúcs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentráció /Bq.kg <sup>-1</sup> /
80	239	1281 /8,5 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	13,6 ± 1,2	20,7 ± 1,8
98	295	351 /24 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	7,3 ± 1,7	16,5 ± 3,9
113	338	220 /29 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	10,4 ± 3,0	15,9 ± 4,5
118	352	682 /10 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	8,0 ± 0,8	18,0 ± 1,8
194	583	390 /12 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	10,0 ± 1,2	15,3 ± 1,9
203	609	523 /9,6 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	6,5 ± 0,6	14,5 ± 1,4
220	662	305 /14 %/	<sup>137</sup> Cs	0,34 ± 0,05 <sup>*/</sup>	133 ± 18 <sup>*/</sup>
242	727	95 /37 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	11,3 ± 4,2	17,4 ± 6,4
302	911	308 /11 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	9,9 ± 1,1	15,1 ± 1,7
321	969	224 /14 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	11,8 ± 1,7	18,1 ± 2,6
371	1120	106 /30 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	5,0 ± 1,5	11,3 ± 3,3
483	1460	1832 /2,5 %/	<sup>40</sup> K	12,9 ± 0,3	301 ± 8
583	1764	119 /13 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	6,8 ± 1,0	15,4 ± 2,1
864	2614	239 /7,0 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	11,1 ± 0,8	17,0 ± 1,2

\*/ Sikkeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték, az aktivitás koncentráció mértékegysége Bq.m<sup>-2</sup>.



17. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján az 1. mérési ponton.



18. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján, az 1. mérési ponton.

20. táblázat Az 1. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /						
	Ge/Li/	NaI/Tl/	nullszint	Árnyékolt GM detekt.	nullszint	Árnyéko- latlan GM det.	nullszint
U-Ra sor	6,7 <sup>±</sup> 1,1	7,2 <sup>±</sup> 1,1	10,6 <sup>±</sup> 3,1				
Th sor	11,2 <sup>±</sup> 1,3	13,4 <sup>±</sup> 0,7	11,2 <sup>±</sup> 1,9				
<sup>40</sup> K	12,9 <sup>±</sup> 0,3	11,3 <sup>±</sup> 0,4	10,9 <sup>±</sup> 0,9				
<sup>137</sup> Cs	0,34 <sup>±</sup> 0,05	-	-				
teljes	31,2 <sup>±</sup> 1,6	31,9 <sup>±</sup> 1,4	32,7 <sup>±</sup> 3,7	26,7 <sup>±</sup> 2,1	21,6 <sup>±</sup> 4,6	28,4 <sup>±</sup> 2,3	24,8 <sup>±</sup> 3,9

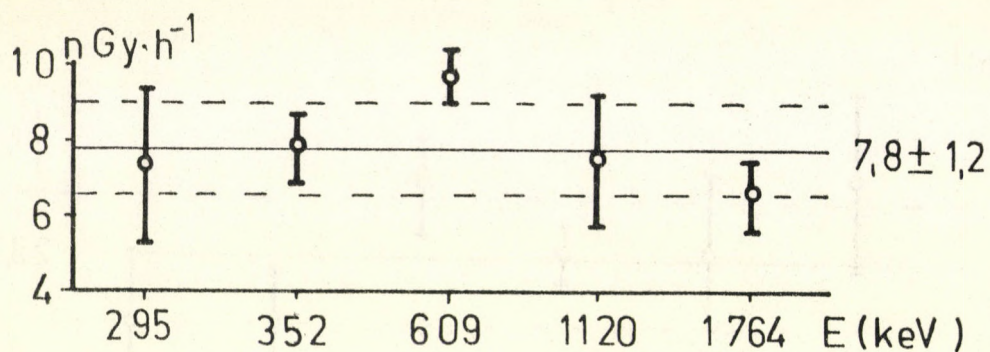
21. táblázat A 2. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csucshely /csatorna/	Energia /keV/	Netto csucs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény		Aktivitás koncentráció	
				egyenletes /nGy.h <sup>-1</sup> /	sík	egyenletes /Bq.kg <sup>-1</sup> /	sík /Bq.m <sup>-2</sup> /
81	239	1090 /13 %/	<sup>212</sup> Pb/Th/	10,6 ± 1,4	—	16,1 ± 2,1	—
100	295	352 /28 %/	<sup>214</sup> Pb/U-Ra/	7,3 ± 2,1	—	16,5 ± 4,6	—
114	338	192 /38 %/	<sup>228</sup> Ac/Th/	9,1 ± 3,5	—	13,9 ± 5,3	—
119	352	670 /12 %/	<sup>214</sup> Pb/U-Ra/	7,8 ± 0,9	—	17,7 ± 2,1	—
150	447	201 /34 %/	<sup>110m</sup> Ag	41 ± 14	17 ± 6	36 ± 12	1460 ± 500
172	511	429 /16 %/	Ann.	—	—	—	—
196	583	353 /16 %/	<sup>208</sup> Tl/Th/	9,1 ± 1,5	—	13,9 ± 2,2	—
204	609	785 /7,6 %/	<sup>214</sup> Bi/U-Ra/	9,7 ± 0,7	—	21,8 ± 1,7	—
220	658	2321 /3,5 %/	<sup>110m</sup> Ag	22,1 ± 0,8	10,6 ± 0,4	19,3 ± 0,7	896 ± 31
227	678	230 /19 %/	<sup>110m</sup> Ag	19,3 ± 3,7	9,4 ± 1,8	16,9 ± 3,2	803 ± 153
230	688	128 /32 %/	<sup>110m</sup> Ag	18 ± 6	8,7 ± 2,8	16 ± 5	750 ± 240
236	707	468 /9,7 %/	<sup>110m</sup> Ag	25,6 ± 2,5	12,6 ± 1,2	22,4 ± 2,2	1080 ± 105
249	744	144 /28 %/	<sup>110m</sup> Ag	29 ± 8	14,3 ± 4,0	25 ± 7	1230 ± 340
256	764	562 /9,4 %/	<sup>110m</sup> Ag	23,6 ± 2,2	11,9 ± 1,1	20,6 ± 1,9	1020 ± 96
271	811	227 /20 %/	<sup>58</sup> Co	0,65 ± 0,13	0,34 ± 0,07	1,95 ± 0,39	9,7 ± 1,9
274	818	86 /37 %/	<sup>110m</sup> Ag	12 ± 4	5,9 ± 2,2	10 ± 4	510 ± 190
279	835	271 /16 %/	<sup>54</sup> Mn	0,82 ± 0,13	0,43 ± 0,07	2,32 ± 0,37	11,8 ± 1,9
296	885	1654 /3,3 %/	<sup>110m</sup> Ag	23,5 ± 0,8	12,3 ± 0,4	20,4 ± 0,7	1040 ± 34

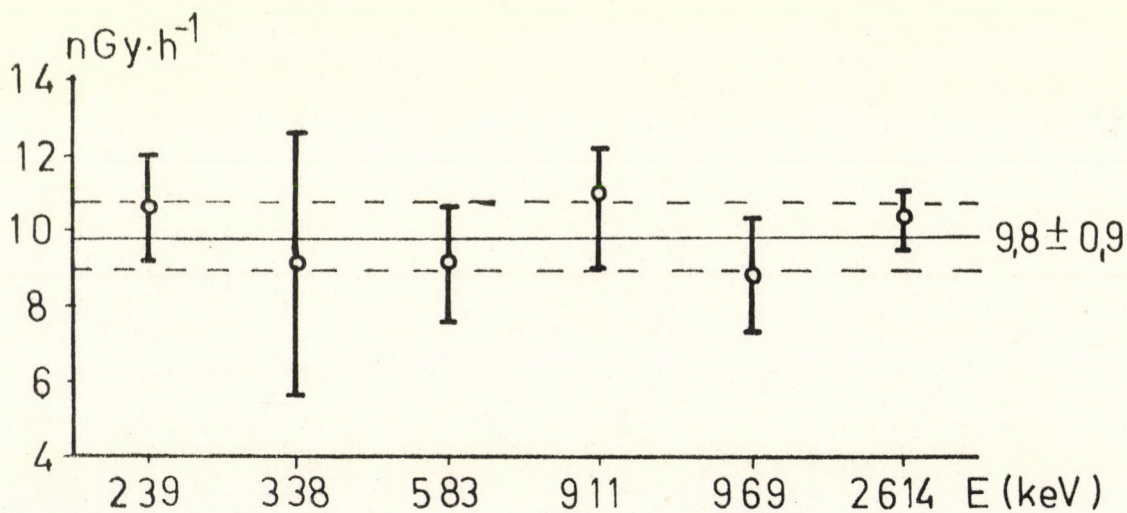
21. táblázat folyt.

305	911	340 /12 %/	$^{228}\text{Ac/Th/}$	$10,9 \pm 1,3$	—	$16,7 \pm 2,0$	—
313	937	845 /5,3 %/	$^{110m}\text{Ag}$	$25,4 \pm 1,3$	$14,1 \pm 0,7$	$22,1 \pm 1,2$	$1181 \pm 63$
324	969	218 /17 %/	$^{228}\text{Ac/Th/}$	$8,8 \pm 1,5$	—	$13,4 \pm 2,3$	—
374	1120	158 /23 %/	$^{214}\text{Bi/U-Ra/}$	$7,5 \pm 1,7$	—	$16,9 \pm 3,9$	—
392	1173	167 /23 %/	$^{60}\text{Co}$	$1,76 \pm 0,40$	$0,97 \pm 0,22$	$1,63 \pm 0,37$	$10,6 \pm 2,4$
413	1238	90 /33 %/	$^{214}\text{Bi/U-Ra/}$	$11,7 \pm 3,9$	—	$26,3 \pm 8,7$	—
444	1333	164 /15 %/	$^{60}\text{Co}$	$1,83 \pm 0,27$	$1,08 \pm 0,16$	$1,70 \pm 0,26$	$10,6 \pm 1,6$
462	1384	428 /6,9 %/	$^{110m}\text{Ag}$	$21,6 \pm 1,5$	$13,8 \pm 1,0$	$18,9 \pm 1,3$	$1167 \pm 81$
487	1461	1375 /3,0 %/	$^{40}\text{K}$	$9,68 \pm 0,29$	—	$225 \pm 7$	—
502	1505	217 /9,4 %/	$^{110m}\text{Ag}$	$21,5 \pm 2,0$	$14,1 \pm 1,3$	$18,7 \pm 1,8$	$1209 \pm 114$
588	1764	115 /14 %/	$^{214}\text{Bi/U-Ra/}$	$6,61 \pm 0,93$	—	$14,8 \pm 2,1$	—
870	2614	220 /7,1 %/	$^{208}\text{Tl/Th/}$	$10,3 \pm 0,7$	—	$15,7 \pm 1,1$	—

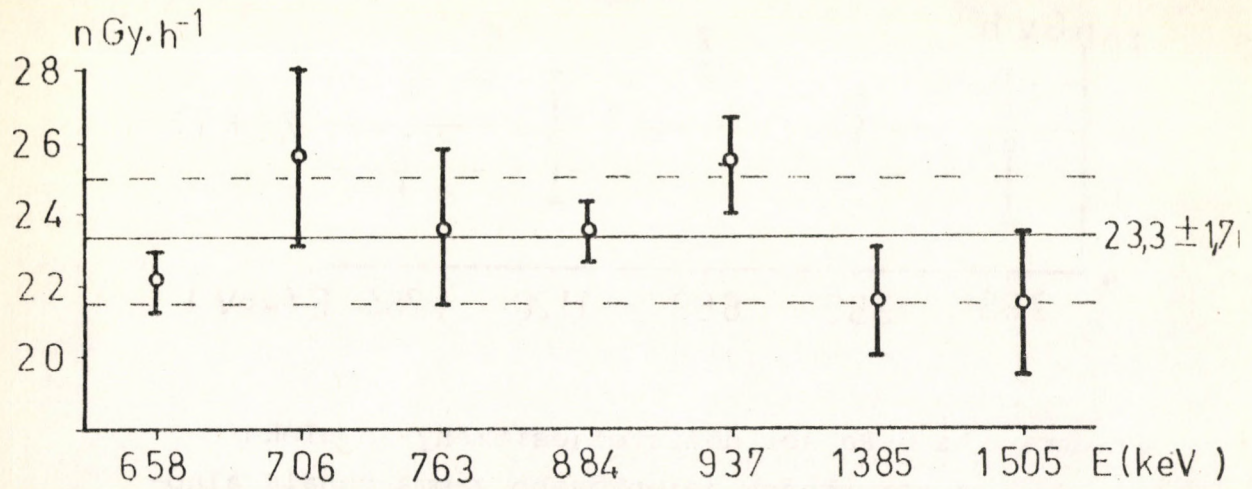




19. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.



20. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.



21. ábra Az  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  dózisteljesítmény-járuléka a nuklid néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 2. mérési ponton.

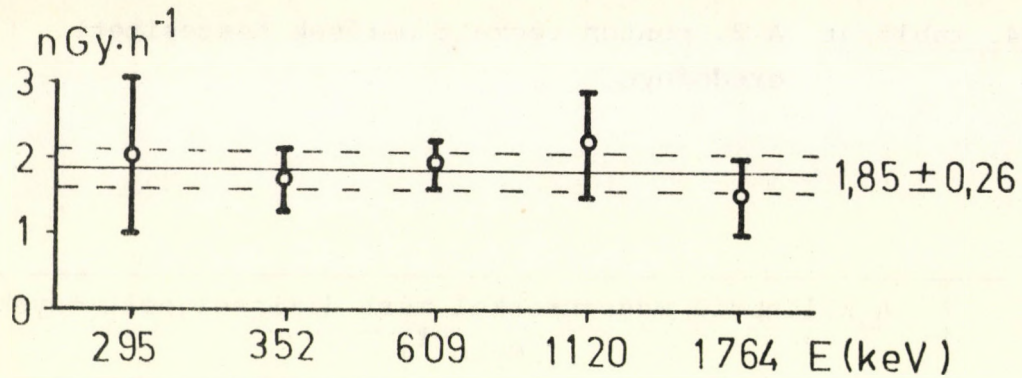
22. táblázat A 2. ponton végzett mérések összesített eredményei

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM detektor	Árnyékolatlan GM detektor
U-Ra sor	7,8 <sup>±</sup> 1,2	11,2 <sup>±</sup> 1,4		
Th sor	9,8 <sup>±</sup> 0,9	9,7 <sup>±</sup> 0,7		
<sup>40</sup> K	9,7 <sup>±</sup> 0,3	10,7 <sup>±</sup> 0,2		
<sup>110m</sup> Ag	23,3 <sup>±</sup> 1,7 /12,8 <sup>±</sup> 1,3/*/	22 ± 4 /12 ± 2/*/		
<sup>58</sup> Co	0,65 <sup>±</sup> 0,13 /0,34 <sup>±</sup> 0,07/*/	-		
<sup>60</sup> Co	1,80 <sup>±</sup> 0,24 /1,03 <sup>±</sup> 0,14/*/	-		
<sup>54</sup> Mn	0,82 <sup>±</sup> 0,13 /0,43 <sup>±</sup> 0,07/	-		
teljes	53,9 <sup>±</sup> 2,3 /41,9 <sup>±</sup> 2,0/*/	54 ± 4 /44 ± 3/*/	39,9 ± 3,2	48,3 ± 3,9

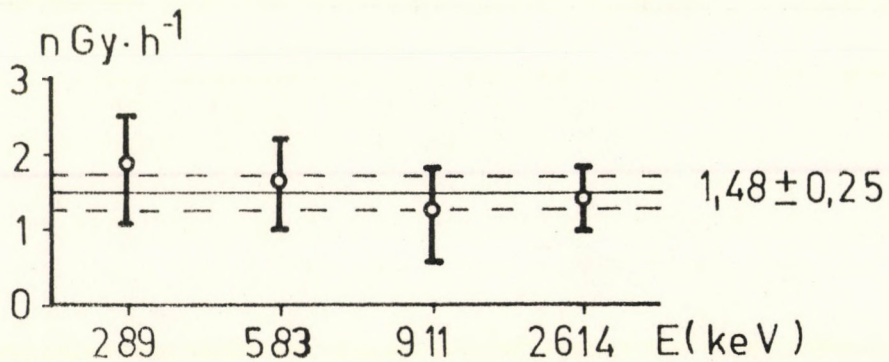
/\*/Sikbeli forráseloszlás feltételezésével kapott érték

23. táblázat A 3. ponton végzett Ge/Li/ spektrometriai mérés kiértékelésének eredményei

Csúcshely /csatorna/	Energia /keV/	Nettó csúcs- terület /impulzus/	Izotóp	Dózisteljesítmény /nGy.h <sup>-1</sup> /	Aktivitás koncentr. /Bq.kg <sup>-1</sup> /
79	239	182 /39 %/	<sup>212</sup> Pb /Th/	1,77 ± 0,69	2,69 ± 1,05
98	295	96 /49 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	2,0 ± 1,0	4,5 ± 2,2
112	338	75 /51 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	3,6 ± 1,8	5,4 ± 2,7
117	352	146 /24 %/	<sup>214</sup> Pb /U-Ra/	1,71 ± 0,41	3,85 ± 0,92
193	583	62 /36 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	1,59 ± 0,57	2,43 ± 0,87
202	609	151 /17 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	1,86 ± 0,32	4,19 ± 0,71
241	727	27 /71 %/	<sup>212</sup> Bi /Th/	3,5 ± 2,5	5,0 ± 3,5
302	911	38 /46 %/	<sup>228</sup> Ac /Th/	1,22 ± 0,56	1,86 ± 0,86
371	1120	46 /31 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	2,18 ± 0,67	4,9 ± 1,5
484	1461	121 /12 %/	<sup>40</sup> K	0,86 ± 0,10	19,9 ± 2,4
585	1764	26 /31 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	1,49 ± 0,46	3,4 ± 1,0
730	2204	18 /38 %/	<sup>214</sup> Bi /U-Ra/	3,9 ± 1,5	8,8 ± 3,3
866	2614	29 /26 %/	<sup>208</sup> Tl /Th/	1,35 ± 0,35	2,06 ± 0,53



22. ábra Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.



23. ábra A Th sor dózisteljesítmény-járuléka a sor néhány jelentősebb gamma-vonala alapján a 3. mérési ponton.

24. táblázat A 3. ponton végzett mérések összesített eredménye

	A különböző módszerekkel mért dózisteljesítmények /nGy.h <sup>-1</sup> /			
	Ge/Li/	NaI/Tl/	Árnyékolt GM det.	Árnyékolatlan GM det.
U-Ra sor	1,85 <sup>±</sup> 0,26	2,02 <sup>±</sup> 0,21		
Th sor	1,48 <sup>±</sup> 0,25	1,10 <sup>±</sup> 0,29		
<sup>40</sup> K	0,86 <sup>±</sup> 0,10	0,87 <sup>±</sup> 0,08		
teljes	4,19 <sup>±</sup> 0,37	3,99 <sup>±</sup> 0,37	< 5,0	< 4,0

## 6. Következtetések

A 3., 4. és 5. fejezetekben ismertettük az egyes mérési pontokon különböző módszerekkel mért dózisteljesítményeket.

Korrelációs számítását végeztünk a Ge/Li/ és a NaI/Tl/ detektorokkal meghatározott természetes radioizotópok dózisteljesítmény-járulékai és a teljes dózisteljesítmények között. A korrelációs összefüggéseket a 24-27. ábrákon láthatjuk.

A regressziós egyenesek paramétereit a 25. táblázat tartalmazza.

25. táblázat Korrelációs együtthatók és a regressziós egyenesek paramétereit

	R	m	b/ngy.h <sup>-1</sup> /	Sy /nGy.h <sup>-1</sup> /
U-Ra sor	0,97	0,91	0,92	1,80
Th sor	0,98	0,88	0,01	1,46
<sup>40</sup> K	0,94	1,09	-0,89	1,83
teljes dózistelj.	0,99	1,00	-0,48	2,92

R a korrelációs együttható,

m az egyenes meredeksége,

b az egyenes tengelymetszete,

Sy a regressziós becslés szórása /az illesztett egyenes és a mérési pontok közötti átlagos eltérés/

Megjegyzés: a korrelációs számításnál a súlyozatlan mérési adatokkal számoltunk.

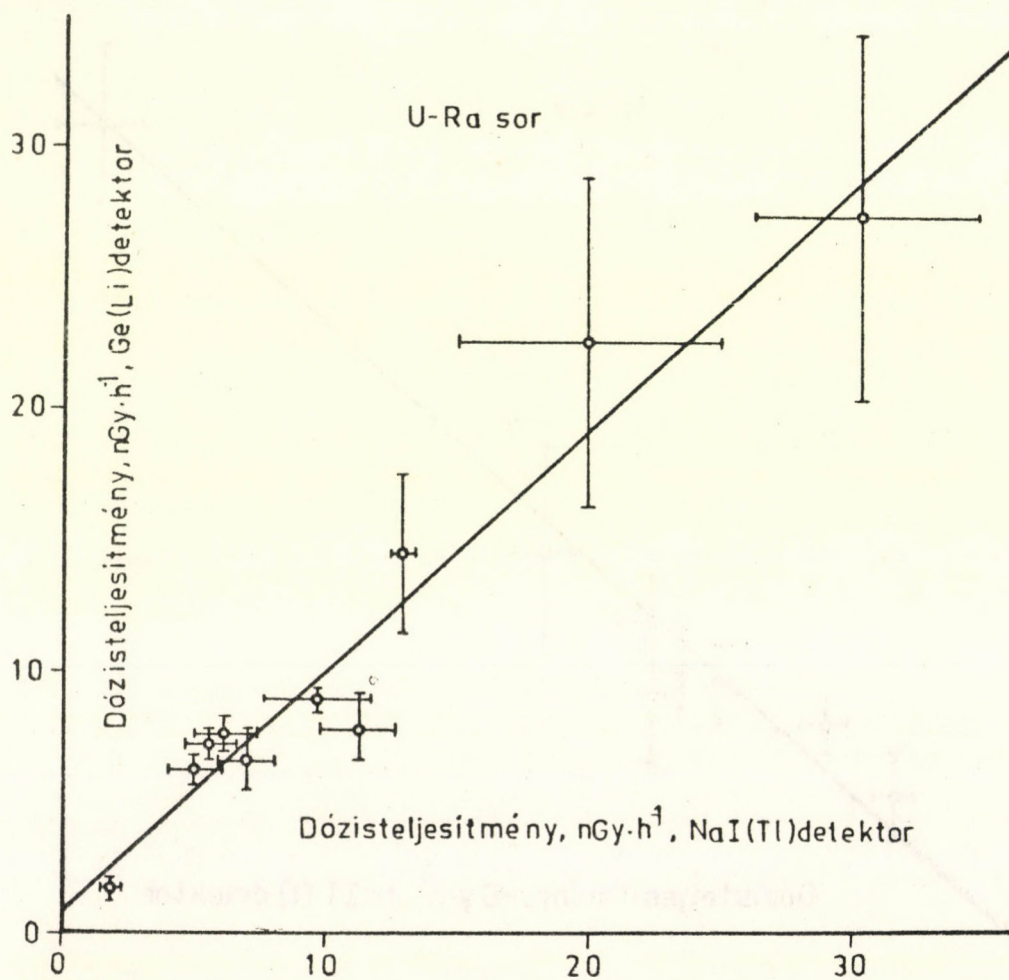
Az ábrákból és a táblázatokból jól látható, hogy a kétféle spektrometriai módszerrel kapott eredmények jól egyeznek. Képeztük a Ge/Li/ és a NaI/Tl/ detektorokkal mért dózisteljesítmény-járulékok és teljes dózisteljesítmények hányadosait. A hányadosok átlaga U-Ra sor, Th sor,  $^{40}\text{K}$  és a teljes dózisteljesítmény esetén rendre: 1,03; 0,93; 1,01 és 0,99.

Megállapíthatjuk, hogy az eltérések 10 %-nál kisebbek, ami nagyon jó egyezést jelent.

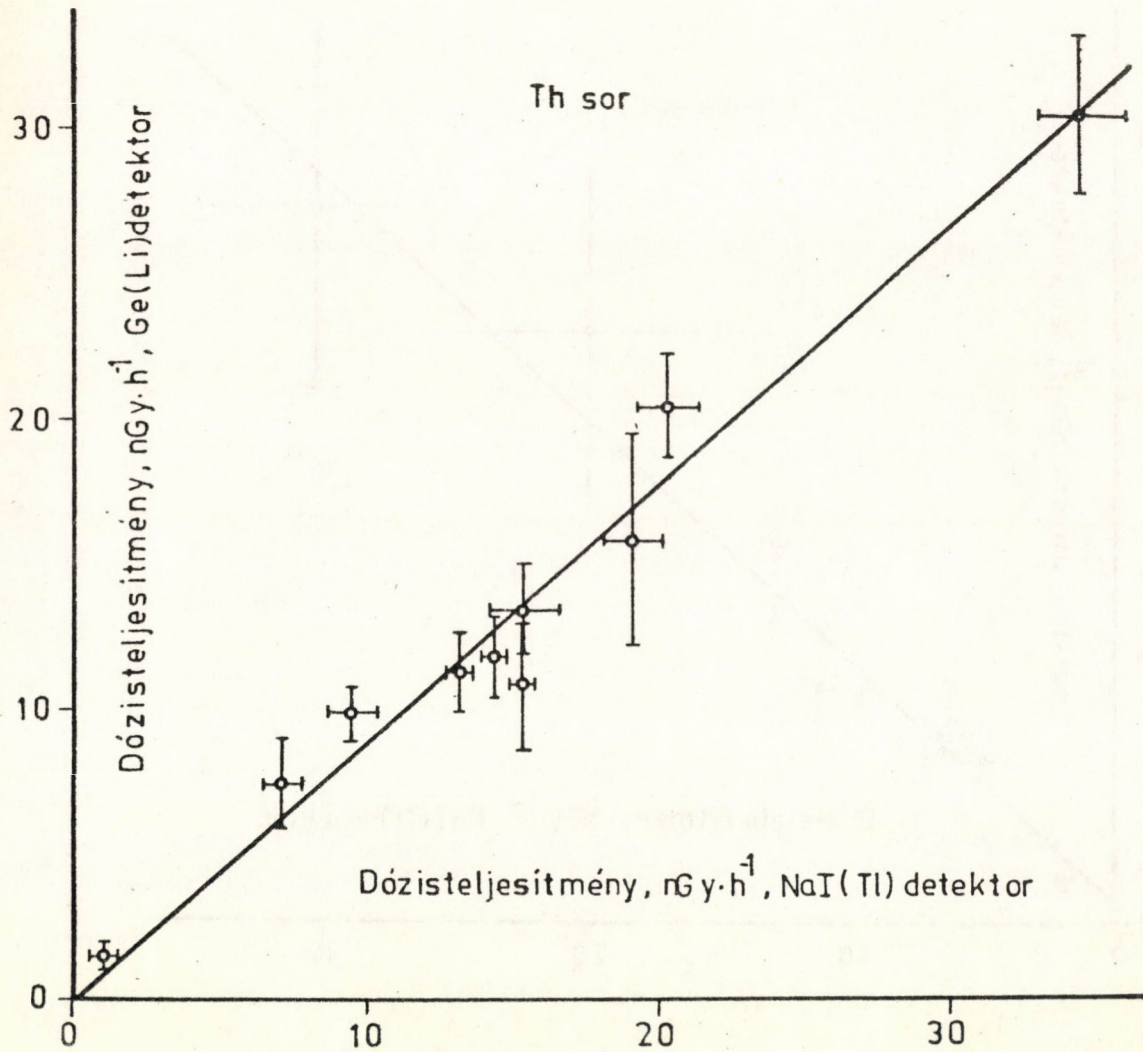
A 28. ábrán mutatjuk be a négy különböző detektorral kapott teljes dózisteljesítményeket mérési pontonként. Azokon a helyeken, ahol természetes háttérrel mértünk, jó egyezést kaptunk a GM-csöves detektorokkal és a spektrometriai módszerrel nyert eredmények között. A fekáliás iszap tetején a GM detektorokkal mért dózisteljesítmény-adatok eltérnek. Ennek fő oka az, hogy a GM-csöves detektorok kalibrációja egy átlagos, egyenletes eloszlású természetes radioizotópokat tartalmazó háttér figyelembevételével történt. A POKER-CAMP program [6] segítségével sikforrás esetén is kiszámolható a GM-csöves detektorok jelzése, így megbecsülhető a mesterséges izotópok dózisteljesítmény-járuléka, erre azonban a jelen dolgozatban nem térünk ki.

Jelentős az eltérés a Piestiany 4. mérőállomáson, amely egy kb. 1000 m magas hegy tetején volt. Itt a kozmikus sugárzás jelentősen nagyobb, mint a tengerszint felett 100 m-rel, ahol a detektorok kozmikus háttérének meghatározása történt.

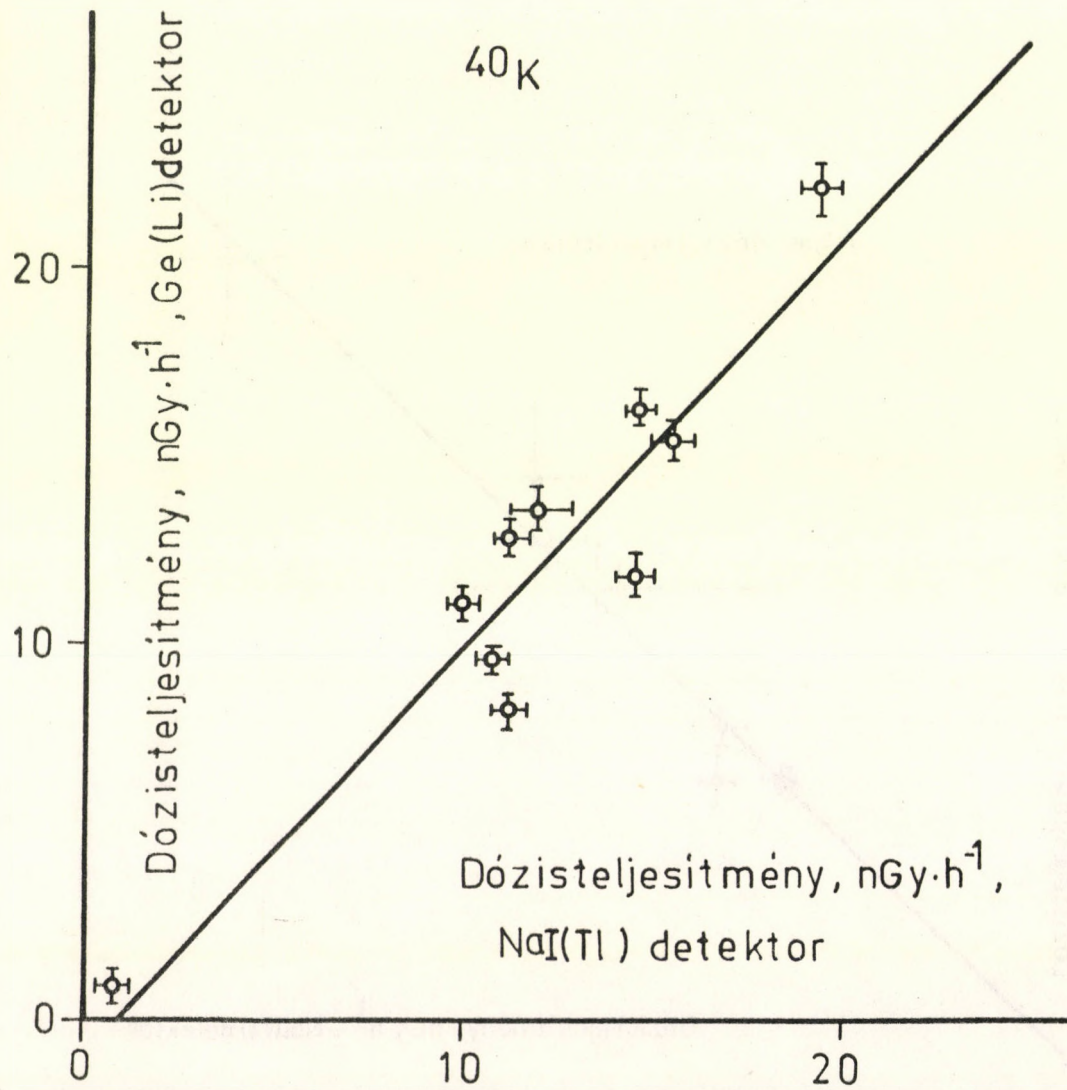




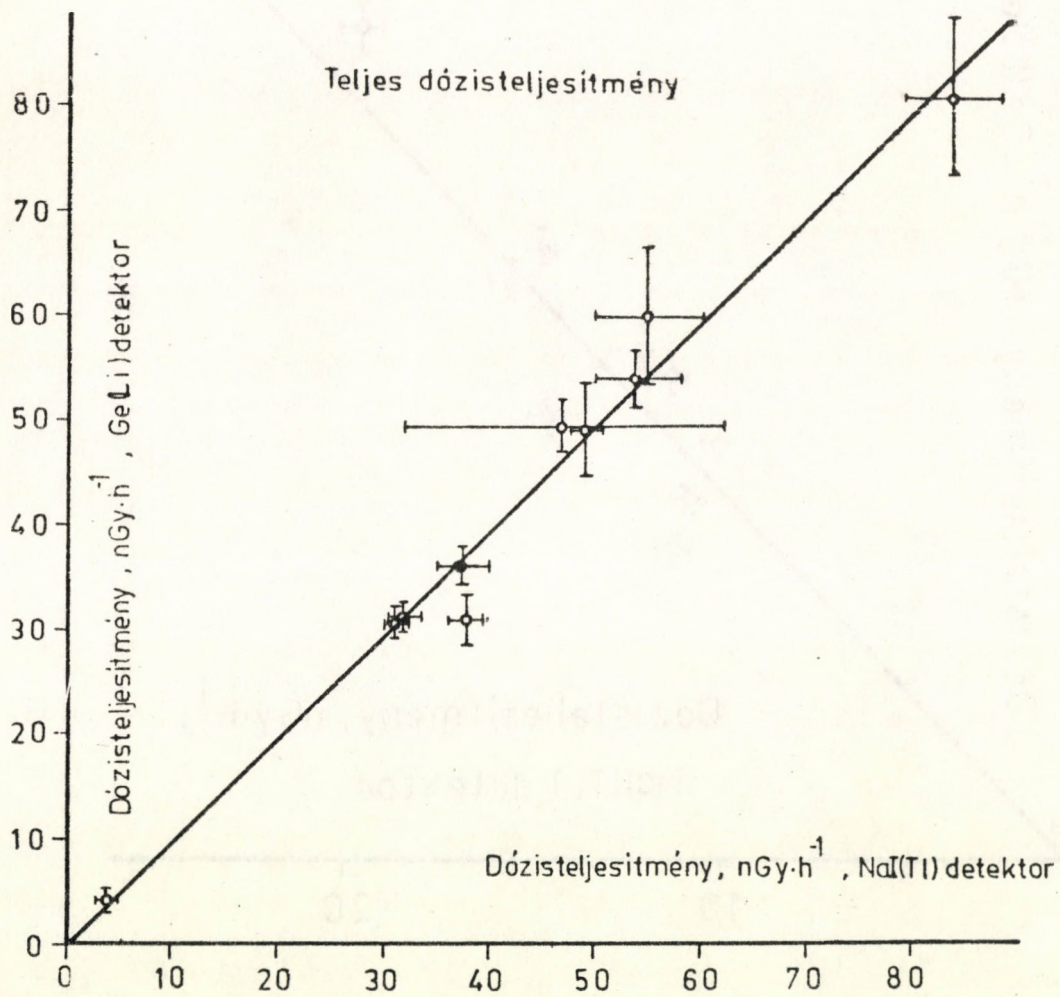
24. ábra U-Ra sor NaI/Tl/ és Ge/Li/ detektorral meghatározott dózisteljesítményei közötti korrelációs összefüggés



25. ábra Th sor NaI/Tl/ és Ge/Li/ detektorral meghatározott dózisteljesítményei közötti korrelációs összefüggés



26. ábra <sup>40</sup>K izotóp NaI/Tl/ és Ge/Li/ detektorokkal meghatározott dózisteljesítményei közötti korrelációs összefüggés



27. ábra NaI/Tl/ és Ge/Li/ detektorral meghatározott teljes dózisteljesítmények közötti korrelációs összefüggés

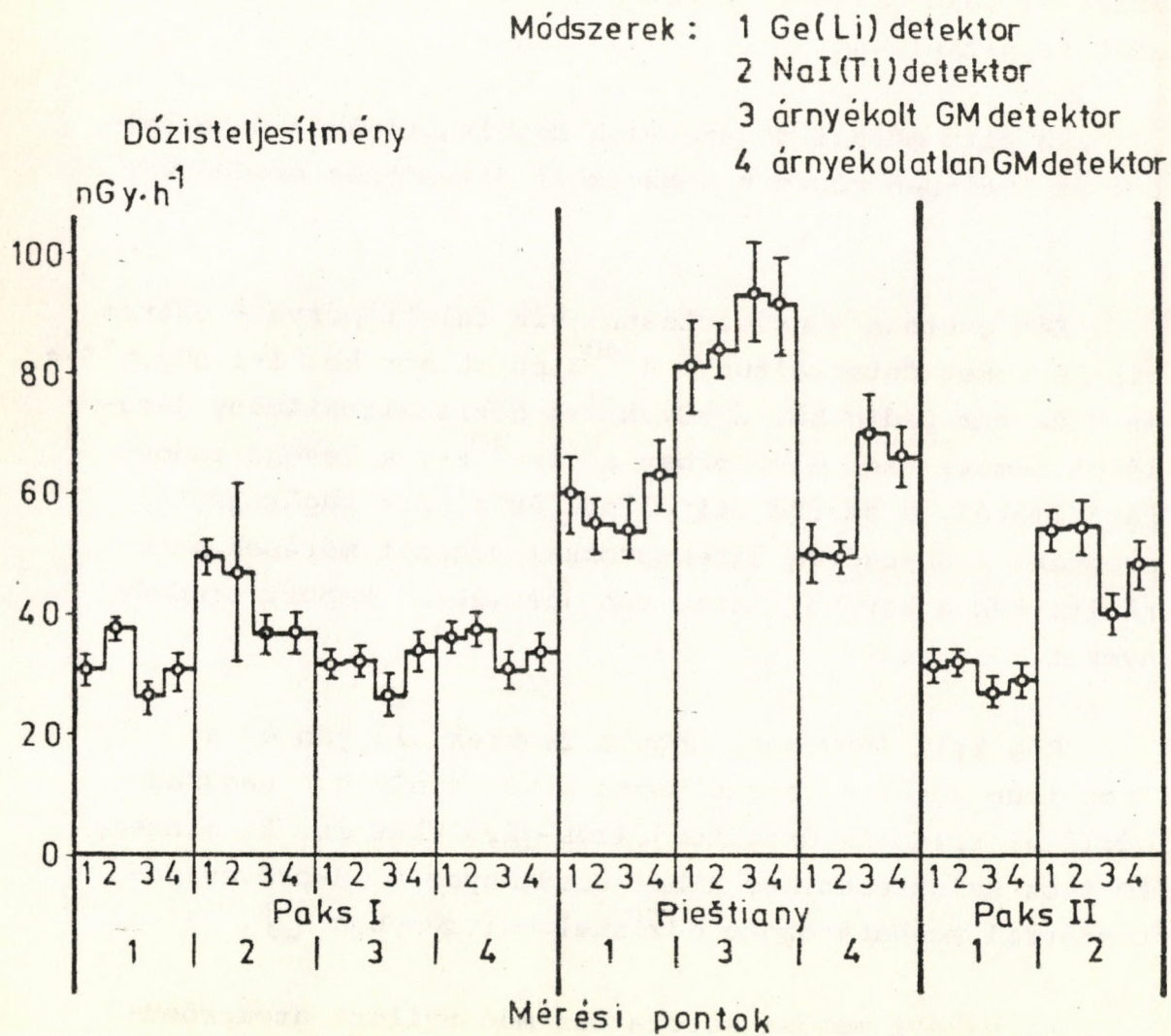
Több esetben méréseinket az erőmű környezetellenőrző rendszerének telepített mérőállomásain végeztük. Itt mód nyílt az eredményeknek a korábbi, üzemeltetés előtt mért szinttel való összevetésére. Ebben az esetben is jó egyezést tapasztaltunk.

In situ mérési módszereink megbízhatóságát megerősítik az 1981-ben végzett nemzetközi összemérés eredményei [7].

Két esetben - nevezetesen: viz felett mérve - extrém kis háttérrel detektáltunk. A  $^{40}\text{K}$  és Th sor kb.  $1-1 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ -s, az U-Ra sor pedig kb.  $2 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ -s dózisteljesítmény-járulékot adott. Ezek elsősorban a víz  $^{40}\text{K}$ -, a levegő radontartalmától, a szerkezeti elemek és a part sugárzásától erednek. A GM-csöves detektorokkal végzett mérések megerősítették a korábbi "kozmosz járulékokra" kapott eredményeket.

Meg kell jegyezni, hogy a fentiek alapján ez a "kozmosz járulékok" tartalmazza a kb.  $4 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$  nagyságú dózisteljesítmény detektorjelzés-járulékát is. Ez mintegy 10 %-os szisztematikus hibát eredményez a GM-csöves detektorral meghatározott dózisteljesítményben [2].

Az ez évi mérési sorozatban mód nyílt atomerőműtől származó kismértékű környezeti szennyeződés helyszíni vizsgálatára. A 29. ábrán látható a szennyvизtiszító fekáliás ülepitő medencéje melletti iszaphányó tetején felvett szcintillációs- és Ge/Li/ detektorral kapott spektrum.

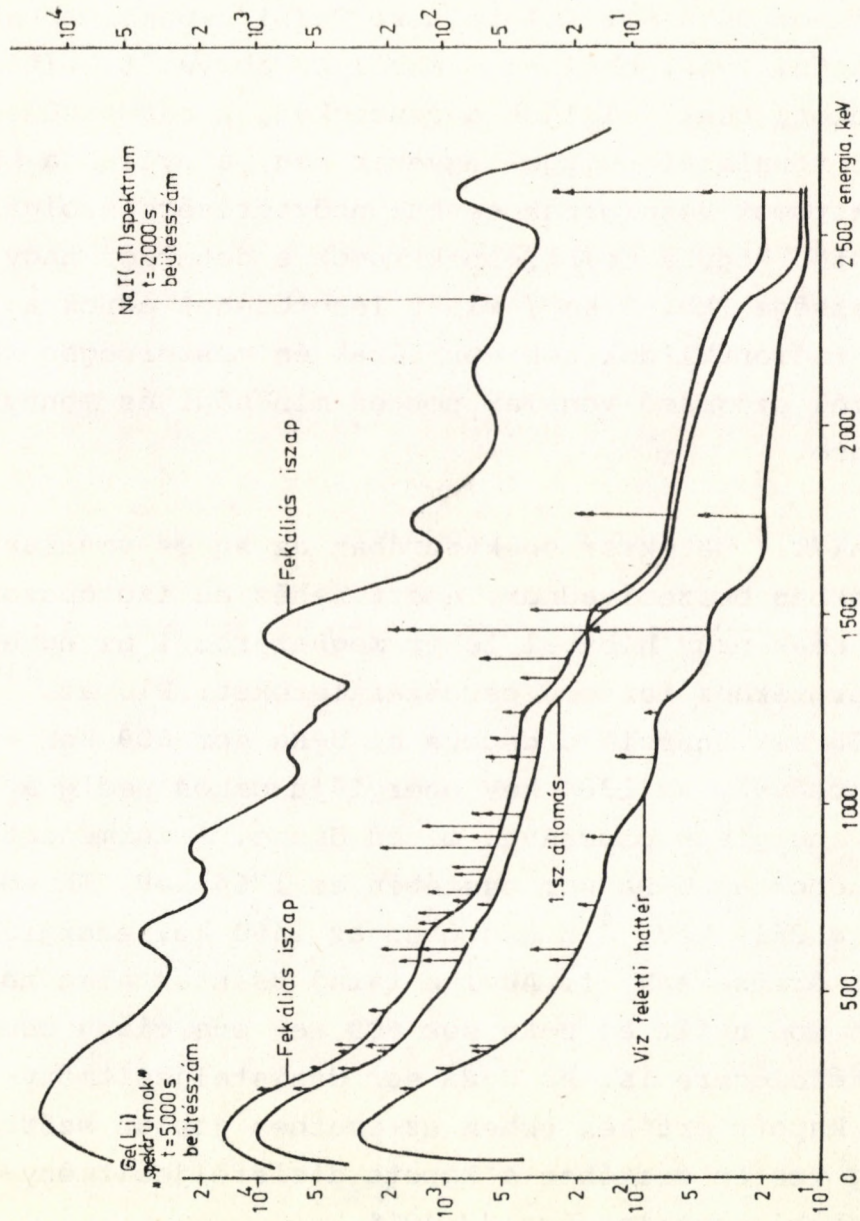


28. ábra Különböző detektorokkal meghatározott teljes dózisteljesítmények mérési pontonként

Összehasonlítás céljából ugyanezen az ábrán egy telepített mérőállomáson és a víz felett mért Ge/Li/ spektrumokat is feltüntettük. Rajztechnikai okokból az ábrázolt Ge/Li/ spektrumokban csak jelöljük a csucsokat, a csucsszélesség a rajzolt vonalszélességgel egyezik meg, a nyilak a különböző spektrumok vonalainak megkülönböztetésére szolgálnak. Jól látható, hogy a Ge/Li/-spektrumok a detektor nagy felbontóképessége /kb. 3 keV/ miatt lehetőséget adnak a természetes radionuklidok sok vonalának és mesterséges radioizotópoktól származó vonalak pontos minőségi és mennyiségi analizisére.

A NaI/Tl/ detektor spektrumában az egyes vonalak nagymértékben összeolvadnak, ezért nehéz az izotópazonosítás és csak nagy hibával lehet meghatározni az egyes gamma-energiákhoz tartozó csucsterületeket. Pl. az  $^{110m}\text{Ag}$  izotóp 658 keV energiájú csucsá az U-Ra sor 609 keV energiájú csucsával, az 1384 keV energiájú csucs pedig a  $^{40}\text{K}$  1460 keV energiájú csucsával olvad össze. A természetes radioizotópoknál U-Ra sor esetében az 1764 keV, Th sor esetében a 2614 keV,  $^{40}\text{K}$  esetében az 1460 keV energiájú csucsokat értékeltük ki. Ahol a talaj urántartalma nagyobb volt, ott mód nyílt az U-Ra sor 609 keV energiájú csucsának kiértékelésére is. Az U-Ra sor dózisteljesítmény-járulékára kapott értékek ebben az esetben jobban szórtak. Az  $^{110m}\text{Ag}$  izotóp esetében a kapott dózisteljesítmény-járulékok bizonytalansága 30-40 %.

Ge/Li/ detektor esetében az U-Ra és a Th sor dózisteljesítmény-járulékának meghatározása a sorok több gamma-vonala alapján történt. A kapott értékeket átlagoltuk, hibaként az empirikus szórásukat vettük.



29. ábra Néhány jellemző Ge/Li/ és NaI/Tl/ spektrum



Megállapíthattuk, hogy a szórás mind a két sor esetében kb. 14 %. A 2-23. ábrákból jól látható, hogy a kapott értékek szórása nem nagy és nincs a különböző energiákra meghatározott dóziskonverziós tényezőkben energia szerinti torzítás.

Kimutattuk, hogy a fekáliás iszap az alábbi radioizotópokat tartalmazza:  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ . Ezen izotóptól származó dózisteljesítmény-járadékokat is több vonal alapján határoztuk meg, mind síkbeli, mind egyenletes eloszlást feltételezve. A valóságos eloszlás a kettő között van, pontosan nem ismert. A kétféle eloszlással kapott dózisteljesítmények kb. kettős faktorral térnek el egymástól, egyenletes eloszlást feltételezve kapunk nagyobb értéket.

A globális fallout eredetű  $^{137}\text{Cs}$  izotópra és a kozmogén eredetű  $^7\text{Be}$  izotópra szintén síkeloszlást tételeztünk fel. A valóságos eloszlás a megműveletlen talajfelszínre kihullott  $^{137}\text{Cs}$  izotóp esetén exponenciális kb. 3-5 cm relaxációs mélységgel, amelyhez tartozó konverziós tényező kb. 30 %-kal kisebb, mint a síkbeli eloszláshoz tartozó érték. Ez a dózisteljesítményben mintegy 30 %-os alábecslést okoz.

A 26. táblázatban összefoglaljuk a szcintillációs és a Ge/Li/ spektrométerrel kapott dózisteljesítmények átlagos hibáit természetes és néhány mesterséges radioizotóp esetében, valamint a GM-csőves detektorokkal mért értékek hibáit, 2000, 5000, ill. 1000s mérési időre vonatkozóan.

26. táblázat A különböző detektorokkal meghatározott dózisteljesítmények bizonytalanságai százalékban

	U-Ra sor	Th sor	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	teljes
NaI/Tl/ detektor	14-18	6-8	4-6	20-30	30-40	8-12
Ge/Li/ detektor	12-16	12-16	2-3	10-15	8-10	8-12
GM detektorok						10-15

A bizonytalanságok a statisztikus hibát és a több vonalból meghatározott értékek szórását tartalmazzák. További hibaforrások lehetnek:

- a forrás eloszlás hibás ismerete,
- a talaj összetétele, nedvességtartalma,
- a talaj inhomogenitása, egyenetlensége,
- az U-Ra és Th sor radioaktiv egyensúlyának hiánya,
- a levegőben lévő radonleányelemek hatása,
- a kalibrációs mérések és számítások hibája.

Általában elmondhatjuk, hogy az alkalmazott módszerekkel nagyjából azonos bizonytalansággal - mintegy 10-15 % - tudjuk a dózisteljesítményt meghatározni. Míg a szcintillációs spektrométer elsősorban a természetes radioaktivitás meghatározását teszi lehetővé, addig a Ge/Li/ spektrométer a nagyobb felbontóképessége miatt lehetőséget ad mesterséges radioizotópok azonosítására és a tőlük származó dózisteljesítmény kielégítő pontosságú kiszámítására.

Az ebben az évben végzett mérések alapján becslést adhatunk az egyes radioizotópoktól származó már kimutatható dózisteljesítmény-járulékokra a különböző detektorok esetében. A számításoknál 95 %-os megbízhatósági határt vettünk alapul. NaI/Tl/ detektornál 2000-os, Ge/Li/ detektornál 5000-os, GM-csőves detektoroknál 1000-os méréseket feltételeztünk. Átlagos háttér feltételezésével meghatároztuk, hogy az egyes detektoroknál mennyi a már szignifikáns jelzésnövekedés az adott energiájú csucsban. A NaI/Tl/ detektornál figyelembe vettük, hogy a  $^{137}\text{Cs}$  662 keV energiájú csucsa az U-Ra sor 609 keV, a  $^{131}\text{I}$  365 keV energiájú csucsa pedig a 351 keV energiájú csucsával olvad össze. Az U-Ra sor csucsterületei időben mintegy 30 %-ot ingadoznak. A GM-csőves detektoroknál a háttér 5 %-os időbeli ingadozásával számoltunk [2] .

A természetes radioizotópokra vonatkozó kimutatási határ számításánál GM-csőves detektorok esetében csak a kozmikus járulékot vettük figyelembe, a NaI/Tl/ és Ge/Li/ detektoroknál pedig a viz felett mért háttérrel.

A már szignifikáns jelzésnövekedésből kiszámítottuk a különböző izotópok sugárzásának dózisteljesítményét. A természetes izotópokra egyenletes eloszlást,  $^{137}\text{Cs}$ -re a talajban exponenciálisan csökkenő,  $^{131}\text{I}$  esetében sik-eloszlást,  $^{133}\text{Xe}$  esetében egy Gauss-függvénnyel leírható gázcsóva eloszlást tételeztünk fel [2]. A 27. táblázatban láthatók a kimutatható dózisteljesítmények a különböző izotópokra a különböző detektorok esetében.

27. táblázat Kimutatható dózisteljesítmények  
nGy.h<sup>-1</sup>-ban

Detektor	U-Ra sor	Th sor	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs a talaj- ban	<sup>131</sup> I a talaj felszi- nén	<sup>133</sup> Xe felhő
NaI/Tl/ detektor	0,8	0,9	0,1	1,6	0,6	-
Ge/Li/ detektor	0,5	0,5	0,1	0,07	0,05	-
Árnyékolatlan GM detektor	3,7	4,1	4,0	10	11	6,5
Árnyékolt GM detektor	5,7	6,1	5,1	14	18	720

A táblázatból látható, hogy Ge/Li/ spektrométert használva kb. egy nagyságrenddel csökken a környezetbe kijutó mesterséges radioizotópok kimutathatósági szintje.

Hivatkozások

- [1] Zombori P., Németh I., Andrási A.  
Környezeti dózisintenzitás helyszíni meghatározása  
Ge/Li/ spektrometriával. A módszer. KFKI-1983-44,  
Budapest, 1983.
- [2] Németh I., Zombori P., Koblinger L., Andrási A.,  
Germán E., Kemenes L.:  
A környezeti dózisteljesítmény üzemeltetés előtti  
helyzetének vizsgálata a paksi atomerőmű környezetében.  
KFKI-1982-93., Budapest, 1982.
- [3] Andrási A., Beleznay F.-né, Németh I., Zombori P.  
Környezeti minták gamma-spektrometriai mérése a paksi  
atomerőmű üzemi környezetellenőrzésében.  
Paksi atomerőmű környezetellenőrzés: Mérési leírás 5.  
KFKI, Budapest, 1982.
- [4] H.L. Beck, W.I. Condon, W.M. Lowder  
Spectrometric Techniques for Measuring Environmental  
Gamma Radiation. HASL-150 /1964/.
- [5] H.L. Beck, I. De Campo, C. Gogolak  
In situ Ge/Li/ and NaI/Tl/ Gamma-Ray Spectrometry  
HASL-258 /1972/.
- [6] Koblinger L.: POKER-CAMP: a Program for Calculating  
Detector Responses and Phantom Organ Doses in Environmental  
Gamma Fields. KFKI-1981-79, Budapest, 1981.
- [7] A. Andrási, I. Németh, P. Zombori, E. Germán, L. Kemenes,  
S. Janečka, I. Kvasnička, J. Morávek, O. Slavik, K. Feik,  
V. Grujbár, J. Košťal: Intercomparison of Some Environmental  
Monitoring Methods Applied at Nuclear Power Plants in  
Czechoslovakia /Bohunice/ and in Hungary /Paks/,  
KFKI-1982-114, Budapest, 1982.

The first part of the report deals with the general situation of the country and the progress of the work done during the year.

The second part of the report deals with the results of the work done during the year and the progress of the work done during the year.

The third part of the report deals with the results of the work done during the year and the progress of the work done during the year.

The fourth part of the report deals with the results of the work done during the year and the progress of the work done during the year.

The fifth part of the report deals with the results of the work done during the year and the progress of the work done during the year.

The sixth part of the report deals with the results of the work done during the year and the progress of the work done during the year.

THE  
LIBRARY  
OF THE  
MUSEUM OF  
ART AND  
ARCHAEOLOGY  
UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE

THE  
LIBRARY  
OF THE  
MUSEUM OF  
ART AND  
ARCHAEOLOGY  
UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet  
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán  
Szakmai lektor: Uchrin György  
Példányszám: 69 Törzsszám: 84-221  
Készült a KFKI sokszorosító üzemében  
Felelős vezető: Nagy Károly  
Budapest, 1984. március hó