



## **Hévízek és ásványvizek radon- és rádiumtartalma**

### **Radon and radium content of thermal and mineral waters**

doktori (PhD) értekezés tézisei

**Baradács Eszter Mónika**

Debreceni Egyetem  
Debrecen, 2002

## Bevezetés

A hévizek és ásványvizek több nagyságrendnyi tartományban változó radioaktivitása döntően a geológiai környezetben felvett radontól és rádiumtól ered. Ezen alfa-radioaktivitást is hordozó elemek meghatározásával több szempontból is érdemes foglalkozni. Egyrészt a lakossági sugárterhelés egyik fontos összetevőjét képezik a kiemelkedő aktivitású vizek felhasználóinak körében, másrészt nyomjelzői lehetnek a mélységi vizek transzportfolyamatainak.

*Sugáregészségügyi* szempontból az ivó- és ásványvizek rádium-, illetve radontartalmának vizsgálata és a fogyasztásukból eredő sugárterhelés járulékának becslése napjaink aktuális feladata. A jó minőségű ivóvíz világviszonylatban vett szűkülő készletei miatt a lakosság érdeklődése fokozottan a palackozott ásványvizek felé fordul. Hazánkban is megfigyelhető az utóbbi években az egy főre eső ásványvíz-fogyasztás évről évre történő jelentős növekedése. Mind az ivóvizek, mind a természetes ásványvizek különböző vízáadó rétegekből és mélységekből erednek, ezért ásványianyag- és természetes radionuklid-tartalmuk tág határok között változik, köztük kiemelkedően nagy értékek is előfordulhatnak. A nagy  $^{226}\text{Ra}$ -tartalmú ásványvizek, radonos ivóvizek napi fogyasztása hozzájárul a lakosság természetes radionuklidoktól származó belső sugárterhelésének növekedéséhez. Ezért a fogyasztásra kerülő ivóvizekben megengedhető radon és rádium aktivitáskoncentrációt sok országban előírásokkal szabályozzák. Magyarországon azonban nemhogy korlátozásokat nem vezettek be eddig, de az ilyen irányú mérések is szórványosak; ásványvizekre vonatkozó vizsgálatok pedig csak az elmúlt néhány évben történtek.

A  $^{222}\text{Rn}$  és  $^{226}\text{Ra}$  radioaktivitásuk miatt még kis mennyiségben is könnyen mérhető radioizotópok, s így mint *természetes nyomjelzők* vesznek részt a felszíni és felszínalatti vizek transzportfolyamataiban. A természetes vizek  $^{226}\text{Ra}$ -tartalmának mérése információkat adhat a víz eredetéről, keveredéséről, föld alatt megtett útvjáról. Továbbá, pl. rekultivált meddőhányók, zagyterek kifolyó vizeinek  $^{226}\text{Ra}$ -tartalma közvetlenül jelezheti a fedőréteg állapotát. A fentiek alapján kézenfekvő, hogy a rádium és radon aktivitáskoncentráció vízmintákban történő egyszerű, megbízható és tömegesen végezhető mérésének nagy jelentősége van, s egyben az ilyen eljárások és azok alkalmazása iránti igény növekedése várható már a közeljövőben.

## Céltűzés

Az MTA Atommagkutató Intézet Radon Csoportjában egy maratottonyom-detektoros radonmonitoros módszer kifejlesztése az én PhD munkám idején és az én meghatározó hozzájárulásommal fejeződött be az elmúlt évben. Vizsgálataim során az első alkalmazások után még sok nyitott kérdést felvető módszert továbbfejlesztettem, megvizsgáltam és meghatároztam alkalmazhatóságának feltételeit és nagymértékben hozzájárultam a módszer kvantitatív tételéhez. Ezzel lehetővé vált ezen olcsó és nagy számú mérést megengedő maratottonyom-detektoros technika alkalmazása vízminták oldott  $^{222}\text{Rn}$ - és  $^{226}\text{Ra}$ -tartalmának laboratóriumi körülmények közötti meghatározására.

Célként szerepelt továbbá, hogy a "Mélyeségi vizek rádiumtartalmának vizsgálata" (T 022985) és "A  $^{222}\text{Rn}$  és  $^{220}\text{Rn}$  izotópok a természetes és épített környezetben" (T 029306) című OTKA kutatási programok keretében, résztvevő kutatóként különböző jellegű vizekből pl. kereskedelmi forgalomban kapható palackozott ásványvizekből; fürdő- és ivókúrát ellátó forrásokból és kutakból; a lakosság által széles körben használt közüzemi vizekből és szabadon folyó forrásvizekből, artézi kutakból, borvizekből szűrőpróbaszerűen és tematikusan beszerzett vízminták  $^{222}\text{Rn}$ - és  $^{226}\text{Ra}$ -tartalmát meghatározom. A kiválasztott minták vizsgálatának célja az volt, hogy i.) tájékoztatást adjon a vizsgált körben előforduló rádium- és radonkoncentrációkról, és a vizsgálatban kiszűrt magas rádium- vagy radontartalmú vizek előfordulási helyeiről; ii.) mérési eredményeink, ismert és

feltételezett fogyasztási szokások alapján a lakosság egy-egy kiválasztható csoportjára becsléseket végezzünk a vizek fogyasztásából eredő sugárterhelésre vonatkozóan.

## Kísérleti módszer

A  $^{226}\text{Ra}$  alfa-részecske kibocsátásával  $^{222}\text{Rn}$ -ná bomlik, mely szintén alfa-bomló, de ezen elem további bomlástermékei között már béta-bomló radioizotópok is találhatóak. Fontos kiemelni, hogy a radioaktív elemek bomlásuk során nemcsak  $\alpha$ - és  $\beta$ -részecskéket, hanem  $\gamma$ -fotonokat is kibocsátanak. A rádium aktivitáskoncentráció, a radon és bomlástermékeik alfa-, béta- és gamma-sugárzásának detektálása útján egyaránt meghatározható. Erre többféle eljárás ismert, melyek közül együttműködő partnereink a gamma-spektrometriás és a Lucas-kamrás módszereket használták, míg mi a saját méréseinkhez a maratottonyom-detektoros módszert alkalmaztuk.

A  $^{226}\text{Ra}$  közvetlen bomlásából származó  $^{222}\text{Rn}$  bomlástermékei közül, a  $\beta$ -bomló  $^{214}\text{Pb}$  és a  $^{214}\text{Bi}$  gamma-vonalai megfelelő energiával és hozammal rendelkeznek, emiatt nagy hatásfokkal detektálhatók. Ezen radioizotópok monoenergiás gamma-vonalainak felhasználásával egyes minták  $^{226}\text{Ra}$  aktivitáskoncentrációját gamma-spektrometriás módszerrel határoztuk meg.

Vízminták radontartalmának meghatározása, a radon szeparálása után, Lucas-kamrába történő gázaramoltatással is lehetséges. Ugyanezzel a módszerrel vízminták rádiumtartalma is meghatározható laboratóriumi keretek között, a rádium radiokémiai elválasztása után.

A radon- és rádiumtartalom meghatározása egyaránt lehetséges maratottonyom-detektoros radonmonitoros módszerrel is. Az általunk alkalmazott módszer azon alapszik, hogy a vízmintába helyezett gázra áteresztő, de vízre szigetelő fóliába csomagolt radonmonitor néhány  $\text{cm}^3$ -es légterébe bediffundál a radioaktív radon gáz Ostwald féle megoszlási tényezőnek megfelelő része. A radonmonitor légterében a radon és leányelemei bomlása során keletkező alfa-részecskék exponálják a mérőtérben található  $\sim 1 \text{ cm}^2$  felületű maratottonyom-detektort. A 10-30 napos expozíciós idő alatt keletkező látens nyomokat kémiai maratással tárjuk fel és optikai mikroszkóp alatt számoljuk le. A mért nyomsűrűségekből a keresett aktivitáskoncentrációkat az elméletileg levezetett konzisztens összefüggésekből a módszer kísérletileg és elméletileg is meghatározott érzékenységeinek segítségével kapjuk meg.

## Eredmények:

Új tudományos eredményeim az alábbi tézispontokban foglalom össze:

1. Elméletileg meghatároztam és kísérletileg is igazoltam, hogy a vízminták radon- és rádiumtartalmának meghatározására szolgáló maratottonyom-detektoros mérési eljárás érzékenysége függ a vízminták mérési időtartam alatti hőmérsékletétől, és az érzékenység hőmérsékletfüggése jól követi a radon gáz irodalomból ismert víz- és levegőfázis közötti megoszlási tényező (Ostwald-tényező) reciprokanak hőmérsékletfüggését [1, 2].
2. Elméletileg és kísérletileg is meghatároztam a vízminták radon- és rádiumtartalmának meghatározására szolgáló maratottonyom-detektoros módszer érzékenységeinek a vízminta térfogatától való függését. Megállapítottam, hogy a méréseinkhez használt  $0,72 \text{ dm}^3$ -es térfogat (a kereskedelmi forgalomban olcsón beszerezhető "befőttes üveg" térfogata) optimálisnak tekinthető, ugyanis a vízminta térfogatának további növelése már nem jár jelentős érzékenység-növekedéssel, azonban a térfogat csökkentése esetén az érzékenység gyorsan csökken [2, 3].

3. A vízminták radon- és rádiumtartalmának meghatározására szolgáló maratottnyom-detektoros módszer esetén a radon gáz vízben való diffúzióját is tekintetbe véve elméletileg és kísérletileg is meghatároztam a nyomdetektoron mérhető nyomsűrűséget a besugárzási idő függvényében. A "nyomsűrűség-besugárzási idő"-görbe alakja, a radon gáz vízben való effektív diffúziós együtthatóján keresztül függ a radonmonitorral "kölesönható" víztérfogat nagyságától. Az elméleti és a kísérleti adatok összevetéséből arra a következtetésre jutottam, hogy a vízmintában a víz természetes keveredése a besugárzási idő alatt elegendően nagy ahhoz, hogy a radonmonitor a teljes víztérfogatot érzékelje [1, 2].
4. Egy új mérési módszer kifejlesztése során kézenfekvő annak összevetése már ismert, a gyakorlatban alkalmazott és jól bevált technikákkal. Esetünkben egy olyan módszer kifejlesztésére vállalkoztunk, amely már létező, azonban néha meglehetősen drága, vagy kisszámú mérés elvégzésére alkalmas módszerek hasznos kiegészítője lehet. A kifejlesztett maratottnyom-detektoros mérési eredményeinket Dezső Zoltán által, a Debreceni Egyetemen kidolgozott és alkalmazott gamma-spektrometriai és Szerbin Pével által az OSSKI-ban kifejlesztett radon emanációs módszerekkel mért eredményekkel hasonlítottuk össze. Az azonos minták e három módszerrel történő analíziséből adódó eredmények jó egyezése a maratottnyom-detektoros radonmonitoros módszer megbízhatóságát igazolja [1, 6].
5. Budapesti gyógyfürdőkben, 1998-ban gyűjtött, s ott fürdő- és ivókúrákhoz használt hévizek radon- és rádiumtartalom mérését végeztem el. A jelen mérésekből új, nagyobb pontosságú adatokat kaptam 13 Duna menti forrásra. Megállapítható, hogy a radon- és rádiumtartalom jellemzően különbözik a budai oldalon geológiai és vízkémiai szempontból definiált forráscsoportokra. A  $^{222}\text{Rn}$  aktivitáskoncentráció eredmények a Gellért-hegyi forráscsoport esetén 47-393 Bq/l, míg a József-hegyi forráscsoport esetén 18-65 Bq/l. A mért  $^{226}\text{Ra}$  értékek a Gellért-hegyi forráscsoportnál 626-837 mBq/l szűk tartományba estek, a József-hegyi forráscsoportnál 48-265 mBq/l tartományban egymástól nagyobb mértékben eltértek. A talpmélység, hőmérséklet, oldott ásványianyag-tartalom, illetve a radon- és rádiumtartalom vizsgálatából a vizek összetételére és forrásaiknak, valamint a felszínre bukkanásukig megtett útjuk geológiai környezetére vonatkozó kapcsolatokat tártunk fel. Továbbá ivókúrában használt források méréséből kapott eredményeket dozimetriai szempontból értékeltük, s azt találtuk, hogy a Rudas Ivócsarnokban árult Attila-, Juventusz- és Hungária-források magas radon- és rádiumtartalmú vizét sem a lakosság körében, sem gyógyterápia során nem ajánlott korlátlanul fogyasztani [6].
6. A kifejlesztett maratottnyom-detektoros módszer segítségével Hargita-megyei borvizek rádiumtartalmát vizsgáltam. A minták gyűjtése 1998-99-ben történt a Csíkszeredai Környezetvédelmi Ügynökség és a Hargita-megyei Egészségügyi Főfelügyelőség és Egészségügyi Központ közreműködésével. Ennek során eddig nem ismert, új adatokat határoztam meg 36, a Csíki-medencében gyűjtött vízminta esetén, amelyeket az ott élő lakosság széles körben, naponta használ. A 10–703 mBq/l tartományba eső mérési adataimra támaszkodóan dozimetriai becslés készült a borvizek fogyasztásából eredő lekötött effektív dózisa, amely felnőttekre 0,001-0,036 mSv/év, 2-17 éves gyerekekre pedig 0,003-0,192 mSv/év a borvizek rádiumtartalmától függően [4, 5].
7. A kereskedelemben egyre nagyobb számban és változatosságban megjelenő palackozott ásványvizek jóvoltából egyre több ásványvizet iszunk. Az európai átlagfogyasztás 120-130 liter/év/ fő, de a 2-3 évente duplázódó magyarországi fogyasztás is elérte a 40 liter/év/ fő értéket 2000-ben. Ezért egyre indokoltabbá válik ezen ásványvizek, a fogyasztóra gyakorolt hatások szempontjából való felülvizsgálata is. Lényeges vizsgálati szempont a vizek, belső

sugárterhelést okozó radioaktivitása, minthogy ennek nagy értéke esetleg az egyéb okokból hasznosnak vélt vizek fogyasztását akár ellenjavallottá is teheti, vagy mentesítési eljárás bevezetését igényli. Maratottonyom-detektoros módszerrel meghatároztam 14, Magyarországon palackozott, kereskedelmi forgalomban kapható ásványvíz rádiumtartalmát. A mérési adatok a kimutathatósági határtól közel 3000 mBq/l értékig terjedtek. Az általam mért új adatokat összehasonlítottam az időközben, más kutatócsoportok különböző módszerekkel mért adataival is, melyek jó egyezést mutatnak. Érdeemes megemlíteni, hogy a fogyasztók érdekeit szem előtt tartva, a különböző módszerekkel, azonos mintákon (azonos márkanévű palackozott ásványvizek) történő mérések sem haszontalanok, ugyanis mint független adatok javítják a mintavételi és mérési statisztikát, valamint növelik az eredmények megbízhatóságát. Hozzájárulnak egy leendő országos felméréshez, amelyre az utóbbi időben a szakemberek és a lakosság körében is igény mutatkozik. Az én méréseim is alátámasztották azt a figyelmeztetést, melynek hatására az Apenta-t forgalmazó külföldi cég az utóbbi időben rádiummentesítési eljárást vezetett be az ásványvíz palackozása során [6].

8. A Mórógyi-rögön létesített vízművek által szolgáltatott ivóvizek radontartalmát vizsgáltam 1999-ben az érintett (Véménd, Szébeny, Feked) falvak Polgármesteri Hivatalának felkérésére. A vizek eredete, illetve a vizek által megtett utak geológiai adottsága és a vizek rádiumtartalma közti kapcsolatok feltárása mellett, dozimetriai számításokat is végeztem az elfogyasztott "vezetékes vizek" fogyasztásából származó sugárterhelés becslésére, melynek értéke 0,07-0,346 mSv/év a vizek radontartalmától függően. Valószínűleg az én méréseim is, mint független adatok, hozzájárultak a legnagyobb radontartalmat [173 Bq/l] mutató fekedei "alsó" közkút e vizsgálatokat követő lezárásához [4].

# **Radon and radium content of thermal and mineral waters**

## **Theses of the PhD dissertation**

### **Introduction**

Radioactivity of thermal and mineral waters, which may vary over several orders of magnitude, is mainly due to the radon and radium originating from the geological environment. Radon and radium content of waters may be interesting from different points of view. Firstly, waters with high activity may contribute significantly to the public radiation exposures. Secondly, radon and radium can be useful in tracing underground water transport.

From the public health point of view, the investigation of the radon and radium content of drinking and mineral waters and the estimation of their contribution to the radiation exposure are our current tasks nowadays. People have had an increasing interest in the consumption of bottled mineral waters due to the worldwide decrease of good quality drinking waters. The consumption of mineral waters is significantly increasing from year to year in Europe and in Hungary, as well. Both drinking and natural mineral waters originate from different aquifers, situated at different depths below the surface. Thus, they represent a wide variety of mineral and radionuclide content, and sometimes extremely high values can also be observed. The daily consumption of mineral waters with high  $^{226}\text{Ra}$  content and of waters with high  $^{222}\text{Rn}$  content may have a significant contribution to the internal radiation exposure of the population. For this reason, the permissible activity concentration of radium and radon in drinking waters is limited in numerous countries. However, in Hungary there are no limitations, and even relating measurements of radioactivity of mineral waters were very occasional, and many of them took place only in the last years.

$^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  isotopes can be found in the environment in trace amounts, but due to their radioactivity they are easily measurable. Consequently, they are favourable natural tracers of near-surface and underground water transports. The  $^{226}\text{Ra}$  content of natural waters can give information related to their origin, mixing and underground path. Moreover, the  $^{226}\text{Ra}$  content of waters flowing from recultivated uranium waste dumps and troughs can indicate directly the state of the covering layer. It is obvious that a simple, low-cost and reliable radium measuring method in permitting a large number of measurements is of great value, because an increasing interest in radioactivity determinations of natural waters can be expected in the very near future.

### **Aims**

The development of an etched track type radon monitor for radon and radium determination in water samples was carried out and completed with my considerable contribution as part of my PhD work at the Radon Group of the Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences. After the initial development of this novel method, several problems were revealed, which I could solve. I studied and determined the applicability conditions and played an important role in making the method quantitative.

In the frame of two OTKA projects ("Radium determination in sub-surface waters", T 022985 and " $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  isotopes in natural and built environment", T 029306) I made numerous measurement of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  content of different types of water collected occasionally or thematically (i) from thermal wells and springs used for drinking cure and bathing in Budapest, (ii) from drilled wells of drinking waters deepened in the Mórággy granite block, (iii) from thermal and

natural mineral waters in Harghita County, Romania and (iv) from bottled mineral waters commercially available in Hungary. The aim was to get information about the radium and radon concentrations of waters occurring in our environment and to estimate the committed effective doses originating from drinking waters.

## Methods

Radium, radon and their decay products can be measured by the detection of either alpha, beta or gamma radiation. In our study, we used etched track radon detectors and, in cooperations, we also applied gamma-spectrometry and radon emanation method.

The etched track method for the determination of radon and radium content developed by us is based on a small volume diffusion type etched track radon monitor, which is tightly enclosed into a gas permeable foil and is immersed into the water sample. Radon from water diffuses through the foil into the internal air volume of the radon monitor, where it exposes an about 1 cm<sup>2</sup> area CR-39 etched track detector. The exposure time is 12-14 days for <sup>222</sup>Rn and about 30 days for <sup>226</sup>Ra determination at regulated temperature. After exposure the CR-39 detectors were etched in 6.25 mol/dm<sup>3</sup> NaOH solution at 70°C for 5 hours and the alpha tracks were counted manually under an optical microscope. Using consistent equations, deduced from the sensitivity of the method, which was determined both theoretically and experimentally, the unknown activity concentrations of radon and radium can be calculated from the measured track densities.

## Results

1. I have determined theoretically and shown with experiments that the sensitivity of radium and radon determination method of water samples by etched track type radon monitor is dependent on the temperature of the water samples during exposure. I have demonstrated that the temperature dependence of the sensitivity of the method can be explained by the temperature dependence of the invert of the Ostwald partition coefficient of radon between water and air phases [1, 2].
2. I have determined both theoretically and experimentally that the sensitivity of this method is dependent on the volume of the water sample. I have showed that the volume of 0.72 dm<sup>3</sup>, used in our experiments, is adequate, since increasing the volume of the water sample does not increase significantly this sensitivity. However, by decreasing the volume of the sample, the sensitivity decreases fast [2, 3].
3. Considering the diffusion coefficient of radon in water, I have determined both theoretically and experimentally the track density measurable on the track detector as a function of exposure time. The form of the track density versus exposure time curve depends through the effective diffusion coefficient of the radon gas in water on the amount of water volume, which interacts with the enclosed air volume. Comparing the theoretically calculated curve with the experimental data, I have concluded that the natural mixing of the water is sufficient for the radon monitor to interact with the whole water volume in the glass vessel [1, 2].
4. In the case of a newly developed method it is important to perform intercomparison measurements with other well-known, widely used methods. On the course of such an intercomparison the data obtained by our etched track radon monitor method were compared with the data measured by gamma-spectrometric and radon emanation methods accomplished by Zoltán Dezső at the University of Debrecen and Pével Szerbin at the Institute for Radiobiology and Radiohygieny, Budapest, respectively. The good agreement for <sup>222</sup>Rn and

$^{226}\text{Ra}$  activity concentration measurement data of the same water samples measured by the above three methods demonstrates the reliability of our etched track radon monitor method [1, 6].

5. I have measured radon and radium content of thermal waters collected in medicinal baths of Budapest in 1998, which are used for drinking cure and bathing. From the recent survey new and more precise data were determined for 13 springs along the "thermal line of Buda", on the right side of the Danube. We have recognised that the radon and radium content is also characteristic of the spring groups defined according to geological location and chemical composition. The measured  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  data were in the range of 47-393 Bq/l ( $^{222}\text{Rn}$ ) and 646-837 mBq/l ( $^{226}\text{Ra}$ ) for the Gellért Hill's Spring Group and were in the range of 18-65 Bq/l ( $^{222}\text{Rn}$ ) and 46-262 mBq/l ( $^{226}\text{Ra}$ ) for the József Hill's Spring Group, respectively. I have estimated the committed dose for patients taking regularly drinking cure from the Rudas and Lukács Drinking Halls [6].
6. Using the newly developed etched track radon monitor method, the radium content of naturally occurring mineral waters of Hargitha County was measured. The collection of the samples was carried out in 1998-1999 with the help of the Environmental Protection Agency of Csíkszereda and the Institute of Public Health of Hargitha County. I have determined new data of 36 water samples, which are mostly used as a daily drink by the local population. On the basis of my data, in the range of 10-703 mBq/l, the committed effective dose received from radium of the consumed mineral waters by the public was estimated. It was found, that it is 0.001-0.036 mSv/year in case of adults and 0.003-0.192 mSv/year for 2-17 year old children [4, 5].
7. Nowadays people are drinking more and more mineral water, and this demand is reflected in the wide variety and big amount of bottled mineral waters available in corner shops and supermarkets. The European average consumption is 120-130 litre/year/capita. The Hungarian average consumption doubles in 2-3 years, and reached the value of 40 litre/capita in 2000. Therefore, it seems very reasonable to extend the legislation procedure for the radioactivity content of waters that are to be qualified as natural mineral, medicinal or drinking water. By the etched track detector method I have studied the radium content of 14 bottled natural mineral waters originating from different regions of Hungary. The measured data cover a very wide, three order of magnitude range from 7-10 mBq/l to nearly 3000 mBq/l. It is interesting to note that the mineral waters originating from the Upper Pannonian sedimentary layers in the Great Hungarian Plain have much lower radium content than the thermal waters coming from the deep Triassic-karst (carbonate and dolomite) in the region of Budapest. My data were compared and shown a good agreement with data measured by other researchers using different methods. These data also contribute to a national database concerning the radium content of Hungarian bottled mineral waters. In consequence of a warning note on the high radium content of the mineral water produced by the German owned Apenta Co., the Company has lately introduced a radium removal process to prevent people from high internal doses due to the consumption of this brand [6].
8. Radon activity concentration of drinking waters used in Feked, Véménd and Szebény was investigated in 1999 commissioned by the City Halls of these villages. The drilled wells of the waterworks are situated on the eastern side of the Mecsek Mountain (on the Mórággy granite block). Besides looking for relation between the radium content and the origin of the water as well as the geological environment of the water path, I have calculated the annual committed dose of the inhabitants and I have obtained 0.07-0.346 mSv/year depending on the radon content. These measured data have also contributed to the decision to close the public well of Feked having the highest radon content (173 Bq/l) [4].



## Az értekezés témakörében megjelent közlemények/ Publications

1. I. Hunyadi, I. Csige, J. Hakl, **E. Baradács**, Z. Dezső: Temperature dependence of the calibration factor of radon and radium determination in water samples by SSNTD. Radiation Measurements 31, 1999, pp. 301-306
2. **Baradács Eszter**, Hunyadi Iлона, Csige István, Dezső Zoltán: Vízminták  $^{226}\text{Ra}$ - és  $^{222}\text{Rn}$ -tartalmának meghatározására szolgáló maratottnyom-detektoros eljárás kalibrálása. Magyar Kémiai Folyóirat, kézirat közlésre beküldve
3. Hunyadi, I. Csige, J. Hakl, **E. Baradács**, Z. Dezső: Rn and Ra measurements in water with etched track detector. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Aug. 22-27, 1999, Budapest, Hungary. Ed: S. Deme, CD-ROM, IRPA, ELFT, pp. 173-179 (1999).
4. **E. Baradács**, I. Hunyadi, Z. Dezső, I. Mócsy, I. Csige, P. Szerbin, J. Vaupotič:  $^{226}\text{Ra}$  in geothermal waters of the Carpathian Basin. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Aug. 22-27, 1999, Budapest, Hungary. Ed: S. Deme, CD-ROM, IRPA, ELFT, pp. 365-374 (1999).
5. I. Mócsy, Z. Dezső, I. Hunyadi, **E. Baradács**: Effective doses based on  $^{226}\text{Ra}$  activity concentration at daily consume of mineral waters. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Aug. 22-27, 1999, Budapest, Hungary. Ed: S. Deme, CD-ROM, IRPA, ELFT pp. 426-429 (1999).
6. **E. Baradács**, I. Hunyadi, Z. Dezső, I. Csige, P. Szerbin:  $^{226}\text{Ra}$  in geothermal and bottled mineral waters of Hungary. Radiation Measurements 34 (2001) pp. 385-390.

### *Egyéb referált közlemények:*

7. J. Vaupotič, I. Hunyadi, **E. Baradács**: Thorough investigation of radon in a school with elevated levels. Radiation Measurements 34 (2001) pp. 477-482.