

## Vízmintha radioaktivitásának meghatározása.

### 1. Bevezetés

A természetes vizekben, így a Dunában is jelenlévő radioaktivitás oka a vízzel érintkező anyagokból kioldott természetes eredetű radioaktív izotópok jelenléte, valamint a levegőből a vízbe hulló aeroszolrészecskékhez kötött, legnagyobb részén szintén természetes eredetű radioaktivitás. Legnagyobb koncentrációban a  $^{40}\text{K}$  és a természetes urán és tórium bomlási sorába tartozó radionuklidok megjelenése várható. Emellett esetenként mesterséges eredetű szennyezés is kimutatható lehet. Az 1986-os csernobili atomerőmű-baleset következtében a Duna vízének radioaktív koncentrációja időlegesen két nagyságrenddel nőtt meg. Az ivóvízfogyasztás és a mezőgazdasági öntözés révén a vízben található radioaktív izotópok az emberi szervezetbe is bekerülhetnek, így a nem radioaktív szennyezések mennyiségének ellenőrzése mellett az emberi fogyasztással kapcsolatban lévő vízmennyiségek radioaktivitásának megállapítása is lényeges.

### 2. Elméleti összefoglalás

A vízmintha radioaktivitásának meghatározása során először elegendő mennyiségű mintát kell venni a vizsgálandó közegből. A minta mennyiségének megválasztásánál igen fontos, hogy a várhatóan igen kis aktivitáskoncentrációjú radioaktív anyagok mennyisége elérje a mérésre érvényes kimutatási érzékenységet. Nagytérfogatú minták esetében az előnyös mérési hatások eléréséhez szükséges lehet a minta térfogatának csökkentése anélkül, hogy annak radioaktivitása számottevően csökkenne. A dúsítási eljárások alkalmazása után előálló úgynevezett mérőminta alfa-, béta- és gammasugárzó nuklidokat egyaránt tartalmazhat. Az alfasugárzás mérése általában csak igen kis mennyiségű mintákból, hosszadalmas mintaelőkészítés után oldható meg jó hatásokkal. A gammasugárzás mérésének fő problémája az alacsony detektálási hatások, melynek oka a gammasugárzás gyenge abszorpciós képessége. Mivel a legtöbb környezeti és számos, sugárvédelmi szempontból fontos mesterséges eredetű radionuklid béta-sugárzó, ezért a minták gyors, rutinszerű vizsgálata a béta-sugárzás mérésével végezhető el. E megoldásnál hátrányos, hogy a mérés nem lehet izotópspecifikus, így a mért összesbéta-intenzitásból csak a béta-sugárzók mennyiségére jellemző összesbéta-aktivitás és -aktiváskoncentráció határozható meg. A számításokhoz szükség van a mérés (átlagos) számlálási hatásoknak ismeretére, amit a mérőrendszer előzetes kalibrációjával kaphatunk meg.

$$\eta = (I_e - I_H) / A_e \quad [1]$$

Az [1] egyenletben  $\eta$  a számlálási hatások,  $I_e$  a kalibrációhoz használt etalonnal mért jelintenzitás,  $I_H$  a háttér intenzitása,  $A_e$  pedig az etalon ismert aktivitása Bq-ben. Az intenzitások dimenziója célszerűen jel/s (cps).

### 3. A mérés elve

A csökkentett térfogatú, azaz dúsított minta aktivitáskoncentrációját a mérési és a dúsítási határfok ismeretében, a minta bétasugárzásának nettó intenzitásából határozzuk meg.

### 4. A mérési feladat

A minta teljes feldolgozása mintavételből, dúsításból, mintaelőkészítésből, kalibrációval előkészített mérésből és az eredmények kiértékeléséből áll. A minta dúsításához két eljárás, egy csapadékleválasztáson alapuló és egy egyszerű forralásos bepárlás közül választhatunk. A gyakorlat során egy frissen vett mintán bemutatjuk a dúsítási eljárást, és a mérést. A számításokat a meghatározott, illetve a rendelkezésre bocsátott adatok alapján kell elvégezni.

A bétasugárzás mérésére ólomárnyékolással ellátott GM-számlálósövet használunk. Az  $\eta$  detektálási határfok értékét kalibrálás során határozzuk meg. A detektálási határfok általában 4 tényező függvénye: a geometriai tényezőt a detektor-minta távolság határozza meg, a visszaszórási tényező a detektor környezetében lévő anyagokról történő visszaszórás eredménye, a detektor megszólalási valószínűsége a válaszjelet keltő részecskék aránya a bekerült részecskék számához képest, míg az abszorpciós tényező a minta és a detektor között elnyelő anyagok hatását jellemzi.

Bétasugárzók mérésénél, amennyiben detektorként végablakos GM-csövet használunk, a detektálási határfok csak a geometriai tényezőtől ( $G$ ), a mintatartó tálka aljáról történő visszaszórástól ( $f_v$ ) és a minta anyagában fellépő önabszorpciótól ( $f_{\text{öa}}$ ) függ:

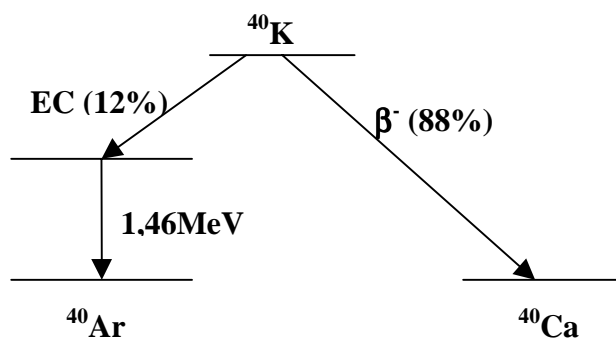
$$\eta = G * f_v * f_{\text{öa}} \quad [2]$$

A GM-cső megszólalási valószínűsége bétarészecskére 1.

Sugárvédelmi méréseknél hitelesítési célokra, azaz a berendezés detektálási határfokának meghatározásához gyakran használják a  $^{40}\text{K}$  izotópot, a minták aktivitását erre az izotópra vonatkoztatva adják meg.

A  $^{40}\text{K}$  izotóp bomlási sémája az 1. ábrán látható.

A  $^{40}\text{K}$  12% -os valószínűséggel elektronbefogás útján, 88%-os valószínűséggel pedig  $\beta^-$ -emisszióval bomlik. A befogást kísérő gammavonal energiája 1,46 MeV. A  $^{40}\text{K}$  izotóp felezési ideje  $1,25 * 10^9$  év. A természetes káliumban ezért mindig azonos arányban található  $^{40}\text{K}$  izotóp (1g természetes kálium 0.000118 g  $^{40}\text{K}$  izotópot tartalmaz).



1. ábra  
A  $^{40}\text{K}$  bomlási sémája

Így kiszámítható, hogy a természetes kálium minden grammja 1680 bétarészecskét bocsát ki percenként. A kibocsátott gammafotonok száma percenként 210.

Kalibrálási célokra általában KCl-t (káliumklorid) használunk. 1,91 g KCl tartalmaz 1 g természetes káliumot. Ha a detektorunk végablakos GM-cső, akkor a kalibrálásnál a gamma sugárzás nem hat zavarólag, hiszen a GM-csővek megszólalási valószínűsége gamma sugárzásra 1-2%, így a gamma sugárzástól eredő többletszámlálás a bétakalibrálásnál elhanyagolható.

## 5. A méréshez szükséges eszközök és anyagok

A Dunából vett 500 cm<sup>3</sup> vízmintából kiindulva kétféle dúsítási eljárást végezhetünk el. A csapadékleválasztáson alapuló eljáráshoz a mérés menetének leírásában szereplő vegyszerekre és eszközökre van szükség. A bepárlásos eljárás során a mintát kíméletesen forraljuk, majd a mérőmintát infralámpa alatt beszárítjuk. A mérést mindkét esetben ólomárnyékolással ellátott GM-számlálócsővel végezzük. A GM-cső végablakának vastagsága 1,5 mg/cm<sup>2</sup> -nél kisebb. Az  $\eta$  detektálási hatásfok értékét kalibrálás során határozzuk meg (lásd később).

## 6. A mérés menete

### I. Radioaktív anyagok dúsítása csapadékleválasztással

A Dannecker, Kiefer és Maushart által közölt eljárást kimondottan sugárvédelmi ellenőrzések céljaira alakították ki. A minta készítése a következő sorrendben történik:

- \* A vizsgált vízből vegyünk 200 cm<sup>3</sup>-t és öntsük egy 500 cm<sup>3</sup> térfogatú főzőpohárba!
- \* Hordozóként adjunk hozzá 1,5 cm<sup>3</sup> 0.1 M CaCl<sub>2</sub> oldatot!
- \* Adagoljunk a mintánkhoz 2,5 cm<sup>3</sup> 0,1 M FeCl<sub>3</sub> oldatot! A folyadékot jól keverjük meg!
- \* Töltsünk az oldathoz néhány csepp fenolftaleint, majd 0,1 M NaOH oldattal a minta pH értékét 10,5-re állítsuk be! Ennél a műveletnél a NaOH oldatot addig adagoljuk, míg az indikátor vörös színbe csap át. Ezután az adagolást már óvatosan végezzük, s a pH értéket állandóan univerzális indikátorpapírral ellenőrizzük. 10,5 pH értéknél a NaOH adagolását abbahagyjuk.
- \* Az átlúgosított oldathoz 1,5 cm<sup>3</sup> 0.1 M Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> oldatot keverünk, állandó kevergetés mellett. A gyorsabb kicsapódás elősegítése céljából a mintát kissé melegítjük.
- \* Néhány perc elteltével a vízmintából kicsapódott anyag a főzőpohár aljára ülepedik. Ekkor vízsugárszivattyúhoz kötött tölcserbe egy szűrőpapírt helyezünk és a folyadékot megsűrjük. A főzőpohár alján maradt csapadékot desztillált víz segítségével visszük a szűrőre.
- \* A szűrőpapírt a csapadékkal összehajtogatjuk, és porcelántégelybe helyezjük. A csapadékos szűrőpapírt infralámpával megszárazítjuk.
- \* A porcelántégelyt izzítókemencébe helyezjük és 600°C hőmérsékleten elhamvasztjuk.
- \* A mintát lehűlés után 20 mm átmérőjű alumínium tálkába töltjük át, a hamut a tálkában hígított körömlakk segítségével rögzítjük. A mintát infralámpa alatt kiszárítjuk.
- \* A kiszárított minta tömegét analitikai mérlegen lemérjük. Az alumínium tálka tömegét már korábban meg kell mérni. A minta tömegének ismerete az aktivitás meghatározásához szükséges.

Ezzel az eljárással a minta készen áll az aktivitás meghatározására. A leírt dúsítási eljárás különböző radioaktív izotópokra eltérő kitermelési hatásokkal rendelkezik. Néhány fontosabb izotópra a kitermelési hatásfokot az 1. táblázat tartalmazza:

1. táblázat

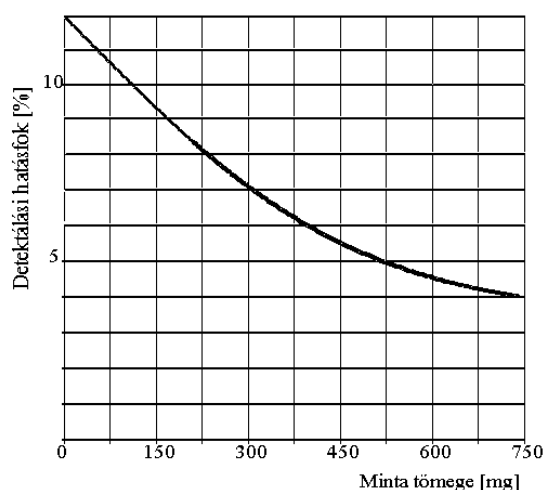
A fontosabb radionuklidok kitermelése a csapadékleválasztásos dúsítás során

|   |     |                   |         |
|---|-----|-------------------|---------|
| $^{137}\text{Cs}$                                 | 79% | $^{204}\text{Tl}$ | 98%     |
| $^{40}\text{K}$                                   | 15% | $^{124}\text{Sb}$ | 88%     |
| $^{106}\text{Ru}$                                 | 37% | $^{141}\text{Ce}$ | 99%     |
| $^{60}\text{Co}$                                  | 98% | $^{32}\text{P}$   | 96%     |
| $^{131}\text{I}$                                  | 50% | $^{192}\text{Ir}$ | 40%     |
| $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$                | 90% |                   |         |
| Urán hasadási termékekre átlagosan                |     |                   | 95%     |
| Nedves kihullás (fall-out) radioizotóp-tartalmára |     |                   | 90-100% |

A kitermelési hatásfok értékét az aktivitás számítása során korrekciós tényezőként kell felhasználni.

## II. A minta radioaktivitásának meghatározása.

Az ellenőrzés során első vizsgálatként a mintából származó összesbéta-intenzitást mérjük meg. Amennyiben a vizsgált vízminta aktivitásának értéke ezt indokolja, akkor gammaszpektrométer segítségével határozzuk meg a szennyező izotópok minőségét. A béta-számlálás értékeléséhez meg kell határozni a minta tömegétől, azaz önabszorpciójától függő számlálási hatásfok értékét.



2. ábra  
 $\beta$ -intenzitásmérés detektálási hatásfoka a minta tömegének függvényében

Kalibrálásnál a mintatartó alumínium tálkákba különböző tömegű KCl adagokat mérünk be. Kiszámítjuk az így keletkezett etalon várható bétaaktivitását, majd megmérjük a háttérrel korrigált béta-intenzitást. A két adatból az adott tömeghez tartozó detektálási hatásfokot az [1] egyenlettel számítjuk. Mivel a minta és az etalon tálkái (s ezzel a visszaszórási tényező), valamint a geometriai tényező azonos, a detektálási hatásfok csak az önabszorpció, azaz a minta tömegének függvénye lesz. A 2. ábrán a detektálási hatásfokot a minta tömegének függvényében ábrázoltuk.

A dúsítás során keletkezett minta aktivitásának meghatározása során a következő lépéseket hajtjuk végre:

\* megmérjük a minta tömegét,

- \* a 2. ábrából a minta tömegének ismeretében meghatározzuk a detektálási hatásfokot,
- \* megmérjük a háttér intenzitását,
- \* megmérjük a minta bruttó intenzitását.

## 7. Kiértékelés

A nettó intenzitás és a detektálási hatásfok ismeretében kiszámítjuk a minta aktivitását és a nettó intenzitás szórását. Az aktivitás és a felhasznált vízminta térfogatának hányadosaként határozzuk meg az eredeti vízminta radioaktív koncentrációját. A meghatározás relatív bizonytalanságát ("relatív hibáját") azonosnak tekintjük a nettó intenzitás relatív hibájával.

## 8. Ellenőrző kérdések

Milyen veszteségek adódhatnak a mintafeldolgozás műveletei során ?

Hogyan lehet a mérés végeredményét dozimetriai számításokra felhasználni ?

## 9. Ajánlott irodalom

Virágh Elemér : Sugárvédelmi ismeretek ( Mérnöki Továbbképző Intézet jegyzete, 1990.)