

## MIT MÉR A JÓDTÁVMÉRŐ?

Manga László<sup>1\*</sup>, Deme Sándor<sup>2</sup>, Lencsés András<sup>1</sup>, C. Szabó István<sup>1</sup>, Petrányi János<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Paks

<sup>2</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

<sup>3</sup>GAMMA Zrt., Budapest

\*mangal@npp.hu

A kézirat beérkezett: 2020.12.11.

Közlésre elfogadva: 2021.01.14.

### WHAT DOES THE IODINE MONITOR MEASURE?

*The usefulness of radiation telemetry systems is unquestionable. This is the case with the iodine detector at the environmental monitoring stations of the Paks Nuclear Power Plant. The system, which sends data in every ten-minutes, simultaneously provides aerosol, elemental and organic iodine measurement data (counts, activity). Of course, such systems are not expected to have same minimal detectable quantity as systems operating under laboratory condition, but in the event of a disaster or accident, quick access to continuous data is a very important factor for decision-makers. In the following, we present the operation of such system, draw attention to what factors (interfering effects) should be taken into account, and how the sample collection function of the monitoring system can be utilized by additional measurements performed in the laboratory.*

*Keywords - serious nuclear accident, environmental monitoring, aerosol telemetry, iodine telemetry*

***A távmérő rendszerek hasznossága megkérdőjelezhetetlen. Nincs ez másképp a Paksi Atomerőmű környezetellenőrző állomásain található jódtávmérő esetében sem. A tízperces frissítéssel adatokat küldő rendszer egyszerre ad tájékoztató jellegű méréseket (beütésszám, aktivitás) aeroszolra, elemi- és szerves jódra. Természetesen az ilyen jellegű rendszerektől nem várható el a laboratóriumi körülmények közötti kimutathatóság, de üzemzavari, illetve baleseti szituációban az adatokhoz való folyamatos, gyors hozzájutás nagyon fontos tényező a döntéshozók szempontjából. A következőkben e rendszer működését mutatjuk be, hívjuk fel a figyelmet, hogy milyen tényezőket (zavaró hatásokat) kell figyelembe vennünk, valamint hogyan lehet a távmérő rendszer mintagyűjtő funkcióját kihasználni laboratóriumban végzett kiegészítő mérésekkel.***

***Kulcsszavak – súlyos nukleáris baleset, környezetellenőrzés, aeroszol távmérés, jódtávmérés***

### BEVEZETÉS

A címben feltett kérdésre a válasz egyszerűnek tűnik, az atomerőmű környezetében alkalmazott jódtávmérők az esetleges üzemzavar vagy baleset révén a levegőbe kerülő radioaktív jódot mérik. A válasz akkor helyes, ha hozzátesszük az „is” szót, azaz a levegőben lévő radioaktív jódot is mérik.

A kérdés pontosabb megválaszolása érdekében tekintsük át a jódtávmérő felépítését, paramétereit, valamint az atomerőmű légköri kibocsátását súlyos balesetnél. A jódtávmérő egyben aeroszol, elemi jódtávmérő és szerves jódtávmérő, ennek révén lehetővé teszi a levegő aktivitáskoncentráció időintegrál mintamérésen alapuló meghatározását. De fogalmazhatunk fordítva is, azaz a jódtávmérő egy olyan folyamatosan működő, kis térfogatú, három, sorba kapcsolt szűrős mintavevő, amelyenél a minták aktivitását a mintavétel során

folyamatosan mérjük. Miután a szűrőn az aktivitás folyamatosan nő, ezért a minta aktivitása a levegő aktivitáskoncentrációjának időintegráljával lesz arányos.

## JÓDTÁVMÉRŐ JELLEMZŐI

A jódtávmérők a Paksi Atomerőmű környezetellenőrző rendszerének részei. Ezek, az ún. A típusú állomásokon létesültek, amelyek az erőműtől 1–1,5 km távolságban, nagyjából egyforma szektorokat lefedve épültek ki, és rádiótelefonos, ill. kábeles összeköttetésben állnak az erőmű dozimetriai vezénylőjével. Mind a kilenc A típusú állomáson megtalálhatók ezek a berendezések [1]. (Jódtávmérő berendezés működik a mintegy 25 km távolságban levő, kontrollként tekintett dunaföldvári B24 állomáson is.)

A jódtávmérő három fő egységből áll:

1. Aeroszol mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő.
2. Elemi jód mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő.
3. Szerves jód mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő.

A három egység légtechnikailag soros üzemmódú (1. ábra), a nominális légforgalom 60 liter/h. A levegő egy 25 W-os teljesítményű páramentesítő melegítő egységen keresztül (2. ábra) jut be a mérőrendszerbe, ezzel elkerülve a mérődetektorok felett elhelyezkedő szűrők elnedvesedését. A mérőrendszer érzékenységét (imp/s)/(Bq/m<sup>3</sup>) a légforgalommal és a szűrő-detektor távolsággal lehet beállítani.

### 1. Aeroszol mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő.

Szűrő: GF/A üvegszálas szűrő (MN85/90).

A mérőegység ND319/S Ø65mm szcintillációs mérőfej Ø40x0,5mm plastik kristállyal.

A mérőfej árnyékolása: NZ305 (5cm Pb).

Jelfeldolgozás: számlálás. Energiatartomány (béta-sugárzás): 0,06–2,0 MeV.

### 2. Elemi jód mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő

Szűrő: vékonyrétegű réz-szulfid elemi-jódgőz szűrő (PACI), ami kémiaiilag köti meg az elemi jódot.

A mérőegység ND319/S Ø65mm szcintillációs mérőfej Ø40x0,5mm plastik kristállyal.

A mérőfej árnyékolása: NZ305 (5cm Pb).

Jelfeldolgozás: számlálás. Energiatartomány (béta-sugárzás): 0,06–2,0 MeV.

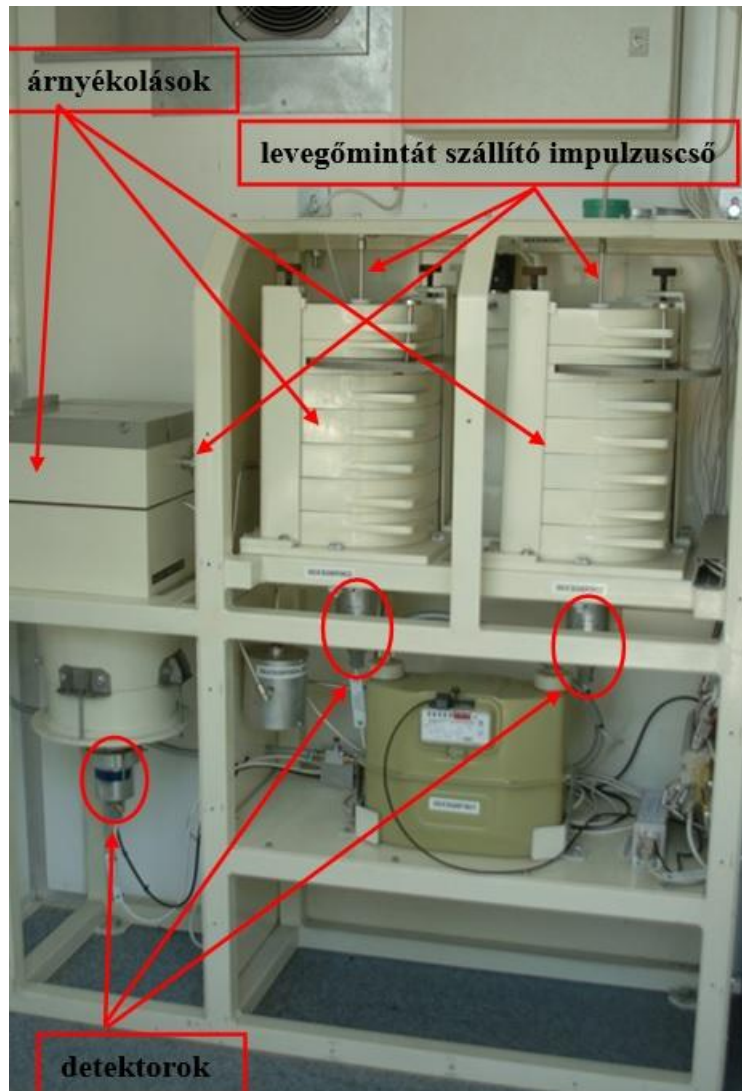
### 3. Szerves jód mintavevő és aktivitáskoncentráció időintegrál mérő

Szűrő: trietil-diaminnal (TEDA) impregnált szén granulátum, amit széles körben használnak a nukleáris iparban [2]. (Nuclearcarb 207B 5TEDA [3]).

A mérőegység ND320/S Ø90mm kék LED révén elektronikusan hőstabilizált szcintillációs mérőfej Ø60x63mm NaI(Tl) kristállyal.

A mérőfej árnyékolása NZ138 (5cm Pb).

Jelfeldolgozás: gamma-spektrometria. Beállítható energiartomány, pl: 0,1–1,2 MeV.



1. ábra. A jódtávmérő detektoregységei: jobb oldalon az aeroszol, középen az elemi jód, bal oldalon a szerves jódot mérő egység. A levegő áramlási iránya jobbról balra. (Forrás: saját)



2. ábra. A mérőrendszerre jutó levegő páramentesítő, melegítő egysége. (Forrás: saját)

## A JÓDTÁVMÉRŐ JELZÉSE SÚLYOS BALESETNÉL

A jódtávmérő három detektorának jelzését vizsgáljuk meg egy súlyos balesetnél. A hipotetikus baleset egy zónaolvadással járó esemény, amelynél a radioaktív anyag elsősorban a reaktorcsarnokon, nem ismert pontokon keresztül jut a környezetbe. A feltételezett „kibocsátás” 5 óra hosszan tart. Az elvégzett számítások [4] alapján a kikerült radioaktív anyag átlagos relatív aktivitáskoncentráció komponensei teljes jódkibocsátásra normalva:

jódok – 1

aeroszolok (a jódiszotópok kivételével) – 1,1

nemesgázok – 60

A nemesgázok nagy részarányát az eredményezi, hogy a reaktorcsarnokon át történő kikerülésnél – az aeroszolokkal és az elemi jóddal ellentétben – nincs a falakra történő kiülepedési veszteségük.

A kijutott jódiszotópok fizikai-kémiai formáinak aránya ismeretlen, számításainknál a három forma (aeroszol, elemi és szerves) részesedését a távmérés helyén azonosnak ( $1/3 - 1/3 - 1/3$ ), tekintjük. Az arány egy valós kibocsátásnál a mérési adatok alapján meghatározható az aeroszol fázist kivéve, mert a jód aeroszol fázisa más aeroszoloctól a béta-számlálás révén nem különíthető el. Az elemi jód mérő elemszelektív, a szerves fázis mérését a nagyon nagy radioaktív nemesgáz koncentráció, valamint a kiülepedett radionuklidok gamma-sugárzása teszi nagyon bizonytalanná.

### *Aeroszol mérőcsatorna*

Az aeroszol aktivitáskoncentráció mérésénél 27 nuklidot vettünk számításba. Közülük a láncreakció leállásának időpontjában az 5%-nál nagyobb részesedésű nuklidok:

Te-132	18,8%	( $T_{1/2} - 78,3$ óra)
Mo-99	15,0%	( $T_{1/2} - 65,9$ óra)
Ru-103	12,0%	( $T_{1/2} - 39,3$ nap)
Tc-99m	10,9%	( $T_{1/2} - 6,02$ óra)
Rh-105	7,3%	( $T_{1/2} - 35,3$ óra)
Ru-105	5,9%	( $T_{1/2} - 4,44$ óra)

Ez a hat nuklid a láncreakció leállásának időpontjában a 27 nuklid aktivitásának több, mint 50%-át képviseli. A nem jód aeroszolok aránya a megadott feltételeknél több mint háromszorosa az aeroszol jódokénak. Tekintettel arra, hogy mérőcsatorna szűrőjén lévő izotópösszetétel a jódtávmérővel nem határozható meg, ezért a beütésszám és a jód inhalációs dózislekötés közötti összefüggés nem adható meg.

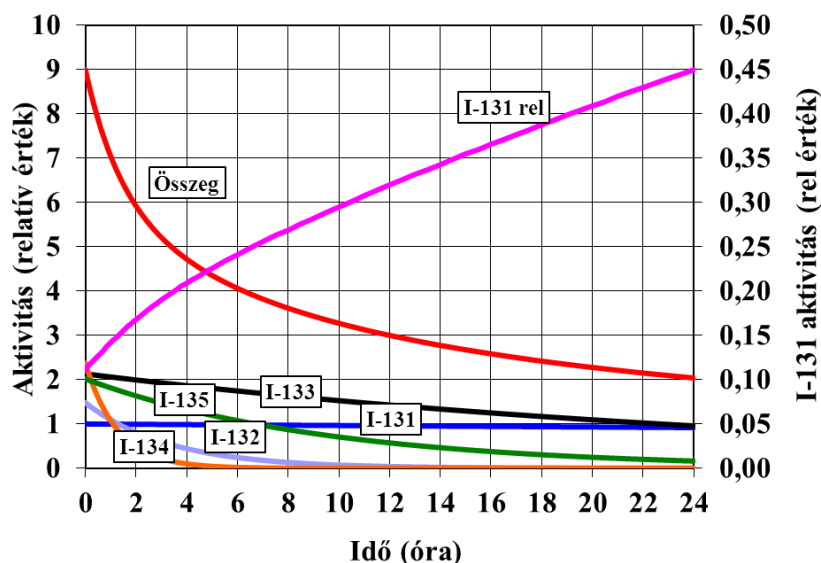
### *Elemi jód mérőcsatorna*

Az elemi jód mérőcsatorna csak a jódiszotópok béta-sugárzását méri.

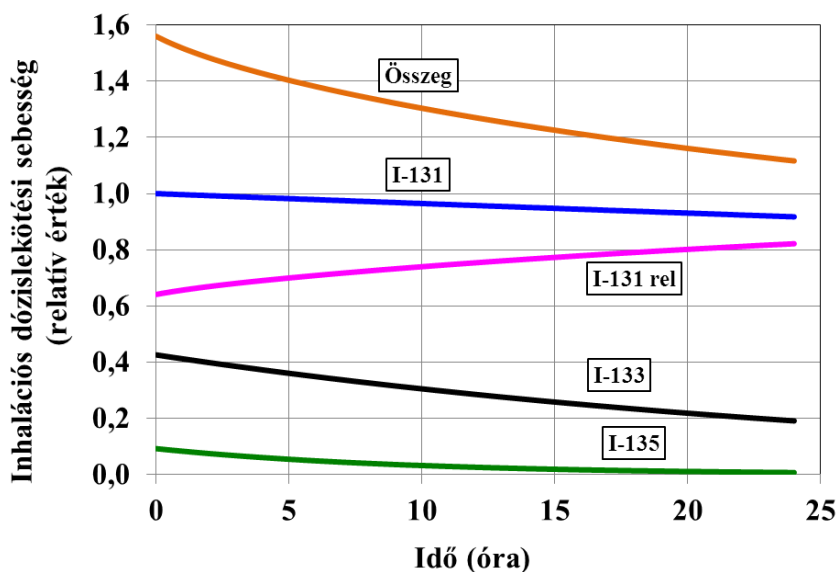
A jódiszotópok aránya a reaktor leállásának időpontjában a zónakészletben a I-131-re normalva:

I-131-1	( $T_{1/2} - 8,04$ nap)
I-132-1,48	( $T_{1/2} - 2,30$ óra)
I-133-2,13	( $T_{1/2} - 20,8$ óra)
I-134-2,37	( $T_{1/2} - 0,876$ óra)
I-135-2,02	( $T_{1/2} - 6,61$ óra)

A jódiotópok aktivitásának arányát a 3. ábra mutatja. Az egyes izotópok aktivitását az inhalációs dózislekötéssel [5] szorozva kapjuk meg az egyes izotópok inhalációs dózislekötési sebességét. Ezt mutatja a 4. ábra.. Látható, hogy a I-131 dózislekötési sebesség részaránya nagyobb, mint aktivitásának részaránya, a teljes időtartam alatt nagyobb, mint 0,6.

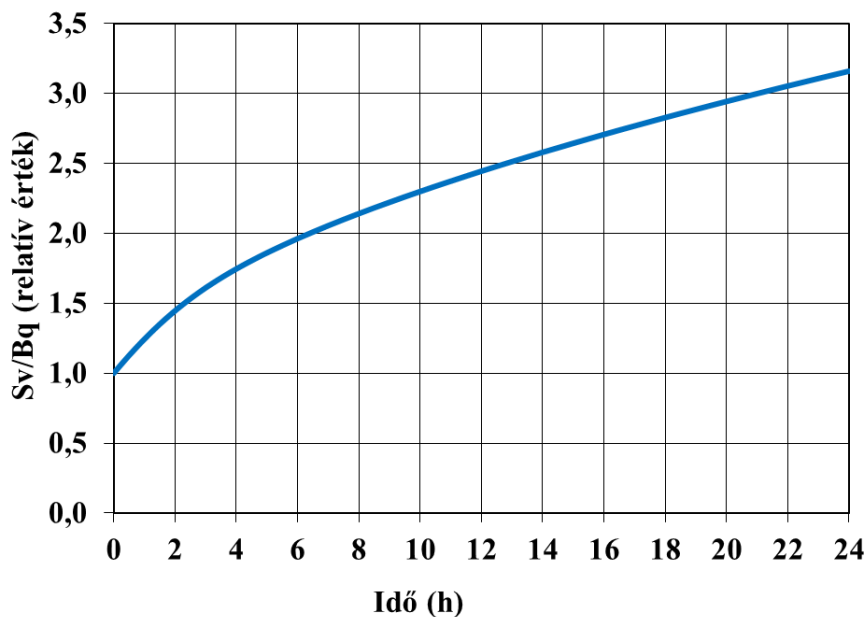


3. ábra. A jódiotópok aktivitásának aránya a I-131 aktivitásához képest a reaktor leállításától eltelt idő függvényében



4. ábra. A jódiotópok inhalációs dózislekötési sebessége a I-131-hez viszonyítva. A I-132 és a I-134 részaránya nem haladja meg a 0,03 értéket, ezért ezeket nem tüntettük fel.

Az elemi jódió mérőcsatornánál a beütésszám és az inhalációs dózislekötési sebesség közötti összefüggés a változó izotóparánynak megfelelően időfüggő. Ezt az időfüggést mutatja az 5. ábra.. Látható, hogy az arány az idő függvényében jelentősen változik, ezért nem lehet a beütésszám és az inhalációs dózislekötés közötti összefüggést állandó tényezőként megadni.



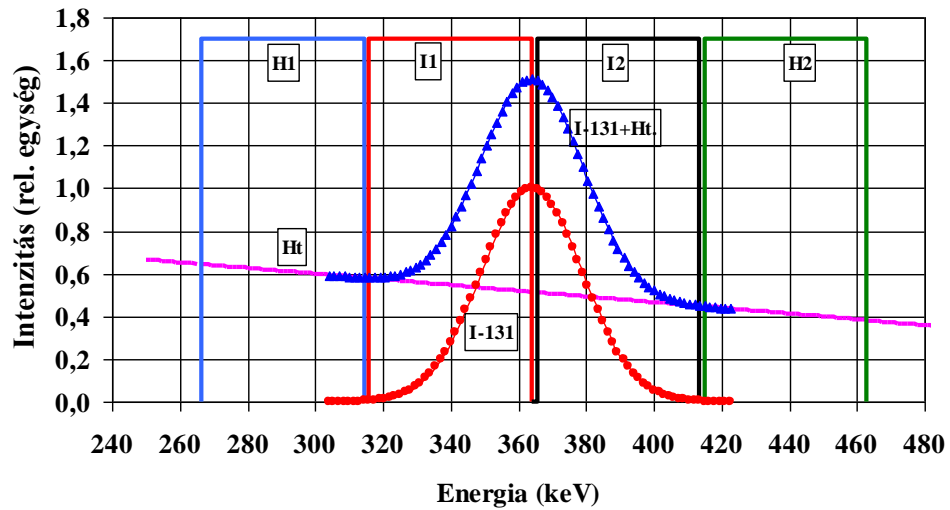
5. ábra. A jódizotópok inhalációs dózislekötési sebessége egységnyi aktivitásra a reaktor leállása óta eltelt idő függvényében.

### *Szerves jód mérőcsatorna*

A szerves jód mérőcsatornánál a jódizotópok aránya megegyezik az elemi jód mérőcsatornánál megadottal, amiből következik a I-131 domináns szerepe az inhalációs dózislekötés szempontjából.

A szerves jód esetében a térfogati minta aktivitását NaI(Tl) szcintillációs detektoros gamma-spektrométerrel határozzuk meg.

A szerves I-131 aktivitásának meghatározásának elvét a mért gamma-spektrumból a 6. ábra és az 1. táblázat mutatja be. A meghatározás azon alapul, hogy a két radionuklid gamma-spektruma meglehetősen hasonló, így a bemérésre (a detektor detektálási hatásfokának meghatározására) a Ba-133 radionuklid igen alkalmas. A táblázatban megadjuk a kiértékelésben tekintett gamma-vonalak magfizikai adatait, valamint a bemérésben, ill. a I-131 spektrumának kiértékelésében alkalmazott energia (csatorna) sáv-tartományokat (a pontosabb kiértékelhetőség érdekében a teljes tartományt a gamma-vonal energiájától – a spektrum csúcsának maximumától – számítva balra-jobbra megfelelően azonos tartományokra, „ablakokra” bontva).



6. ábra. A I-131, 364 keV energiájú gamma-vonalának spektrum tartománya NaI(Tl) scintillációs detektorral mérve és a kiértékelésben használt ablakok

1. táblázat. Sávhatárok a Ba-133 és a I-131 esetén

	Ba-133 ( $T_{1/2} - 10,5$ év) 356 keV ( $I_\gamma$ : 69%)		I-131 ( $T_{1/2} - 8,04$ nap) 364,5 keV ( $I_\gamma$ : 87,7%)	
Sáv	Alsó határ csatorna (keV)	Felső határ csatorna (keV)	Alsó határ csatorna (keV)	Felső határ csatorna (keV)
I (H1)	159 (254)	187 (303)	164 (262)	192 (311)
II (I1)	188 (305)	216 (354)	193 (313)	221 (362)
III (I2)	217 (356)	245 (405)	222 (364)	250 (413)
IV (H2)	246 (407)	274 (456)	251 (415)	279 (464)

A kiértékelés elvi menete a következő.

Legyenek a 10 perc alatti beütésszámok az  $n$ . ciklusban négy ablakban rendre  $N_{IH1}$ ,  $N_{III}$ ,  $N_{II2}$ ,  $N_{IH2}$ . Ugyanezek a számok az  $(n-1)$ . ciklusban  $N_{0H1}$ ,  $N_{0II}$ ,  $N_{0I2}$ ,  $N_{0H2}$ . Ezeknek az impulzusszámoknak a különbsége az  $n$ . ciklusból kivonva az  $(n-1)$ . ciklus beütésszámait legyen rendre  $N_{H1}$ ,  $N_{II}$ ,  $N_{I2}$ ,  $N_{H2}$ .

A NaI(Tl) detektorral mért 10 perces szerves I-131 aktivitáskoncentráció:

$$a_{isz} = ((k_{II} N_{II} + k_{I2} N_{I2}) - (k_{H1} N_{H1} + k_{H2} N_{H2})) / V,$$

ahol

$k_{II}$ ,  $k_{I2}$ ,  $k_{H1}$  és  $k_{H2}$  – a kalibráló sugárforrással meghatározott állandók az adott detektorra,

$V$  – a 10 perc alatti légfórgalom  $m^3$ -ben.

A jódtávmérő nem méri szelektíven a radioaktív nemesgázokat, azonban nagy relatív arányuk miatt minden mérőcsatornánál – a detektor körüli légtér fogat révén és a szűrőben történő dúsulásuk miatt – mind a béta-számlálásnál, mind a gamma-spektrum meghatározásánál zavaró tényezőként szerepelnek, különösen a kibocsátás kezdeténél, amikor a szűrőkön a felhalmozott aeroszol vagy jódativitás a nemesgázok aktivitásához képest kicsi. Fontos olyan jódszűrő használata, amely a nemesgázokat nem abszorbeálja, így azok a mintában nem dúsulhatnak, csak térfogati aktivitásuk zavaró.

A nemesgázok átlagos aktivitásának aránya a láncreakció leállításának időpontjában

Kr-85m 7,3% ( $T_{1/2} - 4,48$  óra)

Kr-85. 0,5% ( $T_{1/2} - 10,71$  év)

Kr-87 4,1% ( $T_{1/2} - 76,5$  perc)

Kr-88 11,5% ( $T_{1/2} - 2,84$  óra)

Xe-133 59,3% ( $T_{1/2} - 5,24$  nap)

Xe-135 17,3% ( $T_{1/2} - 9,08$  óra)

Xe-135m 0,1% ( $T_{1/2} - 15,7$  perc)

Mindhárom mérőcsatornánál jelentkezik a mérés tartama alatt a radionuklidok bomlása, amely csökkenti a mért aktivitáskoncentrációt. Ha a levegő aktivitáskoncentrációja csökken, akkor akár negatív mért értéket is kaphatunk, a berendezés ilyen esetben – szoftvere révén 0 aktivitáskoncentrációt fog jelezni.

Ki kell hangsúlyozni, hogy a jódtávmérő rendszer csak tájékoztató adatot szolgáltat, az állomás helyén fellépő aktivitáskoncentráció értékének pontosabb meghatározása a jódtávmérő szűrőinek laboratóriumi kiértékelése révén érhető el.



## MINTAVÉTEL

A jódtávmérő egyúttal folyamatosan működő aeroszol, elemi jód és szerves jód mintavevő, óránként mintegy 60 liter térfogatárammal. Ezek a minták alkalmasak egyes nuklidoknál az aktivitáskoncentráció időintegrál közelítő meghatározására. A mintákat lehetőség van gamma-spektrometriai analízisnek alávetni a laboratóriumba történő beszállítás után. A nagytisztaságú félvezető detektorral (pl. HPGe) való mérés kiértékelésével képet kaphatunk a nuklidok minőségét, mennyiségét és aktivitás-arányát illetően, amiből a baleset jellegére és súlyosságára is következtetni lehet. Méréstechnikai szempontból azonban több dolgot is figyelembe kell venni. A spektrumunk igen összetett, torzított is lehet a következők miatt: sokféle, viszonylag nagy aktivitású, rövid felezési idejű nuklid van jelen, a gamma-vonalak koincidenciája, a Compton tartomány megemelkedése, a detektor holtidejének megnövekedése következtében. Ezen méréstechnikai jellegű nehézségek ellen a következőket célszerű tenni. Kisebb határfokú detektor alkalmazása, a minta gamma-sugárzásának kollimálása, a minta és a detektor közötti távolság optimalizálása, a minta pihentetése. A minták mérése során figyelembe kell még venni az expozíciós idő kezdetét és végét, valamint a mérés előtt és a mérés közben eltelt időt, ez fokozottan fontos a rövid felezési idejű nuklidok esetén. Laboratóriumi körülmények között rendelkezésre állnak azok a számítógép programok, amelyek az előbb említett folyamatokat figyelembe veszik. A laboratóriumi mérések ilyen jellegű kiegészítésével még pontosabb képet kaphatunk a környezetbe kikerülő izotópokról, azok fizikai-kémiai formáiról, amiből következtetni lehet a várható sugárzási hatásaikra. Ez az információ a védekezés jellegének meghozatalában is fontos tényező.

A következőekben a zónaolvadás során azonos kilépési hányadú ún. MAAP csoportokat [6, 7] vizsgáljuk meg. Minden MAAP csoportból elég egy-egy, legjobban mérhető nuklid meghatározása, mert a feltételezések szerint a csoport többi nuklidjának emissziója azonos hányadban történik. A mintavétel során a nemesgázokat (MAAP csoport 1) nem vesszük figyelembe, mivel a mintavétel nem valósítható meg a jódtávmérőben használt módszerekkel. Az egyes csoportokból a nuklidok kiválasztása a következő mérlegelés szerint történik. Az izotóp a csoporton belül hosszabb felezési idővel és/vagy a nagyobb gamma-hozammal rendelkezzen, valamint Cs-137-re vonatkozó relatív aktivitása a lehető legnagyobb legyen. Ezek alapján a 2. táblázat utolsó oszlopába fel vannak tüntetve a kiválasztott nuklidok a rájuk legjellemzőbb gamma-energiájukkal és a hozzá tartozó gamma-hozammal.

2. táblázat. A zónakészletnek (zk.) megfelelő aktivitás és annak a Cs-137-re normált értéke, a MAAP csoporton [6] belüli relatív aktivitás, valamint a kimutathatóság gamma-spektrometriával

MAAP csoport	Nuklid	Zónakészlet (zk.) (Bq)	$\lambda$ (1/s)	Felezési idő	48 h bomlás (rel. egység)	zk.×bomlás (Bq)	Cs-137 rel	Rel. aktivitás a csoportban, $\geq 1\%$	Gamma-spektrometria
1	Kr-85m	5,03E+17	4,30E-05	4,48 óra	5,93E-04	2,98E+14	1,64E-03	Nincs mintavétel	
	Kr-85	2,34E+16	2,05E-09	10,71 év	1,00E+00	2,34E+16	1,29E-01		
	Kr-87	7,31E+17	1,51E-04	76,51 perc	4,66E-12	3,40E+06	1,87E-11		
	Kr-88	1,00E+18	6,78E-05	2,84 óra	8,16E-06	8,16E+12	4,49E-05		
	Xe-133	2,74E+18	1,53E-06	5,24 nap	7,68E-01	2,10E+18	1,16E+01		
	Xe-135	9,69E+17	2,12E-05	9,08 óra	2,56E-02	2,49E+16	1,37E-01		
	Xe-135m	5,49E+17	7,38E-04	15,65 perc	4,13E-56	2,27E-38	1,25E-55		
2	<b>I-131</b>	1,28E+18	9,98E-07	8,04 nap	8,42E-01	1,08E+18	5,92E+00	100,0%	364,5 keV (87,7%)
	I-132	1,90E+18	8,37E-05	2,30 óra	5,23E-07	9,94E+11	5,46E-06		
	I-133	2,74E+18	9,26E-06	20,79 óra	2,02E-01	5,53E+17	3,04E+00	51,3%	
	I-134	3,05E+18	2,20E-04	52,51 perc	3,09E-17	9,42E+01	5,18E-16		
	I-135	2,59E+18	2,91E-05	6,62 óra	6,55E-03	1,70E+16	9,32E-02	1,6%	
3	Te-127m	1,97E+16	7,36E-08	109,00 nap	9,87E-01	1,95E+16	1,07E-01	1,6%	
	Te-127	1,14E+17	2,06E-05	9,35 óra	2,84E-02	3,24E+15	1,78E-02		
	Te-129m	6,24E+16	2,39E-07	33,57 nap	9,60E-01	5,99E+16	3,29E-01	4,9%	
	Te-129	3,22E+17	1,66E-04	69,59 perc	3,49E-13	1,12E+05	6,17E-13		
	Te-131	1,09E+18	4,62E-04	25,01 perc	2,13E-35	2,32E-17	1,28E-34		
	<b>Te-132</b>	1,86E+18	2,46E-06	78,27 óra	6,54E-01	1,22E+18	6,68E+00	100,0%	228,2 keV (88,0%)
	Te-131m	2,40E+17	2,08E-06	92,57 óra	6,98E-01	1,68E+17	9,21E-01	13,8%	
4	Sr-90	1,40E+17	7,54E-10	29,13 év	1,00E+00	1,40E+17	7,69E-01	9,9%	
	Sr-89	1,45E+18	1,59E-07	50,46 nap	9,73E-01	1,41E+18	7,75E+00	100,0%	

MAAP csoport	Nuklid	Zónakészlet (zk.) (Bq)	$\lambda$ (1/s)	Felezési idő	48 h bomlás (rel. egység)	zk.×bomlás (Bq)	Cs-137 rel	Rel. aktivitás a csoportban, $\geq 1\%$	Gamma-spektrometria
	<b>Sr-91</b>	1,77E+18	2,02E-05	9,53 óra	3,05E-02	5,40E+16	2,97E-01	3,8%	749,8 keV (23,6%)
5	Mo-99	2,51E+18	2,92E-06	65,94 óra	6,04E-01	1,52E+18	8,33E+00	80,1%	
	Tc-99m	2,19E+18	3,20E-05	6,02 óra	3,97E-03	8,69E+15	4,77E-02		
	<b>Ru-103</b>	1,96E+18	2,04E-07	39,33 nap	9,65E-01	1,89E+18	1,04E+01	100,0%	497,1 keV (90,9%)
	Ru-105	1,28E+18	4,34E-05	4,44 óra	5,53E-04	7,08E+14	3,89E-03		
	Ru-106	6,23E+17	2,18E-08	368,01 nap	9,96E-01	6,21E+17	3,41E+00	32,8%	
	Rh-105	1,23E+18	5,45E-06	35,33 óra	3,90E-01	4,80E+17	2,64E+00	25,3%	
6	<b>Cs-134</b>	2,22E+17	1,07E-08	2,05 év	9,98E-01	2,22E+17	1,22E+00	100,0%	604,7 keV (97,6%)
	Cs-137	1,82E+17	7,32E-10	30,01 év	1,00E+00	1,82E+17	1,00	82,1%	
	Cs-136	6,49E+16	6,10E-07	13,15 nap	9,00E-01	5,84E+16	3,21E-01	26,4%	
7	<b>Ba-140</b>	2,40E+18	6,30E-07	12,73 nap	8,97E-01	2,15E+18	1,18E+01	100,0%	537,3 keV (24,4%)
8	<b>Zr-95</b>	2,45E+18	1,25E-07	64,18 nap	9,79E-01	2,40E+18	1,32E+01	100,0%	756,7 keV (54,0%)
	La-140	2,45E+18	4,78E-06	40,28 óra	4,38E-01	1,07E+18	5,89E+00	44,7%	
9	<b>Ce-141</b>	2,33E+18	2,47E-07	32,48 nap	9,58E-01	2,23E+18	1,23E+01	100,0%	145,4 keV (48,2%)
	Ce-143	2,16E+18	5,84E-06	32,97 óra	3,65E-01	7,87E+17	4,33E+00	35,3%	
	Ce-144	1,85E+18	2,82E-08	284,49 nap	9,95E-01	1,84E+18	1,01E+01	82,5%	
10	<b>Sb-127</b>	1,15E+17	2,08E-06	92,57 óra	6,98E-01	8,03E+16	4,41E-01	100,0%	685,7 keV (37,0%)
	Sb-129	3,43E+17	4,38E-05	4,40 óra	5,16E-04	1,77E+14	9,73E-04		

## ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható, hogy a jódtávmérő alkalmas arra, hogy súlyos nukleáris balesetnél nagyságrendi tájékoztató adatot adjon a levegő aeroszol, elemi jód és szerves jód aktivitáskoncentrációjának időintegráljára, de az aeroszokok nuklidösszetétele csak az aeroszol szűrő nagyfelbontású gamma-spektrométerrel végzett laboratóriumi analízisével határozható meg.

Fontos megjegyezni, hogy amennyiben az A típusú állomás energiaellátása baleset következtében nem szűnt meg, akkor rendelkezésre állnak az állomások nagy (40-50 m<sup>3</sup>/h) térfogatáramú levegőmintái is. A szűrők anyaga azonos a jódtávmérőnél használttal. E minták révén az elemzés még pontosabb meghatározása válik lehetővé. Utóbb említett mintavételi rendszer mintáinak laboratóriumi feldolgozása és gamma-spektrometriai mérései alapján a fukushimai eseményeket követően (Magyarországra jellemzően, a mintavétel idején) a következő arányok jelentkeztek a I-131 földfelszíni levegőben mért aktivitáskoncentrációjára, az aeroszol formára vonatkoztatva: aeroszol (1), elemi jód (0,6) és szerves jód (2,6) [8].

## RODALOM

- [1] Bujtás Tibor, Manga László, Nagy Gábor, Solymosi József: A Paksi Atomerőmű környezetellenőrző Laboratóriuma minatvételi adatbázisának korszerűsítése. Hadmérnök, X. évf. 1. szám, 165. old, 2015. március.  
[http://hadmernok.hu/151\\_15\\_bujtast\\_ml\\_ng\\_sj.pdf](http://hadmernok.hu/151_15_bujtast_ml_ng_sj.pdf)  
Letöltés ideje: 2020.11.23.
- [2] <https://www.eurocarb.com/wp-content/uploads/2013/11/eurocarb-ebroch-water-hungarian.pdf>  
Letöltés ideje: 2020.11.23.
- [3] <https://safety365.sevron.co.uk/substances/msds/nuclearcarb-207b-5teda-10x16-msds-download-73081>  
Letöltés ideje: 2020.11.23.
- [4] Deme Sándor, László András, Pázmándi Tamás, Szántó Péter: Tervezési és tervezésen túli üzemállapotok sugárzási következményei: Témazáró jelentés EK-SVL-2016-994-03-01-00. MTA EK, Budapest, 2017. november
- [5] IAEA Safety Standards, GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA, 2014
- [6] MAAP - Modular Accident Analysis Program.  
<https://www.fauske.com/nuclear/maap-modular-accident-analysis-program>  
Letöltés ideje: 2020.11.23.
- [7] Lajtha Gábor: Súlyos balesetek során kijutó hasadási termékek mennyiségének meghatározása, 1. A hermetikus tér reális szivárgási modellje a MAAP4 kódban. NUBIKI 212-544-00/1, 2015.december
- [8] Bujtás Tibor, Dombóvári Péter, Lencsés András, Manga László, Ranga Tibor: Mit mértünk a környezetben (előadás), XXXVI Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajduszoboszló, 2011. május 3-5.  
[http://elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2011sv/szekcio5/fukushima\\_jod.pdf](http://elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2011sv/szekcio5/fukushima_jod.pdf)  
Letöltés ideje: 2020.11.23.

**Készült a SOMOS alapítvány támogatásával.**