

RADON REFERENCIA TÉR A BFKH METROLÓGIAI ÉS MŰSZAKI FELÜGYELETI FŐOSZTÁLYÁN

Szűcs László*, Nagyné Szilágyi Zsófia és Kántor Márk Bálint
BFKH Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály, Budapest

*szucs.laszlo@bfkh.gov.hu

A kézirat beérkezett: 2022.03.31.

Közlésre elfogadva: 2022.04.05.

RADON REFERENCE ATMOSPHERE AT THE METROLOGICAL AND TECHNICAL SUPERVISORY DEPARTMENT OF BFKH

The 59/2013 EURATOM Directive requires - among other things - EU countries to draw up a National Radon Action Plan and a radon map with a resolution of approximately 10 km x 10 km. Both indoor and outdoor radon measurements require uniform measurement methods and verified (calibrated) measuring devices. A radon atmosphere with an activity concentration traced back to a national standard shall be used to calibrate the radon measuring instruments. The appropriate reference radon atmosphere is available at the Metrological and Technical Supervisory Department of the BFKH. The establishment and characteristics of radon atmosphere are included in this summary.

Keywords - radon, calibration of radon measure devices, reference radon atmosphere.

Az 59/2013 EURATOM irányelv többek között előírja az EU országai számára, hogy készítsenek Nemzeti Radon Cselekvési Tervet, valamint egy hozzávetőleg 10 km x 10 km felbontású radontérképet. A beltéri és kültéri radonmérésekhez egyaránt egységes mérési módszerekre és hitelesített (kalibrált) mérőeszközökre van szükség. A mérőeszközök hitelesítéséhez egy nemzeti etalonra visszavezetett aktivitáskoncentrációjú radonteret kell alkalmazni. A BFKH Metrológiai és Műszaki Főosztályán rendelkezésre áll a megfelelő referencia radontér, melynek kialakítását és jellemzőit a jelen összefoglaló tartalmazza.

Kulcsszavak – radon, radonmérő kalibrációja, referencia radontér

BEVEZETÉS

Az EURATOM 2013. december 5-én adta ki az 59/2013 számú irányelvét, amely az ionizáló sugárzások veszélyével szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírásokról szól [1]. Az irányelv kitér az EU tagállamok Nemzeti Radon Cselekvési Tervének elkészítésére, valamint kültéri és beltéri radon mérésekre, amelyek alapját szolgáltatják egy egységes radontérkép létrehozásának. Már létezik az EU radontérképe [2], amely ingyenesen letölthető¹, de ez hiányos, különösen Európa keleti részein. Az irányelv EU tagállamként Magyarországra is vonatkozik, következésképpen létrejött a Nemzeti Radon Cselekvési Terv, amelyet Kormányhatározat [3] hagyott jóvá.

Amint a vonatkozó EURATOM irányelv megjelent a BFKH Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztálya, a továbbiakban MMFF (akkor még mint Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal, Metrológiai Hatóság), megkezdte a felkészülést a radonmérő berendezések leendő kalibrációjára, 2019-től hitelesítésére [4][5]. A kalibráció alapvető feltétele egy megbízható, nemzeti etalonra visszavezethető, nemzetközi összehasonlításokban

¹ <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation>

részt vett radon referencia tér létrehozása, fenntartása. A radonkamra fizikai megvalósítását részletesen a [6] irodalom mutatja be.

A radon referencia tér és a BFKM MMFF mérési képességének létrehozását a radonkamrán kívül számos egyéb mérőeszköz és mérési módszer segítette elő, ezekről lesz szó a következőkben.

MÉRŐESZKÖZÖK

A következő sorokban egy rövid összefoglaló található a referencia radontér létrehozásánál alkalmazott mérőeszközökről. Két alapvetően különböző mérési módszer létezik, az operatív (azaz azonnal vagy rövid időn belül) leolvasható mérőeszközök és a hosszú távú (1–3 hónap) integrális jellegű mérőeszközök (nyomdetektoros berendezések). A BFKH MMFF mindkét mérési módszerrel felkészült a kalibrációkra.

A radonkamra

Az 1. ábra a referencia tér létrehozását biztosító radonkamrát szemlélteti. Előlnézetben az üvegajtón keresztül vizuálisan is megfigyelhető mérőeszközök láthatók, míg a kamra hátsó részében a radongenerátor (hengerben ^{226}Ra sugárforrás) és egy pufferkamra található. A mérőkamrán (~ 840 liter, később pontosítva) és a pufferkamrán (~ 200 liter) a folyamatosan áramoltatott radonos levegő felváltva halad át, a szelepeket számítógép vezérli. A két áramlási körben lévő radon aktivitáskoncentráció a szelepek nyitvatartási idejével változtatható.



1. ábra: A radonkamra

A ^{222}Rn forrása egy 633 kBq aktivitású ^{226}Ra sugárforrás, amelynek emanációs tényezője nagyobb, mint 99 %.

A mérőkamrában lévő hőmérséklet, légnyomás és páratartalom adatokat egy környezeti paraméter mérő folyamatosan továbbítja a számítógép felé. A referencia tér létrehozása előtt, a radonkamra lezárását követően N_2 gázzal történő átöblítés biztosítja a kezdeti radonkoncentráció $\sim 0 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ értékét. Mérések alatt a kamra hátsó falán lévő ventilátorok biztosítják a radon gáz homogenizálódását (opcionálisan ki is kapcsolhatók).

Referencia mérőeszközök

A kamrában kialakult radonkoncentrációt két AlphaGuard (2. ábra) méri diffúziós üzemmódban, a mérési eredményeik 10 percenként kerülnek rögzítésre a számítógépen lévő adatbázisba.



2. ábra: Az AlphaGuard PQ 2000 radonmérő

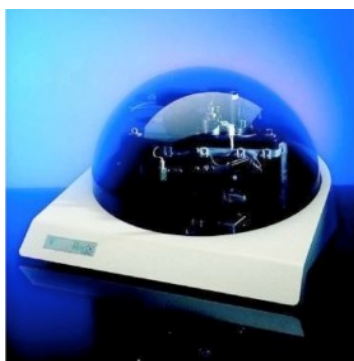
Egyik mérőeszköz kalibrációját a német metrológiai intézet, a PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Németország) végezte [7], a másik gyári kalibrációval rendelkezik [8]. A kalibrációs pontokat valamint a hozzájuk tartozó bizonytalanságokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A két referencia radonmérő kalibrációs pontjai

Kalibrációt végző intézet	Kalibrációs pontok [Bq/m ³]	Kalibrációs faktor	
		érték	bizonytalanság [%]
PTB	1070 ± 50	1,00	5
	5020 ± 140	1,00	3
Saphymo gyári kalibráció	1073 ± 30	1,025	3
	10289 ± 309	1,027	3

Nyomdetektoros radonmérő rendszer

A nyomdetektoros mérőrendszerek egy adott pontban (legyen az beltéri vagy kültéri) az expozíciós idő alatti integrált radonkoncentrációt mérik. A BFKH MMFF választása a Radosys Kft Radometer 2000 Model RSV10 típusú készülékére esett. A számláló és marató egységeket a 3. ábra mutatja.

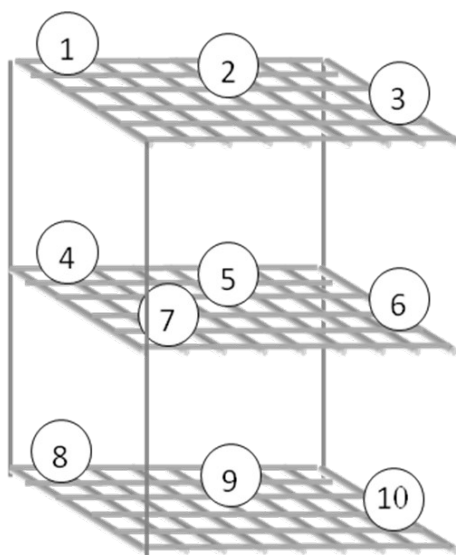


3. ábra: A Radometer 2000 Model RSV10 nyomdetektoros mérőrendszer

Az elérhető mérési bizonytalanság 5 % nagyságrendben ingadozik, leginkább az expozíciós időtől és a radon koncentrációtól függően.

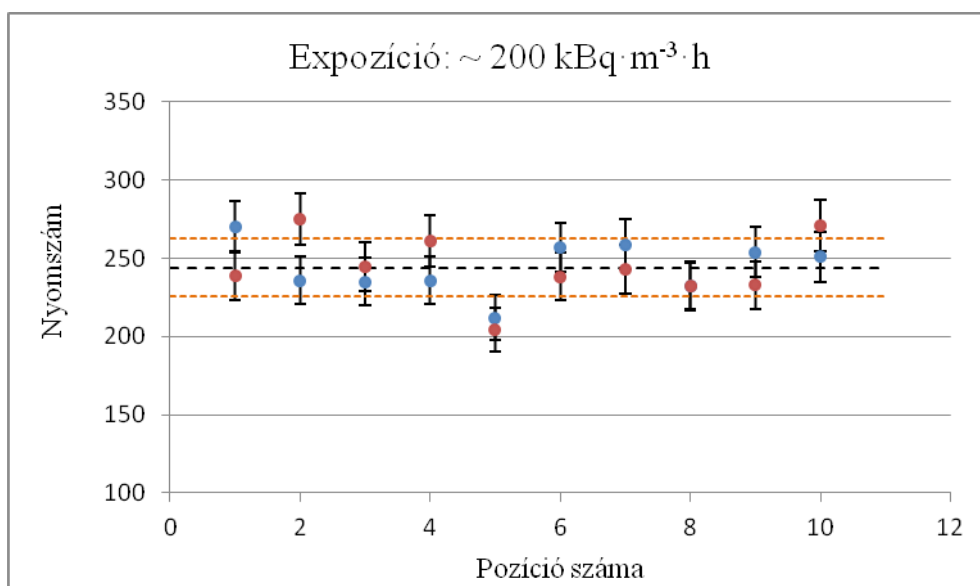
A RADONTÉR HOMOGENITÁSA

A radonkamrában létrehozott radontér egyik lényeges tulajdonsága a radon térbeli homogenitása. Erre vonatkozólag számos mérési eredmény született. A mérések nyomdetektorok expozíciójával történtek. A nyomdetektorok radonkamrán belüli pozícióit a 4. ábra szemlélteti.

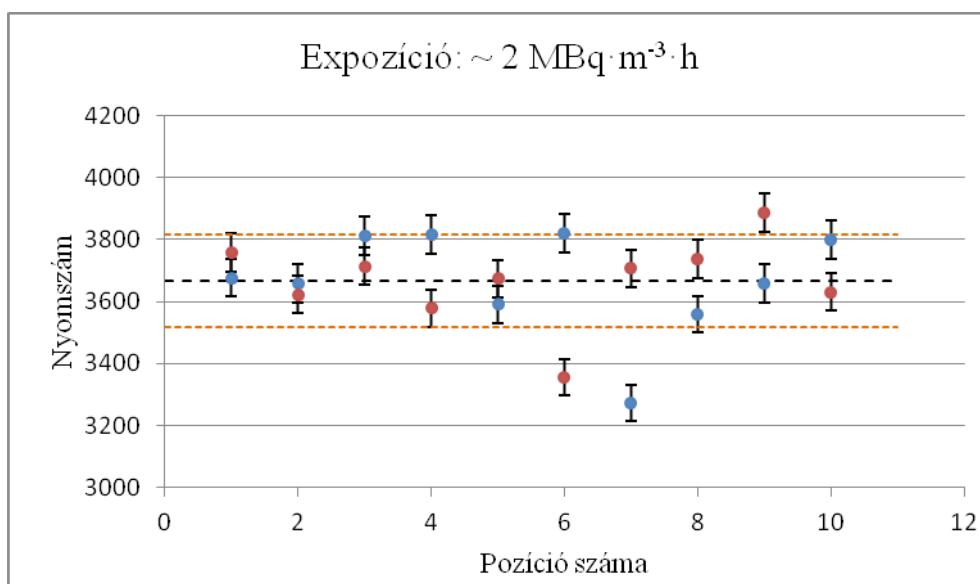


4. ábra: A homogenitás méréshez kihelyezett nyomdetektorok pozíciói

Minden jelzett pozícióba két nyomdetektor került kihelyezésre. Közülük egyet a BFKH MMFF értékelt ki, egyet pedig egy független intézet. Az 5. ábra és a 6. ábra a mérési eredményekről készült grafikonokat jeleníti meg. A kék színnel jelölt értékek a BFKH MMFF mérési eredményei.



5. ábra: Nyomszámok a pozíció függvényében, 200 kBq·m⁻³·h expozíciónál



6. ábra: Nyomszámok a pozíció függvényében, $2 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ expozíciónál. Az 1 szórási sávok az ábrákon piros szaggatott vonallal vannak feltüntetve, a szórások értékét a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A nyomszámok szórása

Expozíció [kBq·m ⁻³ ·h]	Nyomszám átlagérték
200	~ 7
2000	$\sim 4,5$

A vizsgálatnál a nyomszámok összehasonlítása történt meg, mert az expozíciós értékeket még a kalibrációs tényezők is befolyásolják. Az ábrákon látható, hogy ugyanabban a pozícióban lévő két nyomdetektor esetében egyes esetekben a BFKH MM eredményei magasabbak, más esetben azok alacsonyabbak. Ez egyben azt jelenti, hogy az eltérések statisztikai eredetűek, azaz a radontér az adott statisztikus bizonytalanságon belül homogén.

A RADONKAMRA ZÁRTSÁGA

A tér homogenitásán túl a másik fontos jellemző a radonkamra zártsága. A zártságvizsgálat során a radonkamra radongázzal való feltöltését követően az összes szelep elzárásra került. Zártság esetén a radongáz aktivitáskoncentrációja csak a ^{222}Rn radionuklid felezési idejének ($3,8232 \pm 0,0008$ nap) [9] megfelelő mértékben csökkenhet. Két mérésorozat került kiemelésre, annak alátámasztására, hogy statisztikus bizonytalanságon belül valóban az irodalmi értéknek megfelelően történt a tér leépülése.

A mérési adatokat a radonkamrába helyezett AlphaGuard radonmérő 10 percenként továbbította a számítógépes adatbázisba.

A 7. ábra egy hosszabb periódusra (~ 6 nap) lezárt kamra adatait szemlélteti, míg a 8. ábra egy rövidebb periódust (~ 3 nap) szemléltet. Mindkét esetben egy exponenciális függvény illesztésére került sor:

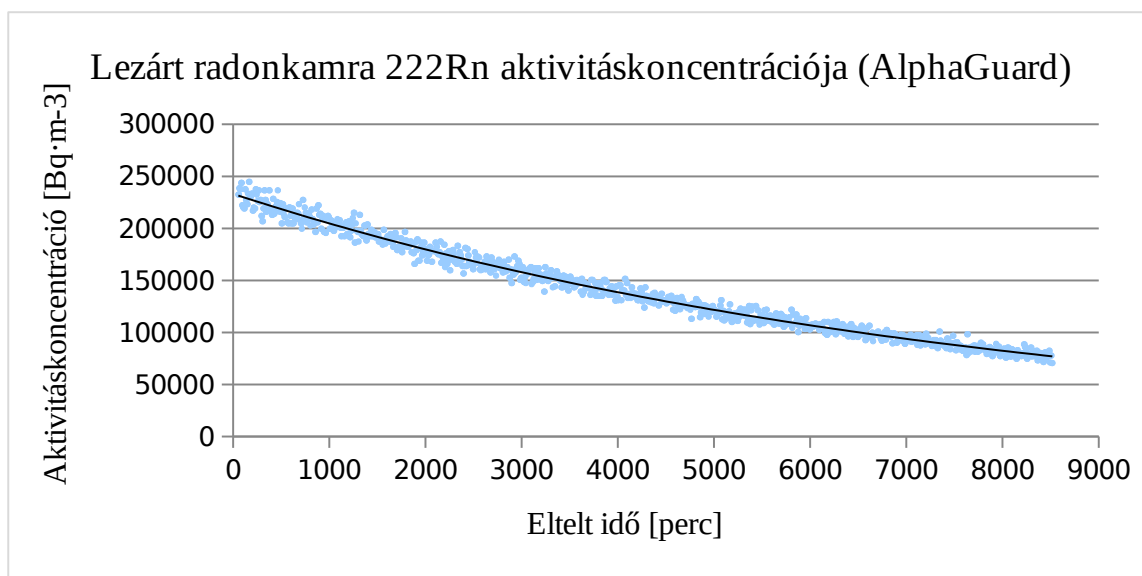
$$A_{(t)} = A_0 \cdot e^{-\lambda_{\text{mér}} \cdot t} \quad (1)$$

A bomlási állandóra kapott illesztett értékeket a 3. táblázat tartalmazza.

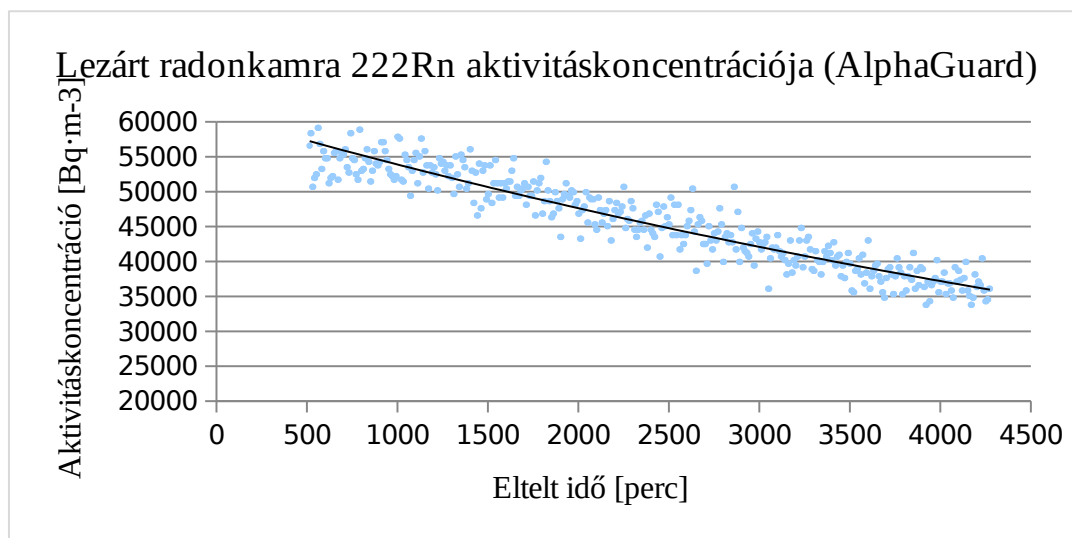
3. táblázat: Az illesztésből kapott bomlási állandók.

Bomlás időtartama [nap]	Illesztésből adódó bomlási állandó [nap]	Az irodalmi értéktől való eltérés [%]
6	3,7024	-3,16
3	3,8944	+1,86

A fentiekén kívül is történtek mérések, amelyek ± 3 %-os szórás képet mutattak. A fentiekből az a következtetés vonható le, hogy ezek az irodalmi értéktől eltérő értékek a mérőeszköz helyén lévő radonkoncentráció fluktuációjából származik. Ha csak negatív eltérések lettek volna, az a kamra szivárgására utalt volna, de számos pozitív is volt, amelyet nehéz fizikailag magyarázni.



7. ábra: A radonkoncentráció csökkenése ~ 6 nap alatt



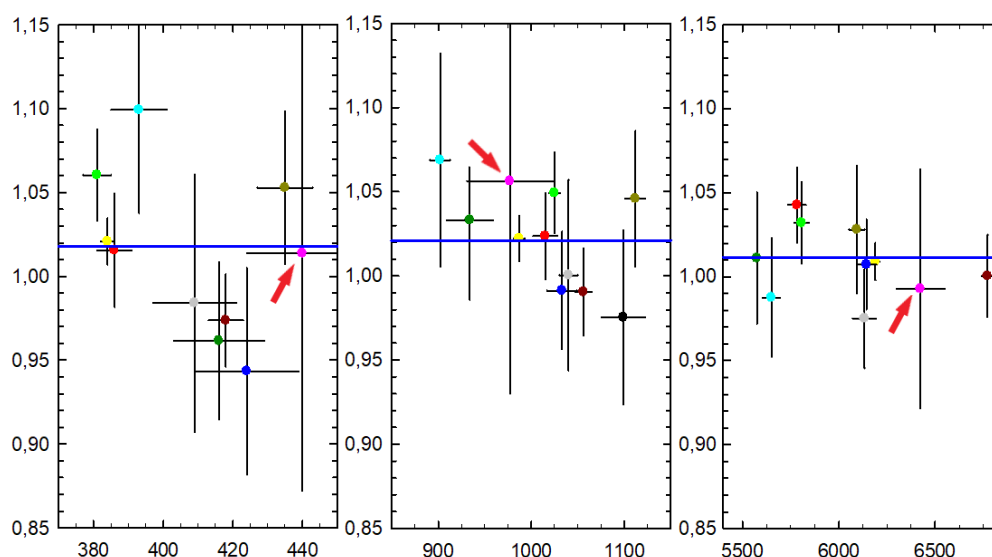
8. ábra A radonkoncentráció csökkenése ~ 3 nap alatt

NEMZETKÖZI BEÁGYAZOTTSÁG

Bár a referencia mérőeszközök kalibráltak (mindkét mérőeszköz, így a BFKH MMFF radontere is a PTB nemzeti etalonjára van visszavezetve), szükség van nemzetközi összehasonlító mérésekben való részvételre. Az EURAMET (európai metrológiai szövetség) által az EMPIR² program keretében kiírt projektfelhívására hét nemzeti metrológiai intézet, egyetem és sugárvédelmi intézetek részvételével és a BEV³ koordinálásával összeállításra került egy 3 éves kutatási projekt „Metrology for radon monitoring” megnevezéssel.

Az EU által támogatott projekt keretében a BfS⁴ szervezett egy nemzetközi összehasonlító mérést, amelynek során egy AlphaGuard radonmérőt kellett a résztvevő referencia térben kalibrálni. A résztvevőknek a referencia tér radon aktivitáskoncentrációját és a mérés időpontját kellett megadni, a mérési adatokat a BfS munkatársai olvasták ki. A méréseket 3 különböző aktivitáskoncentrációra esetén kellett elvégezni ($400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, $1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ és $6000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$).

Az összehasonlító mérés eredményeiről szóló publikációra [10] hivatkozva a BFKH MMFF eredményei a 9. ábrán láthatók (piros nyíllal kiemelve).



9. ábra: A nemzetközi összehasonlító mérés eredményei (nyíl: BFKH MMFF)

A grafikonok függőleges tengelyén a résztvevő által megadott radon aktivitáskoncentráció és a BfS által a mérőeszközből kiolvasott mért érték hányadosa (kalibrációs faktor), a vízszintes tengelyen pedig az aktivitáskoncentráció ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) van felvéve. A kék vonal a résztvevők mérési bizonytalanságaival súlyozott átlagát jelenti. A BFKH MMFF mérési eredményeinek relatív nagyobb bizonytalanságát a megadott aktivitáskoncentráció bizonytalanságának mértéke (6-8 %) okozza, mivel a referencia tér radon aktivitás koncentrációja is egy (a MÉRŐESZKÖZÖK fejezetben bemutatott) AlphaGuard alapján lett meghatározva. Azonban így is az átlaghoz képesti eltérés kisebb mint $\pm 5 \%$.

RADONMÉRŐ ESZKÖZÖK KALIBRÁCIÓJA/HITELESÍTÉSE

A kalibrációs vagy hitelesítési eljárás ismertetése előtt néhány szóval a két fogalomról. A kalibráció során a mérőeszköz által mutatott érték és a referencia érték közti arányszám (k)

2 European Metrology Programme for Innovation and Research

3 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Az Osztrák Metrológiai Intézet)

4 Bundesamt für Strahlenschutz (A Német sugárvédelmi intézet)

kerül meghatározásra. Ez az arányszám a kalibrációs faktor. Lineáris mérőeszköznél ez a teljes méréstartományra ugyanaz, nemlineáris esetben a mérési pont értékétől függő. A kalibráció egy „technikai” fogalom.

A hitelesítés inkább egy jogi fogalom, és a joghatással járó mérésekre terjed ki [11]. A gyakorlatban az adott radon mérőeszköz átesik egy kalibráción (meghatározásra kerül egy k kalibrációs faktor) és ha ez a faktor eleget tesz a

$$\left(1 - \frac{X}{100}\right) \leq k \leq \left(1 + \frac{X}{100}\right) \quad (2)$$

egyenlőtlenségnek, ahol X egy százalékban megadott szám, akkor a mérőeszköz hiteles, egyéb esetben nem. A kötelező hitelesítésű mérőeszközök [12] esetén kiállított hitelesítési bizonyítványnak csak azt kell tartalmaznia, hogy az eszköz *hiteles* vagy *nem hiteles*.

A mérőeszközök hitelesíthetőségének feltétele a hitelesítési engedély, amely az adott mérőeszköz sikeres típusvizsgálata után kerül kiadásra. A típusvizsgálat célja annak eldöntése, hogy a mérőeszköz megfelel-e a rá vonatkozó metrológiai követelményeknek, nemzetközi szabványoknak [13][14], a gyári paramétereknek, illetve a típusvizsgálati előírásnak.

A BFKH MMFF azonban a sugárfizikai mérőeszközök esetében a hitelesítési bizonyítványban feltünteti a kalibrációs faktorokat is annak érdekében, hogy a velük való mérések a lehető legjobbak legyenek. 2020. január 1-je óta a radonmérő eszközök kötelező hitelesítésűek. Az operatív jellegű (a mért érték azonnal vagy rövid időn belüli leolvasható) mérőeszközök hitelesítése a radonkamrában referencia radontérben történik. Az eljárás hasonló, mint a dózisteljesítmény mérők esetében.

Alapvetően különbözik az integráló jellegű radonmérők (nyomdetektorok) hitelesítése. Ebben az esetben az egész mérőrendszer hitelesítése történik meg, beleértve a nyomdetektort, a maratós rendszert, a lyukszám olvasó mikroszkópot, valamint a kiértékelést vezérlő szoftvert. A nyomdetektorok besugárzása 2–5 nap alatt történik a BFKH MMFF referencia radonterében. Vele együtt a radontérben van a referencia radonmérő AlphaGuard, ami folyamatosan (10 percenként) szolgáltatja az aktivitáskoncentráció értékeket. A besugárzási idő végén az adatok integrálásával meghatározható az expozíciós érték:

$$E = \sum_{i=1}^N (C_{Rn(i)} \cdot t_i) \quad (3)$$

ahol E : az expozíció [$\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$],
 $C_{Rn(i)}$ a radon aktivitáskoncentráció értéke az i -edik mérési időpontban [$\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$],
 N : a mérési adatok száma ($N = \text{a mérés időtartama [órában]}/6$),
 t_i : a mérésidő az i -edik mérési időpontban [$t_i = 1/6$ óra]

Ugyancsak a térben van 10 db BFKH MMFF tulajdonú nyomdetektor is, a saját nyomdetektoros mérőrendszeren történő kiértékeléshez.

A hitelesítést kérő intézmény által biztosított nyomdetektorok visszakérülnek a megrendelőhöz, aki a saját rendszerén (marató, lyukszám olvasó, szoftver) kiértékeli és meghatározza az expozíció mértékét. Hiteles a mérőrendszer, ha a felhasználó által meghatározott és a referencia mérőeszközök által meghatározott expozíciós értékek nem térnek el jobban, mint a vonatkozó hitelesítési előírásban meghatározott érték.

MEGFONTOLÁSOK A RADONMÉRŐ ESZKÖZÖK KALIBRÁCIÓJÁHOZ

Az operatív mérőeszközök esetén nincsenek jelentős megfontolnivalók. Bár nehézséget okozhat pl. az AlphaGuardok memóriájának kiolvasása, mert azt csak az adott eszköz gyári számára beállított szoftverrel lehet elvégezni.

A nyomdetektoroknál az expozíciós idő megválasztása lényeges lehet. Maguk a műanyag nyomdetektor lapocskák egy diffúziós kamrában vannak, azért hogy a kamrába csak a radon juthasson be, a levegőben lévő aeroszolra kiülepedett radon bomlástermékek pedig nem.

A diffúziós kamrában az egyensúly kialakulásához szükséges tipikus idő 2-3 óra [15], ami azt jelenti, hogy az expozíciós időnek jelentősen hosszabbnak kell lennie, hogy az egyensúly kialakulásáig eltelt átmeneti állapot által okozott bizonytalanság minél kisebb legyen.

Az átlagos beltéri radonkoncentráció: $\sim 30\text{--}50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, a 3 hónapra (3×30 nap: 2160 óra) kihelyezett nyomdetektor expozíciója ebben az esetben, átlagosan: $(65\text{--}108) \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$. Ez az expozíciós érték azt jelenti, hogy egy $90 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ értékű mérési pontot mindenképpen be kell iktatni a kalibrációba. Az expozíció megvalósítása két úton történhet:

- állandó radon koncentráció esetén:

$$E = C_{Rn} \cdot t_{\text{exp}} \rightarrow t_{\text{exp}} = \frac{E}{C_{Rn}} \quad (4)$$

ahol E : az expozíció [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$],
 C_{Rn} : a radon aktivitáskoncentráció értéke [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$],
 t_{exp} : az expozíciós idő [h]

- lezárt radonkamrában, folyamatosan csökkenő radonkoncentráció mellett:

$$dE = C_{Rn(t)} \cdot dt$$

$$E = C_{Rn(0)} \int e^{-\lambda t} dt \rightarrow E = C_{Rn(0)} \frac{1 - e^{-\lambda t_{\text{exp}}}}{\lambda} \rightarrow t_{\text{exp}} = \frac{-1}{\lambda} \ln \left(1 - \frac{E \cdot \lambda}{C_{Rn(0)}} \right) \quad (5)$$

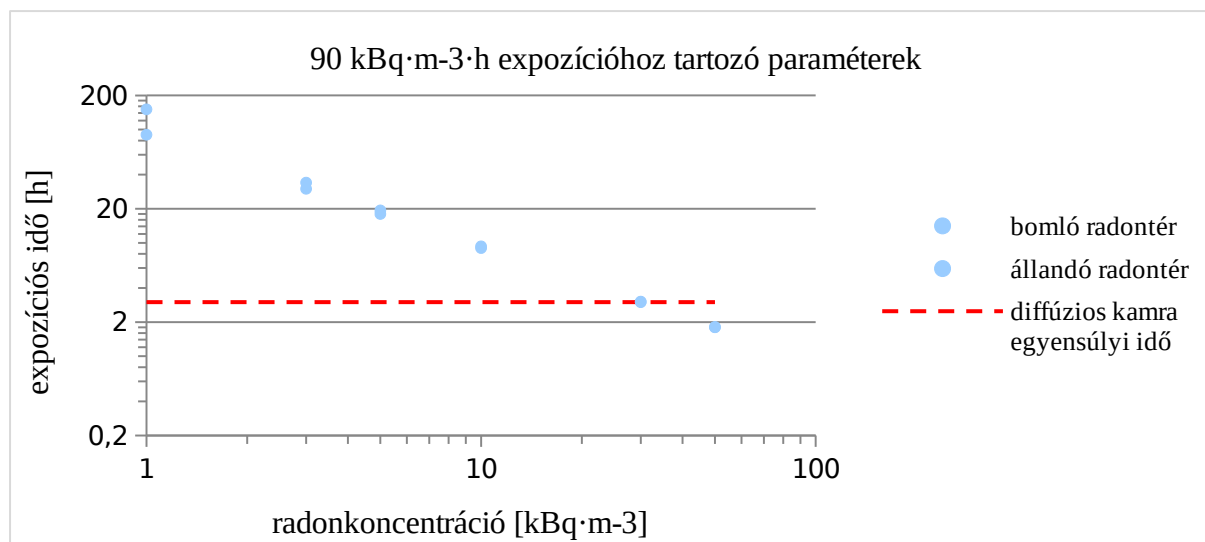
ahol E : az expozíció [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$],
 $C_{Rn(0)}$: a radon aktivitáskoncentráció értéke a kamra lezárásakor [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$],
 t_{exp} : az expozíciós idő [h],
 λ : a radon bomlási állandója [h^{-1}]

Mindkét expozíciós mód esetén a 4. táblázat tartalmazza a $90 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ besugárzáshoz tartozó időtartamokat, különböző kezdeti radonkoncentráció esetére.

4. táblázat: Az expozíciós idők, különböző besugárzási módoknál

Kezdeti ^{222}Rn koncentráció [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]	Expozíciós idő [h]	
	állandó radontérrel	bomló radontérrel
1	90	151
3	30	34
5	18	19
10	9	9
30	3	3
50	1,8	1,8

A 4. táblázat adatait a 10. ábra szemlélteti.



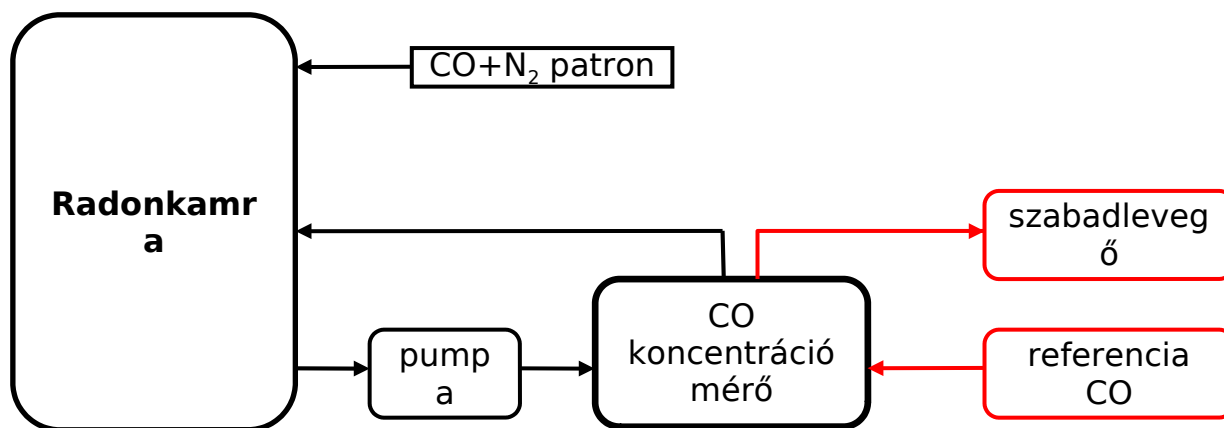
10. ábra: A besugárzási módokhoz kapcsolódó expozíciós idők $90 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ kalibrációs pontnál

3 órás diffúziós kamra egyensúlyi idő esetén legalább 30 órás (1,5–2 napos) besugárzásra és $3 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ vagy az alatti radonkoncentráció szükséges, azaz nem szabad nagy koncentrációval rövid idejű expozíciót megvalósítani.

A RADONKAMRA TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A kamra térfogatának meghatározása nem egyszerű feladat. A kamra fala rozsdamentes acéllemez, ezért a nyomásváltozáson alapuló mérések a lemezek kidudorodásával, illetve behorpadásával járnak, ami meghamisítja a mérési eredményeket. A kamrában lévő berendezések (ventillátorok, vezetékek, csatlakozók) pedig a geometriai térfogatot torzítják.

A térfogat meghatározása egy szénmonoxid koncentrációt mérő berendezés segítségével történt. A CO koncentráció meghatározás alapja a gázon keresztülmenő infravörös fény intenzitás csökkenésének mérése (Maihak S715 CO koncentráció mérő).



11. ábra: A radonkamra térfogatának mérési elrendezése

A radonkamra térfogatomérési elrendezését a 11. ábra vázolja. A CO+N₂ patronban szén-monoxid és nitrogén gáz keveréke volt, ismert szén-monoxid koncentrációval. A kamrába betöltött gázkeverék térfogatát az ismert gáztörvény határozta meg:

$$pV = nRT \quad (6)$$

ahol p : a gáztérben lévő nyomás [Pa],
 V : a gáz térfogata [m^3],
 n : a gázmennyiség [mol],
 R : az általános gázállandó [$=8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 T : a hőmérséklet [K]

Az „ n ” mólok számát a betöltött gázkeverék tömegének és az átlagos molekulatömegének a hányadosa adta. Merve a CO koncentrációját, a radonkamra térfogata meghatározható:

$$V_{\text{radonkamra}} = \frac{CO_{\text{koncentráció, mérésnél}}}{CO_{\text{koncentráció, betöltéskor}}} \cdot V_{\text{CO+N}_2 \text{ gáz, betöltéskor}} \quad (7)$$

ahol $V_{\text{radonkamra}}$: a radonkamra mért térfogata [m^3],
 $CO_{\text{koncentráció, mérésnél}}$: a CO gáz mért koncentrációja [ppm],
 $CO_{\text{koncentráció, betöltéskor}}$: a CO gáz betöltéskor ismert koncentrációja [ppm],
 $V_{\text{CO+N}_2 \text{ gáz, betöltéskor}}$: a CO+N₂ gáz térfogata betöltéskor (6)-ból [m^3],

A 11. ábra által tartalmazott, pirossal jelzett ágak a CO koncentrációmérő helyszíni kalibrációját szolgálta (referencia CO gáz használatával).

A fenti módon meghatározott térfogat: $(843,8 \pm 5,9)$ liter.

FEJLESZTÉSEK

Pillanatnyilag a BFKH MMFF referencia radontere a PTB-re van visszavezetve. A mérőképesség emelésére megtörténtek a fejlesztések az abszolút módon mérő primer etalonként történő alkalmazásra. A hardveres rész már elkészült, a következő hónapokban a gyakorlati mérések következnek. Speciális körülmények között (primer mérés) a referenciateraktivitáskoncentrációjának bizonytalansága 2 % alá fog esni.

IRODALOM

- [1] Council directive 2013/59/EURATOM, Official Journal of the European Union. Volume 57, 2014
- [2] European Atlas of Natural Radiation. Publications Office of the European Union, 2019.
- [3] A Kormány 114/2019. (III.13) Korm. határozata a Nemzeti Radon Cselekvési Terv elfogadásáról. Magyar Közlöny, 41. szám, 1115. oldal, 2019
- [4] 178/2019. (VII.18.) Korm. rendelet a 127/1991. Korm. valamint a 365/2016 Korm. rendeletek módosításáról (radonmérő eszközök kötelező hitelesítésűvé válása).
- [5] 18/2019. (VII.18.) ITM. rendelet a 78/1997. IKIM rendelet módosításáról (radonmérő eszközök hitelesítési díjai)
- [6] Szögi Antal, Az MKEH Metrológiai Hatóság Sugárfizikai és kémiai mérések osztályán kifejlesztett radon (^{222}Rn) nemesgáz aktivitásmérő kalibrátor bemutatása, előadás, XVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2016. (Az előadás hozzáférhető a https://elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2016sv/XLI_Sv_Tanf_2016.htm honlapon)
- [7] Calibration Certificate, Reference No: PTB-4046931, 2010.
- [8] Certificate of Calibration, Saphymo GmbH traceable to PTB, 2014.
- [9] Monographie BIPM-5, Vol. 4, 2008.

- [10] Thomas R. Beck et al., The Metrological Traceability, Performance and Precision of European Radon Calibration Facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 2021
- [11] Az 1991. évi XLV. törvény a mérésügyről.
- [12] A 127/1991 (X.9) Korm. rendelet az 1991. évi törvény végrehajtási utasítása.
- [13] MSZ EN 11665:2012 A környezeti radioaktivitás meghatározása
- [14] MSZ EN 61577:2014 Radon és radonbomlástermékek mérőműszerei
- [15] http://www.radosys.com/index_htm_files/RSKS_RS_Man82-130129_c.pdf