

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Abstract of PhD Thesis

**RADIOKARBON ALAPÚ MÉRÉSI MÓDSZEREK FEJLESZTÉSE ÉS  
ALKALMAZÁSAIK NUKLEÁRIS KÖRNYEZETELLENŐRZÉSHEZ**

**DEVELOPMENT OF RADIOCARBON-BASED MEASURING  
METHODS AND THEIR APPLICATION FOR NUCLEAR  
ENVIRONMENTAL MONITORING**

**Janovics Róbert**

Témavezetők / Supervisors:

Dr. Svingor Éva & Dr. Molnár Mihály



Debreceni Egyetem  
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

University of Debrecen  
PhD School in Physics

Debrecen, 2015

## **Készült**

a Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskolája Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program keretében a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetben.

## **Made in**

Physical Methods in the Interdisciplinary Researches programme of the PhD School in Physics of the University of Debrecen, in the Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences

A dolgozat elkészültéhez a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program* című kiemelt projekt járult hozzá. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## **Bevezetés**

Az atomerőművekből és radioaktív hulladéktárolókból a környezetbe potenciálisan kibocsátott radionuklidok közül általában a radiokarbon a legjelentősebb a kollektív effektív dózis hozzájárulás tekintetében. Ezért a nukleáris létesítmények környezetellenőrzése során fontos szerep jut a radiokarbon különböző környezeti elemekből való meghatározásának.

A Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetének Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumában (HEKAL) az 1970-es évek óta foglalkoznak a radiokarbon régészeti, környezetkutatási, és nukleáris környezetvédelmi célú vizsgálatával. A HEKAL mára nemzetközi szinten is elismert kutatóhely, amit nem utolsó sorban mintavételi és mérési módszerek fejlesztése terén végzett tevékenységének köszönhet.

2011-ben egy kompakt gyorsító tömegspektrométer (MICADAS-AMS) beüzemelése történt az MTA Atommagkutató Intézetében (Atomki) az Isotopech Zrt. és a zürichi Szövetségi Műszaki Egyetem (ETHZ, Svájc) való együttműködésben.

Az AMS technikával a korábbiakhoz képest nagyságrendekkel kisebb mintamennyiség is elegendő a megfelelő pontosságú radiokarbon mérés elvégzéséhez. A modern mérés technika rendelkezésre állása önmagában még nem elegendő feltétele a megfelelő méréseknek, mert a parányi mintamennyiségek miatt a mintakezelés során bevitt szennyeződés nagy veszélyforrássá válik, ezért új minta feldolgozási módszerek fejlesztése vált szükségessé laboratóriumunkban.

## **Célkitűzés**

PhD hallgatóként kutatásaim elsődleges célja olyan mérési módszerek fejlesztése és meghonosítása volt, amelyek lehetővé teszik különböző típusú minták hatékony előkészítését és gyorsító tömegspektrométeres radiokarbon mérését.

Célul tűztem ki, hogy a kidolgozott módszerek felhasználásával meghatározzam a magyarországi nukleáris létesítmények környezetének eddig nem vizsgált elemeiben a kibocsátásból eredő radiokarbon járulékot, többek között a talajvizek szerves komponenseinek és a légkörbe kibocsátott radiokarbon növényekbe történő beépülésének vizsgálatával.

## Vizsgálati módszerek

A méréseket a Zürichi Szövetségi Műszaki Egyetem (ETHZ) által fejlesztett radiokarbon mérésre optimalizált gyorsító tömegspektrométerrel (Mini Carbon Dating System, MICADAS AMS) végeztük. A MICADAS elsősorban szilárd grafit céltárgy mérésre lett kifejlesztve. A mintafeltáráskor keletkező szén-dioxidból ezért grafitot állítunk elő, titán-hidrides grafitizálással. A titán-hidrides grafitizálás mellett az ETHZ által fejlesztett automatikus grafitizáló rendszert is alkalmaztuk grafit céltárgy előállítására. A mikrogramm nagyságrendű minták mérését gázion forrás segítségével végeztük közvetlenül a tisztított CO<sub>2</sub>-ből. Az AMS méréstechnika mellett a hagyományos proporcionális gázsámlálási technikát (GPC) is alkalmaztuk elsősorban a két módszer összemérése érdekében.

## Tudományos eredmények

### 1. Mintafeltárási módszerek fejlesztése AMS méréshez

Milligramm mennyiségű szilárd és víz minták szén tartalmának kinyerésére alkalmas online mintafeltárási és gázkezelő rendszer adaptálását és továbbfejlesztését végeztem el.

Szerves szilárd minták esetében 90 % fölötti hozamot értem el 0,3 pMC háttér mellett. Vízminták feltárási kisméretű reakciócellát terveztem, amellyel a korábbiakhoz képest egyszerűbb feltárási és alacsonyabb háttér (0,25 pMC) érhető el. Keresztzennyezés a 0-10000 pMC közötti aktivitás tartományban nem jelentkezik a fenti kifejlesztett módszerek esetén.

Mintapreparálási módszert dolgoztam ki vízminták összes oldott széntartalmának és nem illékony oldott szerves széntartalmának elkülönített méréséhez AMS technikával. A kitermelés összes szén mérés esetén reprodukálhatóan 74-79 % volt, az elérhető háttér < 2 pMC, míg a nem illékony oldott szerves szén esetében 80-90 %-os hozam és 5-8 pMC-s háttér volt elérhető, az előbbinél 20 ml, az utóbbinál 800 ml vízmintából.

A korábban használatosnál alacsonyabb hőmérsékletű (550 °C) zárt csöves égetési módszert dolgoztam ki mangán-oxid felhasználásával szerves minták égetésére. A módszerrel szennyezés mentes mintafeltárási lehetőség még a szokványos mintamennyiség töredékének (0,1 mg) feldolgozása esetében is. Ez a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló minták hatékony feltárási is lehetővé teszi (pollen, bakteriológiai, orvosi biológiai minták...). Mindamellét a mintafeltárási időigénye a korábban használt online égetéshez képest hatodára csökkent.

### 2. Kapcsolt előkészítési technika fejlesztése vízminták <sup>14</sup>C tartalmának közvetlen AMS mérésére

Vízminták közvetlen AMS mérésére alkalmas kapcsolt méréstechnikát dolgoztunk ki, mellyel 1 ml-nél kevesebb (10- 100 µg széntartalmú) vízminták szerves eredetű radiokarbon mérése vált lehetővé. A MICADAS gázionforrásának gázkezelő rendszerét alkalmassá tettük vízminták közvetlen fogadására, ezzel kiküszöböltük a grafitizálással

bevitt szennyezést, ami nagyságrendileg csökkentette a szükséges mintamennyiséget. A módszerrel 80 - 85 %-os hatásfok érhető el, a mérési  $^{14}\text{C}$  háttér 0,2 - 0,3 pMC.

### **3. A Paksi Atomerőmű hatása a környezetében nőtt fa $^{14}\text{C}$ koncentrációjának alakulására**

A Paksi Atomerőmű környezetében (400 m távolságban) nőtt fa évgyűrűinek fajlagos radiokarbon koncentrációja kis mértékben, de szisztematikusan nagyobb a háttérként választott dunaföldvári fa (20 km távolságban) radiokarbon koncentrációjánál. A többlet a 10 vizsgált évre átlagosan  $5,5 \pm 1,4$  ‰ volt. A dunaföldvári fa radiokarbon eredményei a tőle 800 km-re lévő svájci Jungfrau-joch hegycsúcs légköri adataival hibahatáron belül egyeznek, ezért megállapítható, hogy a dunaföldvári háttér terület nem terhelt jobban sem helyi fosszilis, sem nukleáris környezetszennyezés által, mint a svájci Alpok levegője.

### **4. A Püspökszilágyi RHFT\* hatása a környezetében nőtt fa $^{14}\text{C}$ koncentrációjának alakulására**

A Püspökszilágyi RHFT radioaktív hulladék tároló celláinak közvetlen környezetében nőtt fák évgyűrűinek fajlagos radiokarbon koncentrációját jelentősen befolyásolja a telephelyről kibocsátott légnemű radiokarbon. A többlet a cellák szomszédságában összemérhető a légköri nukleáris fegyverkísérletek idején, a hatvanas években a Földi atmoszférát jellemző radiokarbon szinttel. A háttér feletti átlagos többlet radiokarbon koncentráció az RHFT területén nőtt fában a vizsgált 18 évre igen nagy változékonysággal  $517 \pm 321$  ‰ volt. A faévgyűrűk és a telephely légköri radiokarbon adatit összehasonlítva megállapítható, hogy lokálisan jelentős radiokarbon koncentráció különbségek jellemzik a területet levegőjét, melyet feltehetőleg a váltakozó széljárás és a domborzati viszonyokon túl a kibocsátási pontok inhomogén térbeli elhelyezkedése okoz.

\*:Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló

### **5. Szervetlen és szerves formájú radiokarbon vizsgálata nukleáris létesítmények talajvizeiben**

A talajvíz szervetlen eredetű radiokarbon tartalmának mintavételére alkalmas ioncsere elvén működő automata integrált mintavevő fejlesztését végeztem el. A nukleáris technikai alkalmazásra szánt Varion AT-OH anion cserés mintavételek radiokarbon eredményeinek közlésekor a gyantamennyiséget figyelembe vevő korrekciót vezettem be, mivel méréseim szerint a gyanta már használat előtt  $2,3 \text{ mg/cm}^3$  szennyező szenet tartalmaz, melynek fajlagos  $^{14}\text{C}$  koncentrációja 72,4 pMC, míg  $\delta^{13}\text{C}$  stabil izotóp aránya -17 ‰ (vs. PDB).

A Paksi Atomerőmű talajvizeinek szervetlen és szerves kötésben jelen lévő radiokarbon tartalma elkülönített mérésével megállapítottuk, hogy az erőmű talajvizeibe kijutó radiokarbon szennyeződés döntő módon szervetlen formában kerül kibocsátásra ( $270 \pm 190$  pM), a szerves frakciónak nincs számottevő radiokarbon járuléka, az a természetes szinthez közeli aktivitással rendelkezik ( $110 \pm 20$  pM).

Megállapítottuk, hogy a Püspökszilágyi RHFT talajvizeiben mesterséges eredetű szerves kötésben jelen lévő radiokarbon található. A Psz-54-es figyelőkút vizében a nem illékony szerves eredetű fajlagos radiokarbon koncentrációja a természetes szintet 800-szorosan haladta meg. A szerves frakció anyagmennyisége azonban igen kicsi, ezért a talajvizek az összes a radiokarbontól származó aktivitáskoncentrációja ez esetben sem haladja meg a  $0,2 \text{ Bq/dm}^3$  értéket.

Megállapítottam, hogy a nukleáris létesítmények környezeti monitoringja során indokolt lenne a talajvíz teljes oldott széntartalmának radiokarbon koncentrációját mérni, mert a szerves frakció mellett a víz szerves anyag tartalma is jelentős radiokarbon aktivitást hordozhat.

### **Az eredmények hasznosíthatósága**

A dolgozatban részletezett kutatásaimmal hozzájárultam az AMS- $^{14}\text{C}$  minta feldolgozási módszerek magyarországi meghonosításához és továbbfejlesztéséhez. A fejlesztések során létrejött a HEKAL AMS  $^{14}\text{C}$  laboratóriuma, mely 2011 óta több mint 10000 sikeres AMS mérést végzett, ahol a mintapreparálás jelentős része a kutatómunkám során kifejlesztett eszközökön és módszereken alapult. A mérés technika hazánkban egyedülállóan csak a mi laboratóriumunkban érhető el. A kidolgozott módszereket széles körben alkalmazzuk a nukleáris környezetvédelmen túl az archeológiai kormeghatározástól kezdve a múltbeli klíma és biológiai kutatásokhoz is. Számos, a laboratóriumunktól független hazai és nemzetközi kutatási témához jelentősen hozzájárulnak az általunk kidolgozott módszerekkel feldolgozott minták mérési eredményei.

## **Introduction**

Among the radionuclides potentially emitted into the environment by nuclear power plants and nuclear waste disposal facilities, usually radiocarbon is the most significant regarding the collective effective dose contribution. Therefore, the determination of radiocarbon from various environmental media is of high importance during the environmental monitoring of nuclear facilities.

The Hertelendi Laboratory of Environmental Studies of the Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences has been dealing with the investigation of radiocarbon regarding archaeology, environmental research and nuclear environmental protection since the 1970's. Nowadays, this laboratory is considered as an internationally recognised research centre, not least owing to its activities in the field of the development of sampling and measurement methods.

In 2011, a compact accelerator mass spectrometer (MICADAS-AMS) was installed in the Institute for Nuclear Research within the framework of a cooperation between Isotoptech Co. Ltd. and the Swiss Federal Institute of Technology (Zürich).

Compared to the previous techniques, AMS requires orders of magnitude lower amount of samples to perform a radiocarbon measurement of appropriate accuracy. However, the availability of modern measuring technology is an insufficient condition by itself to have appropriate measurements, because the contamination introduced during sample preparation may be a large source of risk due to the tiny sample amount, therefore, the development of sample preparation methods became necessary in our laboratory.

## **Objectives**

As a PhD student, the primary objective of my research was to adapt and develop sample treatment methods making possible the preparation of various sample types for AMS radiocarbon measurements.

Furthermore, I set myself the objective to determine the radiocarbon contribution of the Hungarian nuclear facilities, as reflected by the surrounding environmental elements not investigated so far, among others by the investigation of the organic components of groundwater and the incorporation of the emitted atmospheric radiocarbon into plants.

## Investigation methods

The measurements were performed by the accelerator mass spectrometer developed by the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (ETHZ) and optimised for radiocarbon measurements (Mini Carbon Dating System, MICADAS AMS). The MICADAS was mainly developed for the measurement of solid graphite target, therefore, the carbon dioxide generated during the sample digestion was converted into graphite by graphitisation with titanium hydride. Besides this method, the automatic graphitisation system developed by the ETHZ was also applied to produce graphite targets. The measurement of microgram-scale samples were measured by gas ion source, directly from the purified carbon-dioxide. Besides the AMS measurement technique, the conventional gas proportional counter (GPC) technique was also applied, mostly for the intercomparison of the two methods.

## Scientific results

### 1. Development of sample digestion methods for AMS measurement

I performed the adaptation and the improvement of the online sample preparation and gas treatment system applicable for the separation of the carbon content of solid organic and water samples with an amount of milligrams.

In case of organic samples, a yield above 90% was achieved at a background of 0.3 pMC. For the digestion of water samples, a small reaction cell was designed offering simpler digestion and lower background (0.25 pMC) compared to the earlier methods. In case of the novel methods above, no cross-contamination was found within the activity range of 0 – 10000 pMC.

I elaborated a sample preparation method for the separate AMS measurement of the total carbon content and the non-volatile dissolved organic carbon content of water samples. The yield for total carbon measurement was reproducibly 74 – 79% and the achievable background was < 2 pMC. For the non-volatile dissolved organic carbon fraction, a yield of 80 – 90% and a background of 5 – 8 pMC was achieved. The typical required sample sizes are 20 ml for total carbon analyses and 800 ml water sample for the, dissolved organic fraction.

For the combustion of organic samples, I elaborated a sealed tube combustion method with the use of manganese oxide working at a lower temperature (550°C) than the earlier methods for combustion of organic samples. With the help of this new method, a quasi contamination-free sample digestion is possible even for the one-tenth fraction of the usual sample amount (0.1 mg), making possible the efficient digestion of samples which are often available only in a very limited quantity (pollen, bacteriological samples, biomedical samples etc.), as well. Additionally, the time demand of the sample digestion was reduced by a factor of sixth compared to the previously used online combustion technique.



## **2. Development of a coupled preparation technique for the direct $^{14}\text{C}$ content AMS measurement of water samples**

A coupled measuring technique applicable for water samples was elaborated by us, making possible the direct on-line AMS  $^{14}\text{C}$  measurement of the inorganic radiocarbon content of water samples below 1 ml (carbon content: 10 – 100  $\mu\text{g}$ ). The gas treatment system of the gas ion source of the MICADAS was made capable to directly accept water samples, eliminating the contamination introduced by graphitisation. This development led to the decrease of the necessary sample amount by an order of magnitude. By this method, an efficiency of 80 – 85 % yield and a  $^{14}\text{C}$  background of 0.2 – 0.3 pMC can be achieved.

## **3. The effect of the Paks Nuclear Power Plant on the $^{14}\text{C}$ concentration of a nearby tree**

The specific radiocarbon concentration of the annual rings of a tree in the vicinity (400 m) of the Paks Nuclear Power Plant was slightly, but systematically higher than that of a background (20 km away) tree at Dunaföldvár. The mean excess radiocarbon amount was  $5,5 \pm 1,4$  ‰. The radiocarbon data of the Dunaföldvár tree showed identical values within error margin to the atmospheric  $^{14}\text{C}$  values on the top of the Jungfrauoch peak, (Switzerland, 800 km away from Dunaföldvár), therefore, it can be stated that the selected background area in Dunaföldvár is not more affected by any local fossil and nuclear pollution than the air in the Swiss Alps.

## **4. The effect of the Püspökszilágy radioactive waste treatment and disposal facility on the $^{14}\text{C}$ concentration of a nearby tree**

The specific radiocarbon concentration of the annual rings of the investigated tree at the radioactive waste vaults of the disposal facility is significantly influenced by the emitted gaseous radiocarbon. The  $^{14}\text{C}$  excess next to the vaults are comparable with the Northern Hemisphere mean atmospheric radiocarbon level in the 1960's, the time of the worldwide "bomb-peak" caused by the atmospheric nuclear weapon tests. The mean excess radiocarbon concentration of the studied tree in the site was  $517 \pm 321$  ‰ with a very high variability during the investigated 18 years period. Comparing the local atmospheric radiocarbon data and the tree rings of the site it can be stated that the atmosphere of the site can be characterised by significant local differences in the radiocarbon content, presumably due to the varying wind, the relief and the inhomogeneous distribution of the sources of local emissions.

## **5. Investigation of inorganic and organic forms of radiocarbon in the groundwaters of nuclear facilities**

I performed the development of an automated integrating sampler for the sampling of inorganic radiocarbon content of groundwater by ion exchange. Upon the publication of the radiocarbon results of the samples taken by the Varion AT-OH anion exchange resins originally used for nuclear technical applications, I introduced a correction upon the publication of the radiocarbon results considering the quantity of applied Varion AT-OH

anion exchange resin, since I found that the resin contains  $2.3 \text{ mg/cm}^3$  contaminating carbon with a specific  $^{14}\text{C}$  concentration of 72.4 pMC and a  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-17 \text{ ‰}$  (VPDB) even before the first use.

By the separate measurement of the inorganic and organically bound radiocarbon content of the groundwater in the monitoring wells of the Paks Nuclear Power Plant that the radiocarbon contamination getting into the groundwater of the power plant is emitted mostly in inorganic form ( $270 \pm 190 \text{ pM}$ ) and the organic fraction does not have significant radiocarbon contribution as it has an activity close to the natural background ( $110 \pm 20 \text{ pM}$ ) level.

It was stated that there is organically bound radiocarbon of artificial origin in the groundwater of the Püspökszilágy Radioactive Waste Treatment and Disposal Facility. In the groundwater of the monitoring well Psz-54, the non-volatile organically bound specific radiocarbon concentration was 800 times higher than the natural level. However, the amount of the organic fraction is very small, therefore, the absolute  $^{14}\text{C}$  activity concentration of the groundwater due to the total radiocarbon did not exceed  $0.2 \text{ Bq/dm}^3$ .

According to the observations above, I suppose that it would be justified to measure the radiocarbon concentration of the total dissolved carbon content of the groundwater in the framework of the regular environmental monitoring of nuclear facilities, since besides the inorganic fraction, the dissolved organic material content of the water may have a significant radiocarbon activity as well.

### **Exploitability of the results**

With the results of my PhD thesis, I contributed to the establishment of the novel AMS  $^{14}\text{C}$  sample preparation methods in Hungary and to their further development. During the developments, the AMS  $^{14}\text{C}$  laboratory of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies was successfully established and has performed already more than 10000 successful AMS measurements since 2011. A significant part of the sample preparation for these measurements has been based on the devices and methods developed by my research work. In Hungary, this measurement technique is available only in our laboratory. Besides nuclear environmental protection, the elaborated methods are widely used for archaeological dating, biological studies and for the research of the past climate as well. These results significantly contributed to many Hungarian and international independent research topics and studies. The Hungarian nuclear environmental protection and monitoring already routinely applies the groundwater sampler after my comprehensive testing.

**Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények**  
**Scientific papers related to the dissertation**

Referált folyóiratban megjelent publikációk

Publications in refereed journals

1. **Janovics R.**, Molnár M., Futó I., Rinyu L., Svingor É., Veres M., Somogyi I., Barnabás I.: *Development of an automatic sampling unit for measuring radiocarbon content of groundwater.* <sup>SCI</sup> Radiocarbon 52 (2010) 1141-1149./ IF.:**2.703**<sup>2010</sup>
2. **Janovics R.**, Kern Z., Güttler D., Wacker L., Barnabás I., Molnár M. *Radiocarbon impact on a nearby tree of a light-water VVER-Type nuclear power plant, Paks, Hungary.*: <sup>SCI</sup> Radiocarbon 55 (2013) 2-3:826-832./ IF.:**1.037**<sup>2013</sup>
3. Molnár M., Hajdas I., **Janovics R.**, Rinyu L., Synal H. A., Veres M., Wacker L.: *C-14 analysis of groundwater down to the millilitre level.* <sup>SCI</sup> Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 294 (2013) 573-576./ IF.:**1.186**<sup>2013</sup>
4. Molnár M., **Janovics R.**, Major I., Orsovski J., Gönczi R., Veres M., Leonard A. G., Castle S. M., Lange T. E., Wacker L., Hajdas I., Jull A. J. T.: *Status report of the new AMS C-14 sample preparation lab. of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies, Debrecen, Hungary.* <sup>SCI</sup> Radiocarbon 55 (2013) 2-3:665-676./ IF.:**1.037**<sup>2013</sup>
5. **R. Janovics**, D.I. Kelemen, Z. Kern, S. Kapitány, M. Veres, A.J.T. Jull, M. Molnár *Radiocarbon signal of a low and intermediate level radioactive waste disposal facility in nearby trees,* Journal of Environmental Radioactivity (közlés elfogadva: 2015.10.07) IF.:**2,483**<sup>2014</sup>

Egyéb publikációk

Other publications

6. **Janovics R.**, Molnár M., Svingor É., Veres M., Somogyi I., Braun M., Stefánka Zs.: *Automata talajvízminta vevő rendszer tesztelése izotópanalitikai és oldott ion vizsgálatok segítségével.* 4. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Debrecen, 2008. március 28-29. Szerk.: Orosz Z., Szabó V., Molnár G. etc. Debrecen, REXPO Kft. 1 (2008) 249-255./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
7. **Janovics R.**, Bihari Á., Molnár M., Stefánka Zs., Veres M., Braun M., Somogyi I.: *Isotope analytical and dissolved ion sampling test of an automatic groundwater sampling unit.* Acta Physica Debrecina **44** (2010)48-58./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
8. **Janovics R.**, Molnár M., Svetlik I., Major I., Wacker L.: *Advances in radiocarbon measurement of water samples.* Acta Physica Debrecina 45 (2011) 58-68./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>

9. **Janovics R.**, Molnár M., Svetlik I., Major I., Wacker L.: *Advances in radiocarbon measurement of water samples*. International Symposium on Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies. Monaco, 27 March - 1 April, 2011. Proceedings. Vienna, IAEA 2 (2011) 369-376./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
10. Molnár M., Rinyu L., **Janovics R.**, Major I., Veres M.: *Az új debreceni C-14 laboratórium bemutatása (Introduction of the new AMS C-14 laboratory in Debrecen)*. (in Hung.) Archeometriai Műhely 9 (2012)3:147-160./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
11. **Janovics R.**, Molnár A., Orsovszki J., Molnár M. (2013) *<sup>14</sup>C measurement from dissolved organic carbon of groundwater at the Püspökszilágy RHFT*. Atomki Annual Report 2012 86-86 IF.:**0.000**<sup>0</sup>
12. **Janovics R.**, Kelemen D. I., Kern Z., Kapitány S., Molnár M.: *A Püspökszilágyi RHFT légnemű <sup>14</sup>C kibocsátásának vizsgálata a közeli fák évgyűrűiben*. (in Hung.) Őszi Radiokémiai Napok 2014. Balatonszárszó, 2014. október 13-15. Magyar Kémikusok Egyesülete 0 (2014)62-66./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>

#### Egyéb a dolgozat témaköréhez szorosan nem kapcsolódó publikációk

##### Other papers

Referált folyóiratban megjelent publikációk

Publications in refereed journals

13. **Janovics R.**, Bihari Á., Papp L., Dezső Z., Major Z., Sárkány K. E., Bujtás T., Veres M., Palcsu L.: *Monitoring of tritium, <sup>60</sup>Co and <sup>137</sup>Cs in the vicinity of the warm water outlet of The Paks Nuclear Power Plant, Hungary*.<sup>SCI</sup> Journal of Environmental Radioactivity 128 (2014) 20-26./ IF.:**2.483**<sup>2014</sup>

Egyéb publikációk

Other publications

14. **Janovics R.**, Major Z., Papp L., Veres M., Barnabás I., László Z.: *Az új magyarországi nemzeti radioaktív hulladék-tároló (NRHT) környezetének alapszint felmérése radioanalitikai módszerekkel*. (in Hung.) 6. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24. Proceedings. Szer.: Szabó B., Tóth Cs. Nyíregyháza, Nyíregyházi Főiskola 0 (2010)511-516./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
15. **Janovics R.**, Bihari Á., Papp L., Palcsu L., Major Z., Sárkány K. E., Bujtás T., Veres M.: *A Paks Atomerőmű gamma-sugárzó izotóp és trícium kibocsátásának ellenőrzése folyóvízi és szárazföldi élőlényekben*. (in Hung.) 7. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, 2011. március 24-27. Szerk.: Mócsy I.A. Kolozsvár, Ábel Kiadó. 1 (2011) 1:85-90./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>
16. Bihari Á., Molnár M., **Janovics R.**, Mogyorósi M.: *Egyszerűsített mérési módszer nukleáris létesítmények légnemű <sup>14</sup>C kibocsátásának mérésére*. 8. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Veszprém, 2012, április 18-21.

Szerk.: Fejes Lászlóné Utasi Anett, etc. Veszprém, Göttinger Kiadó 0 (2012) 342-346./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>

17. Major I., Furu E., **Janovics R.**, Hajdas I., Kertész Zs., Molnár M.: *Method development for the <sup>14</sup>C measurement of atmospheric aerosols*. Acta Physica Debrecina 46 (2012)83-95./ IF.:**0.000**<sup>0</sup>

### **Publikációk és előadások listája**

#### **List of publications and talks**

<http://w3.atomki.hu/p2/authors/aut17155.htm#Table>

<http://w3.atomki.hu/p2/authorso/aut17155.htm#Table>





Nyilvántartási szám: DEENK/231/2015.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Janovics Róbert  
Neptun kód: PKAC5Z  
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10018373

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

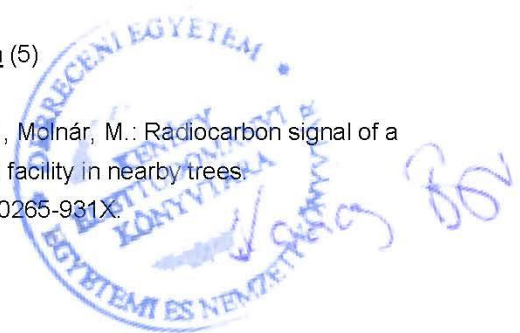
1. Molnár M., Rinyu L., **Janovics R.**, Major I., Veres M.: Az új debreceni C-14 laboratórium bemutatása.  
*Archeom. Műh.* 9, 147-160, 2013. ISSN: 1786-271X.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

2. **Janovics, R.**, Bihari, Á., Molnár, M., Stefánka, Z., Veres, M., Braun, M., Somogyi, I.: Isotope analytical and dissolved ion sampling test of an automatic groundwater sampling unit.  
*Acta Phys. Debr.* 44, 48-58, 2011. ISSN: 1789-6088.
3. **Janovics, R.**, Molnár, M., Svétlík, I., Major, I.: Advances in radiocarbon measurement of water samples.  
*Acta Phys. Debr.* 45, 58-68, 2011. ISSN: 1789-6088.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (5)

4. **Janovics, R.**, Kern, Z., Kapitány, S., Veres, M., Jull, A.J.T., Molnár, M.: Radiocarbon signal of a low and intermediate level radioactive waste disposal facility in nearby trees.  
*J. Environ. Radioact.* "Accepted by Publisher" ISSN: 0265-931X.  
IF:2.483 (2014)





5. Molnár, M., **Janovics, R.**, Major, I., Orsovszki, J., Gönczi, R., Veres, M., Leonard, A.G., Castle, S.M., Lange, T.E., Wacker, L., Hajdas, I., Jull, A.J.T.: Status report of the new AMS C-14 sample preparation lab. of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies, Debrecen, Hungary.  
*Radiocarbon*. 55 (2-3), 665-676, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037
6. Molnár, M., Hajdas, I., **Janovics, R.**, Rinyu, L., Synal, H., Veres, M., Wacker, L.: C-14 analysis of groundwater down to the millilitre level.  
*Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms*. 294, 573-576, 2013. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2012.03.038>  
IF:1.186
7. **Janovics, R.**, Molnár, M., Futó, I., Rinyu, L., Svingor, É., Veres, M., Somogyi, I., Barnabás, I.: Development of an automatic sampling unit for measuring radiocarbon content of groundwater.  
*Radiocarbon*. 52 (2-3), 1141-1149, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037
8. **Janovics, R.**, Kern, Z., Güttler, D., Wacker, L., Barnabás, I., Molnár, M.: Radiocarbon impact on a nearby tree of a light-water VVER-type nuclear power plant, Paks, Hungary.  
*Radiocarbon*. 55, 826-832, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

9. **Janovics R.**, Kelemen D., Kern Z., Kapitány S., Molnár M.: A Püspökszilágyi RHFT légnemű 14C kibocsátásának vizsgálata a közeli fák évgyűrűiben.  
In: Őszi Radiokémiai Napok 2014 : Balatonszárszó, 2014. október 13-15. : a konferencia programja és előadás kivonatai. Szerk.: Szentmiklósi László, [Magyar Kémikusok Egyesülete], [Budapest], 62-66, [2014]. ISBN: 9789639970502
10. **Janovics R.**, Molnár M., Svingor É., Veres M., Somogyi I., Braun M., Stefánka Z.: Automata talajvízminta vevő rendszer tesztelése izotópanalitikai és oldott ion vizsgálatok segítségével.  
In: IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Molnár Géza, Fazekas István, Meridián Alapítvány, Debrecen, 249-255, 2008.





Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (1)

11. **Janovics, R.**, Molnár, M., Svétlik, I., Major, I., Wacker, L.: Advances in radiocarbon measurement of water samples.  
In: Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies Proceedings of the International Symposium held in Monaco, 27 March-1 April 2011. International Atomic Energy Agency, Vienna, 369-376, 2013. ISBN: 9789201356109

**További Közlemények**

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

12. Major, I., Furu, E., **Janovics, R.**, Hajdas, I., Kertész, Z., Molnár, M.: Method development for the <sup>14</sup>C measurement of atmospheric aerosols.  
*Acta Phys. Debr.* 46, 83-95, 2012. ISSN: 1789-6088.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

13. **Janovics, R.**, Bihari, Á., Papp, L., Dezső, Z., Major, Z., Sárkány, K., Bujtás, T., Veres, M., Palcsu, L.: Monitoring of tritium, <sup>60</sup>Co and <sup>137</sup>Cs in the vicinity of the warm water outlet of The Paks Nuclear Power Plant, Hungary.  
*J. Environ. Radioact.* 128, 20-26, 2014. ISSN: 0265-931X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.10.023>  
IF:2.483

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

14. Bihari Á., Molnár M., **Janovics R.**, Mogyorósi M.: Egyszerűsített mérési módszer nukleáris létesítmények légnemű <sup>14</sup>C kibocsátásának mérésére.  
In: VIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2012. április 18-21. Veszprém.  
Szerk.: Fejes Lászlóné Utasi Anett, Vincze-Csom Veronika, Göttinger K., Veszprém, 342-346, 2012. ISBN: 9789638662729





15. **Janovics R.**, Bihari Á., Papp L., Palcsu L., Major Z., Sárkány K., Bujtás T., Veres M.: A Paksi Atomerőmű gamma-sugárzó izotóp és trícium kibocsátásának ellenőrzése folyóvízi és szárazföldi élőlényekben.  
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár.  
Szerk.: Mócsy Ildikó et al, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 85-90, 2011.
16. **Janovics R.**, Major Z., Papp L., Veres M., Barnabás I., László Z.: Az új magyarországi nemzeti radioaktív hulladék-tároló (NRHT) környezetének alapszint felmérése radioanalitikai módszerekkel.  
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.  
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 511-516, 2010.  
ISBN: 9789639909571

**A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 9,263**

**A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 6,78**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.10.30.





Registry number:  
Subject:

DEENK/231/2015.PL  
Ph.D. List of Publications

Candidate: Róbert Janovics  
Neptun ID: PKAC5Z  
Doctoral School: PhD School in Physics  
MTMT ID: 10018373

### List of publications related to the dissertation

#### Hungarian scientific article(s) in Hungarian journal(s) (1)

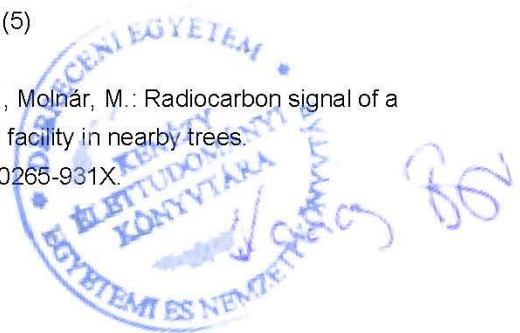
1. Molnár M., Rinyu L., **Janovics R.**, Major I., Veres M.: Az új debreceni C-14 laboratórium bemutatása.  
*Archeom. Műh.* 9, 147-160, 2013. ISSN: 1786-271X.

#### Foreign language scientific article(s) in Hungarian journal(s) (2)

2. **Janovics, R.**, Bihari, Á., Molnár, M., Stefánka, Z., Veres, M., Braun, M., Somogyi, I.: Isotope analytical and dissolved ion sampling test of an automatic groundwater sampling unit.  
*Acta Phys. Debr.* 44, 48-58, 2011. ISSN: 1789-6088.
3. **Janovics, R.**, Molnár, M., Svétlík, I., Major, I.: Advances in radiocarbon measurement of water samples.  
*Acta Phys. Debr.* 45, 58-68, 2011. ISSN: 1789-6088.

#### Foreign language scientific article(s) in international journal(s) (5)

4. **Janovics, R.**, Kern, Z., Kapitány, S., Veres, M., Jull, A.J.T., Molnár, M.: Radiocarbon signal of a low and intermediate level radioactive waste disposal facility in nearby trees.  
*J. Environ. Radioact.* "Accepted by Publisher" ISSN: 0265-931X.  
IF:2.483 (2014)





5. Molnár, M., **Janovics, R.**, Major, I., Orsovszki, J., Gönczi, R., Veres, M., Leonard, A.G., Castle, S.M., Lange, T.E., Wacker, L., Hajdas, I., Jull, A.J.T.: Status report of the new AMS C-14 sample preparation lab. of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies, Debrecen, Hungary.  
*Radiocarbon*. 55 (2-3), 665-676, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037
6. Molnár, M., Hajdas, I., **Janovics, R.**, Rinyu, L., Synal, H., Veres, M., Wacker, L.: C-14 analysis of groundwater down to the millilitre level.  
*Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms*. 294, 573-576, 2013. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2012.03.038>  
IF:1.186
7. **Janovics, R.**, Molnár, M., Futó, I., Rinyu, L., Svingor, É., Veres, M., Somogyi, I., Barnabás, I.: Development of an automatic sampling unit for measuring radiocarbon content of groundwater.  
*Radiocarbon*. 52 (2-3), 1141-1149, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037
8. **Janovics, R.**, Kern, Z., Güttler, D., Wacker, L., Barnabás, I., Molnár, M.: Radiocarbon impact on a nearby tree of a light-water VVER-type nuclear power plant, Paks, Hungary.  
*Radiocarbon*. 55, 826-832, 2013. ISSN: 0033-8222.  
IF:1.037

Hungarian conference proceeding(s) (2)

9. **Janovics R.**, Kelemen D., Kern Z., Kapitány S., Molnár M.: A Püspökszilágyi RHFT légnemű 14C kibocsátásának vizsgálata a közeli fák évgyűrűiben.  
In: Őszi Radiokémiai Napok 2014 : Balatonszárszó, 2014. október 13-15. : a konferencia programja és előadás kivonatai. Szerk.: Szentmiklósi László, [Magyar Kémikusok Egyesülete], [Budapest], 62-66, [2014]. ISBN: 9789639970502
10. **Janovics R.**, Molnár M., Svingor É., Veres M., Somogyi I., Braun M., Stefánka Z.: Automata talajvízminta vevő rendszer tesztelése izotópanalitikai és oldott ion vizsgálatok segítségével.  
In: IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Molnár Géza, Fazekas István, Meridián Alapítvány, Debrecen, 249-255, 2008.



Foreign language conference proceeding(s) (1)

11. **Janovics, R.**, Molnár, M., Svétlik, I., Major, I., Wacker, L.: Advances in radiocarbon measurement of water samples.  
In: Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies Proceedings of the International Symposium held in Monaco, 27 March-1 April 2011. International Atomic Energy Agency, Vienna, 369-376, 2013. ISBN: 9789201356109

### List of other publications

Foreign language scientific article(s) in Hungarian journal(s) (1)

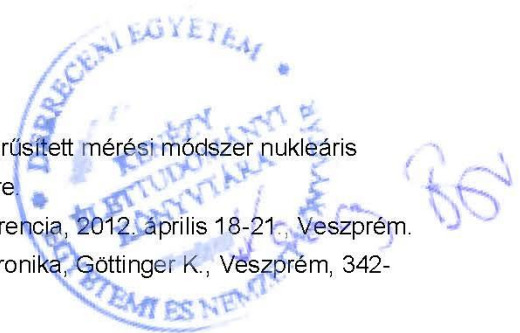
12. Major, I., Furu, E., **Janovics, R.**, Hajdas, I., Kertész, Z., Molnár, M.: Method development for the  $^{14}\text{C}$  measurement of atmospheric aerosols.  
*Acta Phys. Debr.* 46, 83-95, 2012. ISSN: 1789-6088.

Foreign language scientific article(s) in international journal(s) (1)

13. **Janovics, R.**, Bihari, Á., Papp, L., Dezső, Z., Major, Z., Sárkány, K., Bujtás, T., Veres, M., Palcsu, L.: Monitoring of tritium,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the vicinity of the warm water outlet of The Paks Nuclear Power Plant, Hungary.  
*J. Environ. Radioact.* 128, 20-26, 2014. ISSN: 0265-931X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.10.023>  
IF:2.483

Hungarian conference proceeding(s) (3)

14. Bihari Á., Molnár M., **Janovics R.**, Mogyorósi M.: Egyszerűsített mérési módszer nukleáris létesítmények légnemű  $^{14}\text{C}$  kibocsátásának mérésére.  
In: VIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2012. április 18-21. Veszprém.  
Szerk.: Fejes Lászlóné Utasi Anett, Vincze-Csom Veronika, Göttinger K., Veszprém, 342-346, 2012. ISBN: 9789638662729





15. **Janovics R.**, Bihari Á., Papp L., Palcsu L., Major Z., Sárkány K., Bujtás T., Veres M.: A Paksi Atomerőmű gamma-sugárzó izotóp és trícium kibocsátásának ellenőrzése folyóvízi és szárazföldi élőlényekben.  
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár.  
Szerk.: Mócsy Ildikó et al, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 85-90, 2011.
16. **Janovics R.**, Major Z., Papp L., Veres M., Barnabás I., László Z.: Az új magyarországi nemzeti radioaktív hulladék-tároló (NRHT) környezetének alapszint felmérése radioanalitikai módszerekkel.  
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.  
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 511-516, 2010.  
ISBN: 9789639909571

**Total IF of journals (all publications): 9,263**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 6,78**

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

30 October, 2015

