

# A radontranszport geogáz buborékmodellje és ennek alkalmazása a mélységi urán kutatásban

VÁRHEGYI ANDRÁS\* – BARANYI ISTVÁN\* – GERZSON ISTVÁN\* – SOMOGYI GYÖRGY\*\*

*A mikrobuborékos formában feláramló „geogáz” jelenségére alapozva a mélységi forrásból származó radon transzportjának egy új kvantitatív modelljét dolgoztuk ki. Utalunk a felszínalatti vizek és a mélyben keletkező gázok szerepére a radon mozgásában. Különböző földtani és közelfizikai paraméterek feltételezésével számított mélységi radonkoncentráció-profilokat mutatunk be. Megvizsgáljuk a vízszint alatti radondetektálás problémáit. Elemezzük, hogy milyen földtani körülmények esetén van esély nagy-mélységű radonforrás detektálására, és új kutatásmetodikai ajánlásokat teszünk. Végül bemutatunk néhány alfa-nyomdetektorral mért nyomosságprofil.*

*На основе явления поднимающихся в земной коре «геогазов» в форме микропузырьков, разработана количественная модель транспорта радона из глубинных источников. Показана роль подземных вод и образующихся на глубине газов в переносе радона. Показаны вертикальные профили концентраций радона, рассчитанные для различных геологических условий и физических параметров горных пород. Освещаются проблемы детектирования радона под уровнем грунтовых вод. Показаны результаты полевых измерений треквым методом. Проведен анализ геологических условий, при которых имеются возможности для обнаружения глубинных источников радона, даны рекомендации поисково-методического характера.*

*The authors present a new quantitative model to describe the subsurface transport of radon carried by ascending geogas microbubbles. The role of subsurface gases and water in the radon transport is discussed. Different radon concentration profiles calculated for different geological and physical conditions are presented. In addition the problems of radon detection under water using track-etch technique are considered and some track density profiles measured by plastic track detectors in boreholes are shown. The possibility of revealing deep radon sources under different geological conditions is analyzed and a new method for emanation uranium exploration is proposed.*

## 1. Bevezetés

Az 1970-es évektől a szilárdtest nyomdetektorokkal végzett integrális radonmérések igen elterjedtek a nagyobb mélységben elhelyezkedő uránércesedések geofizikai kutatásában. Számos esettanulmányban számoltak be arról, hogy nyomdetektoros módszerrel 100 méternél nagyobb mélységben elhelyezkedő ércesedések fölött is radonanomáliákat mértek [2,3]. Ugyanakkor, kedvezőtlen földtani körülmények esetén még felszínközeli ércesedések is rejtve maradnak az emanációs kutatás számára, ezért sokan megbízhatatlan kutatómódszernek tartják. A 100 méteres mélységből a felszínre detektálható mennyiségben feljutó radon fizikai magyarázatára a kőzetpórusokat kitöltő közeg több m/nap nagyságú feláramlását földtani szempontból semmiképpen sem tekinthetjük reálisnak. Véleményünk szerint az emanációs módszerrel kapcsolatos problémákat az okozza, hogy nem áll a kutatók rendelkezésére olyan földtani-fizikai modell, amely a radon mozgását elfogadható módon (kvantitatíve is) leírja. Nem áll rendelkezésre olyan egyértelmű kutatási kritérium sem, amelynek alapján az emanációs mérések technikai paraméterei tervezhetőek, és az eredmények kvantitatíve értékelhetőek lennének. A mikrobuborékos formában feláramló geogáz – mint egyetlen reális mélységi transzport-mechanizmus – publikált eredményeire [1,4, 5, 6] támaszkodva megkísérreljük a radontranszport kvantitatív leírására is alkalmas modell felállítását.

\* Mecseki Ércbányászati Vállalat, H – 7633, Pécs

\*\* MTA Atommagkutató Intézete, H – 4001, Debrecen

## 2. A mélységi gázok eredete és szerepe a radontranszportban

Először Kristiansson és Malmqvist [4] vetették fel, hogy a mélységi gázok buborékos feláramlása vízzel telített kőzetpórusok esetén a radontranszportot döntően meghatározó tényező lehet. Egy újabb cikkükben [5] beszámolnak arról, hogy különböző földtani körülmények között megmérték a buborékos gáz-feláramlás (geogáz) fluxusát és a gáz kémiai összetételét.

Uránércesedések felett a következő folyamatok adhatják a geogáz komponenseit:

- A csapadékba beoldódó és a talajvizet túltelítő légköri eredetű gázok nyomás- vagy hőmérsékletváltozás hatására történő felszabadulása [4, 5].
- Vizes környezetben elbomló urán és leánytermékeinek radiolitikus vízbontása. Egy  $U - 238$  atom teljes lebomlása  $36\ 000\ H_2$  molekula felszabadulásával jár [1, 8].
- Gázokkal túltelített talajvizet esetén az urán és leányelemeinek alfa-sugárzása buborékokat generál (buborékkamra-effektus) [6].
- Lokálisan a földkéreg mélyebb régióiból gázok áramolhatnak fel (aktív törések, geotermikusan aktív területek).

A felsorolt folyamatok eredményeként több ezer  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  év értékű gázfluxus kialakulásával számolhatunk [5]. Vízzel telített kőzetpórusok esetén ilyen nagyságú gázfeláramlás csak buborékos formában képzelhető el. A gázbuborékok az uránérctelepekben keletkező radon egy részét magukkal ragadhatják [4, 6], és biztosítják a gyors (a radon felezési idejével összemérhető idejű) transzportot az összefüggő pórusvízrendszer legfelső szintjéig, a talajvízszintig.

A talajvízszint és a felszín közötti közeg már elvileg eltérő módon viselkedik a radon mozgása szempontjából. Itt a diffúziót tekintjük annak a mechanizmusnak, amely a radonnak a felszín felé irányuló mozgását döntő módon meghatározza.

## 3. A mikrobuborékos radontranszport kvantitatív leírása

Vízben a mikrobuborékok mozgásának a sebességét a Stokes-formula határozza meg:

$$v = \frac{g}{18\eta_w}(\rho_w - \rho_g)d^2, \quad (1)$$

ahol:  $g$ : a nehézségi gyorsulás ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ),  
 $\eta_w$ : a víz dinamikai viszkozitása ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  
 $\rho_w$ : a víz sűrűsége ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  
 $\rho_g$ : a gáz sűrűsége a buborékban ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  
 $d$ : a gömbalakú gázbuborék átmérője (cm).

A radontranszportot leíró differenciálegyenletet az (1) sebességfüggvény helyettesítésével megoldottuk az 1. ábrán feltüntetett modell határfeltételeivel. A vízszint feletti 1. közegben a radonkoncentráció mélység szerinti változását a következő formula írja le:

$$c_{(1)} = c_0 \frac{sh(z\sqrt{\lambda/D})}{sh(h\sqrt{\lambda/D})}. \quad (2)$$

ahol  $\lambda$ : a  $Rn-222$  bomlási állandója ( $2,1 \cdot 10^{-6} s^{-1}$ ),  
 $D$ : a radon diffúziós tényezője ( $cm^2 \cdot s^{-1}$ ).

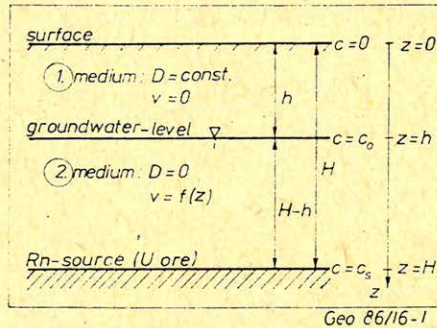
A pórus vízzel kitöltött 2. közegben pedig:

$$c_{(2)} = c_s \left( \frac{y}{y_s} \right)^{2/3} \cdot \exp \left[ \frac{3h_0 \lambda}{5v_0} (y^{5/3} - y_s^{5/3}) \right], \quad (3)$$

$$\text{ahol } y = \frac{h_0 + z - h}{h_0} \text{ és } y_s = \frac{h_0 + H - h}{h_0} \quad (3a)$$

$v_0$ : az (1) szerinti sebesség a vízszinten ( $z = h$ -nál),

$h_0$ : a légköri nyomással egyensúlyt tartó vízoszlopmagasság (10 m).



1. ábra. A mikrobuborékos és diffúziós, vertikális, egydimenziós radontranszport-modell számításaink során használt paraméterei.

Рис. 1. Параметры, используемые при вычислениях микропузырьковой и диффузионной моделей одномерного вертикального транспорта радона.

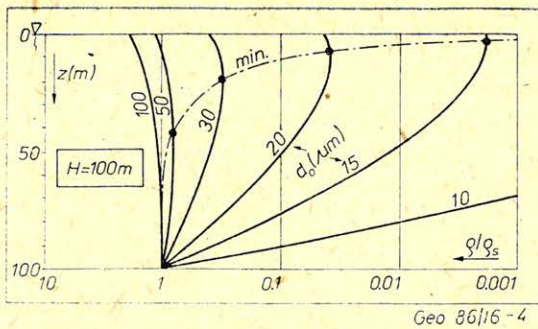
Fig. 1. Parameters used in our calculations related to the micro-bubble and diffusion, one-dimensional, vertical radon transport model.

Az ércetesttől a talajfelszínig a relatív radonkoncentráció elméleti profilja ( $c/c_s$ , ill.  $c/c_0$ ) a (2)–(3) formulák segítségével a  $H$  forrásmélység, a  $h$  talajvízszintmélység, a  $v_0$  buboréksebesség (ill. a  $d_0$  buborékátmérő) és a  $D$  diffúziós tényező tetszőleges értékeire kiszámítható. A 2. ábrán az ércetest 100 méteres, a talajvízszint 10 méteres mélysége mellett kialakuló radonprofilokat rajzoltuk meg, különböző  $d_0$  és  $D$  értékek mellett.

A mikrobuborékos transzport hatékonyságát mutatja, hogy 20  $\mu m$ -nél nagyobb buborékátmérők esetén a radonkoncentráció csökkenése a vízszint alatti 90 méteres szakaszon 2,5 nagyságrenden belül marad (minthogy a buborékokba beoldott radon viszonylag gyorsan feljut a vízszintig). A továbbiakban azonban, a felszín alatti 1 méteres mélységig (amely a hagyományos nyomdetektoros mérések szokásos telepítési helye) a radonkoncentráció további csökkenése még a legideálisabb esetben is két nagyságrend.

#### 4. A közetfizikai paraméterek szerepe a radontranszportban

A (3) összefüggés tiszta vízfázisban írja le egzakt módon a radonkoncentráció eloszlását, és nem veszi figyelembe, hogy kőzetekben a buborékmozgás szükség-szerűen kényszerpályákon, azaz a kőzetek összefüggő pórus-, ill. hasadékrendszerén keresztül történik. Szemcsés-porozus kőzeteket (pl. homokok, homokkövek) és közel ekvigranuláris szemcseméret-eloszlást feltételezve sikerült kapcsola-



Geo 36/16-4

4. ábra. Alfa-részecskékre érzékeny nukleáris nyomdetektorral mérhető relatív nyomsűrűség ( $\rho/\rho_0$ ) elméletileg várható változása a vízszint alatti mélység függvényében, mikrobuborékos radontranszport és 100 méteres forrásmélység esetén, a vízszintnél különböző átmérőjű buborékokat ( $d_0$ ) feltételezve.

Рис. 4. Теоретически ожидаемые изменения плотностей треков ( $\rho/\rho_0$ ), определяемых альфа-чувствительными детекторами в условиях микропузырькового транспорта радона при глубине источника 100 м-ов, и при различных предполагаемых диаметрах ( $d_0$ ) пузырей на уровне грунтовых вод.

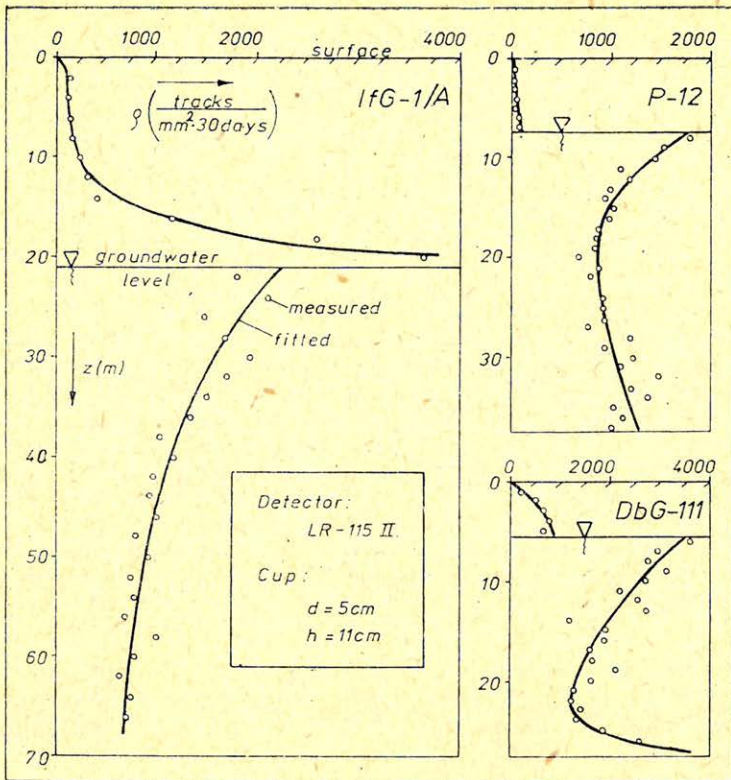
Fig. 4. The theoretically expected variation of the relative track density ( $\rho/\rho_0$ ) measurable by an alpha-sensitive nuclear track detector, as a function of the depth under water level, assuming a radon transport by microbubble mechanism, 100 m source depth and different bubble diameters ( $d_0$ ) at the water level.

mélységben található. Minimum kialakulása  $v_0 \leq 0,23$  m/h esetén már nem várható. Az 5. ábrán bemutatunk néhány példát vízzel telített fúrásokban mért nyomsűrűség-profilokra. A minimum helyzetéből a radont szállító mikrobuborékok mérete meghatározható.

## 6. Kutatásmetodikai következtetések

Kétségtelen, hogy szerencsés földtani körülmények összetalálkozása szükséges ahhoz, hogy a mikrobuborékos radontranszport az uránkutatás szempontjából megfelelő hatékonysággal működjön. Elegendő nagyságú geogáz-fluxus, vízzel telített, laza, porózus kőzetek jelenléte és gázzáró rétegek hiánya ennek mind feltételei. Azonban kedvező esetben radondetektálással még néhány száz méteres mélységű ércesedések is megtalálhatóak, amire az irodalom számos példát ad.

Modellszámításaink szerint a radon a mikrobuborékos formában feláramló geogáz egyik komponenseként viszonylag nagy sebességgel jut fel a talajvíz felszínéig. Onnan azonban további terjedését a felszín felé elsősorban a lassú diffúzió szabályozza. Ezért, ha a talajvíz szintje a felszíntől számított néhány méternél mélyebben helyezkedik el, a hagyományos módon felszínközelségben telepített detektorok az esetleges mélységi radonforrás jelét már nem érzékelik (2. ábra). Mindazonáltal, ha sekélyfúrásokat alkalmazva radondetektorainkkal lemegyünk a talajvíz szintjéig, a mélységi forrásból származó radonjel detektálhatóságát több nagyságrenddel megjavíthatjuk. Az ebből eredő költségnövekedés és a nagyobb mélységben elhelyezkedő ércesedések megtalálásának nagyobb esélye egymás ellen dolgozó tényezők, amelyeket kutatási-stratégiai megfontolások tárgyává kell tenni. A bemutatott transzport-elmélettel koherens kutatási metodikát és eszközöket 1983 óta rutinszerűen alkalmazzuk a magyarországi uránkutatásban.



Geo 86/16-5

5. ábra. Uránércesedett területen, speciálisan kiképzett fúrólukakban mért vertikális alfa-nyomsűrűség profilok.

Рис. 5. Вертикальный разрез плотностей альфа треков по скважигне, частично заполненной водой, пробуренной на участке урановым орудинением.

Fig. 5. Vertical track density profiles measured by alpha track detectors placed in partly water-filled drillholes, in an uranium mineralized area

#### IRODALOM

- [1] Baranyi, I., I. Gerzson and A. Várhegyi (1985), A new hypothesis of radon migration and its practical application in the emanation exploration method of uranium occurrences, Magyar Geofizika, 26, 226 – 232. (in Hungarian)
- [2] Fleischer, R. L. and A. Mogro-Campero (1978), Mapping of integrated radon emanation for detection of long-distance migration of gases within the earth: Techniques and principles, J. Geophys. Res., 83, 3539 – 3549.
- [3] Gingrich, J. E. and J. C. Fisher (1976), Uranium exploration using the track-etch method IAEA – SM – 208/19, 213 – 224.
- [4] Kristiansson, K. and L. Malmqvist (1982), Evidence for nondiffusive transport of  $^{222}_{86}\text{Rn}$  in the ground and a new physical model for the transport, Geophysics, 47, 1444 – 1452.
- [5] Malmqvist, L. and K. Kristiansson (1984), Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground, Earth Planet. Sci. Lett., 70, 407 – 416.
- [6] Malmqvist, L. and K. Kristiansson (1985), A physical mechanism for the release of free gases in the lithosphere, Geoexploration, 23, 447 – 453.
- [7] Somogyi, G. and L. Lénárt (1985), Time-integrated radon measurements in spring and well waters by track technique, presented at 13th Int. Conf. on Solid State Nucl. Track Det., Rome, 23 – 27. sept.
- [8] Vovk, I. F. (1981), Radiolitic model for the composition of solutions in the crystalline basement of shields, Geohimija, 26, 467 – 480. (in Russian)

**Ára: 32,50 Ft**