

# A radontól származó sugárterhelés meghatározásának és korlátozásának nehézségei föld alatti munkahelyeken<sup>1</sup>

KÁVÁSI NORBERT<sup>2</sup>, SOMLAI JÁNOS<sup>2</sup>, SZABÓ TIBOR<sup>5</sup>, VÁRHEGYI ANDRÁS<sup>3</sup>,  
HAKL JÓZSEF<sup>4</sup>, KOVÁCS TIBOR<sup>2</sup>, GORJANÁ CZ ZORÁN<sup>2</sup>,  
JOB B ÁGY VIKTOR<sup>2</sup>

Az 1996. évi Atomtörvény végrehajtási rendelete a munkahelyek légterében mérhető éves átlagos radonkoncentrációra 1000 Bq/m<sup>3</sup>-es cselekvési szintet ír elő. Föld alatti munkahelyeken különösen magas lehet a radonkoncentráció. Munkánk során vizsgáltuk az évi átlagos radonkoncentráció meghatározásának nehézségeit a Tapolcai Kórházbarlangban, ahol a havi átlag 0,51 és 12,4 kBq/m<sup>3</sup> közt változott. Sugárterhelés szempontjából közel 50%-os hibát eredményezhet, hogy a rendeletben feltételezett 0,4-es egyensúlyi tényező föld alatti munkahelyeken (bányák, barlangok) ±50%-kal is eltérhet a feltételezett értéktől. Ez az ott dolgozók sugárterhelésében ugyanekkora hibát eredményezhet.

N. KÁVÁSI, J. SOMLAI, T. SZABÓ, A. VÁRHEGYI, J. HAKL, T. KOVÁCS, Z. GORJANÁ CZ, V. JOB B ÁGY: The difficulties of determination and regulation of radon dose component in underground workplaces

According to the executive decree of the Atomic law (1996) the action level in workplaces is 1000 Bq/m<sup>3</sup> yearly average radon level in the air. The radon concentration in underground workplaces can be especially high. The difficulties of determination of radon concentration were investigated in the hospital cave of Tapolca where the monthly average was between 0,51 and 12,4 kBq/m<sup>3</sup>. Considering the dose contribution of the workers it can cause 50% miscalculation that the equilibration factor differs ±50% from the assumed 0,4 value in underground places (caves, mines, etc.).

## 1. Bevezetés

Az átlagos természetes eredetű sugárterhelés (2,4 mSv/év) több mint felét (1,3 mSv/év) a radon okozza [UNSCEAR 1993].

A radon (<sup>222</sup>Rn) a <sup>238</sup>U bomlási sorában, közvetlenül a <sup>226</sup>Ra alfa bomlásakor keletkező nemesgáz. A keletkezett új radonmag a szilárd közetmátrixból a szemcseközi pórus térbe juthat, ahol már könnyen migrálhat. Felezési ideje 3,8 nap, így a különböző kőzetekben nagyobb távolságra is eljuthat. Minden talaj tartalmaz bizonyos mennyiségű <sup>226</sup>Ra-ot. Normál esetben 1-3 m mélységből a radon a felszínre áramolhat. Repedések, törésvonalak mentén pedig sokkal mélyebbről is feljut [COTHERN, SMITH 1987].

A kijutott radon a levegőben bomlik, ahol a bomlása- kor keletkezett, már szilárd halmazállapotú, de még mindig radioaktív leánytermékei (ólom, bizmut, polónium izotópok) a levegőben lévő aeroszolokhoz kötődhetnek. Ezt belelegezve az aeroszolok — a méretüktől függően — a tüdő különböző helyein lerakódhatnak. A további bomlások keletkező sugárzás közvetlenül károsítja a tüdő hámszövetjeit, elősegítve a tüdőrákos megbetegedések kialakulását. A sugárterhelés legnagyobb részét (97%-át) a radon leánytermékei okozzák és ehhez csak

kis mértékben (3%-ban) adódik hozzá a radontól közvetlenül származó dózis [The radon manual 2001].

A sugárterhelés becslésénél használják az egyensúlyi tényező fogalmát (*F*), ami a levegőben lévő leánytermékek és a radon aktivitáskoncentrációjának arányára utal.

Napjainkban egyre nagyobb figyelem fordul a sugárterhelés felmérése, korlátozása felé.

A legtöbb országban a lakóépületekben cselekvési szinteket írtak elő a légtér radonkoncentrációjára, hogy elkerüljék az extrém nagy sugárterhelést. A nemzetközi sugárvédelmi szervezetek közöttük az *International Commission of Radiation Protection (ICRP)* úgy foglal állást, hogy a foglalkozásszerűen nem sugárveszélyes munkakörben dolgozókat úgy kell tekinteni, mint a lakosság többi tagját. Ezek alapján a munkahelyi radonkoncentrációra is ki kell terjeszteni a korlátozást.

A lakásokra ajánlott ún. cselekvési szinteket (200–600 Bq/m<sup>3</sup>, ami 3–10 mSv/év sugárterhelést eredményez) az egyes tagországokban a munkaidő, eltérő légzésteljesítmény stb. figyelembevételével 500–1500 Bq/m<sup>3</sup> közt javasolják a munkahelyekre alkalmazni [ICRP 1994]. Az Európai Unió 6 mSv/év maximális sugárterhelés elfogadását javasolja. Az *International Basic Safety Standard (IBSS)* 1000 Bq/m<sup>3</sup>-es cselekvési szintet javasol [IBSS 1996].

Hazánkban ezt veszi figyelembe a 16/2000. (VI. 8.) számú Eü. Min. rendelet, amely munkahelyeken 1000 Bq/m<sup>3</sup> éves átlag értékben határozta meg a cselekvési szintet.

Ez feltételezi a 2000 óra/év munkaidőt, az 1,2 m<sup>3</sup>/h légzésteljesítményt, az ICRP által javasolt dóziskonverziós tényezőt és a lakóépületekre jellemző — a radon és leánytermékei közti egyensúlyt kifejező — 0,4-es egyensúlyi tényezőt [16/2000. EüM. rendelet 2000].

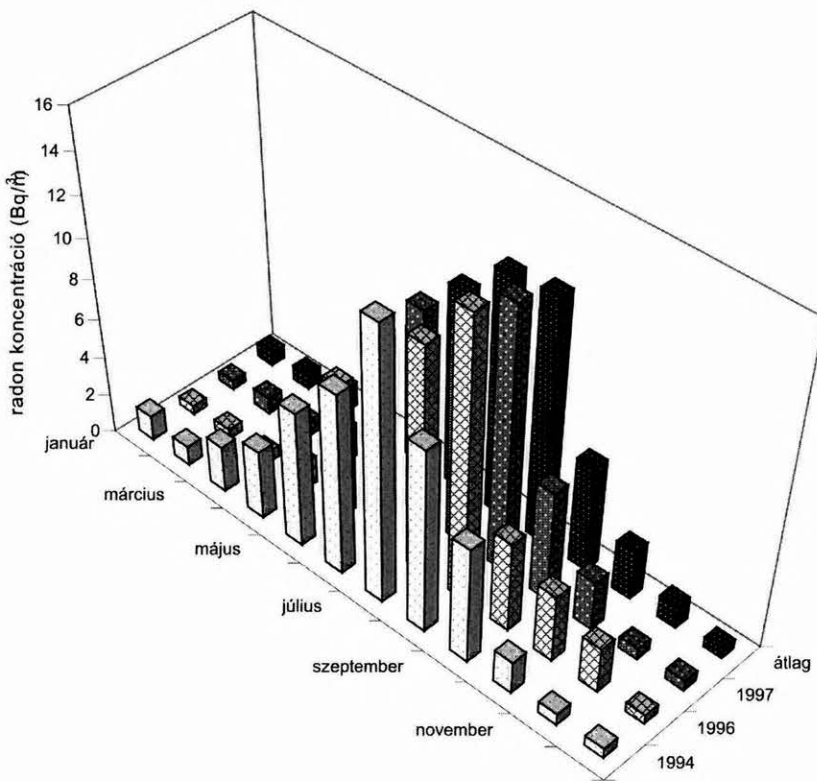
<sup>1</sup> Elhangzott 2002. július 5-én a pécsi Radiometriai alkalmazások, ill. rekultivációs geofizika c. anketon

<sup>2</sup> Veszprémi Egyetem Radiokémia Tanszék, H-8201 Veszprém, Pf. 158

<sup>3</sup> Mecsekérc Rt., H-7614 Pécs, Pf. 121

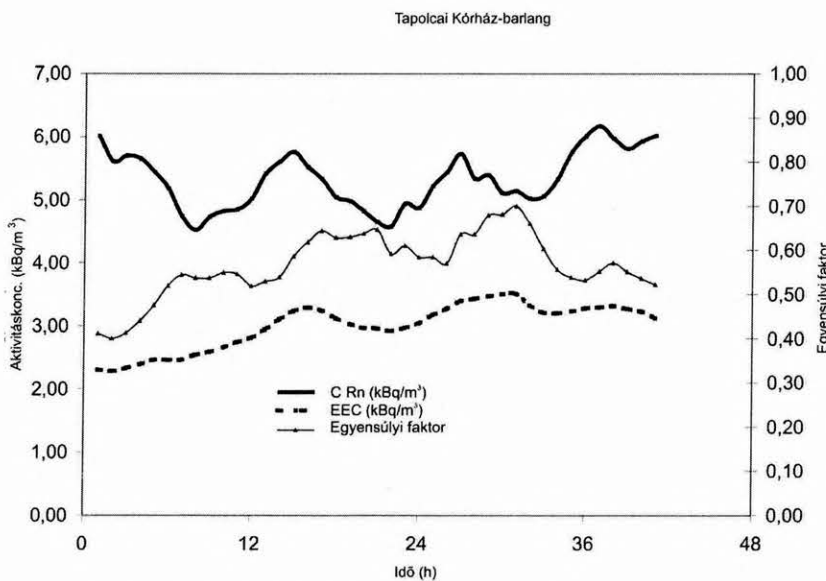
<sup>4</sup> ATOMKI, H-4001 Debrecen, Pf. 51

<sup>5</sup> Tapolcai Kórház Rehabilitációs és Barlangterápiás Egysége, H-8300 Tapolca, Ady E. u. 1/3.



1. ábra. Havi átlagos radonkoncentráció eloszlása a Tapolcai Kórházbarlang nagytermében

Fig. 1. Distribution of monthly averages of Rn concentration in Tapolca Hospital cave



2. ábra. Az egyensúlyi tényező változása a Tapolcai Kórházbarlangban

Fig. 2. Variation of equilibrium factor in Tapolca Hospital cave

Munkahelyeken a radon a talajból, az építőanyagokból, illetve a felhasznált anyagokból a végzett tevékenység során kerülhet a légtérbe.

Föld alatti munkahelyeken a kőzetek sokkal vastagabb rétegben veszik körül a munkahelyet, mint egy felszíni épületnél. Nagy  $^{226}\text{Ra}$ -tartalmú kőzeteknél így magas radonszintek alakulhatnak ki. Ezt az értéket jelentősen

található.

Az egyensúlyi tényező a mért radonkoncentráció és a WL-érték ismeretében a következőképpen számolható:

$$F = \frac{WL}{C_{Rn}}$$

ahol

befolyásolhatják a nyomás- és hőmérsékletviszonyok, a mesterséges vagy természetes szellőzés és a légáramlás. A bányászat során az aprózódás következtében még intenzívebb lehet a radonkiáramlás, ami szintén megnöveli a légtér radonkoncentrációját.

Munkánk során néhány föld alatti munkahelyen vizsgáltuk a radonkoncentráció változását, az egyensúlyi tényezőt és tanulmányoztuk a 2003. január 1-től bevezetésre kerülő hazai előírások alkalmazásánál felmerülő nehézségeket.

## 2. Mérési és számítási módszerek

### 2.1. A radonkoncentráció mérése

A radonkoncentráció hosszú távú (több éves) mérésénél félvezető detektorral ellátott *Dataqua* mérőműszert használtunk, ami az 1 órás átlagos radonkoncentrációt (a hozzá tartozó hőmérséklet és nyomás adatokkal együtt) mérte és a memóriájában tárolta.

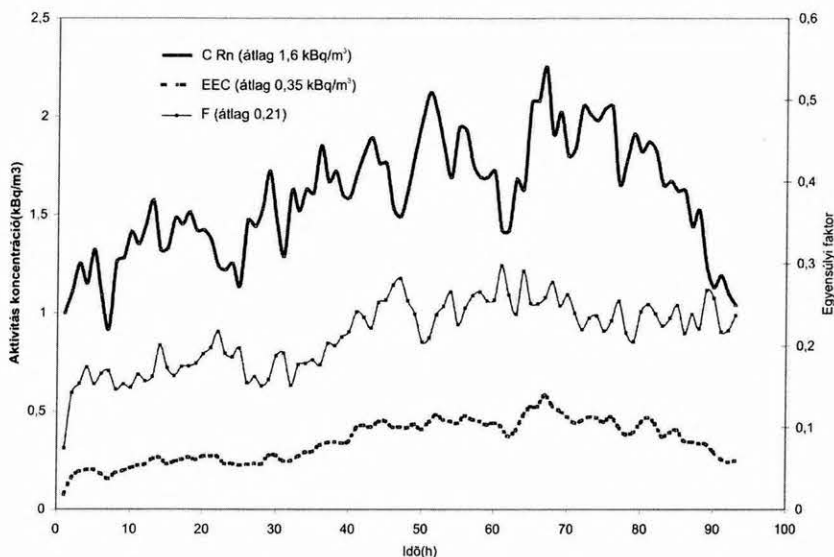
A rövidebb távú radonméréseket a *Lucas-cellával* (*CPRD-detektorral*) felszerelt *PYLON-AB5*, illetve a félvezető detektoros *Radim 2P* és *Radim 3P* radon monitorokkal végeztük. Mindegyik mérőműszer diffúziós elven működik. Az átlagos radonkoncentráció meghatározását 1 órás integrálási idővel végeztük.

### 2.2. A leánytermék-koncentráció meghatározása

A leánytermékek koncentrációját a *PYLON-WLX Working Level (WL)*, azaz munkaszint) monitorral mértük. A készülék a levegő 0,8  $\mu\text{m}$ -es szűrőn való átszívása során a szűrőn megtapadt aeroszolok  $\alpha$ -spektrometriai elemzésével számolta az egyes leánytermékek koncentrációját, illetve az óránkénti átlagos WL értékeket.

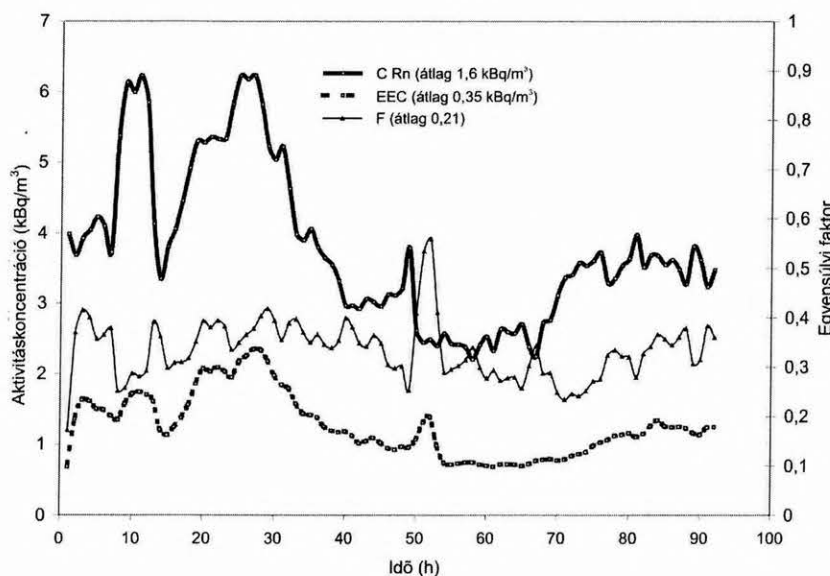
### 2.3. Az egyensúlyi tényező és a sugárterhelés számítása

1 WL egyenértékű 3700  $\text{Bq}/\text{m}^3$ -es olyan elméleti radonkoncentrációval, ahol minden leánytermék a levegőben



3. ábra. A radonkoncentráció és egyensúlyi tényező változása szénbányában az 1-es fronton

Fig. 3. Variation of Rn concentration and equilibrium factor in coal-mine, excavation site No.1



4. ábra. A radonkoncentráció és egyensúlyi faktor változása bányában a 2-es fronton

Fig. 4. Variation of Rn concentration and equilibrium factor in coal-mine, excavation site No.2

$F$  — az egyensúlyi tényező,

$WL$  — a mért munkaszint értékek ( $1WL = 3700 \text{ Bq/m}^3$ ),

$C_{Rn}$  — a mért radonkoncentráció ( $\text{Bq/m}^3$ ).

A sugárterhelést az egyensúlyi faktor ismeretében az alábbi összefüggéssel becsülhetjük:

$$E = K \cdot C_{Rn} \cdot F \cdot t$$

ahol

$E$  — az éves effektív dózis ( $\text{mSv}$ ),

$C_{Rn}$  — a radon átlagos aktivitáskoncentrációja ( $\text{Bq/m}^3$ ),

$K$  — a dóziskonverziós tényező ( $\text{mSv/h})/(\text{Bq/m}^3)$ ,

$F$  — az egyensúlyi tényező,

$t$  — az éves benntartózkodási idő (h).

Mivel  $K$  értéke modellezéssel becsült állandó [ $7,9 \cdot 10^6 \text{ (mSv/h)}/(\text{Bq/m}^3)$ ], az időegységre eső sugárterhelést a  $C_{Rn} \cdot F$  szorzat határozza meg. Ezt az értéket ekvivalens egyensúlyi koncentrációnak (EEC) is nevezik.

### 3. Mérési és számítási eredmények a Tapolcai Kórházbarlangban

Tapolcán a Kórházbarlangban három különböző évben folyamatosan mértük a radonkoncentrációt. Az értékek havi átlagainak eloszlását és a három év átlag-értékeit az 1. ábrán tüntettük fel.

Látható, hogy a radonkoncentráció havi átlagértékei egy év folyamán nagymértékben változnak, de az egymást követő években az azonos hónapokban hasonló értékeket kaptunk.

Az Egészségügyi Minisztérium cselekvési szintre vonatkozó rendeletét vizsgálva láthatjuk, hogy szükséges lenne az „átlagos radonkoncentráció” mérési idejére vonatkozó javaslat is. Ha a nemzetközi ajánlások 1-3 hónapos mérési idejét vennénk figyelembe [SCIVYER 1993], nagy hibát követünk el attól függően, hogy mely hónapokban végezzük a méréseket.

A Kórházbarlangban néhány napig több évszakban párhuzamosan vizsgáltuk a radon és leánytermékeinek koncentrációját. Egy ilyen periódusban (2001 májusában) mért radonkoncentráció, egyensúlyi tényező, illetve a tényleges sugárterhelésre utaló EEC értékek a 2. ábrán láthatók.

A különböző időszakokban végzett mérések alapján átlagosan 0,6-os egyensúlyi tényezőt kaptunk, ami jó egyezést mutat korábbi, más barlangokban végzett mérésekkel [HAKL et al. 2000].

A fentiek tehát azt is jelentik, hogy egy adott radonkoncentráció esetén a tényleges sugárterhelés 50%-kal nagyobb, mint a rendeletben szereplő feltételezésekkel számolt érték. Mivel itt

magas radonkoncentrációk alakulhatnak ki, ez az eltérés véleményünk szerint egyáltalán nem elhanyagolható.

### 4. Mérési és számítási eredmények szénbányában

Egy szénbányában két — itt 1-essel, ill. 2-essel jelzett különböző — fejtési fronton 1-1 hétig végeztünk párhuzamos radonkoncentráció és egyensúlyi tényező méréseket. Az 1-es fronton mért értékeket a 3. ábrán ábrázoltuk.

Itt az átlagos radonkoncentráció  $1600 \text{ Bq/m}^3$ . Ez tehát meghaladja az  $1000 \text{ Bq/m}^3$ -es cselekvési szintet. A tény-

leges sugárterhelésre utaló EEC a rendelet szerint  $1000 \text{ Bq/m}^3 \cdot 0,4$ , azaz  $400 \text{ Bq/m}^3$ . A bánya 1-es frontján viszont az egyensúlyi faktor átlagosan 0,21, tehát az EEC érték  $1600 \cdot 0,21$ , azaz csak  $336 \text{ Bq/m}^3$ . Megállapíthatjuk, hogy annak ellenére, hogy az átlagos radonkoncentráció jelentősen (60%-kal) meghaladja a cselekvési szintet, a tényleges sugárterhelés 16%-kal alacsonyabb, mint a cselekvési szinthez tartozó, elméletileg feltételezett érték.

A fenti két példa is rámutat arra, hogy a rendeletet célszerű lenne kiegészíteni azzal, hogy a kritikus tartományba (pl.  $500\text{--}2000 \text{ Bq/m}^3$ ) eső átlagos radonkoncentrációk esetén a radonméréseket leánytermékméréssel is ki kell egészíteni.

A 2-es fronton végzett mérések eredményeit a 4. ábrán tüntettük fel.

A 2-es front a bánya mélyebben fekvő részén található. Itt már lényegesen nagyobb radonkoncentrációk alakultak ki (átlag:  $3800 \text{ Bq/m}^3$ ). Az egyensúlyi faktor átlaga 0,33, tehát alacsonyabb a 0,4-es értéknél. A magas radonkoncentrációk miatt azonban az itt dolgozók sugárterhelése ( $E=3800 \cdot 0,33 \cdot 2000 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}=19,8 \text{ mSv}$ ) elérheti a sugárveszélyes munkahelyekre vonatkozó  $20 \text{ mSv/év}$  (pontosabban 5 év alatt  $100 \text{ mSv}$ ) értéket. Természetesen, mint a korábbiakban láttuk, az egyhetes radonkoncentráció-átlagból nem lehet egyértelmű következtetést levonni. Sugárterhelést növelő tényező lehet viszont az, hogy az itt folyó munkák miatt a légzésteljesítmény valószínűleg meghaladja a dózisszámításoknál feltételezett  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$  értéket [IBSS 1996], továbbá a nagyobb  $\text{CO}_2$ -koncentráció miatt a légzés mélysége, s így a radon leánytermékei mélyebbre jutásának valószínűsége is megnő.

A néhány példa arra utal, hogy a föld alatti munkahelyeken körültekintően kell vizsgálni a radonkoncentrációt és az ott dolgozók sugárterhelését, mert valószínűsíthető, hogy hazánkban a legnagyobb sugárterhelésnek az ilyen jellegű munkahelyen dolgozók vannak kitéve.

## HIVATKOZÁSOK

- 16/2000. (VI. 8.) Eü. Min. rendelet az Atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról, Magyar Közlöny 55, Budapest, 2000
- SCIVYER C. R. 1993: Surveying dwellings with high indoor radon levels: A BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings, Building Research Establishment Report
- HAKL J., DEZSŐ Z., SOMLAI J., VÁRHEGYI A. 2000: Magyarországi barlangászok radontól származó sugárterhelése. Környezeti ártalmak és a légzőrendszer, X. kötet, Konferenciakiadvány 134-141. o., Hévíz
- ICRP 65 1994: International Commission on Radiological Protection, Protection against  $^{222}\text{Rn}$  at Home and at Work, Oxford, Pergamon Press, ICRP Publication 65
- IBSS 1996: International Basic Safety Standards, Safety Series, IBSS 115-I, Vienna
- COTHERN R., SMITH J. E. Jr. 1987: Environmental Radon, Plenum Press, New York and London
- The Radon Manual 2001: A Guide to the Requirements for the Detection and Measurement of Natural Radon Levels, Associated Remedial Measures and Subsequent Monitoring of Results, The Radon Council, Shepperton
- UNSCEAR 1993: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiation, New York