

## Az atmoszférikus légnyomás változásainak hatása egy borpince légterében lévő $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentrációra

Győrfi Tamás\*<sup>1</sup>, Csige István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eötvös József Főiskola, 6500 Baja, Szegedi út 2.

<sup>2</sup>MTA Atommagkutató Intézete, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

\*gyorfi.tamas@ejf.hu

*Title and Abstract – Effect of atmospheric pressure variations on the  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration in the air of a wine cellar. We have measured the variation of atmospheric pressure and of  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration in the air of a wine cellar with an AlphaGAURD type ionization chamber radon monitor. We have found that the  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration varies inversely with pressure. To explain this behavior we have done model calculations. We have compared the results of model calculations with the results of experimental measurements, and we have found that the model is capable to reproduce some part of the variation of  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration.*

*Keywords- Rn-222; wine cellar; transport model.*

**Kivonat – Egy borpince légterében mértük a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció időbeli változását egy AlphaGUARD típusú ionizációs kamrás radonmérő műszerrel, továbbá ugyanezzel a műszerrel mértük az atmoszférikus légnyomás változását is. Azt tapasztaltuk, hogy bizonyos időszakokban a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció ellentétesen változik a légnyomással. A jelenség értelmezésére modellszámításokat végeztünk. Megállapítottuk, hogy a modell jól értelmezi a mért  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció idősorokban megfigyelhető változások egy részét.**

*Kulcsszavak – Rn-222; borpince; transzportszámítások*

### BEVEZETÉS

A radontól származó sugárterhelés a lakosság természetes eredetű sugárterhelésének mintegy felét adja. Kimutatható a radon szerepe a tüdőrák-gyakoriság növekedésében, ezért vizsgálata megkülönböztetett figyelmet érdemel. Magyarországon az 1996. évi CXVI. Atomenergiáról szóló törvény (16/2000.) EüM végrehajtási rendelet munkahelyekre éves átlagban az  $1000 \text{ Bq/m}^3$ -es radon-konzentráció értéket, mint cselekvési szintet határozta meg, ami 0,4-es egyensúlyi faktor és 2000 óra/év munkaidő esetén  $6,3 \text{ mSv/év}$  sugárterhelést jelent. Korábbi vizsgálatok igazolták, hogy a föld alatti üregekben, barlangokban, bányákban ennek az értéknek a többszöröse, gyakran több tízszerese is előfordul éves átlagban. Így joggal vetődött fel a kérdés, hogy a barlangokhoz több tekintetben is hasonló földalatti borpincékben is előfordulhatnak-e a rendeletben megállapított cselekvési szintet meghaladó értékek. Korábbi [1][2][3] vizsgálataink során kimutattuk, hogy a hazai borvidékeink borospincéiben az éves átlagos  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció jellemzően néhány száz  $\text{Bqm}^{-3}$ , vagyis kb. 1 nagyságrenddel kisebb, mint ami a barlangokban jellemző. Ugyanakkor nem elhanyagolható azon borpincék aránya sem (kb. 10% körüli), amelyekben az éves átlagos  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció jellemzően néhány  $\text{KBqm}^{-3}$ . Ezen borpincék esetén jelentősége van annak, hogy a pince légterében térben és időben hogyan változik a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció egyrészt a sugárterhelés pontosabb becslése céljából, másrészt a nagyobb radonkonzentráció kialakulásának az okainak megértése céljából is. Jelen

munkánkban egy hajósi borpince légterében, az atmoszférikus légnyomás változásainak hatására változó  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentrációt vizsgáltuk.

## MÉRÉS HELYE

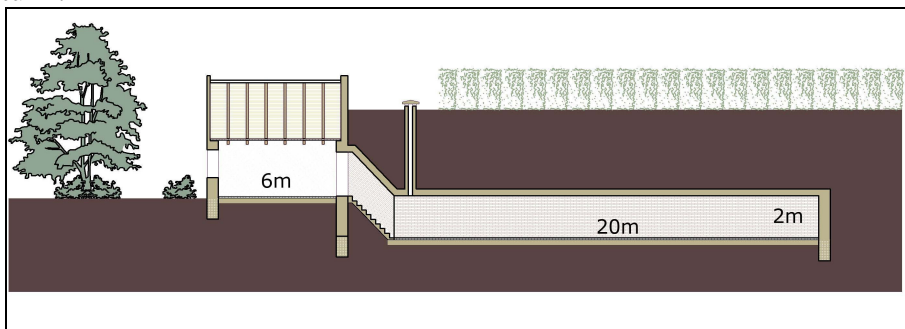
Hajós a Dél-alföldön, a Dunához közel található. A pincefalva a régi Duna-meder árterületén egy löszháton terül el. Manapság több mint 1200 pince található a faluban. Ez Európa legnagyobb összefüggő pincefaluja (1. ábra).



1. ábra. Hajós-pincefalva

A borpincék jellemzően egyágúak, átlagosan 20-50 méter hosszúsággal, 2,5 méter belmagassággal, és 2,2-3,0 méter szélességgel rendelkeznek. A falakat sok helyen téglalaborítás fedi. A pincék hőmérséklete télen-nyáron közel azonos, 12-13 °C. A borpincék fölé épültek a présházak. Az új építésű pincék présháza felett lakórész is kialakítása került, ahol turistákat szállásolnak el. A pincéket befoglaló közet anyaga lösz. A lösz 60-70%-ban finom kvarcporból, 5-25%-ban kalcium-karbonátból, 5-20%-ban agyagos alkotórészekből áll, egyéb kőzetalkotó ásványok törmeléke is lehet benne (földpát, turmalin, gránát, cirkon, olivin, stb.).

Helyszínként egy olyan hajósi pincét (2. ábra) választottunk, ahol korábban, Radamon típusú maratottonyom-detektoros radondetektorokkal, 1700 Bq/m<sup>3</sup> feletti radon-koncentráció értéket mértünk.



2. ábra. A vizsgált pince keresztmetszete és méretei

A méréshez AlphaGUARD típusú ionizációs-kamrás radonmonitort használtunk, amely a radon mellett a hőmérséklet, légnyomás és a relatív páratartalom mérésére is alkalmas.

## MODELLSZÁMÍTÁSOK

A talajgáz transzportját a telítetlen zónában a Darcy-egyenlettel közelítjük:  $\vec{q} = -K / \mu (\text{grad} P - \rho \vec{g})$ , ahol  $\vec{q}$ : a gáz térfogatáram-sűrűsége, [ $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ];  $K$ : a talaj belső gázáteresztő-képessége, [ $\text{m}^2$ ];  $\mu$ : a gáz dinamikai viszkozitása, [ $\text{Pa s}$ ];  $P$ : a gáz nyomása, [ $\text{Pa}$ ];  $\rho$ : a gáz sűrűsége, [ $\text{kgm}^{-3}$ ];  $\vec{g}$ : a gravitációs gyorsulás, [ $\text{ms}^{-2}$ ]. A talajgáz áramlásának kontinuitási egyenlete:  $\varepsilon (\partial \rho / \partial t) = -\text{div}(\rho \vec{q})$ , ahol  $\varepsilon$ : a talaj gázporozitása (a talaj teljes térfogatának gázzal kitöltött hányada), [-]. Az ideális gázokra vonatkozó állapotegyenlet:  $p = \rho RT$ , ahol  $R$ : az adott gázra vonatkozó gázállandó, [ $\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]; és  $T$ : a gáz hőmérséklete, [ $\text{K}$ ]. Az állapotegyenletből kifejezhetjük a gáz sűrűségét, és azt beírjuk a Darcy-törvénybe, valamint a kontinuitási egyenletbe, majd a Darcy-törvény szerinti térfogatáramot behelyettesítjük a kontinuitási egyenletbe, és így kapjuk a talajgáz áramlásának alapegyenletét:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \alpha \left\{ P \Delta P + \beta P \frac{\partial P}{\partial z} + (\nabla P)^2 \right\}, \text{ ahol } \alpha = \frac{K}{\mu \varepsilon}, \text{ és } \beta = \frac{2g}{RT}. \quad (1)$$

A radon gáz transzportegyenletét az alábbi alakba írhatjuk:

$$\beta \frac{\partial C}{\partial t} = D \text{div grad } C - \vec{q} \text{ grad } C + G - \lambda \beta C, \quad (2)$$

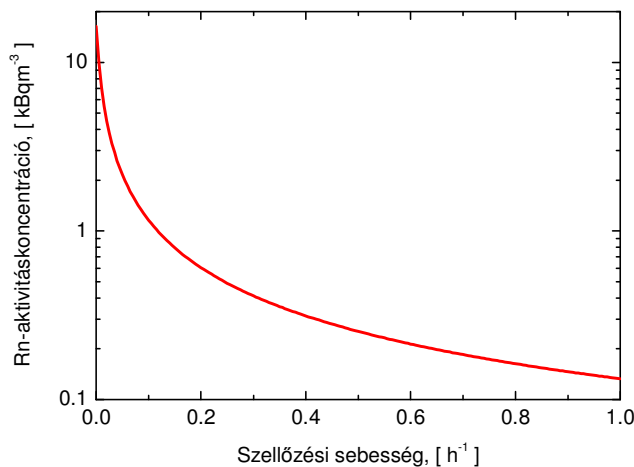
ahol  $C$  a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció a póruster gázfázisában,  $G = f \rho_d A_{Ra} \lambda$  a  $^{222}\text{Rn}$  pórusterben való keletkezési üteme,  $f$  a  $^{222}\text{Rn}$  kibocsátási tényező,  $\rho_d$  a száraz talaj sűrűsége;  $A_{Ra}$  a száraz talaj  $^{226}\text{Ra}$  aktivitáskoncentrációja,  $\lambda$  a  $^{222}\text{Rn}$  bomlási állandója. A póruster vízzel kitöltött hányadát víztelítettségnek nevezzük, és  $m$  betűvel jelöljük. Feltesszük, hogy a pórusterben lévő  $^{222}\text{Rn}$  mindenkor az Ostwald-féle megoszlási tényezőnek megfelelően oszlik meg a víz és a gázfázis között. Az  $L$  megoszlási tényező:  $L = C_w / C_g$ , aminek hőmérséklettől való függését a Clever H. L. [4] által levegőre összegyűjtött adatokból a következő formulával illesztettük:  $L(T) = 0.425 \exp(-0,05 T) + 0,104$ .  $\beta = (1 - m + Lm) \varepsilon$ , az úgynevezett megoszlás-korrigált porozitás. Mivel ebben a megközelítésben a víz és gázfázisban történő diffúziót nem tárgyaltuk elemi szinten, ezért a  $D_e$  effektív diffúziós együtthatóba van beépítve a diffúziós áram összes környezeti feltételtől való függése:  $D_e = D_e(\varepsilon, m, \dots)$ . A  $D_e$  ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) effektív diffúziós együttható porozitástól és a víztelítettségtől való függését Rogers és Nielson [5] szerint így közelíthetjük:  $D_e = D_{e0} \exp(-6m\varepsilon - 6m^{14\varepsilon})$ .

## EREDMÉNYEK

Első közelítésben a pince légtérben a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentrációját alapvetően két tényező határozza meg. Az egyik a pince talajából és a falaiból a légtérbe szivárgó  $^{222}\text{Rn}$  gáz árama, a másik pedig a pince szellőzése a külső légtér felé. Mindkét tényező jelentős időbeli változásokat mutathat elsősorban az időjárás változásainak hatására.

A legegyszerűbb esetben feltehetjük, hogy mind a radon forraserőssége, mind a pince szellőzési sebessége időben állandó. Legyen a pince térfogata:  $V$ , [ $\text{m}^3$ ]; a pince talajának és falainak összfelülete pedig:  $A$ , [ $\text{m}^2$ ]. A pince falain (beleértve a pince talaját is) a  $^{222}\text{Rn}$  aktivitásáram sűrűsége  $j$ , [ $\text{Bqm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]. Ekkor a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció a pince légtérben:  $C = (Aj / V + qC_k) / (\lambda + q)$ , ahol  $q$  a pince szellőzési sebessége. A talajfelszínre

világátlagban jellemző  $j=20 \text{ mBqm}^{-2}\text{s}^{-1}$   $^{222}\text{Rn}$  aktivitásáram-sűrűséggel számolva a szellőzési sebesség függvényében mutatja a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció értékét a 3. ábra.

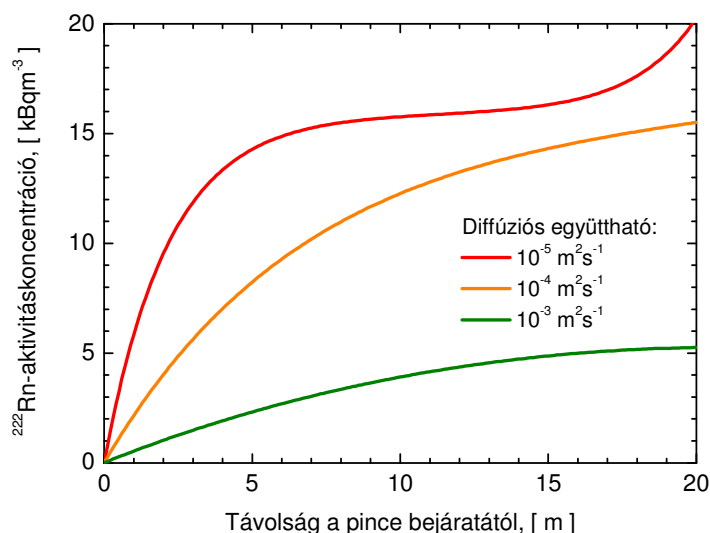


3. ábra. A  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció változása a szellőzési sebesség függvényében.

Tekintettel arra, hogy a borospincékben mérhető Rn-aktivitáskoncentráció néhány száz és esetleg néhány ezer  $\text{Bqm}^{-3}$  közötti érték, ezért mondhatjuk, hogy a szellőzési sebesség a pincékben jellemzően néhány tized óránként. A pince légtérben azonban a radonkoncentráció nem helyfüggetlen, hanem helyről-helyre változhat. A pince bejáratának közelében, ahol a szellőzés történik, a radonkoncentráció kicsi, szemben a pince végpontjával, ahol a szellőzés a legkisebb és a radonkoncentráció így várhatóan a legnagyobb. Tegyük fel most, hogy a pince levegőjének keveredését a diffúziós egyenlettel közelíthetjük:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + j \cdot \frac{K}{F} - \lambda \cdot C$$

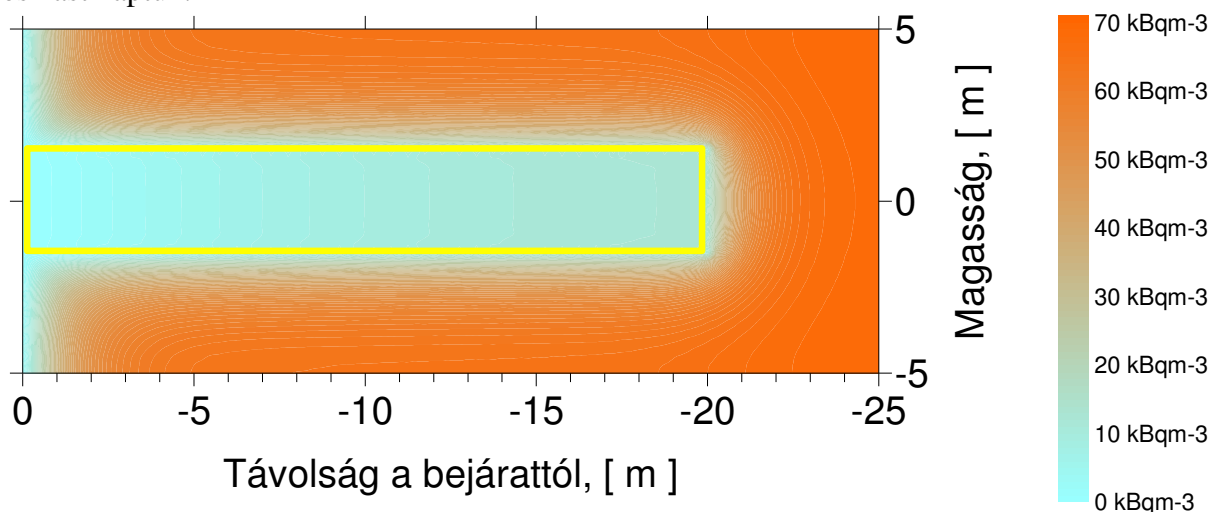
Ebben a modellben a pincét egy  $K$  területű,  $F$  keresztmetszetű egyenes csőnek tekintjük,  $D$  a keveredési-diffúzió együtthatója. A megoldást a 4. ábrán szemléltetjük.



4. ábra. A  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció változása a pince bejáratától mért távolság függvényében. A  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitásáram-sűrűsége a pince falán:  $j=0,02 \text{ Bqm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . A különböző diffúziós együtthatók a pince levegőjének keveredését jellemzik.

$D \sim 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ : nincs keveredés, a  $^{222}\text{Rn}$  csak a molekuláris diffúzió miatt áramlik. A  $^{222}\text{Rn}$  diffúziós hossza levegőben kb. 2 m. A pince végén megemelkedik a radonkoncentráció, mert az oldalfalaktól származó radonhoz hozzáadódik a pince hátsó falától származó radon is! A  $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  diffúziós állandó kb.  $5 \text{ kBq m}^{-3}$ -re csökkenti a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentrációt, vagyis ez kb.  $0,02 \text{ h}^{-1}$  szellőzési sebességnek felel meg! Ez nagyon kicsi szellőzési sebesség, de egyes pincékben előfordulhat. A diffúziós együttható további ( $10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) növelésével néhány  $100 \text{ Bqm}^{-3}$ -re is lecsökkenthető az aktivitáskoncentráció. Ilyen értelemben valamiféle megfeleltetés létesíthető a szellőzési sebesség és a keveredési diffúziós együttható között.

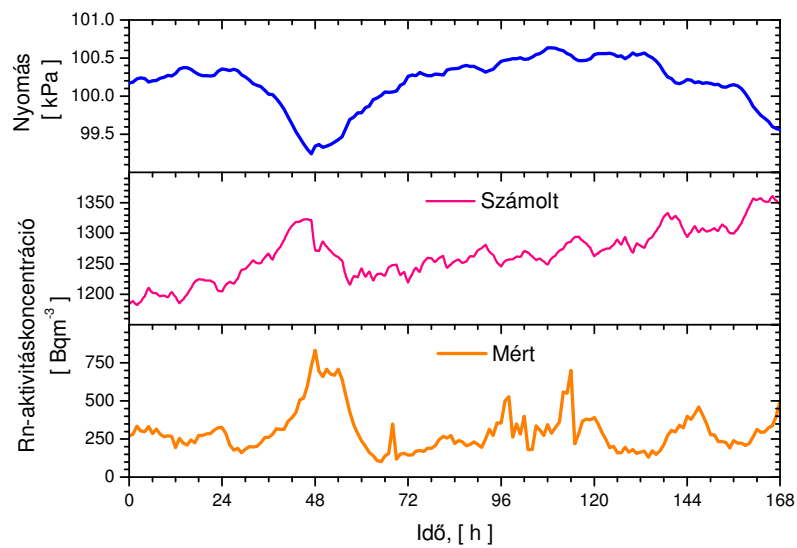
A következőkben kiszámítottuk a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció térbeli eloszlását a borospincét beágyazó kőzetben és a pince légterében is. Eredményül az 5. ábrán látható eloszlást kaptuk.



5. ábra. A  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció térbeli eloszlását a borospincét beágyazó kőzetben és a pince légterében.

Ez az eredmény szemléletesen mutatja, hogy annak ellenére, hogy a beágyazó kőzet porusterében a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció több  $10 \text{ kBqm}^{-3}$ , a pince légterében „csak” néhány  $\text{kBqm}^{-3}$ . A szellőzés mértékét ebben a számításban is a  $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  keveredési diffúziós állandóval adtuk meg.

Végül bemutatunk egy eredményt, amelynek során a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció időbeli változását számoltuk ki a pince légterének különböző pontjaiban. Az időbeli változásokat az okozta, hogy a modellszámítás során peremfeltételként az AlphaGUARD műszer által mért nyomás idősort használtuk. A nyomásváltozás hatására időben változott a borospincét beágyazó kőzetben, és magában a borospincében is a kitöltő gáz áramlási sebessége, és ez hatással van a radon gáz transzportjára is. Csökkenő nyomás esetén növekszik a pince falán a kőzetből kiszivárgó pórúsgáz térfogatárama, és növeli a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitás-fluxussűrűséget is, ami a pince légterében a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció megemelkedéséhez vezet. A 6. ábra mutatja a mért és a számolt értékek összehasonlítását. Megfigyelhető, hogy a modellszámítás jól adja vissza a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció változás irányát, ugyanakkor sem a  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció szintje, sem a változás dinamikáját nem írja le megfelelően. A mért  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció szint mintegy ötödrésze a számoltnak. A nagyobbik különbség viszont, hogy míg a nyomás idősorban megfigyelhető jelentős nyomáscsökkenés hatására a mért  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskoncentráció idősorban mintegy 3-szoros növekedés figyelhető meg, addig a számolt idősorban ugyanez a növekedés csak mintegy 10% nagyságrendű. A modellszámítások egyes paramétereinek változtatásával természetesen lehet közelíteni a mért és a számolt idősorokat.



6. ábra. A mért és a számolt  $^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció idősorok összehasonlítása.

## IRODALOM

- [1] Szerbin P., Vaupotic J., Csige I., Kobal I., Hunyadi I., Baradács E. (2003) Radioactivity in wine cellars in Hungary and Slovenia. Proceedings of the International Symposium on Radiation Environment, Dresden, Germany, March 10-14., 2003.
- [2] Szerbin P., Vaupotic J., Csige I., Kobal I., Hunyadi I., Juhász L., Baradács E. (2005) Radioactivity in vine cellars in Hungary and Slovenia. International Congress Series 1276, pp. 362-364.
- [3] Győrfi T., Hunyadi I., Csige I. (2007) Radon a hajósi borpincékben. IV. Magyar Radon Fórum. Környezetvédelmi konferencia, Veszprém, 2007. Szerkesztők: Kovács Tibor, Somlai János. Kiadó: Pannon Egyetemi Kiadó. Pp. 133-138.
- [4] Clever H. L. ed. (1979) Solubility data series 2, Pergamon Press, 227-234
- [5] Rogers, V. C.; Nielson, K. K. (1991) Multiphase radon generation and transport in porous materials. Health Phys. 60(6), pp. 807-815.

*A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült*