

# A beltéri radon-koncentráció mérése – A maratott nyomdetektoros módszer két változata

## Indoor Radon Measurements – Using Two Variants of the Etched Track Detectors' Method

Drd. CSEGZI Sándor<sup>1</sup>, Dr. Ana DANIȘ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Str. Cornești 68/a, Târgu Mureș, România

<sup>2</sup>Str. Matei Voievod 11, Sector 2, București, România

### ABSTRACT

*Using two experimental variants of etched track detectors' method for indoor radon measurement, one elaborated by the SSNTDs Laboratory, ATOMKI, Debrecen, and SSNTDs Laboratory, IFIN-HH, Bukarest; there have been performed 38 determinations simultaneously, from different apartments within the locality of Covasna, County Covasna, Romania.*

**Keywords:** Radon indoor measurement; air radon monitoring device; track detector CR-39; calibrated etched track detectors for radon indoor measurements.

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A maratott nyomdetektoros módszer két kísérleti módszerét alkalmazva a beltéri radon-koncentráció mérésére (egyiket az SSNTDs Laboratory, ATOMKI, Debrecen, a másikat az SSNTDs Laboratory, IFIN-HH, Bukarest kivitelezte), 38 vizsgálatot végeztünk különböző lakásokban és egy mofettában Kovászna városban (Kovászna megye, Románia).*

### 1. BEVEZETŐ

Romániának az Európai Unióba való belépése után hozzá kell igazítania tudományos gyakorlatát az IRMM (Institute of Reference Materials and Measurements – Európai Unió) által támasztott követelményeknek, ami *i) az alkalmazott módszerek, ii) a hivatkozási anyag, és iii) a kísérleti adatok feldolgozásának egységesítését* illeti, azzal a céllal, hogy az adatok minőségileg megfeleljenek és bekerüljenek a kontinentális és globális adatbázisba.

E dolgozatot úgy tekintjük, mint a *beltéri radon-koncentráció maratott nyomdetektorokkal való meghatározásának tesztjét*, arra a módszerre vonatkozóan, amelyet az IFIN-HH bukaresti laboratóriumának egy kutatócsoportja dolgozott ki. Drd. Csegzi Sándor doktori dolgozatának kapcsán 38 mérési pontban végzett beltéri összehasonlító radon-koncentráció mérést, ténylegesen alkalmazva az SSNTDs Laboratory (Atomki, Debrecen) módszerét (amely módszer nemzetközileg már jóváhagyott) és a bukaresti IFIN-HH hasonló laboratóriumának módszerét. Az eredmények összehasonlításával a kísérlet jelentős mértékben hozzájárult néhány olyan tényező felderítéséhez, amely befolyásolni tudja a nyomdetektoros beltéri radon-koncentráció mérés eredményét.

Az elvégzett munkának a következő eredményei születtek :

1. Elkészült, Romániában először, két helység radon-térképe (Gyergyóremete és Kovászna)
2. Sikerült kidolgozni egy olyan munkamódszert, mely lehetővé teszi iskolai körülmények között, a tudományosság feltételeivel a kiterjesztést egy országos reprezentatív mérési hálózat szintjére. Ezt egy munkafüzet is segíti.
3. Van Romániának egy olyan mérési módszere, mely a debreceni együttműködés alapján, az összehasonlító mérésekre alapozva elfogadható mérési eredményekhez vezet

Megjegyezendő, hogy a romániai anyagi viszonyokra alapozva, a mikroszkópos feldolgozás látszik kiterjeszhetőnek, így nagyobb hangsúlyt fektettünk a nyomok észlelésének, felismerésének problémáira.

A munkafüzet könyv formájában létezik. Kiadását a bukaresti Didaktikai és Pedagógiai Kiadó támogatja. Ebben elméleti alapozás található a radioaktivitásról általában, a radonról kiemelten. Mérési módszerek bemutatása és ajánlott laborgyakorlatok is vannak. Az elméleti alapozás statisztikai és hibaszámítási kérdéseket is taglal, melyek nélkül az adatfeldolgozás nem elégítené ki a tudományos elvárásokat.

A beltéri radon-mérést Romániában, Kovászna városban 38 lakásban egyidejűleg végeztük a két fent említett maratott nyomdetektoros módszerrel. Minden mérési pontba két monitorizáló berendezést helyeztek el (1-es és 2-es ábra), amelyekbe szilárd nyomdetektorokat szereltünk. Az expozíciós időt minden detektor esetében az 1-es táblázat mutatja.

Elméletileg a nyomdetektorban (amelyet a beltéri radon-mérő készülékbe szereltünk) az alfa sugárzás nyomsűrűsége  $\rho$  [nyom/cm<sup>2</sup>] arányos

i) a radon-koncentrációval,  $A_v$  [Bq/m<sup>3</sup>], a radon-mérő berendezés aktív térfogatával,  $v$ , melynek koncentrációja arányos a helyiség levegőjének radon-koncentrációjával. E berendezés szűrője csak a radon számára áttetsző és visszatartja a radon származékait, amelyek az aeroszol részecskékhez kapcsolódnak.

ii) a beltéri radon-mérő berendezés aktív térfogata  $v$

iii)  $t$  a detektor expozíciós ideje és

iv) az alfa-részecskék regisztrálásának hatékonysága  $\varepsilon$  az alkalmazott nyomdetektorban.

Tehát:

$$\rho = K A_v v t \varepsilon \quad (1)$$

ahol  $K$ , azon kívül, hogy figyelembe veszi a beltéri radonnak a berendezés szűrőjén való áthatolását, figyelembe veszi a megfigyelő szubjektivitását is, amely az alfa részecskék azonosítását befolyásolja.

Ha  $x$ -szel jelöljük az 1-es összefüggés mennyiségi mutatóját a beltéri radon-mérő berendezés belsejében elhelyezett detektor esetén, és  $s$ -szel a kalibrált detektor (amely a radon-mérő berendezéshez hasonló berendezésbe van szerelve) mutatóit (amely viszonyításnak számít), ha a nyomdetektorok hasonló típusúak és azonos szériából vannak, a két összefüggés aránya alapján a  $v$  és  $\varepsilon$  értékek egyszerűsítése nyomán az  $A_x$  beltéri radon-koncentráció:

$$A_x = A_s \cdot (\rho_x / \rho_s) \cdot (t_s / t_x) \quad (2)$$

A  $\rho_x$  és  $\rho_s$  mérhető mennyiségek, amelyeket a szilárd nyomdetektorok alfa-nyomainak száma alapján állapítanak meg optikai mikroszkópia vagy automata számláló segítségével,  $t_x$  és  $t_s$  pedig könnyen meghatározható mennyiségek, az esetek többségében, előre meghatározottak.

### 1. táblázat

Kovászna város lakóházaiban – az IFIN-HH nyomdetektoros módszerével mért radon aktivitások

| Sor-szám | Cím                | IFIN-HH detektor száma/<br>Mikroszkóp lemez száma | Expozíciós idő [nap] | Észlelt alfa nyomok száma/tanulmányozott felület [nyom/mm <sup>2</sup> ] | Alfa nyom-sűrűség [nyom/cm <sup>2</sup> ] | Háttér nélküli alfa nyom-sűrűség [nyom/cm <sup>2</sup> ] | Alfa nyomsűrűség /nap [nyom/cm <sup>2</sup> nap] | Radon aktivitás koncentráció [Bq/m <sup>3</sup> ] |
|----------|--------------------|---|----------------------|--|---|--|--|---|
| 1        | 2                  | 3   | 4                    | 5  | 6   | 7  | 8  | 9   |
| 1.       | Cuza Voda 90       | 1/653   | 368                  | <u>5121 ± 281</u><br>120, 1  | 4264 ± 234                                | 3939 ± 394   | 10, 70   | 197 ± 23  |
| 2.       | Baia de Piatra 41  | 2/653   | 368                  | <u>1672 ± 63</u><br>37, 7  | 4437 ± 155                                | 4112 ± 411   | 11, 17   | 205 ± 27  |
| 3.       | Toamnei 20         | 3/654   | 369                  | <u>1183 ± 47</u><br>35, 6  | 3323 ± 133                                | 2998 ± 320   | 8, 12  | 149 ± 18  |
| 4.       | Morilor 14         | 5/654   | 360                  | <u>1053 ± 46</u><br>36, 8  | 2864 ± 126                                | 2539 ± 279   | 7, 05  | 129 ± 15  |
| 5.       | Baia de Piatra 4 A | 6/655   | 368                  | <u>2325 ± 48</u><br>78, 4  | 2978 ± 60                                 | 2653 ± 292   | 7, 21  | 133 ± 16  |
| 6.       | Digului 10         | 7/655 *   | 368                  | <u>6289 ± 79</u><br>63, 7  | 9875 ± 128                                | 9550 ± 955   | 26, 12   | 495 ± 54  |
| 7.       | József Attila 4    | 8/656 *   | 369                  | <u>645 ± 51</u><br>75, 5   | 3505 ± 70                                 | 3180 ± 345   | 8, 62  | 159 ± 19  |
| 8.       | Tiglariei 18       | 9/656 *   | 369                  | <u>4111 ± 64</u><br>107, 8   | 3814 ± 61                                 | 3489 ± 356   | 9, 45  | 171 ± 21  |
| 9.       | Plevnei 6          | 10/657 *  | 369                  | <u>3528 ± 59</u><br>92, 1  | 3830 ± 65                                 | 3505 ± 385   | 9, 50  | 175 ± 19  |

| Sor-<br>szám | Cím                        | IFIN-HH<br>detektor<br>száma/<br>Mikroszkóp<br>lemez száma | Expozíciós<br>idő<br>[nap] | Észlelt alfa nyomok<br>száma/tanul-<br>mányozott felület<br>[nyom/mm <sup>2</sup> ] | Alfa<br>nyom-<br>sűrűség<br>[nyom/cm <sup>2</sup> ] | Háttér nélküli<br>alfa nyom-<br>sűrűség<br>[nyom/cm <sup>2</sup> ] | Alfa<br>nyomsű-<br>rűség<br>/nap<br>[nyom/<br>cm <sup>2</sup> nap] | Radon<br>aktivitás<br>koncentráció<br>[Bq/m <sup>3</sup> ] |
|--------------|----------------------------|--|----------------------------|---|---|--|--|--|
| 10.          | M. Eminescu 5              | 11/657 *   | 369                        | <u>2352 ± 48</u><br>117, 6  | 2000 ± 40   | 1675 ± 184   | 4, 45  | 83 ± 10  |
| 11.          | Butyakak 6                 | 12/658 *   | 369                        | <u>3591 ± 60</u><br>108, 8  | 3301 ± 56   | 2976 ± 327   | 8, 06  | 148 ± 19   |
| 12.          | Kalvin 5                   | 13/658 *   | 369                        | <u>6562 ± 81</u><br>110, 7  | 5878 ± 81   | 5513 ± 606   | 15, 00   | 276 ± 34   |
| 13.          | Luceafarului 9             | 14/659 *   | 370                        | <u>1203 ± 35</u><br>34, 5   | 3492 ± 101  | 3167 ± 317   | 8, 50  | 156 ± 17   |
| 14.          | M.Eminescu<br>19           | 15/659 *   | 370                        | <u>2913 ± 54</u><br>25, 4   | 11454 ± 218   | 11129 ± 988  | 30, 15   | 555 ± 67   |
| 15.          | M.Eminescu<br>78           | 16/660   | 369                        | <u>929 ± 43</u><br>33, 5  | 2771 ± 127  | 2446 ± 204   | 6, 61  | 122 ± 13   |
| 16.          | M.Eminescu<br>81           | 17/660   | 368                        | <u>1560 ± 68</u><br>57, 8   | 2699 ± 119  | 2374 ± 261   | 6, 43  | 118 ± 13   |
| 17.          | Parului 2                  | 18/661   | 369                        | <u>1034 ± 45</u><br>27, 7   | 3727 ± 164  | 3402 ± 340   | 9, 24  | 170 ± 19   |
| 18.          | Brazilor 36                | 19/661   | 368                        | <u>1307 ± 51</u><br>30, 1   | 4349 ± 170  | 4024 ± 402   | 10, 90   | 201 ± 22   |
| 19.          | Brazilor 53                | 20/662   | 369                        | <u>1006 ± 44</u><br>29, 4   | 3426 ± 137  | 3101 ± 310   | 8, 40  | 155 ± 17   |
| 20.          | Brazilor 18                | 21/662   | 369                        | <u>756 ± 39</u><br>31, 9  | 2369 ± 118  | 2044 ± 225   | 5, 53  | 102 ± 12   |
| 21.          | Tóth 21B                   | 22/663   | 369                        | <u>1394 ± 53</u><br>30, 1   | 4638 ± 176  | 4313 ± 431   | 11, 72   | 216 ± 24   |
| 22.          | Piata eroilor 3            | 23/663   | 368                        | <u>1020 ± 45</u><br>31, 4   | 3244 ± 143  | 2919 ± 318   | 7, 91  | 146 ± 16   |
| 23.          | Teculescu 14               | 24/664   | 369                        | <u>650 ± 36</u><br>36, 8  | 1768 ± 97   | 1443 ± 159   | 3, 91  | 72 ± 9   |
| 24.          | Horia-Closca-<br>Crisan 16 | 25/664   | 368                        | <u>2526 ± 71</u><br>27, 7   | 9105 ± 255  | 8780 ± 965   | 23, 79   | 438 ± 43   |
| 25.          | Timar 4 B                  | 26/665   | 369                        | <u>1430 ± 54</u><br>31, 2   | 4582 ± 174  | 4257 ± 426   | 11, 54   | 212 ± 23   |
| 26.          | Timar 14                   | 27/665   | 369                        | <u>1065 ± 46</u><br>31, 8   | 3350 ± 144  | 3025 ± 306   | 8, 19  | 151 ± 17   |
| 27.          | St. Mare 122               | 28/666   | 369                        | <u>977 ± 45</u><br>32, 4  | 3018 ± 139  | 2693 ± 270   | 7, 29  | 134 ± 15   |
| 28.          | Petőfi 3                   | 30/666 **  | 367                        | <u>14033 ± 239</u><br>0, 013  | 456458 ± 456  | 456133 ± 54736   | 1242, 87   | 22877 ± 2745   |
| 29.          | Petőfi 102                 | 31/667   | 368                        | <u>1265 ± 51</u><br>34, 7   | 3648 ± 146  | 3323 ± 365   | 9, 03  | 166 ± 18   |
| 30.          | Petőfi 13                  | 32/6687  | 368                        | <u>1767 ± 59</u><br>34, 7   | 5095 ± 168  | 4770 ± 477   | 12, 96   | 238 ± 26   |
| 31.          | Arany János<br>23          | 33/668   | 369                        | <u>1295 ± 51</u><br>34, 7   | 3734 ± 145  | 3409 ± 341   | 9, 23  | 170 ± 19   |
| 32.          | Arany János<br>15          | 34/668   | 370                        | <u>2861 ± 76</u><br>25, 4   | 11250 ± 304   | 10925 ± 1093   | 29, 70   | 543 ± 60   |
| 33.          | Stefan cel<br>Mare 63      | 35/669   | 369                        | <u>904 ± 43</u><br>30, 1  | 3008 ± 144  | 2683 ± 295   | 7, 27  | 134 ± 15   |
| 34.          | Kalvin 4                   | 36/669   | 369                        | <u>2079 ± 64</u><br>32, 4   | 6423 ± 199  | 6098 ± 610   | 16, 53   | 304 ± 33   |
| 35.          | Stefan cel<br>Mare 58      | 37/670   | 370                        | <u>1477 ± 55</u><br>31, 2   | 4732 ± 175  | 4407 ± 441   | 11, 91   | 219 ± 24   |
| 36.          | Stefan cel<br>Mare 97      | 38/670   | 369                        | <u>1004 ± 45</u><br>32, 4   | 3102 ± 140  | 2777 ± 305   | 7, 52  | 138 ± 17   |
| 37.          | Toth 10                    | 39/671   | 366                        | <u>800 ± 40</u><br>32, 4  | 2472 ± 124  | 2147 ± 215   | 5, 86  | 108 ± 12   |
| 38.          | Petőfi 40                  | 40/671   | 362                        | <u>1192 ± 49</u><br>34, 7   | 3437 ± 141  | 3112 ± 342   | 8, 60  | 158 ± 17   |

A próbák többségénél az objektív X 20 és az okulár X 10 nagyítást használtunk (teljes nagyítás X 300),  
\* Objektív X 10, \*\* Objektív X 40

2. táblázat

Összehasonlító táblázat Kovászna városban az ATOMKI, Debrecen és az IFIN-HH, Bukarest, maratott nyomdetektoros módszerekkel, azonos időpontban végzett lakásradon koncentrációkkal

| Sorszám | ATOMKI, Debrecen mód-<br>szerrel kapott értékek | IFIN-HH, Bukarest<br>módszerrel kapott<br>értékek | A két módszer<br>közötti szám-<br>szerű külön-<br>ség | A különbség<br>standard hibája |           | Megjegyzések az eredményeket<br>illetően a jelentős eltérés elvét alkal-<br>mazva (a különbség nagyobb vagy<br>nem a standard eltérés háromszoro-<br>sánál).* |
|---------|---|---|---|--------------------------------|-----------|---|
|         | [Bq/m <sup>3</sup> ]                            | [Bq/m <sup>3</sup> ]                              |   | $\sigma$                       | $3\sigma$ |   |
| 1.      | 131 ± 6   | 197 ± 23  | 66  | 24                             | 72        | NEM, az eltérés nem jelentős.   |
| 2.      | 128 ± 6   | 205 ± 26  | 77  | 28                             | 84        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 3.      | 96 ± 5  | 149 ± 18  | 53  | 19                             | 57        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 4.      | 58 ± 3  | 129 ± 16  | 71  | 16                             | 48        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 5.      | 43 ± 3  | 133 ± 16  | 90  | 16                             | 48        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 6.      | 600 ± 28  | 495 ± 54  | 125   | 61                             | 183       | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 7.      | 50 ± 3  | 159 ± 19  | 109   | 19                             | 57        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 8.      | 88 ± 4  | 171 ± 21  | 83  | 21                             | 63        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 9.      | 78 ± 4  | 175 ± 19  | 97  | 19                             | 57        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 10.     | 41 ± 2  | 83 ± 10   | 42  | 10                             | 30        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 11.     | 78 ± 4  | 148 ± 19  | 70  | 19                             | 57        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 12.     | 202 ± 11  | 276 ± 34  | 74  | 36                             | 108       | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 13.     | 133 ± 6   | 156 ± 17  | 23  | 18                             | 54        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 14.     | 236 ± 13  | 555 ± 67  | 319   | 68                             | 204       | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 15.     | 91 ± 5  | 122 ± 13  | 31  | 14                             | 42        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 16.     | 92 ± 5  | 118 ± 13  | 26  | 14                             | 42        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 17.     | 119 ± 6   | 170 ± 19  | 51  | 20                             | 60        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 18.     | 296 ± 15  | 201 ± 22  | 95  | 27                             | 81        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 19.     | 164 ± 8   | 155 ± 17  | 9   | 19                             | 57        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 20.     | 60 ± 3  | 102 ± 15  | 42  | 15                             | 45        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 21.     | 230 ± 13  | 216 ± 24  | 14  | 27                             | 81        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 22.     | 121 ± 6   | 146 ± 16  | 25  | 17                             | 51        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 23.     | 31 ± 2  | 72 ± 9  | 41  | 9                              | 27        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 24.     | 561 ± 26  | 438 ± 43  | 123   | 50                             | 150       | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 25.     | 208 ± 9   | 212 ± 23  | 4   | 25                             | 75        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 26.     | 109 ± 5   | 151 ± 17  | 42  | 18                             | 54        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 27.     | 118 ± 6   | 134 ± 15  | 16  | 16                             | 48        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 28.     | 16012 ± 865                                     | 22877 ± 2745                                      | 6865  | 2878                           | 8634      | NEM, az eltérés nem jelentős  |

| Sorszám | ATOMKI, Debrecen mód-<br>szerrel kapott értékek | IFIN-HH, Bukarest<br>módszerrel kapott<br>értékek | A két módszer<br>közötti szám-<br>szerű külön-<br>ség | A különbség<br>standard hibája |           | Megjegyzések az eredményeket<br>illetően a jelentős eltérés elvét alkal-<br>mazva (a különbség nagyobb vagy<br>nem a standard eltérés háromszoro-<br>sánál).* |
|---------|---|---|---|--------------------------------|-----------|---|
|         | [Bq/m <sup>3</sup> ]                            | [Bq/m <sup>3</sup> ]                              |   | $\sigma$                       | $3\sigma$ |   |
| 29.     | 172 ± 8   | 166 ± 18  | 6   | 20                             | 60        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 30.     | 205 ± 9   | 238 ± 26  | 33  | 28                             | 84        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 31.     | 168 ± 8   | 170 ± 19  | 2   | 21                             | 63        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 32.     | 179 ± 8   | 543 ± 60  | 364   | 60                             | 180       | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 33.     | 106 ± 5   | 134 ± 15  | 28  | 28                             | 84        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 34.     | 399 ± 20  | 304 ± 33  | 95  | 39                             | 117       | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 35.     | 122 ± 6   | 219 ± 24  | 97  | 25                             | 75        | IGEN, az eltérés jelentős.  |
| 36.     | 106 ± 5   | 138 ± 18  | 32  | 18                             | 54        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 37.     | 115 ± 6   | 158 ± 17  | 43  | 18                             | 54        | NEM, az eltérés nem jelentős  |
| 38.     | 94 ± 5  | 108 ± 12  | 14  | 13                             | 39        | NEM, az eltérés nem jelentős  |

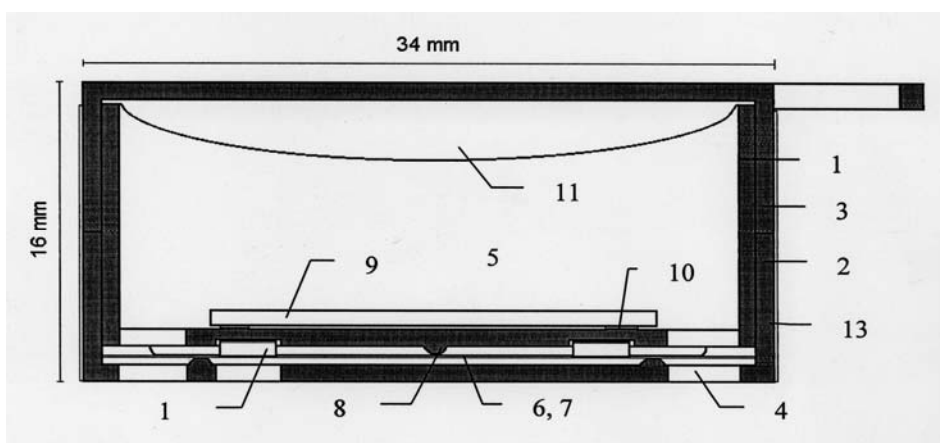
\* Két egymástól független mérésor  $k_1$  és  $k_2$  középértékeinek  $k_1 - k_2$  különbsége, normál eloszlás esetén, normál eloszlású standard eltérése:

$$\sigma_{(k_1 - k_2)} = \sqrt{\sigma_{k_1}^2 + \sigma_{k_2}^2}$$

Az eltérés jelentős ha:  $k_1 - k_2 > 3 \sigma_{(k_1 - k_2)}$

A beltéri radon-koncentráció 1-es mérési módszerét (maratott nyomdetektorok alkalmazásával – ATOMKI, debreceni változat) a következő feltételekkel alkalmaztuk:

- beltéri radon-monitorizáló készülék (RADAMON):

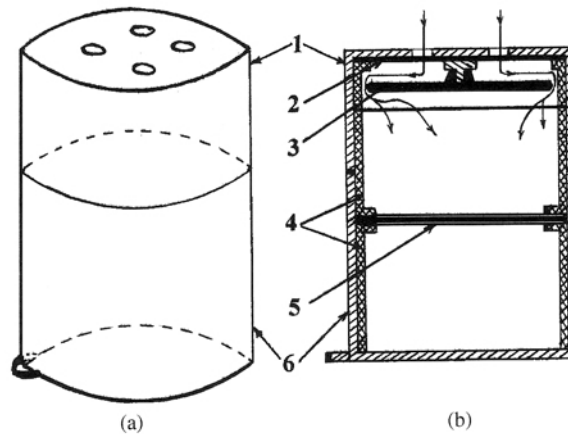


1. ábra

- a használt szilárd nyomdetektor: TASTRAK- CR-39, Bristol, Anglia

A beltéri radon-koncentráció 2-es mérési módszerét maratott nyomdetektorokkal (IFIN-HH változat, Bukarest – a következő feltételek mellett alkalmaztuk:

- Radon-mérő készülék



2. ábra

*Az IFIN-HH módszer nyomdetektoros mérőeszköze:*

*a) külső doboz és*

*b) hosszmetset. 1. felső, lyukas, fedő; 2. a szűrő rögzítő gyűrűje; 3.korong;*

*4. a nyomdetektort rögzítő felület; 5. a CR-39 típusú nyomdetektor; 6. a berendezés alsó fedője*

- Alkalmazott szilárd nyomdetektor, CR-39 típus, Page Ltd, Anglia
- a detektorok kalibrálása egy laboratóriumi kalibráló berendezéssel történt, egy friss  $^{226}\text{Ra}$  – forrást alkalmazva, amely radioaktív egyensúlyban van a  $^{222}\text{Rn}$ -nal és amelynek aktivitása a hitelesítés pillanatában (2004. július 8-án)  $2082 \pm 150$  Bq volt (11001-es számú hitelesítési bizonyítvány, 2004. július 29., kiadta az IFIN-HH Radionuklidek Metrológiai Laboratórium)
- a kalibráláshoz egy olyan hitelesítő berendezést használtunk (CE 10976 egybeesési módszer), melyben a kalibrálási detektorok expozíciós ideje alatt a  $^{226}\text{Ra}$  forrás aktivitása nem volt jelentős mértékű ( $T_{1/2} = (1600 \pm 7)$  Bq)
- a  $^{222}\text{Rn}$  expanziós térfogata az alkalmazott kalibráló berendezésben  $(7653 \pm 6)$   $\text{cm}^3$  volt
- a kalibrálandó detektorok teljes expozíciós ideje alatt a radon-koncentráció állandó volt ( $272,05 \pm 19,59$  Bq/ $\text{dm}^3$  értékű)
- a detektorok teljes expozíciós ideje a kalibráló berendezésben 45 nap volt
  
- **a detektorok maratási feltételei:** maratási szer 30%-os NaOH oldat,  $70^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet, időtartam 7 óra.
- **Az összes nyomdetektor** éspedig **i)** a háttér-detektorok **ii)** a kalibrált detektorok és **iii)** a mérési detektorok **egyidőben és ugyanabban a marató kádban marattattak** egy U 15 típusú termosztatált fürdőben (MLW, Németország). A maratás után az összes detektort alaposan megmostuk ötször vízben és 18-20 órát desztillált vízben tartottuk, oly módon, hogy a detektorok mindkét felülete közvetlenül érintkezzen a vízzel;
- **A maratott nyomdetektorokban található alfa-nyomok tanulmányozása** hagyományos optikai mikroszkópiával történt, egy két látcsöves, kalibrált Carl Zeiss Jena mikroszkópot alkalmazva. A mikroszkóp kalibrálására egy  $\text{mm}^2$ -re felosztott  $1\text{ cm}^2$ -es optikai hálót használtunk, ezt egy okulárlencsébe helyeztük (1, 5 cm-es eredeti Carl Zeiss hajszálkereszttel, amely mm-re és tízedmiliméterekre van felosztva, próbaként.
- A maratott nyomdetektorokban található nyomok vizsgálata **X150**-es nagyítással történt (objektív X10, okulár X10 és a mikroszkóp optikája X1, 5), amely esetén egy négyzetes látómező felülete  $0,49\text{ mm}^2$  volt, tehát a detektor  $1\text{ cm}^2$ -nyi felületének vizsgálata céljából 204,08 egymás utáni négyzetes látómezőt kellett elemezni és **X300**-as nagyításnál (objektív X20, okulár X10 a mikroszkóp optikája X1, 5), amely esetében egy négyzetes mikroszkopikus látómező felülete  $0,1156\text{ mm}^2$  volt. Tehát a detektor  $1\text{ cm}^2$ -nyi felülete esetén 865,05 négyzetes mikroszkopikus látómezőt kellett elemezni. Egyetlen alkalommal, a mofetta vizsgálatánál használtak **X600**-os nagyítást (objektív

X40, okulár X10 és a mikroszkóp optikája X1, 5), amely esetben a négyzetes mikroszkopikus látómező felülete  $0,030765 \text{ mm}^2$ .

- **A mérendő mennyiség** a CR-39 típusú detektorokban található **alfa nyomsűrűség [nyom/cm<sup>2</sup>]** volt. A számításokban a **napi alfa nyomsűrűséget [nyom/cm<sup>2</sup>.nap]** használták, amelyet összehasonlítotunk a kalibrált detektorok **napi alfa nyomsűrűségével**, ami után mindkét mennyiségből kivontuk a háttérsugár-sugárzás-nyomokat.
- **A meghatározott mennyiség bizonytalansági foka, a beltéri radon-koncentráció esetében** a #) mérhető mennyiségek bizonytalansága (**A típusú bizonytalanság**) és a #) **B típusú bizonytalanság** (a használt mennyiségek bizonytalansága a mennyiségek meghatározása esetén) összege. Mind-egyiknek egy  $k = 1,96 \approx 2$  kiterjesztési faktor felel meg (egy 95%-os bizalmi szint esetén).
- Tehát, beltéri radon-koncentráció mennyiségi meghatározása esetén a bizonytalansági összefüggés:

$$U_{\text{total}}^2 = U_A^2 + U_B^2$$

## 2. AZ EREDMÉNYEK TÁRGYALÁSA

A beltéri radon-koncentráció maratott nyomdetektorokkal való mérése nyomán elért eredményeket (a két módszer alkalmazása során) az 1-es, ill. a 2-es táblázat mutatja be.

Ahogy az 1-es és a 2-es táblázatból kitűnik, a két laboratórium által kapott beltéri radon-koncentráció értékek 74%-os pontossággal megegyeznek, az eltérések nem jelentősek, 26%-ban pedig jelentős eltérések mutatkoznak. Hogy ezt a megállapítást indokolni tudjuk, nevezetesen, hogy megállapítsuk a jelentős eltérések okát, fontosnak tartottuk egy-egy részlet pontosítását a munkafolyamat során.

Abból kiindulva, hogy a beltéri radon-koncentráció maratott nyomdetektorokkal való mérésének debreceni változata **nemzetközileg jóváhagyott**, megpróbáltuk megmagyarázni az eredmények során kapott különbségeket ugyanazon mérési pontokban, megfigyelve azokat a lehetséges hibaforrásokat, amelyek közbelephetnek az IFIN-HH változat esetében, mely módszer nemzetközileg még nem hitelesített.

Mielőtt az eredményeket elemeznénk, meg kell említenünk hogy a **maratott nyomdetektoros módszer** jelenleg a leginkább ajánlott a hosszú távú beltéri radon-mérésre, ugyanakkor az egyetlen, amely megengedi a detektorok expozícióját akár 1 évig is anélkül, hogy ezek jelentősen megváltoztatnák fizikai állapotukat és ama képességüket, hogy alfa-részecskéket regisztráljanak. Ráadásul egyszerű, gazdaságos, robusztus és nem szükséges üzemanyag a működéséhez és az információ regisztrálásához.

Összes hasznos tulajdonságával együtt, e módszer alaposítást és sok türelmet, lelkiismeretes munkát igényel, ellenkező esetben ugyanis bármelyik kísérleti szakasz negatív hatással lehet a kapott eredményekre.

Elsősorban, **kizárjuk a nyomdetektorok felcserélésének lehetőségét**, ugyanis minden detektort megjelöltünk egy számmal (karcolással az egyik sarkában).

Másodsorban, ellenőriztük, hogy a beltéri radon-koncentráció mérési eredményei a módszer két változata során jelentősen különböznek vagy sem.

Ezt a tényt határoztuk meg ama bizonyított kritérium alapján, hogy két eredmény jelentősen különbözik, ha különbségük nagyobb mint 3 szokványos eltérés (egymás közötti különbség). Nevezetesen, ha a két érték,  $k_1$  és  $k_2$  egymástól független és véletlenszerű, normál disztribúció esetén különbségük,  $k_1 - k_2$  normál disztribúciót jelent a szokásos eltéréssel:

$$\sigma_{(k_1 - k_2)}^2 = \sigma_{k_1}^2 + \sigma_{k_2}^2 \quad (3)$$

A két érték lényegesen különbözik, ha:

$$k_1 - k_2 > 3 \sigma_{(k_1 - k_2)} \quad (4)$$

A beltéri radon-koncentráció mérés 38 pontja esetén, **az eredmények mintegy 74 %-a nem mutat jelentős különbségeket**, tehát ezeket elfogadjuk, az eredmények mintegy **26 %-a jelentős különbségeket mutat**, ahogy azt a 2-es táblázat is mutatja.

Ahogy fentebb említettük, megpróbáljuk megvizsgálni a maratott nyomdetektoros munkamódszer minden szakaszát (IFIN-HH változat), hogy megállapíthassuk azokat az okokat, amelyek jelentős különbségekhez vezettek a mérésben, figyelembe véve, hogy a debreceni változat (ATOMKI) nemzetközileg hitelesített, így tehát alkalmazása helyes.

a) Minden olyan műveletnél, amely a nyomdetektorok és a monitorizáló berendezések előkészítését célozza, a használatuk érdekében kötelező:

- i) ezek mosása**, gyorsan és hatékonyan

**ii) a fertőzés elkerülése végett** a csipesz és a kesztyű használata révén, ezek mosása és gyors szárítása valamint gyors becsomagolása (a csomagolás megőrzése addig, amíg a detektorokat a radon-monitorizáló készülékekbe szerelik) a levegőben levő alfa-részecskék és más laboratóriumi radioaktív forrásból származó anyagok regisztrációjának elkerülése érdekében.

Úgy tekintjük, hogy ez a szakasz nem tudta befolyásolni az IFIN-HH által mért eredményeket. E szabályok be nem tartása esetleg 0,5%-nál kisebb bizonytalansági szintet eredményezhet akár egy éves időtartam alatt, 600 Bq/m<sup>3</sup>-nál nagyobb radon-koncentráció értékek esetén.

b) Figyelembe véve, hogy a kísérletben alkalmazott összes CR-39 típusú nyomdetektor,

**i) a háttér-detektorok, ii) a kalibrált detektorok és iii) a mérési detektorok** ugyanahhoz a gyártási szériához tartoztak (Page Ltd, Anglia), tehát mind egyformán régiiek voltak (kb. 10 évesek), és azonos körülmények között őriztük őket használatukig, **ezeket a detektorokat – a rendeltetésüknek megfelelő információ-regisztráció után egyidőben és ugyanabban a kádban marattuk, majd hasonló feltételek között mostuk meg**, mind a mosások számát tekintve, mind a desztillált vízben való megőrzésüket > 18 órán át.

Úgy véljük, ez a fajta mosási módszer megkönnyíti a nyomok követését, és ezzel együtt az alfa-nyomok tanulmányozását a szokványos optikai mikroszkópiával. Bár a maratott nyomdetektorok felületesebb mosása egy bizonytalansági tényező lehet amiatt, hogy nem választja ki azokat az alfa nyomokat, amelyek nagyon hasonlóak a detektor belsejében található nyomokhoz, (nem az alfa nyomoknak köszönhetően), a nyomdetekciós technika alkalmazásának gyakorlata hosszú távon bebizonyította, hogy az IFIN-HH által használt mosás – kezelés hozzásegít a nyomok helyes kiválasztásához, az említett mosási módszert alkalmazva, ha a nyomok vizsgálatánál más feltételek is teljesülnek.

Úgy véljük, ez a szakasz sem tudta befolyásolni az IFIN-HH által kapott eredményeket. A maratás után a nyomdetektorok néhány felületesebb mosása nyomán az alfa nyomok azonosításánál különbségeket észleltek, ugyanannak a megfigyelőnek az esetében, akár 5%-nál nagyobbakat is.

c) A kísérleti szakaszok ellenőrzése alkalmával (a CR-39 típusú nyomdetektorok expozíciója a radon-monitorizáló készülékben) megállapítottuk, hogy **nem minden készüléket használtak azonos helyzetben az expozíció időtartama alatt**. Helyesen, az IFIN-HH módszere szerint a radon-monitorizáló készülékeket a helyiség egyik falára kell felfüggeszteni (ahol a radon-mérést végzik), azon az övpánton keresztül, amelyet előírnak a szűrő nélküli kupak esetében (2-es ábra). Ily módon elkerüljük a szűrőnek a lerakódott por általi részleges eltömítődését. E hatás hangsúlyt kaphat, mivel az expozíció ez esetben 1 év volt.

Mivel mind az ATOMKI, mind pedig az IFIN-HH készülékeit azonos feltételek között szereltük fel, ugyanannak a hatásnak tettük ki, talán kissé különböztek a készülékbe felszerelt szűrő okán de lényegesen a különbséget nem befolyásolta.

d) **A CR-39 típusú detektorok kalibrálása** a fent említett, jól meghatározott feltételek között történt. A tény alapján, hogy az eredmények kb. 74%-a nem mutat jelentős eltérést, úgy ítéljük, hogy ez a szakasz (a maratott nyomdetektorok kalibrálása) optimális feltételek között történt (a célnak megfelelően) és olyan problémák nélkül, amelyek indokolnák az eredmények közötti jelentős különbséget.

e) **a CR-39 típusú nyomdetektorokban regisztrált alfa-nyomok tanulmányozása** (Page, Anglia) **hagyományos optikai mikroszkóppal**, az említett feltételek mellett. Természetes, és jól ismert tény, hogy létezik egyfajta szubjektív tényező a megfigyelő részéről, ami a nyomok „csúcsait” illeti, mint alfa-nyomokat. E szubjektív tényezőt úgy is tekinthetjük, hogy része (benne foglaltatik) egy arányossági állandónak a nyomsűrűség és az (1) összefüggés többi mennyiségei között.

Tehát, ugyanannak a megfigyelőnek ez a tényező leegyszerűsödik, ha ugyanaz a megfigyelő mind a kalibrált detektor, mind a mérési detektor esetében.

Sajnos elmondhatjuk, hogy a **munka e szakasza** (amely talán a legfontosabb e módszer esetén, hiszen ebben a szakaszban határozzák meg a mérendő értékeket, **az alfa nyomsűrűséget [nyom/cm<sup>2</sup>]** a kalibrált nyomdetektorokban, illetve a beltéri radon-mérő detektorokban) **hozhatja magával a legnagyobb bizonytalanságot az alfa-nyomok helytelen azonosításával**.

Itt két olyan szempontot veszünk figyelembe, amely a nehéz részecskék (műanyag nyomdetektorok esetén) nyomdetekciója során kapott jelentőséget. Ezek a szempontok:

- az alfa nyomok helyes azonosítása
- a megfigyelő szemének optikai tulajdonságai, amely jellemzi a nyom vizsgálatának minőségét

Mindkét szempont azonos fontossággal bírhat az alfa-nyomok tanulmányozásában, és ezeket összevetve, jelentős eredménybeli eltéréseket mutathat.

Ezek a szempontok nagy hangsúlyt kaptak az alfa sugarak azonosításában a nyom hosszában keletkezett folt átmérőjének kritériumát vévén alapul, amelyet az SSNTDs Laboratóriumban foglalmaztak meg (IFIN-HH), mintegy szükségként (a régi és nagyon régi, CR-39 típusú nyomdetektorokban megnövekedő „paraziták” miatt).



Ez a világító folt nem függ *méretében* egy alfa-nyom átmérőjétől, amely korong formájú és nem jelenik meg a lemezek elöregedése okozta rács-hibák miatt kialakult nyomoknál.

Ezen alfa korong-nyomok megkülönböztetésekor (azoktól a nyomoktól, amelyek korong formája jellemzi az elöregedett/hibás detektorokat) legtöbbször segít a színkülönbség is. A nem alfa jellegűek világosabb színűek, mint az alfa nyomok fekete színe, a fekete sötétbarnává változik.

Egyik nyom sem számít alfa nyomnak, ha átmérője nagyobb mint „a folt átmérője”. A parazita nyomok száma – a detektorok elöregedése és meghibásodása miatt időben nő, még akkor is, ha a detektorok jól be vannak csomagolva és megfelelően őrzik őket. Hasonló a helyzet abban az esetben is, ha a detektorok nagyon hosszú ideig ki vannak téve a beltéri radon-sugárzásnak.

Kijelenthetjük, hogy az általunk tökéletesített kísérleti módszerrel (IFIN-HH változat) ezt a dolgot nagyon jól kihangsúlyozták és be is bizonyították az eredmények összehasonlításával.

*A detektorokban fellelhető alfa-nyomok helyes azonosítása* a világító folt átmérőjének kritériuma alapján, nagymértékben függ a következő tényezőktől:

- i) *a mikroszkóp optikájának minősége;*
- ii) *a detektorok maratása és mosása;*
- iii) *a tanulmányt végző megfigyelőtől,* amennyiben az illető személynek jó a látása

### 3.ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy fentebb említettük, *a beltéri radon-koncentráció maratott nyomdetektorokkal való mérése* jelenleg a legjelentősebb és a leginkább alkalmazott módszer a beltéri radon-koncentráció mérésére, ugyanis a szilárd nyomdetektorok tulajdonságaiknak köszönhetően előnyben vannak a más típusú detektorokkal szemben.

Bár e módszer nagyon előnyös, óvatosságot követel a nyomdetektorok kezelése, megőrzése és különösen ezek vizsgálata során a mérendő értékek („*az alfa nyomsűrűség*”) meghatározása céljából, amely arányos a meghatározott értékkel, „*a beltéri radon-koncentrációval*”.

*A beltéri radon-koncentráció maratott nyomdetektorokkal való mérésének két változata segített előtérbe helyezni néhány olyan tényezőt, amely befolyásolhatja a beltérradon-koncentráció valós értékeit.*

Ez egy integrátor módszer, amely (annak köszönhetően, hogy nagy időtartamokra – akár egy évre is – megengedi a mérést) a beltéri radon-koncentráció mérés esetén egy olyan középértékhez vezetnek, amely (legalább elméletileg) a legközelebb áll az évi átlagos radon-koncentráció értékeihez. Ez az érték segít nekünk abban, hogy *reál értékben* felbecsüljük *milyen mértékben van kitéve a lakosság* a beltéri radon-sugárzásnak, ugyanakkor a *tényleges dózis* felbecsülését segíti, amely egy valódi epidemiológiai vizsgálat tárgya lehet.

Tehát, a beltéri radon-koncentráció meghatározásának módszere így alapvető módszerré válik, viszont e módszert országos méretű alkalmazása előtt még ellenőrizni kell, ugyanakkor hozzá kell igazítani a kontinentális és globális követelményekhez. A kapott eredmények reálisnak bizonyulnak.

Az általunk elvégzett összehasonlítás célja az volt, hogy ellenőrizze az IFIN-HH által kidolgozott beltéri radon-koncentráció mérési módszerét, mielőtt hitelesítenék egy nemzetközi összehasonlítás során.

Az a tény, hogy néhány eredmény nem felel meg a reális értékeknek, csak segít néhány negatív tényező kihangsúlyozásában, amely nagy fontosságú a sugárvédelem terén, ha a kísérlet során kapott eredményeket összevetik az illető területen ajánlott értékekkel ( $200 \text{ Bq/m}^3 - 600 \text{ Bq/m}^3$ ), hogy meghatározzák a tevékenységi szintet.

1. ha az eredmények kisebbek, mint a valós értékek, *akkor a lakosság* (amely beltéri koncentráció-mérés területén lakik, dolgozik és idejének 80%-át eltölti) *expozíciója, alulbecsült, a jelen valóságban nagyobb dózisoknak van kitéve, mint a beltérben mért radon-értékek.* Ilymódom alulbecsült expozícióval van dolgunk, ami néha előre nem látható következménnyel járhat, különösen ott, ahol a radon-koncentráció meghaladja a  $600 \text{ Bq/m}^3$  értéket.
2. ha az eredmények nagyobbak, mint a valós értékek, *akkor a lakosság expozícióját túlbecsülték.* Abban az esetben, ha az ország törvényhozásában megszabják a *beltéri radon estén a tevékenységi szintet*, ezek a *túlbecslések gazdaságilag megterhelik az országot, az illetékes hatóságok kötelessége lévén, hogy cselekedjenek e koncentrációk csökkentése érdekében, és javításokkal érjék el, hogy ezek az értékek a megszabott intervallumban maradjanak.* Ugyanez ajánlott a  $600 \text{ Bq/m}^3$  fölötti koncentráció-értékek esetében is, ebben az esetben azonban főleg költségek is felmerülhetnek, ha a radon-koncentráció szintje a valóságban kisebb.

Ez az összehasonlítás (a maratott nyomdetektorokkal végzett beltéri radon-koncentráció mérés kapcsán) felhívta a kísérletet végző figyelmét olyan tényezőkre, amelyek ronthatnak az eredmények hitelességén.

Ahogy a 2-es táblázatban is láthatjuk, a nem megegyező értékek többsége nagyobb, mint a valós érték. A 2-es táblázat 5-ös és 13-as sorszáma esetén, az IFIN-HH értékei 309%-kal illetve 17%-kal különböznek a debreceni ATOMKI Laboratóriumétól. Igaz viszont, hogy ha ezeket a méréseket megismételjük, a levont következtetések közelebb vinnének a valósághoz. Ezek az adatok abba a 26%-ba tartoznak, ahol jelentős különbségeket észleltünk.

Bár ez a megállapítás főleg az alacsony, a  $100 \text{ Bq/m}^3$  alatti radon-koncentrációkra vonatkozik, az eredmények közti nagy különbségek nem engedik meg, hogy ne tisztázzuk e szempontot is, amely a régi (több, mint 10 éves) detektorokban levő alfa-részecskék helytelen azonosításából ered. Sokak (akik ezt a kísérleti módszert használták) véleménye szerint az alfa nyomok vizsgálata szilárd nyomdetektorokban optikai mikroszkóp segítségével pontosabb, mint az automata számláló berendezés esetén.

Az említett egyenlőtlenségek okán olyan feltételeket is azonosítottak, amelyek segítségével ezek kiküszöbölhetők.

- egy olyan mikroszkópos nagyítással, amely esetén könnyen azonosítható a kialakult nyom, még akkor is, ha csak egy kisebb felületet vizsgálunk, amely minden esetben reprezentatív a nyomdetektorok expozíciója esetében;
- ugyanaz a megfigyelő egyszerre vizsgálja a *kalibrált detektorokat*, a *mérési detektorokat* és a természetes *háttér-sugárzás detektorokat*. Az alfa nyomok hagyományos optikai mikroszkóppal történő vizsgálata feltételezi, hogy ugyanazt a mikroszkópot használják ugyanazon feltételek között az alfa-nyomok vizsgálatánál
- a megfigyelőnek ne legyenek látási problémái (ne legyen fáradt) és legyen türelme a nyomok azonosításában
- a módszer minden szakaszát helyesen kell elvégezni, a módszer előre meghatározott feltételei szerint;
- a beltéri radon-mérő készülékeket úgy kell elhelyezni, hogy a szűrőre ne rakódjék rá a por, különösen a nagyon hosszú időtartamú expozíciók alatt  $\geq 3$  hónap. Minden esetben „felakasztva”, rögzített helyzetben kell tartani
- bár a beltéri radon-koncentráció magas értékei esetén az értékek összehasonlítása esetén nincs lényeges különbség (mint amilyen a mofetta), úgy véljük, hogy a kapott eredmények eltérhetnek a valóságostól mindkét esetben, ugyanis a nyomsűrűség nagyon magas, két nagyságrenddel nagyobb, mint a *számlálандó megengedett maximális értéke*, a nyomok egymásra tevődése folytán. Ez komoly gondot jelenthet a nyomok azonosításában és számlálásában, világosan látható következményekkel a nyomsűrűség meghatározásában. Ez esetben ajánlott a radon-koncentráció mérés megismétlése az illető helyen és a detektor expozíciós idejének megváltoztatása egy olyan faktorral, amely esetében a nyomsűrűség ne lépje át a  $5 \cdot 10^4$  nyom/cm<sup>2</sup>-es határt a detektorban

Annak ellenére, hogy a maratott nyomdetektorokkal való beltéri radon-koncentráció mérés nagy óvatosságot, megszorításokat, korrektséget, céltudatosságot igényel, a szerzők úgy vélik, hogy e módszernek biztosítani kell az őt megillető helyet a beltéri radon-mérésben, ezt indokolja a pontossága, az egyszerűsége és a gazdaságossága.

## IRODALOM

- [1.] Csige I., Csegzi S., The Radamon radon detector and an example of application, *Radiation Measurements* 34 (2001) 437-440
- [2.] Daniş A., M. Ciubotariu. Metodă de determinare a concentraţiei de activitate a radonului indoor folosind detectori solizi de urme. Raport PN 03-20 05 01, Contract nr.10/2003, IFIN-HH, Bucureşti, 2003.
- [3.] Daniş A., M.Oncescu, M. Ciubotariu. System for calibration of track detectors used in gaseous and solid alfa radionuclides monitoring. *Radiation Measurements* 34, 155- 159, 2001.
- [4.] Daniş A. Omologare sursă <sup>226</sup>Ra - <sup>222</sup>Rn. Caiet de Sarcini nr.1118/2002 IFIN-HH, Bucureşti, B.I. Nr.1727 din 05.12.2002. .
- [5.] Ciorăscu F., M.Oncescu. *Detectarea și Măsurarea Radiațiilor Nucleare*. Capitolul 10, Fluctuații Statistice, Ed. Academiei Romane, 1964.
- [6.] Ispășoiu Gh. P. *Evaluarea incertitudinii de măsurare și raportarea rezultatului măsurării mărimilor fizice*. Ed. Asociația de Standardizare din Romania (ASRO), 2002.