

A levegő radonkoncentrációjának meghatározása

1. Bevezetés

A mérési gyakorlat során a levegő aeroszol részeihez kötődött rövid felezési idejű radon bomlástermékek alfasugárzásának mérése alapján a leányelemek koncentrációjának meghatározásából következtethetünk a levegő radonkoncentrációjára.

2. Elméleti összefoglalás

A természetes radioaktivitás jelentős részét képező ^{238}U és ^{232}Th bomlási sorának egyik tagja nemesgáz, a ^{222}Rn illetve a ^{220}Rn . Mivel előbbi felezési ideje 3,8 nap, utóbbié pedig 54 s, a talajból és a talaj alatti közetből, valamint épületek esetében az építőanyagokból elsősorban a ^{222}Rn kerülhet ki a légtérbe.

Izotóp	Sugárzás	A sugárzás energiája [MeV]	Felezési idő [perc]	Bomlási állandó	
				[1/perc]	[1/s]
$^{222}\text{Rn}=\text{Rn}$	alfa	5,49	5501	1,26e-4	2,1e-6
$^{218}\text{Po}=\text{RaA}$	alfa	6,00	3,05	0,2272	3,78e-3
$^{214}\text{Pb}=\text{RaB}$	béta	1,02	26,8	0,02586	4,31e-4
$^{214}\text{Bi}=\text{RaC}$	béta	3,27	19,7	0,03518	5,86e-4
$^{214}\text{Po}=\text{RaC}'$	alfa	7,69	2,73e-6	2,54e5	4232

1. táblázat

A ^{222}Rn és rövid felezési idejű bomlástermékeinek jellemző adatai

A radon bomlása során keletkező leányelemek adszorbeálódnak a levegőben lévő aeroszolrészecskék (por, füst) felszínén, és a belélegzést követően lerakódnak az emberi légutakban (torok, légcső, hörgők, tüdő). Rövid felezési idejük miatt hamarabb elbomlanak, mintsem a szervezet tisztító mechanizmusa eltávolítaná őket. Dozimetriai szempontból különösen veszélyes az alfasugárzások, amelynek sugárzási tényezője $w_R = 20$, azaz ugyanakkora abszorbeálódott alfaenergia húszszorannyi sejtkárosodást okoz a gamma- vagy béta-sugárzás energiájához képest. (A dozimetria elvi alapjait a "Dózieljesítménymérő kalibrálása" c. gyakorlat leírásánál ismertetjük.)

3. A mérés elve

A mérés alapelvét TSIVOGLU és munkatársai közölték 1953-ban. Mivel a radon egészségkárosító hatása elsősorban a rövid felezési idejű, alfasugárzó leányelemeknek tulajdonítható, a mérés során e leányelemek koncentrációját határozzuk meg. Mintát veszünk a levegőben lévő aeroszorból, az aeroszolhoz kötött radon-leányelemek

mennyiségéből következtetünk a közöttük és az anyaelem között fennálló egyensúlyra (azaz a koncentrációk arányára), és ennek ismeretében számítjuk ki a ^{222}Rn koncentrációját.

A rövid felezési idejű ^{222}Rn -leányelemek közül a ^{218}Po (RaA) és a ^{214}Po (RaC') alfasugárzó. A mérés során a levegőből szűrővel vett aeroszolminta alfasugárzását detektáljuk. A mérés körülményei között, a minta hosszabb időt igénylő radiokémiai feldolgozása nélkül nincs lehetőség a két eltérő energiájú komponens egymás melletti, spektrometriás meghatározására, csak az alfasugárzás szelektív, azaz a szintén a radonleányelemektől, valamint a mérőhely háttéréből származó béta- és gammasugárzástól mentes mérése oldható meg. Erre a célra ZnS(Ag) szcintillációs detektort alkalmazunk. A radonleányelemek radioaktivitása a szűrőn a mintavétel alatt növekszik, majd annak leállítása után csökken. Valamennyi nuklidra igaz, hogy mennyiségük arányos a ^{222}Rn koncentrációjával a levegőben, de a bomlás mellett a RaB, RaC és RaC' nuklidjainak száma részben növekszik is, a közvetlen anyaelem bomlása következtében. Aktivitásuk időfüggése egy differenciálegyenlet-rendszerrel írható le. Ennek bemutatását mellőzzük, de a részletek ismerete nélkül is belátható, hogy ha a mintavétel befejezése után különböző időpontokban megmérjük a mintából kilépő alfasugárzás intenzitását, az mindig a leányelemek mennyiségének (aktivitásának) összegével lesz arányos, és az egyes komponensek részesezése az összaktivitásból minden időpontban különböző lesz. Mivel három komponens mennyiségét kell meghatároznunk (a RaC' aktivitása az igen rövid felezési idő miatt gyakorlatilag azonos lesz a RaC aktivitásával), ehhez legalább három időpontban kell mérési adattal rendelkezünk, és ismerni kell az adott időpontban érvényes, egységnyi kiindulási koncentrációra vonatkozó megoszlási arányt a komponensek között. Tsivoglu és munkatársai meghatározták e megoszlási arányokat.

4. A mérési feladat

A mintavétel kezdetének időpontjában a levegőben a RaA, RaB és RaC koncentrációk különböző értékűek. A levegőminta vételének ideje alatt az aktív aeroszolk folyamatosan lerakódnak a szűrőre. A mintavétel befejezésének időpontjában a szűrőn meghatározott számú RaA, RaB, RaC stb. atommag található. A RaA atommagok számát a szívás térfogati sebessége, a levegő RaA tartalma és a mintavétel ideje alatti bomlások száma határozzák meg. A többi leányelem esetében figyelembe kell venni a bomlássor előző tagjából származó aktív magok számát is.

A szívás befejezése után az összegyűlt atommagok az 1. táblázatban megadott felezési idővel bomlanak. Az alfa-bomlástörbe a RaA és RaC' alfasugárzásának eredőjeként jön létre, de az időbeli lefutást a többi leányelem is befolyásolja. A kiértekelési módszer lényege: az alfa-bomlástörbe 5., 15. és 30. percében meghatározott alfa-aktivitás értékeiből következtetünk a szívás befejezésének időpontjában a szűrőn lévő RaA, RaB és RaC atommagok számára, majd ezek ismeretében kiszámítjuk az egyes izotópoknak a levegőben lévő koncentrációinak átlagértékeit a mintavétel időtartamára vonatkozóan. Végül a RaA, RaB és RaC aktivitásértékei alapján következtetünk a radonkoncentrációra.

5. A méréshez szükséges eszközök és anyagok

Aeroszolminták vételéhez jó hatásfokú levegőszűrőt kell használni, melynek felületén gyűlik össze a radioaktivitást is tartalmazó aeroszol.

Mintavevőként olyan légszivattyút használunk, amely viszonylag nagy térfogatú levegőt képes mozgatni. A gyakorlat során FH-422 típusú elektrosztatikus szűrővel ellátott

mintavevőt használunk. Az elektrosztatikus szűrő szűrési hatásfoka 30% körüli, a mintavevő térfogatsebessége $25 \text{ m}^3/\text{óra}$ ($417 \text{ dm}^3/\text{perc}$).

A szűrő alfa-aktivitásának mérésre szcintillációs alfa- detektort használunk. A detektort sornymotatós számlálóhoz kötjük. A háttér levonása után az adatokat korrigáljuk az alfa-számlálás detektálási hatásfokával és a szűrési hatásfokkal. Az "alfa-aktivitás" értékeit ábrázoljuk a szívás befejezése után eltelt idő függvényében. Ezzel megkapjuk a bomlásgörbét.

A kiértékeléshez szükséges matematikai formulát egy bonyolult, lineáris inhomogén differenciálegyenlet-rendszer eredményeként kapjuk meg.

6. A mérés menete

A vizsgált levegőből 5 percen át levegőszűrővel aeroszolmintát veszünk.

A mintavétel befejezése után 35-40 percen át egy-egy perces mérésekkel folyamatosan mérjük a levegőminta alfa-intenzitását.

A mérési eredményeket ábrázoljuk a mintavétel befejezése után eltelt idő függvényében, majd az így nyert bomlási görbe alapján számítással meghatározzuk a radon három rövid felezési idejű leányelemének (RaA, RaB, RaC) koncentrációját.

A bomlástermékek koncentrációinak ismeretében meghatározzuk a radonkoncentrációt.

7 Kiértékelés

Megrajzoljuk az alfa-bomlásgörbét: a szívás befejezésének időpontjától számítva ábrázoljuk a szűrési hatásfokkal és az alfa-detektálás hatásfokával korrigált értékeket. (Szűrési hatásfok: 30%; detektálási hatásfok 15%) Ne feledkezzünk meg a mérés előtt meghatározott háttér korrekciójáról!

A bomlásgörbéről leolvassuk az 5., 15. és 30. perchez tartozó értékeket. Kis radonkoncentráció esetén szükséges lehet a nukleáris számlálás statisztikus szórásának csökkentése, megfelelő grafikus vagy számítási eljárással, amelynek részleteit a gyakorlat alkalmával határozzuk meg.

Jelöljük a leolvasott értékeket $A(5)$, $A(15)$ és $A(30)$ szimbólumokkal. (Dimenziójuk [bomlás/perc]) Az $A(5)$, $A(15)$ és $A(30)$ ismeretében kiszámítjuk a szűrőn a mintavétel befejezésének időpontjában felhalmozódott RaA, RaB és RaC atommagok számát. Jelöljük ezeket rendre N_{RaA}^0 , N_{RaB}^0 és N_{RaC}^0 szimbólumokkal. A számítás egyenletei:

$$N_{RaA}^0 = 17,3 \cdot A(5) - 39,3 \cdot A(15) + 24,8 \cdot A(30) \quad [1]$$

$$N_{RaB}^0 = -6,9 \cdot A(5) - 84,9 \cdot A(15) + 160,6 \cdot A(30) \quad [2]$$

$$N_{RaC}^0 = -9,1 \cdot A(5) + 110,5 \cdot A(15) - 83,8 \cdot A(30) \quad [3]$$

Az N_{RaA}^0 , N_{RaB}^0 és N_{RaC}^0 ismeretében, valamint a szívási sebesség ($v = 417 \text{ dm}^3/\text{perc}$) felhasználásával kiszámítjuk a levegő RaA, RaB és RaC koncentrációértékeit atom/liter egységben. Jelöljük ezeket rendre Q_{RaA} , Q_{RaB} és Q_{RaC} -vel, ekkor:

$$Q_{RaA} = \frac{0,335 \cdot N_{RaA}^0}{v} \quad [4]$$

$$Q_{RaB} = \frac{0.213 * N_{RaB}^0 - 0.407 * Q_{RaA} * v}{v} \quad [5]$$

$$Q_{RaC} = \frac{0.218 * N_{RaC}^0 - (0.024 * Q_{RaA} + 0.0677 * Q_{RaB}) * v}{v} \quad [6]$$

A Q_{RaA} , Q_{RaB} és Q_{RaC} koncentrációértékeket a λ bomlási állandók segítségével aktivitáskoncentrációkká számítjuk át (ugyanis $A = \lambda * Q$), ekkor Bq/m³-ben kapjuk az eredményeket.

$$A_{RaA}^f = 3,78 * Q_{RaA} \quad [7]$$

$$A_{RaB}^f = 0,431 * Q_{RaB} \quad [8]$$

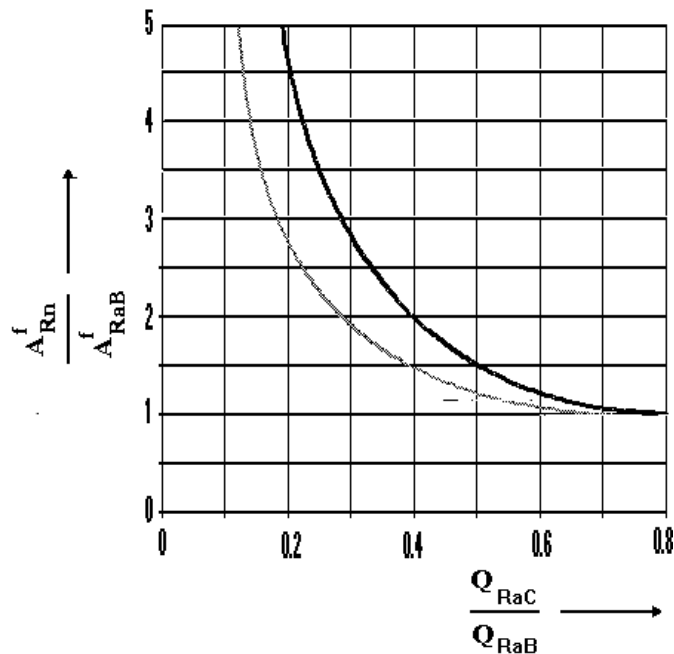
$$A_{RaC}^f = 0,586 * Q_{RaC} \quad [9]$$

Az eddigi eredményekből következtetünk a radonkoncentrációra az 1. ábra segítségével. Itt a két hosszabb felezési idejű leányelem, a RaB és a RaC koncentrációja aránya, a Q_{RaC}/Q_{RaB} hányados függvényében ábrázoltuk a $Z = A_{Rn}^f/A_{RaB}^f$ hányados értékeit.

Mivel az előzőekben a Q_{RaB} , Q_{RaC} és A_{RaB}^f értékeit már kiszámoltuk, így az ábra alapján meghatározott korrekciós tényezővel megkapjuk a ²²²Rn koncentrációját:

$$A_{Rn}^f = Z * A_{RaB}^f \quad [10]$$

A koncentráció szórásának pontos meghatározásához a felhasznált számítási eljárás egyes műveleteinek hibaanalízise is szükséges lenne. Közelítésképpen a bomlásgörbéről leolvasott legkisebb intenzitás relatív hibáját alkalmazzuk a koncentráció hibájának becslésére.



1. ábra

Korrektíós tényező a radonkoncentráció számításához a RaB és RaC komponens koncentrációhányadosának függvényében

8. Ellenőrző kérdések

Miért nem elegendő egyetlen mérést végezni a radon koncentrációjának meghatározására az alfasugárzás ZnS(Ag) detektorral való mérése során ?

Mennyire befolyásolja a meghatározást az, hogy a vizsgált légtérben mennyi az aeroszol (por, füst) mennyisége ?

Milyen következtetést lehet levonni abból, ha a RaB és RaC komponensek koncentrációjának arányából a mérés során 1-nél kisebb egyensúlyi korrekciós tényező adódik ?

9. Ajánlott irodalom

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