

---

# **ŐSZI RADIOKÉMIAI NAPOK 2025**

**Balatonszárszó, 2025. október 13 - 15.**

**A konferencia  
programja és előadás-kivonatai**

---

---

# Őszi Radiokémiai Napok 2025

Balatonszárszó, 2025. október 13 - 15.

A konferencia szervezői:



az MTA Radiokémiai Tudományos Bizottsága és munkabizottságai  
(URL: [https://mta.hu/vii-osztaly/tudomanyos-bizottsagok-105559#radiokemiai\\_tudomanyos\\_bizottsag](https://mta.hu/vii-osztaly/tudomanyos-bizottsagok-105559#radiokemiai_tudomanyos_bizottsag))

és



a Magyar Kémikusok Egyesülete Radioanalitikai Szakcsoportja  
(URL: <http://www.mke.org.hu>)

A kiadványt szerkesztette és tördelte:

Jószai István

ISBN 978-615-6018-33-5

---

---

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                               | Oldal |
|-----------------------------------------------|-------|
| Regisztráció, szállás és étkezés              | 4     |
| A konferencia programja                       | 7     |
| A konferencia előadás kivonatai – hétfő       | 12    |
| „Vértes Attila Ifjúsági Nívódíj” – pályázatok | 23    |
| A konferencia előadás kivonatai – kedd        | 52    |
| A konferencia előadás kivonatai – szerda      | 64    |
| Résztevők listája                             | 76    |

---

## **Regisztráció**

SDG Családi Hotel és Konferencia Központ  
(8624 Balatonszárszó, Csárda utca 39-41.)

2025. október 13., hétfő, 11:30 –

## **Szállás és étkezés**

SDG Családi Hotel és Konferencia Központ  
(8624 Balatonszárszó, Csárda utca 39-41.)

2025. október 13., hétfő

Ebéd: 12:30 – 13:30

Vacsora: 18:30 – 19:30

2025. október 14., kedd

Reggeli: 08:00 – 09:00

Ebéd: 12:30 – 13:30

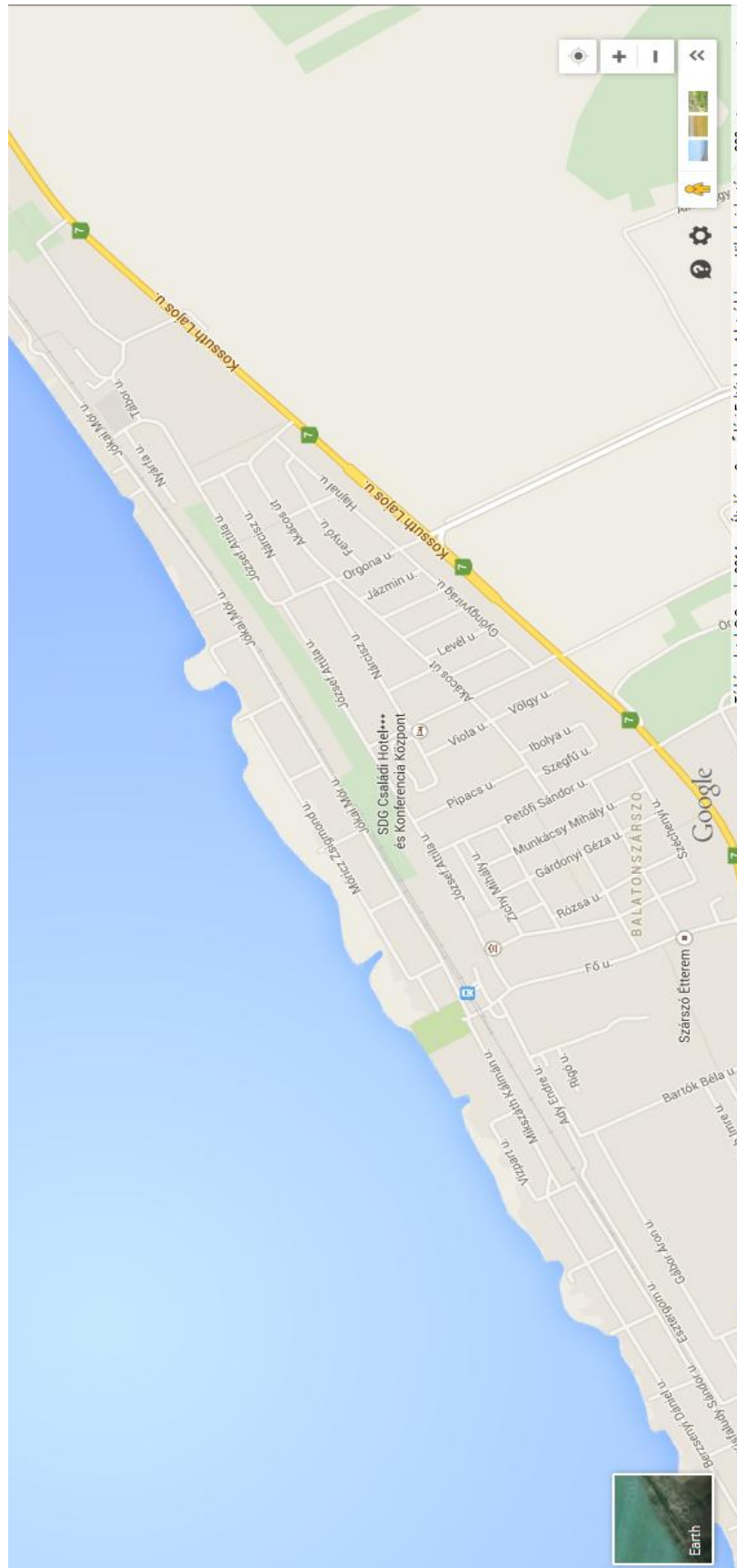
Bankett: 19:00 – 22:00

2025. október 15., szerda

Reggeli: 08:00 – 09:00

Ebéd: 12:30 – 13:30

## Térkép



---

A rendezvényen kiállítóként vesz részt:



**RADANAL Kft.**



Táblák | Feliratok  
Reklámtechnika



**tabla.hu**

---

A konferencia

# **PROGRAMJA**

---

**OKTÓBER 13. HÉTFŐ**

**11:30** **Regisztráció**

**12:30** **13:30** **Ebéd**

**14:00** **14:10** Az Őszi Radiokémiai Napok 2025 megnyitója:  
Nagy Noémi (MTA RKTb)  
Stéfiáné Dénes Noémi (MKE)

**I. szekció** Elnök: Nagy Noémi

**14:10** **14:20** Nagy Noémi: 30. ŐSZI RADIOKÉMIAI NAPOK

**14:20** **14:40** Taba Gabriella: MEGEMLÉKEZÉS DR. KANYÁR BÉLÁRÓL

**14:40** **15:20** Végyári Zsófia: RÖNTGENDIAGNOSZTIKA ALKALMAZÁSA FESTMÉNYEK VIZSGÁLATÁBAN

**15:20** **15:50** **Kávészünet (Isotoptech támogatásával)**

**II. szekció** Elnök: Schiller Róbert

**15:50** **16:10** Lázár Károly, Máthé Zoltán: A VASIONOK ÚTJA A MÉLYSÉGI ÁSVÁNYOKTÓL ÉS KÖZETEK TŐL A TALAJIG – A MÖSSBAUER-SPEKTRUMAİK TÜKRÉBEN

**16:10** **16:30** Kónya József, M. Nagy Noémi: FOGJATOK MEG, HA TUDTOK! AVAGY RADIOAKTÍV ANIONOK DIFFÚZIÓSEBESSÉGÉNEK CSÖKKENTÉSE KÉMIAILAG MÓDOSÍTOTT AGYAGGAL

**16:30** **16:50** Németh Zoltán, Vankó György, Sikora Marcin, James Ablett, Jack Harrison, Sebastian Gliga: JÁTSZD LE ÚJRA – ARCHIVÁLT ZENE HELYREÁLLÍTÁSA SÉRÜLT ANALÓG MÁGNESES FELVÉTELEKRŐL SZINKROTRON RIXS-MCD SEGÍTSÉGÉVEL

**16:50** **17:10** Kasztovszky Zsolt, Buczkó Noémi Anna, Dúzs Krisztina, Kovács András, Takács Erzsébet, Tóth Tünde, Völgyesi Péter, Wojnárovits László, Mihály Judit: MŰTÁRGYAK DIAGNOSZTIZÁLÁSA ÉS ÁLLAGMEGÓVÁSA CÉLJÁBÓL VÉGZETT NEUTRON- ÉS GAMMA-BESUGÁRZÁS ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI ÉS KOCKÁZATA

**17:20** **18:20** AZ MTA RADIOKÉMIAI TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG NYÍLT ÜLÉSE

**18:30** **19:30** **Vacsora**



---

**OKTÓBER 14. KEDD**

**8:00                      9:00                      Reggeli**

**9:30                      9:40**                      A Vértess Attila Ifjúsági Nívódíjért folyó verseny megnyitása:  
Homonnay Zoltán, Kovács Krisztina (Vértess Attila Alapítvány)

**III. szekció**                      Elnök: Kuzmann Ernő

**Megjegyzés:**                      Vértess Attila Ifjúsági Nívódíjért versenyzők

**9:40                      10:00**                      Aicha Nour Laouameria, Mátyás Hunyadi, Domokos Máthé,  
Ralf K Bergmann, Jan Rijn Zeevaart, Zoltan Szűcs:  
PALLADIUM-103 AS A THERANOSTIC AUGER  
ELECTRON EMITTER FOR TARGETED RADIONUCLIDE  
THERAPY: FROM CYCLOTRON PRODUCTION TO IN  
VIVO SPECT/CT IMAGING

**10:00                      10:20**                      Kiss Lóránt, Homlok Renáta, Tegze Anna, Takács Erzsébet,  
Mészáros László: HULLADÉK ABRONCS GUMIÖRLET  
ÉRTÉKNÖVELT ÚJRAHASZNOSÍTÁSA IONIZÁLÓ  
SUGÁRZÁS SEGÍTSÉGÉVEL

**10:20                      10:40**                      Kovács Eszter Mária, Kónya József, M. Nagy Noémi:  
DIFFÚZIÓS ÉS ADSZORPCIÓS VIZSGÁLATOK AGYAG-  
KETTŐSHIDROXID MINTÁKBAN RADIOIZOTÓPOS  
NYOMJELZÉSSSEL

**10:40                      11:00**                      Kudor Mátyás, Béres Kende, Homonnay Zoltán, Shiro Kubuki,  
Kuzmann Ernő: ÚJ TÍPUSÚ FOTOKATALIZÁTOR ÉS  
AKKUMULÁTOR ELEKTROD ELŐÁLLÍTÁSA CÉLJÁBÓL  
ÍGÉRETES EUXFE100-XOOH JELLEMZÉSE <sup>151</sup>Eu  
MÖSSBAUER-SPEKTROSKÓPIÁVAL ÉS RÖNTGEN-  
DIFFRAKTOMETRIÁVAL

**11:00                      11:10                      Szavazás**

**11:10                      11:30                      Kávészünet**

**IV. szekció**                      Elnök: Homonnay Zoltán

**11:30                      11:50**                      Farkasinszky Gergely, Szűcs Dániel, Szikra Dezső,  
Miklovicz Tünde, Pótári Norbert, Forgács Viktória,  
Trencsényi György, Balkay László, Jószai István: A  
[<sup>13</sup>N]AMMÓNIA VIZSGÁLATI GYÓGYSZER IMPD  
DOKUMENTÁCIÓJÁNAK ELŐKÉSZÍTÉSE

---

|                           |       |                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11:50                     | 12:10 | <u>Szemenyei Erzsébet</u> , Környei József: RADIOGYÓGYSZEREK ÁTTEKINTÉSE A KEZDETEKTŐL A TERA(G)NOSZTIKUMOKIG                                                                       |
| 12:10                     | 12:30 | <u>Meitert Zsuzsanna</u> , Jósza István, Németh Enikő, Trencsényi György, Kertész István: EGY KÖZPONTI IDEGRENDSZEREN HATÓ RECEPTOR-LIGANDUM C-11 JELZÉSÉNEK MEGVALÓSÍTÁSA          |
| 12:30                     | 13:30 | <b>Ebéd</b>                                                                                                                                                                         |
| <b><u>V. szekció</u></b>  |       | Elnök: Kasztovszky Zsolt                                                                                                                                                            |
| 14:00                     | 14:20 | <u>Kovács Krisztina</u> , Király Nóra, Horváth Márk, Mihucz Viktor Gábor: A VAS MOBILIZÁSCIÓJA ÉTRENDKIEGÉSZÍTŐKBŐL                                                                 |
| 14:20                     | 14:40 | <u>Maria Gracheva</u> , Zoltán Kis, Gergana Mihailova, Katya Georgieva, Ádám Solti: NEUTRON IMAGING REVEALS THE REHYDRATION DYNAMICS OF THE RESURRECTION PLANT HABERLEA RHODOPENSIS |
| 14:40                     | 15:00 | <u>Kovács Krisztina</u> , Tegze Anna, Bezsenyi Anikó, Wojnárovits László: GYÖKREAKCIÓK ÉS A MÁTRIXHATÁS SZEREPE TRAMADOL LEBONTÁSA SORÁN NAGYENERGIÁJÚ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSSAL         |
| 15:00                     | 15:20 | <u>Szalay Brigitta</u> , Kovácsné Huszár Noémi, Hum Gábor: SUGÁRVÉDELMI ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁSOK ÉS AZ ELJÁRÁSI FOLYAMAT BEMUTATÁSA                                                  |
| 15:20                     | 15:40 | <b>Kávészünet</b>                                                                                                                                                                   |
| <b><u>VI. szekció</u></b> |       | Elnök: Kasztovszky Zsolt                                                                                                                                                            |
| 15:40                     | 16:40 | Kasztovszky Zsolt: KVÍZJÁTÉK KÉMIKUSOKNAK, 2025.                                                                                                                                    |
| 16:40                     |       | A Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj szavazatok összeszámolása, a bírálóbizottság ülése                                                                                                |
| 19:00                     | 22:00 | Bankett és a konferencia Előadói Nívódíjának kihirdetése                                                                                                                            |

---

---

**OKTÓBER 15. SZERDA**

|                             |              |                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>8:00</b>                 | <b>9:00</b>  | <b>Reggeli</b>                                                                                                                                                                         |
| <b><u>VII. szekció</u></b>  |              | Elnök: Vajda Nóra                                                                                                                                                                      |
| <b>Megjegyzés:</b>          |              | Bemutatkozik a Nukleáris Környezetanalitikai Munkabizottság                                                                                                                            |
| <b>09:00</b>                | <b>09:20</b> | <u>Bujtás Tibor</u> : TOVÁBBI ÜZEMIDŐ HOSSZABBÍTÁS KÖRNYEZETVÉDELMI ENGEDÉLYEZÉSÉNEK JELENLEGI HELYZETE                                                                                |
| <b>09:20</b>                | <b>09:40</b> | <u>Zagyvai Péter</u> : RADIOKÉMIAI FELADATOK AZ OKSER MUNKÁJÁBAN                                                                                                                       |
| <b>09:40</b>                | <b>10:00</b> | <u>Osváth Szabolcs</u> , Vargha Márta, Bufa-Dórr Zsuzsanna, Izsák Bálint, Beregszászi Tímea: AZ IVÓVÍZ RADIOAKTIVITÁSÁRÓL – HATÓSÁGI NÉZŐPONTBÓL                                       |
| <b>10:00</b>                | <b>10:20</b> | <u>Osváth Szabolcs</u> , Kalászi Pál, Kövendiné Kónyi Júlia, Rell Péter, Salik Ádám: RADIOAKTÍV ILLETVE VESZÉLYES HULLADÉKOK MINŐSÍTÉSE                                                |
| <b>10:20</b>                | <b>10:40</b> | <u>Molnár Mihály</u> , Baráth Balázs Áron, Bán Sándor, Varga Tamás: LÁTSZIK-E A FOSSZILIS C SZENNYEZÉS A NÖVÉNYI LEVELEK C-14 TARTALMÁBAN DEBRECENBEN?                                 |
| <b>10:40</b>                | <b>11:00</b> | <b>Kávészünet</b>                                                                                                                                                                      |
| <b><u>VIII. szekció</u></b> |              | Elnök: Németh Zoltán                                                                                                                                                                   |
| <b>11:00</b>                | <b>11:20</b> | <u>Kövendiné Kónyi Júlia</u> : AZ AEROSZOL GAMMA-SPEKTROMETRIAI MÉRÉSE A KÖRNYEZET RADIOLÓGIAI ELLENŐRZÉSE CÉLJÁBÓL                                                                    |
| <b>11:20</b>                | <b>11:40</b> | <u>Papp István</u> , Osváth Szabolcs, Vajda Nóra: NEHEZEN MÉRHETŐ RADIONUKLIDOK MEGHATÁROZÁSA LESZERELÉSI MINTÁBAN: EGY NEMZETKÖZI JÁRTASSÁGI TESZT EREDMÉNYEI ÉS TANULSÁGAI           |
| <b>11:40</b>                | <b>12:00</b> | <u>Zagyvai Márton</u> , Rékasi Zsófia, Zagyvai Péter, Vajda Nóra, Pázmándi Tamás: IAEA-TERC-2025-01 PROFICIENCY TEST EXERCISE ÖSSZEMÉRÉS EREDMÉYNEINEK BEMUTATÁSA                      |
| <b>12:00</b>                | <b>12:20</b> | <u>Rékasi Zsófia</u> , Pázmándi Tamás, Zagyvai Péter, Zagyvai Márton, Pántya Annamária, Glavák Csaba: GYERMEKEK EGÉSZTEST MONITOROZÁSÁRA VONATKOZÓ NEMZETKÖZI ÖSSZEMÉRÉS TAPASZTALATAI |
| <b>12:20</b>                | <b>12:30</b> | A konferencia zárszava – Takács Erzsébet                                                                                                                                               |
| <b>12:30</b>                | <b>13:30</b> | <b>Ebéd, hazautazás</b>                                                                                                                                                                |

---

A konferencia

# **ELŐADÁS-KIVONATAI**

**2025. október 13.  
hétfő**

---

## MEGEMLEKEZÉS DR. KANYÁR BÉLÁRÓL

Taba Gabriella

*Semmelweis Egyetem, Budapest 1085 Üllői ut 26.*



**2015. június 8-án, 75 éves korában elhunyt Prof. Dr. Kanyár Béla nyugalmazott egyetemi tanár, Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálat egykori vezetője, sugárvédelmi kutató és szakértő.**

Dr. Kanyár Béla elmondása szerint még középiskolás korában az Élet és Tudomány c. hetilap „Logar Miska” feladványai megoldása során elnyerte Öveges József: A legújabb kor fizikája című könyvét. Ez az esemény határozta meg, hogy később az ELTE TTK fizika szakára jelentkezett. PhD dolgozatát 1963-ban a KFKI Magfizika II. laboratóriumában FeRh-ötvözetek belső mágneses terének mérése témából írta.

Az első munkahelye a Gamma Művek Izotóplaboratóriuma volt, ahol többek között szcintillációs méréstechnikával foglalkozott és elvégzett egy reaktorteknikai tanfolyamot is.

1964 és 1972 között a Budapesti Orvostudományi Egyetem Orvosi Fizikai Intézetének (ma SE Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet) munkatársa volt, ahol a kísérleti munka mellett a számítástechnikai alkalmazásokkal támogatta az orvostudományt. Később 1972 és 1982 között az Egyetem Számítóközpontjában dolgozott.

1970-1982 között résztvett az Számítógépes Országos Besugárzástervezési Hálózat létrehozásában és üzemeltetésében. Ez nagy minőségi ugrást jelentett a hazai betegek sugárterápiájában, amely a gyógyulási arány, a túlélés és az életminőség jelentős javulásával járt. Hatását ma is érezzük.

Dr. Kanyár Béla 1982-ben lett az Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OSSKI) munkatársa, az akkori Számítás- és Méréstechnikai Osztály osztályvezetőjeként. Fontos feladatául kapta a Paksi Atomerőmű környezetében létrehozandó ún. hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszerének (HAKSER) fejlesztését. Tőle indult ki az a kezdeményezés, amely révén az Intézet olyan, az akkori hazai kutatóintézetekben még ritkaságnak minősülő, korszerű számítógépet szerzett be, amellyel nem csak a hatósági környezeti ellenőrzés központi adatgyűjtési és feldolgozási feladatait lehetett megoldani, hanem az Intézet egyéb kutatási eredményeinek elemzéseire is hatékonyan fel lehetett használni.

Kulcsfontosságú szerepet vállalt az 1986-ban bekövetkezett csernobili atomerőmű balesetét követően a hazai környezet radiológiai ellenőrzésének megszervezésében, lebonyolításában; az e területen végzett kiemelkedő munkájáért állami kitüntetésben is részesült.

Már ezt megelőzően is az egyik fő kutatási területe a környezetbe kikerült radioaktív izotópok vándorlásának, terjedésének matematikai leírása, modellezése volt. Bekapcsolódott több nemzetközi modellezési kutatócsoport munkájába, amelyek közül a legjelentősebbek a svéd tudományos akadémia által elindított Biospheric Model Validation Study (BIOMOVs), illetve a Nemzetközi Atomenergiái Ügynökség által szervezett Validation of Model Prediction (VAMP) munkacsoportok voltak. Szintén Kanyár Béla nevéhez fűződik a hazai sugáregészségügy egy jelentős állomása, mikor is a '90-es évek elején elkezdődött a különböző ágazatok és intézmények saját, addig egymástól elkülönült radiológiai hálózatainak integrálása

---

egy országos környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszerré (OKSER). 1989-ben kinevezték az Intézet Sugáregészségügyi Főosztálya főosztályvezetőjének, amely beosztást 1995-ig látta el, mikor is megpályázta és elnyerte a Veszprémi Vegyipari Egyetem Radiokémiai Tanszékének tanszékvezetői pozícióját. Az Intézetben végzett munkájáért 2007-ben az országos tisztii főorvos elismerő oklevelét kapta meg.

Dr. Kanyár Béla professzor 1995 őszén került az akkor még Veszprémi Egyetem Radiokémia Tanszékének élére. Rövid időn belül habilitált, így megkapta a tanszékvezető egyetemi tanár kinevezést. Patronálásával létrejött a Környezetmérnök szakon a Radioökológiai Szakirány. Úttörő szerepet vállalt a szaktárgyak kidolgozásában. Szerzője volt a „Környezeti sugárzások, radioökológia, A sugárzások elleni védelem dozimetriai és hatástani alapjai, Anyagszerkezeti vizsgálatok radioaktív sugárzással, és a Nukleárisbalesetelhárítás telephelyen kívül” című egyetemi jegyzeteknek, majd megszületett a két kiadást is elért „Radioökológia és környezeti sugárzások” egyetemi tankönyv. A „Radioökológia, Nukleáris technológia, Nukleáris balesetek elhárításának tervezése, Anyagszerkezeti vizsgálatok, Radionuklidok terjedésének számítógépes szimulációja című tárgyak oktatása mellett tervezési feladatok és diplomadolgozatok témavezetését végezte. „Egyetemi évei” alatt három fő PhD hallgató témavezetője volt. Tanítványai jelenleg is fontos pozíciót töltenek be a hazai sugárvédelem területén. Oktatási feladatait nagy kedvvel, teljes odaadással végezte. Nagy gonddal figyelt arra, hogy tananyagában mindig a tudomány legújabb eredményei szerepeljenek. Munkatársait, beosztottjait is mindig az igényes munka elvégzésére ösztönözte. Több hazai és nemzetközi konferencia szervezésében vett részt. Fontos szerepet töltött be ama már „Radiokémiai és Radioökológiai Intézet” színvonalának, elfogadottságának növelésében.

Az Állami Egészségügyi Központban 2008-ban indította el és alapozta meg a sugárvédelmet, majd 2009 elején adta át a Sugárvédelmi Szolgálat vezetését, egészségügyi okok miatt.

2005-től 2014-ig a Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálatának vezetője volt. Súlyos betegsége ellenére végezte munkáját, amíg csak tudta. 2014. novemberében leköszönt a Szolgálat vezetéséről, de bölcs tanácsaival továbbra is segítette utódja munkáját. Jelentősebb szakmai munka elismerésért kapott kitüntetések:

- 1991 Tarján-émlékérem
- 2004 Magyar Köztársasági Érdemrend lovagkeresztje
- 2010 Sugárvédelmi Emlékérem

Közel 100 lektorált folyóirat közlemény, konferencia kötetben több mint 100 teljes előadás, és több más anyag (könyv, könyvfejezet, jegyzet, pl. NAÜ TECDOC) szerzői között szerepel. Független hivatkozások száma kb. 150.

Nagy elméleti felkészültséggel, gyakorlati tapasztalattal és diplomáciai érzékkel rendelkezett. Azon kevés szakemberek egyike volt, aki a sugárvédelem majdnem minden területét átlátta és művelte. Ez tette lehetővé, hogy olyan szerteágazó területen, mint a Semmelweis Egyetem, ahol sok és sokféle sugaras munkahely van, eredményes munkát tudott végezni, ahogy volt főnökei és a vele munkakapcsolatban lévők is elismerték: közmegelegedésre. Szorgalma szakmai munkája mellett családapa és nagypapa is volt.

Emlékét megőrizzzük. Munkássága és személyisége örök példa a jövő nemzedék számára. Nagyon köszönjük Tanár Úr!

---

# RÖNTGENDIAGNOSZTIKA ALKALMAZÁSA FESTMÉNYEK VIZSGÁLATÁBAN

Végvári Zsófia

*Festményvizsgálati Labor, Budapest, 1123, Kék golyó utca 17*

A festmények szerzőségének megítélésekor a szubjektív értékítélet és az ecsetkezelés vizsgálata önmagában nem nyújt megbízható alapot – különösen abban az esetben, ha az előkerült műről csupán régi, kezdetleges technikával készült felvételek állnak rendelkezésre. Az idő múlásával a festmények felületére rakódott idegen rétegek, a sötétedő lakkréteg, a pigmentek fakulása, valamint a restaurálások és sérülések nyomai eltorzítják az eredeti látványt. A szemrevételezéssel történő elemzés így sokszor nem a művész eredeti alkotását, hanem annak rétegzett, módosult állapotát tükrözi. Egy festmény azonban nemcsak esztétikai, hanem fizikai és kémiai jellemzőket is hordoz, amelyek az alkotói kézjegy ugyanolyan hiteles lenyomatai, mint a kompozíció vagy a stílusjegyek. Ezért a művek értékelése nem pusztán stíluskritikai feladat, hanem interdiszciplináris kutatás, amelyben a művészettörténet eredményeit a természettudományos vizsgálatok – pigmentanalízis, fizikai anyagvizsgálatok – egészítik ki.

A Festményvizsgálati Laborban több mint 17 éve végzünk olyan kutatásokat, amelyekben a humán és reáltudományos módszerek együtt szolgálnak a megbízható eredetiségvizsgálat alapjául. Jelen előadásban a festmények komplex diagnosztikai módszereit ismertetem, kiemelt hangsúllyal a röntgenfelvételek, az XRF spektroszkópia és a Bruker M6 Jetstream makro-XRF térképező rendszer eredményeire. Teljes vizsgálati sorozatokon keresztül mutatok be olyan esettanulmányokat, ahol a több módszer kombinációja lehetővé tette szabad szemmel nem látható részletek feltárását, köztük alsó, rejtett kompozíciók azonosítását is. Az anyagvizsgálatok eredményei nemcsak a művek datálásához és a felhasznált festékanyagok meghatározásához nyújtanak bizonyító erejű adatokat, hanem új megvilágításba helyezhetik az alkotói folyamatot és a szerzőség kérdését is. A bemutatott példák rávilágítanak arra, hogy a roncsolásmentes diagnosztika és a művészettörténeti értelmezés ötvözése a festmények eredetiségének megbízható azonosításához vezető egyetlen út.

---

# **A VASIONOK ÚTJA A MÉLYSÉGI ÁSVÁNYOKTÓL ÉS KÖZETEKTŐL A TALAJIG - A MÖSSBAUER-SPEKTRUMAIK TÜKRÉBEN**

**Lázár Károly<sup>1</sup>, Máthé Zoltán<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, EKBI, BNC*

<sup>2</sup> *Mecsekérc Zrt.*

A Mössbauer-spektroszkópia számára az egyik legkönnyebben hozzáférhető atommag az <sup>57</sup>Fe izotópé. Másrészt a vas a negyedik legelterjedtebb elem a földkéregben. Ugyanakkor a vasionok a földfelszínen számos biológiailag fontos folyamatának aktív részt vevői is. Érdeklődésre tarthat számot a vasionok vándorlása a földköpenyből a talajig. Magyarország egyik üledékes kőzetének (Bodai Agyagkő) példáján mutatjuk be, hogy milyen átalakulások során kerül a vas a magmás kőzetek rétegszilikát ásványaiból a felszíni talajrétegekbe.

## **TRAVEL OF IRON IONS FROM DEEP MINERALS AND STONES TO SOIL AS REFLECTED IN THEIR MÖSSBAUER SPECTRA**

**Károly Lázár<sup>1</sup>, Zoltán Máthé<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *HUN-REN Centre for Energy Research, EKBI, BNC*

<sup>2</sup> *Mecsekérc Ltd.*

One of the most easily accessible nucleus for Mössbauer spectroscopy is that of the <sup>57</sup>Fe isotope. From another aspect iron is the fourth most abundant element in the Earth's crust. At the same time iron ions participate in important biological processes in the biosphere. Tracking the path of iron ions from the stones of Earth's crust to the soil may attract certain interest. Changes and transformations in siting of iron ions in layered silicate minerals in the example of one of the sedimentary rock formations of Hungary (Boda Claystone) are demonstrated in this process.



---

**FOGJATOK MEG, HA TUDTOK!**  
**AVAGY**  
**RADIOAKTÍV ANIONOK DIFFÚZIÓSEBESSÉGÉNEK**  
**CSÖKKENTÉSE KÉMIAILAG MÓDOSÍTOTT AGYAGGAL**

**Kónya József, M. Nagy Noémi**

*Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék, Imre Lajos Izotóplaboratórium,  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.*

A nukleáris hulladékok geológiai tárolásánál elengedhetetlen a kationos és anionos radioaktív anyagok diffúziósebességének egyidejű csökkentése. A természetes agyagkőzet általában csak a kationok diffúziós sebességét csökkenti, az anionokét nem. Ebben a tanulmányban a bentonitban található kalciumionok kb. felét ezüstionokra cseréltük, hogy egyszerre csökkentsük a radioaktív kationok ( $^{137}\text{Cs}^+$ ) és az anionok ( $^{36}\text{Cl}^-$ ,  $^{131}\text{I}^-$ ) diffúziósebességét. Ez az ezüsthálogenidek kicsapódásának köszönhető a rétegek közötti térben. Így elérhetjük, hogy az anionos és kationos radioaktív anyagok diffúziós együtthatója egyaránt kicsi a tömörített ezüst-kalcium-bentonitban ( $10^{-13}$ – $10^{-12}$   $\text{m}^2/\text{s}$ ), ami lehetővé teszi, hogy az ezüst-kalcium-bentonit része legyen a műszaki gátrendszernek. Megfigyelhető azonban, hogy jodidionok esetében a hordozó jelenléte befolyásolja a specieszeket, és így a diffúziós sebességet is. A hatás a koncentrációtól függ: körülbelül  $10^{-4}$   $\text{mol dm}^{-3}$  jodidkoncentrációig a diffúziós együtthatók az ezüstjodid kicsapódása miatt csökkennek. Ezen koncentráció felett a diffúziós együtthatók a negatív töltésű  $\text{I}^-$  és  $\text{AgI}_2^-$  -specieszek kialakulása miatt növekednek, de nem haladják meg a  $10^{-12}$   $\text{m}^2/\text{s}$  tartományt, ami az anion diffúziós sebességének csökkentéséhez teljesen megfelelő.

A bentonitréteg ezüstartalma határozza meg a diffúziós sebesség csökkenésének időtartamát. Amikor az ezüstionok teljesen átalakulnak ezüst-hálogeniddé, azaz az ezüstionok elfogynak, az anionok már nem tudnak kicsapódni, így a diffúziós sebesség a természetes bentonitokban jellemző értékig emelkedhet. A hordozó jelenléte ezért negatív hatással van, mivel az ezüstionok egy részét felveszi.

---

**CATCH ME, IF YOU CAN!**  
**OR**  
**REDUCTION OF DIFFUSION RATE OF RADIOACTIVE ANIONS**  
**BY CHEMICALLY MODIFIED CLAY**

**József Kónya, Noémi M. Nagy**

*University of Debrecen, Department of Physical Chemistry, Imre Lajos Isotope Laboratory,  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.*

In the geological disposal of nuclear waste, it is essential to simultaneously reduce the diffusion rates of cationic and anionic radioactive materials. Natural clay rock generally reduces only the diffusion rate of cations, not that of anions. In this study, approximately half of the calcium ions in bentonite were replaced with silver ions in order to simultaneously reduce the diffusion rates of radioactive cations ( $^{137}\text{Cs}^+$ ) and anions ( $^{36}\text{Cl}^-$ ,  $^{131}\text{I}^-$ ). This is due to the precipitation of silver halides in the interlayer space. In this way, we can achieve a low diffusion coefficient for both anionic and cationic radioactive materials in compacted silver-calcium bentonite ( $10^{-13}$ – $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s), which allows silver-calcium bentonite to be part of the engineered barrier system. However, it can be observed that in the case of iodide ions, the presence of the carrier influences the species and thus also the diffusion rate. The effect depends on the concentration: up to an iodide concentration of approximately  $10^{-4}$  mol dm<sup>-3</sup>, the diffusion coefficients decrease due to the precipitation of silver iodide. Above this concentration, the diffusion coefficients increase due to the formation of negatively charged  $\text{I}^-$  and  $\text{AgI}_2^-$  species, but do not exceed the range of  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s, which is completely sufficient to reduce the diffusion rate of the anion.

The silver content of the bentonite layer determines the duration of the decrease in diffusion rate. When the silver ions are completely converted to silver halide, i.e., the silver ions are depleted, the anions can no longer precipitate, so the diffusion rate can increase to the value typical of natural bentonites. The presence of the carrier therefore has a negative effect, as it uses up some of the silver ions.

---

# JÁTSZD LE ÚJRA – ARCHIVÁLT ZENE HELYREÁLLÍTÁSA SÉRÜLT ANALÓG MÁGNESES FELVÉTELEKRŐL SZINKROTRON RIXS-MCD SEGÍTSÉGÉVEL

Németh Zoltán<sup>1</sup>, Vankó György<sup>1</sup>, Sikora Marcin<sup>2</sup>, James Ablett<sup>3</sup>, Jack Harrison<sup>4</sup>,  
Sebastian Gliga<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest*

<sup>2</sup> *SOLARIS National Synchrotron Radiation Centre, Kraków, Lengyelország*

<sup>3</sup> *Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin, Franciaország*

<sup>4</sup> *Paul Scherrer Institute PSI, Villigen, Svájc*

A 20. századi audiovizuális örökség nagy része mágneses szalagon van tárolva. A szalagok azonban kopásnak és kémiai bomlásnak vannak kitéve, ami miatt mágneses fejekkel, amelyek fizikai kapcsolatban vannak a szalaggal, már nem olvashatók. Ez a kulturális örökség, felbecsülhetetlen művészi értékek végleges elvesztéséhez vezethet. A közelmúltban sikerült szinkrotron RIXS-MCD (*Resonant Inelastic X-ray Scattering Magnetic Circular Dichroism*) módszer segítségével, Johann spektrométert használva analóg hangfelvételeket kiolvasnunk, ami egy ígéretes lehetőség roncsolt mágneses szalagok tartalmának megmentésére és digitalizálására. Az előadásban bemutatjuk a Soleil és az ESRF szinkrotronok 3 mérési idejében elvégzett próba kísérletek eredményeit, ahol módosított, off-Rowland elrendezésű kemény röntgenspektrométereket optimalizáltunk annak érdekében, hogy javítani tudjuk a kiolvasás sebességét, az adatok minőségét és megbízhatóságát. Célunk, hogy rutinszerűen ki tudjunk olvasni a HIFI hangzáshoz szükséges, körülbelül 15 kHz-es audiofrekvenciákat. Jelenleg egyszerű frekvenciákat és néhány másodpercnyi, erre a célra készített klasszikus zenét tudunk kiolvasni, de a cél egy „sticky shed” szindrómával rendelkező, romlott B.B. King-felvétel egy részének mérése.

---

# PLAY IT AGAIN – RECOVERING ARCHIVED MUSIC FROM DEGRADED ANALOGUE MAGNETIC RECORDINGS USING RIXS-MCD

**Zoltán Németh<sup>1</sup>, György Vankó<sup>1</sup>, Sikora Marcin<sup>2</sup>, James Ablett<sup>3</sup>, Jack Harrison<sup>4</sup>,  
Sebastian Gliga<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *HUN-REN Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary*

<sup>2</sup> *SOLARIS National Synchrotron Radiation Centre, Kraków, Poland*

<sup>3</sup> *Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin, France*

<sup>4</sup> *Paul Scherrer Institute PSI, Villigen, Switzerland*

A large fraction of 20th century audiovisual heritage is stored on magnetic tape. However, tapes suffer from wear and chemical decay that make them unreadable using magnetic heads, which are in physical contact with the tape. This can lead to permanent loss of cultural heritage as well as inestimable ‘loss of artistry’. We have recently obtained excellent proof-of-concept results with RIXS-MCD using a Johann spectrometer to readout analogue audio recordings. Here, we present the results of 3 recent beamlines at Soleil and ESRF synchrotrons, where we used modified off-Rowland hard X-ray spectrometers to optimize the speed, data quality, and reliability of readout audio frequencies up to ca. 15 kHz, necessary for high fidelity audio. Currently we are able to read out simple frequencies and a few seconds of purpose created classical music, but the goal is to measure a segment of a degraded B.B. King recording with ‘sticky shed’ syndrome.

---

# MŰTÁRGYAK DIAGNOSZTIZÁLÁSA ÉS ÁLLAGMEGÓVÁSA CÉLJÁBÓL VÉGZETT NEUTRON- ÉS GAMMA-BESUGÁRZÁS ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI ÉS KOCKÁZATA

**Kasztovszky Zsolt<sup>a</sup>, Buczkó Noémi Anna<sup>a</sup>, Dúzs Krisztina<sup>b</sup>, Kovács András<sup>c</sup>,  
Takács Erzsébet<sup>a</sup>, Tóth Tünde<sup>a</sup>, Völgyesi Péter<sup>a</sup>, Wojnárovits László<sup>a</sup>, Mihály Judith<sup>d,e</sup>**

<sup>a</sup> HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>b</sup> Magyar Nemzeti Múzeum Közgyűjteményi Központ, 1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16.

<sup>c</sup> Atomenergia Mérnökiroda Kft., 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>d</sup> HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont, 1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

<sup>e</sup> Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, 3300 Eger Leányka u. 12.

A Budapest Neutron Centrumban különböző neutronos technikákat alkalmazunk műtárgyak összetételének és szerkezetének meghatározására, többek között nyersanyag eredet vagy eredetiség vizsgálata céljából. Emellett nemrégiben – Magyarországon először – megkezdtük nagy dózisos gamma-sugárzással végzett sugárkezelés alkalmazását állagmegóvási célból. Mindkét esetben a tárgyak épségének megőrzése a legfontosabb szempont.

Az alkalmazott neutron- és gamma-sugárzás mikroszkopikus hatásait kísérletileg ellenőriztük festett pergamenmintákon, valamint régészeti csontmintákon. Kiszámítottuk továbbá a neutronbesugárzás által keletkező indukált radioaktivitást, és összehasonlítottuk azt a nemzetközi sugárbiztonsági ajánlásokkal. A PGAA, RAD és SANS berendezéseken végzett besugárzásokat követően a festett pergamen mintákon nem volt szabad szemmel vagy FTIR-spektroszkópiával észlelhető károsodás. A festetlen fehér pergamen esetében azonban a hosszú expozíció (24 óra PGAA és RAD) kisebb változást okozhat a kollagén szerkezetében. Az NAA alkalmazásával már rövid besugárzás is látható változásokat okozott. Eredményeink szerint a régészeti csontok nagy dózisos  $\gamma$ -besugárzása nem változtatta meg jelentősen a bioapatit kristályosságának mértékét (IRSF) és kémiai összetételét (a karbonát/foszfát arányt).

---

## ADVANTAGES AND RISKS OF USING NEUTRON AND GAMMA IRRADIATION FOR THE DIAGNOSIS AND PRESERVATION OF HERITAGE OBJECTS

**Zsolt Kasztovszky<sup>a</sup>, Noémi Anna Buczkó<sup>a</sup>, Krisztina Dúzs<sup>b</sup>, András Kovács<sup>c</sup>,  
Erzsébet Takács<sup>a</sup>, Tünde Tóth<sup>a</sup>, Péter Völgyesi<sup>a</sup>, László Wojnárovits<sup>a</sup>, Judith Mihály<sup>d,e</sup>**

<sup>a</sup> HUN-REN Centre for Energy Research, Konkoly-Thege Miklós street 29-33, Budapest 1121, Hungary

<sup>b</sup> Hungarian National Museum Public Collection Centre, Hungarian National Museum, Múzeum krt. 14–16, Budapest 1088, Hungary

<sup>c</sup> Atomic Energy Engineering Co. Ltd., Konkoly-Thege Miklós street 29-33, Budapest 1121, Hungary

<sup>d</sup> HUN-REN Research Centre for Natural Sciences, Institute of Materials and Environmental Chemistry, Magyar tudósok körútja 2, Budapest 1117, Hungary

<sup>e</sup> Eszterházy Károly Catholic University, Leányka utca 12, Eger 3300, Hungary

At the Budapest Neutron Centre, various neutron-based methods have been applied to determine the composition and structure of tangible heritage objects for scientific purposes, such as provenance or authenticity studies. In addition, we have recently started to introduce the well-known methods of radiation treatment for preservation purposes in Hungary, using high dose gamma-radiation. In both cases, the preservation of the objects' conditions is of the highest priority.

Microscale effects of the applied neutron- and gamma-irradiations have been experimentally tested on parchment mock-up and on archaeological horse bone samples. Furthermore, induced radioactivity due to irradiation with neutrons is calculated for and has been compared with the international safety recommendations. No visible and spectral features of damage could be observed on the painted test parchment samples after irradiations PGAA, RAD, and SANS instruments. In unpainted white parchment, however, long-term exposure (24h for PGAA and RAD) might cause minor change in collagen structure. Furthermore, NAA caused visible changes even after short irradiation. According to our results, high dose  $\gamma$ -irradiation of archaeological bone has not changed significantly the degree of crystallinity (IRSF) and the composition (carbonate/phosphate ratio) of the bioapatite.

---

**2025. október 14.  
kedd**

**a**

***„Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj”***

**elnyerésére benyújtott**

**közlemények**



#### **PÁLYÁZATI FELHÍVÁS**

A „Vértess Attila Alapítvány” nevű közhasznú szervezet (a továbbiakban: Alapítvány), együttműködésben az MTA Radiokémiai Tudományos Bizottságával, (a továbbiakban: MTA RKTb) és a Magyar Kémikusok Egyesületével (a továbbiakban: MKE), a 35 évnél fiatalabb kutatók kiemelkedő kutatási eredményeinek elismerésére ösztöndíjat alapított

***„Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj”***

elnevezéssel.

A Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj (a továbbiakban: Nívódíj) 2025-ben azoknak a 35 évnél fiatalabb kutatóknak adományozható, akik a radiokémia tudományok területén végzett kutatási témájuk kidolgozásában az utolsó két évben kimagasló eredményt értek el.

Az eredményeket saját kutatási munkájából írt, minimum 4, maximum 6 oldal terjedelmű dolgozat, valamint az MKE közös szervezésében évente zajló "Őszi Radiokémiai Napok" konferencián tartott előadás alapján a szakértői kuratórium ítéli oda. A dolgozat alapját képezheti egy, referált folyóiratban már megjelent vagy megjelenésre elfogadott cikk, de a 4-6 oldalas dolgozatot minden pályázónak meg kell írni. Ebben az esetben az eredeti cikket is mellékelni kell,

---

és fel kell sorolni a dolgozat irodalomjegyzékében. (A dolgozat megírásához alkalmazandó sablon a felhíváshoz csatolva.)

A dolgozatot angol vagy magyar nyelven kell megírni, és tartalmazzon egy 100-400 szavas angol- és magyar nyelvű kivonatot. Amennyiben a dolgozat alapja már megjelent cikk, ügyelni kell rá, hogy ábrák, táblázatok változtatás nélküli átvételéhez meg kell kérni a cikk kiadójának engedélyét. A dolgozatban a pályázónak első szerzőnek kell lenni.

A Nívódíj két kategóriában ítélhető oda:

I. kategória: Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj

Ezt a díjat nem kaphatja olyan személy, aki azt korábban már legalább két alkalommal elnyerte.

II. kategória: Vértess Attila Ifjúsági Nívódíj, Különdíj

Az I kategória nyertese nettó 100.000,- Ft, azaz százezer forint összegű Vértess Attila Ösztöndíjban részesül. Az II kategória nyertese nettó 70.000,- Ft, azaz hetvenezer forint összegű Vértess Attila Ösztöndíjban részesül. A Különdíj azoknak a sikeres pályázóknak adományozható, akik második, vagy további helyezést értek el.

Oklevéllel illeti meg a díjazott fiatal kutatót és témavezetőjét. Az okleveleket az MKE készítteti el, és azt a MTA RKTB elnöke, az MKE képviselője és az Alapítvány képviselője írja alá. Az elismerő okleveleket az Őszi Radiokémiai Napokon az MTA RKTB elnöke vagy delegáltja, a Szakértői Kuratórium elnöke vagy delegáltja és a Vértess Attila Alapítvány képviselője adja át ünnepélyes keretek között.

Az ösztöndíjat a nyertesek részére az Alapítvány biztosítja és utalja át a díjazottaknak a Szakértői Kuratórium jegyzőkönyve, és a díjazottak által kitöltött személyi adatlap alapján.

A díjazott az ösztöndíjat oktatási intézményekben folytatott tanulmányokra, kutatásra vagy külföldi tanulmányútra köteles fordítani.

Az ösztöndíj odaítéléséről az Alapítvány által felkért, 5 főből álló Szakértői Kuratórium dönt:

- Az Alapítvány alapítója, vagy annak delegáltja, aki egyben a Szakértői Kuratórium elnöke,
- Az MTA RKTB elnöke,

továbbá a beérkező közleményeket bíráló szakértők:

- Kónya József, a kémiai tudomány doktora,
- Wojnárovits László, a kémiai tudomány doktora,
- Zagytvai Péter, a kémiai tudomány kandidátusa.

A bíráló szakértők helyébe azok bármilyen okból történő visszalépése esetén az Alapítvány kuratóriuma jogosult más személyt felkérni.

Tanácskozási jogú tagok:

- az MTA RKTB titkára (egyben a Szakértői Kuratórium titkára) és
- az MTA RKTB Munkabizottságok elnökei vagy delegáltjaik.

Állandó meghívottak:

- Az Alapítvány kuratóriuma.



---

A Szakértői Kuratórium a Nívódíjra vonatkozó tudnivalókat, továbbá ezt a pályázati felhívást a "Őszi Radiokémia Napok" konferencia felhívással együtt teszi közzé az MKE honlapján.

Az írásos pályázati munkát a konferencia honlapján lévő on-line jelentkezési rendszeren keresztül kell benyújtani, DOC vagy RTF fájlba szerkesztve. A pályázathoz tartozó további anyagokat (pályázati űrlap, társszerzői nyilatkozat, hallgatói státusz igazolása, beszkenelve (PDF vagy JPEG, esetlegesen a folyóiratcikk DOI számot is tartalmazó PDF verziója) pedig egy tömörített ZIP fájl formájában e-mail-en kérjük beküldeni (Jószai István, e-mail: [joszai.istvan@med.unideb.hu](mailto:joszai.istvan@med.unideb.hu)). Az adminisztratív mellékletek egy eredeti, aláírt példányát az Őszi Radiokémiai Napok regisztrációs pultjánál kérjük a konferencia kezdetén leadni. A pályázattal kapcsolatban további felvilágosítás a konferencia szakmai szervezőjétől (Jószai István, e-mail: [joszai.istvan@med.unideb.hu](mailto:joszai.istvan@med.unideb.hu)) kérhető.

A pályázat benyújtási határideje 2025. szeptember 25. A szükséges formanyomtatványok és sablonok letölthetők a konferencia honlapjáról.

Budapest, 2025. május 27.

Dr. Szabó János Zoltán  
az MKE ügyvezető igazgatója

Dr. Homonnay Zoltán  
a Vértess Attila Alapítvány Kuratóriumának  
elnöke

---

# PALLADIUM-103 AS A THERANOSTIC AUGER ELECTRON EMITTER FOR TARGETED RADIONUCLIDE THERAPY: FROM CYCLOTRON PRODUCTION TO IN VIVO SPECT/CT IMAGING

Aicha Nour Laouameria<sup>1,2</sup>, Mátyás Hunyadi<sup>2</sup>, Domokos Máthé<sup>3,4</sup>, Ralf K Bergmann<sup>3,4</sup>, Jan Rijn Zeevaart<sup>5,6</sup>, Zoltan Szucs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctoral School of Chemistry, University of Debrecen, Egyetem tér 1, H-4032 Debrecen, Hungary

<sup>2</sup> HUN-REN Institute for Nuclear Research, Bem tér 18/c, 4026 Debrecen, Hungary

<sup>3</sup> Department of Biophysics and Radiation Biology, HUN-REN TKI, Semmelweis University, Budapest, Hungary

<sup>4</sup> In Vivo Imaging Advanced Core Facility, Hungarian Centre of Excellence for Molecular Medicine, Budapest, Hungary

<sup>5</sup> NuMeRI, Nuclear Medicine Research Infrastructure NPC, Steve Biko Academic Hospital, Pretoria, South Africa

<sup>6</sup> Applied Radiation, South African Nuclear Energy Corporation (Necsa), Pelindaba, South Africa

## Absztrakt

Egy új, diffúzióvezérelt száraz desztillációs módszert mutatunk be a palládium-103 ( $^{103}\text{Pd}$ ) hatékony elválasztására és visszanyerésére, amely magas hozamot biztosít minimális radioaktív hulladék mellett. Az általunk tervezett egyedi rádionuklid-szétválasztó rendszerrel (RSE) tisztított  $^{103}\text{Pd}$ -et állítottunk elő, amely alkalmas a további radiofarmakon-fejlesztési alkalmazásokra. A biomolekuláris hordozókkal történő kelátképzés nagy stabilitást mutatott, míg az in vivo SPECT/CT képalkotás igazolta az egyenletes biodisztribúciót és a jelzés integritását. A  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  in vivo generátor viselkedése megerősítette az általunk feltételezett Szilárd–Chalmers-hatást, ugyanakkor a vártnál lényegesen alacsonyabb leányizotóp-felszabadulást tárt fel, ami a jelenlegi Auger-bomlási modellek pontatlanságára utalhat. Eredményeink alátámasztják, hogy a  $^{103}\text{Pd}$  ígéretes theranostikai jelölt a célzott Auger-elektron-terápiában.

## Abstract

We present a novel diffusion-driven dry distillation method for the efficient separation and recovery of palladium-103 ( $^{103}\text{Pd}$ ), achieving high yields with minimal radioactive waste. Using our custom-designed radionuclide separation system (RSE), we produced purified  $^{103}\text{Pd}$  suitable for downstream radiopharmaceutical applications. Chelation with biomolecular carriers demonstrated high stability, and in vivo SPECT/CT imaging confirmed consistent biodistribution and radiolabel integrity. The in vivo generator behavior of the  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  system validated the Szilárd–Chalmers effect but revealed substantially lower daughter release than predicted, suggesting possible inaccuracies in current Auger decay models. These findings highlight  $^{103}\text{Pd}$  as a promising theranostic candidate for targeted Auger electron therapy.

## 1. INTRODUCTION

Targeted radionuclide therapy (TRNT) offers an advanced approach in cancer treatment, enabling the selective delivery of cytotoxic radiation to tumor tissues with high specificity [1]. To date, most clinically utilized TRNT approaches rely on  $\beta^-$ - or  $\alpha$ -emitting radionuclides. Although effective, their relatively long path lengths (ranging from micrometers to millimeters) often result in off-target radiation exposure and collateral tissue damage [2]. In contrast, Auger electron emitters are attracting increasing attention due to their extremely short tissue penetration ranges, typically spanning from nanometer to micrometer scales [3]. This characteristic enables subcellular-scale energy deposition, thereby facilitating highly localized tumor cell eradication while substantially reducing radiation exposure to adjacent healthy

---

---

tissues. Among candidate Auger emitters, palladium-103 ( $^{103}\text{Pd}$ ) stands out as a clinically relevant radionuclide.  $^{103}\text{Pd}$  decays via electron capture (EC) to metastable rhodium-103 ( $^{103\text{m}}\text{Rh}$ ), with a half-life of 16.99 days.

Production of  $^{103}\text{Pd}$  is typically achieved via proton irradiation of  $^{103}\text{Rh}$  targets through the  $^{103}\text{Rh}(\text{p},\text{n})^{103}\text{Pd}$  nuclear reaction in a cyclotron. However, an enduring challenge in the field has been the efficient and selective separation of  $^{103}\text{Pd}$  from bulk rhodium. Conventional wet-chemistry based separation methods are limited by the chemical inertness of rhodium, high material costs, and the generation of substantial volumes of radioactive waste [4-7].

To address these limitations, we developed a diffusion-driven dry-distillation method, implemented in a custom-designed radionuclide separation equipment (RSE). This approach exploits differences in the partial vapor pressures of palladium and rhodium to enable selective volatilization and recovery of  $^{103}\text{Pd}$ . In this study, we report the complete workflow, encompassing cyclotron production, dry-distillation based separation, purification, chelation, and in vivo SPECT/CT imaging of  $^{103}\text{Pd}$ -labeled complexes. Furthermore, we investigate the release kinetics of the daughter radionuclide  $^{103\text{m}}\text{Rh}$  from the in vivo  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  generator system.

## 2. METHODOLOGY

### 2.1 Production, Separation, and Recovery of $^{103}\text{Pd}$

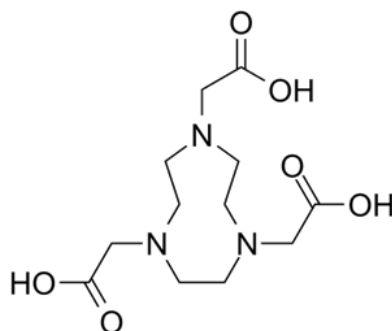
Rhodium metal foils were irradiated with 11 MeV protons (20  $\mu\text{A}$ , 30 h) using an MGC-20 compact multiparticle cyclotron at ATOMKI, yielding  $\sim 6$  GBq of  $^{103}\text{Pd}$ . Post-irradiation, the foils were processed in the custom RSE via dry distillation. Under controlled thermal conditions, palladium ions volatilized selectively from rhodium, subsequently condensing onto a collection substrate. The deposited activity was recovered by washing the substrate with 2 mL HCl, followed by purification through anion-exchange chromatography. Final elution was performed with 1 mL ammonium hydroxide.

### 2.2 Preparation of $^{103}\text{Pd}$ -Labeled Chelator Complexes and Evaluation of $^{103\text{m}}\text{Rh}$ Release

Purified  $^{103}\text{Pd}$  was chelated with DOTA-TATE, DOTA-TOC, and a  $\pi$ -electron-delocalized chelator, Phthalocyanine-TATE. Complexes were immobilized on Strata-X (reverse-phase) and Strata-C18 (hydrophobic) SPE columns. Sequential elution with 0.01 M EDTA enabled statistical quantification of  $^{103\text{m}}\text{Rh}$  release, attributed to Auger electron-induced ionization and bond dissociation.

### 2.3 Chelation and In Vivo Imaging

The bifunctional chelator NOTA was conjugated to amine groups of biomolecules and human serum albumin microparticles [8, 9] (20  $\mu\text{m}$  diameter) using the NHS ester method.



**Figure 2. Chemical structure of NOTA (1,4,7-triazacyclononane-1,4,7-triacetic acid).**

Nude mice (NMRI Nu/Nu) were injected intravenously with 100  $\mu\text{L}$  (1–3 MBq) of  $^{103}\text{Pd}$ -labeled compounds. SPECT/CT scans were acquired at multiple post-injection time points. Gamma emissions of  $^{103}\text{Pd}$  were quantified using Nucline acquisition software (see Table 1), with the 20.5 keV gamma peak (20% energy window) selected for reconstruction.

**Table 1. Detectable gamma emissions and relative abundances of  $^{103}\text{Pd}$  used in SPECT imaging.**

| Name      | Peak (KeV) | Intensity |
|-----------|------------|-----------|
| Primary   | 20.50      | 76.930    |
| Secondary | 39.75      | 0.068     |
| Tertiary  | 357.45     | 0.022     |

### 3. RESULTS

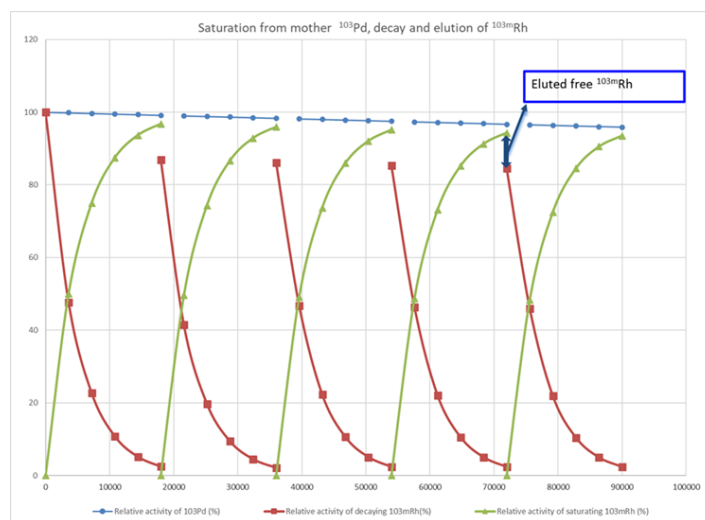
#### 3.1 Separation and Recovery Yields

The RSE achieved  $^{103}\text{Pd}$  separation efficiencies in the range of 72–91%. Subsequent recovery from the collection substrate using acidic treatment, followed by purification through anion-exchange chromatography, yielded 81–83%. These values demonstrate the feasibility of dry distillation as a high-yield, waste-minimizing alternative to conventional wet-chemistry separation approaches.

#### 3.2 Daughter Radionuclide Release

Measured  $^{103\text{m}}\text{Rh}$  release was  $10.5 \pm 2.7\%$  (Strata-X) and  $12.0 \pm 0.5\%$  (Strata-C18) for  $[^{103}\text{Pd}]\text{Pd}$ -DOTA-TOC. Comparable values were obtained for  $[^{103}\text{Pd}]\text{Pd}$ -DOTA-TATE ( $9.8 \pm 3\%$ ) and  $[^{103}\text{Pd}]\text{Pd}$ -Phthalocyanine-TATE ( $9.6 \pm 2.7\%$ ). No statistically significant differences were observed between chelators (Student's t-test,  $P > 0.28$ ).

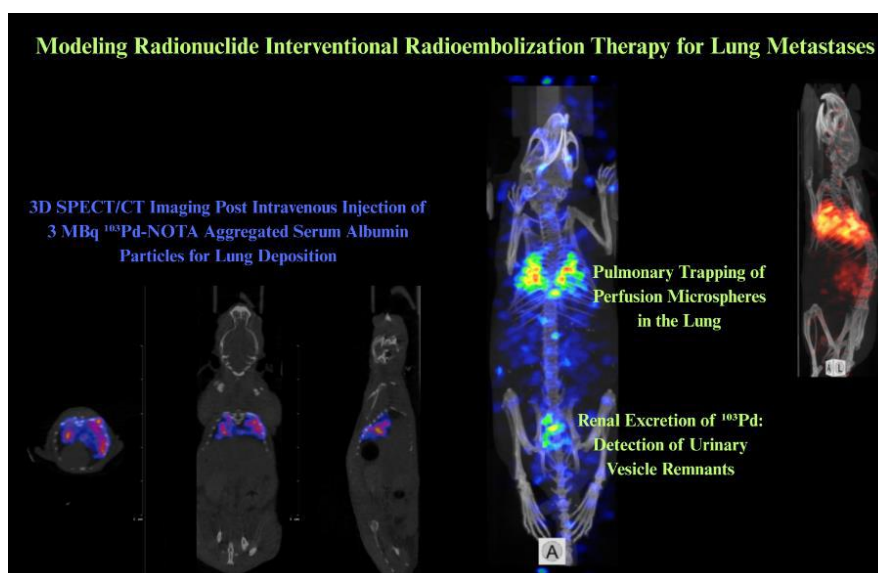
These experimental release values ( $\sim 10\%$ ) were substantially lower than theoretical predictions based on reported Auger yields ( $\sim 186\%$ ) [10], suggesting that the effective Auger electron yield in the  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  decay cascade is significantly lower than expected.



**Figure 2. Relative activity ratios of  $^{103}\text{Pd}$  and its daughter  $^{103\text{m}}\text{Rh}$  retained on the Strata-X column throughout the experimental timeline.**

### 3.3 *In Vivo* SPECT/CT Imaging of $^{103}\text{Pd}$ -Labeled Complexes

All synthesized  $^{103}\text{Pd}$  complexes exhibited efficient chelation and maintained *in vivo* radiochemical stability. SPECT/CT imaging confirmed the expected gamma emissions, with semi-quantitative uptake expressed as counts per milliliter. Serial acquisitions at 10 minutes, 1 day, and 3 days post-injection demonstrated stable labeling and consistent biodistribution. This study highlights the potential of NOTA-functionalized  $^{103}\text{Pd}$  complexes for targeted delivery in particulate radioembolization of lung metastases. Unlike conventional approaches employing Yttrium-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) or Lutetium-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) microspheres, which expose surrounding lung tissue to higher unintended radiation doses [11, 12],  $^{103}\text{Pd}$  offers the advantage of more confined dose deposition, and its Auger electron emissions enhance intratumoral energy delivery while minimizing irradiation of adjacent healthy lung parenchyma. This underscores its value as a theranostic isotope.



**Figure 3. *In vivo* SPECT/CT visualization of  $^{103}\text{Pd}$ -labeled particles in mice, illustrating biodistribution and organ-specific accumulation.**

---

#### 4. DISCUSSION

This study demonstrates that dry distillation offers an efficient and scalable strategy for separating  $^{103}\text{Pd}$  from rhodium, with separation efficiencies of 72–91% and overall recovery yields of 81–83%. These results compare favorably to conventional wet-chemistry methods, which are hindered by rhodium's inertness, high target costs, and significant waste generation. The evaluation of the in vivo generator  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  system revealed unexpectedly low daughter radionuclide release fractions ( $\sim 10\%$ ). This finding contrasts with clinically investigated radionuclide systems such as actinium-225 ( $^{225}\text{Ac}$ ) and lead-212 ( $^{212}\text{Pb}$ ), where significantly higher daughter release has been observed [13, 14]. Moreover, incorporation of  $\pi$ -electron-delocalized chelators, such as Phthalocyanine-TATE, did not mitigate release, contradicting prior hypotheses on stabilization mechanisms. These findings challenge long-standing assumptions regarding Auger- or recoil-driven dissociation mechanisms in radionuclide generator systems. Our data call for a re-evaluation of theoretical Auger electron emission probabilities, with implications for both radiochemistry and therapeutic modeling. In vivo SPECT/CT imaging confirmed the stability and biodistribution of  $^{103}\text{Pd}$ -labeled complexes. The consistent uptake observed at multiple post-injection time points demonstrates that  $^{103}\text{Pd}$  can be chelated effectively and monitored in vivo, reinforcing its theranostic potential. When considered for particulate radioembolization of lung metastases,  $^{103}\text{Pd}$  offers clear advantages over conventional  $^{90}\text{Y}$  and  $^{177}\text{Lu}$  microspheres, which have been associated with unintended radiation exposure to healthy lung tissue and, in some cases, radiation pneumonitis [11, 12]. In contrast, the subcellular-range Auger electron emissions of  $^{103}\text{Pd}$  enable enhanced intratumoral energy deposition while substantially reducing radiation dose to adjacent lung parenchyma.

Together, these results integrate radiochemistry, nuclear decay physics, and preclinical imaging, highlighting  $^{103}\text{Pd}$  as a promising candidate for highly localized targeted radionuclide therapy.

#### 5. CONCLUSION

We report a novel diffusion-driven dry distillation method for the efficient separation and recovery of  $^{103}\text{Pd}$ , achieving high yields and enabling downstream applications. In vivo studies confirmed both the stability of  $^{103}\text{Pd}$ -labeled complexes and their suitability for SPECT/CT imaging. The in vivo generator behavior of the  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  system verified the Szilárd–Chalmers effect but revealed substantially lower daughter release than theoretically predicted. This discrepancy highlights a gap between experimental data and established decay models, suggesting possible inaccuracies in current Auger electron yield estimates and warranting further investigation. This work bridges nuclear decay physics with applied radiochemistry, combining methodological innovation with fundamental insights. The successful production, separation, stable chelation, and preclinical imaging of  $^{103}\text{Pd}$ , together with its favorable radiobiological properties, underscore its potential as a clinically relevant candidate for targeted Auger electron therapy. In addition, the custom-built radionuclide separation equipment (RSE) provides a scalable and waste-minimizing alternative to wet-chemistry approaches, further advancing the practical translation of  $^{103}\text{Pd}$ -based theranostics.

#### REFERENCES

1. Gudkov, S.V., et al., *Targeted radionuclide therapy of human tumors*. International journal of molecular sciences, 2015. **17**(1): p. 33.
2. Tranel, J., et al., *Effect of microdistribution of alpha and beta-emitters in targeted radionuclide therapies on delivered absorbed dose in a GATE model of bone marrow*. Physics in Medicine & Biology, 2021. **66**(3): p. 035016.

- 
3. Falzone, N., et al., *Monte Carlo evaluation of Auger electron-emitting theranostic radionuclides*. Journal of Nuclear Medicine, 2015. **56**(9): p. 1441-1446.
  4. Sudár, S., F. Cserpák, and S. Qaim, *Measurements and nuclear model calculations on proton-induced reactions on  $^{103}\text{Rh}$  up to 40 MeV: evaluation of the excitation function of the  $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$  reaction relevant to the production of the therapeutic radionuclide  $^{103}\text{Pd}$* . Applied radiation and isotopes, 2002. **56**(6): p. 821-831.
  5. AC07607271, A., *Cyclotron produced radionuclides-physical characteristics and production methods*. Internat. Atomic Energy Agency, 2009.
  6. Nikoloski, A.N., K.-L. Ang, and D. Li, *Recovery of platinum, palladium and rhodium from acidic chloride leach solution using ion exchange resins*. Hydrometallurgy, 2015. **152**: p. 20-32.
  7. Szucs, Z., et al., *The metal rhodium does not have allotropes*. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 2010. **284**(1): p. 239-243.
  8. Schiller, E., et al., *Yttrium-86-labelled human serum albumin microspheres: relation of surface structure with in vivo stability*. Nuclear medicine and biology, 2008. **35**(2): p. 227-232.
  9. Wunderlich, G., et al., *Comparison of the stability of Y-90-, Lu-177-and Ga-68-labeled human serum albumin microspheres (DOTA-HSAM)*. Nuclear medicine and biology, 2010. **37**(8): p. 861-867.
  10. <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>.
  11. Kim, H.-C. and G.M. Kim, *Radiation pneumonitis following Yttrium-90 radioembolization: A Korean multicenter study*. Frontiers in Oncology, 2023. **13**: p. 977160.
  12. Wang, J.S., et al., *Diffuse pneumonitis after Lutetium-177-PSMA-617 treatment in a patient with metastatic castration-resistant prostate cancer*. BMJ Case Reports CP, 2024. **17**(2): p. e257772.
  13. Roscher, M., G.b. Bakos, and M. Benešová, *Atomic nanogenerators in targeted alpha therapies: Curie's legacy in modern cancer management*. Pharmaceuticals, 2020. **13**(4): p. 76.
  14. Mirzadeh, S., K. Kumar, and O.A. Gansow, *The chemical fate*
-

---

# HULLADÉK ABRONCS GUMIÖRLET ÉRTÉKNÖVELT ÚJRAHASZNOSÍTÁSA IONIZÁLÓ SUGÁRZÁS SEGÍTSÉGÉVEL

Kiss Lóránt<sup>\*1</sup>, Homlok Renáta<sup>2</sup>, Tegze Anna<sup>2</sup>, Takács Erzsébet<sup>2</sup>, Mészáros László<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

<sup>2</sup>HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Felületkémiai és Katalízis Laboratórium, Sugárkémiai csoport, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós u. 29-33.

<sup>3</sup>HUN-REN-BME Kompozittechnológia Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

## Absztrakt

Ebben a kutatásban, egy új, víz közegű sugárkezelést alkalmaztunk 0-100 kGy elnyelt dózis tartományban, amellyel abroncs gumiörlet (GTR) felülete aktiválható, annak érdekében, hogy GTR tartalmú keverékekben az adhéziót javítsuk. Kidolgoztunk továbbá egy nitrogén atmoszférában történő kezelést, hogy a belső kémiai szerkezetben bekövetkezett változásokat elkülönítsük a felületi tulajdonságoktól. A Soxhlet-extrakciós és térhálósűrűség vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy inert atmoszférában kis mértékű térhálósodás, míg víz közegben enyhe térhálóbontás megy végbe. Az oldható anyagtartalom mind a két esetben kicsi, a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiai vizsgálatok alapján a vizes sugárkezelés során új funkciós csoportok jelennek meg, míg nitrogén atmoszférában a felület változatlan marad. Ezek alapján a keverékek tulajdonságait a felületen végbement változások határozzák meg. A víz közegben besugárzott GTR-t tartalmazó keverékek szakítószilárdsága 11%-kal, szakadási nyúlása 8%-kal, míg továbbszakító szilárdsága több, mint 40%-kal nőtt. Ezek alapján elmondható, hogy a víz közegben történő sugárkezelés segítségével kiszélesíthetők a gumiörlet tartalmú vulkanizátumok felhasználási területei, így pedig a környezetben lévő hulladék abroncsok mennyisége csökkenthető.

## Abstract

In this study, a novel radiation treatment in an aqueous medium was applied in the absorbed dose range of 0–100 kGy to activate the surface of ground tire rubber (GTR), with the aim of improving adhesion in GTR containing mixtures. In addition, a treatment in a nitrogen atmosphere was performed in order to distinguish changes occurring in the bulk chemical structure from those related to the surface properties. Soxhlet and swelling analyses show minor crosslinking under inert atmosphere, while in water slight chain scission occurs and new functional groups appear, with low soluble content in both cases. Hence, the properties of the mixtures are mainly governed by surface modifications. The tensile strength of the blends containing GTR irradiated in water increased by 11%, the elongation at break by 8%, while the tear strength improved by more than 40%. These results demonstrate that radiation treatment in an aqueous medium can expand the potential applications of GTR-containing vulcanizates, thereby contributing to the reduction of waste tires in the environment.

## 1. Bevezetés

Társadalmunk egyik legnagyobb problémája a keletkező hulladékok megfelelő ártalmatlanítása és kezelése, amelyből az életútjuk végére ért műanyag termékek egy óriási részt tesznek ki. Ezt azonban nem csak a különböző csomagolóanyagok, palackok és egyszer használatos műanyag eszközök alkotják, gyakran megfélekedzünk a térhálós rendszerek (elsősorban gumik) okozta óriási problémákról, amelyek legnagyobb részét a hulladék abroncsok teszik ki [1].



---

Az abroncsokból hulladéklerakókban történő elhelyezésük során szennyező anyagok oldódhatnak ki, amelyek a talajvízbe jutva károsítják az élővilágot. A magas fűtőértékük miatt gyakran égetik őket cementgyárakban (energetikai hasznosítás), azonban a megfelelő szűrőrendszerek kialakítása drága, és a folyamat közben rákkeltő anyagok szabadulnak fel. Fontos továbbá, hogy ebben az esetben az értékes nyersanyagok elvesznek, amely kifejezetten hátrányos a körkörös gazdaság kialakítása szempontjából [2, 3]. A legjobb megoldás az lenne, ha az életútjuk végére ért abroncsok gumi frakcióját teljesen újra tudnánk hasznosítani, ezáltal egy új „életet” adva ezeknek az anyagoknak.

A hulladék gumiabroncsok anyagában történő újrahasznosítása a gumi frakció őrlésével kezdődik, amely során kis szemcseméretű abroncs gumiőrletet állítanak elő [4]. A gumiőrleményt ezt követően friss mátrixokban alkalmazzák, mint töltőanyagot. A legtöbb esetben a mátrix és a GTR közötti adhézió gyenge, így a kész anyagok tulajdonságai sem lesznek megfelelőek széleskörű alkalmazásokra. Annak érdekében, hogy az adhéziót növelni tudjuk, a fázisok közötti kompatibilitást javító technológiák kidolgozása szükséges [5].

Ezt először különböző vegyszeres kezelésekkel próbálták megoldani, ezek közé tartoztak az erős savak és oxidálószeres alkalmazása, a felület aktiválása érdekében. Ezeknek a méretnövelése nehézkes, továbbá az alkalmazott vegyszereket ártalmatlanítani kell, ami tovább növeli a költségeket, a környezeti terhelésekről nem is beszélve [6]. Lehetséges az abroncs gumiőrletek felületét aktiválni ionizáló sugárzásos módszerekkel is, így reaktív, oxigéntartalmú funkciós csoportokat felvinni arra [7].

A polimerek és ionizáló sugárzások kölcsönhatása során több, egymással versengő reakció is lejátszódik, ilyen a térhálósodás, lánc-tördelődés, ojtás és oxidáció. Utóbbi felelős a felületen bekövetkező változásokért, azonban fontos megvizsgálni azt is, hogy a sugárzás energiájának hatására a gumiőrlet belső kémiai szerkezetében milyen folyamatok és milyen mértékben játszódnak le. Ezeknek a vizsgálata fontos, ugyanis a gumiőrletben bekövetkező szelektív térháló-bontás (devulkanizáció) hatására a láncok mozgékonyabbá válnak, ami elősegíti azt, hogy jobb adhézió alakuljon ki a mátrixszal [7, 8].

Egy ilyen sugárkezelés a vizes közegben történő besugárzás, amely esetében a víz radiolízise során több, erős oxidálószer keletkezik, amelyek képesek a gumiőrlet felületét megtámadni és ott oxigéntartalmú funkciós csoportokat létrehozni [9]. Ezek feldolgozás közben képesek egy erősebb adhéziót kialakítani fázisok között. Fontos lenne megismerni azt, hogy a belső kémiai szerkezetben bekövetkezett változások ebbe milyen szinten vesznek részt. Erre kidolgoztunk egy inert (nitrogén) atmoszférában történő sugárkezelést. Ebben az esetben ugyanis nincs oxigén a rendszerben, tehát felület aktiválás sincs, viszont a gumiőrlet a megfelelő elnyelt dózist ugyan úgy megkapja, így a két hatás elválasztható.

Jelen kutatásunk célja 0-100 kGy elnyelt dózistartományban feltárni víz közegben és nitrogén atmoszférában történő sugárkezelés hatására, abroncs gumiőrlet felületén, illetve belső kémiai szerkezetében bekövetkezett változásokat. A felületen bekövetkezett változásokat Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) vizsgáltuk. A belső szerkezetet Soxhlet-extrakcióval és duzzasztásos vizsgálatokkal jellemeztük. Ezen felül, a sugárkezelt gumiőrleményeket természetes kaucsuk mátrixban alkalmazzuk, majd meghatároztuk a vulkanizátumok mechanikai (szakító- és továbbszakító) tulajdonságait.

## **2. Alapanyagok és módszerek**

### **2.1 Felhasznált anyagok**

Kutatásunk során a Hungarojet Kft. (Budapest, Magyarország) által, tehergépkocsik oldalfalából, vízsugaras őrléssel előállított abroncs gumiőrletét alkalmazzuk. A felhasznált GTR szemcseméret eloszlását BA 200N típusú szitarázóval (CISA Cedaceria Industrial, Barcelona, Spanyolország) 75, 125, 250 és 500 µm-es szitákkal határoztuk meg. A frakciók tömegaránya

---

---

a következő volt: >500  $\mu\text{m}$  (1,7%), 250–500  $\mu\text{m}$  (21,7%), 125–250  $\mu\text{m}$  (55,9%), 75–125  $\mu\text{m}$  (16,1%), <75  $\mu\text{m}$  (4,6%).

A gumikeverékek előállításához NR CV 60 kaucsukot (Sud Comoé Caoutchouc) alkalmaztuk, aktivátorként sztearinsavat (Radiacid 0444, Oleon) és cink-oxidot (ZnO WZ-1, Werco Metal). Lágyítóként paraffinos olajat (Tudalen 3036, Hansen und Rosenthal), gyorsítóként N-ciklohexil-2-benzotiazol-szulfénamidot (Rhenogran<sup>®</sup>CBS-80, Rheine Chemie) és tetrametil-tiurám-diszulfidot (Rhenogran<sup>®</sup>TMTD-70). A keverék készítés során alkalmazott töltőanyag N772-es korom (N-772 OMSK, Omsk Carbon Group) volt, míg a térhálósítószer kén (Curekind Sulphur, Ningbo Actmix Rubber Chemicals).

## **2.2 Gumiőrlemény $\gamma$ -sugárkezelése**

A gumiőrlet ionizáló sugárzással történő kezelése SLL-01 típusjelzésű, panoráma <sup>60</sup>Co sugárforrással történt, az Izotóp Intézet Kft. segítségével. A besugárzásokat szobahőmérsékleten, 2 kGy/óra dózisteljesítménnyel végeztük el víz közegben és nitrogénben, 20, 40, 60, 80 és 100 kGy elnyelt dózis mellett.

A vizes közegben történő besugárzás során a gumiőrleményt (100 g) zárható edényekbe helyeztük, majd desztillált vizet (400 ml) és 2 ml Triton X-100 (Sigma Aldrich, Missouri, USA) felületaktív anyagot adtunk hozzá, ezzel csökkentve a felületi feszültséget. Az edényekbe egy szilikon csövön keresztül folyamatos levegő buborékoltatás zajlott, így biztosítva, hogy mindig megfelelő mennyiségben legyenek jelen a radiolízis során keletkező oxidálószeresek, továbbá, hogy a GTR ne ülepedjen ki az edény aljára. A vizes szuszpenziók szűrése 615 MN redőzött szűrőpapíron keresztül történt, majd szobahőmérsékleten, levegőn szárítottuk őket, tömegállandóságig.

Az inert atmoszférában történő sugárkezelés során a GTR-t egy zárható üvegedénybe helyeztük, majd nitrogénnel öblítettük, hogy a maradék levegőt eltávolítsuk. Az üvegedények légmentesen zárhatók voltak, megakadályozva az oxigén bejutását a besugárzás közben.

## **2.3 Receptúrák és keverékkészítés**

A gumikeverék összetétele a következő volt: természetes kaucsuk (100 phr), korom (60 phr), cink-oxid (5 phr), sztearinsav (2 phr), abroncs gumiőrlet (100 phr), paraffinolaj (10 phr), N-ciklohexil-2-benzotiazol-szulfénamid (1,25 phr), tetrametil-tiurám-diszulfid (0,6 phr) és kén (0,6 phr).

A gumikeverékeket Brabender Plasti-Corder (Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Németország) típusú berendezéssel állítottuk elő. A keverőn a zónahőmérsékletek minden esetben 50 °C-ra voltak állítva, illetve a maximálisan alkalmazott fordulatszám 40 1/perc volt. A kutatás során egy 50 cm<sup>3</sup>-es kamrát alkalmaztunk, 70%-os kitöltöttség mellett. Az utolsó alkotó hozzáadása után a keveréket még 2 percig kevertettük a megfelelő homogenitás elérése érdekében.

A belső keverőben előállított keverékekből Teach-Line Platen Press 200E (Dr. Collin GmbH, München, Németország) típusú hidraulikus prés segítségével állítottuk elő a vulkanizált lapokat (200 mm x 200 mm x 2 mm). A préselést 160 °C-on, 2,8 MPa nyomáson végeztük, a vulkanizációs görbékből kapott t<sub>90</sub>-ig.

## **2.4 Vizsgálati módszerek**

### **2.4.1 Gumiőrlemény vizsgálati módszerei**

A vizsgálatokat egy Bruker Tensor II (Bruker Corporation, Billerica, USA) FTIR berendezésen végeztük el 600-2000 cm<sup>-1</sup> hullámhossz tartományban, csillapított teljes reflexió (ATR) módban, gyémánt kristállyal. A kiértékelések során a kezeletlen (referencia) minta spektrumát kivontuk a sugárkezelt minták spektrumából, így ún. különbségspektrumokat

---

---

előállítva. Ezáltal a felületen bekövetkezett kémiai változások sokkal jobban láthatóak, megkönnyítve ezek azonosítását.

A gumiőrlemények oldható anyagtartalmát (sol-tartalom) Soxhlet-extrakció segítségével határoztuk meg. A méréseket az ISO 1407:2023 szabvány alapján végeztük el. A vizsgálatok során oldószerként toluolt használtunk, az extrakció időtartama 16 óra volt, majd a mintákat tömegállandóságig szárítottuk 85 °C-on. A gumiőrlemény extrakció előtti és utáni kiszáritott tömegének az ismeretében az oldható anyag tartalom kiszámítható.

A térhálósűrűség meghatározását az ASTM D 6814-02 szabvány alapján végeztük, duzzasztásos módszerrel, a Flory-Rehner egyenlet [10] segítségével. A minták egyensúlyi duzzasztása toluolban történt 72 óráig szobahőmérsékleten. Ezt követően papírtörülők segítségével szárítottuk a duzzadt őrleményeket, hogy a felületükön lévő oldószer tömegét ne mérjük bele a duzzadt minta tömegébe. Ezt követően 85 °C-on szárítottuk az anyagokat tömegállandóságig, majd lemértük a száraz minták tömegét. A gumi térfogatarányát a duzzadt rendszerben, az Ellis és Welding [11] egyenlet segítségével határoztuk meg. Az oldószer moláris térfogata 106,27 cm<sup>3</sup>/mol, míg a sűrűségét 0,867 g/cm<sup>3</sup>-nek vettem.

#### **2.4.1 Vulkanizátumok vizsgálati módszerei**

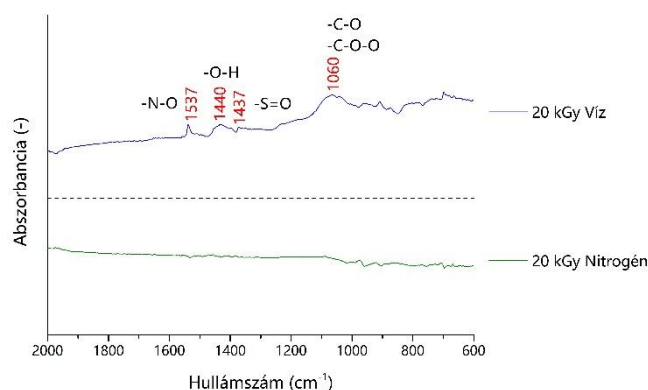
A szakítóvizsgálatokat a DIN 53504 szabvány alapján végeztük, 60 mm-es befogási hosszt és 500 mm/perc szakítási sebességet alkalmazva, 1-es típusú próbatesteken. A továbbszakító vizsgálatokat ASTM D624 szabvány szerint végeztük, 56 mm-es befogási hosszt és 500 mm/perc szakítási sebességet alkalmazva, C-típusú próbatesteken. A továbbszakító vizsgálatok esetén egy szike segítségével a próbatesteken 1 mm-es bemetszést ejtettünk. A méréseket szobahőmérsékleten végeztük, egy Zwick Z005 (Zwick GmbH, Ulm, Németország) típusú szakítógépen és anyagonként 4-4 párhuzamos mérést hajtottunk végre.

### **3. Eredmények**

#### **3.1 Gumiőrleményben, illetve annak felületén végbement változások**

Az 1. ábra a víz közegben, illetve nitrogén atmoszférában besugárzott gumiőrlemények FTIR különbség spektrumait mutatja. A 20 kGy-el, víz közegben kezelt GTR spektrumán elsősorban N–O csoportokat, hidroxilcsoportokat (O–H), valamint szulfonátcsoportokat (S=O) láthatunk. Egy másik jelentős csúcs a 1050–1200 cm<sup>-1</sup> tartományban figyelhető meg, amely főként a C–O csoportok, valamint az ozonid- és peroxid funkciós csoportok rezgéseire köthető. Ezek képesek a feldolgozás közben erősebb adhéziós kapcsolatot kialakítani a fázisok között.

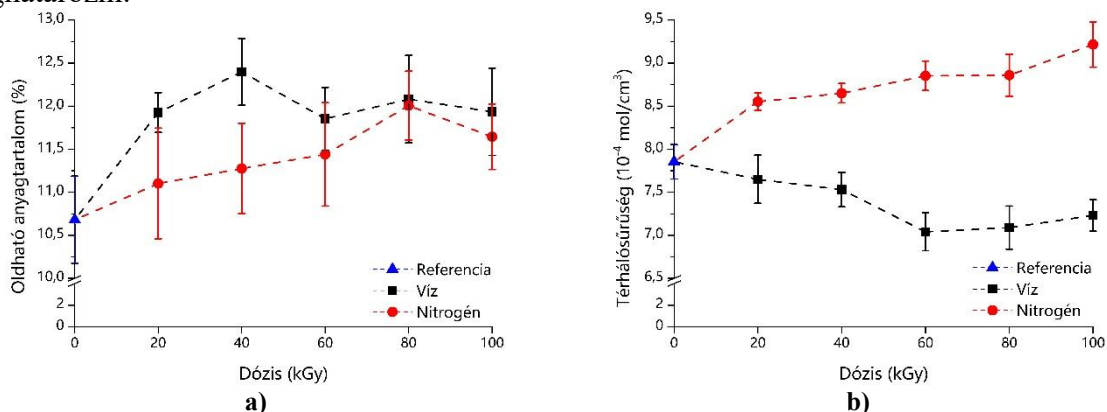
A nitrogén atmoszférában kezelt gumiőrlet különbség spektrumában ezek az oxigéntartalmú csoportok nem jelentek meg. Ebben az esetben a kezelt GTR spektruma gyakorlatilag megegyezett a referenciával, így a különbség spektrum egy közel egyenes vonalat adott. Ezzel tehát igazolódott a feltételezésünk: a GTR felülete víz közegben történő besugárzás során aktiválódott, míg nitrogén atmoszférában az oxigén hiánya miatt nem alakultak ki új oxigéntartalmú funkciós csoportok a felületen.



**1. ábra A víz közben és nitrogén atmoszférában sugárkezelt gumiőrletek FTIR spektrumai**

A Soxhlet extrakciós és térhálósűrűség mérések eredményeit a 2. ábra mutatjuk be. A sugárkezelés hatására látható, hogy a referencia gumiőrlethez képest az oldható anyagtartalom növekedett, ami arra utal, hogy a polimer láncokról kis molekulatömegű részek szakadtak le. Ez a víz közegben történő sugárkezelés esetén nagyobb volt, ami arra utal, hogy a radiolízis során keletkezett köztitermékek képesek voltak megtámadni a főlánc kovalens kötéseit, onnan kisebb részeket leszakítani. Nitrogén atmoszférában ez a hatás kisebb volt, itt a keletkezett gyökök képesek voltak rekombinálódni, továbbá mivel nem volt oxigén a rendszerben, ezért ezzel sem tudtak reagálni. Fontos megjegyezni, hogy mind a két esetben a különbségek nagyon kicsik, legnagyobb esetben is ~2%, ami csekélynek mondható.

Ezzel párhuzamosan a térhálósűrűség mérés eredményeit megvizsgálva, két nagyon eltérő reakció dominált. A víz közegben történő sugárkezelés hatására a térhálósűrűség az elnyelt dózissal csökkent egészen 60 kGy-ig, a referenciához képest 8,9%-kal, ezt követően azonban minimálisan emelkedett szórásmezőn belül. Látható tehát, hogy a víz közegben történő besugárzás során a térhálókötések is képesek voltak felszakadni, azonban más devulkanizációs módszerekhez képest ez csekély. Ebben az esetben valószínűleg a sugárzás energiája elsősorban a víz radiolízisére fordítódott és a keletkezett reaktív intermedierek pedig a GTR felületét támadták meg. Ezzel párhuzamosan, inert atmoszférában a térhálósűrűség növekedett az elnyelt dózissal, a legnagyobb értéket a 100 kGy-es minta esetén mértük, itt a referenciához képest több, mint 17%-kal nőtt a térhálósűrűség. Az eredmények alapján látható tehát, hogy inert atmoszférában térhálósodás zajlik le, míg víz közegben kis mértékű szelektív lánctörédelődés. Fontos megjegyezni, hogy mind a kettő hatás nagyon kicsi más módszerekhez képest, így a vulkanizátumok tulajdonságait elsősorban a felületen végbement változások fogják meghatározni.

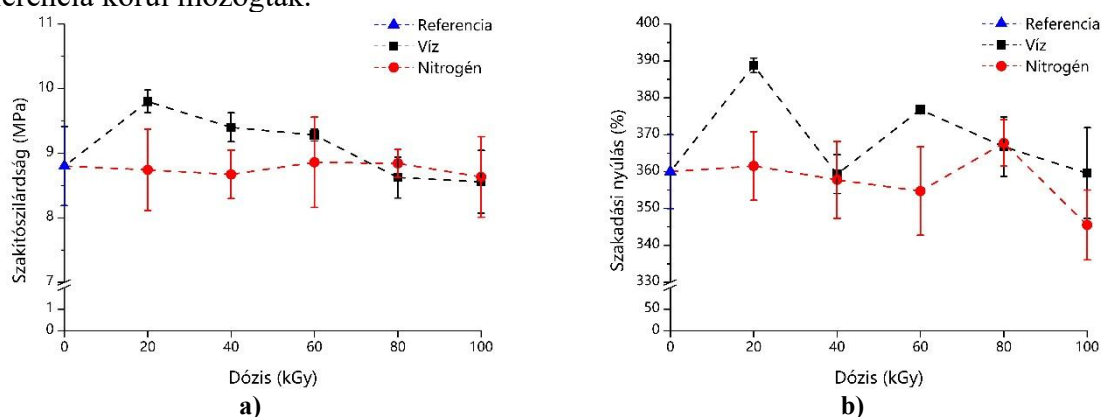


**2. ábra A vizsgált gumiőrlete oldható anyagtartalma a); és térhálósűrűsége b)**

### 3.1 Gumiőrlet tartalmú vulkanizátumok tulajdonságai

A szakítóvizsgálat eredményeit az 3. ábra foglaltuk össze. A víz közegben történő sugárkezelés hatására a vulkanizátumok szakítószilárdsága növekedett. A legnagyobb eredményt 20 kGy elnyelt dózison kaptuk, ebben az esetben a szilárdság több, mint 11%-kal nőtt. Ez az erősebb adhéziós kapcsolatnak köszönhető a fázisok között, a felületen lévő kémiai aktív funkciók csoportok feldolgozás során képesek voltak erősebb kapcsolatot kialakítani a mátrixszal, így növelve a szilárdságot, ami későbbi felhasználás szempontjából előnyös. Ezzel párhuzamosan a nitrogén atmoszférában történő sugárkezelés hatására a szakítószilárdság nem változott, a referencia körül mozgott. Ebben az esetben a felület aktiválása hiánya miatt nem tudott erősebb kapcsolat kialakulni a fázisok között.

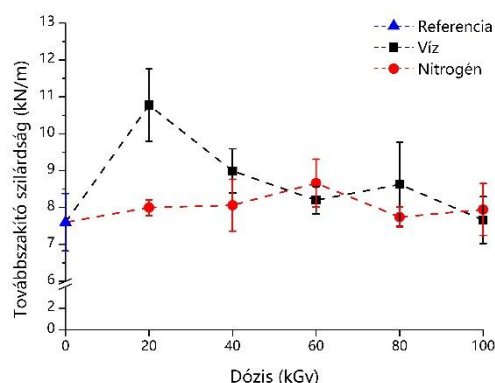
Hasonló következtetéseket lehet levonni a szakadási nyúlás eredményei esetén is, látható ugyanis, hogy a víz közegben történő sugárkezelés hatására a szakadási nyúlás a referenciához képest növekedett, a legjobb eredményt szintén 20 kGy esetén kaptuk, itt 8%-kal nőtt. A nitrogén atmoszférában, a nyúlási értékek a szakítószilárdsághoz hasonlóan a referencia körül mozogtak.



**3. ábra A GTR tartalmú vulkanizátumok szakítószilárdsága a); és szakadási nyúlása b)**

Az eredmények alapján tehát kijelenthető, hogy a víz közegben történő kezelés hatására, a felületen létrejött aktív csoportok képesek voltak egy erősebb adhéziós kapcsolatot kialakítani a fázisok között. Ennek eredményeképpen a vizsgált mechanikai tulajdonságok növekedtek, míg a nitrogén esetében a felület aktiválás hiánya miatt a vulkanizátumok tulajdonságai nem változtak.

A továbbszakító szilárdság (4. ábra) töltött rendszerek esetén jól jellemzi a fázisok közötti adhézió erősségét, ugyanis a repedés a leggyengébb helyen terjed, ami esetünkben a mátrix – gumiörlemény fázishatár. Víz közegben történt sugárkezelés hatására látható, hogy a továbbszakító szilárdság 20 kGy esetén ugrásszerűen megnőtt, több, mint 40%-kal, ami jelentősnek mondható. Ez a víz radiolízise során keletkező oxidatív intermedierek által létrehozott aktív csoportoknak volt köszönhető, amelyek a feldolgozás során képesek voltak egy sokkal erősebb adhéziót kialakítani a fázisok között, így növelve a továbbszakító szilárdságot. Ezzel párhuzamosan, a nitrogén atmoszférában kezelt GTR-t tartalmazó vulkanizátumok továbbszakító szilárdsága nem változott jelentősen, ebben az esetben a felületkezelés hiánya nem tudta a kompatibilitást jelentősen javítani.



4. ábra A GTR tartalmú vulkanizátumok továbbszakító szilárdsága

#### 4. Összefoglalás

Napjainkban az életútjuk végére ért abroncsok jelentős környezeti problémát jelentenek, és a körforgásos gazdaságba való beillesztésük még nem megoldott, ehhez az anyagában történő újrahasznosítás megvalósítása szükséges. Ennek érdekében kidolgoztunk egy újfajta, víz közegű sugárkezelést, amellyel hulladék gumiőrlemények felülete aktiválható, továbbá egy inert atmoszférás kezelést, hogy külön tudjuk választani a belső szerkezetben végbement változásokat a felülettől.

Az FTIR vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy víz közegben történő sugárkezelés hatására a felületen oxigéntartalmú funkciós csoportok jelennek meg, míg nitrogén atmoszférában a felület kémiai szerkezete változatlan marad. Ezzel párhuzamosan a belső kémiai szerkezetben szelektív térhálóbontás játszódik le vízben, míg inert atmoszférában térhálósodás. Mind a két esetben ezeknek a mértéke csekély, továbbá az oldható anyagtartalom is kicsi, ezért a vulkanizátumok tulajdonságainak változásaiért a felületi funkciós csoportok a felelősek.

A víz közegben történő sugárkezelés hatására a vulkanizátumok mechanikai tulajdonságai a felhasználás szempontjából javultak, a legjobb eredményeket 20 kGy esetén érték el, ahol a szakítószilárdság 11%-kal, a szakadási nyúlás 8%-kal, míg a továbbszakító szilárdság több, mint 40%-kal növekedett. Ezzel szemben a nitrogén atmoszférában besugárzott GTR-t tartalmazó minták mechanikai tulajdonságai nem változtak.

Az eredmények alapján tehát kijelenthető, hogy a víz közegben történő sugárkezelés esetén a felületen végbement változások (aktiválás) felelősek a vulkanizátumok mechanikai tulajdonságban bekövetkezett előnyös változásaiért. Ennek a kezelésnek az alkalmazásával az anyagok felhasználási területei kiszélesíthetők, ezáltal a környezetben lévő gumi hulladék mennyisége csökkenthető.

#### KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A projekt megvalósítása a Magyarország Kulturális és Innovációs Minisztériuma, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával történt, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kiadott támogatási okirat alapján (2023-1.2.1-ERA\_NET-2023-00003). A szerzők köszönetüket fejezik ki továbbá a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségnek (IAEA, Ausztria) a CRP (Coordinated Research Project) keretében nyújtott anyagi támogatásért is.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Fazli A., Rodrigue D.: Recycling waste tires into ground tire rubber (gtr)/rubber compounds: A review. *Journal of Composites Science*, **4**, 103-146 (2020).
- [2] Abbas-Abadi M. S., Kusenbergh M., Shirazi H. M., Goshayeshi B., Van Geem K. M.: Towards full recyclability of end-of-life tires: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, **374**, 134036 (2022).

- 
- [3] Valentini F., Pegoretti A.: End-of-life options of tyres. A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **5**, 203-213 (2022).
- [4] Xiao Z., Pramanik A., Basak A. K., Prakash C., Shankar S.: Material recovery and recycling of waste tyres-a review. *Cleaner Materials*, **5**, 100115 (2022).
- [5] Liu S., Peng Z., Zhang Y., Rodrigue D., Wang S.: Compatibilized thermoplastic elastomers based on highly filled polyethylene with ground tire rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, **139**, e52999 (2022).
- [6] Phiri M. M., Phiri M. J., Formela K., Hlangothi S. P.: Chemical surface etching methods for ground tire rubber as sustainable approach for environmentally-friendly composites development-a review. *Composites Part B: Engineering*, **204**, 108429-108516 (2021).
- [7] Ponomarev A. V., Gohs U., Ratnam T. C., Horak C.: Keystone and stumbling blocks in the use of ionizing radiation for recycling plastics. *Radiation Physics and Chemistry*, **201**, 110397 (2022).
- [8] Ponomarev A. V.: Radiolysis as a powerful tool for polymer waste recycling. *High Energy Chemistry*, **54**, 194-204 (2020).
- [9] Kiss L., Mészáros L.: Recycling waste tire rubber through an innovative water-medium ionizing radiation treatment: Enhancing compatibility and mechanical performance. *Radiation Physics and Chemistry*, **216**, 111475 (2024).
- [10] Flory P. J., Rehner J. J.: Statistical mechanics of cross-linked polymer networks ii. Swelling. *The Journal of Chemical Physics*, **11**, 521-526 (1943).
- [11] Ellis B., Welding G. N.: Estimation, from swelling, of the structural contribution of chemical reactions to the vulcanization of natural rubber. Part ii. Estimation of equilibrium degree of swelling. *Rubber Chemistry and Technology*, **37**, 571-575 (1964).

---

# DIFFÚZIÓS ÉS ADSZORPCIÓS VIZSGÁLATOK AGYAG-KETTŐSHIDROXID MINTÁKBAN RADIOIZOTÓPOS NYOMJELZÉSSSEL

Kovács Eszter Mária, Kónya József, M. Nagy Noémi

*Debreceni Egyetem TTK Fizikai Kémiai Tanszék Imre Lajos Izotóplaboratórium, 4032 Debrecen Egyetem tér 1.*

## Absztrakt

A kutatás célja réteges kettőshidroxidokkal (LDH) módosított bentonit alapú kompozitok előállítása és radionuklidok migrációjának vizsgálata volt. MgCe- és MgAl-LDH-t tartalmazó bentonit hibrideket állítottam elő koprecipitációs módszerrel, majd szerkezetüket SEM-EDS, XRPD, FT-IR és XPS mérésekkel jellemeztem. A  $^{36}\text{Cl}^-$  és  $^{137}\text{Cs}^+$  ionok migrációs cellákban tanulmányoztam, a látszólagos diffúziós együtthatót Fick II. törvényével határoztam meg. Az eredmények alapján a MgAl-LDH bentonit hibrid mutatta a legkedvezőbb diffúziós és szorpciós tulajdonságokat, így alkalmas lehet mérnöki gátként való alkalmazásra radioaktív hulladékok hosszú távú biztonságos tárolásában.

## Abstract

This study focused on the synthesis of bentonite-based composites modified with layered double hydroxides (LDH) and the investigation of radionuclide migration. MgCe- and MgAl-LDH bentonite hybrids were prepared via coprecipitation and characterized by SEM-EDS, XRPD, FT-IR, and XPS analyses. The migration of  $^{36}\text{Cl}^-$  and  $^{137}\text{Cs}^+$  ions was examined in migration cells, and the apparent diffusion coefficients were determined using Fick's second law. Results demonstrated that the MgAl-LDH bentonite hybrid exhibited the most favorable sorption and diffusion properties, indicating its potential application as an engineered barrier material for the safe long-term disposal of radioactive waste.

## 1. BEVEZETÉS

A radionuklidok szorpciója alapvető szerepet játszik a radioaktív hulladékok geológiai ártalmatlanítása, valamint a környezet- és víztisztítási eljárások biztonságosságának növelése szempontjából. A talajvízben oldott radionuklidok migrációját nagymértékben befolyásolja azok ásványi felszíneken történő megkötődése, amely csökkentheti mobilitásukat és környezeti kockázatukat [1-2].

A rendelkezésre álló eltávolítási módszerek közül a szorpció egyszerűsége és gazdaságossága miatt kiemelt jelentőségű [3-4]. A bentonit, amelynek fő ásványa a montmorillonit, elsősorban kationok szorpciójára alkalmas, míg a réteges kettőshidroxidok (LDH-k) pozitív rétegtöltésük révén anionok megkötésére használhatók. Mivel természetes vizes rendszerekben a kationos és anionos radionuklidok együttesen fordulnak elő, olyan hibrid szorbensek fejlesztése indokolt, amelyek mindkét szennyezőtípus immobilizálására képesek.

A Debreceni Egyetem TTK Fizikai Kémiai Tanszékén végzett kutatások [5-10] célja bentonit-LDH kompozitok előállítása és szerkezetük, valamint szorpciós hatékonyságuk vizsgálata. Az anyagok jellemzése korszerű analitikai módszerekkel (XRPD, SEM-EDX, FT-IR, XPS) történik, amely megalapozhatja radionuklidok immobilizálására alkalmas, új generációs szorbensek fejlesztését és hozzájárulhat a radioaktív hulladékkezelés környezeti biztonságának növeléséhez.



---

## 2. KÍSÉRLETI ELJÁRÁS

A MgCe LDH és az MgAl LDH előállítása koprecipitációs módszerrel történt,  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merck, 98,5%),  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (VWR, 98%)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Alfa Aesar, 98%) vizes oldatainak felhasználásával. A szintézis során a pH-t  $10 \pm 0,5$  értéken tartottuk  $1 \text{ mol/dm}^3$  NaOH-oldattal, majd az elegyet fokozatosan  $45^\circ\text{C}$ -ról  $90^\circ\text{C}$ -ra hevítve, folyamatos kevertetés mellett reagáltattuk. A kapott csapadékot vákuumszűréssel választottuk el, többszörösen ioncserélt vízzel és etanollal mostuk, majd  $60^\circ\text{C}$ -on szárítottuk és porítottuk. A bentonit-LDH kompozitok előállítása hasonló eljárással történt, Ca-bentonit (Istenmezeje) jelenlétében. A szintézis során a bentonit szuszpenzióhoz a megfelelő fémnitrátokat (Mg-Ce, illetve Mg-Al) adagoltuk, a pH-t NaOH-oldattal  $10 \pm 0,5$ -re állítottuk, majd  $90^\circ\text{C}$ -on, 2 óras kevertetés mellett végeztük a reakciót. A kapott termékeket szűrés, mosás és  $90$ – $95^\circ\text{C}$ -on történő szárítás után porítottuk.

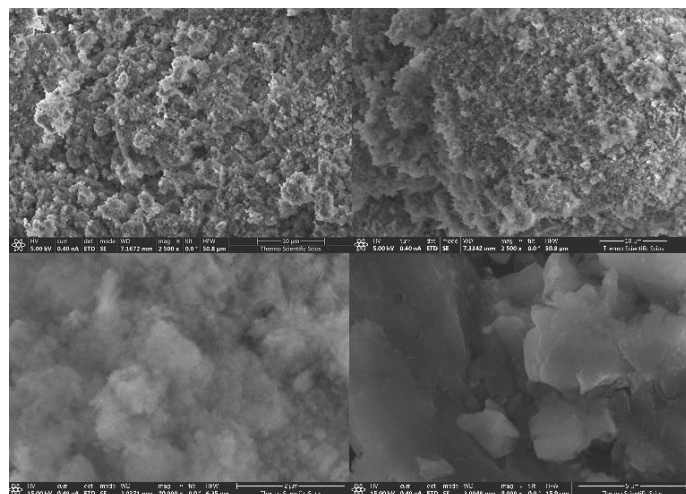
A szorbensek morfológiáját és elemanalízisét pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM, JEOL IT500HR) és energia-diszperzív röntgenanalízissel (EDX, JEOL) vizsgáltuk. Az ásványos összetételt röntgen-pordiffrakcióval (XRPD, Philips PW1710, Cu  $K\alpha$  sugárzás) határoztuk meg. A szmektit kimutatására Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiát (FT-IR, Perkin-Elmer Spectrum 3,  $4000$ – $650 \text{ cm}^{-1}$ ) alkalmaztunk, míg a Ce oxidációs állapotát fotoelektron-spektroszkópiával (XPS, KRATOS XSAM 800, Mg/Al kettős anód) azonosítottuk.

A  $^{36}\text{Cl}^-$  és  $^{137}\text{Cs}^+$  migrációs vizsgálatait speciális migrációs cellákban végeztük. Három cellát "szendvics" szerkezetben állítottunk össze a cella közepébe két MgCe LDH közé került MgCe LDH-bentonit kompozit minta pasztillát helyeztünk. További 2 cellát MgCe-LDH-dal töltöttem meg, végül 2 cellát MgAl-LDH-bentonit kompozittal állítottam össze. A pasztillák mérete:  $\sim 5 \text{ mm}$  vastag,  $\sim 25 \text{ mm}$  átmérőjű. A cellákban elhelyezett pasztillákat  $150 \text{ bar}$  nyomáson állítottuk elő, és mindkét oldalára  $0,45 \mu\text{m}$  pórusméretű nylon membránt illesztettünk. A kísérletek előtt a pasztillákat háromszor desztillált vízben duzzasztottuk,  $\sim 1$  hónapig. A donor cellában ezután  $^{36}\text{Cl}^-$  ( $t_{1/2} = 3 \times 10^5 \text{ év}$ ,  $2,75 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ ) vagy  $^{137}\text{Cs}^+$  ( $t_{1/2} = 30,17 \text{ év}$ ,  $1 \times 10^{-10} \text{ mol/dm}^3$ ,  $1 \text{ kBq/kísérlet}$ ) oldatot alkalmaztunk. Meghatározott időközönként  $0,5 \text{ ml}$  mintát vettünk mindkét cellából, amelyet ioncserélt vízzel pótolunk; a minták radioaktivitását folyadékszintillációs spektrométerrel (Tri-Carb 4810 TR) mértük. A két izotóppal végzett kísérletek között a cellát vízzel átmostuk a keresztkontamináció elkerülése érdekében. A kísérletek lezárultával a pasztillákat szakaszokra bontva vizsgáltuk: a  $^{137}\text{Cs}$  aktivitását gamma-spektrometriával, a  $^{36}\text{Cl}$  aktivitását folyadékszintillációs módszerrel határoztuk meg.

## 3. EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

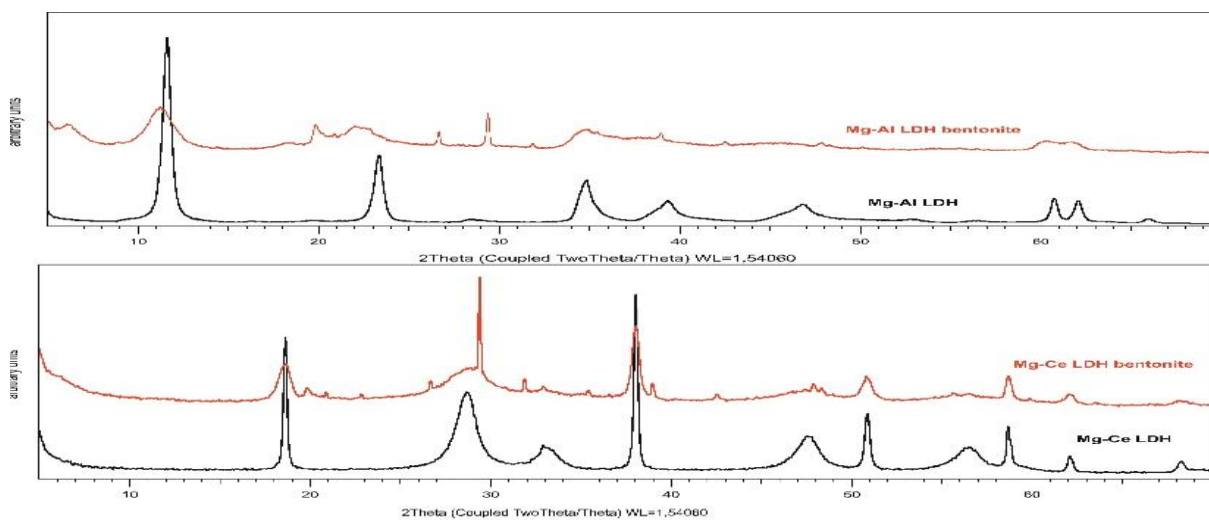
### 3.1. A szorbensek szerkezetvizsgálata

Az 1. ábrán láthatóak a 2. fejezetben előállított szorbenseknek a SEM képei. Megfigyelhető a montmorillonitra jellemző felépítés, valamint a beépült LDH lemezek. Az MgCe LDH fő alkotói: Mg ( $4,3\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ), Ce ( $4,6\text{E-}04 \text{ mol/g}$ ), O ( $3,3\text{E-}02 \text{ mol/g}$ ). Az MgCe LDH tartamú bentonit hibrid alkotói: Mg ( $1,2\text{E-}02 \text{ mol/g}$ ), Ce ( $3,1\text{E-}04 \text{ mol/g}$ ), O ( $3,2\text{E-}02 \text{ mol/g}$ ), Si ( $1,9\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ). Az MgAl LDH alkotói: Mg ( $8,4\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ), Al ( $2,9\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ), O ( $4,2\text{E-}02 \text{ mol/g}$ ). Végül, az MgAl LDH tartalmú bentonit hibrid alkotói: Mg ( $8,2\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ), Al ( $2,5\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ), O ( $3,9\text{E-}02 \text{ mol/g}$ ), Si ( $1,6\text{E-}03 \text{ mol/g}$ ). A morfológiai kép és az összetétel alapján elmondható, hogy sikeresen előállítottam a szorbenseket.



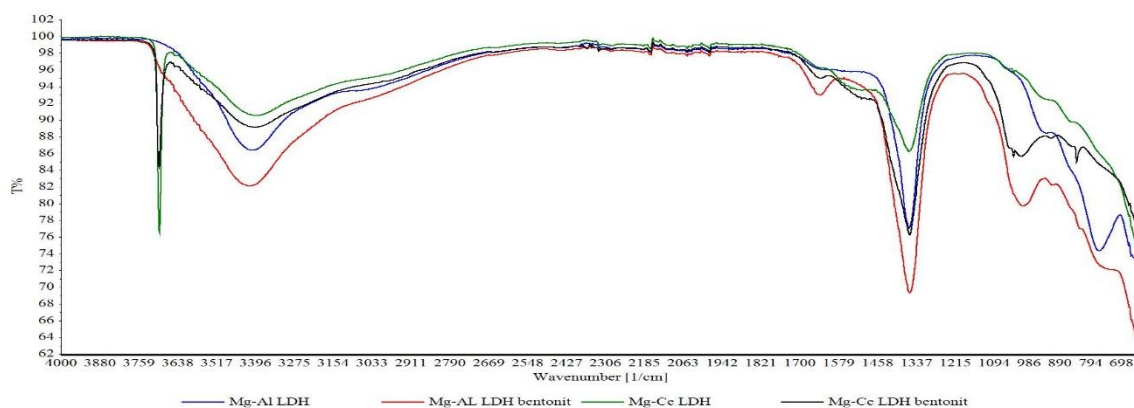
**1. kép: A szorbensek SEM képei: A bal felső képen a MgCe-LDH-B kompozit, A jobb felső képen a MgCe-LDH, A bal alsó képen a MgAl-LDH-B és a jobb alsó képen a MgAl-LDH látható**

A 2. ábra bal oldali röntgendiffraktogramján a MgCe LDH-t és a MgCe LDH tartalmú bentonit hibridet mutatom be. A MgCe LDH ásványos összetétele: 71 m/m% brucit, 29 m/m% cerianit. Ezzel szemben a MgCe LDH tartalmú bentonit hibrid mintában a montmorillonitra jellemző 001-es reflexió kb. 6°-nál eltűnik, de 20°, 35°, és 55°-nál látható a montmorillonitra jellemző 110-ás reflexió kis intenzitással. A hibrid jellemző ásványa a brucit (63 m/m%) és a cerianit (23 m/m%), amelyek bizonyítják, hogy sikerült előállítani a hibrid anyagot. A 2. ábra jobb oldali röntgendiffraktogramja mutatja be a MgAl LDH-t és a MgAl LDH tartalmú bentonit hibridet. A MgAl LDH ásványos összetétele alapján 89 m/m% hidrotalcitot tartalmaz. A MgAl LDH tartalmú bentonit hibrid ásványos összetétele: szmektit (7 m/m%) és hidrotalcit (73 m/m%). Tehát a MgAl LDH tartalmú bentonit hibridet eredményesebben sikerült előállítani.



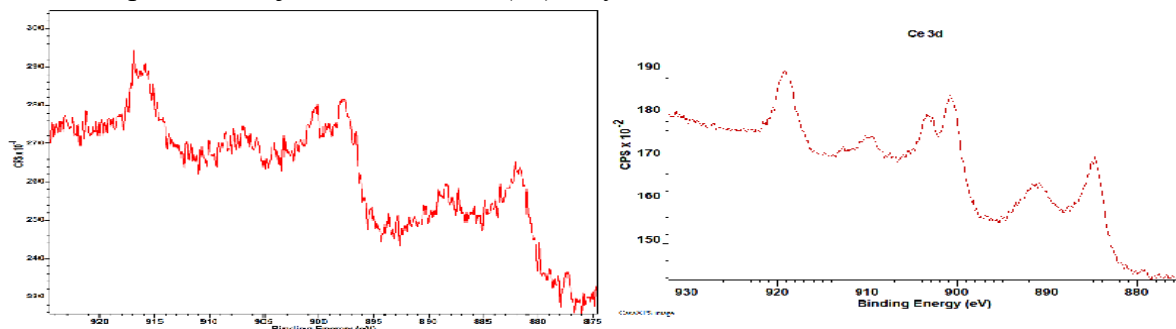
**2. kép: A MgAl LDH és MgAl LDH tartalmú bentonit hibrid (felső), valamint MgCe LDH, MgCe LDH tartalmú bentonit hibrid (alsó) XRPD diffraktogramjai**

FT-IR mérést alkalmaztam a szmektit jelenlétének bizonyítására (3. ábra), mivel az XRPD mérés nem mutatta mindenhol a szmektit jelenlétét, ezért szükséges volt ezt a mérést is alkalmazni. Az eredményekből látszik, hogy a bentonitot tartalmazó mintákban jelen vannak a szmektitek jellemző Si-O, Si-O-Si rezgések 1000-1150  $\text{cm}^{-1}$  között, így elmondható, hogy a szmektit szerkezete megmaradt a hibrid mintákban.



2. ábra: A négy szorbens FT-IR spektruma. **MgAl-LDH**, **MgAl-LDH bentonit tartalmú hibrid**, **MgCe-LDH**, **MgCe-LDH bentonit tartalmú hibrid**

XPS mérést használtam a cérium oxidációs állapotának meghatározására (4.ábra). Az erre kapott eredményt egy referenciaspektrummal vettem össze (<https://www.thermofisher.com/hu/en/home/materials-science/learning-center/periodic-table/lanthanide-rare-earth/cerium.html>), így megállapítható, hogy a mintában a Ce(IV) oxidációs állapotban van jelen, a kívánt Ce(III) helyett.



3 ábra: Bal oldalt látható a Ce 3d spektruma a cériumot tartalmazó mintákban, jobb oldalt pedig a felhasznált referenciaspektrum

### 3.2.A $^{137}\text{Cs}^+$ - és a $^{36}\text{Cl}^-$ ionok migrációjának eredménye

A  $^{36}\text{Cl}^-$  és  $^{137}\text{Cs}^+$  -ionok esetében a látszólagos migrációs együtthatót a Fick II. törvényének, a migrációs cellákra adaptált megoldásával [8-10], a 'Scientist' kiértékelő szoftver alkalmazásával számítottam. A migrációs együttható megállapításához hét cellában végeztem a kísérleteket. Az 1. táblázatban foglaltam össze a  $^{36}\text{Cl}^-$ -ionra és a  $^{137}\text{Cs}^+$ -ionra kapott migrációs együtthatók értékeit. A kapott adatok szerint a klorid- és céziumionok diffúziós viselkedése jelentősen eltér: a két ion migrációs együtthatói között körülbelül két nagyságrendnyi különbség mutatkozott. A kationok lassabb vándorlása a szorpciós kölcsönhatásokkal hozható összefüggésbe. Az eredmények összhangban állnak Nagy [8] és Kovács [10] korábbi megfigyeléseivel.

|                | $^{36}\text{Cl}^-$    |          | $^{137}\text{Cs}^+$   |          |
|----------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
|                | D [m <sup>2</sup> /s] | Hiba [±] | D [m <sup>2</sup> /s] | Hiba [±] |
| 1. „szendvics” | 6,08E-12              | 6,31E-13 | 1,84E-13              | 2,01E-14 |
| 2. „szendvics” | 5,72E-12              | 6,01E-13 | 1,69E-13              | 1,18E-14 |
| 3. „szendvics” | 1,7E-11               | 1,40E-12 | 1,97E-13              | 6,84E-14 |
| 4.-5. MgCe LDH | 6,4E-12               | 5,96E-13 | 1,07E-10              | 6,73E-11 |

|                                         |         |          |          |          |
|-----------------------------------------|---------|----------|----------|----------|
| 5.-6. MgAl LDH tartalmú bentonit hibrid | 2,6E-12 | 2,41E-13 | 1,60E-14 | 8,73E-16 |
| MgCe LDH tartalmú bentonit hibrid       | 5,3E-12 | 2,4E-13  | 4,1E-14  | 2,6E-16  |
| Ca-bentonit                             | 1,7E-12 | -        | -        | -        |
| La-bentonit                             | 4,8E-12 | 9,5E-13  | 1,4E-14  | 6,3E-15  |
| Pr-bentonit                             | 8,4E-12 | 9,2E-15  | 2,9E-14  | 3,6E-15  |

#### 1. táblázat: Különböző szorbensek meghatározott klorid- és céziumionok migrációs együtthatói

Az összehasonlításból kitűnik, hogy MgAl LDH-t tartalmazó bentonit hibrid bizonyult a leghatékonyabbnak, mivel mind diffúziós, mind szorpciós szempontból kedvezőbb értékeket mutatott. A „szendvics” elrendezésű minták esetében a szerkezeti kialakítás nem eredményezett szignifikáns javulást az anionok migrációjának gátlásában. A MgCe LDH önmagában nem mutatott kielégítő kationmegkötő képességet, viszont bentonittal kombinálva a hatékonysága javult. Továbbá, a legjobb tulajdonságokkal a MgAl LDH tartalmú bentonit hibrid rendelkezik, ugyanis ebben a szorbensben javult a kloridionok megkötése.

Összességében a vizsgálatok azt mutatják, hogy az LDH-bentonit hibrid anyagok alkalmasak mérnöki gátként való felhasználásra, mivel mind az anionos, mind a kationos radionuklidok vándorlását képesek lassítani, ezáltal mérsékelve a környezeti kockázatokat.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok során sikeresen előállítottam a MgCe- és MgAl tartalmú bentonit hibridet, amelynek szerkezetét SEM-EDS, XRD, XPS, FT-IR mérésekkel igazoltam.

A  $^{36}\text{Cl}^-$  és  $^{137}\text{Cs}^+$ -ionok migrációs vizsgálatai kimutatták, hogy az LDH önmagában nem megfelelő szorbens, hatékonysága bentonittal kombinálva jelentősen növelhető.

Az eredmények alapján elmondható, hogy az LDH tartalmú bentonit hibrid alkalmas mérnöki gátként való alkalmazásra, mert képes megkötni a radioizotópokat, ezáltal megakadályozni a környezetbe jutásukat. A kloridion megkötése azonban továbbfejlesztést igényel, ezért további vizsgálatok szükségesek a szorbens teljesítményének optimalizálására.

#### KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A SEM-EDS mérésekért köszönettel tartozom Dr. Csík Attilának. Az XPS mérésekért köszönettel tartozom Dr. Fodor Tamásnak és Soha Mártonnak. Az XRD mérésekért hálás vagyok Dr. Kónya Péternek. A FT-IR mérésért köszönettel tartozom Csontos Máténak.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] S. Yu et al., Chem. Eng. J., **2018**, 333, 343.
- [2] S. Zheng et al., Int. J. Heat. Mass. Tran., **2019**, 129, 1232.
- [3] W. Yao et al., Sci. China Chem., **2018**, 61, 812.
- [4] J. Liu et al., Radiochim. Acta, **2018**, 106, 437.
- [5] N. Nagy et al., J. Coll. Inter. Sci., **2004**, 278, 1, 166-172.
- [6] D. Buzetky et al., J. Rad. Nucl. Chem., **2020**, 326, 1795–1804.
- [7] E. Kovács et al., Coll. Surf. A-Physicochem. Eng. Asp., **2017**, 522, 287-294.
- [8] N. Nagy et al., J Radioanal Nucl Chem., **2013**, 298, 1519–1526.
- [9] J. Kónya et al., J. Coll Interface Science., **2005**, 290, 350-356.
- [10] E.M. Kovács, Debreceni Egyetem, Debrecen, **2019**.

---

# ÚJ TÍPUSÚ FOTOKATALIZÁTOR ÉS AKKUMULÁTOR ELEKTRÓD ELŐÁLLÍTÁSA CÉLJÁBÓL ÍGÉRETES $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$ JELLEMZÉSE $^{151}\text{Eu}$ MÖSSBAUER-SPEKTROSKÓPIÁVAL ÉS RÖNTGENDIFFRAKTOMETRIÁVAL

Kudor Mátyás<sup>\*1</sup>, Béres Kende<sup>1,2</sup>, Homonnay Zoltán<sup>1</sup>, Shiro Kubuki<sup>3</sup>, Kuzmann Ernő<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE TTK Kémiai Intézet, Magkémiai Laboratórium, 1117 Budapest, Pázmány Péter s. 1/A

<sup>2</sup>HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, 1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

<sup>3</sup>Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan

## Absztrakt

Na-ion akkumulátorok anódjaként és fotokatalitikus víztisztítási eljárás céljára szintetizált, hőkezeletlen és hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  ( $x = 0, 10, 20, 30, 40$  és  $50$  mol%) minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektroszkópiai és porröntgen-diffraktometriai vizsgálata történt. Elsődlegesen a fázisösszetétel és ennek hőkezelés hatására történő megváltozása mérésének a céljából. A hőkezeletlen minták por-röntgendiffraktogramjainak a kiértékelése alapján a mintákban az  $\alpha$ -FeOOH és  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fő fázisok jelennek meg, továbbá 30% eurórium koncentráció felett az  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  monoklin kristályszerkezetű mellékfázis is fellép, amelynek a relatív jelenléte az eurórium koncentrációval arányosan növekszik. A hőkezelt minták por-röntgendiffraktogramjai egyértelműen mutatták, hogy a hőkezelést követően az  $\alpha$ -FeOOH fázis jelentős hányada  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fázissá alakult. Az  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-izomereltolódás értékei egyértelműen mutatják, hogy minden mintában az eurórium kizárólag  $\text{Eu}^{3+}$  vegyértékű. A hőkezeletlen és hőkezelt minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumai alapján kis különbség van a hőkezelt és hőkezeletlen minták Eu-mikrokörnyezeteiben az Eu tartalom függvényében. Az 5-30 mol% eurórium tartományon az átlagos  $^{151}\text{Eu}$  izomereltolódás megfeleltethető az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  izomereltolódásának, ami a minták eurórium tartalmú fő fázisának jelenlétét erősíti meg. 30 mol% eurórium tartalom felett  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumok  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  monoklin mellékfázis előfordulását is tükrözik az eurórium koncentráció növekedésével növekvő mértékben. Az eredmények alapján a goethit eurórium adalékolásával kedvezőbb tulajdonságú akkumulátorok elektródok, valamint növelt hatékonyságú fotokatalitikus víztisztítási eljárások lehetnek kifejleszthetők.

Samples of  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  ( $x = 0, 10, 20, 30, 40$ , and  $50$  mol%) synthesized for use as anodes in Na-ion batteries and for photocatalytic water purification processes were investigated using  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer spectroscopy and powder X-ray diffraction (XRD). The primary aim was to determine the phase composition and its changes upon heat treatment. Based on the evaluation of the powder XRD patterns of the untreated samples, the main phases present were identified as  $\alpha$ -FeOOH and  $\text{Eu}(\text{OH})_3$ . Additionally, at europium concentrations above 30 mol%, a monoclinic  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  minor phase appeared, the relative presence of which increased proportionally with europium concentration. The XRD patterns of the heat-treated samples clearly indicated that a significant portion of the  $\alpha$ -FeOOH phase transformed into the  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase following heat treatment. The  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer isomer shift values of the  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  samples unambiguously showed that europium was present exclusively in the  $\text{Eu}^{3+}$  oxidation state in all samples. Based on the  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer spectra of the untreated and heat-treated samples, only minor differences were observed in the Eu micro-environments depending on the heat treatment and the Eu content. In the europium concentration range of 5–30 mol%, the

---

average  $^{151}\text{Eu}$  isomer shift corresponds to that of  $\text{Eu}(\text{OH})_3$ , confirming the presence of  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  as the europium-containing main phase in the samples. Above 30 mol% europium, the  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer spectra also reflect the presence of the monoclinic  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  secondary phase, which increases in intensity with the europium concentration. Based on these results, europium doping of goethite may allow for the development of battery electrodes with improved properties, as well as photocatalytic water purification processes with enhanced efficiency.

## 1. Bevezetés

A fogyasztói társadalom folyamatosan növekvő elektromos energiaigényével párhuzamosan egyre nagyobb szükség van, nagy hatékonyságú energiátárolási módszerek kidolgozása és olyan akkumulátortechnológiák fejlesztése, amelyek növelt energiasűrűséget, hosszabb ciklusélettartamot és jobb hordozhatóságot biztosítanak. Ugyanakkor a környezeti terhelés fokozódása miatt a környezetvédelem, különösen a vízminőség védelme és a szennyvizek kezelése, elsőrendű feladattá válik. Erre a kérdéskörre kíván egy lehetőséget választ adni a goethit amely természetben széles körben megtalálható, nem mérgező, stabil kristályszerkezettel rendelkező vas-oxihidroxid. Kristályszerkezete kettős  $\text{FeO}_3(\text{OH})_3$  láncok elrendezésével épül fel, amelyben  $\text{Fe}^{3+}$  ionokhoz oktaéderez koordinációban kapcsolódó  $\text{O}^{2-}$  és  $\text{OH}^-$  anionok ABAB sorozatot alkotnak. A goethitet olyan fizikai tulajdonságai, mint a nagy fajlagos felület, kis átlagos pórusméret [1], kiemelkedő fotokatalitikus, valamint Li-ion és Na-ion megtartás képesség [2], egyszerre alkalmazhatóvá teszik mind az elektromos energia tárolás szempontjából fontos akkumulátorok elektródjaiként, mind víztisztítás eljárások során fotokatalizátorként, ahogy arról Ibrahim és mtsai. beszámoltak [3]. A vas lokális szerkezetének optimalizálása kulcsfontosságú szerepet játszik a technikailag kedvező tulajdonságok elérésében. Ezen tulajdonságok további növelése érdekében intenzív kutatás irányul olyan goethit mintákra - amint arra az előző munkánkban [4] rámutattunk - amelyekben a vas pozíciók egy részét ritkaföldfémekkel helyettesítjük.

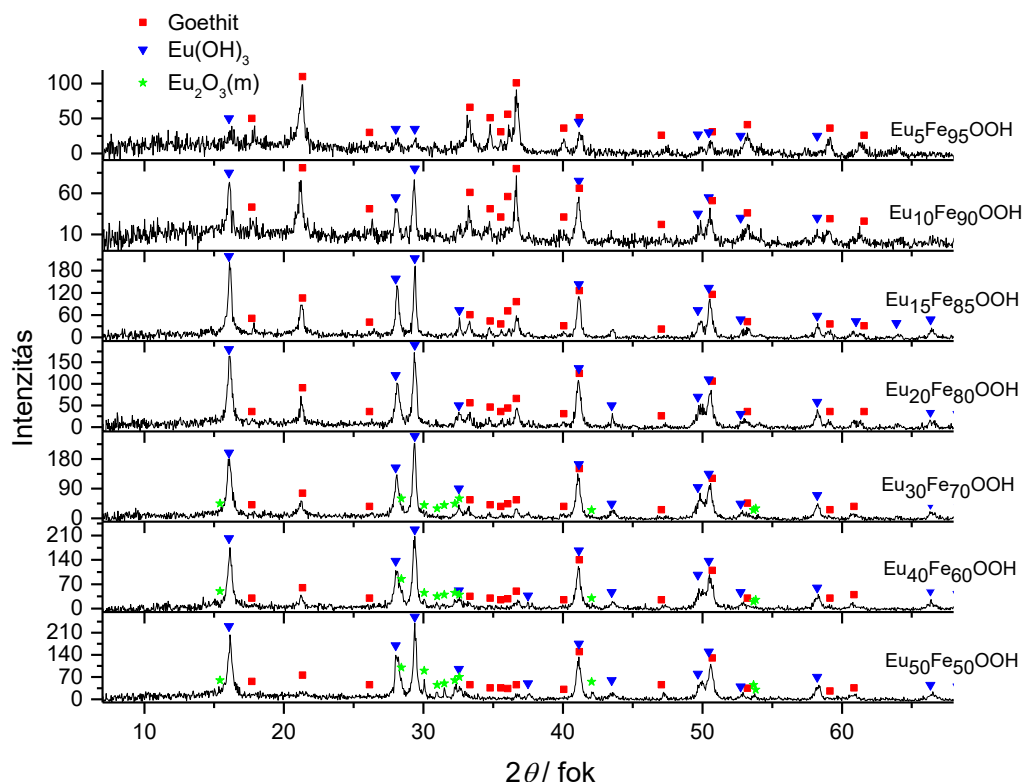
A dolgozatban bemutatott, nemzetközi kollaborációban végzett, kutatás távlati célja az, hogy a ritkaföldfém-adalékolás, jelen esetben az Eu adalékolás, hatásását tanulmányozzuk goethitben, a Na-ion akkumulátorok anódjaként és fotokatalitikus víztisztítási eljáráshoz optimális felhasználási tulajdonságokra vonatkozóan. A jelen feladatot képező kutatások közvetlen célja az volt, hogy európpiummal különböző mértékben adalékolat, hőkezeletlen és (300 °C hőmérsékleten 30 percen át tartó) hőkezelt goethit mintákon tanulmányozzuk az adalékolás során kialakuló mintaösszetételt, illetve a hőkezelés során bekövetkező változásokat az  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektroszkópia és por-röntgendiffraktometria segítségével.

## 2. Eredmények és diszkusszió

Eu adalékolat goethit mintákról készített por-röntgendiffraktometriai vizsgálatok során elsősorban arra a kérdésre kerestük a választ, hogy az x: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 mol%-ban adalékolat kompozit mintákban milyen fázisok találhatóak a hőkezelt és hőkezeletlen esetekben, illetve, hogy milyen változások mennek végbe a hőkezelés hatására a fázisösszetétel szempontjából. Az 1. ábrán a hőkezeletlen mintákról készített por-röntgendiffraktogramok láthatók. A hőkezeletlen és hőkezelt mintákban megjelenő relatív vonalintenzitást és a fázisok becsült előfordulási arányait a 1. táblázat foglalja össze. A diffraktogramok értékelése során azt találtuk, hogy a  $2\theta = 17.78^\circ, 21.22^\circ, 26.34^\circ, 33.42^\circ, 34.86^\circ, 36.06^\circ, 36.6^\circ, 50.66^\circ, 54.18^\circ, 61.14^\circ$  és  $65.5^\circ$  értékeknél megfigyelhető csúcsok az  $\alpha\text{-FeOOH}$  (goethit) fázishoz rendelhetők (JCPDS 79-0413), valamint a minták mindegyikében további reflexiós csúcsokat jelentek meg a  $2\theta = 16.14^\circ; 28.10^\circ; 29.34^\circ; 32.54^\circ; 41.10^\circ; 49.74^\circ; 50.22^\circ; 52.76^\circ; 58.22^\circ; 68.14^\circ$  és  $68.34^\circ$

---

pozíciókban, amelyek az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fázishoz társíthatók (JCPDS 18-0504). Ezen kiértékelés alapján a hőkezeletlen mintákban az  $\alpha\text{-FeOOH}$  és  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fő fázisok egyértelműen azonosíthatók.



1. ábra: A hőkezeletlen  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták por-röntgendiffraktogramjai.

1. táblázat: A hőkezeletlen és hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták fázisösszetétele

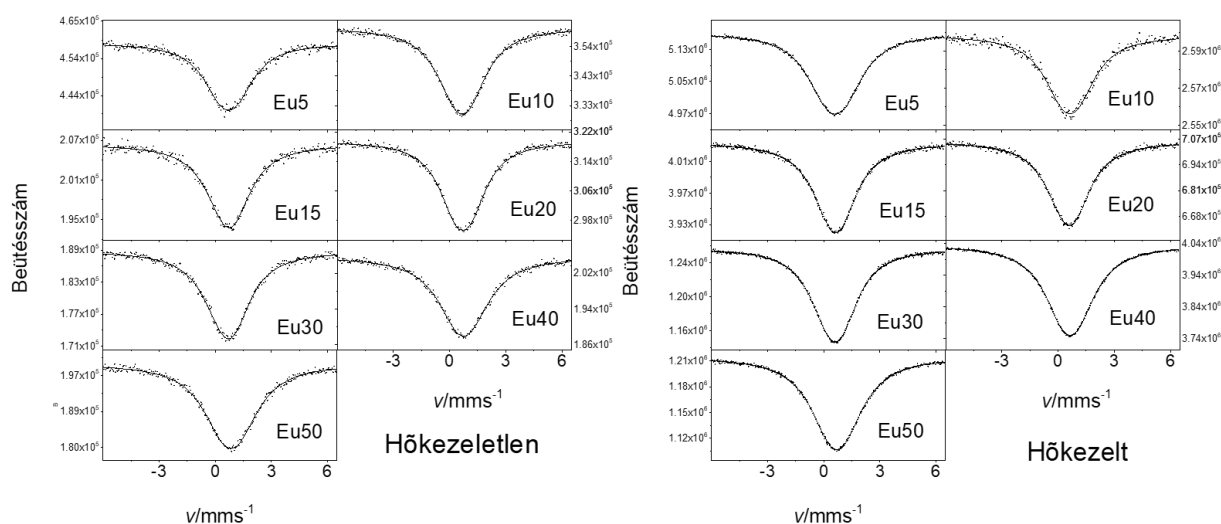
| Minta Eu koncentrációja, „x” [mol%] | $\alpha\text{-FeOOH}$ tartalom [%] | $\text{Eu}(\text{OH})_3$ tartalom [%] | $\text{Eu}_2\text{O}_3$ tartalom [%] | $\alpha\text{-FeOOH}$ tartalom [%] | $\text{Eu}(\text{OH})_3$ tartalom [%] | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ tartalom [%] | $\text{Eu}_2\text{O}_3$ tartalom [%] |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                     | Hőkezeletlen                       |                                       |                                      | Hőkezelt                           |                                       |                                             |                                      |
| 5                                   | 81,96                              | 18,03                                 | -                                    | 23                                 | 23,53                                 | 53,47                                       | -                                    |
| 10                                  | 50,25                              | 49,74                                 | -                                    | 76,92                              | 10,77                                 | 12,31                                       | -                                    |
| 15                                  | 31,03                              | 68,96                                 | -                                    | 12,41                              | 68,96                                 | 18,62                                       | -                                    |
| 20                                  | 29,07                              | 70,92                                 | -                                    | 8,33                               | 75,75                                 | 15,90                                       | -                                    |
| 30                                  | 18,69                              | 81,30                                 | -                                    | -                                  | 86,20                                 | 13,79                                       | -                                    |
| 40                                  | 13,74                              | 76,33                                 | 9,92                                 | -                                  | 75,75                                 | 12,87                                       | 11,36                                |
| 50                                  | 6,01                               | 75,18                                 | 18,79                                | -                                  | 81,30                                 | 8,13                                        | 10,56                                |

A röntgendiffraktogramban az  $\alpha\text{-FeOOH}$ -hoz és  $\text{Eu}(\text{OH})_3$ -hoz tartozó csúcsokat megfigyelve látható, hogy a mintákban az eurórium-koncentráció növekedésével a goethit fázis csúcsainak intenzitásai, illetve a relatív előfordulása fokozatosan csökkent, míg ezzel párhuzamosan, az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  (eurórium hidroxid) fázishoz tartozó csúcsok intenzitása és a fázis relatív előfordulása fokozatosan nő. A hőkezeletlen mintákban 30 mol% eurórium tartalom felett, további kisebb intenzitású vonalak megjelenése figyelhető meg a  $2\theta=30,06^\circ$ ,  $30,98^\circ$  és  $31,50^\circ$  csúcspozíciókban, amelyek rendre a monoklin kristályszerkezetű  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (eurórium oxid)

reflexiók síkjaihoz rendelhetők. A mellékfázis jelenléte és a fázishoz tartozó csúcsok intenzitása az eurórium koncentráció növekedésével fokozatosan erősödik, amelyhez köthető változások a későbbiekben tárgyalt  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektroszkópiai mérésekkel is összeegyeztethetők.

Az Eu-adalékolt, 300 °C hőmérsékleten 30 percen át hőkezelt goethit mintákról készített por-röntgendiffraktogramok kiértékelését követően azt találtuk, hogy a minták röntgendiffraktogramjainak mindegyikében az  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (hematit) és  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fő fázisok reflexiók csúcsai jelentek meg. Hasonlóan a hőkezeletlen mintákéhoz, 30% eurórium koncentráció felett az  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  mellékfázis is megjelent. Az egyes fázisok relatív vonalintenzitásait megvizsgálva az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fázis relatív jelenléte az eurórium koncentráció függvényében erősödött, valamint a goethit csak mellékfázisként jelenik meg az x: 5, 10, 15 és 20% eurórium koncentrációjú mintákban és 20% eurórium koncentráció felett nem detektálható egyértelműen a jelenléte. Ebből az eredményből arra következtethetünk, hogy a hőkezeletlen mintákban található goethit, a 300 °C-on, 30 percig tartó hőkezelés hatására hematittá ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) alakult át.

A  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-mérések alkalmazásával vizsgálhatóvá válnak a mintákban található eurórium mikrokörnyezetek. A 2. ábra a hőkezeletlen és hőkezelt euróriummal adalékolt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumait mutatja.



2. ábra: A hőkezeletlen és hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumai

Az eurórium oxidok és hidroxidok  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumainak kiértékelésekor a kvadrupólus kölcsönhatás figyelembevétele indokolt és szükségeszerű [5], ennek megfelelően a spektrumok mindegyikét egyetlen mikrokörnyezethez rendelhető kvadrupólus felhasadást mutató görbére értékeltük, amely átlagosan jellemzi a mintákban található eurórium mikrokörnyezeteket. Az  $^{151}\text{Eu}$  21.6 keV Mössbauer-vonal természetes szélessége ( $\sim 1.4$  mm/s) sokkal nagyobb, mint a  $^{57}\text{Fe}$  14.4 keV Mössbauer-vonal természetes szélessége ( $\sim 0.20$  mm/s) [6], emiatt az  $^{151}\text{Eu}$  7/2 -5/2 kvadrupólus átmenete egy nyolc vonalú mintázatot eredményez, amely vonalak a nagy vonalszélesség miatt jelentős átlapolásban vannak, kialakítva így a 2. ábrán látható spektrumok burkológörbéit. Tekintettel a mintákban található különböző mikrokörnyezetek kvadrupólus kölcsönhatást mutató, eurórium vonalainak nagy átfedésére, a több mikrokörnyezetre való kiértékelés csak rendkívül nagy bizonytalansággal lett volna megtehető. A hőkezeletlen és hőkezelt mintákhoz tartozó görbék paramétereit a 2. táblázat foglalja össze. Az egyes hőkezeletlen és hőkezelt mintákhoz tartozó izomereltolódás értéke, amely a kiértékelési metódustól függetlenül, néhány század mm/s-os hibapontossággal meghatározható volt, eltéréseket mutatott az Eu tartalom függvényében. A  $^{151}\text{Eu}$



izomereltolódása és az eurórium-koncentráció közötti korrelációt a 3. ábra mutatja be. Az ábráról jól látható, hogy az  $\text{EuF}_3$  izomereltolódásához viszonyítva a különböző eurórium tartalmú, hőkezeletlen és hőkezelt minták  $^{151}\text{Eu}$  izomereltolódás értékei a 0,64 mm/s és 0,83 mm/s értékek közé esnek. A minták  $^{151}\text{Eu}$  izomereltolódás értéke 30% Eu tartalom alatt erősen ingadozik.

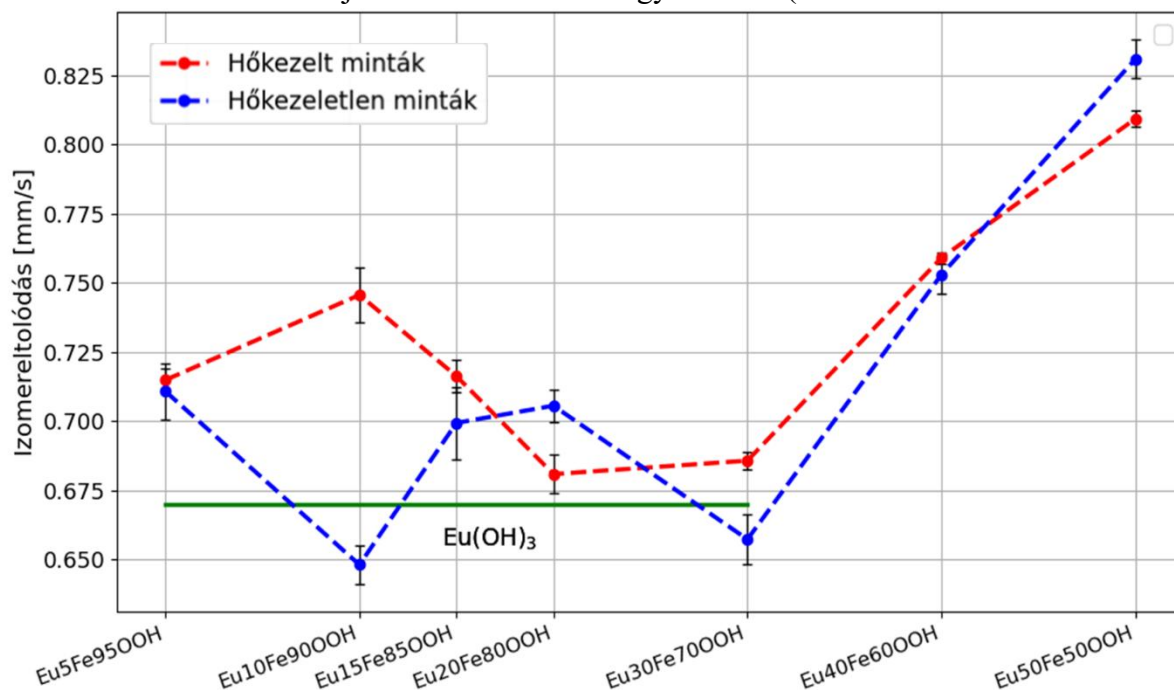
2. táblázat: A hőkezeletlen és hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-paraméterei

| <b>Hőkezeletlen minták</b>     |                        |                                               |              |                       |          |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|--------------|-----------------------|----------|
| Minta Eu koncentrációja [mol%] | Izomereltolódás [mm/s] | $V_{zz}$ (ETG) [ $10^{21}$ V/m <sup>2</sup> ] | $\eta$ (ETG) | Vonalszélesség [mm/s] | $\chi^2$ |
| 5                              | 0,71±0,01              | 3,2±0,3                                       | 1            | 2.2±0,1               | 1,03     |
| 10                             | 0,647±0,007            | 3,0±0,2                                       | 0,76         | 2.42±0,07             | 1,18     |
| 15                             | 0,70±0,01              | 2,6±0,5                                       | 0,00         | 2.39±0,12             | 1,02     |
| 20                             | 0,705±0,006            | -3,0±0,2                                      | 1,00         | 2.14±0,06             | 0,98     |
| 30                             | 0,657±0,009            | 2,7±0,3                                       | 0,00         | 2.43±0,09             | 1,00     |
| 40                             | 0,752±0,007            | 2,6±0,4                                       | 1,00         | 2.7±0,1               | 0,99     |
| 50                             | 0,830±0,007            | 3,1±0,3                                       | 1,00         | 2.72±0,09             | 1,13     |
| <b>Hőkezelt minták</b>         |                        |                                               |              |                       |          |
| Minta Eu koncentrációja [mol%] | Izomereltolódás [mm/s] | $V_{zz}$ (ETG) [ $10^{21}$ V/m <sup>2</sup> ] | $\eta$ (ETG) | Vonalszélesség [mm/s] | $\chi^2$ |
| 5                              | 0,714±0,004            | 3,5±0,1                                       | 0,83         | 2,54±0,04             | 0,98     |
| 10                             | 0,75±0,01              | 3,1±0,3                                       | 1,00         | 2,4±0,1               | 1,20     |
| 15                             | 0,716±0,006            | 2,5±0,2                                       | 0,00         | 2,35±0,06             | 0,99     |
| 20                             | 0,680±0,007            | 2,5±0,2                                       | 0,29         | 2,34±0,07             | 1,04     |
| 30                             | 0,685±0,003            | 3,0±0,1                                       | 0,58         | 2,29±0,03             | 1,15     |
| 40                             | 0,758±0,002            | 2,71±0,08                                     | 1,00         | 2,53±0,02             | 1,08     |
| 50                             | 0,809±0,003            | 2,7±0,1                                       | 1,00         | 2,71±0,04             | 1,17     |

A korábban bemutatott por-röntgendiffraktometriai vizsgálatok eredményei szerint a minták mindegyikében jelentős mennyiségű  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  található. Emiatt az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$   $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-paramétereinek ismerete jelentősen hozzájárulna az izomereltolódás értékek eurórium-koncentráció függvényében látható változásainak magyarázatához. Az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  -hoz tartozó izomereltolódás érték, a 3. ábrán zöld vonallal jelzett, 0,67 mm/s, amely a hőkezeletlen és hőkezelt minták, 30% eurórium koncentrációig tapasztalható, átlagos izomereltolódás értékekhez közeli. Ebből arra következtethetünk, hogy a hőkezeletlen és hőkezelt, 5-30%-ban Eu-adalékolt goethit minták, eurórium mikrokörnyezetei szempontjából, ezen a tartományon főként az  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fázis megjelenése tapasztalható. 30% eurórium-koncentráció felett, az eurórium-koncentrációval arányos, fokozatos izomereltolódás-növekedés figyelhető meg. Ennek magyarázata, hogy a röntgendiffraktometriával igazolt,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  fázis megjelenése és jelenlétének az Eu koncentrációval való fokozatos erősödése megnöveli a mintákban az

eurórium mikrokörnyezetek összessége által indukált, átlagos izomereltolódás értékét, amit a  $^{151}\text{Eu}$ -spektumok két komponensre való felbontása is alátámaszt.

Az  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektroszkópia lehetővé teszi az eurórium tartalmú vegyületekben az eurórium vegyértékének egyértelmű meghatározását, mivel az egyes vegyértékekhez köthető izomereltolódás értékek jelentősen eltérnek egymástól. ( $\text{Eu}^{3+}$  a 0 mm/s és 1 mm/s



tartományban,  $\text{Eu}^{2+}$  a -12 mm/s és -14 mm/s tartományban [7].) A hőkezeletlen és hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektrumainak izomereltolódásainak értéke a 0,647 mm/s és 0,830 mm/s értékek közé esik. Ez a tartomány egyértelműen az  $\text{Eu}^{3+}$  vegyületekre jellemző izomereltolódás-tartománya. Ez alapján kijelenthető, hogy mind a hőkezeletlen, mind a hőkezelt  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták, kizárólag  $\text{Eu}^{3+}$  vegyületeket tartalmaznak.

3. ábra: A hőkezeletlen (kék) és hőkezelt (piros)  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  minták  $^{151}\text{Eu}$  izomereltolódás változása az eurórium koncentráció függvényében

### 3. Összefoglalás

$^{151}\text{Eu}$  Mössbauer-spektroszkópia és por-röntgendiffrakciós mérésekkel az  $\text{Eu}_x\text{Fe}_{100-x}\text{OOH}$  ( $x = 0, 10, 20, 30, 40$ , és  $50$  mol%) esetében azt tapasztaltuk, hogy az Eu kizárólag 3+ vegyértékű ezekben a vegyületekben. A minták  $\text{FeOOH}$  és  $\text{Eu}(\text{OH})_3$  fő fázisokból és 30% eurórium koncentráció felett monoklin  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  mellékfázisból állnak. Utóbbi előfordulása az Eu tartalommal nő, valamint az alkalmazott hőkezelés hatására a goethit hematittá alakul át. Eredményeink összeegyeztethetők más ritkaföldfémekkel adalékolt goethitekre kapott eredményeinkkel [4] és jól kiegészítik azokat.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Tong, G. et al. Materials Chemistry and Physics **2011**, 127, 371-378
- [2] Lou, X. et al. Electrochem. Commun. **2009**, 11(8), 1696–1699
- [3] Ibrahim, A. et al. J. Radioanal Nucl Chem. **2023** 332, 3859–3878

- 
- [4] Doumae, A. et al. J. Materials Chemistry and Physics **2025**, 346
- [5] Stadnik, Z. et al. Solid State Commun. **1984**, 50, 335–337
- [6] Stevens, J.G., Stevens, V.E., Adam Hilger, London **1965-85**
- [7] Bauminger, E., M. et al. North-Holland, Amsterdam, New York, Oxford, **1978** 10. fejezet

---

**2025. október 14.  
kedd**

**további előadások**

---

## A [<sup>13</sup>N]AMMÓNIA VIZSGÁLATI GYÓGYSZER IMPD DOKUMENTÁCIÓJÁNAK ELŐKÉSZÍTÉSE

**Farkasinszky Gergely, Szűcs Dániel, Szikra Dezső, Miklovicz Tünde, Pótári Norbert,  
Forgács Viktória, Trencsényi György, Balkay László, Jósza István**

*Debreceni Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Képalkotó Intézet, Nukleáris Medicina Tanszék,  
Debrecen*

A [<sup>13</sup>N]ammónia egy rövid felezési idejű izotópot tartalmazó (<sup>13</sup>N,  $t_{1/2}$  = 9,96 perc) pozitronemissziós tomográfias (PET) radiofarmakon, amelyet széles körben alkalmaznak a szívizom perfúziójának vizsgálatára. Magyarországon a klinikai vizsgálatok megkezdéséhez alapvető követelmény az Investigational Medicinal Product Dossier (IMPD) összeállítása, amely részletesen tartalmazza a radiofarmakon minőségi, nem-klinikai és klinikai vonatkozásait.

A [<sup>13</sup>N]ammónia előállításához szükséges <sup>13</sup>N izotópot ciklotron (PETTRACE 2132402) segítségével állítottuk elő. Az izotópképzéshez ún. in-target eljárást alkalmaztunk, amelynek során steril injekciós vizet (10 mM etanol tartalommal) sugároztunk be. Az irradiációt követően a keletkezett oldatot egy gyűjtőedénybe vezettük, miközben az anionos szennyeződések SEP-PAK QMA egységgel távolítottuk el. Az eljárás célja az volt, hogy a végtermék megfeleljen mind az Európai Gyógyszerkönyvben rögzített, mind a GMP szabályozásban előírt követelményeknek.

Az IMPD dokumentációban rögzítettük a gyártás részletes leírását, a minőségellenőrzési módszereket, a stabilitási vizsgálatok eredményeit, valamint a nem-klinikai és klinikai biztonsági adatok összefoglalását. A gyártási és analitikai folyamatok során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a termék megfelel mind az EMA, mind az FDA által meghatározott szabványoknak. A minőségi paraméterek alátámasztására szolgáló vizsgálati adatok igazolják az előállítási folyamat konzisztenciáját és megbízhatóságát, ami kulcsfontosságú a hatósági engedélyezéshez.

A [<sup>13</sup>N]ammónia IMPD dokumentációjának kidolgozása összetett, ugyanakkor nélkülözhetetlen lépés a klinikai vizsgálatok megkezdéséhez. A dosszié biztosítja, hogy a készítmény megfeleljen az EMA, az FDA, valamint az Európai Parlament és az Európai Unió Tanácsának 536/2014/EU rendeletében foglalt előírásoknak. Az IMPD megfelelő összeállítása lehetővé teszi a klinikai alkalmazás engedélyezését, és támogatja a vizsgálatok megvalósítását a betegek bevétele és követése során.

---

## PREPARATION OF THE IMPD DOCUMENTATION FOR THE INVESTIGATIONAL MEDICINAL PRODUCT [<sup>13</sup>N]AMMONIA

**Gergely Farkasinszky, Dániel Szűcs, Dezső Szikra, Tünde Miklovicz, Norbert Pótári, Viktória Forgács, György Trencsényi, László Balkay, István Józai**

*University of Debrecen, Faculty of Medicine, Department of Medical Imaging, Division of Nuclear Medicine, Debrecen, Hungary*

[<sup>13</sup>N]Ammonia is a short half-life ( $t_{1/2} = 9.96$  min) positron emission tomography (PET) radiotracer widely used for myocardial perfusion imaging. In Hungary, initiating related clinical studies requires the preparation of an Investigational Medicinal Product Dossier (IMPD), which provides comprehensive documentation on the quality, non-clinical, and clinical aspects of the radiopharmaceutical.

The production of [<sup>13</sup>N]ammonia was carried out by generating <sup>13</sup>N nitrogen in a cyclotron (PETTRACE 2132402). The isotope was produced using an in-target technique, where sterile water for injection containing 10 mM ethanol was irradiated. Following irradiation, the resulting solution was transferred into a collection vessel, and anionic impurities were removed using a SEP-PAK QMA cartridge. The developed procedure ensured that the final product complied with the requirements of the European Pharmacopoeia and Good Manufacturing Practice (GMP) regulations.

The IMPD included detailed documentation of the manufacturing process, quality control strategies, stability data, as well as the results of non-clinical and clinical safety evaluations. Based on the data obtained during production and quality control, it was established that the product meets the standards set by both the European Medicines Agency (EMA) and the U.S. Food and Drug Administration (FDA). The quality attributes and supporting data confirm the reliability and consistency of the manufacturing process, which is essential for regulatory approval.

The preparation of the [<sup>13</sup>N]ammonia IMPD represents a complex but essential step toward initiating clinical trials. The documentation ensures compliance with the regulatory requirements of the EMA, the FDA, and Regulation (EU) No 536/2014 of the European Parliament and the Council. A properly prepared IMPD enables clinical use authorization and supports the conduct of clinical studies during patient recruitment and follow-up.

---

# RADIOGYÓGYSZEREK ÁTTEKINTÉSE A KEZDETEKTŐL A TERA(G)NOSZTIKUMOKIG

Szemenyei Erzsébet, Környei József

*Izotóp Intézet Kft., Budapest*

Már kezdettől fogva kialakult a radiógyógyszerek felhasználásának két ága: a diagnosztikai célú nyomjelzés és a belső sugárkezelés. A tera(g)nosztikum szó a *terápia (kezelési forma)* és *diagnosztika (állapotfelmérő, megkülönböztető tudás)* szavak összevonásával jött létre. Elsősorban az angol nyelvterületen a könnyebb kiejtés érdekében a zárójelben szereplő g-hang „kikopott”, így legtöbbször teranosztikumokként (*‘theranostics’*) hivatkozunk ezekre a készítményekre. A teranosztikumok olyan radiofarmakon párok, melyekben azonosak vagy nagy részben azonosak a biospecifikus molekularészek, továbbá diagnosztikus és terápiás értékű radionukliddal egyaránt jelezhetők. Ily módon teljesülhet az az igény, hogy mindkét típusú alkalmazás azonos (vagy nagy részben azonos) molekulákkal valósuljon meg.

Az első mesterségesen előállított radionuklidok egyike a  $^{131}\text{I}$ , amely kevert ( $\gamma$  és  $\beta^-$ ) sugárzást emittál, ezért a beadott aktivitásmennyiségtől függően diagnosztikai és terápiás célokat is szolgálhat. Emiatt a  $^{131}\text{I}$  a teranosztikumok „ősének” tekinthető.

A radiógyógyszerek hat csoportját mutatjuk be az 1950-es évektől napjainkig.

- 1.) *Szervetlen vegyületek.* Az 1950-70-es években reaktorizotópok szervetlen vegyületeiről beszélhetünk (pl.  $^{32}\text{P}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ), majd 1980 után megjelentek a ciklotron-izotópok megfelelői (pl.  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ), ill. később a  $^{89}\text{Sr}$  és a  $^{223}\text{Ra}$ .
- 2.) *Szén-izotópot tartalmazó vegyületek.* A  $^{11}\text{C}$ - és  $^{14}\text{C}$ -vegyületeket főleg a kutatásban alkalmazzák, rutinban használt radiógyógyszer a  $^{11}\text{C}$  jelzett metionin és kolin, ill. a  $^{14}\text{C}$  karbamid (kilégzési teszthez).
- 3.) *Radiojódozott vegyületek.* Az 1960-70-es években a  $^{125}\text{I}$ - és  $^{131}\text{I}$ -vegyületeket alkalmazták, majd a 80-as és a 90-es évektől megjelent a  $^{123}\text{I}$ -, ill.  $^{124}\text{I}$ -jelzés. Így jöhettek létre a  $^{123}\text{I}/^{131}\text{I}$  (SPECT/terápia),  $^{124}\text{I}/^{131}\text{I}$  (PET/terápia) teranosztikumok.
- 4.) *Radiofluorozott vegyületek.* Az 1980-as években a  $^{18}\text{F}$ FDG dominált a klinikai alkalmazásban, majd további metabolikus és receptorspecifikus ágensek jelentek meg (pl.  $^{18}\text{F}$ FDOPA,  $^{18}\text{F}$ F-etil-tirozin,  $^{18}\text{F}$ F-kolin,  $^{18}\text{F}$ F-tioflavin analógok).
- 5.) *Egyszerű fémkomplexek.* Az 1960-70-es években az  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{169}\text{Yb}$  nuklidoknak az EDTA, citrát, ill. DTPA komplexei minősültek radiógyógyszernek. A  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -komplexek az 1980-90-es években terjedtek el, lefedve a képalkotó SPECT-diagnosztika indikációs területeinek többségét. Ezekben a vegyületekben a biospecifikus hatást és a komplexképzést ugyanaz a molekula biztosította.
- 6.) *Vektorok külön kelátorral.* Olyan vektorok esetében, mint a peptidek, receptorspecifikus kismolekulák és antitestek, a stabilis jelzéshez külön kelátor szükséges. Ez a molekulatervezés utat nyitott a teranosztikumok fejlesztéséhez. Kiemelkedő vektorok az onkológiában: a szomatostatin receptorokhoz kötődő oktreotid-peptidek, a prosztataspecifikus membrán antigén glutamát lehasító enzimfunkciójának inhibitorai, ill. a monoklonális antitestek vagy fragmentjeik. Általánosan használt kelátor pl. a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  esetében a hidrazin-nikotinsavamid (HYNIC), a  $^{68}\text{Ga}$  izotóp, továbbá a  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{225}\text{Ac}$  terápiás értékű radionuklidok komplexálásánál pedig a DOTA ( $\text{N}_4$ -makrociklus).

---

# EGY KÖZPONTI IDEGRENSZEREN HATÓ RECEPTOR-LIGANDUM

## C-11 JELZÉSÉNEK MEGVALÓSÍTÁSA

**Meitert Zsuzsanna, Jósai István, Németh Enikő, Trencsényi György, Kertész István**

*Debreceni Egyetem ÁOK Orvosi Képző Intézet Nukleáris Medicina Tanszék  
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.*

A pozitronemissziós tomográfia (PET) elterjedése és sokoldalú alkalmazhatósága a központi idegrendszeri folyamatok vizsgálatában lehetővé tette, hogy ezt a módszert a központi idegrendszerre ható gyógyszer-molekulák biológiai tulajdonságainak feltérképezésére is használják. Kutatócsoportunk célul tűzte ki egy GABA A-receptorhoz kötődő PET-ligandum előállítását. A GABA A receptor a gamma-aminovajsav, az egyik legfontosabb gátló neurotranszmitter elsődleges kapcsolódási helye az emlős agyban. Ugyanakkor számos terápiás hatóanyag, például a benzodiazepinek is ezen a receptoron fejtik ki hatásukat, melyek altató, nyugtató és szorongásoldó tulajdonságaik miatt széles körben alkalmazott gyógyszerek. A szakirodalom áttekintése során a már létező, de hazai viszonylatban korábban nem elérhető  $^{11}\text{C}$ -izotóppal jelzett Ro15-4513 vegyületet azonosítottuk ígéretes jelöltként.

A vizsgált radioligandumot először 1992-ben publikálták. Az akkori szintézismódszer több olyan lépést is tartalmazott, amelyet azóta hatékonyabb formában vezettek be a mindennapi gyakorlatban. Elsőként a reakcióképesebb és kisebb illékonyosságú metilezőszert, a  $^{11}\text{C}$ -metil-triflátot alkalmaztuk a  $^{11}\text{C}$ -metil-jodid helyett. A cserének köszönhetően már szobahőmérsékleten is megfelelő hozamot értünk el, és a kiindulási aktivitás értéke is megnőtt. A kromatográfiás körülményeket is módosítottuk: az acetonitril helyett biokompatibilis oldószereket alkalmaztunk (etanol), így a szintézis végén nem volt szükség a termék újbóli formulázására, hanem közvetlenül a tisztítást követően és megfelelő hígítás után beadható volt a kisállatba. Az előállítás fő lépései a következők voltak: a radioaktív  $\text{CO}_2$ -t ciklotronban,  $^{14}\text{N}$  ( $p, \alpha$ )  $^{11}\text{C}$  magreakció révén állítottuk elő, a keletkező:  $^{11}\text{C}$ - $\text{CO}_2$ -t első lépésben  $^{11}\text{C}$ - $\text{CH}_4$ -á, majd egy újabb lépésben  $^{11}\text{C}$ - $\text{CH}_3\text{I}$ -á alakítottunk, ez in situ tovább alakult  $^{11}\text{C}$ -metil-trifláttá és ez utóbbi reagált el a reaktorban levő dezmetil prekursorral. A szintézishez *Scansys Tracer Maker* típusú automata panelt használtuk, melynek részét képezi egy HPLC elválasztórendszer is. A nyers terméket félpreparatív HPLC-vel tisztítottuk, míg a végtermék minőségét a humán radiógyógyszerek esetében előírt standard vizsgálatokkal ellenőriztük – a sterilitásvizsgálat kivételével.

Az optimalizáció során több párhuzamos szintézist hajtottunk végre. A minőségellenőrzési mérések azt mutatták, hogy a radiokémiai tisztaság átlagosan 99,78% volt. A moláris aktivitás 90,84 GBq/ $\mu\text{mol}$  értéket, míg az aktivitáskoncentráció 117,7 MBq/ml átlagot ért el.

Az egészséges kontroll-állatokon végzett injektálás, majd az ezt követő képalkotási eredmények elemzése alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált vegyület képes volt átmenni a vér-agy gáton, valamint meghatározott agyterületeken felhalmozódott. Eredményeink azt jelzik, hogy az általunk előállított készítmény megfelelően alkalmazható preklinikai vizsgálatok során.



---

# A VAS MOBILIZÁSCIÓJA ÉTRENDKIEGÉSZÍTŐKBŐL

Kovács Krisztina<sup>1</sup>, Király Nóra<sup>1</sup>, Horváth Márk<sup>2</sup>, Mihucz Viktor Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kémiai Intézet,  
H-1117 Budapest, Pázmány Péter stny 1/A

<sup>2</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,  
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

krisztina.kovacs@ttk.elte.hu

A WHO szerint a vashiányos vérszegénység világszerte körülbelül egymilliárd embert érint [1], és a tíz leggyakoribb egészségügyi probléma közé tartozik [2]. A vegán étrend követése egyes vitaminok és ásványi anyagok csökkent bevitelét okozhatja, melyek között található a vas (Fe) is, így a vastartalmú étrend-kiegészítők erősen ajánlottak a vashiányos problémák leküzdésére és megelőzésére.

A jelen előadás a Fe hozzáférhetőségének vizsgálatát tárgyalja vegán étrend-kiegészítőkből, amelyek szerves [Fe(II)-szulfát vagy Fe(III)-pirofoszfát] vagy szerves - só [pl. Fe(II)-fumarát] vagy kelátképző aminosavak, például Fe(II)-biszglycinát formájában lévő vasat tartalmaznak, szintetikus gyomor- és nyombélnedvben történő inkubálással. A vas teljes mennyiségét induktív csatolású plazma optikai spektrometriával meghatároztuk meg. Megfelelő anyagmérleget lehetett felállítani a különböző frakciókban meghatározott vasra. Általánosságban elmondható, hogy a vizsgált vasvegyületek oldódása a szimulált gyomornedvben (pH = 1,5) sokkal nagyobb volt, mint a 6,8 pH-jú szimulált nyombélnedvben. A kelátképző aminosavakat tartalmazó vasvegyület esetében nagyobb hozzáférhetőséget figyeltünk meg pH = 6,8-nál. Továbbá, amikor C-vitamint is tartalmaztak a Fe(II)-biszglycinátot tartalmazó tabletták, a vékonybélnedvet szimuláló közegből felszívódó vas mennyisége körülbelül 50% volt.

A szilárd mintákban az Fe(II)- és Fe(III)-komponensek arányát Mössbauer-spektroszkópiával vizsgáltuk. A kapott Mössbauer paramétereket irodalmi adatokkal összevetve [4] azonosítottuk az egyes étrendkiegészítőkben lévő vasvegyületeket. A +2 oxidációs állapotú vasat tartalmazó étrendkiegészítőkben jelentős mennyiségű oxidálódott vasat is kimutattunk, melynek aránya a szintetikus bélnedvben történő inkubáció hatására tovább nőtt.

Eredményeink remélhetően hozzájárulnak a vastartalmú étrendkiegészítők hatékonyságának megértéséhez.

[1] Faria, N.; Winship, P.D.; Weiss, D.J.; Coles, B.J.; Schoenberg, R.; Hutchinson, C.; Pereira, D.I.A.; Powell, J.J. *J. Anal. At. Spectrom.* **2011**, 26, 1648.

[2] Chen, Z.; Griffin, I.J.; Plumlee, L.M.; Abrams, S.A. *J. Nutr.* **2005**, 135, 1790.

[3] A. Niklewicz, A.D. Smith, A. Smith, A. Holzer, A. Klein, A. McCaddon, A.M. Molloy, B.H. Wolffenbuttel, E. Nexo, H. McNulty, *Eur J Nutr.* **2023**, 62, 1551.

[4] I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, *J Pharm. Sci.* **2024** 113, 1426.

---

## IRON BIOACCESSIBILITY FROM DIATERY SUPPLEMENTS

Krisztina Kovács<sup>1</sup>, Nóra Király<sup>1</sup>, Márk Horváth<sup>2</sup>, Viktor G. Mihucz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE Eötvös Loránd University, Faculty of Sciences, Chemical Institute,  
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, Hungary

<sup>2</sup>Department of Environmental Analysis and Environmental Technology, Institute of Environmental Sciences,  
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences at Gödöllő, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

krisztina.kovacs@ttk.elte.hu

Fe deficiency anaemia affects roughly one billion of individuals globally [1], and it is one of the top ten worldwide health issues [2]. Vegan diets provide a higher risk of nutrient deficiencies: it lacks necessary levels of various vitamins and minerals that are either insufficiently found in plants or may have decreased bioavailability. These nutrients include also Fe, [3], thus, dietary supplements containing Fe are highly recommended to overcome and prevent Fe deficiency problems.

The present study focuses on the bioaccessibility of Fe from vegan dietary supplements containing either inorganic [Fe(II) sulphate or Fe(III) pyrophosphate] or organic Fe in form of salt [e.g., Fe(II) fumarate] and chelates with amino acids such as Fe(II) bisglycinate through incubation in synthetic gastric and duodenal juices.

Total amounts of Fe were also determined by inductively coupled plasma optical spectrometry after microwave-assisted digestion. Proper mass balance could be set up for Fe as all fractions resulted during the bioaccessibility studies after adequate sample processing. Generally, dissolution of the studied Fe compounds in the highly acidic simulated gastric juice (i.e., pH = 1.5) was much higher than in the simulated duodenal juice of pH = 6.8. Higher dissolution rate was observed at pH = 6.8 for the Fe compound applying amino acids for chelation. Moreover, when vitamin C was added to the tablets containing Fe(II) bisglycinate, the amount of Fe that can be mobilized in the stomach and small intestine of humans was about 50%.

The speciation of Fe in the dietary supplements before and after the incubation with simulated gastric and duodenal gastric juice was determined by Mössbauer spectroscopy. Fe(II) and Fe(III) compounds were identified with the help of literature data [4]. Significant quantities of Fe(III) could be observed even in Fe(II) containing supplements, that was further increased through the incubation in synthetic gastric and duodenal juices.

Hopefully the results presented can help to understand the effectiveness of Fe containing dietary supplements applied in Fe deficiency anaemia.

[1] Faria, N.; Winship, P.D.; Weiss, D.J.; Coles, B.J.; Schoenberg, R.; Hutchinson, C.; Pereira, D.I.A.; Powell, J.J. *J. Anal. At. Spectrom.* **2011**, 26, 1648.

[2] Chen, Z.; Griffin, I.J.; Plumlee, L.M.; Abrams, S.A. *J. Nutr.* **2005**, 135, 1790.

[3] A. Niklewicz, A.D. Smith, A. Smith, A. Holzer, A. Klein, A. McCaddon, A.M. Molloy, B.H. Wolffenbuttel, E. Nexø, H. McNulty, *Eur J Nutr.* **2023**, 62, 1551.

[4] I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, *J Pharm. Sci.* **2024** 113, 1426.

---

# NEUTRON IMAGING REVEALS THE REHYDRATION DYNAMICS OF THE RESURRECTION PLANT *HABERLEA RHODOPENSIS*

Maria Gracheva<sup>\*1,2</sup>, Zoltán Kis<sup>1</sup>, Gergana Mihailova<sup>3</sup>, Katya Georgieva<sup>3</sup>, Ádám Solti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Budapest Neutron Centre, Institute for Energy Security and Environmental Safety, HUN-REN Centre for Energy Research, Budapest, Hungary*

<sup>2</sup>*Department of Plant Physiology and Molecular Plant Biology, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

<sup>3</sup>*Institute of Plant Physiology and Genetics, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria*

maria.gracheva@ek.hun-ren.hu

Resurrection plants possess the extraordinary ability to endure complete desiccation, surviving in an air-dry state for extended periods. When rehydrated, these plants can recover their normal physiological functions within a matter of hours or days, a process that varies depending on the species and size. Understanding the mechanisms behind this remarkable recovery is crucial for both botanical research and potential applications, such as developing drought-resistant crops.

This study utilized neutron imaging, a non-invasive technique, to precisely visualize the real-time water dynamics during the rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis* (also known as Orpheus flower). To observe this process, several desiccated plants were placed in aluminum containers, which served a dual purpose: they securely supported the plants and acted as a water reservoir. To investigate the efficiency of water uptake through different plant parts, two distinct experimental setups were used: one with a "leaves-up/root-down" orientation and another with a "leaves-down/root-up" configuration.

Time-lapse neutron radiography images were captured every minute for at least 24 hours long, providing a detailed view of the temporal and spatial changes in the plant's water distribution. Supervised machine learning was employed to spatially follow the changing water content from these images, allowing us to correlate water dynamics with the plant's physiological state at various stages of recovery.

Our analysis of the "leaves-down/roots-up" orientation revealed that water uptake in the main stem vein is a two-phase process. The initial phase was characterized by a rapid, upward movement of water, consistent with a capillary effect. This was followed by a slower, more gradual process of rehydration as water was absorbed into the surrounding biological tissues. Both processes showed step-like dynamics and reached saturation within the observed time frame of around 6 hours. In contrast, the rehydration of individual roots was a much faster, more direct process, reaching maximum water content within one hour. Rehydration through the roots, on the other hand, was found to be a slower process, which may be connected to the reduced area of interaction with water compared to the "leaves-down" setup.

These findings not only provide a deeper understanding of the survival strategies of resurrection plants but also highlight the power of neutron imaging as a tool for studying complex biological processes.

---

# GYÖKREAKCIÓK ÉS A MÁTRIXHATÁS SZEREPE TRAMADOL LEBONTÁSA SORÁN NAGYENERGIÁJÚ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSSAL

Kovács Krisztina<sup>1</sup>, Tegze Anna<sup>1</sup>, Bezsenyi Anikó<sup>2</sup>, Wojnárovits László<sup>1</sup>

<sup>1</sup>HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>2</sup>Fővárosi Csatornázási Művek Zrt., 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.

A széles körben alkalmazott ópiát típusú fájdalomcsillapító hatóanyag, a Tramadol kimutatható környezeti szennyezőként a felszíni- és szennyvizekben egyaránt. A szennyvíztisztítás során eltávolítása nem teljes, ezért Európa több országának kommunális szennyvíztisztító telepeinek elfolyóiban akár 1100 ng L<sup>-1</sup> koncentrációban is megtalálható. Ennek következményeként a felszíni vizekben is jelen van, jellemzően 100 ng L<sup>-1</sup> nagyságrendben [1–3]. A Nagyhatékonyságú Oxidációs Eljárások alkalmazása hatékonynak bizonyult a Tramadol eltávolítására [4–5].

Jelen munkában a Tramadol bomlási folyamatait vizsgáljuk nagyenergiájú ionizáló sugárzás hatására, külön hangsúlyt fektetve a lejátszódó gyökreakciókra, valamint a különböző mátrixoknak az eltávolítási hatékonyságra gyakorolt hatására. Kémiai szerkezete alapján a hidroxilgyök 3 helyen támadhatja meg a molekulát: az aromás gyűrűn (addíció), az amin-csoporton (H-atom absztrakció) és a ciklohexán vagy a metoxi-csoport szénatomján (H-atom absztrakció). A pH növelésével nő a célvegyület és a hidroxilgyök közötti reakció sebességi együtthatója. Különböző közegekben (nagytisztaságú víz, csapvíz, szintetikus szennyvíz és tisztított szennyvíz) vizsgáltuk az eltávolítás hatékonyságát a szennyvízanalitikában használt összegparaméterek segítségével. Az oxidációs és mineralizációs folyamatok paralel módon játszódnak le, a biológiai lebonthatóság folyamatosan nő a dózis növelésével nagytisztaságú vízben. Mind a kiindulási vegyület, mind a bomlástermékek esetében a *Vibrio fischeri* tesztbaktériummal megállapított toxicitás 20 % alatt maradt. Az egyes mátrixokban jelen lévő idegen anyagok (szerves anyagok, szervesetlen ionok, fémionok, lebegő anyagok) gyökfogó tulajdonságuk révén csökkentik az ionizáló sugárzás hatékonyságát a Tramadol lebontása során. Mindazonáltal, technológiai szempontból a nagyenergiájú ionizáló sugárzás még így is elegendően hatékonynak bizonyult a célmolekula alapszerkezetének megbontásához, ezáltal jelentősen hozzájárulva a lebontási folyamatokhoz és a szennyező ártalmatlanításához.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, valamint a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott, FK-23 pályázati program (azonosítószám: FK146883) finanszírozásában valósult meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] R. Loos et al., Water Res., **2013**, *47*, 6475.
- [2] M. Antonopoulou et al., Sci. Total Environ. **2020**, *710*, 135396.
- [3] P.C. Rúa-Gomez and W. Püttmann. Environ. Si. Pollut. Res., **2011**, *19*, 689.
- [4] H. Monteil et al., Chemosphere, **2020**, *247*, 125939.
- [5] N.F Moustafa et a., Egypt. J. Chem., **2020**, *63*, 1397

---

# HIGH-ENERGY IONIZING RADIATION-DRIVEN RADICAL REACTIONS AND MATRIX EFFECTS IN TRAMADOL DEGRADATION

Krisztina Kovács <sup>1</sup>, Anna Tegze <sup>1</sup>, Anikó Bezsenyi <sup>2</sup>, László Wojnárovits <sup>1</sup>

<sup>1</sup>HUN-REN Centre for Energy Research, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>2</sup>Budapest Sewage Works Pte Ltd., 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.

Tramadol, a widely used opioid analgesic, has been detected as an environmental contaminant in both surface waters and wastewaters. Its removal during conventional wastewater treatment is incomplete, and concentrations up to 1100 ng L<sup>-1</sup> have been reported in effluents of municipal wastewater treatment plants in several European countries. Consequently, Tramadol is also present in surface waters, typically at levels around 100 ng L<sup>-1</sup> [1–3]. Advanced Oxidation Processes (AOPs) have proven effective for tramadol removal [4–5].

In this study, we investigated the degradation pathways of Tramadol under high-energy ionizing radiation, with particular emphasis on the radical reactions involved and the matrix effect on removal efficiency. Based on its chemical structure, the hydroxyl radical can attack the molecule at three positions: aromatic ring (addition), amino group (H-atom abstraction), and carbon atoms of either the cyclohexane or the methoxy group (H-atom abstraction). Increasing pH was found to enhance the rate constant for the reaction between Tramadol and hydroxyl radicals. The removal efficiency was evaluated in different matrices (ultrapure water, tap water, synthetic wastewater, and treated wastewater) using sum parameters commonly applied in wastewater analysis. Oxidation and mineralization processes occurred in parallel, while the biodegradability continuously increased with higher absorbed doses in ultrapure water. Importantly, the toxicity in *Vibrio fischeri* marine bacterium tests of both the parent compound and its degradation products remained below 20%. The water contaminants (such as organic matter, inorganic ions, metal ions, and suspended solids) acted as radical scavengers and thereby reduced the efficiency of ionizing radiation in Tramadol degradation. Nevertheless, from a technological perspective, high-energy ionizing radiation proved sufficiently effective to disrupt the molecular structure of tramadol, thereby contributing significantly to its degradation and to the mitigation of its environmental impact.

## Acknowledgements

This research was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences and by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund financed under the OTKA FK 23 funding scheme (Project No. 146883).

## REFERENCES

- [1] R. Loos et al., *Water Res.*, 2013, 47, 6475.
- [2] M. Antonopoulou et al., *Sci. Total Environ.* 2020, 710, 135396.
- [3] Rúa-Gomez, P.C. and Püttmann, W. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2011, 19, 689.
- [4] H. Monteil et al., *Chemosphere*, **2020**, 247, 125939.
- [5] N.F Moustafa et al., *Egypt. J. Chem.*, **2020**, 63, 1397

---

# SUGÁRVÉDELMI ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁSOK ÉS AZ ELJÁRÁSI FOLYAMAT BEMUTATÁSA

**Szalay Brigitta, Kovácsné Huszár Noémi, Hum Gábor**

*Sugárvédelmi Főosztály, Országos Atomenergia Hivatal*

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) Sugárvédelmi Főosztályának feladata a radioaktív anyagok alkalmazásának és az ionizáló sugárzást létrehozó berendezések üzemeltetésének sugárvédelmi felügyelete. A hatósági felügyelet alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia alkalmazása során keletkező ionizáló sugárzás semmilyen módon ne okozhasson kárt az emberekben és a környezetben. A biztonság egyik alapvető követelménye az indokolt alkalmazások következtében fellépő ionizáló sugárzások elleni megfelelő védelem optimális kialakítása, amely elsődlegesen az atomenergia alkalmazójának felelőssége. Az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atomtörvény) tartalmazza. Az ionizáló sugárzás elleni védelemmel kapcsolatos követelményeket „az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről” szóló 2/2022. (IV.29.) OAH rendelet (továbbiakban: Sugárvédelmi rendelet) határozza meg.

Az előadás célja a Sugárvédelmi Főosztályon történő engedélyezés folyamatának bemutatása. Az előadás egyrészt összefoglalja az engedélyezés alapjait képező jogi előírásokat, ismerteti a kérelmező és a hatóság kötelezettségeit, valamint iránymutatást ad az egyes engedélyezési eljárásokra vonatkozóan, másrészt felhívja a figyelmet a sugárvédelem fontosabb szempontjaira és rámutat néhány általánosan tapasztalható problémára és félreértésre. Az előadás olyan megoldásokat igyekszik bemutatni, amelyek támogatják a kérelmező és az OAH közötti sikeresebb együttműködést.

---

## **PRESENTATION OF RADIATION PROTECTION LICENSING PROCEDURES AND THE AUTHORISATION PROCESS**

**Brigitta Szalay, Noémi Kovácsné Huszár, Gábor Hum**

*Radiation Protection Department  
Hungarian Atomic Energy Authority*

The Radiation Protection Department of the Hungarian Atomic Energy Authority (hereinafter referred to as HAEA) is responsible for radiation protection supervision of the use of radioactive materials and the operation of equipment generating ionizing radiation. The fundamental objective of the regulatory oversight is to ensure that ionizing radiation generated during the use of nuclear energy does not cause any harm to humans or to the environment. One of the fundamental requirements of safety is the optimal design of adequate protection against ionizing radiation resulting from justified applications, which is primarily the responsibility of the user of nuclear energy. The highest level of regulation concerning the peaceful and safe use of nuclear energy is contained in the Act CXVI of 1996 on Nuclear Energy (hereinafter: the Nuclear Energy Act). The requirements for protection against ionizing radiation are defined in Decree 2/2022. (IV.29.) HAEA on "Protection against ionizing radiation and the related licensing, reporting and inspection system" (hereinafter: Radiation Protection Decree).

The aim of the presentation is to introduce the licensing process at the Radiation Protection Department. The presentation summarises the legal requirements underlying the licensing process, describes the obligations of the applicant and the authority, and provides guidance on the individual licensing procedures. On the other hand, it draws attention to the more important aspects of radiation protection and highlights some commonly encountered problems and misunderstandings. The presentation seeks to provide solutions that support more successful cooperation between the applicant and the HAEA.

---

**2025. október 15.  
szerda**



---

## **TOVÁBBI ÜZEMIDŐ HOSSZABBÍTÁS KÖRNYEZETVÉDELMI ENGEDÉLYEZÉSÉNEK JELENLEGI HELYZETE**

**Bujtás Tibor**

*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.*

A 2189/2022. Kormány határozatban a Kormány döntött arról, hogy ellátásbiztonsági, klímavédelmi és energiastratégiai célok teljesíthetősége és az alacsony árú, megfizethető villamosenergia-ellátás hosszú távú fenntarthatósága érdekében szükséges az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. által üzemeltetett a blokkok további üzemidő-hosszabbítása.

A Környezetvédelmi Engedélyezés Munkacsoport feladata, hogy, készítse/készíttesse el az összes szükséges vizsgálatot és dokumentációt és szerezzé meg a TÜH környezetvédelmi engedélyt.

Előadásomban bemutatom a További Üzemidő Hosszabbítás környezetvédelmi engedélyezésének tervezett lépéseit, ütemtervét.

Az elmúlt három évben nagyon sok tevékenység zajlott, elkészült több fontos dokumentáció, befejeződtek a vizsgálati programok.

Az Előzetes Konzultációs Dokumentum elkészülte után 2024. szeptemberben elkezdődött az első engedélyezési fázis, amely már az espoo-i egyezmény alapján nemzetközi szakaszt is magában foglalt.

Az előadásomban bemutatom az elmúlt három év fontos mérföldköveit és a következő időszak feladatait.

## **ACTUAL STATUS OF THE ENVIRONMENTAL LICENSING OF THE SUBSEQUENT LICENSE RENEWAL**

**Tibor Bujtás**

*MVM Paks NPP*

In the Decree No. 2189/2022. the Government decided that in order to achieve the objectives of security of supply, climate protection and energy strategy and to ensure the long-term sustainability of low-priced, affordable electricity supply, it is necessary to extend the operating lifetime of the units operated by MVM Paks Nuclear Power Plant Ltd.

The task of the Environmental Licensing Working Group is to prepare/have prepared all the necessary measurements and documentation and obtain the SLR environmental licence.

In my presentation I'll present the planned steps and schedule of environmental licensing of SLR Project.

Over the past three years, a lot of activities have taken place, several important documentation has been prepared, measuring programmes have been finished.

After the completion of the Preliminary Consultation Document, the first licensing phase began in September 2024, which already included an international phase based on the Espoo Convention.

In my presentation I'll present the important milestones of the past three years and the tasks of the next period.

---

## RADIOKÉMIAI FELADATOK AZ OKSER MUNKÁJÁBAN

**Zagyvai Péter**

*HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont és az OKSER Szakbizottság további tagjai*

Az Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (OKSER) jelenlegi formájában már több, mint 20 éve működik, az Európai Atomenergia-közösség (EURATOM) alapító szerződésében foglaltaknak megfelelően. Az OKSER a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárzási viszonyok és radioaktív anyagkoncentrációk országos ellenőrzési eredményeinek gyűjtését és értékelését végzi. Tagjai országos hatáskörű intézmények és szervezetek, valamint az egyedileg engedélyezett mértékű környezeti kibocsátással működő kiemelt létesítmények. A mérendő mennyiségek közé a környezeti sugárzás dózisteljesítménye és a környezeti közegekben található radionuklidok aktivitáskoncentrációja tartozik. A mintázott anyagok: levegő (szűrés és kihullás), talaj, felszíni vizek, ivóvíz, természetes és mezőgazdasági termesztésű növényzet, vadon élő és haszonállatok, a lakosság által fogyasztott növényi és állati eredetű élelmiszerek és azok alapanyagai. A mérések nagyobb része közvetlenül szolgáltat eredményt, de jelentős szerepe van a csak radiokémiai feldolgozás után lehetséges nuklidspecifikus meghatározásoknak is.

A vizsgálati eljárásoknak – a szükséges mintaelőkészítés bonyolultsága szerint – két csoportja különböztethető meg. A csak radiokémiai módszerekkel végezhető analízisek csoportjába elsősorban  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , és  $\alpha$ -sugárzók meghatározása tartozik. A másik csoportban csak szükség esetén végeznek radiokémiai feldolgozást az általában elválasztás nélkül, rutinszerűen  $\gamma$ -spektrometriával és/vagy az 50 keV feletti energiájú részecskéket regisztrálni képes összes  $\beta$ -méréssel vizsgált mintáknál. Külön figyelmet érdemelnek a természetes eredetű radionuklidok, melyek esetleges feldúsulása emberi tevékenységhez köthető okból is előadódhat.

A radiokémiai módszerek kiválasztásánál két fontos követelmény van: elegendően gyorsnak kell lenniük, hogy a vállalt mintaszám elemzése teljesíthető legyen, ugyanakkor igazodni kell a 489/2015. kormányrendeletben megállapított jelentési szintekhez, tehát a mérések kimutatási érzékenysége (LD) ezek alatt kell, hogy legyen. Az előadáson néhány, az OKSER-ben rendszeresen alkalmazott elemzési módszer részleteit mutatjuk be.

---

## AZ IVÓVÍZ RADIOAKTIVITÁSÁRÓL – HATÓSÁGI NÉZŐPONTBÓL

**Osváth Szabolcs, Vargha Márta, Bufa-Dórr Zsuzsanna, Izsák Bálint, Beregszászi Tímea**

*Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ*

Az ivóvizek minőségével kapcsolatos előírásokat (ideértve a radiológiai jellemzőkre vonatkozó előírásokat, azok ellenőrzésének módját és gyakoriságát) hazánkban jelenleg az 5/2023. Korm. r. tartalmazza. A radiológiai jellemzőket (a trícium és a radon aktivitáskoncentrációját, továbbá az indikatív dózist) 2016 óta kell meghatározni. Az indikatív dózis becsléséhez általában az összes-alfa és az összes-béta aktivitáskoncentrációt szokás vizsgálni, ám bizonyos esetekben szükség van részletesebb (pl. nuklidszelektív) mérésekre is. Az elmúlt 9 év tapasztalatai azt mutatják, hogy a radiológiai paraméterek közül egyedül az összes-alfa aktivitáskoncentráció érdemel komoly figyelmet; az is csak az ország bizonyos régióiban.

A jogszabályi előírásokat kihasználva 2023 és 2024 során 400-nál is több vízellátó rendszer kért (és amennyiben megfelelt a követelményeknek, kapott) engedélyt a vizsgálatok gyakoriságának csökkentésére. Ez lehetőséget kínál arra, hogy a figyelmet és az erőforrásokat a nagyobb összes-alfa aktivitáskoncentrációval jellemezhető vízellátási zónákra fókuszáljuk.

Az összes-alfa aktivitáskoncentrációnak az alapértelmezett vizsgálati szintnél (0,1 Bq/l-nél) nagyobb értékét az eddig vizsgált esetekben az U izotópjai okozzák. Ezekben az esetekben a hatóságnak módjában áll alternatív vizsgálati szintet megállapítani, mivel az ivóvízben vizsgálandó természetes eredetű alfa-sugárzó radionuklidok (U-238, U-234, Ra-228, Ra-226, Pb-210, Po-210) közül az U izotópjainak a legkisebb a dóziskonverziós tényezője. Ilyen határozatból eddig 26 született.

A határozat kiadásakor a hatóságnak mérési eredményekkel és számolással (vagy becsléssel) kell bizonyítani, hogy olyan alternatív vizsgálati szintet állapít meg, amely összhangban áll az éves indikatív dózis 0,1 mSv értékével. Ezen túlmenően az alternatív vizsgálati szintnek teljesítenie kell a megelőzés és a takarékoság elvét; azaz lehetővé teszi a szokásos aktivitáskoncentrációtól való eltérés észlelését [hiszen a vizsgálati szint egy jövőbeli túllépése fontos indikátora lehet egy esetleges későbbi szennyezésnek], de nem is eredményez szükségtelen többletvizsgálatokat.

Megjegyzendő, hogy az U-nak (kémiai toxicitása okán) saját határértéke (30 µg/l) van. Ez – ha a többi alfa-sugárzó radionuklid jelenlététől eltekintünk – 0,74 Bq/l összes-alfa aktivitáskoncentrációnak felel meg, amit érdemes figyelembe venni az összes-alfa aktivitáskoncentráció alternatív vizsgálati szintjének meghatározásakor.

---

## RADIOACTIVITY OF DRINKING WATER – THE VIEW OF THE AUTHORITY

Szabolcs Osváth, Márta Vargha, Zsuzsanna Bufa-Dórr, Bálint Izsák, Tímea Beregszászi

*National Center for Public Health and Pharmacy*

Regulations on the quality of drinking water (including regulations on radiological characteristics, as well as the method and frequency of their monitoring) in Hungary are currently regulated by Govt. Decree 5/2023. Radiological characteristics (the activity concentration of tritium and radon, as well as the indicative dose) have to be determined since 2016. To estimate the indicative dose, the gross alpha and gross beta activity concentrations are usually checked, but in certain cases more detailed (e.g. nuclide-selective) measurements are also necessary. The experience of the last 9 years clarify that it is only the gross alpha activity concentration that deserves much attention (only in certain regions of the country).

Taking advantage of the legal provisions, more than 400 waterworks applied for permission to reduce the frequency of measurements in 2023 and 2024. (If they met the requirements, they received the permission.) This offers an opportunity to focus attention and resources on water supply zones with higher gross alpha activity concentrations.

The gross alpha activity concentrations higher than the default testing level (0.1 Bq/l) in the cases examined so far are caused by U isotopes. In these cases, the authority has the opportunity to determine an alternative testing level, since U isotopes have the lowest dose conversion factor among the naturally occurring alpha-emitting radionuclides to be tested in drinking water (U-238, U-234, Ra-228, Ra-226, Pb-210, Po-210). 26 such decisions have been issued so far.

When issuing the decision, the authority must demonstrate, using measurement results and calculations (or estimates), that the established alternative testing level is consistent with the 0.1 mSv annual indicative dose. In addition, the established alternative testing level must meet the principles of prevention and economy: it must allow the detection of deviations from the usual activity concentration values [as an important indicator of possible future contamination], but it must not result unnecessary additional testing.

It should be noted that there is a limit for U (30 µg/l, due to its chemical toxicity). This corresponds to a gross alpha activity concentration of 0.74 Bq/l (if the presence of other alpha-emitting radionuclides is disregarded). This is worthy to be taken into account when determining an alternative screening level the gross alpha activity concentration.

---

## RADIOAKTÍV ILLETVE VESZÉLYES HULLADÉKOK MINŐSÍTÉSE

Osváth Szabolcs, Kalászi Pál, Kövendiné Kónyi Júlia, Rell Péter, Salik Ádám

*Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ  
Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály*

Az elmúlt években az NNGYK SSF legtöbb szervezeti egysége a Budafok, Anna utcai telephelyről (a korábbi „OSSKI kampusz”-ról avagy „Törley kampusz”-ról) átköltözött a Nagyvárad térre. A régi telephely végleges elhagyása előtt szükségessé vált az ottani hulladéktárolók kiürítése és felszámolása; az azokban tárolt anyagok átvizsgálása, minősítése, esetleges kezelése és megfelelő elszállítása. A többféle hulladéktípus többféle vizsgálati módszer alkalmazását igényelte.

A *zárt radioaktív sugárforrások* jelentős része mára már lebomlott. Amennyiben az aktivitásuk nem haladja meg a vonatkozó mentességi aktivitás (MEA) 1/10-ét, a sugárforrás bejelentéssel felszabadítható a sugárvédelmi hatósági felügyelet alól. [2/2022. OAH r.]

A többi radioaktív hulladék *nyitott radioaktív sugárforrás*nak minősül. Ezek közül a *szilárd hulladékok* esetében a nyilvántartást felhasználva meghatározzuk, hogy melyik hulladékcsomag aktivitáskoncentrációja kisebb a vonatkozó általános mentességi aktivitáskoncentrációnál (ÁMEAK-nál). A kiválasztott hulladékcsomagot vizuálisan azonosítjuk, és kézi műszerrel megmérjük a csomag felszínén a gamma-dózisteljesítményt. (Az alacsony intenzitású sugárzás miatt nuklidazonosító műszer nem használható.) Amennyiben a mérés a nyilvántartásban szereplő adatokat megerősíti, és a természetes háttérsugárzást 20%-kal meghaladó dózisteljesítmény a csomag felszínének egyetlen pontján sem mérhető; a csomag bejelentéssel felszabadítható a sugárvédelmi hatósági felügyelet alól, a továbbiakban veszélyes hulladékként kezeljük.

Az *inaktív folyékony hulladékok* általában kémiai laboratóriumból származnak: savak (cc.  $\text{HNO}_3$ ), lúgok (4-6 M NaOH), szerves folyadékok [tributil-foszfát (TBP), folyadékszintillációs (LSC) koktélok] stb. Ezek alapvetően kémiai reaktivitásuk, toxicitásuk és környezetkárosító hatásuk miatt problémásak [a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. tv. 1. mell. szerint veszélyes hulladéknak minősülnek]; ám – a telephely múltját szem előtt tartva – kötelességünknek tartottuk (a *folyékony radioaktív hulladékok*éhoz hasonlóan) ezeknek a radioaktivitását is méréssel ellenőrizni, a mentességükről méréssel is meggyőződni. Mindegyikből 10-10 ml mintát vettünk, és nagytisztaságú félvezető germánium (HPGe) detektoros gamma-spektrométerrel felvettük a gamma-spektrumukat. Ezt követően 10 ml Ultima Gold LLT koktélt adtunk mindegyikhez, és alfa/béta diszkriminációt alkalmazva az LSC spektrumaikat is felvettük.

A kétfajta mérési technikával, kapott eredményeket a rendelkezésünkre álló korábbi adatokkal (pl. nyilvántartásokkal, a palackokon lévő feliratokkal) összevetve megállapítható, hogy az eddig megmintázott mintegy 100 kanna 80-85%-ának a tartalma bizonyítottan inaktív. Ezek – adott esetben felszabadítás után – „közönséges” veszélyes hulladékként elszállíthatóak. A minták 10-15%-ában valamelyik radionuklid aktivitáskoncentrációja nagyobbak bizonyult az ún. specifikus mentességi aktivitáskoncentrációjánál (SMEAK-jánál), ezek a folyadékok radioaktív hulladéknak minősülnek. Végül néhány esetben további vizsgálatokra van szükség, például mert a minta összetétele vagy színe az ún. kvencshatás (quench, kioltás) miatt lehetetlenné tette az LSC spektrumok kiértékelését.

---

# CHARACTERIZATION OF RADIOACTIVE AND DANGEROUS WASTE

Szabolcs Osváth, Pál Kalászi, Júlia Kövendingé Kónyi, Péter Rell, Ádám Salik

*National Center for Public Health and Pharmacy  
Department of Radiobiology and Radiohygiene*

In recent years, most divisions of NCPHP DRR have been relocated from the Anna Street site (Budafok) to Nagyváradi Square. Before the final abandonment of the old site, it became necessary to empty its waste storage facilities. The materials stored there must be classified and properly transported. The various types of waste required the application of various testing methods.

A significant part of the sealed radioactive radiation sources has been decomposed until now. If their activity does not exceed 1/10 of the relevant exemption activity, the radiation source can be released from radiation protection authority supervision by notification, according to the HAEA Decree 2/2022.

Other radioactive waste is considered as open radioactive source. In the case of solid waste, the register is used to determine which waste package has an activity concentration lower than the relevant general exemption activity concentration. The selected waste package is visually identified and the gamma dose rate on the surface of the package is measured using a portable instrument. (Due to the low intensity of the radiation, a nuclide identification instrument cannot be used.) If the measurement confirms the data in the register and no dose rate exceeding the natural background radiation by more than 20% can be measured at any point on the surface of the package; the package can be released from radiation protection regulatory supervision upon notification and will be treated as hazardous waste in the future.

Inactive liquid waste is usually produced in chemical laboratories: acids (65%  $\text{HNO}_3$ ), alkalis (4-6 M NaOH), organic liquids [tributyl phosphate, liquid scintillation (LSC) cocktails], etc. These dangerousness originates from their chemical reactivity, toxicity and environmental damage [they are classified as hazardous waste according to Waste Act CLXXXV. of 2012, Annex 1]; but – keeping in mind the history of the site – we considered it our duty (similarly to liquid radioactive wastes) to check their radioactivity and to verify their exemption by measurement. We took 10-10 mL samples from each of them and acquired their gamma spectra using a gamma spectrometer equipped with a high-purity semiconductor germanium (HPGe) detector. After that, 10 mL of Ultima Gold LLT cocktail was added to each and their LSC spectra were also acquired applying alpha/beta discrimination.

By comparing the results obtained with the two measurement techniques and the previous available data (e.g. records, labels on the bottles), it can be concluded that the content of 80-85% of the ca. 100 cans sampled so far is proven to be inactive. These can be managed as “ordinary” hazardous waste – after release, if applicable. In 10-15% of the samples, the activity concentration of one of the radionuclides turned out to be higher than the so-called specific exemption activity concentration, these liquids must be classified as radioactive waste. Finally, in some cases, further investigation is necessary, for example because the composition or color of the sample made the evaluation of the LSC spectra impossible due to the so-called quench effect.

---

# AZ AEROSZOL GAMMA-SPEKTROMETRIAI MÉRÉSE A KÖRNYEZET RADIOLÓGIAI ELLENŐRZÉSE CÉLJÁBÓL

Kövendiné Kónyi Júlia

*Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ  
Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály*

A környezet radiológiai ellenőrzését az teszi szükségessé, hogy a levegőben, vizekben, talajban jelen vannak radioaktív atomok, molekulák, anyagok. A környezet ellenőrzése követi a radionuklidok útját a kibocsátástól az emberig, beleértve a terjedési útvonalakat, táplálkozási láncokat. Az ellenőrzés célja a sugárterhelés meghatározása az ember, a lakosság és az élővilág védelmére. A sugárterhelés számolásánál figyelembe kell venni a külső és belső sugárterhelést okozó tényezőket is.

A környezetünkben jelen lévő radioaktivitás eredete szerint két nagy csoportba sorolható: természetes radioaktivitás, ami a Föld keletkezése óta jelen van és mesterséges radioaktivitás, vagyis az emberi tevékenység során képződő radioaktivitás. Ez utóbbi az atomenergia békés vagy nem békés célú felhasználása során kerül a környezetbe. Az emberi tevékenység nyomán kibocsátott radioaktivitás mérése feladata a kibocsátónak és a hatóságnak egyaránt. Ennek révén igazolható, hogy az atomenergia alkalmazása következtében nem éri a lakosságot a hatóságilag engedélyezett határértéknél nagyobb sugárdózis. Üzemi baleset vagy veszélyhelyzet esetén a környezeti radiológiai mérési adatok alapján lehet dönteni az optimális védőintézkedésekről.

A levegőben jelenlévő természetes és mesterséges radioaktivitás mérhető az aeroszolban vagy a kihullásban. Az NNGYK SSFO akkreditált Sugáregészségügyi Vizsgálólaboratóriumában rendszeresen mérjük a levegő aeroszol és a kihullás radioaktivitását is. Az aeroszol minták mintavételi ideje 8 nap, a mintázott levegő térfogata körülbelül 25000 m<sup>3</sup>. A mintákat négy nap pihentetés után mérjük nagy tisztaságú germánium félvezető detektoron. A mérési idő két nap, így a mérés kimutatási határa igen alacsony, 1-2  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  a radiocéziumok és radiojód esetében. Az előadásban ismertetjük a laboratóriumunkban az aeroszol minták vételével, előkészítésével és gamma-spektrometriai mérésével követett protokollt, majd az elmúlt tíz éves mérési folyamat során kapott eredményeket. Ezeket a mérési eredményeket rendszeresen nyilvánossá tesszük az intézeti honlapunkon, és miután bekerülnek az országos adatbázisba, onnan eljuttatják az EU és IAEA adatbázisokba. Említést teszünk az elmúlt években a világban történt üzemzavarok nyomán történt kibocsátások miatt a magyarországi légtérben is megjelent mesterséges radioaktivitásról. Az alkalmazott mintavételi és mérési protokollunk lehetővé tette a  $\mu\text{Bq}$  nagyságrendű aktivitás mérését.

---

# **GAMMA SPECTROMETRIC MEASUREMENT OF AEROSOL SAMPLES FOR ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL MONITORING**

**Júlia Kövendingé Kónyi**

*National Center for Public Health and Pharmacy  
Department of Radiobiology and Radiohygiene*

Radiological monitoring of the environment is essential due to the presence of radioactive atoms, molecules, and materials in the environment. Environmental monitoring tracks the movement of radionuclides from their release point to human exposure, including propagation pathways and food chains. The primary objective is to determine radiation exposure levels in the environment in order to protect individuals, the general population, and the environment itself. When calculating radiation exposure, both external and internal radiation exposure must be considered.

Radioactivity in our environment originates from two main sources: natural and artificial. Natural radioactivity has existed since the formation of the Earth, while artificial manmade radioactivity results from human activities. Artificial radionuclides are released into the environment through the peaceful or non-peaceful use of nuclear energy. Monitoring emissions from human activity is the joint responsibility of both the operator and the regulatory authority. Measurement data are used to assess radiation doses to the population. In the event of an industrial accident or emergency situation, environmental radiological data are essential for making protective decisions and implementing countermeasures.

Environmental monitoring includes sampling and analyses of air, natural waters, soil and vegetation.

Natural and artificial radioactivity in the air can be detected in aerosols or fallout. At the accredited Radioanalytical Laboratory of the NCPHP DptRR we routinely measure the radioactivity of both air aerosols and fallout. Aerosol samples are collected over an 8-day period, during which approximately 25,000 m<sup>3</sup> of air is sampled. After a four day resting period the samples are analyzed using high-purity germanium semiconductor detector. The measurement period is two days, which allows for a very low detection limit - around 1-2 µBq/m<sup>3</sup> for radiocaesium and radioiodine.

In this presentation, we describe the protocol used in our laboratory for sampling, preparation and gamma-spectrometric measurement of aerosol samples. We will also present measurement results obtained over the past several years. These measurement results are made publicly available on our website and form part of the national environmental radiation database. They are regularly submitted to the EU and IAEA databases.

We will also highlight some instances where man-made radioactivity has appeared in the air over Hungary, originating from emissions elsewhere in the world in recent years. Our sampling and measurement protocol is capable of detecting very low levels of activity - even in the µBq range.



---

# NEHEZEN MÉRHETŐ RADIONUKLIDOK MEGHATÁROZÁSA LESZERELÉSI MINTÁBAN: EGY NEMZETKÖZI JÁRTASSÁGI TESZT EREDMÉNYEI ÉS TANULSÁGAI

Papp István<sup>1,2</sup>, Osváth Szabolcs<sup>3</sup>, Vajda Nóra<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> ISOTOPTTECH Zrt., Bem tér 18/C, 4026 Debrecen

<sup>2</sup> Debreceni Egyetem TTK, Kémia Doktori Iskola, Egyetem tér 1., 4032 Debrecen

<sup>3</sup> Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Albert Flórián út 3/A., 1097 Budapest

<sup>4</sup> Radanal Kft., Konkoly-Thege M. út 29-33, 1121 Budapest

A radioaktív hulladékok hosszú távú biztonságos tárolása szempontjából elengedhetetlen a részletes radiológiai jellemzés. Az atomerőművek leszerelése során szükség van a felaktiválódott szerkezeti anyagokban képződött nehezen mérhető radionuklidok meghatározására is, ehhez pedig radiokémiai elválasztási műveletek szükségesek.

A nehezen mérhető radionuklidok meghatározását tovább nehezíti a standard referenciaanyagok és a szabványosított módszerek hiánya. Ezért hiánypótló jelentőségű volt a Nordic Nuclear Safety Research (NKS) által szervezett „MoNi2024” jártassági teszt, melyen az Isotoptech/Radanal is részt vett.

A 2024. évi Őszi Radiokémiai Napokon bemutattuk a kifejlesztett radiokémiai elválasztási folyamat részleteit, melyek során Fe, Ni, Zr, Nb és Mo elemeket választottunk el egymástól, hogy nehezen mérhető radionuklidjaikat meghatározzuk (Fe-55, Ni-59, Ni-63, Zr-93, Nb-93m, Nb-94, Mo-93).

Jelen előadásban a „MoNi2024” jártassági teszt kiértékelését és tanulságait mutatjuk be, különös tekintettel az egyes méréstechnikák (LSC, ICP-MS) esetében várható zavaró hatásokra.

---

# DETERMINATION OF DIFFICULT-TO-MEASURE RADIONUCLIDES IN DECOMMISSIONING SAMPLES: RESULTS AND LESSONS FROM AN INTERNATIONAL PROFICIENCY TEST

**Papp István<sup>1,2</sup>, Osváth Szabolcs<sup>3</sup>, Vajda Nóra<sup>2,4</sup>**

<sup>1</sup> ISOTOPTECH Zrt., Bem tér 18/C, 4026 Debrecen

<sup>2</sup> Debreceni Egyetem TTK, Kémia Doktori Iskola, Egyetem tér 1., 4032 Debrecen

<sup>3</sup> Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Albert Flórián út 3/A., 1097 Budapest

<sup>4</sup> Radanal Kft., Konkoly-Thege M. út 29-33, 1121 Budapest

Detailed radiological characterization is essential for the long-term safe storage of radioactive waste. During the decommissioning of nuclear power plants, it is also necessary to determine difficult-to-measure (DTM) radionuclides in activated structural materials, which requires radiochemical separation procedures.

The determination of these DTM radionuclides is further complicated by the lack of standard reference materials and standardized methods. Therefore, the “MoNi2024” proficiency test organized by Nordic Nuclear Safety Research (NKS), in which Isotoptech/Radanal participated, was of particular importance.

During the 2024 Autumn Radiochemical Days, we presented the details of the developed radiochemical separation procedures, during which Fe, Ni, Zr, Nb, and Mo were separated from each other in order to determine their DTM radionuclides (Fe-55, Ni-59, Ni-63, Zr-93, Nb-93m, Nb-94, Mo-93).

In this presentation, we summarize the evaluation and lessons learned from the “MoNi2024” proficiency test, with special attention to the potential interferences associated with specific measurement techniques (LSC, ICP-MS).

---

## **GYERMEKEK EGÉSZTEST MONITOROZÁSÁRA VONATKOZÓ NEMZETKÖZI ÖSSZEMÉRÉS TAPASZTALATAI**

**Rékasi Zsófia, Pázmándi Tamás, Zagyvai Péter, Zagyvai Márton, Pántya Annamária,  
Glavák Csaba**

*HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont*

Egy esetleges nukleáris vagy radiológiai esemény során fontos a szervezetbe kerülő radioaktív izotópok aktivitásának pontos meghatározása, különösen olyan érzékeny csoportok esetén, mint a gyermekek. Az európai dozimetriai szakértőket tömörítő EURADOS szervezet nemzetközi összehasonlító gyakorlatot szervezett egésztest-számláló laborok számára. A résztvevő laborok feladata célzott kalibráció készítése különböző életkorú gyermekekre vonatkozóan, valamint új, gyermekekre szabott protokollok és eljárások kidolgozása az in vivo monitorozáshoz.

Az előadásban bemutatjuk az összemérés során szerzett első tapasztalatainkat, valamint rávilágítunk a vizsgálati módszerek fejlesztésének jelentőségére.

## **EXPERIENCES FROM AN INTERNATIONAL INTERCOMPARISON ON WHOLE-BODY MONITORING FOR CHILDREN**

**Zsófia Rékasi<sup>1</sup>, Tamás Pázmándi<sup>1</sup>, Péter Zagyvai<sup>1</sup>, Márton Zagyvai<sup>1</sup>,  
Annamária Pántya<sup>1</sup>, Csaba Glavák<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>HUN-REN Centre for Energy Research*

In the event of a nuclear or radiological emergency, accurate detection of the activity of incorporated radionuclides is crucial, especially for sensitive population groups such as children. The EURADOS network of European dosimetry experts has organized an international intercomparison exercise for whole-body counting laboratories. Participating laboratories are tasked with performing calibrations for different age groups of children and developing new child-specific protocols and procedures for in vivo monitoring.

In this presentation, we will share the first experiences from the intercomparison and highlight the importance of developing improved measurement methodologies.

---

# **RÉSZTVEVŐK LISTÁJA**

## **LIST OF PARTICIPANTS**

---

**Aicha Nour Laouameria**

HUN-REN Atommagkutató Intézet  
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.  
[nour@atomki.hu](mailto:nour@atomki.hu)

**Bagosi Norbert**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[bagosinorbert@haea.hu](mailto:bagosinorbert@haea.hu)

**Bokori Edit**

RADANAL Kft.  
1121 Budapest, Konkoly-Thege ut 29-33.  
[edit.bokori@gmail.com](mailto:edit.bokori@gmail.com)

**Borbándi Balázs**

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft  
2040 Budaörs Puskás Tivadar u. 11  
[turzap@gmail.com](mailto:turzap@gmail.com)

**Buda Csaba**

Canberra-Packard Kft.  
1221 Budapest, Honfoglalás út 72.  
[c.buda@cpce.net](mailto:c.buda@cpce.net)

**Bujtás Tibor**

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.  
7030 Paks HRSZ:8803/17.  
[bujtast@npp.hu](mailto:bujtast@npp.hu)

**Csurgai József**

SOMOS KFT  
1031 Budapest, Szentendrei út 141.  
[jcsurgai@gmail.com](mailto:jcsurgai@gmail.com)

**Farkas Péter**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[farkaspr@haea.hu](mailto:farkaspr@haea.hu)

**Flachner Orsolya**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[flachner@haea.hu](mailto:flachner@haea.hu)

**Gazdag Levente**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest, Fényes Adolf utca 4.  
[gazdagl@haea.hu](mailto:gazdagl@haea.hu)

**Gonter Katalin**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[gonter@haea.hu](mailto:gonter@haea.hu)

**Gracheva Maria**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[maria.gracheva@ek.hun-ren.hu](mailto:maria.gracheva@ek.hun-ren.hu)

**Homlok Renáta**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.  
[homlok.renata@ek.hun-ren.hu](mailto:homlok.renata@ek.hun-ren.hu)

**Homonnay Zoltán**

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
1053 Budapest Egyetem tér 1-3.  
[homonnay.zoltan@ttk.elte.hu](mailto:homonnay.zoltan@ttk.elte.hu)

**Jószai István**

Debreceni Egyetem OKI  
Nukleáris Medicina Tanszék  
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.  
[joszai.istvan@med.unideb.hu](mailto:joszai.istvan@med.unideb.hu)

**Kacsári Gábor**

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft  
2040 Budaörs Puskás Tivadar u. 11  
[turzap@gmail.com](mailto:turzap@gmail.com)

**Kasztovszky Zsolt**

Energiatudományi Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[kasztovszky.zsolt@ek.hun-ren.hu](mailto:kasztovszky.zsolt@ek.hun-ren.hu)

---

**Király Nóra**

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/C  
[norikiraly@yahoo.com](mailto:norikiraly@yahoo.com)

**Kiss Lóránt**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem, Polimerteknika Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
[kissl@pt.bme.hu](mailto:kissl@pt.bme.hu)

**Kónya József**

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai  
Tanszék  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.  
[konya.jozsef@science.unideb.hu](mailto:konya.jozsef@science.unideb.hu)

**Kovács Botond Dániel**

Izotóp Intézet Kft.  
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.  
[kovacsbo@izotop.hu](mailto:kovacsbo@izotop.hu)

**Kovács Krisztina**

ELTE Kémiai Intézet  
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a  
[krisztina.kovacs@ttk.elte.hu](mailto:krisztina.kovacs@ttk.elte.hu)

**Kovács Krisztina**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[kovacs.krisztina@ek.hun-ren.hu](mailto:kovacs.krisztina@ek.hun-ren.hu)

**Kövendiné Kónyi Júlia**

NNGYK Sugárbiológiai és  
Sugáregészségügyi Főosztály  
1097 Budapest, Albert Flórián 2-6.  
[konyi.julia@nngyk.gov.hu](mailto:konyi.julia@nngyk.gov.hu)

**Kudor Mátyás**

ELTE TTK Kémiai Intézet, Magkémiai  
Laboratórium  
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a  
[kudor.matyas@gmail.com](mailto:kudor.matyas@gmail.com)

**Kuzmann Ernő**

ELTE, Kémiai Intézet, Magkémia  
1117 Budapest, Pázmány P. s 1/A  
[erno.kuzmann@ttk.elte.hu](mailto:erno.kuzmann@ttk.elte.hu)

**László Zoltán**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[laszloz@haea.hu](mailto:laszloz@haea.hu)

**Lázár Károly**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.  
[lazar.karoly@ek-cer.hu](mailto:lazar.karoly@ek-cer.hu)

**Madarász István**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[madarasz.istvan@haea.hu](mailto:madarasz.istvan@haea.hu)

**Meitert Zsuzsanna**

Debreceni Egyetem  
Orvosi Képző Intézet  
Nukleáris Medicina Tanszék  
4032 Debrecen, Nagyterdei krt. 98.  
[meitert.zsuzsanna@med.unideb.hu](mailto:meitert.zsuzsanna@med.unideb.hu)

**Mészáros István**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest, Fényes Adolf utca 4.  
[meszaros@haea.hu](mailto:meszaros@haea.hu)

**Miovecz Ádám**

Canberra-Packard Kft.  
1118 Budapest, Pannónhalmi út 35/A  
[a.miovecz@cpce.net](mailto:a.miovecz@cpce.net)

**Molnár Mihály**

HUN-REN Atommagkutató Intézet  
4026 Debrecen, Bem tér 18/c  
[mmol@atomki.hu](mailto:mmol@atomki.hu)

---

**Molnár Péter**

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft  
2040 Budaörs Puskás Tivadar u. 11  
[turzap@gmail.com](mailto:turzap@gmail.com)

**Molnár Zsuzsa**

RADANAL Kft.  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33  
[molnarzs22@gmail.com](mailto:molnarzs22@gmail.com)

**Nagy Noémi**

Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai  
Tanszék  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.  
[nagy.noemi@science.unideb.hu](mailto:nagy.noemi@science.unideb.hu)

**Németh Zoltán**

LynXes Innovation Kft.  
2600 Vác Hanusz István 28.  
[zoltan.nemeth@lynxes.eu](mailto:zoltan.nemeth@lynxes.eu)

**Osváth Szabolcs**

NNGYK SSF OLMSO LKSO  
1221 Budapest, Anna utca 5.  
[osvath.szabolcs@nngyk.gov.hu](mailto:osvath.szabolcs@nngyk.gov.hu)

**Papp István**

Isotoptech Zrt.  
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.  
[pappistvan@isotoptech.hu](mailto:pappistvan@isotoptech.hu)

**Pappné Kovács Eszter Mária**

Debreceni Egyetem  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.  
[kovacs.eszter.maria@gmail.com](mailto:kovacs.eszter.maria@gmail.com)

**Rékasi Zsófia**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[rekasi.zsofia@ek.hun-ren.hu](mailto:rekasi.zsofia@ek.hun-ren.hu)

**Ress Ágnes Evelin**

Izotóp Intézet Kft.  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[ressa@izotop.hu](mailto:ressa@izotop.hu)

**Schiller Róbert**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[schiller.robert@ek.hun-ren.hu](mailto:schiller.robert@ek.hun-ren.hu)

**Stefánka Zsolt**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest, Fényes Adolf utca 4.  
[stefanka@hahea.hu](mailto:stefanka@hahea.hu)

**Stéfánné Dénes Noémi**

Debreceni Egyetem  
Orvosi Képző Intézet  
Nukleáris Medicina Tanszék  
4032 Debrecen, Nagyterdei krt. 98.  
[denes.noemi@med.unideb.hu](mailto:denes.noemi@med.unideb.hu)

**Stiaszny Anikó**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[tataik@haea.hu](mailto:tataik@haea.hu)

**Stichleutner Sándor**

Izotóp Intézet Kft.  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[stichleutner@izotop.hu](mailto:stichleutner@izotop.hu)

**Szalay Brigitta**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u 4.  
[szalay@haea.hu](mailto:szalay@haea.hu)

**Szemenyei Erzsébet**

Izotóp Intézet Kft.  
1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.  
[szemenyei@izotop.hu](mailto:szemenyei@izotop.hu)

---

**Szűcs Zoltán**

HUN-REN Atommagkutató Intézet  
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.  
[zsuzcs@atomki.hu](mailto:zsuzcs@atomki.hu)

**Taba Gabriella**

Semmelweis Egyetem  
1085 Budapest Üllői út 26.  
[tabagabi@gmail.com](mailto:tabagabi@gmail.com)

**Takács Erzsébet**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.  
[takacs.erzsebet@ek.hun-ren.hu](mailto:takacs.erzsebet@ek.hun-ren.hu)

**Tatai Katalin**

Országos Atomenergia Hivatal  
1036 Budapest Fényes Adolf u. 4.  
[szucs@haea.hu](mailto:szucs@haea.hu)

**Turza Péter**

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft  
2040 Budaörs Puskás Tivadar u. 11  
[turzap@gmail.com](mailto:turzap@gmail.com)

**Vajda Nóra**

RADANAL Kft.  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[vajdanor@gmail.com](mailto:vajdanor@gmail.com)

**Végvári Zsófia**

Festményvizsgálati Labor  
1123 Budapest, Kék golyó utca 17.  
[vegvari.zsofia@gmail.com](mailto:vegvari.zsofia@gmail.com)

**Windisch Gábor**

Sugárvédelmi szakértő  
1195 Budapest, József Attila u. 88.  
[wingabor59@gmail.com](mailto:wingabor59@gmail.com)

**Wojnárovits László**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest Konkoly-Thege út 29-33.  
[wojnarovits.laszlo@ek.hun-ren.hu](mailto:wojnarovits.laszlo@ek.hun-ren.hu)

**Zagyvai Márton**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[martonzagyvai@gmail.com](mailto:martonzagyvai@gmail.com)

**Zagyvai Péter**

HUN-REN Energiatudományi  
Kutatóközpont  
1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33.  
[zagyvai.peter@ek.hun-ren.hu](mailto:zagyvai.peter@ek.hun-ren.hu)

**Zsille Ottó**

SOMOS KFT  
1031 Budapest, Szentendrei út 141.  
[penge59@gmail.com](mailto:penge59@gmail.com)