

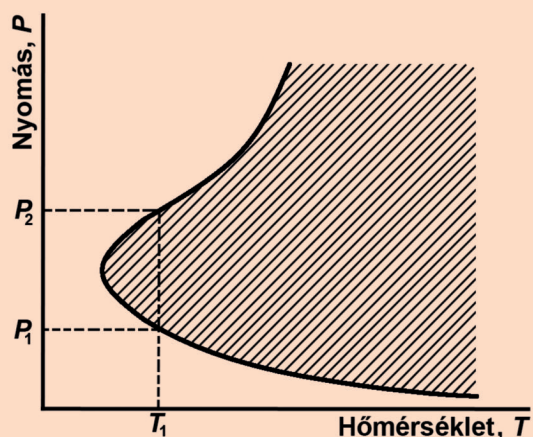
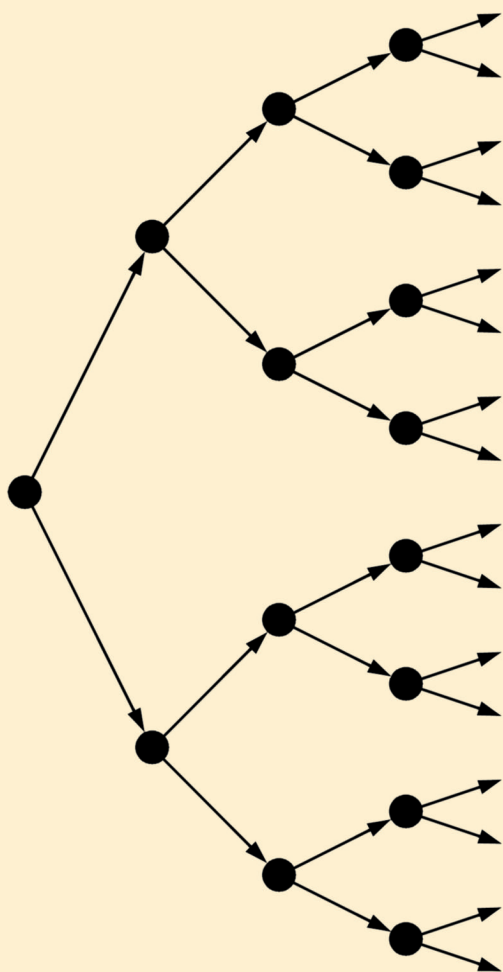
A TARTALOMBÓL:

- Kutatói életút:
Sóvágó Imre
- Membrántechnológia
és fenntartható fejlődés
- Technológiatranszfer
- Hatalmas magyar
győzelem a 9. Nemzetközi
Kémia Tornán!



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXXXI. ÉVFOLYAM • 2026. OKTÓBER • ÁRA: 1800 FT



1956:
Az első „szovjet”
Nobel-díj
és a magyar tragédia

A kiadvány
a Magyar Tudományos
Akadémia támogatásával
készült



Nemzeti
Kulturális
Alap

Richter TETT-mesepályázat

– indul a 6. évad!

Újra természettudományos ihletésű történetek megalkotására hívja a fiatalokat a Richter TETT-mesepályázat. A program hatodik évadában három korcsoportban, egyénileg vagy kétfős csapatokban lehet nevezni, a pályázók pedig felnőtt segítő, azaz mentor támogatását is kérhetik. A zsűri által kiválasztott kiemelkedő művek megjelenhetnek a Richter TETT-könyvben, a díjazottakat pedig nagy értékű jutalmak várják.

A TETT: Te és a természettudományok – mesés történetek pályázat – rövidebb nevén Richter TETT-mesepályázat – a Richter Gedeon Nyrt. és a Természettudományos Oktatásért Szabó Szabolcs Emlékére Közhasznú Alapítvány szakmai partnerségében valósul meg. A program fővédnökei Döbrentey Ildikó és Levente Péter. A kezdeményezés magyarországi és határon túli magyar közoktatási intézmények diákjai számára teremt lehetőséget arra, hogy a természettudományokat az írásos történetalkotás élményén keresztül fedezzék fel.

A program célja, hogy közelebb hozza a tanulókhöz a környezet- és természetismeret, a földrajz, a biológia, a fizika és a kémia világát, egyúttal megmutassa, hogy a tudományos gondolatok és az irodalmi történetalkotás természetes módon, egymást erősítve kapcsolódhatnak egymáshoz. A pályázók olyan magyar nyelvű mesét vagy más prózai művet készíthetnek, amelyben a természettudományos elképzelések, kérdések és összefüggések a történet szerves részévé válnak. A cél, hogy a fiatalok a tudományos ismereteket hitelesen, mégis ötletesen építsék be saját alkotásaikba.

Bár a felhívás a formai feltételeknek megfelelő bármely prózai mű előtt nyitott, a mese a TETT szemléletében kiemelt szerepet kap. A történeteken keresztül összekapcsolhatja a tudomány és a művészet, a gondolkodás és az érzelmek világát, miközben tudást és értékeket közvetíthet. A Richter TETT-mesepályázat ezért nem kizárólag egyetlen műfajra összpontosít: elsősorban a tudományos történetészítés versenyé, amelyben a természettudományos tartalom és az irodalmi megformálás egyaránt meghatározó.

A TETT ugyanakkor nem csupán alkotói verseny, hanem személyiségfejlesztő program is. A történetírás fejleszti az íráskészséget, a képzeletet, valamint a kreatív és precíz gondolkodást. Az alkotói folyamat során a résztvevők felfedezhetik saját alkotóerejüket, megismerhetik az önkifejezés lehetőségét, és gyakorolhatják az elmélyült, kitartó munkát. A program ezzel a természettudományok iránti érdeklődés mellett a kíváncsiságot és a kérdezés bátorságát is erősíti.

A pályázaton általános iskolai tanulók a 3. osztálytól, továbbá középiskolai és középfokú szakképzésben részt vevő diákok indulhatnak. A résztvevők három korcsoportban, egyénileg vagy kétfős csapatokban nyújthatják be munkáikat. A páros alkotás a tudományos és írói készségek mellett az együttműködés és a csapatmunka fejlesztésére is lehetőséget ad. A pályamű elkészítése során felnőtt segítő, azaz mentor támogatását is igénybe vehetik.

A beérkezett alkotásokat különböző szakterületek képviselőiből álló zsűri értékeli. A bírálat során a természettudományos korrektség mellett az írói készséget, a képzeletgazdagságot, az egyéni kifejezőmódot és a történet felépítését is figyelembe veszik. A kiemelkedőnek ítélt művek megjelenhetnek a Richter TETT-könyvben, a díjazottak pedig nagy értékű jutalmakban részesülnek.

A program eddigi öt évada során közel 700 iskolát és több mint 700 pedagógust ért el. A szervezők összesen 3280 pályaművet fogadtak, amelyek közül 507 alkotás jelent meg a program öt kiadványában. Az eredmények azt mutatják, hogy a TETT mára a természettudományos érdeklődés, a kreatív önkifejezés és a tanár-diák együttműködés széles körű, Magyarország határain is átívelő programjává vált.

A hatodik évad részletes pályázati kiírása, a korcsoportok meghatározása, valamint a nevezés feltételei és módja a www.tettmesepalyazat.hu oldalon érhető el.



The poster for the Richter TETT 2026 competition features a blue background with a green hexagon containing the year '2026'. At the top left is the Richter TETT logo, and at the top right is a stylized fingerprint graphic. The text 'TE ÉS A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK mesés történetek' is written below the logo. The main title 'Természettudományos mese- és történetíró pályázat' is prominently displayed in white, followed by 'ÁLTALÁNOS ISKOLÁS ÉS KÖZÉPISKOLÁS DIÁKOKNAK'. A pink banner at the bottom left states 'Beküldési határidő: 2026. november 11., éjfélig'. Below this, there is an illustration of a white notepad character with a face and a blue owl character with a face. At the bottom, the website 'www.tettmesepalyazat.hu' is listed, along with social media icons for Facebook, Instagram, and Twitter. The footer contains logos for Richter Gedeon 125 éve, SZAK, KÖPE, and Oktatási Hivatal.

RICHTER **tett**

TE ÉS A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK
mesés történetek

2026

**Természettudományos mese-
és történetíró pályázat**

ÁLTALÁNOS ISKOLÁS ÉS KÖZÉPISKOLÁS DIÁKOKNAK

Beküldési határidő: 2026. november 11., éjfélig

www.tettmesepalyazat.hu

@tettmesepalyazat

RICHTER GEDEON 125 éve

SZAK
A Természettudományos Oktatásért
Szabó Szabolcs Emlékére Közhasznú Alapítvány
Civilizációs Partnerünk a Nemzeti Oktatási Intézmények Alapítványának

KÖPE
DÖBRENTÉY ILDIKÓ – LEVENTE PÉTER

OKTATÁSI HIVATAL



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXXI. évf., 10. szám, 2026. október



A Magyar Kémikusok Egyesületének tudományos ismeretterjesztő folyóirata és hivatalos lapja

SZERKESZTŐSÉG:

Felelős szerkesztő: LENTE GÁBOR
KISS TAMÁS örökös tb. főszerkesztő
Olvasószerkesztő: SILBERER VERA
Tervezőszerkesztő: HORVÁTH IMRE

Szerkesztőbizottság:

KEGLEVICH GYÖRGY,
a szerkesztőbizottság elnöke,
BÁLINT MÁRIA, BUZÁS ILONA,
DOMBRÁDY ZSOLT, FABIÁN ISTVÁN,
GREINER ISTVÁN, HANCSÓK JENŐ,
ifj. SZÁNTAY CSABA, KALÁSZ HUBA,
KISS TAMÁS, MERNYÁK ERZSÉBET,
SKODÁNE FÖLDES RITA,
SZÉPVÖLGYI JÁNOS, TÖMPE PÉTER,
ZÉKÁNY ANDRÁS

Szerkesztők:

DOBÓ DORINA, KEGLEVICH KRISTÓF,
KERTI GÁBOR, KOVÁCS LAJOS,
NAGY GÁBOR, PAP JÓZSEF SÁNDOR

Szerkesztőségi titkár: KOCOR ERIKA

Kapják az Egyesület tagjai és a megrendelők
A szerkesztésért felel: LENTE GÁBOR

Szerkesztőség: 1106 Budapest,
Fehér út 10. (White Office)

Tel.: 36-20-214-0808

E-mail: mkl@mke.org.hu

Kiadja a Magyar Kémikusok Egyesülete
Felelős kiadó: SZABÓ JÁNOS ZOLTÁN
Nyomdai előkészítés: HORVÁTH IMRE
Nyomás: Europrinting Kft.
Felelős vezető: ENDZSEL ERNŐ
üzgyvezető igazgató

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete
Az előfizetési díjak befizethetők
a CIB Bank 10700024-24764207-51100005 sz.
számlájára „MKL” megjelöléssel

Egy lapszám ára: 1800 Ft

MKE-tagoknak előfizetés: 9900 Ft

Nem MKE tagoknak: 19 900 Ft

Külföldön terjeszti

a Batthyany Kultur-Press Kft.,

H-1014 Budapest, Szentháromság tér 6.

1251 Budapest, Postafiók 30.

Tel./fax: 36-1-201-8891, tel.: 36-1-212-5303

Hirdetések-Anzeigen-Advertisements:

KOCOR ERIKA

Magyar Kémikusok Egyesülete,
1106 Budapest, Fehér út 10. (White Office)

Tel.: 36-20-214-0808,

e-mail: mkl@mke.org.hu

Aktuális és archivált számaink honlapunkon
(mkl.mke.org.hu) olvashatók

Index: 25 541

HU ISSN 0025-0163 (nyomtatott)

HU ISSN 1588-1199 (online)

DOI: 10.24364/MKL.2026.10

A lapot az MTA MTMT indexeli, és a REAL,
továbbá az Országos Széchényi Könyvtár
(OSZK) Elektronikus Periodika Adatbázisa
és Archivuma (EPA) archiválja



Egyetemi oktatóként, kutatóként az ősz számomra mindig új kezdetet jelent. Egy új tanévet, amikor újra megtelnek az előadótermek, elindulnak a laboratóriumi gyakorlatok és jönnek a TDK-s hallgatók az új ötleteikkel. Bár ez az időszak minden évben hasonlóan indul, mégis mindig van benne valami új: új hallgatók érkeznek, új kutatási ötletek születnek és új együttműködések formálódnak.

Az októberi lapszámot olvasva az jutott eszembe, hogy a kémia talán éppen attól olyan izgalmas, hogy mennyire sokszínű, és milyen sokféle világot fog össze. Egyszerre képes tisztelettel fordulni a múlt felé, választ keresni korunk sürgető kihívásaira és

közben új generációkat inspirálni.

A tudománytörténeti írások arra emlékeztetnek, hogy a tudományos eredmények mögött emberek, döntések és gyakran nehéz történelmi helyzetek állnak. Hargittai István cikke Nyikolaj Szemjonov Nobel-díjához kapcsolódóan nemcsak egy jelentős tudományos felfedezés történetét mutatja be, hanem azt is, hogy a tudomány soha nem teljesen független attól a világtól, amiben megszületik.

Szintén az emberi oldal kerül előtérbe a Sónvágó Imrével készült beszélgetésben. Kutatóként és oktatóként különösen közel áll hozzám az a gondolat, hogy tudományos pályánk legmaradandóbb eredményei sokszor nem csak a publikációkban vagy a hivatkozásokban mérhetők. A tanítványaink sikere, egy inspiráló szakmai közösség felépítése vagy egy évtizedeken át fennmaradó együttműködés legalább akkora érték lehet.

A lapszám több írása a jelen gyakorlati kihívásaira és a fenntarthatóság kérdéseire fókuszál. A mikroműanyagok vizsgálatáról és a membrántechnológia fejlődéséről szóló tanulmányok jól mutatják, hogy a kémia ma már nemcsak felismeri a környezeti problémákat, hanem megoldásokat is kínál rájuk. Ugyanakkor a kémia hatása jóval szélesebb körben jelenik meg a mindennapjainkban. A fény szerepéről szóló írás a biztonsági jelzések világába enged betekintést, és arra emlékeztet, hogy számos, természetesnek vett megoldás mögött komoly kutatási és fejlesztési munka áll. Kutatóként különösen fontosnak érzem, hogy munkánk eredményei hozzájáruljanak egy élhetőbb, fenntarthatóbb, biztonságosabb jövőhöz.

A tudomány fejlődésének másik motorja az innováció. Örömmel olvastam a LynXes Kft. történetét is, amely megmutatja, hogyan válhat egy kutatói ötlet versenyképes innovációvá. Egyetemi oktatóként gyakran találkozom olyan fiatalokkal, akik kiváló ötletekkel és hatalmas lelkesedéssel érkeznek a laborba. Jó látni olyan hazai példákat, amelyek bizonyítják, hogy a tudományos kíváncsiságból nemzetközileg is jelentős fejlesztések születhetnek.

A lapszám a tudomány és a történelem találkozásának szép példáit mutatja be Inzelt György sorozatának újabb részében, a Tennessee Egyetemhez és környékéhez kapcsolódó történeteken és eredményeken keresztül.

Nagy öröm és büszkeség olvasni a 9. Nemzetközi Kémia Tornán elért magyar sikerekről.

Különösen közel áll hozzám a lapszám könyvismertetése a magyar tudósok életútjairól. Sokat változott a világ az elmúlt évtizedekben, de a tudományban ma is nagy szükség van olyan történetekre, amelyek megmutatják, hogy a tehetség, a szorgalom, a kitartás és a szakmai kíváncsiság milyen utakat nyithat meg. Bízom benne, hogy ezek az életutak inspirációt jelentenek a pályaválasztás előtt álló fiatal lányok és kutatók számára is.

Kíváncsi vagyok az októberi számban minden olvasó találjon olyan gondolatot, eredményt vagy történetet, amely új nézőpontot ad, elgondolkodtat, vagy egyszerűen megerősíti abban, hogy miért is érdemes kémiával foglalkozni.

Jó olvasást kívánok!

2026. október

Balint Erika
Bálint Erika

TARTALOM	ÉVFORDULÓ	
	Hargittai István: Kémiai Nobel-díj, 1956	282
	VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY	
	Olyan fiatalokkal dolgozhattam együtt, akik szerették, amit csináltak.	
	Beszélgetés Sónvágó Imre professor emeritussal	285
	Zrinyi Zita, Gerencsérné Berta Renáta, Laczó-Duba Barbara, Gresina Fruzsina, Orzó László, Nemes László, Zárandy Ákos:	
	Mikroműanyagok vizsgálata a felismeréstől a holografikus azonosításig	288
	Székely György: Membrántechnológia a fenntartható fejlődés szolgálatában	292
	BIZTONSÁGI JELZÉSEK ÉS KÉMIAI BIZTONSÁG	
	Agárdi Tamás: A fény használata a biztonsági jelek esetében. Fényviszszaverő, fluoreszcens, fotolumineszcens és megvilágított biztonsági jelzések	295
	IPARI BEMUTATKOZÁS	
	Technológiatranszfer. A LynXes Kft.	297
	SÉTÁK A TUDOMÁNY KÖRÜL	
	Inzelt György: A Tennessee Egyetem és környéke. Második rész	301
	OKTATÁS	
	Buzafalvi Dénes: Hatalmas magyar győzelem a 9. Nemzetközi Kémia Tornán!	304
	MEGEMLÉKEZÉS	
	Nyári Katalin: Próder István emlékezete	306
	KÖNYVISMERTETÉS	
	Kathó Ágnes: Tudósok (Nők a tudomány fellegvárában – Kutatói életutak a Magyar Tudományos Akadémián 1949–2021)	307
	VEGYÉSZLELETEK	
	Lente Gábor rovata	310
	A HÓNAP KÉMIAI PUBLIKÁCIÓJA	312
	A HÓNAP HÍREI	313

Hargittai István

■ Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, BME

Kémiai Nobel-díj, 1956

1956. október 23. emlékére
a 70. évfordulón

Hetven évvel ezelőtt, 1956-ban a kémiai Nobel-díjat megosztva kapta Cyril N. Hinshelwood (1897–1967) és Nyikolaj Ny. Szemjonov (1896–1986) a kémiai reakciók mechanizmusának tanulmányozásáért. Szemjonov Nobel-díja volt az első „szovjet” Nobel-díj. Korábbi oroszországi kitüntetettek, Ivan Pavlov 1904-ben és Ilja Mecsnyikov 1908-ban, még a cári rendszer idején kapták ezt az elismerést, mindketten élettani vagy orvostudományi kategóriában. 1933-ban irodalmi Nobel-díjjal tüntették ki az író Ivan Bunyint, aki viszont emigrációban élt.

A Nobel Alapítvány egy ideje már törekedett arra, hogy találgatásainak elismerésre méltó szovjet tudományos teljesítményt, és a szovjetek is bekapcsolódjanak a „Nobel-mozgalomba”. Ezt a furcsa, ide nem illő kifejezést használták: „Nobel movement”. Anynyira szívesen láttak volna egy szovjet Nobel-díjat, hogy saját szigorú szabályaik ellenére szemet hunytak afelett, hogy szovjet részről szervezetek is beavatkozzanak a jelölésekbe. A jelöltek kiválasztásában és a jelölések Stockholmba történő eljuttatásában szerepet játszott a Szovjet Tudományos Akadémia (SZUTA), a külügyminisztérium és a szovjet biztonsági szolgálat is.

1954-ben Alekszandr Oparin akadémikus stockholmi látogatásán találkozott a kémiai Nobel-díj-bizottság két tagjával, amiről beszámolt a SZUTA elnökének, a kémikus Alekszandr Nyeszmejanovnak. Az Akadémia elnöke tájékoztatta erről a szovjet kommunista párt (SZKP) központi bizottságát. Az előbbieket nyomán 1954-ben Moszkvából részletes leírást küldtek Stockholmba Nyikolaj Szemjonov tudományos tevékenységéről. Ezt jelölésnek tekintették, de a szovjet postai viszonyokra jellemzően már az 1955. január 31-i határidő után érkezett meg a címzetthez, tehát az 1955-ös díjak szempontjából túl későn.



Nyikolaj Szemjonov
a laboratóriumban
(Alekszej Szemjonov
szíveségéből)

Miután kiderült, hogy 1955-ben nem lett szovjet Nobel-díjas, a SZUTA fizikai-matematikai divíziója 1955. november 1-én elhatározta, hogy nem jelölnek többé szovjet tudósokat a Nobel-díjra, mert ez a díj nem tekinthető nemzetközinek, amire a kémikus Mengyelejev és az író Lev Tolsztoj, Anton Csehov és Maxim Gorkij korábbi mellőzését hozták fel példának. A határozatot vezető szovjet fizikusok, köztük a későbbi fizikai Nobel-díjas Pjotr Kapica írták alá, és megszövegezésében részt vett az SZKP képviselője is [1]. Hogy a politika mennyire nem maradt ki a Nobel-díj-ügyekből, az is mutatja, hogy a lehetséges szovjet Nobel-díj kérdése felmerült Tage Erlander svéd miniszterelnök és Nyikita Hruscsov 1956 nyarán megrendezett svéd–szovjet csúcstalálkozóján is [2].¹

A fizikusok és matematikusok 1955-ös nyilatkozatát nem követte a kémikusok hasonló nyilatkozata, de 1955 decemberében a kémikusok is úgy döntöttek, hogy nem nyújtanak be ajánlást az 1956-os Nobel-díjra. Ezzel azonban semmit sem kockáztattak, hiszen már ott volt a Szemjonovra vonatkozó ajánlás, amely bár 1955-re elkészült, 1956-ra érvényes maradt.

Néhány szó Szemjonov legfontosabb tudományos felfedezéséről. Két leningrádi kutató, Julij Hariton² és Zinajda Valta, Szemjonov javaslatára kísérleteket végzett a foszfor oxidációjára vonatkozóan. Megfigyelték, hogy a fényjelenséggel kísért reakció csak bizonyos minimális nyomás felett indul be. Megfigyeléseiket publikálták [3]. Mivel a reakciót fényjelenség kíséri, a megfigyelések egyértelműek voltak. Ennek ellenére a híres Max Bodenstein, a kémiai láncreakciók felfedezésének úttörője megkérdőjelezte a mérések hitelességét [4]. Ez rendhagyó volt, mert a kutatók általában a kísérleti adatok értelmezésén szoktak vitatkozni, de nem azon, hogy a kísérleti adatok egyáltalán hiteles érdemlőek-e. Bodenstein hozzáállását azzal magyarázhatjuk, hogy nemzetközileg ismeretlen kutatók egy nemzetközileg ismeretlen laboratóriumban végezték kísérleteiket egy romokban heverő országban, amely egy világháborút, forradalmakat és azokat követő polgárháborút is megszenvedett, és semmi bizalmat nem keltett maga iránt. Azzal viszont, hogy Bodenstein elfogadhatatlannak találta Hariton és Valta megfigyeléseit, önkéntelenül felhívta a figyelmet arra, hogy ha a mérési adatok beigazolódnak, akkor valami addig nem ismert, új jelenségről van szó, amire meg kell találni a magyarázatot. Amikor Hariton, aki akkor már tanulmányúton volt az angliai Cambridge-ben, észrevette a Bodenstein

¹ Nehezen elképzelhető, hogy a Nobel-díj Alapítvány és a Nobel-díj-bizottságok munkájába a mindenkori svéd (vagy a békedíj esetében norvég) politikai vezetés beleszólhatna. Az azonban, hogy a téma felmerült egy csúcstalálkozón, a kevésbé tájékozottak számára elképzelhetővé teszi az ellenkezőjét. Ennek fényében kevésbé csodálkozhatunk azon, hogy a jelenlegi amerikai elnök, aki számára a független intézmények gondolata eleve nehezen elfogadható, feltételezte a norvég kormány befolyását a 2025-ös Nobel-békedíj odaítélésében.

² Julij Hariton (1904–1996) sokszorosan kitüntetett szovjet fizikus, a SZUTA rendes tagja, hosszú ideig az első szovjet nukleáris laboratórium, az Arzamasz-16 tudományos vezetője.



kétélyeit megfogalmazó cikket, azonnal írt Leningrádba Szemjonovnak, és kérte, hogy reagáljon. Szemjonov megismételte és reprodukálta Hariton és Valta megfigyeléseit. Ennél azonban tovább kellett lépnie, meg kellett magyaráznia a megfigyeléseket. A magyarázatot az *elágazó* kémiai láncreakciókban találta meg.

A Bodenstein és mások által leírt láncreakciókban a kémiai változások beindulásához szükséges energiát fény- vagy hőhatások biztosítják. Létrejön egy aktív centrum, amely további aktív centrumot generál egy molekulával történő ütközés során. Ez láncként folytatódik mindaddig, amíg két aktív centrum találkozása molekulát hoz létre, és akkor megáll a láncreakció.

A foszfor oxidációja bonyolultabb, mert nemcsak a külső fény (vagy hő) kelthet aktív centrumokat, hanem az a nagy energia is, amely két részecske ütközésekor szabadul fel. Ha egy ilyen ütközés szétszakít egy oxigénmolekulát, akkor két reakcióképes oxigénatom jelenik meg, tehát két aktív centrum jön létre, és minden egyes aktív centrum (oxigénatom) új láncot indíthat el. A folyamatot fény kibocsátása kíséri, és robbanáshoz vezethet. Ha a foszfor és az oxigén keverékében kicsi a nyomás, nagyon kevés „elágazás” jön létre addig, amíg az aktív részecske eléri az edény falát, és a reakció leáll. A nyomás növelésekor viszont nagyobb valószínűséggel képződik elegendő elágazás, és folytatódik a reakció. Hasonló megfontolásból bizonyos magas nyomás elérésével megnő annak a valószínűsége, hogy oxigénatomok ütközésével oxigénmolekulák jöjjenek létre, és elegendően magas nyomáson leáll a foszfor oxidációja. Szemjonov felismerte, hogy a foszfor oxidációja nem egyszerűen láncreakció, hanem *elágazó* láncreakció. (Ezt az elgondolást illusztrálja a címlapon szereplő ábra. Fent: Az elágazó láncreakció vázlata. Lent: A foszfor oxidációs reakcióját jellemző hőmérséklet–nyomás összefüggés. A vonalkázott tartományban van fényjelenség.) A foszfor oxidációjának példája Szemjonovot elvezette sok más folyamat elágazó láncreakciós mechanizmussal történő értelmezéséhez.³ Nobel-díját 1956-ban az elágazó láncreakciók felfedezéséért kapta, még ha az indokolás megfogalmazása általánosabb volt is.

A felfedezés leírásában Szemjonov személyes narrációját követtem [5]. Ebből többet megtudhattunk, mint Szemjonov Nobel-előadásából [6]. Az előadásban Szemjonov hangsúlyozta Max Bodenstein eredeti, a láncreakciókra vonatkozó felfedezésének jelentőségét, de egy szóval sem említette Bodenstein kritikáját, amely kiindulási pontja volt Szemjonov felfedezéséhez vezető megfontolásainak. Mintha ebben is Szemjonov jól ismert konfliktust kerülő magatartása nyilvánult volna meg (lásd alább). Bár Hariton és Valta eredeti munkájára hivatkozik az előadásban, az a benyomás, mintha arra is vigyázna, hogy Hariton neve ne kerüljön túlságosan előtérbe. Hariton ebben az időben a szigorúan titkos szovjet nukleáris laboratórium tudományos igazgatója volt.

Szomorú egybeesés, hogy Szemjonov Nobel-díjának 1956. november 1-i kihirdetése és a decemberi Nobel-hét ünnepei közötti időben a magyar október 23-i forradalmat a szovjet beavatkozás brutálisan vérbe fojtotta. Az 1956-os Nobel-díjak átadása nyomasztó nemzetközi légkörben zajlott. A helyzetet súlyosbította, hogy volt egy szovjet díjazott is, az első a Nobel-díjak történetében. A svéd szervezők módosították az ünnepek koreográfiáját, és tompították az események fényét. Rendhagyó módon a díjazottak országának diplomatait nem hívták meg az ün-

nepségekre, hogy elkerüljék a szovjet diplomaták részvételét. Szemjonov felesége nem viselhette az erre a célra Moszkvában varratott estélyi ruháját, mert a hölgyeket megkérték, hogy szürke ruhában jelenjenek meg. Szemjonovék ketten érkeztek az ünnepekre. Harmincegy éves fiúk utazását eleve nem tervezhették, de a szovjet biztonsági szolgálat az utolsó pillanatban 28 éves lányuk kiutazását is megakadályozta. A biztonsági szolgálat még azt is megmondta Szemjonovéknak, hogy ha a lányuk távolléte szóba kerül, azt kell mondaniuk, hogy fontos vizsgákra készül. Az ünnepeken végig üres szék jelezte a hiányát, mert már nem volt idő az ülésrend megváltoztatására. Szemjonovot feleségén kívül egy volt tanítványa és a szovjet biztonsági szolgálat egyik tisztje kísérte el; az utóbbit Szemjonov titkáráként mutatták be. A. M. Bloh a Szovjetunió és a Nobel-díj összetett kapcsolatának terjedelmes és dokumentumokkal hitelesített monográfiájában [2] részletesen foglalkozik azzal, hogy az 1956-os Nobel-hét eseményeiben mennyire érezhető volt a magyarországi tragédia hatása. Szemjonov felesége és lánya utólag részletesen megbeszélték a történeteket. Ha Szemjonovnak volt is véleménye a történetekkel kapcsolatban, azt megtartotta magának, mert semmilyen utalás nem található erre.

Nagyon eltérő volt ettől az óvatos magatartástól egy másik, későbbi szovjet Nobel-díjas, a fizikus Lev D. Landau hozzáállása. Titkos ügynöki jelentés szerint Landau 1956. november 30-án így nyilatkozott: „A mieink térdig járnak a vérben. A magyarok valami nagyszerűt vittek végbe. Először mértek hatalmas ütést korrunk jezsuita eszméjére. Hatalmas ütést!” [7]

Megemlítek még egy magyar vonatkozást Szemjonovval kapcsolatban [8]. Szemjonov és Polányi Mihály – közös érdeklődésük nyomán – már 1930-ban kapcsolatba került a reakciók mechanizmusának tanulmányozásában. Szemjonov meghívta Polányit egy konferenciára, és a személyes találkozás tovább erősítette kapcsolatukat. 1931-ben Szemjonov állásajánlatra vonatkozó felkérést küldött Polányinak. Ebben az időben a Szovjetunió még nem zárkózott el a nemzetközi kapcsolatoktól, és divat lett jelentős nyugati értelmiségi körökben a Szovjetunió. Polányinak későbbi kellemetlensége is származott ebből, amikor amerikai vízumért folyamodott, pedig nehezen elképzelhető a szovjetrendszer valódi természetét hamarabb felismerő és nála következetesebben ellenző egyéniség. Ebben az időben Polányi még nem foglalkozott azzal, hogy elhagyja Németországot. Ugyanakkor a szovjet irányú emigrálás nem tűnt teljesen kizártnak. A nácik hatalomra jutásával aztán Polányi 1933-ban Angliába emigrált, és Szemjonovval megszakadt a kapcsolata; a Szovjetunió akkora már szinte hermetikusan bezárkózott.

Nyikolaj Szemjonovval 1965 szeptemberében találkoztam Budapesten. A Budapesti Műszaki Egyetem tiszteletbeli doktora kintetés átvételére jött. Simonffy Géza, a Magyar Rádió tudományos rovatának vezetője kért meg, hogy készítsek vele interjút. Az interjúkészítésre vonatkozó mindennemű ismeret és tapasztalat hiányában érkeztem a találkozásra a Royal szállóba. Tájképzatlanságomnál csak indokolatlan magabiztosságom volt nagyobb. Az, hogy az interjú kitűnően sikerült, egyedül Szemjonovnak volt köszönhető; tapasztalt interjúadó volt és remek beszélgetőpartner. Lelkesen beszélt az 1920-as évek szovjetunióbeli légköréről, amelyben egy teljesen tönkrement ország erején felül áldozott a tudományra. Még prognosztizálni is hajlandó volt – több száz híres tudóssal készített későbbi interjúmban kevesen vállalkoztak erre. A Szemjonov-interjú többször is adásba került, nyomtatásban megjelent a rádió kiemelt programjainak évkönyvében, és valamilyen díjat is elnyert. Nekem tanulsággal is járt:

³ A nukleáris láncreakció – és a nukleáris robbanáshoz szükséges kritikus tömeg – gondolata csak évekkel később vetődött fel Szilárd Leóban. A kísérleti megvalósításáig aztán további évek teltek el.



ennyire felkészületlenül soha többé nem mentem interjút készíteni.

Beszélgetésünkben minden szebbnek jött elő, mint ahogy a valóságban lehetett. Ma már sajnálom, hogy sok mindenről nem kérdeztem meg. Például megkérdezhettem volna azokról a kegyetlen intézkedésekről, amelyekkel az új szovjet állam az 1920-as években elpusztította vagy szerencsésebb esetekben távozásra kényszerítette azokat a tudósokat, akiket ellenségének tekintett; hogy hány nagy tudóst és tudósígert ölt meg vagy küldtek kényszermunkára az 1930-as évek közepén a nagy sztálini terror idején; és hogy mit jelentett számára az évekig tartó támadássorozat, amikor azzal vádolták meg, hogy nem ismeri el kellőképpen az orosz tudósok korábbi felfedezéseit saját tudományterületén. Kérdezhettem volna azokról a támadásokról, amelyek a világháború utáni időszakban, Sztálin utolsó éveiben érték az egyes tudományágakat, és azokról az antiszemita támadásokról, amelyeket a szovjet zsidó tudósok ellen intéztek. Ezekről sohasem beszélt, de igyekezett azzal tompítani őket, hogy intézetében helyet adott üldözött kutatóknak. Azt is megkérdezhettem volna, hogy legjobb barátja, Pjotr Kapica bátor kiállásához hasonlóan miért nem állt ki az igazságtalanságok ellen és hogyan élte meg már világhíres Nobel-díjas tudósként a párt és állami, köztük akadémiai funkcionáriusoktól elszenvedett megaláztatásokat. Lehet úgy is értelmezni Szemjonov életét és pályáját, hogy konfliktuskerülő hozzáállása segítette túlélését egy embertelen és könyörtelen diktatúrában. Azt a házi feladatot, amelyet nem végeztem el 1965-ös találkozásunk előtt, évtizedekkel később pótoltam: *Eltemetett dicsőség* című könyvemben igyekeztem bemutatni nemcsak nagyszerű tudományát, de ellentmondásos pályáját és személyiségét is [9].

IRODALOM

- [1] István Hargittai, „A Curious Case of Soviet Nobel Aspirations”. *Chem. Intell.* (1999) 3, 61–64.



Nyikolaj Szemjonov a fénykép kedvéért összeverbuvált egyetemisták körében a moszkvai Lomonoszov Egyetem kémiai karának bejáratánál (ismeretlen szerző felvétele)

- [2] A. M. Bloh, Szovjetszkij Szozuz v interjere nobelevszkijh premii. Fakti, dokumenti, razmisleniya, kommentarii. Moskva: Fizmatlit, 2005, 429.
- [3] J. Chariton, Z. Walta, „Oxydation von Phosphordämpfen bei niedrigen Drucken”. *Zeitschrift für Physik* (1926) 40, 547–556. Hariton (Ю. Харитон) és Valta (З. Вальта) neve itt az akkori német transliterációnak megfelelően szerepel.
- [4] M. Bodenstein, „Oxydation von Phosphordämpfen bei niedrigen Drucken”. *Zeitschrift für Physik* (1927) 41, 548–550.
- [5] Hargittai István, „Mozaikok egy beszélgetésből”. *Természettudományi Közöny* (1966) 97, 21–23.
- [6] <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/semenov-lecture.pdf>
- [7] B. Sz. Gorobec, Krug Landau. Zsizny genyija. 2. javított és bővített kiadás. Moskva: URSZSZ, 2007, 298, 1. jegyzet.
- [8] Frank Tibor, „Polányi Mihály Berlinben”. *Polanyiana* (2002) 1–2, 117–133.
- [9] Hargittai István, *Eltemetett dicsőség: avagy hogyan tették a szovjet tudósok szuperhatalommá a Szovjetuniót*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2014. A könyv az Oxford University Press 2013-ban megjelent *Buried Glory: Portrait of Soviet Scientists* című angol nyelvű eredeti magyar változata Silberer Vera fordításában. Lásd a könyv 8., „Nyikolaj Szemjonov – Mr. Láncreakció” című fejezetét, 244–273. oldal.

European Chemical Societies Publishing

www.chemistry-europe.org

Chemistry Europe

Chemistry Europe

- 16 chemical societies
- From 15 European countries
- Which co-own 21 scholarly journals
- Over 22,9 million downloads in 2024
- Over 140,000 articles published since 1995
- With 150 Chemistry Europe Fellows and 8 Honorary Fellows recognized for excellence in chemistry



Chemistry Europe
European Chemical Societies Publishing

published in partnership with

WILEY-VCH



Olyan fiatalokkal dolgozhattam együtt, akik szerették, amit csináltak

Beszélgetés Sóvágó Imre professor emeritussal



Sóvágó Imre, a Debreceni Egyetem emeritus professora 80 éves. Ebből a 80 évből a TTIK Kémiai Intézete Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén együtt töltöttünk 25 évet. Jól ismerjük egymást, egymás munkáját is. Szeretném olvasóinknak bemutatni egy kiemelkedő kutató, oktató, közéleti ember pályáját, példáját adva annak, hogy kitartó munkával eredményes karriert lehet befutni idehaza is, persze némi szerencse, a csillagok kedvező állása azért nem árt hozzá. Nézzük ezt a kivételes életutat.

Kutatásaid a peptidek, majd a fehérjék fémionkötésének vizsgálatára fókuszáltak: hogyan befolyásolják a fémionok ezeknek a biomolekuláknak a sajátságait és a fém-biomolekula milyen új, hasznos vagy káros sajátságot nyerhet az élő szervezet számára. A vizsgált biomolekulákban a hisztidin (His) és a cisztein (Cys) kitüntetett szerepet játszott. Indokolnád ezt és néhány mondatban összefoglalnád kutatásaid legfontosabb megállapításait?

Az 1980-as évek elejétől kezdődően kutatásaim középpontjában mindig a peptidek komplexképző sajátságainak megismerése állt. Ennek biokémiai és koordinációs kémiai okai egyaránt vannak. A peptidek biológiai szerepét nem szükséges hosszán magyarázni, mivel az élő szervezetben előforduló legfontosabb és leggyakoribb makromolekulák a fehérjék alapvető építőkövei, de számos peptidnek önálló biológiai szerepe is van, például hormonok formájában vagy enzimek alkotórészeként. Nekem, mint koordinációs kémikusnak, a peptidek rendkívül változatos komplexkémiai viselkedése keltette fel a figyelmemet. A komplexkémikus szemszögéből nézve a peptidek ugyanis nemcsak fontos biomolekulák, hanem nagyon változatos ambidentát ligandumok, igen sok potenciális fémkötő hellyel. A kötőhelyek közül a terminális amino- és karboxilátcsoporthoz kívül a hisztidin, a cisztein, a glutaminsav és az aszparaginsav oldalláncai a legjelentősebbek, de későbbi vizsgálataink kimutatták, hogy bizonyos szekvenciák esetén szinte valamennyi aminosav potenciális fémkötőhely lehet. Egy másik fontos jellemzője ezeknek a molekuláknak, hogy a lehetséges peptidek száma szinte végtelen és a szekvencia kicsiny módosítása is alapvetően különböző komplexképződési folyamatokat eredményezhet. Ugyancsak érdekes jellegzetessége a fémion-peptid kölcsönhatásnak a nagyfokú szelektivitás. A peptidekkel való kölcsönhatás szempontjából a periódusos rendszer szinte valamennyi eleme számításba jöhet, de a kétfontosságú nyomelemek (pl. Cu, Zn, Fe, Mn) és a toxikus nehézfémek (pl. Hg, Cd, Pb, platinafémek) a legfontosabbak ebben a tekintetben.

Vizsgálataitok elsősorban alapkutatás jellegűek, de több terület is van, amely gyakorlati alkalmazás irányába is elmehet. Sajnos ezek egyike sem valósult meg eddig a laboratóriumotokból kiindulva, kooperációs partner hiányában, eredményesen; jól tudom?

A peptidkomplexek terén végzett vizsgálataink elsődlegesen alapkutatás jellegűek voltak, a kapott eredmények azonban számos más kutatási terület szempontjából is hasznos információkkal

szolgáltak. Ezek egyik példaként tudom említeni a metalloenzimek modellezését. A CuZn-SOD enzim aktív centrumának szerkezeti és funkcionális modellezésével kapcsolatban több közleményünk is megjelent. A fémionok neurodegeneratív megbetegedések kialakulásában játszott szerepének megismerése az egyik legkiterjedtebb és legeredményesebb témánk volt. A peptidmodellek segítségével sikerült pontosan meghatároznunk a prion-protein és az Alzheimer-kór kialakulásában szerepet játszó amiloid- β elsődleges fémkötőhelyeit és azonosítani azon komplex részecskék összetételét/szerkezetét, amelyek fiziológiás körülmények között az élő szervezetben is jelen lehetnek. Sajnos a neurodegeneratív betegségek kialakulásának és lehetséges kezelésének módja ma is többnyire ismeretlen, de a területhez kapcsolódó koordinációs kémiai kutatásaink is fontos hozzájárulást jelenthetnek ennek a problémakörnek a megoldásához.

Ezek a kutatások a hatvanas években, a nagyvilágban széleskörűen megindulva, új határtudomány, a bioszervetlen kémia kialakulásához vezettek. Hazánkban is több egyetemen, az ELTE-n, a BME-n, a szegedi, pécsi és debreceni tudományegyetemen is alakultak ilyen nevű kutatócsoportok. A debreceni Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszéken Gergely Arthur professzor vezetésével: ott találkoztunk, te mint fiatal tanársegéd, én mint diákkörös vegyészhallgató. Hogyan emlékszel vissza a kutatócsoport induló éveire és kiteljesedésére?

Bioszervetlen kémiai kutatócsoportunk, amely az 1980-as években alakult meg, eredendően a Gergely Arthur és Nagypál István által létrehozott egyensúlyi kémiai kutatásokból nőtt ki. A bio-vonal kifejlődésében személyem mellett fontos szerepe volt Farkas Etelka és Kiss Tamás professzoroknak, akik hasonló vagy kapcsolódó kutatási területeken értek el kimagasló eredményeket. A téma és a csoport tagjai is igen népszerűek voltak a hallgatóink között, és ma már több tucat korábbi munkatársunk önálló kutatóként vagy kutatócsoport-vezetőként tevékenykedik szerte az országban.

Viszonylag fiatal kutatóként, a hetvenes évek végén a csoport minden tagja eljutott már hosszabb külföldi tanulmányútra, köszönhetően a kiterjedt külföldi vendégjárásnak, néhány vezető kutató, mint Beck Mihály, Gergely Arthur kiváló külföldi kapcsolatainak. Mit tudtál hasznosítani az amerikai tanulmányutadból hazatérte után?

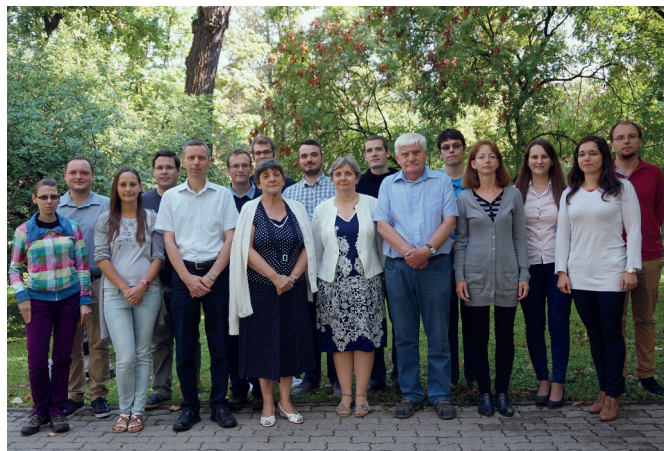


Tudományos pályafutásom szempontjából kiemelkedő jelentősége volt, hogy 1978/79-ben egy évet az Egyesült Államokban tölthettem. A Virginiai Egyetemen (Charlottesville) dolgoztam Bruce Martin professzor irányítása mellett. Itt természetesen sokkal jobbak voltak a kutatási feltételek, és több témában is sikerült eredményeket elérnem. Az ottani témák közül a peptidok komplexképző sajátásaival kapcsolatos kutatások keltették fel leginkább az érdeklődésemet, és már Amerikában elhatároztam, hogy hazatérésem után ezen a területen szeretnék majd tovább dolgozni.

A hetvenes évektől jelentősen megnőtt a tudományban a két- és többoldalú nemzetközi kapcsolatok szerveződésének lehetősége. Mennyire tudott élni a kutatócsoportotok ezzel a lehetőséggel?

A peptides téma beindításához hoztam is haza magammal néhány egyszerűbb hisztidintartalmú peptidet, és Farkas Etelkával, Kiss Tamással együttműködésben el is kezdtük ezeket a vizsgálatokat. Sikeres kezdet volt, még ma is jól idézett közlemények születtek, de bizonytalan volt a folytatás lehetősége. A nehézségek között anyagi és bürokratikus okokat egyaránt meg kell említeni. Ezt még tetézte, hogy a hazai műszerezettség szintje meglehetősen alacsony volt. Kollégáim fel is hagytak ezeknek a vizsgálatoknak a folytatásával, és az egyensúlyi és bioszervetlen kémiai területen maradván, de más vegyületcsoport komplexeinek kutatásával értek el értékes eredményeket. Én a peptides téma folytatásának lehetőségét a hazai és nemzetközi kutatási kapcsolatok kiépítésében láttam. Politikai okok miatt a nemzetközi kapcsolatok megteremtése sem volt egyszerű feladat ebben az időben, de a lengyelországi Wrocław Egyetemen, Henryk Kozłowski professzorral való együttműködésben ezt a munkát is el tudtuk indítani. Később a franciaországi Lille-i Egyetemen (Prof. Brigitte Decock) sikerült ezt a kapcsolatot háromoldalú együttműködéssé fejleszteni. A peptidkémiai kutatások természetesen hazai szinten is erősek voltak (ha nem is bioszervetlen kémiai szempontból). Ennek megfelelően a Richter gyógyszergyár peptidkémiai laboratóriumával (Schön István tud. tanácsadó) és az ELTE MTA peptidkémiai csoportjával (Dr. Süli-Vargha Helga) sikerült nagyon eredményes munkakapcsolatokat kiépíteni. A 90-es évektől kezdődően az együttműködési lehetőségek jelentősen kibővültek, és a pénzügyi támogatási feltételek is jobban rendelkezésre álltak. A peptidkomplexek szerkezeti vizsgálata terén kiemelkedően fontos az ESR-spektroszkópia alkalmazása (University of Sassari, Italy, Prof. G. Micera és Dr. D. Sanna). Gyümölcsöző együttműködés alakult ki a görögországi Ioanninai Egyetem bioszervetlen kémiai kutatócsoportjával is (Prof. Nick Hadjiliadis). Mindezen együttműködések között a legkiterjedtebb és legeredményesebb az olaszországi Cataniai Egyetemen és az ott működő akadémiai kutatócsoporttal valósult meg (Prof. Enrico Rizzarelli és Giuseppe Pappardo). Ez a kutatási együttműködés 2002-ben indult és ma is él, fiatalabb kollégáim irányításával. A felsorolt kapcsolatok révén nagyon sok doktoranduszunk számára megnyílt a lehetőség, hogy néhány hetet/hónapot eltöltsenek a felsorolt munkahelyek valamelyikén. A tanulmányutak természetesen kölcsönösök voltak, és a peptides témában számos lengyel, olasz, görög hallgató dolgozott Debrecenben is.

Az egyetem persze oktatási intézmény. Sohasem tekintettük az oktatást terhelésnek, mindig jól kiegészítette az oktatás és kutatás egymást az egyetemi tevékenységünkben. Brücher Ernő tanszékvezetése idején jelentősen átalakult a tanszék oktatási struktúrája. A te feladatod a szervetlen kémia oktatásának korszerű-



A bioszervetlen kémiai kutatócsoport (2017)

sítésében való meghatározó közreműködés volt. Mennyire élvezted ezt a munkát?

A kutatás mellett az oktatás is fontos és kedvelt feladatomból volt. Kémia-fizika szakos tanári diplomával fejeztem be egyetemi tanulmányaimat, így a kezdeti időszakban elsősorban a kémiatanár szakos hallgatók képzésében vettem részt. Az általános és szervetlen kémia oktatása volt a fő területem, de az új tantervek bevezetésétől kezdődően a vegyész- és gyógyszerészhallgatók oktatásában is meghatározó szerepet játszottam. Az oktatás és a kutatás szoros kapcsolatát mutatja, hogy a 2000-es évektől önálló PhD-kurzust is indítottam, az „Átmenetifémek koordinációs kémiája” címmel, ami igen népszerű lett PhD-hallgatóink körében.

A bioszervetlen kémiát nemcsak kutattuk, hanem ahogy már érintetted, az új tudományterület ismereteit át is kívántuk adni a hallgatóknak. Az akkor egyetlen rendelkezésre álló magyar nyelvű könyvre (Kőrös Endre: A bioszervetlen kémia alapjai) és döntően angol nyelvű irodalmakra támaszkodva indítottunk a nyolcvanas évek elején kurzust a tudományterületből. Emlékszem rá, nagyon élvezetes munka volt a kurzus összeállítása és meghirdetése. Sok jelentkezőnk volt. Mire emlékszel?

Az oktatási feladataim között az egyik legkedveltebb munkám a bioszervetlen kémiai kurzus volt, aminek tematikáját/tárgykörét Kiss Tamás kollégámmal együtt dolgoztuk ki. Speciális kollégiumként indult, de ma már kiegészítve és továbbfejlesztve az MSc-képzés fő tárgyai közé tartozik. A bioszervetlen kurzus hamar igen népszerűvé vált hallgatóink körében, és nagyrészt ennek köszönhető, hogy az elmúlt 2-3 évtizedben rengeteg kiváló hallgató készítette diplomamunkáját vagy doktori értekezését a bioszervetlen kutatócsoport tagjainak irányítása mellett.

Népszerűek voltunk a hallgatók körében. Sokan jöttek hozzánk diákkörösnek, doktorandusznak. Rendszeresen jöttek velünk konferenciákra, majd Tempus-, később Erasmus-ösztöndíjakkal hosszabb időre is külföldre mehettek. Élénk nemzetközi kapcsolatrendszerben éltek. Te hogy emlékszel ezekre az évekre?

Erre a kérdésre kicsit korábban, azt hiszem, részben már válaszoltam. 1990 után a rendszerváltozás megnyitotta az utat a külföldi konferenciákra való részvétel előtt. Fontosnak tartom én is kiemelni, hogy ezekre az utakra nemcsak a kutatócsoport idősebb, státuszban lévő tagjait vontuk be, hanem a fiatal kollégák/doktoranduszok részvételére is számítottunk. A pénzügyi



korlátok ennek természetesen határt szabtak, de a költségsökkentés egyik lehetséges módjaként többnyire gépkocsis utazásokat szerveztünk. Ezek nagyon hangulatos, vidám utazások voltak, és sokat segítettek a bioszervetlen kémiai kutatócsoport összekovácsolásában.



A győztes csapat – nemcsak a sportos kikapcsolódásban, hanem a munkahelyi feladatok irányításában is (balról): Brücher Ernő, Sívágó Imre, Fábíán István, Gáspár Attila (Debrecen–Pallag, 2026)

Nagyon fontos kérdéshez értünk: tanítványok. Magamat is annak tekintem, melletted sajátítottam el a szakma alapjait, azokkal a végtelennek tűnő számíttatásokkal, amiket a Cu(II)-hisztidin egyensúlyi rendszer kiértékelése során az Österberg–Hedström-féle grafikus módszerrel végeztünk. Rengeteget tanultam a mérési eredmények kiértékelési lehetőségeiről.

Az együttműködések során tanultam meg, és későbbi munkám során jöttem rá, hogy azokra a tanítványokra emlékszem a legjobban és vagyok a legbüszkébb, akikről kiderült, hogy ebben vagy abban okosabbak lettek, mint én. Sajnos erre nem mindenki jön rá magától. De ebben mi, a csoport tagjai egyetérttünk. Mint sok minden másban is.

A tanítványok: nem akarok név szerint megemlíteni senkit, mert lehet, hogy méltatlan lenne azokkal szemben, akik nem szerepelnek a felsorolásban. Csak azt szeretném kiemelni, hogy számomra a legnagyobb élményt az jelentette, ha olyan fiatalokkal dolgozhattam együtt, akik nemcsak becsülettel elvégezték feladatukat, hanem szerették, amit csinálnak, és alkotó módon járultak hozzá a felmerülő problémák megoldásához. Őket nemcsak tanította az ember, hanem nagyon sokat tanult is tőlük. Azt mondhatom, hogy szerencsém volt ebben a tekintetben, mert számos ilyen hallgatóm, tanítványom volt, és mára többen is komoly tudományos karriert futottak be, akár a hazai felsőoktatási intézmények valamelyikében, akár a szakma más területein.

A szakmai közösségi életből is kivetted a részed: több cikluson át tanszékvezető, majd tanszékcsoport-vezető voltál. Nemzetközi szervezetekben (pl. COST) képviselted Magyarországot. Nem tudom, mennyire szeretted ezeket a feladatokat, de nem olyan embernek ismertelek meg, aki mindenben élvezte az adminisztratív vezetői megbízatásokat.

Minden ember életében fontos szerepe van a társadalmi és tudományos közéletben végzett munkának is. Összesen 13 évig voltam a DE Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék vezetője, és több alkalommal a tanszékcsoport-vezetői feladatokat is elláttam. A rendszeres pénzügyi korlátozások miatt nehéz feladatok voltak ezek, de azt hiszem, sikerült működőképes tanszéket hagynom az utódokra. A tanszék munkájának eredményességéhez nagyon hozzájárult, hogy mind egymással, mind a munkatársakkal nyugodt és baráti légkört sikerült kialakítani. A hazai tudományos közéleti munkáimból két dolgot szeretnék kiemelni. Az MKE Komplexkémiai Szakcsoportjának elnökeként 10 alkalommal szerveztem a Komplexkémiai Kollokviumokat (közismert néven KKK), amelyeket ma is megrendeznek. Fontos pozíciókat töltöttem be az OTKA irányítótestületében, előbb zsűritagként és kollégiumi tagként, majd a Kémia I zsűri elnökeként. Tudomány-szervező munkásságomért megkaptam az Ipolyi Arnold-díjat is. A kutatócsoportunk által létrehozott széles körű nemzetközi kapcsolatok korábban már szóba kerültek; a nemzetközi tudományos testületekben is aktív szerepet vállaltam. A volt szocialista országok közül elsőként lehettem tagja az Európai Tudományos Alapítvány (ESF) egyik bizottságának, majd sok éven át a COST D1, D8 és D20 programok irányító testületeiben működtem közre. Három sikeres nemzetközi konferencia szervezésében is szerepet vállaltam, ezek az ESF Workshop (Debrecen, 1992), az International Symposium on Applied Bioinorganic Chemistry (ISABC-10, Debrecen, 2009) és a EURO-BIC-13 (Budapest, 2016).

Talán mondanál néhány szót a családról az olvasóinknak, hiszen az ember sok időt tölt a munkahelyén, különösen, ha szereti a munkáját. Életének több mint harmadát azonban mégis a család körében tölti, ahol kipihen magát, feltöltődik a másnapi feladatokhoz.

Szakmai munkám eredményességében fontos szerepe volt annak, hogy hosszú éveken át kiegyensúlyozott családi körben élhettem. Feleségem kémia-fizika szakos középiskolai tanárként dolgozott Debrecenben. Sajnos az utóbbi 10 év nem volt kegyes hozzánk, feleségem hosszas betegség után, 2021-ben elhunyt. Két lányom van. Judit a Debreceni Orvostudományi Egyetemen végzett, majd Stockholmban, a Karolinska Intézetben szerzett PhD-fokozatot. Jelenleg Svájcban, Bázelen él és a Novartis Gyógyszergyárban dolgozik kutatóorvosként. A kisebbik lányom, Krisztina közgazdászként végzett, és Budapesten él, a Nemzeti Kutatásfejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) munkatársa. Mindkét lányomtól van egy-egy fiúunokám, Dávid és Sámuel. Az utóbbi években, egyrészt életkoromból adódóan, másrészt kisebb-nagyobb egészségi panaszok miatt már nem tudtam aktív kutatómunkát végezni, de volt munkatársaimmal és kedvelt tudományterületemmel ma is szoros kapcsolatban vagyok.

Munkádat elismerték állami és szakmai díjakkal. A Magyar Köztársasági Érdemrend arany fokozatát, az Akadémiai Díját (MKL, 2013, 6) is megkaptad. Bár szerintem azok a kevésbé hivatalos köszöntések, amiket egy-egy neves alkalommal, például legutóbb a munkatársaidtól, tanítványaidtól, barátaidtól az MKE munkabizottsági ülésén, Balatonszárszón kaptál, talán jobban kifejezik annak a több évtizedes életútnak az elismerését, amit tudunk és amit ezzel a rövid beszélgetéssel is megpróbáltunk felidézni. Gratulálók, Sovi!

Mindannyiunk nevében kívánok további értékes éveket, munkát, amennyi jólesik, aktív pihenést, boldogságot és mindehhez jó egészséget!

Kiss Tamás



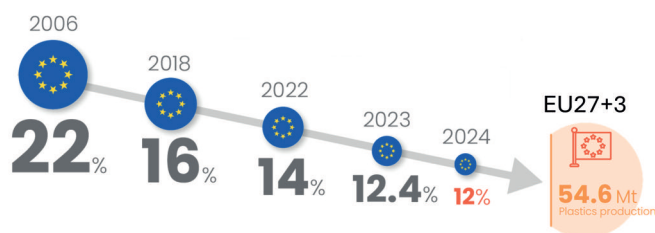
Zrínyi Zita¹, Gerencsérné Berta Renáta¹, Laczó-Duba Barbara¹,
Gresina Fruzsina², Orzó László³, Nemes László⁴, Zarándy Ákos³

■¹ Pannon Egyetem, Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ ■² HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóintézet ■³ HUN-REN Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet
■⁴ Holodetect Instruments Ltd. | zrinnyi.zita@pen.uni-pannon.hu

Mikroműanyagok vizsgálata a felismeréstől a holografikus azonosításig

A környezeti mikroműanyagokról

A mikroműanyagok története jól mutatja, hogyan lesz egy sokáig láthatatlan környezeti jelenségből szabályozási, technológiai és analitikai feladat. A műanyag nem önmagában „ellenség”: könnyű, tartós, olcsón formálható anyag, amelyre az egész modern gazdaság ráépült. Éppen ezek az előnyei okozzák a környezeti problémát is. A 2024. évi globális műanyagtermelés 430,9 millió tonna volt, ebből Európa (EU27+3) 54,6 millió tonnával körülbelül 12%-ot képviselt. Habár ez az arány 10%-kal kevesebb, mint 2006-ban (**1. ábra**), a mennyiség nagysága miatt már a felhasználás, a kopás, a mosás, a csomagolás, a közlekedés és a hulladékkezelés mindennapi folyamatai is elegendők ahhoz, hogy mikroméretű részecskék kerüljenek a környezetbe. A mikroműanyagok eredetük szerint lehetnek primer vagy szekunder részecskék.



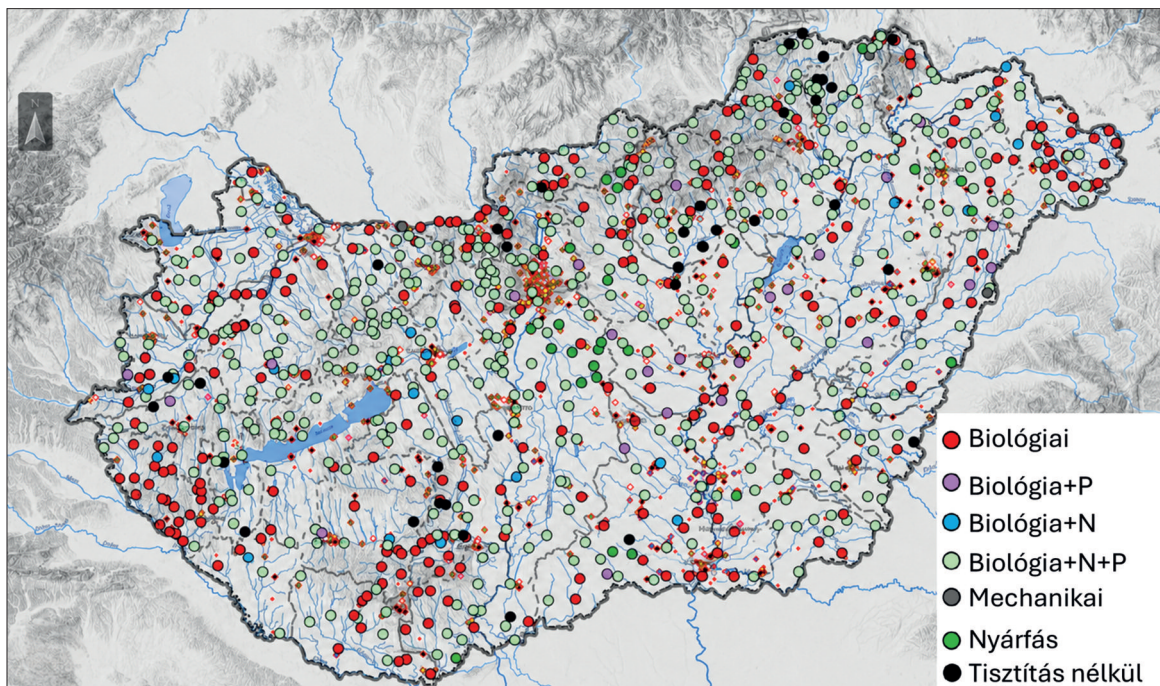
1. ábra. Európa részesedése a globális műanyagtermelésből (Plastics EUROPE Fast Facts 2025)

A primer mikroműanyagok már eleve mikroméretben készülnek vagy kerülnek felhasználásra, például ipari alapanyagként, csiszolóanyagként vagy korábban egyes kozmetikai termékek összetevőiként. A szekunder mikroműanyagok ezzel szemben nagyobb műanyag tárgyak aprózódásával, kopásával, fizikai kémiai öregedésével keletkeznek [1] [2]. Ahogy humán és környezetegészség szempontjából ez utóbbiak különösen fontosak, mert alakjuk, méretük, felületük és összetételük rendkívül változatos lehet, úgy mérésük és kockázati értelmezésük is nehezebb.

Az európai szabályozás is ezen az úton haladt: először a látványos és könnyen azonosítható műanyag hulladék került célkeresztbe. Az egyszer használatos műanyagokról szóló 1990/269/EU irányelv (az ún. *Single-Use Plastics Directive*, SUP) még elsősorban bizonyos műanyag termékek környezeti hatásának csökken-

téséről szólt (tengeri műanyag hulladék csökkentése). A következő lépés azonban már nem csupán a hulladékmegelőzés, hanem a mikroműanyagok mérhetősége lett. Az ivóvíz-irányelvhez kapcsolódó 2024-es bizottsági döntés módszertant rendelt az ivóvízben lévő mikroműanyagok méréséhez, a REACH 2023/2055-ös módosítása pedig a szándékosan hozzáadott szintetikus polimer mikrorészecskéket korlátozza. Ez a szabályozási fordulat fontos üzenetet hordoz. A mikroműanyagok esetében ma még nem klasszikus határérték-alapú gondolkodásról beszélünk, hanem monitorozási és módszertani harmonizációról. Vagyis a szabályozás első kérdése nem az, hogy „mennyi a megengedett érték?”, hanem az, hogy egyáltalán mit, milyen mérettartományban, milyen mintavétellel, milyen egységben és milyen bizonytalansággal mérünk. Ez különösen lényeges, mert a mikroműanyag nem hagyományos oldott szennyező, hanem részecske, amelynek mérete, alakja, polimertípusa, felülete és öregedési állapota is befolyásolhatja a környezeti viselkedését, ott kifejtett hatását. A kockázateértékelés ezért nehéz. Egy oldott vegyületnél megszoktuk a koncentráció-alapú gondolkodást: mérhető környezeti koncentrációt hasonlítunk össze hatásküszöb-értékkel. A mikroműanyagoknál azonban ugyanaz a koncentráció egészen mást jelenthet, ha sok apró fragmentumról, néhány hosszú szálról, friss ipari részecskékről vagy öregedett, biofilmmel borított szemcsékről van szó. Nem véletlen, hogy a szakirodalom a mikroműanyag-kockázateértékelés egyik fő akadályaként említi a részecskék „többdimenziós” jellegét: nincs olyan egységes keretrendszer, amely egyszerre kezelné a koncentráció, méret, forma, sűrűség, kémiai összetétel és környezeti mátrix problémáját. Ebből következik, hogy egyetlen koncentrációadat (µg/L; µg/g) önmagában félrevezető lehet. A „db részecske/liter” szintén hasznos, de nem elég. Ugyanaz a minta nagyságrendekkel eltérő eredményt adhat attól függően, hogy 3, 10 vagy 100 mikrométer felett számolunk. A kockázati és technológiai értelmezéshez a darabszám mellett méreteloszlásra, morfológiára, rost-fragmentum arányra és lehetőség szerint polimerazonosításra is szükség van. A mikroműanyag-monitoring tehát nem egyetlen szám előállítása, hanem részecskeprofil készítése.

Itt válnak kulcsszereplővé a környezeti kibocsátás szempontjából is jelentős hot spot-k (**2. ábra**), a szennyvíztisztító telepek. A telep egyszerre gyűjtőpont, technológiai szűrő és potenciális kibocsátási pont. Ide érkehetnek a háztartási mosásból származó



2. ábra.
Kommunális
és ipari szenny-
vízbevezetések
a Duna-vízgyűjtő
magyarországi
szakaszán
(VGT-3 (3-1))

textilszálak, a városi lefolyás részecskéi (utak, parkolók csapadékvizei), ipari eredetű mikroműanyagok, csomagolóanyag-fragmentumok és a csatornahálózatban keletkező másodlagos részecskék is. A tisztítás során ezek egy része eltávolítható vagy az iszapban feldúsulhat, más részük viszont a tisztított szennyvízzel a befogadóba kerülhet. Az új városi szennyvíz-irányelv (2024/3019/EU) ezért már szisztematikus mikroműanyag-monitoringot irányoz elő a szennyvíztisztító telepek befolyó és kifolyó pontjain, valamint az iszapban. Az irányelv magyar jogszabályi környezetbe való átültetésének 2027-ig kell megtörténnie. A szennyvíztelepi monitoring célja nemcsak környezetvédelmi adatgyűjtés, hanem üzemeltetési eszköz is lehet. Ha a befolyó és kifolyó mintákban követjük a részecskeszámot (akár részecskeméret, akár adott polimertípus koncentrációja szerint), akkor a tisztítási hatékonyság is követhető, optimalizálható. Ez különösen fontos lesz a technológiai fejlesztések értékelésénél, ahol nem elég azt mondani, hogy „csökkent a mikroműanyag-terhelés”, hanem tudni kell, milyen méretben és milyen típusú részecskéknél történt változás. A módszertani igény ugyanakkor ütközik az analitikai valósággal. Az ivóvízre kidolgozott JRC-módszertan [3] például legalább 1000 liter minta szűrésével számol, 100 és 20 mikrométeres szűrőkön, majd rezgési spektroszkópiái (FTIR- vagy Raman-mikroszkópos) elemzéssel azonosítja a polimertípust, a méretet és a részecske, vagy szál jelleget. Ez kiváló irány a harmonizációhoz, de jól mutatja a probléma léptékét is: nagy mintatérfogat egy tiszta mátrixtípusból, időigényes minta-előkészítés kontaminációmentes laboratóriumi környezetben, valamint speciális szaktudást igénylő és költséges műszeres háttér szükséges. Ugyanez a feladat a szennyvíztelepek víztípusaiból körülményesebb mintavételt, több és drágább minta-előkészítést jelentenek [4]. Az új szennyvíz-irányelv így a kimondott technológiai rekonstrukció mellett kimondatlan laboratóriumi követelményeket (tisztá tér, szaktudás, analitikai beruházás) is megfogalmaz.

A mikroműanyag-analitikában a fent említettekből fakadóan ma nincs egyetlen, minden kérdésre alkalmas módszer. A különböző eljárások nem ugyanazt az információt adják, és nem is ugyanarra a feladatra optimálisak [5] [6]. Az optikai módszerek, ideértve a fénymikroszkópiát, a fluoreszcens mikroszkópiát és a

holografikus mikroszkópiát, elsősorban részecskeszámot, méreteloszlást és morfológiai információt szolgáltatnak. Ezekkel követhető, hogy hány részecske van a mintában, milyen mérettartományba esnek, rostokról, fragmentumokról vagy szabályosabb alakú szemcsékről van-e szó. Módszertani korlátjuk, hogy önmagukban nem adnak biztos polimerazonosítást. A rezgési spektroszkópiái technikák (Raman, FTIR) ezzel szemben a mikroműanyagok kémiai azonosításában (anyagi összetétel, polimertípus) kulcsfontosságúak. Ez az egyik oka annak, hogy a mikroműanyagokat érintő kevés, publikált ISO szabvány között megjelenik javasolt analitikai módszerként a rezgési spektroszkópia. Ugyanakkor időigényes, költséges, speciális szaktudást igényel a kezelése, érzékeny lehet a fluoreszcens háttérre, a részecskeméretre és a spektrális könyvtárak korlátaira. Nagy mintaszámú, rutinszerű szennyvíztelepi monitoringban ezért önmagában nehezen alkalmazható minden minta teljes körű vizsgálatára. A termikus és tömegspektrometriás módszerek, például a pirolízis-GC-MS vagy más termoanalitikai-tömegspektrometriás eljárások, ismét más típusú adatot szolgáltatnak. Ezek nagy érzékenységgel képesek polimerek vagy bomlástermékeik kimutatására és tömegalapú információt adnak a mintában jelen lévő műanyagfrakcióról. Ugyanakkor roncsolásos módszerek, ezért a vizsgálat után a részecske egyedi mérete, alakja, darabszáma és morfológiája már nem értékelhető. Továbbá egy-egy kiugró, vagy több nagyobb mikroműanyag-szemcse nagy változást okoz a végeredményben, ez nehezíti az adatok összehasonlíthatóságát, vagy évszakos, éves trendek felvételét.

Nem arról van tehát szó, hogy nincsenek használható protokollok. A kutatói gyakorlatban már ma is rendelkezésre állnak jól felépített eljárások: fém- és üvegeszközök használata a kereszt-szennyezés csökkentésére, vakminták, oxidatív szervesanyag-bontás, sűrűség szerinti elválasztás, esetleg fluoreszcens festés a polimer részecskék jelölésére, majd mikroszkópos vagy analitikai elemzés. Ugyanakkor egy szennyvíztelepi monitoringprogramban más információ szükséges a gyors terhelésváltozás jelzéséhez, más a technológiai eltávolítás követéséhez és megint más a polimerazonosításra épülő, szabályozási vagy tudományos megerősítéshez. A holografikus mikroszkópia ebben a rendszerben nem



önálló, mindenre választ adó technika lehet, hanem a gyors, nagy mintaszámú, részecskealapú előszűrés egyik ígéretes eszköze. A javaslat lényege a kétlépcsős gondolkodásban van. A Raman- és FTIR-mikroszkópia továbbra is az azonosítás „arany standardja”, mert polimerspecifikus információt ad. De drága, lassú, szakértőigényes, és nagy mintaszám esetén nehezen illeszthető rutinszerű telepi monitoringba. A holografikus mikroszkóp ezzel szemben nem polimerazonosító csodaszér, hanem gyors, olcsóbb és nagyobb áteresztőképességű előszűrő eszköz lehet. A digitális holografikus képalkotás a részecskék által létrehozott interferenciámintázatból morfológiai és optikai információkat nyer, és gépi tanulóval támogatott osztályozásra is alkalmas. Friss kutatások szerint a holografikus, illetve polarizációs holografikus képalkotás nagy áteresztőképességű, dinamikus, automatizálható mikroműanyag-vizsgálat irányába mutat [7] [8].

Holografikus mikroszkópia

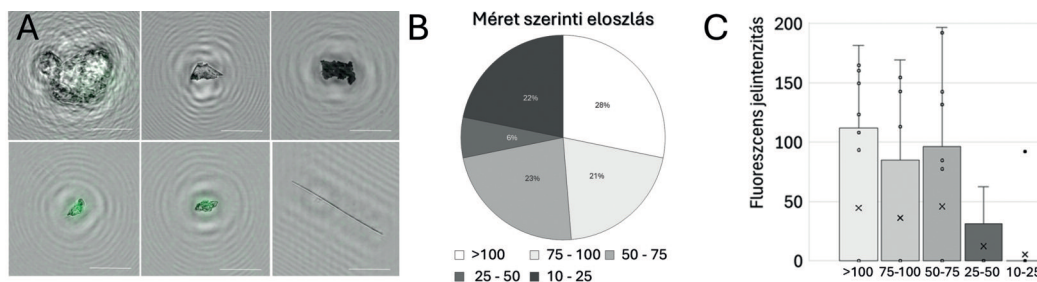
A digitális holografikus mikroszkópia (DHM) lényege, hogy a részecskén áthaladó vagy arról szóródó fényhullámot nemcsak egyszerű képként rögzíti, hanem referenciahullámmal létrehozott interferenciámintázat formájában [9]. Ezt a hologramot a rendszer digitálisan rekonstruálja, így a hagyományos intenzitásképp mellett például fázisinformáció is nyerhető. A fázisinformáció azt mutatja meg, hogyan változtatja meg a részecske a fény útját; ez kapcsolatban állhat a részecske alakjával, optikai vastagságával, törésmutatójával és belső inhomogenitásával. Másképpen fogalmazva: a DHM nemcsak azt látja, hogy „ott van egy részecske”, hanem azt is, hogy a részecske milyen módon torzítja a fény hullámfrontját. Egyrészt ez adja a holografikus képalkotás többletét a hagyományos optikai mikroszkópiához képest. A fénymikroszkópos kép elsősorban a látható alakot, kontúr, szint vagy fluoreszcens jelet mutatja, míg a holografikus mérés ugyanarról a részecskéről több fizikai-optikai jellemzőt képes kinyerni. Ezek a jellemzők különösen értékesek lehetnek akkor, amikor a műanyag részecskék méretben és alakban átfednek természetes eredetű komponensekkel, például algákkal, kovamoszatokkal vagy szerves törmelésekkel. A DHM másik előnye és mikroműanyag-analitikai jelentősége a fénymikroszkópiával szemben, hogy fluoreszcens festéssel kombinálva, a morфомetriai paraméterek alapján gépi tanulóval támogatott osztályozásra alkalmas analitikai platformmá fejleszthető. A szakirodalomban bemutatott megközelítésekben a digitális hologramokból kinyert morfológiai, texturális és holografikus jellemzőket gépi tanulási modellek, például támogatott vektorgepek vagy neurális hálók használják fel a részecskék elkülönítésére [8] [10]. Ebben az értelmezésben a mikroműanyag nem kémiai, hanem fizikai-optikai „ujjlenyomat” alapján válik felismerhetővé: a módszer nem azt mondja meg elsőként, hogy milyen polimerből áll a részecske, hanem azt, hogy a részecske viselkedése, fluoreszcens festődése alapján műanyaggyanús-e, és érdemes-e/kell-e mintázni a telep adott pontján további, kémiai megerősítő vizsgálatok céljából. Ez a szerep jól illeszkedik a szennyvíztelepi monitoring logikájához. Nagy mintaszámnál, változó mátrixban és technológiai összehasonlításoknál a gyors részecskealapú előszűrés önmagában is értékes információt adhat. A DHM segítségével követhetővé válhat a részecskeszám, a méreteloszlás és a morfológiai profil változása, miközben előzetesen kiszűrheti azokat a frakciókat vagy mintákat, amelyeknél Raman- vagy FTIR-mikroszkópos megerősítés szükséges (pl. a kötelező gyakoriságú éves adatszolgáltatáson túl). Így a holografikus mikroszkóp nem a rezgési

spektroszkópai módszerek helyettesítője, hanem azok szükségességét célzottabbá tevő, nagy áteresztőképességű előszűrő vizsgálat, ami tized annyiba kerül (bekerülési költség, fenntartás) és speciális szaktudás nélkül alkalmazható a neurális háló előzetes feltanítása után. A jelenlegi hiányosságokat azonban nem szabad elhallgatni. A holografikus mérés érzékeny lehet a mintakezelésre és -előkészítésre (ugyanúgy fontos a terepi és laboratóriumi kontamináció minimalizálása), valamint a festési protokollra. A gépi tanulóval támogatott osztályozás pedig csak annyira jó, amennyire jó a tanítóadatbázis: helyi szennyvízmátrixra, öregbített részecskékre, természetes zavaró anyagokra és különböző méretfrakciókra validálni kell.

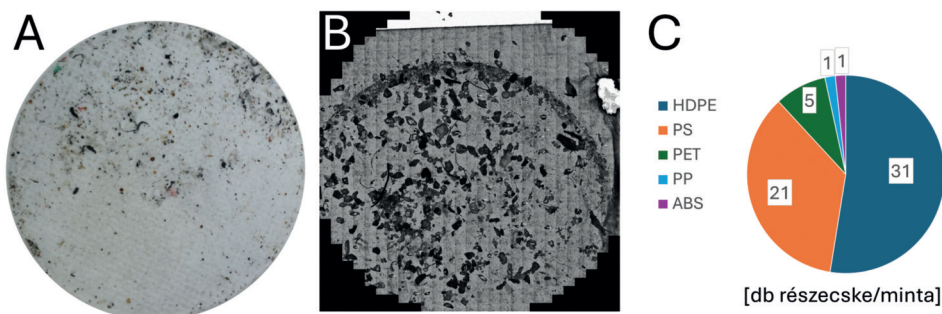
A szennyvíztelepi monitoringban a holografikus mikroszkóp alkalmas lehet arra, hogy gyakran, gyorsan és viszonylag kis költséggel jelezze a részecsketerhelés változását. Követheti a technológiai beavatkozások hatását, például új szűrési, membrános vagy kombinált tisztítási lépcsők bevezetésekor. Ehhez azonban a holografikus előszűrésnek is szigorú kritériumoknak kell megfelelnie. Rögzíteni kell a mintatérfogatot, a szűrési mérethatárokat, az előkezelést, a festési körülményeket és a mérési térfogatot. Minden sorozathoz szükség van vakmintára, visszanyerési vizsgálatra és referenciaanyagokra. A neurális hálóval támogatott osztályozást dokumentált tanító- és validációs mintákkal kell ellenőrizni. A jelentésben nemcsak átlagos részecskeszámot, hanem méreteloszlást, alak szerinti megoszlást, detektálási határt, bizonytalanságot és a Raman/FTIR-visszaellenőrzés arányát is közölni kell.

Nézzünk egy példát!

A Pannon Egyetem Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ és a HUN-REN Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet munkatársaiként 2024 decembere óta dolgozunk együtt a fluoreszcens csatornákkal is rendelkező Holodetect HiRes/LVöl + Fluor3 (Holodetect Instruments) holografikus mikroszkóp neurális hálózatának tanítóadatbázisán, amely a mikroműanyagokat méret szerint osztályozza és morфомetriai paraméterekkel jellemzi. Ahhoz, hogy ez környezeti mintán is tesztelhető legyen, először egy kutatási célú kompakt, rozsdamentes acél szűrőkaskádót fejlesztettünk ki. Ez a terepen alkalmazható, integrált mintavételi és szeparációs rendszer lehetővé teszi felszíni vizek esetében legalább 400 liter, tisztított szennyvíz esetén 200 liter víz szűrését. A rendszer működési elve kaskádászűrési megközelítésen alapul, amely különböző pórusméretű fém szitaszövetet alkalmaz. A víz-mintát szivattyú segítségével vezetjük át a szűrőrendszeren, folyamatosan monitorozva a nyomást, valamint az átszűrt víz mennyiségét. A mintavétel során a víz először egy durva előszűrőn (1,5 mm), majd sorrendben 100 μm , 50 μm és végül 25 μm pórusméretű szűrőkön halad át. Ez a mérettartomány a környezeti kutatásban, de különösen a monitoring tevékenység során viszonylag ritka, ugyanis már nagy kihívások elé állítja a szakembereket: nemcsak a mintavétel, hanem az analitikai mérések is tovább tartanak, a minta-előkészítés pedig több időt vesz igénybe, mint a nagyobb (300 μm feletti) mérettartományban. A moduláris rendszert csak laboratóriumban szedjük szét, a minta-előkészítés során a szerves anyagokat hidrogén-peroxidos oxidációval eltávolítjuk. A mintában lévő mikroműanyagok dúsításához a szakirodalomban javasolt protokollok szerint [6] cink-klorid telített oldatával történő, sűrűség szerinti elválasztást alkalmazunk, ahol a könnyebb (műanyag) frakciót külön gyűjtjük, majd ismét szűrjük és tisztítjuk. Utolsó lépésként a mintát Nílusvörös fluoreszcens festékkel festjük ($\lambda_{\text{max}} = 553 \text{ nm}$, Sigma-Ald-



3. ábra. Mikroműanyag-azonosítás környezeti mintából holografikus mikroszkóp segítségével. A) A részecskék holografikus képe. Zöld fluoreszcencia jelöli a polimer részecskéket Nilus-vörös alkalmazása, mint nem szelektív jelölés után. Skála: 50 µm. B) A részecskék méret szerinti eloszlása holografikus mikroszkóp neurális hálózattal történő osztályozása alapján. C) Az átlagos fluoreszcens jelintenzitás megoszlása az egyes csoportokban



4. ábra. A környezeti minta 100 µm átmérőjű fém szitászövetről kapott szemcséinek üveg szűrőpapíron megjelenő vizuális és Raman-alapú térképezése: A) makroszkópos felvétel a szűrőfelületről; B) Raman-mikroszkópos pontonkénti szkennelésen alapuló részecskéeloszlási térkép; C) a Raman-vizsgálat összesített eredménye: az azonosított mikroműanyagok eloszlása [db részecske/minta]

rich GmbH). A műanyag részecskék holografikus mikroszkópos meghatározásához a műszert támogató neurális hálót előzetesen feltanítottuk a partikulumok méret szerinti osztályozására az alábbi kategóriák szerint: 0–3; 3–10; 10–25; 25–50; 50–75; 75–100 és 100 µm feletti kis tengellyel jellemezhető részecskék. Ezek nem szigorú értelemben vett méretek, hiszen a neurális hálózat nemcsak a kis tengely méretét, hanem számos egyéb morfológiai paramétert is figyelembe vesz a tanulás során. A készülék jelenlegi elrendezése szerint a neurális hálózat az 50 µl-es cellán átfolyó minta 0,12 µl térfogatát értékeli egy hologramon, és ebből készíti a beállításoknak megfelelő mennyiségű felvételt. A készülék névleges detektálási határa 0,6 µm a felbontáshoz igazítva, ugyanakkor a mikroműanyagok terén, tapasztalataink szerint, az általunk alkalmazott Nilus-vörös festés a 10 µm feletti tartományban ad megbízható jelet. Mivel az általános laboratóriumi háttér-szennyezés is 10 µm alatt adja a legtöbb zavaró jelet, így a 10 µm feletti tartományban vizsgáljuk a mikroműanyagokat.

A 3.A ábrán látható a mikroműanyagok holografikus megjelenése (zöld fluoreszcenciát adó partikulumok). A szoftver minden egyes detektált részecskéről felveszi a holografikus képet, valamint a morfológiai adatokat és a fluoreszcencia adatokat, az adatsor pedig további statisztikai feldolgozásra exportálható. A 3.B ábrán egy környezeti mintából származó mérés részecske-méret szerinti százalékos eloszlása látható a 10 µm feletti tartományban. Ezeknek a részecskéknek kb. 9%-a mutatott fluoreszcens jelölést, ennek mértékét, az átlagos fluoreszcens jelintenzitást az egyes méretkategóriákban a 3.C ábra mutatja. A 4. ábra a minta Raman-mikroszkópos mérésének részleges folyamatát (A és B), valamint az azonosított polimertípusokat mutatja be (C).

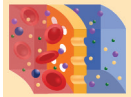
Összefoglalás

A mikroműanyagokkal kapcsolatban ma az egyik legfontosabb felismerés az, hogy a mérés maga is környezetvédelmi infrastruktúra. Amit nem mérünk következetesen, arra nem tudunk

technológiát fejleszteni, szabályozást alkotni vagy üzemeltetési döntést alapozni. A szennyvíztelepek a következő években természetes monitoringpontokká válhatnak: megmutatják, milyen mikroműanyag-terhelést termel a városi élet, mennyit képes vizsztatartani a tisztítás és mely frakciók igényelnek új technológiai válaszokat. A vízmintákból történő mikroműanyag mérésre alkalmas holografikus mikroszkóp erőssége a darabszám, a méret és az alak gyors meghatározása. A morfológiai paraméterek segítségével a különböző eredetű és alakú részecskék összehasonlíthatóvá válnak. Ez különösen hasznos másodlagos mikroműanyagoknál, amelyek nem szabályos gömbök vagy ipari mikroszemcsék, hanem szakadt, töredezett, nyúlt, hajlott vagy biofilmmel módosult fragmentumok. A módszer Nilus-vörös festéssel kombinálva erősítheti a műanyaggyanús részecskék felismerését. A módszer ezért nem pusztán mikroszkópos megfigyelés, hanem strukturált adatok előállítása további osztályozáshoz és döntéstámogatáshoz. A kérdés az, hogy képes-e a mikroműanyag-monitoring jelenlegi arany standard módszereit neurális hálózat alkalmazásával használhatóbbá tenni: több mintát előszűrni, gyorsabban jelezni a változásokat, olcsóbban követni a technológiai hatékonyságot és célzottabban kijelölni a megerősítő vizsgálatokat. Ehhez a kutatás, a szabályozás és az ipar szakembereinek összefogása és közös fejlesztése szükséges.

IRODALOM

- [1] Newton D. E., *Plastics and Microplastics: a reference handbook*. ABC-CLIO, Santa Barbara, (California), 2021, 23.
- [2] Adam V., Yang T., Novak B., *Environmental Toxicology and Chemistry* (2019) 2, 436.
- [3] https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/new-methodology-measure-microplastics-eus-drinking-water-2024-04-23_en (2026.01.15.)
- [4] Jahanpeyma P., Baranya S., *Periodica Polytechnica Civil Engineering* (2024) 62, 684.
- [5] Radwa S. J., *Bulletin of the National Research Centre* (2023) 47, 174.
- [6] Picó Y., Barceló D., *ACS Omega* (2019) 4, 6709.
- [7] Abimola I., Thevar T., McAfee M., Creedon L., Khosravi H., Gharbia S. *Emerging Contaminants* (2025) 11, 100558.
- [8] Bianco V., Memmolo P., Carcagnì P., Merola E., Paturzo, M., Distante C., Ferraro P. *Advanced Intelligent Systems* (2020) 2, 1900153.
- [9] Byeon H., Go T., Lee S. J., *Optics and Laser Technology* (2019) 113, 77.
- [10] Bianco V., Pirone D., Memmolo P., Merola E., Ferraro P., *ACS Photonics* (2021) 7, 2148.



Székely György

■ Massachusetts Institute of Technology (MIT), King Abdullah University of Science and Technology (KAUST)

| gyorgy.sekely@mit.edu

Membrántechnológia a fenntartható fejlődés szolgálatában

A modern épített környezet megértéséhez közelebből is meg kell vizsgálnunk azokat a láthatatlan gátakat, amelyek mindent lehetővé teszik. Ezeket a gátakat membránoknak nevezzük. Bár a szó hallatán sokaknak a középiskolai biológiaórák és az élő sejtek külső rétegei jutnak eszébe, az ipari membránok komplex, szintetikus anyagok, amelyek kifinomult mikroszkopikus és nanoszkopikus szitaként működnek. Csendben, a háttérben dolgozva szinte minden jelentős globális iparág megkérdőjelezhetetlen részét képezik. Amikor megiszunk egy pohár csapvizet, azt nagy valószínűséggel egy membrán tisztította meg. Amikor a gyógyszeripar életmentő gyógyszereket gyárt, membránokat használnak az aktív hatóanyagok és a mérgező melléktermékek elválasztására. A membránok kritikus fontosságúak a petrokémiai finomításban, az élelmiszer- és italgyártásban, a törvényeségi kémiában, a mesterséges szervek esetében, sőt még a Nemzetközi Űrállomás nedvességet újrahasznosító létfenntartó rendszereiben is.

Alapvetően a membrán funkciója az anyagok elválasztása. Azonban egy egyszerű kávéfilterrel ellentétben – amely kizárólag a fizikai lyukméretre támaszkodik a kávézacc kiszűrésére – a fejlett ipari membránok sokkal komplexebb szinten működnek. Bonyolult kémiai kölcsönhatások, elektromos töltések és molekuláris affinitások alapján választják el a folyadék- vagy gázáramok molekuláit. Ez a szelektív permeabilitás – az a képesség, hogy a vizet átengedi, de a sóionokat blokkolja, vagy a szén-dioxidot átengedi, de a nitrogént nem – hihetetlenül sokoldalúvá teszi a membrántechnológiát.

Ami még ennél is fontosabb, hogy a membránokat környezetbarát technológiaként tartják számon, mivel az alternatívákhoz képest energiahatékonyak. A hagyományos termikus elválasztási módszerek, mint például a desztilláció vagy a bepárlás, nagy mennyiségű hőt és energiát igényelnek.[1] Azzal, hogy a membránok szobahőmérsékleten, általában egy szivattyú nyomásának segítségével szűrik meg az anyagokat, az iparágak hatalmas mennyiségű villamos energiát takarítanak meg, és évente több millió tonna üvegházhatású gáz kibocsátását előzik meg.

Ennek a láthatatlan infrastruktúrának a gazdasági súlya is óriási. 2025-ben a globális membránpiac értékét 67 milliárd dollárra becsülték, és az előrejelzések szerint 2033-ra ez az összeg 107 milliárd dollárra fog ugrani a hatékony elválasztási és vízkezelési technológiák iránti növekvő globális igény miatt. Ez a gyors piaci expanzió egybeesik a 2026-ot meghatározó globális fenntarthatósági trendekkel. Az iparágakban a fenntarthatóság a jelentésektől a mérhető végrehajtás, a pénzügyi realizmus és a kézelfogható üzleti érték felé tolódik el. A körforgásos gazdaság ma már nem utópisztikus, hanem a tervezésvezérelt rendszer része, amely közvetlenül beépül a hosszú távú működési rugalmasságba és a versenyelőnybe.

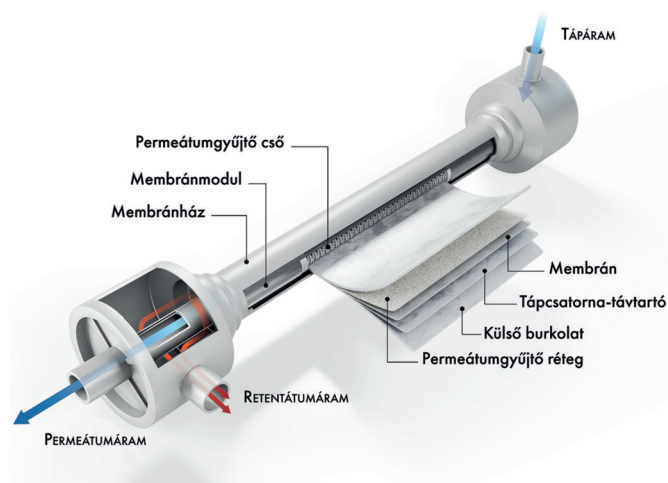
A membránipar azonban jelenleg egy kényelmetlen paradoxonnal küzd. Bár a membránok létfontosságú eszközök a környezetvédelem, az erőforrás-megőrzés és a vízhiány elleni küzdelem terén, az előállításukhoz használt hagyományos gyártási folyamatok fenntarthatósága megkérdőjelezhető.

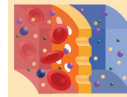
A hagyományos polimer membránok gyártása erősen támaszkodik a fosszilis tüzelőanyagokból származó műanyagokra, reaktív felületmódosítókra és mérgező oldószerekre. A gyártási folyamat során több millió liter veszélyes szennyvíz keletkezik, amelyet gondosan kell kezelni az ökológiai szennyeződés elkerülése érdekében. Továbbá, amikor ezek a membránok elérik az élettartamuk végét, szinte soha nem hasznosítják újra őket. Az elhasznált membránok túlnyomó többsége hulladéklerakókba kerül vagy elégetik őket, amivel mérgező melléktermékek jutnak a légkörbe.

Ezt a kirívó ellentmondást felismerve, a tudományos és mérnöki membránközösségek egy átfogó, iparágra kiterjedő paradigmaváltást indítottak el. Ma már láthatjuk a mesterséges intelligencia integrálását a kémiai elválasztások előrejelzésére és optimalizálására, az emberi bőrhöz hasonlóan öngyógyító műanyagok kifejlesztését, valamint a teljes egészében növényi hulladékból készült anyagok térnyerését a membránok területén.

A zöld membránanyagok és -folyamatok 12 alapelve egy kevertrendszert fektet le, ami iránymutatást ad az anyag- és a folyamatmérnöki tudományok oldaláról egy fenntarthatóbb jövő érdekében. Ez azzal érvel, hogy a membránokat nem csupán ipari eszközként kell kezelni, hanem a globális fenntarthatóság három alappillére – a gazdaság, a környezet és a társadalom – mentén kell értékelni.[2]

1. ábra. A hagyományos membránmodul részei





A hagyományos membránmodulok bonyolult, többrétegű szendvicsek. Tartalmaznak egy ultravékony szelektív réteget, amely a tényleges szűrést végzi, egy vastagabb porózus hordozóréteget a mechanikai szilárdság érdekében, különféle kémiai reagasztokat, és műanyag távtartókat a folyadék áramlásának irányítására (1. ábra). A fenntarthatóság filozófiája megkívánja, hogy drasztikusan minimalizáljuk az ezekben a szerelvényekben használt különböző kémiai összetevők számát és vegyük figyelembe azok toxicitását.

Továbbá szorgalmazzuk a véges, kőolajalapú műanyagokról, adalékanyagokról és oldószerekről a megújuló, bioalapú anyagokra való áttérést. Kihívás elé állítja az iparágat, hogy ne támaszkodjon többé a gyártási folyamat során a mérgező oldószerekre. A cél a természet által ihletett membránok tervezése, olyan vegyületek felhasználásával, amelyek biztonságosak mind a gyártási és felhasználási oldalon dolgozó ipari munkások, mind pedig a környezet számára.

Még a legzöldebb membrán is fenntarthatatlan, ha hatalmas mennyiségű elektromos áramot igényel a folyadék átréselése rajta. Egy hagyományos vízkezelő- vagy vegyipari üzemben a folyadékokat egymást követő szakaszok labirintusán pumpálják át, hatalmas átmeneti puffertartályokban tárolják, és gyakran kémiai előkezelésnek vetik alá.

A zöld keretrendszer ezen közbenső lépések kiküszöbölése mellett érvel. Olyan rendkívül hatékony membránok tervezésével, amelyek egyetlen lépésben elvégzik a feladatot, a létesítmények drámaian csökkenthetik az ökológiai lábnyomukat. Ezenkívül a membránokat úgy kell megtervezni, hogy minél közelebb működjenek a környezeti körülményekhez (szobahőmérsékleten és normál légköri nyomáson), minimalizálva a szükséges energiát. Ennek elérése érdekében az iparág egyre inkább a fejlett automatizálás, a digitális szenzorok és a mesterséges intelligencia felé fordul, hogy valós időben nyomon kövessék a membrán állapotát, biztosítva a csúcshatékony működést áram- vagy vízpazarlás nélkül.

Eddig alapvetően a mérnököket csak a membrán teljesítménye érdekelte az aktív működés során. Az új paradigma a *bölcsőtől a sírig*, vagy ideális esetben a körforgásos *bölcsőtől a bölcsőig*, gondolkodásmódot követeli meg. A hulladékkezelési hierarchia ennek része. Az abszolút legmagasabb prioritás az újrahasználat, amely magában foglalja csak kismértékben használt membrán megtisztítását és kevésbé fontos alkalmazásban való ismételt bevetését. A következő preferált lépés az értéknövelő újrahasznosítás, amely az elhasznált anyagot egy új, magasabb értékű terméké alakítja. Ha ez sikertelen, a membrán anyagát újra kell hasznosítani, vagy depolimerizálni kell, ami a műanyag alapvető építőelemeire való lebontását jelenti új membránok szintetizálásához. Ha a kémiai újrahasznosítás lehetetlen, az anyagot úgy kell megtervezni, hogy természetes úton biológiailag lebomoljon. Csak akkor szabad a membránt a legvégső megoldásnak alávetni (biztonságos ártalmatlanítás, hulladéklerakás vagy égetés), ha az összes többi lehetőség kimerült.

A legtöbb membrán előállítása fázis inverzióval történik. Ami a vegyészmérnöki tudományok briliáns teljesítménye, az egyben egy ökológiai rémálom. A szükséges műanyagok feloldásához használt oldószerek, mint például az *N*-metil-2-pirro-

lidon és az *N,N*-dimetilformamid, nemkívánatosak fenntarthatósági szempontból. Ezek a dipoláris aprotikus oldószerek mérgezőek a vízi élővilágra, felhalmozódnak a környezetben, és súlyos reprodukciós és fejlődési egészségügyi kockázatot jelentenek a velük dolgozó gyári munkások számára. Globálisan a membrángyártó ipar évente több mint 50 milliárd liter, ezen veszélyes oldószerekkel szennyezett szennyvizet termel.[3]

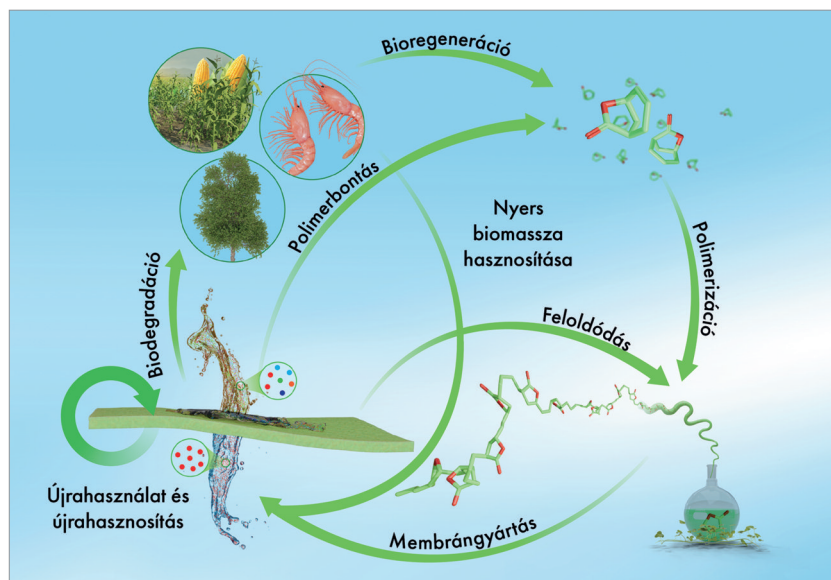
A fenntarthatóság iránti törekvés indította el a zöld oldószerek utáni kutatást. Ebben a kontextusban ezek olyan alternatív oldószerek, amelyek képesek feloldani a műanyagokat, de megújuló biomasszából származnak, minimális toxicitást mutatnak, és biológiailag könnyen lebonthatók. Az elmúlt években számos ilyen zöld oldószer lépett elő kísérleti érdekességből életképes ipari alternatívává, például a cyrene, a γ -valerolakton, az etil-laktát, illetve az *N*-butil-2-pirrolidon.

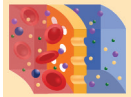
A zöld oldószerekre való áttérés azonban nem pusztán fenntarthatósági, hanem tudományos és gazdasági kihívás is. Bár az olyan oldószerek, mint az etil-laktát, viszonylag megfizethetők, sok nagy méretben szintetizált zöld oldószer továbbra is drágább, rosszabb az ellátási láncának a megbízhatósága, és gyártási tételekenti eltérése nagyobb, mint a kőolajalapú társaiké. Emiatt a folyamatban lévő kutatások erősen a biomassza-fermentációs folyamatok optimalizálására összpontosítanak, hogy ezen környezetbarát folyadékok költségeit a fosszilis tüzelőanyagok szintjére csökkentse.

A membránipar évtizedekig szinte kizárólag kőolajszármazék típusú műanyagokra támaszkodott, mint például a polivinilidén-fluorid, a poliszulfon és a szintetikus poliamidok. A zöldebb vegyületek iránti kereslet nagy léptékű fejlesztéseket katalizált a biopolimer-alapú membránok terén. A biopolimerek bőségesen rendelkezésre állnak a természetben, biokompatibilisek és hasznos élettartamuk végén gyakran biológiailag lebonthatók (2. ábra).

A cellulóz, ami a növényi sejtfalak elsődleges alkotója, hatalmas reneszánszát éli. Amikor mezőgazdasági hulladékból, például kukoricaszárból vagy búzaszalmából nyerik ki, a cellulóz rendkívül stabil és hidrofíl tulajdonságot biztosít a membránok számára. Hasonlóképpen, a kitozánt, ami egy kitinből származó biopolimer, amely a rákfélék és rovarok külső vázát alkotja, is széles körben alkalmazzák. A kitozán azért is különösen értékes, mert hatékonyan semlegesíti a baktériumokat, természetes mó-

2. ábra. A membrántechnológia fenntarthatósági körfolyamata





don megelőzve a biológiai lerakódást anélkül, hogy mérgező vegyi eredetű tisztítószerre lenne szükség.

A mérnökök egyre inkább a természethez fordulnak tervezési inspirációért. Ezt a koncepciót biomimetikának nevezzük. A biológiai sejtmembránok például az emberi vesében hatékonyan szabályozzák a víz és az ionok áthaladását, specifikus fehérjecsatornákat, például akvaporinokat használva. A kutatók ezen biológiai pórusok molekuláris szerkezetének tanulmányozásával olyan szintetikus programozható membránokat terveznek, amelyek utánnozzák ezt a nagy sebességű, nagy szelektivitású transzportot.

Ezzel párhuzamosan olyan membrán kifejlesztése is napvilágot látott, amely teljes egészében napenergiával működik. Ezen új fémorganikus vázszerkezet-alapú membránok szivacsoként működnek, kevesebb mint 30 perc alatt emberi fogyasztásra alkalmas ivóvizet állítanak elő, és csupán négy perc napfénnel való besugárzással regenerálhatók és tisztíthatók.

A szerves kémikusok számára a membrántudomány legizgalmasabb határterülete a szerves oldószerekben a komplex szerkezetű értékes molekulák szobahőmérsékleten történő elválasztása. Ez a szerves oldószeres nanoszűrő területe. A hagyományos finomkémiai és gyógyszerhatóanyag-gyártás erősen támaszkodik a desztillációra és a bepárlásra a termékek koncentrációjához vagy az oldószerek visszanyeréséhez. Ezek a termikus módszerek azonban rendkívül energiaigényesek, és súlyos kockázatot jelentenek a hőérzékeny szerves molekulák és biológiai anyagok lebomlása szempontjából. A nanoszűrő át alakítja ezt a tájképet. A kémiaiilag ellenálló térhálósított polimer alkalmazásával a nanoszűrő lehetővé teszi a kémikusok számára a gyógyszerhatóanyagok koncentrációját, a szennyeződések eltávolítását és az értékes homogén organo- és átmenetifém-katalizátorok visszanyerését energiatájaként módon, pusztán nyomás segítségével a destruktív hőkezelés helyett.[4] Továbbá a legújabb membránátörések enantiomertiszta műanyagokból vagy közvetlenül a membránmátrixba integrálva hoztak létre királis szelektorokat, így a mérnökök valódi királis felismerésre képes membránokat alkottak. Ezek a membránok sikeresen elválasztják a gyakori gyógyszerek racém elegyeit. A méretekizárás mellett ezek a membránok közvetlenül az anyagukba beágyazott királis szelektorról való specifikus, aszimmetrikus kölcsönhatások és kötési affinitások kihasználását is lehetővé teszik.

A nanoszűrő felbecsülhetetlen értékűnek bizonyul az olyan gyorsan növekvő gyógyszerfajták szintézisében is, mint az oligo-

nukleotidok és a peptidek. Ezeknek a makromolekuláknak a szilárd fázisú vagy folyadékfázisú szintézise kimagasló mennyiségű oldószert és ismétlődő mosási lépéseket igényel. A membránok aktívan segítik az ismétlődő oldószercserét és a tisztítási lépéseket, drasztikusan csökkentve a szintézis során keletkező veszélyes oldószert hulladék mennyiségét. E specifikus tisztítási lépések áthelyezésével a hagyományos termikus módszerekről a matematikailag optimalizált membránkonfigurációkra, a gyógyszer-gyárak egy körfolyamatban képesek visszanyerni az oldószereiket, és ezekben a folyamatokban akár 90%-kal csökkenthetik CO₂-kibocsátásukat.

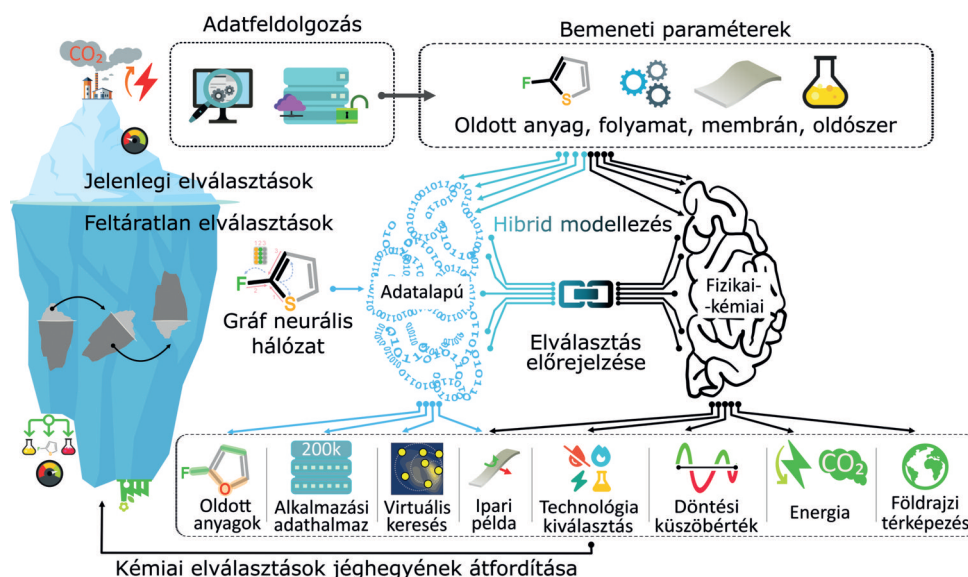
Míg a nehézipar és a víztisztítás négyzetkilométeres nagyságrendben használ membránokat, a gyógyszer- és biotechnológiai szektorok a nano- és mikroszkopikus precizitás miatt támaszkodnak a membránokra. A globális gyógyszeripari membránszűrési piac várhatóan eléri a 13 milliárd dollárt 2026-ban, amelyet a komplex biológiai gyógyszerek, a génterápiák és a szigorú új tisztasági előírások szorgalmaznak.

Ezenkívül az üzenetvivő RNS-vakcinák és a fejlett génszerkesztési terápiák robbanásszerű terjedése alapvetően átalakította a biotechnológiai gyártást. Az *in vitro* transzkripció során előállított üzenetvivő RNS-t aprólékosan meg kell tisztítani az elreagálatlan enzimektől és a mérgező melléktermékektől. Ma az iparág szinte teljesen áttért egy membránalapú technikára, az úgynevezett tangenciális áramlású szűrésre.

A tangenciális áramlású szűrés során a folyadékot nagy sebességgel szivattyúzzák a membrán felületén keresztül, ami megakadályozza, hogy a törekeny üzenetvivő RNS-szálak eltömítsék a mikroszkopikus pórusokat. Az üzemi nyomás és a mosási ciklus optimalizálása lehetővé tette a kutatók számára, hogy az üzenetvivő RNS-termékvesztést 30%-ról mindössze 3%-ra csökkentsék. Ráadásul a biotechnológiai ipar egyre gyakrabban alkalmaz egyszer használatos, újrahasznosítható membránmodulokat, hogy biztosítsák a teljes sterilitást.

A zöld anyagok fejlesztése a membrán anyagának biztosítását oldja meg, de az is kritikus fontosságú, hogy ezek a membránok milyen hatékonysággal működnek a valós problémákban. Hagyományosan az új membránanyagok felfedezése erősen a tapasztalati próba-szerencse módszeren alapult. A mesterséges intelligencia az utóbbi években történő integrálása alapvetően reformálja a membránok területét.

A gépi tanulási algoritmusok kiválóan felismerik a komplex,



3. ábra. A kémiai elválasztások jéghegyének átfordítása modellezési megközelítéssel, amely az energiafelhasználás és a szén-dioxid-kibocsátás szempontjából hasonlítja össze a kémiai elválasztási technológiákat

láthatatlan mintázatokat a nagy méretű adathalmazokban. A mesterséges intelligencia napról napra forradalmasítja a membránok működését a vízkezelő telepeken és a vegyi finomítókban is. A zöld alapelvek erősen támogatják a folyamatanalitikai technológia és az automatizálás integrációját. Amikor a digitális szenzorokat gépi tanulási algoritmusokkal párosítják, a feldolgozó-üzem autonóm, önkorrekciós entitássá válik. A mesterséges intelligencia azonnal képes elemezni a mikroszkopikus anomáliákat az áramlási sebességekben, és képes hetekkel a bekövetkezésük előtt előre jelezni a membrán meghibásodását vagy a súlyos eltömítést. Ahogy az anyagtudomány a mesterséges intelligencia és a zöld kémia széles körű alkalmazása felé tart, a múlt statikus szűrői dinamikus, okos technológiákká fejlődnek, amelyek több iparág kiaknázását is segíthetik (3. ábra).

Ezt az átállást az Európai Unió 2026-ra teljes mértékben elfogadásra kerülő Körforgásos Gazdasági Törvénye (Circular Economy Act) is gyorsítja, amely jelentősen növelni kívánja a másodlagos nyersanyagok használatát. Szigorú újrahasznosított-tartalomra vonatkozó előírásokat vezet be, és a kiterjesztett gyártói

felelősség keretrendszerén keresztül jogilag is a gyártókat teszi pénzügyileg felelőssé termékeikért életciklusuk végén. A hagyományos mechanikai újrahasznosítás mellett az olyan fejlett kémiai újrahasznosítási technológiák elterjedése várható, mint a depolimerizáció, katalitikus krakkolás és pirolízis, amelyek képesek a komplex membránmodulokat feldolgozni.

A membrántudomány gyors fejlődése bizonyítja, hogy a zöld környezetvédelmi szempontok nem a jótékonyági utógondolatok köré tartoznak, hanem a jövő technológiai tervezésének szigorú alapkritériumai. A zöld kémia, a mesterséges intelligencia és a körforgásos gazdaságpolitika szinergiája révén a membrántechnológia ma jó példája annak, hogy az ipar hogyan képes sikeresen újrapozicionálni magát egy fenntartható jövő biztosítása érdekében.



IRODALOM

- [1] D.S. Sholl, R.P. Lively, *Nature*, 2016, 532, 435–437.
- [2] G. Székely, *RSC Sustainability*, 2024, 2, 871–880.
- [3] G. Székely et al., *Green Chemistry*, 2015, 17, 5196–5205.
- [4] G. Székely et al., *Nature Energy*, 2025, 10, 308–317.

Agárdi Tamás

■ AFV Kft.

A fény használata a biztonsági jelek esetében

Fényvisszavető, fluoreszcens, fotolumineszcens és megvilágított biztonsági jelzések

A biztonsági jelzés első feladata nem az, hogy szép legyen, hanem hogy a megfelelő pillanatban észrevegyék. A legszabályosabb piktogram is elveszíti életvédelmi értékét, ha sötétben, füstben, rossz megvilágításnál, nagy távolságból vagy vizuálisan zsúfolt környezetben nem ismerhető fel. Ezért a jelzések tervezésénél a tartalom, a piktogram és a méret mellett külön szakmai kérdés az is, hogyan hívjuk fel a figyelmet a jelre: visszaverje a fényt, erősebben kiemelkedjen nappal, áramszünetben is látszódjon, vagy saját fényforrással legyen megvilágítva.

A magyar munkavédelmi jelzési alapot a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről szóló 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet adja. A rendelet szerint a munkáltató köteles a biztonsági jelzéseket kihelyezni, karbantartani, elhasználódás vagy a munkakörülmények változása esetén cserélni, és a jelzés szükségességének meghatározásakor figyelembe kell venni a kockázatértékelés eredményét. Ez azt jelenti, hogy a láthatósági technológia kiválasztása sem esztétikai kérdés, hanem a használati környezetből, a veszély jellegéből és az észlelési távolságból következő munkavédelmi döntés. Összeszedtük a leggyakrabban használt technológiákat:

A **fényvisszavető jelzés** ott működik jól, ahol van külső fényforrás, amelynek fényét a felület a fényforrás irányába veri vissza. Tipikus példa a közlekedési tábla, a parkolóhely-jel, a kültéri irányjelzés, a kapubejáró melletti figyelmeztető tábla vagy a telephelyen belüli útvonaljelzés, amelyet járműfénycsóró, kézilámpa vagy reflektor világít meg. A fényvisszavető jel nagy előnye, hogy energiaellátás nélkül is látványosan kiemelkedik éjszaka, ködben vagy csökkent látási viszonyok között. Korlátja ugyanak-

kor, hogy saját fényt nem termel: ha nincs ráeső fény, nem lesz mit visszavernie. Ezért menekülési útvonalon, belső sötét terekben vagy áramszünetre méretezett biztonsági rendszerben önmagában nem elegendő.

A **fluoreszcens** jelzések más elven hívják fel magukra a figyelmet. Ezek a felületek a környezeti, különösen az UV-tartalmú fény hatására rendkívül élénknek, „világítóknak” tűnnek. A fluoreszcens sárga, narancs vagy zöld jól használható olyan helyeken, ahol nappal, erős mesterséges fényben vagy változó háttér előtt kell gyors észlelhetőséget biztosítani. Építési területen, targoncaforgalommal terhelt raktárban, karbantartási zónában vagy ideiglenes figyelmeztetésnél a fluoreszcens felület jelentősen növelheti a jel feltűnőségét. Fontos azonban, hogy a fluoreszcens anyag nem azonos az utánvilágítóval: sötétben, megvilágítás nélkül nem ad tartós fényt, hanem a nappali vagy mesterséges fényben fokozza a feltűnést.

A **fotolumineszcens**, közkeletűen **utánvilágító** jelzés már valódi vészhelyzeti logikát képvisel. Az ilyen anyag a környezeti fényből energiát vesz fel, majd a fény megszűnése után fokozatosan visszasugározza azt. Ezért alkalmazzák menekülési útvonalaknál, lépcsőléknél, ajtókeretekenél, alacsonyan vezetett útirányjelzéseknél, tűzvédelmi eszközök kiegészítő jelölésénél vagy olyan helyeken, ahol áramszünet esetén is szükség van vizuális vezetésre. A fotolumineszcens jel nagy előnye, hogy passzív: nem igényel vezetékeztést, akkumulátort vagy aktív fényforrást. A korlátja viszont éppen ebből fakad: csak akkor működik megfelelően, ha előtte elég fényt kapott, és ha a felület tiszta, sértetlen, megfelelő minőségű.

A **belülről megvilágított** feliratok és biztonsági jelek saját fényforrással rendelkeznek. Ilyen lehet például egy kijáratjelző lámpatest, egy belső LED-világítású információs tábla vagy egy folyamatosan működő irányjelző. Ezek előnye az egyenletes, megszűröl is jól érzékelhető fény, valamint az, hogy gyenge környezeti megvilágítás mellett is önállóan olvashatók. Különösen hasznosak olyan belső terekben, ahol a menekülési útirány jelzése folyamatos és üzembiztos észlelhetőséget igényel. Hátrányuk a villamos táplálás, a karbantartási igény, az akkumulátor vagy tartalék energiaellátás ellenőrzése, valamint az, hogy hibás működés esetén a jel elveszítheti láthatóságát előnyét.

A **kívülről megvilágított** jelzések esetében nem maga a tábla világít, hanem egy külső fényforrás világítja meg a felületet. Ilyen megoldás lehet kültéri üzemi felirat, homlokzati biztonsági információ, nagy méretű raktári jelölés, tűzvédelmi vagy irányító tábla, amelyre LED-reflektor, lámpatest vagy más fényforrás irányul. Előnye, hogy nagy felületek és meglévő táblák is láthatóvá tehetők, nem feltétlenül kell magát a jeltestet elektromosan kikalakítani. Hátránya, hogy az egész rendszer a fényforrás helyes beállításától, működésétől és karbantartásától függ.

Tűzvédelmi és menekülési jelzéseknél a megvilágítás kérdése különösen érzékeny. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatot tartalmazó 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet meghatározza a menekülési jel és a tűzvédelmi jel fogalmát; a biztonsági jel lehet kívülről vagy belülről megvilágított jel, illetve olyan utánvilágító jel, amely a vonatkozó műszaki követelmény szerinti mértékben alkalmas a céljának megfelelő fény kibocsátására.

A gyakorlatban ritkán egyetlen technológia adja a legjobb választ. Egy kültéri telephelyi útvonaljelzésnél a fényvisszavető felület lehet célszerű, míg ugyanazon üzem belső menekülési útvonalán belülről megvilágított vagy fotolumineszcens rendszer adhat nagyobb biztonságot. Egy targoncaforgalmi kereszteződésben fluoreszcens figyelmeztető jel hívhatja fel a figyelmet a nappali üzemből, de egy áramkiesés esetén leginkább használt menekülési útvonalnál már nem ez lesz a fő szempont. A jó megoldás mindig a látási helyzetből indul: ki látja a jelet, honnan látja, milyen fényviszonyok között látja, milyen gyorsan kell döntenie, és mi történik, ha a környezeti fény megszűnik.

A figyelemfelhívás a biztonsági jelzés egyik műszaki teljesítménye. A fényvisszavető felület a ráeső fényt hasznosítja, a fluoreszcens felület nappal emeli ki a jelet, a fotolumineszcens anyag áramszünetben is vizuális támpontot ad, a belső megvilágítás saját fényforrással biztosítja az olvashatóságot, a külső megvilágítás pedig nagyobb felületek láthatóságát teszi lehetővé. Egyik sem mindenható, de mindegyiknek megvan a helye egy jól megtervezett jelrendszerben.

A biztonsági jel csak akkor védi az embert, ha észreveszi. A piktogram, a szín, a méret és a szabványosság mellé ezért mindig oda kell tenni a láthatóság kérdését is. A jó jel nemcsak szabályos, hanem a valós környezetben is működik: nappal, éjjel, porban, párában, füstben, távolról, közlőrl, normál üzemből és vészhelyzetben is. Ez az a pont, ahol a jelzés már nem csupán információhordozó, hanem valódi kockázatcsökkentő eszköz.

Mikor melyik figyelemfelhívási technológia indokolt?

Technológia	Hogy néz ki?	Fényforrás szükség-séges?	Működés sötétben	Fő előny	Tipikus felhasználás
Fényvisszavető		Igen, külső fény szükséges	Csak külső fény esetén	Magas fényvisszaverés, energiaellátás nélkül	Közlekedés, kültéri táblák, telephelyi útvonalak, oszlopok
Fluoreszcens		Igen, erős nappali vagy UV-tartalmú fény mellett hatásos	Nem, önmagában nem világít	Erősen feltűnő nappal, vizuálisan zsúfolt környezetben is kiemelkedik	Figyelemfelkeltés, ideiglenes jelzések, építési és karbantartási területek
Fotolumineszcens (utánvilágító)		Feltöltő fény szükséges, működéskor nem igényel áramot	Igen, a feltöltődés után fokozatosan utánvilágít	Áram nélkül is működik, vészhelyzetben vizuális támpontot ad	Menekülési útvonalak, lépcsőlécek, ajtókeretek, vészkijáratok, tűzvédelmi eszközök kiegészítő jelölése
Belülről megvilágított		Igen, villamos energia szükséges	Igen, saját fényforrással	Egyenletes fény, nagy távolságból is jól látható	Kijáratjelzők, belső információs táblák, irányjelzők
Kívülről megvilágított		Igen, külső lámpatest vagy reflektor szükséges	Igen, ha a külső világítás működik	Nagy felületek és meglévő táblák láthatóvá tehetők	Homlokzati feliratok, kültéri üzemi táblák, nagy méretű irányjelzések



Technológiatranszfer

A LynXes Kft.



A 2026-os Analitikai Anketon Németh Zoltán olyan nagy energiafelbontású spektrofotométerek fejlesztéséről és alkalmazásáról tartott előadást, amelyek korábban elképzelhetetlenek voltak egy hétköznapi laboratóriumban. Rendezéseikről és a cégalapításról néhány hónappal később beszélgettünk Csillebércen.

Először nem is a cég, hanem a saját indulásáról szeretném kérdezni.

Többé-kevésbé tipikus történet az enyém. Vidéken születtem, ott érettségiztem, és az egyetem miatt jöttem Budapestre; az ELTE-n jártam vegyész szakra. Az egyetemen előbb-utóbb kialakul, mi érdekli a leginkább az embert. Az elég gyorsan kiderült, hogy a „lőgyölgetős kémia” nem az én műfajom; sokkal jobban izgatnak például a szerkezetvizsgálatok, a spektroszkópiák. Nagy szerencsém volt, mert a Magkémia Tanszékre kerültem – akkor az még külön tanszék volt, Vértess Attila vezetésével. Már diákként elkezdtem dolgozni Attilánál, aztán ott maradtam doktorandusznak, Mössbauer-spektroszkópiából írtam a PhD-dolgozatomat. Közben megismerkedtem Vankó Györggyel, aki szintén ott doktorizott. Mire igazán belejöttem a munkába, ő kiment Franciaországba, a nagy ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) szinkrotronhoz, és hét évig „beamline scientist”-ként – erre nincs jó magyar kifejezés – dolgozott a szinkrotronnál: nagy energiafelbontású röntgenspektroszkópiával foglalkozott. Megmaradt közöttünk a munkakapcsolat, Gyuri gyakran hívott Grenoble-ba, hogy diákként segítsék a berendezések építésében és a kutatásokban.

A szinkrotronok tipikus nagyberendezések, mostanában már harmadik generációs részecskegyorsítók. Eleinte az ütköztetés, a magfizikai kísérletek kedvéért gyorsították – elsősorban – a protonokat, elektronokat. De a körbe-körbe rohangáló részecskék röntgensugárzást bocsátanak ki, és minél nagyobb energiára pumpálták őket, annál vastagabb védőfalakat kellett a gyorsító köré építeni. Egy idő után rájöttek, hogy ha lyukat fúrnak ebbe a falba, irgalmatlan intenzitású sugárzást tudnak kivezetni, ami hasznosítható. Eleinte „parazita” üzemmódban kezdték el használni a gyorsítókat anyagvizsgálatra, de később már nem is az ütköztetés, hanem a kilépő nagy energiájú sugárzás, az anyag-

vizsgálat kedvéért építettek ilyen nagyberendezéseket. Itt dolgozott Gyuri – és amikor lejárt a szerződése, Nagy Dénes Lajos azt javasolta, jöjjön haza, alapítson kutatócsoportot a KFKI Részecske- és Magfizikai Intézetében (a mai Wigner Fizikai Kutatóközpont egyik elődjében). Így is lett, és Gyuri akkor áthívtam az egyetemről, ahol már adjunktusként dolgoztam.

A nagy lépést az jelentette, hogy elnyert egy ERC-támogatást, ami sajnos még mindig elég ritkaság nálunk. A projekt egyik pontjában az szerepelt, hogy itt, a Wignerben állít fel laboratóriumot, amely kifejezetten arra szolgál, hogy kitaláljuk, hogyan tudjuk a legügyesebben összerakni a röntgenspektrométereket – ezeket a szinkrotronoknál és az időközben megjelent szabad-elektron-röntgenlézerekkel akartuk használni.

Hogy működnek ezek a berendezések?

A jól használható szabad-elektron-röntgenlézerek a 2010-es évek elején-közepén jelentek meg. Ezek a részecskegyorsítók, csak nem kör alakúak, mint a szinkrotronok, hanem lineárisak. Ugyanúgy mágnesekkel gyorsítják bennük az elektronokat, mint a szinkrotronokban, és meg is rezegtetik őket, hogy minél nagyobb legyen a kisugárzott energia. A röntgenlézerek nagyságrendekkel intenzívebb sugárzást keltenek, mint a szinkrotronok, de míg a szinkrotronból sok tíz, illetve száz pikoszekundumos impulzusok lépnek ki, ezekből a lézerekből már néhány tíz femtoszekundumosak. Ezzel három nagyságrendet nyerünk, ami a nagy időbeli felbontású vizsgálatok esetében rengeteget számít.

Vankó Gyuri elképzelése nyomán tehát abból indultunk ki, hogy a korábban megszerzett tapasztalatokra építve olyan berendezéseket állítunk elő, amelyekkel mind a szinkrotron, mind a röntgenlézer mellett nagy időfelbontású pillanatképeket kapunk, így a fotofizikai és fotokémiai reakciókat szinte valós időben követhetjük. Sikertült is jó berendezéseket építenünk, és mivel a világon nagyjából öt olyan berendezés van egyelőre, amely nagyon kemény, néhány tíz femtoszekundumos röntgenimpulzusokat generál, már kezdettől hívtak bennünket, hogy segítsünk az ottani kutatócsoportoknak a röntgenspektrométerek építésében és a kísérleti elrendezés kialakításában.

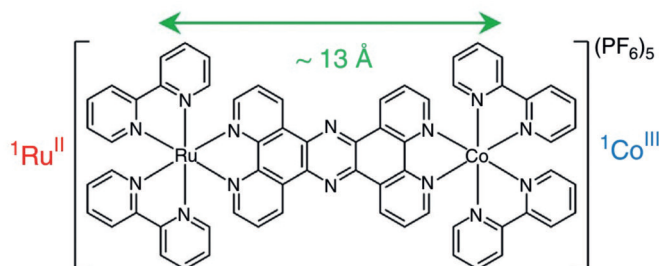
Milyen kísérletekre gondolunk?

Az első ilyen típusú kísérletem a japán röntgenlézernél volt, ahol a raktárban álló, korábban megrendelt alkatrészekből mi raktuk össze a röntgenspektrométert. A kísérletet vezető svéd kollégák olyan rendszert adtak kipróbálásra, amellyel a fotoszintézist modellezték. Fotoszintéziskor kulcsfontosságú lépés, hogy a klorofill fényabszorpció hatására elektront bocsát ki, amely egy másik molekulán landol. A modellrendszerben volt egy ruténium- és egy kobaltcentrum, amelyeket szerves ligandummal kötöttek össze. Meglőttük lézerrel, a ruténium elnyelte a fényt, az abszorpció





nyomán gerjesztett elektron „átkúszott” a kobaltra, aktiválta, amitől a kobalt reakciókat indított el. Ezt a fotoszintézis-modellt már jól ismerték, de a korábbi módszerekkel nem „látták”, mi történik a kobalttal a gyors folyamatban. A berendezésünkkel viszont folyamatosan követtük, ha nem is femtoszekundumos, de pikoszekundumos felbontással, hogy mikor érkezik oda az elektron, hogyan változik meg a spinállapota, hogyan változik a kobalt három vegyértékűről kettőre, hogyan változik meg körülötte a molekulaserkezet: „molekuláris mozi” készítettünk. Ebből aztán *Nature Communications*-cikk is született (DOI: 10.1038/ncomms7359).



A japán kísérletben a RuCo-komplex PF6-sóját használták
(Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms7359)

Itthon egymás után építettük a berendezéseket, és mindig elmentünk a szinkrotronokhoz, röntgenlézerekhez, ahol a külföldi kollégákkal csináltuk a kísérleteket. Tulajdonképpen itthon gyakoroltunk, mert nagyjából mindenhol ugyanaz volt a forgatókönyv, mint a japánoknál: amikor megérkeztünk, akkor rögtönztünk valamit, és az összerakott berendezésen mértünk. De Vankó Gyuri azt mondta, itthon is állítsunk össze egy jó spektrométert, amit mindenhová magunkkal vihetünk. Megcsináltuk, vettünk hozzá sugárforrásnak egy kutyaközönséges röntgendiffrakciós csövet. És a berendezés ezzel az egyszerű forrással is olyan felbontást produkált, mintha nagy energiájú szinkrotronsugárzást engedtünk volna a mintára!

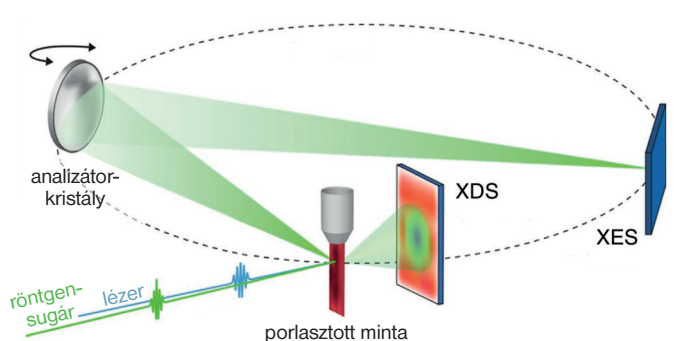
Ettől kezdve a nagy energiafelbontású röntgenspektroszkópiát a laborban is használhattunk, az év 365 napjában, nem csak a nagyberendezések mellett. Ezekhez a monstrumokhoz az ember csak úgy fér hozzá, hogy ír egy kétoldalas kutatási tervet, beküldi elbírálása, amelyre félveként kerül sor, és jó esetben adnak, mondjuk, három mérési napot a következő évre.

Minek köszönhető ez az ugrásszerű minőségi változás?

Egy ilyen berendezésnek három fontos része van: a forrás, az analízator és a detektor. A röntgensugarak az analízatorra, egy szilícium- vagy germánium-egykristályra kerülnek, ahol Bragg-reflexió következik be. A nagy felbontást az analízatorról a detektorra visszaverődő sugarakkal érjük el. Ez a technika némileg hasonlít a jóval ismertebb röntgenfluoreszcenciára. Ott hasonló forrást és hasonló detektort használnak, de az analízator-kristály kimarad, és csak a detektoron múlik az energiafelbontás. Ez tipikusan néhány száz elektronvolt, a mi „kristályspektrométerünké” pedig egy-két elektronvolt – két nagyságrenddel nagyobb. Az analízatoros elrendezést nem mi találtuk ki, ezt mindenhol a világon Hámos-féle (angolul von Hamos) elrendezésnek hívják – Hámos Lászlóról neveztek el, aki magyar kutató volt, de alapvető röntgenspektroszkópiai kutatásait már Svédországban folytatta, elsősorban geológiai mintákon. Ő meg is hajlította az analízator-kristályt, amely így a detektorra fókuszálja a visszavert sugarakat, és emiatt még hatékonyabb az elemzés.

Persze neki még nem voltak szilíciumkristályai az 1930-as

években, hanem például nátrium-klorid-analízatorokkal próbálkozott. Nekünk az a szerencsénk, hogy ugyanazt a szilícium-egykristályt használjuk, mint a félvezetőipar, másrészt a detektor-technológia is sokat fejlődött, és ma már csak a félvezető-alapú röntgendetektorok jönnek szóba. Sőt, ezekből is gyártanak már egészen piciket. Mi diszperzív spektrométert építünk: az egész spektrumot rávetítjük a detektorra, amelynek különböző pontjaira különböző energiájú fotonok érkeznek. A miénkben 50 mikron széles detektorchipek sorakoznak egymás mellett.



Vázlatosan: egy oldat nagy felbontású röntgendiffrakciós (XDS) és röntgenemissziós (XES) spektrumának felvétele

(Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms7359)

Tulajdonképpen minden a rendelkezésünkre állt a jó spektrométerhez – mondhatnám azt is, hogy jókor voltunk jó helyen, és jókor jött Gyuri ERC-támogatása, amellyel gyakorlatot szerezhetünk a műszerépítésben. Azon mi magunk is meglepődtünk, hogy milyen hatékonyan működik a laborban összerakott berendezésünk. A laboratóriumi röntgenforrás tíz nagyságrenddel gyengébb, mint egy szinkrotron – mégis gyönyörű spektrumot kaptunk a referenciamintákra.

A szinkrotron-röntgenforrás persze sok paraméterben különbözik a laboratóriumiától, és amikor láttuk, hogy működik az elgondolásunk, akkor elkezdtük a szinkrotron helyett a laboratóriumi röntgenforrásra optimalizálni a berendezést. A külföldi kollégákkal beszélgetve kiderült, hogy erre a megoldásra más is kíváncsi, más is szeretné a laborjában használni. Nagy dolog lenne, ha ebből a laboratóriumi gépből több százat, több ezret vagy akár tízezret lehetne gyártani, és minden egyes laborba oda lehetne állítani. Gyuri szokta mondani, hogy minden kutatólaborban lényegében ott van egy röntgendiffraktométer, és elférne mellette ez a fajta spektrométer is, amely több információt ad, mégsem drágább.

Az ilyen típusú léptéknövelés többnyire idegen a kutatóktól.

Igen, és a beszélgetésekből világossá vált, hogy nem nekünk kell mindenhová elmennünk, ott összebarkácsolnunk egy-egy gépet, hanem eladható terméket kell csinálnunk. Végül is átütő fejlesztésről van szó: egy olyan technológiát, amelynek az alkalmazásához eddig részecskegyorsító kellett, mi berakunk egy dobozba, amely a laboratóriumban is elfér. Ehhez a technológiatranszferhez alapítsunk egy spin-off vállalkozást, keressünk hozzá tőkét, növeljük a gép technológiai érettségét, és vigyük a piacra. Ennek érdekében született meg a LynXes Kft.

Nem volt könnyű menet. Nemcsak mi építettünk laboratóriumi röntgenspektrométert, hanem amerikai meg német kollégák is, egyet Seattle-ben, egyet Berlinben, nagyjából egyszerre. A németek jól elvannak a sajátjukkal, amely szintén Hámos-elrendezésű, és nem akarnak továbblépni. Az amerikaiak viszont pász-



tázó rendszert alkalmaztak, ők is alapítottak spin-off céget, amely persze rögtön kapott állami támogatást, befektetőket, és piacra tudott menni.

Mi ajánlottuk a berendezésünket az akadémiai szférának, mert igazából a kutatáshoz értünk, nem a vállalkozáshoz – öt év folyamatos vállvonogatással telt el. A Covid-járvány után elgurult a gyógyszerünk, és azt mondtuk, jó, akkor megcsináljuk egyedül.

Egy spanyol kolléga éppen megrendelt egy berendezést, 2021-ben bejegyeztettük Gyurival a céget, megvettük a drága alkatrészeket – és lemondták a megrendelést. Akkor már láttam, hogy vagy megpróbáljuk egyesével gyártani/eladogatni a berendezéseket, és majd szép lassan növekszik a cég, vagy megpróbálunk innovációs pályázati támogatást szerezni. Elkezdtünk pályázni a European Innovation Councilnél (EIC). Az egyik előpályázatunkról tudomást szerzett egy kolléga, aki látott benne fantáziát – ő lett az angyalbefektetőnk. Egyszerűen bekopogott hozzánk (a közelben dolgozik), adott pénzt az alkatrészekre, viszonylag kis részszedést kért, megígérte, hogy nem szól bele semmibe, és majd három év múlva meglátjuk, hova jutottunk.

Ezzel sikerült túlélnünk az első időszakot, utána pedig elnyertük az EIC Accelerator-támogatást; ez egy három lépcsőben elnyerhető innovációs támogatás utolsó eleme. Az első etapot termékfejlesztésben gondolkodó egyetemi konzorciumoknak szánják, amelyeknek valamilyen „proof of concept”-tel kell előállniuk a támogatás lejártakor. Ha ez megvan, akkor a következő, átmeneti támogatással a hátuk mögött felméri, hogy van-e piaci igény a fejlesztésre, és ha van, a harmadik, legnagyobb összeggel járó Accelerator-támogatás segíthet a sikeres cég kialakításában. Sokáig mi voltunk az egyedüli magyar nyertes cég – mert ebben a lépcsőben már csak cégek pályázhatnak, és négy-öt százalék a nyerési esély –, de szerencsére idén az eChemicles, Janáky Csabáké cége is megkapta a támogatást.



A csapat (balról): Szemes Éva, Vankó György, Németh Zoltán, Fehér Kata

A miénk most januárban járt le. Két évre szól, és abból lett minden, ami itt a laborokban és az irodában van. Az tudtuk, hogy a laboratóriumi berendezésből eladható terméket kell előállítanunk, de a vállalkozásról, a piacról fogalmunk sem volt. Ezért kezdettől fogva olyan kollégákat akartunk a csapatba vonzani, akik az üzleti életből jönnek, tudják, mi az a vállalkozás, mi az a pénzügy, mi az a piac, mi az a hirdetés. Szemes Évát korábban ismertük, mert pályázati menedzserként már dolgozott a Wigner-nél, ő pedig hozta magával a barátnőjét, Fehér Katát, aki szintén közgazdász, és marketinges tapasztalata is van. Nagyon ütőképes csapattá álltunk össze négyen.

A pályázati pénzből mérnököket is felvettünk, akik fantasztikus munkát tesznek le az asztalra. Nagyon féltém az elején, mert hiába jó Magyarországon a mérnökképzés, a számtalan neves cég felszívja a kompetens mérnököket. Mindenesetre feladtuk a hirdetést – olyan fiatalokat kerestünk, akiknek már van ötéves nagyvállalati tapasztalata –, és csőstől jöttek a jobbnál jobb jelentkezők.

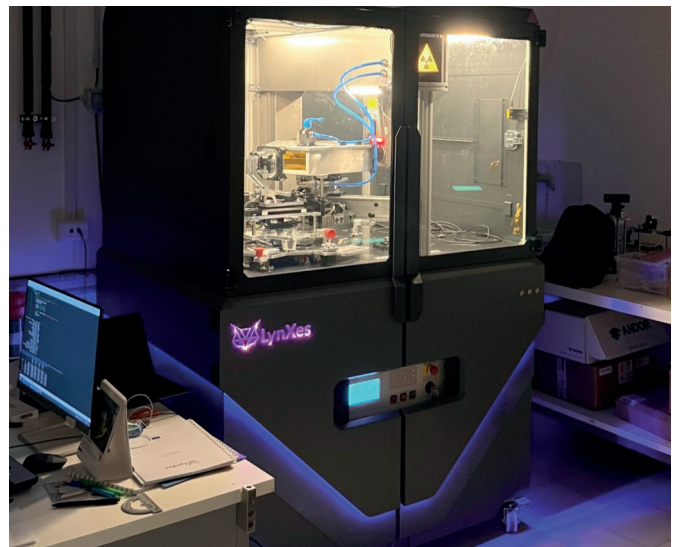
Olyan jó feltételeket kínáltak?

Dehogy! A pályázóknak elégük lett a nagyvállalatokból, ahol egész nap a számítógép előtt ültek, csak apró módosításokat javasolhattak, meetingeltek, prezentációkat készítettek. De tele vannak tettvágygal, újtási szándékkal. Imádom, hogy bemelegyünk a laborba, ahol csillogó szemű fiatal mérnökök mutogatják, mit csináltak – amit előtte persze gondosan megterveztek. Ők a legmodernebb szoftverekkel dolgoznak, nem csak fognak egy csomó alkatrészt, amit összezsavarnak, aztán megnézik, hogy működik-e a kütyü vagy sem. Ami aztán a berendezésen is meglátszik.

A termék mellett a céget is fel kell fejleszteni a piacra lépéshez: ki kell alakítani a cégstruktúrát, a működést. És egyáltalán nem utolsósorban ki kell építeni a piacot. Ez szintén óriási szakértelmet igényel; legalább akkora feladat, mint egy termék piacra vitele. Egy-egy berendezést el tudunk adni, mert tudjuk, kihez kell odamenni az oslói vagy a toulouse-i egyetemen – az elsőt olasz kollégák vásárolták meg, akiktől hasznos visszajelzéseket kapunk –, de ettől még nem leszünk sikeres cég. El kell menni a nagy cégekhez is, például a BASF-hez, az Egishez, mert vállalati környezetben kell eladnunk a termékünket – miközben ők évtizedek óta a Rigakutól meg a Bruker-től veszik az anyagvizsgáló eszközöket. Mi megpróbáljuk megismertetni velük a technológiát, hogy értsek, miért jó ez nekik, illetve folyamatosan kérdezzük, hogy tudjuk, mire kíváncsiak, és ahhoz igazítsuk a saját válaszunkat. Mert nem azt kell gyártanunk, amit mi jónak tartunk, hanem amire a piac igényt tart.

Most már úgy érezzük, mind a három területen nagy lépéseket tettünk előre. Az idén van a „piacra lépési időszakunk”, amikor már azt mondjuk, hogy kész a termék, bárki megrendelheti, és mi leszállítjuk, beüzemeljük. Itt várhat ránk a „halál völgye”; ebbe olyankor sétál bele az ember, amikor jól felfuttatja a vállalkozását pályázati pénzből, de még nincsenek piaci bevételei – és

Mérésre készen





könnyen csődbe megy. Az az egyik megoldás az elkerülésére, hogy start-upnak tekintve magunkat külső befektetőket keressünk, akik még „belénk raknak” kétévnyi működési költséget, mi pedig öt év múlva már tényleg kiépítjük a piacot, és piacvezetők leszünk.

Közben végig a Wigner épületében dolgoznak.

Én a mai napig a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa vagyok, emellett a LynXes Innovation Kft. társalapítója és ügyvezetője. Nem magyar sajátosság, hogy kutatóként nagyon nehéz piacra lépni, de az utóbbi években már egyre több pozitív változást látok.

Nagyon sokat beszélgettem a főigazgatónkkal, Lévai Péterrel arról, hogy olyan rendszert szeretnénk kialakítani, ami mindenkinek jó. Az nagyon könnyen összejön, ami mindenkinek rossz, de nyilván nem erre pályázunk. Jó néhány évi beszélgetés után sikerült kitalálnunk egy win-win konstrukciót. Csak néhány elemét sorolom fel.

Szokták kérdezni, miért jó nekünk, hogy itt vagyunk. Például azért, mert van egy kiváló műhely, ahol könnyen le tudunk gyártatni darabokat; kis igazításokat is tudunk kérni, és ehhez nem kell CNC-esztergát vennünk. Ezekért a szolgáltatásokért persze fizetünk, de sokkal kevesebbet, mintha nekünk kellene műhelyt felállítanunk, és a Wigner is bevételhez jut.

Az is mindenkinek jó lehet, hogy ide tudjuk vonzani a hallgatókat, akik wigneres hallgatók maradnak, mert doktorit vagy diplomamunkát csinálnak, ugyanakkor látják, hogy nemcsak alapkutatás létezik, hanem technológiatranszfer is, amiből sokat tanulhatnak. És lelkesek, szívesen jönnek hozzánk.

A Wignernek a szolgáltatásbérletből is származik bevétele, mi pedig a KFKI-telephelyen – ahol rengeteg nagyszerű kutató és mérnök dolgozik, évtizedes tapasztalatok halmozódtak fel – más laborokba is át tudunk menni a kérdéseinkkel; ebből a szempontból is a legjobb helyen vagyunk.

Nyugaton szintén azt látom, hogy az elmúlt négy-öt évben külön épületeket húznak fel az egyetemek és a kutatóintézetek mellé – kizárólag a spin-off cégeknek. Az emberek segíthetnek egymásnak, és jönnek a hallgatók, akik látják a technológiát, átvesszik az új szemléletet.

Az új berendezéseket itt, a Wignerben is felhasználhatjuk a kutatásokhoz – ez szintén kettős haszon.

Mit gondol, hol tartanak majd öt-tíz év múlva?

A gyors növekedést nagyon szem előtt tartjuk; az a célunk, hogy mielőbb létrehozzuk a laboratóriumi nagy energiafelbontású röntgenspektrométerek ipari felhasználásának piacát – ilyen piac egyelőre nem létezik. Szeretnénk egymással kompatibilis portfóliót és piacot kialakítani, és ezen a piacon szeretnénk piacvezetők lenni. Európában jelenleg egyedül mi árulunk ilyen spektrométert.

Említettem már az amerikai versenytársakat. Ők az egyetemi szférában mozognak, mi viszont a legelejétől úgy terveztük a spektrométert, hogy ipari felhasználásra is alkalmas legyen, és az ipari kutatás-fejlesztési felhasználói réteget akarjuk megteremteni. A mi fejlesztésünk igazából abban segít, hogy az ipari kollégák fejleszthessék a saját termékeiket.

Mire használhatja az ipar a spektrométerüket?

Sok mindenre. Az első két terület, amelyet megcélzottunk, az akkumulátorfejlesztés és a zöld kémia. Az akkumulátorok terén például a katódfejlesztés jöhet szóba, a jobb összetétel kialakítása, a hatékonyság, az élettartam növelése. A nagy energiafelbontású spektroszkópia az akkumulátorban lejátszódó folyamatok megértésében segíthet.

A zöld kémia esetében abból indulunk ki, hogy töménytelen műanyag szemetünk van és rengeteg fosszilis energiahordozót használunk föl – óriási a környezetszennyezés.

Ugyanakkor jónéhány cég például PET-palackból szeretne dízelolajat gyártani, amihez katalizátor kell, és hiába tudják nagyjából, milyen reakciókat használnának, ezek a folyamatok még nem nagyon működnek. A hagyományos laboratóriumi műanyagvizsgálati eszközökkel többé-kevésbé látják, hogy megy-e a folyamat vagy sem, de arról nagyon kevés információjuk van, hogy mi történik pontosan a katalizátorral, hogyan zajlanak a kémiai reakciók. A röntgenspektrométerünkkel menet közben monitorozhatják a reakciókat vagy akár az akkumulátorcellát.

Sok lépcsőt kell még végigjárunk, de sokat már magunk mögött hagytunk. Nekem most a cégvezetés hozta el ugyanazt a tanulási folyamatot és kihívást, mint korábban a kutatás. **sv**

A kémia hónapja

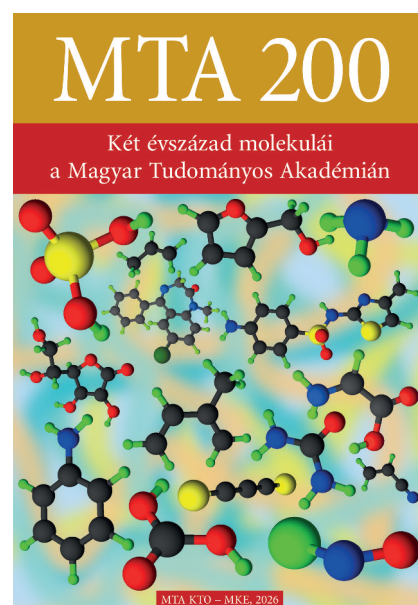
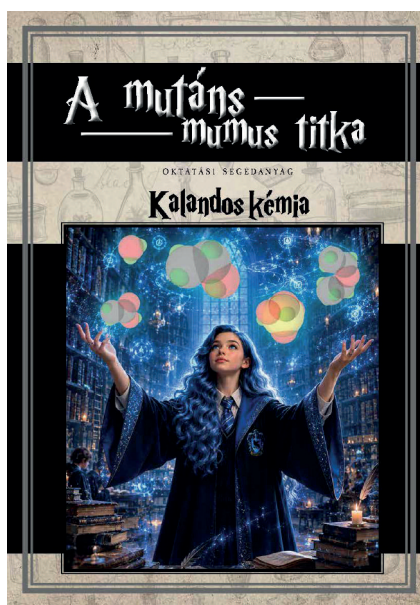
A Magyar Tudományos Akadémia 200 éves jubileumát ünneplő „Sokszínű tudomány” programsorozatban szeptember volt a kémia hónapja. Ebből az alkalomból két könyv is megjelent. A *Kalandos kémia – A mutáns mumus titka* a Harry Potter-univerzumba illeszti bele a hetedik–nyolcadik osztályos kémiai tananyag nagy részét – új fantasy-regényt alkotva. A *Két évszázad molekulái a Magyar Tudományos Akadémián* a kémia nyelvén meséli el az Akadémia eddigi történetét. A kötetek pdf formában is letölthetők.

Kalandos kémia – A mutáns mumus titka

<https://pea.lib.pte.hu/handle/pea/98050>

Két évszázad molekulái...

<https://real.mtak.hu/244686>





Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

A Tennessee Egyetem és környéke

Második rész

Oak Ridge, a titkos város

Az Oak Ridge-i Nemzeti Laboratóriumot (ORNL) 1943-ban alapították a Manhattan-terv részeként. 1942-ben Oak Ridge közelében az amerikai kormány 2,6 millió dollárért felvásárolt közel 70 000 hold földterületet a projekthez. A gyéren lakott területen nagy kiterjedésű farmok és mezőgazdasági területek voltak. A földterületre az urándúsításhoz, nukleáris kísérletekhez és egy új fegyver fejlesztéséhez volt szükség lehetőleg egy félreeső helyen, ahol nem keltik fel az ellenséges kémek figyelmét. Szigorúan titkos objektum volt (**1. ábra**). Nem volt könnyű eltitkolni az építést, mert az objektum nagy területen létesült, és sokan jöttek ide



1. ábra. A biztonságra nagy hangsúlyt fektettek. Óriásplakátok figyelmeztették a hallgatásra az intézményben dolgozókat

dolgozni: az építőkön (45 000 ember) kívül tudósok és technikai munkatársak is. 1945-ben már 80 000 ember dolgozott itt. Oak Ridge-re költötték el a Manhattan-terv költségvetésének több mint 60%-át. Clinton Engineer Works (CEW) lett a hely neve, aminek fő feladata a közelítőleg tiszta urán-235 előállítása volt. Ehhez ki kellett dolgozni a nagy méretű ciklotron-tömegspektrometriás, a gázdifúziós, valamint a folyadék-hődiffúziós dúsítási technikákat, mert a természetes uránnak csak 0,7% az U-235-tartalma, a többi U-238. Sok kísérletezés és egyre több egység beállítása után a fenti technikákat egymás után kapcsolva érték el a szükséges dúsítást, és az elvárt U-235 mennyiséget előállították az atombombához. A 90%-osra dúsított uránból 1944. szeptember végére már 220 kg-ot gyártottak, ami elegendő lett volna több olyan Little Boy típusú atombombához is, mint amilyen Hirosimát pusztította el. Az urán nagy részét Belga Kongóból szereztek be, ahonnan igen nagy urántartalmú ércet tudtak importálni; ebben akár 65% fekete urán-oxid (U_3O_8) is lehetett. Az itteni importot a háború alatt tovább folytatták, ellenséges táma-

dásban csak egy hajó veszett oda. Összehasonlításképp: a kanadai érc urán-oxid-tartalma csak 1%, míg az amerikaié 0,25%, azért ezeket is kiaknázták. A fekete oxidot először $Na_2U_2O_7$ -vegyületté alakították, ezt finomították tovább barna (UO_2), illetve narancs (UO_3) oxiddá. Ez utóbbi került Oak Ridge-be, ahol urán-tetrakloridra, urán-tetrafluoridra, illetve urán-hexafluoridra alakították. Magnéziumos redukcióval tiszta uránfémeket is előállítottak.

Közben nagyon sok problémát kellett megoldani. Például az UF_6 rendkívül korrozív, és vízzel vagy zsírral érintkezve robbanást okozhat. Hatalmas munka volt egyedül csak az is, hogy több ezer szivattyút, pumpát, csövet, szelepet stb. bevonjanak alkalmas anyaggal. Az alkalmas anyagnak a politetrafluoretilén, azaz a Teflon bizonyult, amit R. Plunkett, a DuPont cég vegyésze 1938-ban véletlenül fedezett fel.

A másik projekt a kísérleti atomreaktor építése volt. Ez grafit-szabályozós léghűtéses reaktor volt (X-10 kódneven). Húsz évig működött még a 2. világháború után is, főleg orvosi célokra használt izotópokat állítottak elő.

Az első vízhűtéses reaktor (B pile) a Hanford Engineer Works (HEW) üzemben, Washingtonban épült szintén a projekt részeként, ahol a plutónium- ($Pu-239$) termelés folyt. A B reaktort is Oak Ridge-be tervezték, de azután biztonsági okokból nem itt építették fel.

Később Knoxville-ban épült egy nyomott vizes reaktor is. A különböző hűtési módok közül számos próbálkozás után a vízhűtést választották, amelyet Wigner Jenő javasolt a neutronok lassítására. 1946-ban egy évig ő volt a CEW kutatási és fejlesztési igazgatója. A nyomott vizes reaktor a legnépszerűbb reaktortípus, a világon több száz üzemel. A Paksi Atomerőműben is ilyen típusú reaktorok működnek.

Szintén nagy jelentőségű munkát végzett Oak Ridge-ben Róna Erzsébet (Budapest, 1890 – Oak Ridge, 1981). A Manhattan-tervvel kapcsolatban mindig a fizikusok szerepét emelik ki, pedig éppen Oak Ridge-ben a magkémiai tudás legalább annyira fontos volt, hiszen az izotópok elválasztása és a polónium előállítása is kiemelt cél volt. Ehhez pedig Róna értett a legjobban. 1914 és 1918 között Hevesy György munkatársaként kidolgozta ki az izotópok diffúzióval való elválasztásának módszerét. 1921-től Otto Hahn mellett dolgozott ugyanezen a témán, majd 1924-től Stefan Meyer mellett Bécsben, utána Irène Joliot-Curie laboratóriumában, Párizsban a polónium előállításán. 1941-ben emigrált az Egyesült Államokba. Különböző ideiglenes munkák után kapott egy homályos tartalmú levelet, amelyben a University of Rochester állást ajánlott fel neki. Kiderült, hogy a Manhattan-terv keretében kellene a háborús erőfeszítéseket segítenie. Az atombombához (plutóniumbomba) kellett a polónium, amivel a maghasadási reakciót indították be a Nagaszakira ledobott Fat Man nevű bombánál. Róna eljárását használták a polónium-210 előállításához, bár a pontos célról ő nem tudott, mert az atombomba-prog-

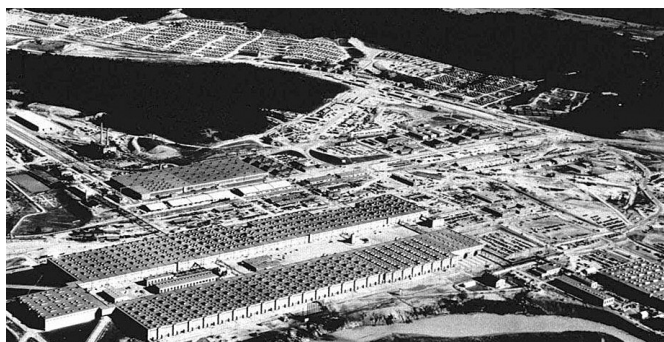


ramban mindenki csak annyit tudhatott, amennyi szükséges volt a tevékenységéhez. Nála még az is problémát jelentett, hogy amikor meghívták a projekthez, még bevándorlási papírjai sem voltak, de annyira szükség volt a tudására, hogy ezt is elintézték. Az ő tapasztalata kellett ahhoz is, hogy a kutatók és más dolgozók megfelelő védőszerelést viseljenek. 1948-ban kapott állampolgárságot. 1950-től dolgozott hivatalosan az ORNL-nél, 1965-ben innen ment nyugdíjba. Dolgozott még a Miami Egyetemen, az Argonne Nemzeti Laboratóriumban is. 88 évesen nagy sikerű könyvet írt (Elizabeth Róna: *How it came about: radioactivity, nuclear physics, atomic energy*. Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge Associated Universities.)

Róna Erzsébetet életében nem ismerték el olyan mértékben, amilyet megérdemelt volna. Kései, posztumusz elismerésként a Tennessee Women's Hall of Fame (dicsőséggel) kiváló hölgyei közé választották 2015-ben (2. ábra).

Tennessee Women's Hall of Fame					
Name	Image	Birth-Death	Year	Area of achievement	
Joy Bishop		(1934–2023)	2015	First career Air Force woman appointed to the Senior Executive Service and served as the Women's Program Coordinator.	
Lizzie Crozier French		(1851–1926)	2015	Founder of the Knoxville Female Institute and the Tennessee Suffrage Association	
Elizabeth Rona		(1890–1981)	2015	First woman to teach chemistry in any university in Hungary, in the United States, she served on the Manhattan Project	
Janice M. Holder		(1949–)	2015	First woman Chief Justice of Tennessee	
Rosetta Miller-Perry		(1934–)	2015	Founder of the Greater Nashville Black Chamber of Commerce, and co-founder, publisher and journalist of Perry & Perry Publishing Company	

2. ábra. Tennessee Women's Hall of Fame (részlet, Wikipédia)



3. ábra. Az Oak Ridge-i üzem látképe (1942)



4. ábra. Az Oak Ridge-ben készült atombomba japán bevetéséről szóló újságcikk

A 3. ábra előtérében látható U alakú épület a K-25-ös gázdifúziós urándúsító létesítmény. Alapanyaga urán-hexafluorid volt. Amikor elkészült a K-25, a legnagyobb alapterületű épület volt a világon. Építése 500 millió dollárba került. Üzemeltetési költségekkel együtt ez volt a Manhattan-terv legdrágább létesítménye. 2013-ban bontották le.

A helyi lap különkiadása tudatta, hogy ledobták az atombombát Japánra (4. ábra).

A tennessine

A tennessine (magyarul tenesszium, az MTA 2019-es meglehetősen szakmaiatlan javaslata alapján) a periódusos rendszer 117. eleme. A nevét és a vegyjelét (Ts) 2016-ban hagyta jóvá az IUPAC és az IUPAP. Elvileg halogénnek kellene lennie, azért „-ine” a neve vége, és nem „-ium”, hogy illeszkedjék a chlorine és a többi halogén angol nevéhez, de a relativisztikus hatások miatt feltehetően némileg eltérő kémiai tulajdonságokat mutat. Ezt az elemet az amerikai Oak Ridge-i Nemzeti Laboratórium (ORNL), az orosz Egyesített Atomkutató Intézet, Dubna (JINR), a Vanderbilt Egyetem, a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium (LLNL) és a Tennessee Egyetem kooperációjában állították elő 2010-ben, majd két évvel később sikeresen megismételték a kísérleteket. 2014-ben több kutatócsoport megerősítette az eredményeket. A történet 2004-ben kezdődött, amikor a dubnaiak együttműködést javasoltak az ORNL-nek a 117-es elem előállítására céljából. Az orosz csoport ugyanis már évek óta folytatta aktinida céltárgyak bombázását kalciumionokkal az ottani ciklotronnal. Szerettek volna berkélium-249-es izotópot használni, ami a 117-es elem előállításához kellett. Az ORNL az egyetlen hely a világon, ahol a radioaktív berkéliumból megfelelő mennyiséget tudnak előállítani; ez a kalifornium-252 (^{252}Cf) gyártása során keletkezik. Oak Ridgeben a megrendelésre vártak, ugyanis a 117-es előállításához szükséges mennyiségű berkélium közelítőleg 3,5 millió dollárba került. A ^{252}Cf egy grammja 27 millió dollár. Nagy neutronbocsátása miatt az orvoslásban sugárterápiára és az iparban szerkezetvizsgálati célokra használják.

Megegyezés jött létre Jurij Oganyeszján (JINR), Jim Roberto (ORNL) és Joseph Hamilton (Vanderbilt) között, hogy amint a gyártás megindul, elkezdik a kísérleteket. Csatlakoztak hozzájuk kollégák a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratóriumból, akik az adatok feldolgozásában vettek részt. Krzysztof Rykaczewski (ORNL) és Robert Grzywacz (UT) egy új detektor és a digitális adatgyűjtő rendszer fejlesztésében vett részt.

Az ORNL reaktorát 2008-ban indították újra. A szükséges berkélium mennyiséget 250 nap besugárzás után érték el. A berkélium elválasztása és tisztítása további 90 napot igényelt, a folyamatot a Radiochemical Engineering and Development Centerben hajtották végre. Az ORNL a 22 mg berkélium-249-et, amelynek felezési ideje 327 nap, azonnal a dimitrovgrádi Atomreaktor-kutató Intézetbe (Research Institute of Atomic Reactors, RIAR; Naucsno-issledovatyelszkij insztitut atomnih reaktorov, NIIAR) küldték, ahol a céltárgyat elkészítették, azaz a berkéliumot (97 proton) vékony réteg formájában felvitték titánalapra. Így került Dubnába, ahol a ^{249}Bk céltárgyat 150 napig sugározták másodpercenként 7 trillió kalciumionnal (20 proton), így keletkezett a 117 protont tartalmazó új elem. A mágneses elválasztás után mérték a bomlását, ami során 115, 113, 111, 109, 107 és 105 rendszámú elemek keletkeztek.



Vendégségben a cseroki indiánoknál

Tennessee neve a cseroki indiánoktól származik. Mint a legtöbb indián törzsnek nekik is hosszú és szomorú történetük van. Falvakban éltek és mezőgazdasággal foglalkoztak. Az európai bevándorlókkal aránylag jó kapcsolatot alakítottak ki. Az öt civilizált törzs egyikeként tartották számon őket. A hétéves háborúban, amit itt francia–indián háborúnak hívtak, először az angolok szövetségesei volt a cserokik, de összekülönböztek, és 1760-ban harc tört ki az angolokkal. George Washington (1732–1799) a függetlenségi háború után próbálta rendezni a délkeleti törzsek helyzetét, amelyek egyre kisebb területre szorultak vissza az új telepések és az útépitések miatt. A szarvasvadászatból sem tudták már fedezni a hússzükségetüket. Szarvasmarha- és sertésenyésztésbe kezdtek, amihez a kormánytól kaptak segítséget. Amerikai állampolgárságot is kaptak. A cserokiknek 1827-ben már amerikai mintájú alkotmányuk, bírósági rendszerük is volt. Mindazonáltal a Tennessee, Észak-Karolina és Georgia területekről, ahol éltek, 1838-ban kitelepítették őket Oklahomába. Már a „Könnyek ösvényé”-nek hívott úton is sokan elpusztultak. A polgárháború tovább pusztította a régi területen maradt kevés indiánt. Amikor a Tennessee Egyetemen dolgoztam, az egyik Smoky Mountainsben (ez a hegylánc választja el Tennessee és North Carolina államot; az észak–déli Appalache-hegylánc része) tett túra során meglátogattam az Oconaluftee indián falut és az ott található múzeumot (5. ábra).



5. ábra. Oconaluftee indián falu

A néprajzi érdekességeken túl a cseroki nép története is megismerhető. Ami a legnagyobb hatással volt rám, az a szerződések sorozata az amerikai kormányzat és a cseroki indiánok között. Szabályos kölcsönös kötelezettségvállalások voltak, amelyeket azután a kormányzat rendre megszegett.

A Treaty of Holston (6. ábra) egyezményt az Egyesült Államok kormánya nevében William Blount, a Délnyugati Területek kormányzója és az indián ügyek szuperintendánsa (rőla szoltunk már korábban), illetve a cseroki nép képviselői írtak alá, élükön John Watts, más néven Fiatal Bojt), cseroki törzsfőnökkel (kb. 1746–1802), aki az Amerikai Egyesült Államok elleni háborúban a cserokikat vezette. Ilyen pontokat találunk a szerződésben: „Örök béke és barátság a két nép között; a cserokik elismerik az Egyesült Államok védnökségét; a hadifoglyok hazatérhetnek; határokat hoztak létre a cseroki földek és az Egyesült Államok kö-

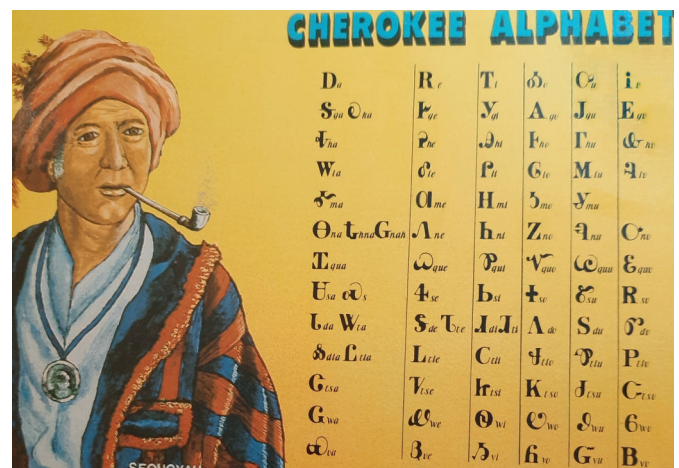


6. ábra. A Holston-egyezmény emlékműve Knoxville belvárosában a Tennessee folyó partján, ahol az egyezményt 1791-ben aláírták

zött; az Egyesült Államok garantálják, hogy nem tartanak igényt a cseroki nép földjére stb.”

Amikor ott voltam, az 1980-as évek elején lángolt fel éppen a vita, hogy ha már kitelepítették az indiánokat Oklahomába, akkor jár nekik az ott kitermelt olaj bevételeiből. A CBS televízió híradója mutatta a szerződést, amely szerint ez a föld az indiánoké az ott található minden értékkel együtt, „ameddig a folyók folynak és a fű zöldell”. És akkor a kamera végigpásztázta a hatalmas olajmezőket, ahol olajos sár volt mindenütt. A riporter feltette a kérdést, hogy akkor most érvényes-e a szerződés azon pontja, amely szerint „ameddig a fű zöldell”, mert itt bizony már nem nő fű.

A cseroki eredetileg az irokéz nyelvcsoporthoz tartozó nyelv, de mivel ők körülbelül 3–4000 évvel ezelőtt a Nagy-tavak környékéről délre költöztek, tulajdonképpen külön nyelv alakult ki. Sequoyah (kb. 1770–1843) nevű főnökük, aki civilben ezüstműves volt, 1821-ben kidolgozott egy ábécét. Ily módon lehetővé vált az írás és az olvasás cseroki nyelven (7. ábra). Igen különleges dolog, hogy egy nép önállóan hozzon létre saját írásbeliséget. El is kezdték használni. Hamarosan többen tudtak írni és olvasni, mint a környéken letelepülő, Európából érkező bevándorlók.



7. ábra. Sequoyah (ᏍᏏᏉᏏ) és a cseroki ábécé



Az indiánokkal való ellentmondásos viszonyt jól példázza William Tecumseh Sherman (1820–1891) tábornok. Az amerikai polgárháborúban (1861–1865) az északi csapatok talán legtehetségesebb, de legkegyetlenebb tábornoka volt, aki Atlanta városának (lásd az irodalomban M. Mitchell: *Elfújta a szél*), valamint a többi déli terület felégetésével vált hírhedtté. Apja a Tecumseh nevet választotta fiának, az egyik legnevesebb indián főnök tiszteletére, aki 1768-ban született, sokat harcolt az amerikai csapatok ellen az indián földekért, és csata közben esett el 1813-ban. Tecumseh a sóni (Shawnee) törzsből származott, de cseroki nőt vett feleségül, lánya és unokái cserokiként nevelkedtek. Sherman neve ellenére ugyanolyan kíméletlenséggel vezette az Államok csapatait a 1869 és 1883 közötti indián háborúban, mint a polgárháborúban.

Sok minden történt az ott töltött két év folyamán. Az eseményekről a CBS és az ABC tévék híradóiból, valamint a *Time* és a *Newsweek* magazinokból értesültem, ami némileg érdekesebb

volt, mint az akkori hazai híradások. A világpolitikában a falklandi háborútól Reagan elnök Strategic Defense Initiative (SDI) „csillagháborús” programjáig, amelyben Teller Ede játszott fontos szerepet. Állandó téma volt az akkor kezdődő AIDS-járvány, valamint a japán autóimport, ami sokak szerint hozzájárult a gazdasági recesszióhoz az USA-ban. Ezeknél kevésbé izgalmas, de sokkal fontosabb volt az első műszív sikeres beültetése és a ciklosporin immunszuppresszáns gyógyszer felfedezése vagy az űrhajózás több új eredménye (a Pioneer 10 az első ember alkotta tárgy, amely elhagyta a Naprendszer, a Challenger űrrepülőgép, fedélzetén az első amerikai űrhajósnővel, valamint a Global Positioning System (GPS) elérhetővé tétele polgári hasznosításra is). Értesülhettünk a Commodore, az Apple újabb számítógépes fejlesztéseiről vagy az Adobe Inc. és a Microsoft Word 1 megjelenéséről. Kary Banks Mullis is 1983-ban fedezte fel a polimeráz-láncreakciót.



Hatalmas magyar győzelem a 9. Nemzetközi Kémia Tornán!

2026-ben ismét sikeres évet tudhat maga mögött a Nemzetközi Kémia Torna magyar csapata, mely a versenyt megnyerte Dél-Koreában. A csapattagokat februárban az ELTE Természettudományi Karán megrendezett válogatóversenyen választottuk ki, a 12 legjobban teljesítő diák kvalifikálta magát, a képviselt iskolák Budapesten, Szegeden, Pécsen, Szombathelyen, Zalaegerszegen, és Gödöllőn helyezkednek el.

A diákok tavasztól kezdve több hónapos felkészítési folyamaton mentek keresztül, ahol megismerkedtek a nemzetközi verseny szabályaival, és rengeteg versenyhez szükséges készségüket fejlesztették, mint a kritikus problémamegoldó képesség, a projektmunka, az előadói és vitakészség, a tudományos szaknyelv használata angolul. A felkészülési folyamat legfontosabb állomása idén is a Kehidakustányban megrendezett egyhetes tábor volt július 6. és 12. között; itt a versenyzők intenzív munkát végezhetnek feladataikon, gyakorolhatták előadásait, és konzultálhattak felkészítőikkel. Az idei feladatsor a korábbi évekhez hasonlóan változatos kihívásokat tartogatott a kémia számos területéről, így a versenyzőknek többek között foglalkozniuk kellett a sérült korallzationyokon alkalmazható kötő- és ragasztóanyagokkal, az NMR-spektroszkópia gyakorlati határaival, és egy, a *Csillagok háborúja* univerzumában leírt különleges fikcionális üzemanyag megalkotásával is.

Természetesen a szakmai munka mellett a tábor egy meghatározó szociális élmény is volt, tábortűz mellett eltöltött éjszakkákkal, kirándulással, strandolással. A tábort követő hétvégi felkészítőkön a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpontjában a versenyzők tovább finomíthatták megoldásaikat, és értékes visszajelzést kaptak egymástól, illetve a szakmai felkészítőcsapattól is.

A versenynek idén a Korean Minjok Leadership Academy adott otthont a Koreai Köztársaságban, 2026. augusztus 15–19. között. A kiutazás során a verseny előtti napokban a delegációnak lehetősége volt felfedezni a fővárost, Szöült, ami hatalmas élmény volt minden résztvevőnek. A verseny szervezése idén is meglehetősen professzionális volt, nagyszámú helyi önkéntes segítette a verseny sikeres lebonyolítását, mind a viták sikeres levezénylését, mind a nyitó- és záróünnepségeket vagy a kultúrprogramokat (hagyományos koreai zenebemutató, íjászat, kalligráfia). Az ön-

kéntesek mellett a magyar delegáció is hozzájárult a verseny szervezéséhez, a versenyzőket a csapatvezetőkön kívül Vaskó Lili, Formanné Kiss Andrea, Dr. Pálvolgyi Ádám, és Nagy Bence kísérté el, akik moderátorként és zsűritagként vállaltak szerepet.

Az idei tornán három kontinens 16 csapata mérkőzött meg, amely a verseny rövid története során az eddigi legtöbb, az új résztvevők között megtalálható az Egyesült Királyság, Bulgária, és Kirgizisztán is. Bízunk benne, hogy a lendület kitart, és jövőre még nagyobb mezejnnyel vágunk neki a 10. jubileumi IChTo-nak. Az elődöntős szakasz során mindkét magyar csapat kiemelkedően jól teljesített, és jelentősen el tudott lépni a mezőny többi részétől. A pirosak és a zöldek gyakran egymást váltották az első helyen, és végül 1. és 2. helyen jutottak be a döntőbe, a nevezetes brit magániskola, a St Paul's School társaságában. A pirosak a döntőben mindhárom szerepben gyönyörű teljesítményt nyújtottak, a csapatkapitány Kovács Petra adta elő NMR-spektroszkópiával kapcsolatos megoldását, ezután pedig Leiner Emma oponálta páratlan szakmaisággal és vitakészségekkel a britek előadását, melyet a zsűri a teljes verseny egyik legjobb oppozíciójaként értékelt. A zöldeket Gombos Dávid képviselte előadóként a döntőben, aki a hennatetoválás színváltozásának felgyorsításáról tartott egészen rendkívüli előadást élő kísérleti demonstrációval, melyet saját magán mutatott be. Sajnálatos módon a nemzetközi zsűri részéről erre kevésbé volt fogadókészség, és az előadásra kapott alacsony pontszám a zöld csapat győzelmi esélyeit jelentősen csökkentette. A fejlemények ellenére mindkét csapat hihetetlenül büszke lehet magára, a piros csapat végül meg is nyerte a döntőt, és az elődöntős teljesítmények alapján számos egyéni díjat is elhoztunk. Minden nap boldogsággal töltött el, hogy a versenyzők mind szakmailag, mind emberileg példát tudtak mutatni a verseny során, és ennek a gyümölcse jelentős részben idén újra be is ért.

A csapatban aranyérmet elért Hungarian Team Red tagjai: **Kovács Petra** (csapatkapitány, Eötvös József Gimnázium, Budapest), **Kemény Bori** (Szent István Gimnázium, Budapest), **Leiner Emma** (Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma és Kollégiuma, Pécs), **Hoang Minh Quan** (Szent István Gimnázium, Budapest), **Halász Viktória** (Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium), **Barkó Zora** (ELTE Radnóti Miklós Gya-



korló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium, Budapest). Csapatvezetőjük: *Csoma Balázs* (HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont).

A csapatban ezüstérmet elért Hungarian Team Green tagjai: **Róthy-Gruber Péter** (csapatkapitány, ELTE Bolyai János Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely), **Balajti Péter** (Szent István Gimnázium, Budapest), **Gombos Dávid** (Zalaegerszegi Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg), **Molnár Gréta** (PTE Babits Mihály Gyakorló Gimnázium, Pécs), **Bencze Kinga** (Gödöllői Török Ignác Gimnázium, Gödöllő), **Bálint Kálmán István** (Dugonics András Piarista Gimnázium, Szeged). Csapatvezetőjük: *Buzafalvi Dénes* (Clario Clinical Kft.)

Egyéni összetett helyezések:

Aranyérem: *Gombos Dávid, Bencze Kinga Emese*

Ezüstérem: *Leiner Emma, Kemény Bori, Hoang Minh Quan*

Bronzérem: *Bálint Kálmán István, Barkó Zora Borbála, Balajti Péter*

Legjobb előadó különdíj: *Gombos Dávid*

Legjobb bíráló (reviewer) különdíj: *Bencze Kinga Emese*

Legjobb feladatmegoldó különdíjak: *Gombos Dávid* (3. feladat), *Hoang Minh Quan* (5. feladat), *Leiner Emma* (10. feladat), *Barkó Zora Borbála* (12. feladat)

Szeretnénk megköszönni minden tanárnak, pedagógusnak, akik segítették a versenyzők kibontakozását, és megszerettették velük a kémiát, a tudományt, akik megadták nekik a tudást, lelkesedést és motivációt, amelyből oly sok szükséges ehhez a versenyhez. A Nemzetközi Kémia Tornára a csapatot felkészítették: *Buzafalvi Dénes* (Clario Clinical Kft.), *Csoma Balázs* (HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont), *Hegedűs Márton* (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem), *Járay-Vojcek*

Hanna (Pécsi Tudományegyetem), *Koharek Anna Livia* (University of Cambridge), *Nagy Bence* (Semmelweis Egyetem), *Pálvölgyi Ádám Márk* (Raiffeisen Software GmbH), *Szappanos Attila* (Semmelweis Egyetem), *Temesvári-Nagy Levente* (Universität Heidelberg), *Vaskó Lili* (Állatorvostudományi Egyetem).

Hatalmas köszönettel tartozunk a Magyar Kémikusok Egyesületének, különösen *Szabó János Zoltánnak* és *Schenker Beatrinxnak*, akik tetemesen hozzájárultak a verseny sikeréhez, intézményi háttérrel szolgáltatva annak, az ELTE Természettudományi Karának és a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpontjának, melyek helyszínt adtak a válogatóverseny megrendezéséhez és a felkészítő alkalmakhoz. A 9. Nemzetközi Kémia Tornán a magyar csapat részvétele részben a Kulturális és Innovációs Minisztérium megbízásából a Nemzeti Tehetség Program által meghirdetett NTP-NTMV-25-B-0014 azonosító számú pályázati támogatásból valósult meg. Köszönjük minden céges, alapítványi és egyéb támogatóknak, hogy a felkészítési folyamatot és a kiuta-

TÁMOGATÓK





zást pénzügyileg lehetővé tették: Nemzeti Tehetség Program (Kulturális és Innovációs Minisztérium), Richter Gedeon Nyrt., Euroapi Hungary Kft., Egis Gyógyszergyár Zrt., Diagon Kft., BorsodChem Zrt., LabCup, Ltd., Soneas Vegyipari Kft., Állatorvostudományi Egyetem, Szent István Gimnázium Alapítványa, Piarista Alapítvány, Eötvös József Gimnázium Alapítványa, Budapest X. Kerület Önkormányzata, Budapest XVI. Kerület Önkormányzata, Szombathely Megyei Jogú Város Önkormányzata.

A verseny iránt érdeklődő diákoknak, tanároknak, szülőknek javasoljuk, hogy keressék fel közösségi médiafelületeinket (International Chemistry Tournament Hungary – Facebook, Instagram), illetve megújult weboldalunkat (kemiaitorna.mke.org.hu), ahol további információkat tudhatnak meg rólunk, és hamarosan friss információkkal jelentkezünk majd a következő évi válogatóversenyünkről is!

Buzafalvi Dénes

Próder István emlékezete

Augusztus 15-én, életének 84. évében elhunyt Próder István, a Vegyészeti Múzeum nyugalmazott igazgatója, a Vegyészeti Múzeumot Támogató Alapítvány kuratóriumi tagja.

Próder István személyében a hazai kémia és vegyipartörténet kiemelkedő kutatóját, a múzeumügy és különböző szakmai szervezetek megbecsült szakemberét, valamint a helyi civil élet lelkes támogatóját veszítettük el.

Vegyészmérnöki diplomája megszerzése után a Péti Nitrogénművek Kutató Laboratóriumában nagynyomású katalitikus hidrogénezéssel foglalkozott. A péti kettősműtrágya-üzem beindításánál a mérszaléttrom-üzem próbaüzemének felelőse volt. Technológusként dolgozott a karbidüzem beruházásán. 1981-től egészségügyi okok miatt a Nehézvegyipari Kutató Intézet (Veszprém) Korróziós Osztályán helyezkedett el. 1983-tól a Magyar Vegyészeti Múzeumban dolgozott, ahol 1995-ig az ipartörténeti dokumentáció gyűjtésével és feldolgozásával foglalkozott. Kutatásai középpontjában főleg a magyar vonatkozású technológiák álltak. Munkájához tartozott a kémia- és vegyipartörténeti események gyűjtése, ezeknek a *Magyar Kémikusok Lapjában* való közlése. Ezt a feladatot 1984-től napjainkig, több mint 40 éven át látta el. 1994 és 2006 között a Veszprémi Vegyipari Egyetem műszaki menedzser szakán adott elő technikátörténetet. 1996-tól látta el a múzeum igazgatói teendőit. 2006-tól már nyugdíjasként folytatta múzeumi munkáját. Aktív időszaka 2012-ben zárult el, de ezt követően is ellátta a múzeumot támogató alapítvány ügyvezető igazgatói, majd kuratóriumi tagi teendőit. Szakmai tevékenysége alatt közel 100 tudományos és ismeretterjesztő közleménye jelent meg. Kutatási tevékenységére, közleményeinek megjelentetésére a magas színvonalú tudományos alaposság, precizitás volt a jellemző. Múzeumi tárlatvezetései során mind a szakmai látogatók, mind pedig a diákok és fiatalabb korosztályok számára is tudott érdekes információkkal szolgálni. Nyelvtudását fordításokban, idegen nyelvű csoportok vezetésében, múzeumszakmai nemzetközi kapcsolatok ápolásában jól tudta hasznosítani. Sokszor vállalta a városvezetés részéről érkező felkéréseket a külföldi látogatók és a testvérvárosi kapcsolatok vendégeinek kalauzolásával. Múzeumi munkája, valamint a civil szervezetekben betöltött vezetői feladatai során is szíven viselte a munkahelyének helyet adó Thury-vár sorsát, a város kulturális értékeinek és emlékeinek a megőrzését.

Munkájára mindenkor az igényesség, az aprólékos precizitás, a határidők pontos betartása volt a jellemző. Munkatársaival jó kollegiális viszonyt ápolt, mind szakmai minőségében, mind pedig személyes kapcsolatairól révén lehetett számítani segítőkészségére. Mindig jó kapcsolatot ápolt a társmúzeumok vezetőivel, kollégáival. Tagja volt az alapítványi múzeumok támogatásáról döntő szakmai bizottságnak, a Technikátörténeti és Műtárgyvédelmi Szakosztálynak. Tagja volt a Magyar Kémikusok Egyesületének,



Kémia- és Vegyipartörténeti Szakosztályának pedig elnökségi tagja. Helyi és fővárosi társadalmi szervezetekben látott el fontos pozíciókat.

Múzeumi tevékenysége során hitvallásának tekintetében az ifjúság figyelmének felkeltését a természettudományok iránt, kiemelkedőnek tartotta a tehetséggondozást. Jó kapcsolatokat ápolt a helyi és a megyei oktatási intézményekkel. Különösen eredményes kapcsolat jött létre a Pannon Egyetemmel, amelynek eredményeként kiemelkedő együttműködések,

kiállítások születtek. Az ő igazgatása idején indult útjára 2001-től az „Alkimista tábor”, majd 2008-tól a „Környezetvédelmi vetélkedő”. Az országosan meghirdetett és elismertté vált tábor 19 éven át került megrendezésre, míg a megyei vetélkedő 11 évet élt meg. A Thury-vár épületének 3 évig tartó átépítése alatt – amikor a múzeum nem tudott nyitva tartani – az ő részvételével és az alapítványi források támogatásával jöttek létre a külső helyszíneken megtartott kémiaórák. 2011-ben két jelentős eseményre került sor, amelyekbe szintén bekapcsolódott. Részt vett a Kémia Nemzetközi Éve alkalmából megrendezett kiállítás létrehozásában, amelynek bemutatására a már említett átépítési munkálatok miatt a központi múzeum épületében került sor. Egyik fő szervezője és közreműködője volt a Nitrogénművek Zrt. támogatásával létrehozott 80 éves jubileumi kiállításnak is, amelyet a Magyar Mezőgazdasági Múzeum épületében mutattak be. A jeles évfordulóra megjelentett jubileumi könyveknek lektora volt. Már nyugdíjasként, a múzeumot támogató alapítvány ügyvezető igazgatójaként aktívan vett részt a Vegyészeti Múzeum 50 éves jubileumi kiállításának létrehozásában, forgatókönyvének elkészítésében 2013-ban. 2018–2019-ben szerepet vállalt a magyar Nemzeti Múzeum által megszervezett „Az ismeretlen Görgei” című kiállítás anyagának összeállításában. Továbbá Riedel Miklóssal (ELTE, ny. docens) közös beszélgetésen vett részt a Nemzeti Múzeum dísztermében, amelyen a vegyész Görgei érdekeit méltatták és ismertették.

Próder István korábbi kollégájaként szomorú szívvel búcsúzom egykori mentoromtól, személyes jó ismerősömtől, és osztozom a számára legfontosabb családtagjai, az özvegye és lánya családjának gyászában.

Nyári Katalin

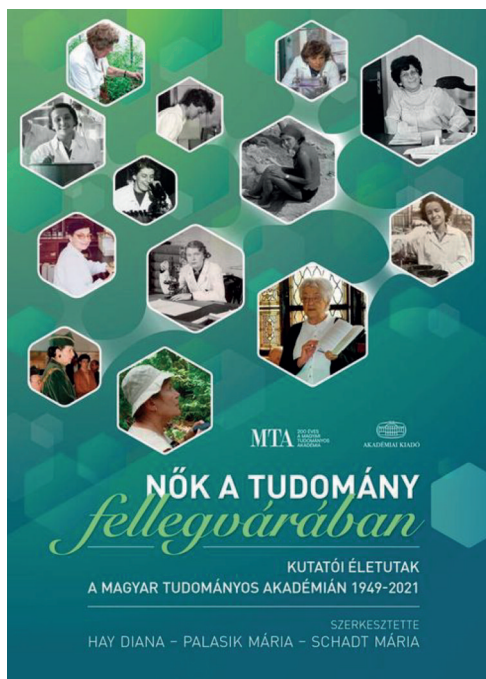


Tudós nők

Nők a tudomány fellegvárában – Kutatói életutak a Magyar Tudományos Akadémián 1949–2021

A férfiak és a nők száma közel azonos a Földön. Rossz nyelvek szerint itt véget is ér a nemek egyenlősége. A tudomány világában talán picit optimistább a megközelítés: ha igen lassan, de csökken a nők hátránya.

Ezt a reményt táplálja az a kétkötetes, interneten is elérhető mű, amely a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával jelent meg az MTA alapításának 200 éves évfordulójának kapcsán (<https://real.mtak.hu/233493/>). Nyolcvannyalc szerző járult hozzá a Hay Diana, Palasik Mária és Schadt Mária által szerkesztett könyvhöz.



A Bevezetést négy nagyobb ívű tanulmány követi, majd a címben is szereplő kutatói életutakról olvashatunk. Az említett tanulmányok egyikét a neveléstörténet igen elismert kutatója, Pukánszky Béla jegyzi, aki a középkortól kezdve tekint át a nők felsőoktatásban való részvételének lehetőségeit. Külön fejezeteket szentel a magyar viszonyok bemutatásának, és ezen belül Hugonnai Vilma küzdelmeit részletesebben is ismerteti. A

mai helyzettel kapcsolatban megállapítja, hogy bár a II. világháború után hazánkban a nők számára elérhetővé vált a felsőoktatás teljes palettája (kivéve a katolikus hittudományi karokat), a nők és a férfiak aránya tudományáganként és képzésenként is jelentősen eltér. A különbség feltűnőbb, ha az oktatás alanyai helyett a tanáraikról van szó: a felsőoktatási intézményekben az oktatónők száma a férfiakénál kisebb, és előmenetelük, tudományos fokozataik megszerzése is lassúbb.

Hazánkban a tudományos minősítés rendszere az 1940-es évek végétől jelentősen átalakult, és ennek folyamatát a rendszerváltásig követi Kozári Monika adatokban gazdag közleménye. Éppen a bőség miatt csak néhány olyan eseményt emelek ki, amelyek a fiatalok számára is segítséget adhatnak a későbbiekben használt szavak (pl. kandidátus, TMB) értelmezésére. Szovjet mintára 1950-ben vezették be a kandidátusi fokozatot, amelyet az ún. aspirantúra során elért eredményekből összeállított értekezés benyújtásával, illetve annak megvédésével lehetett megszerezni. Az aspirantúrára való felvételi, a szakmai, a nyelvi és az ideológiai vizsgákat, valamint a védési eljárásokat a Tudományos Minősítő Bizottság (TMB) bonyolította, és egyben a magasabb szintű „tudományok doktora” fokozatra pályázók ügyeit is gon-

dozta. A politikai elvárások miatt folyamatosan változtak a szabályok, például az 1960-as évektől már aspirantúra nélkül is elérhetővé vált a kandidátusi fokozat. 1983-tól a TMB keretében hároméves továbbképzési ösztöndíj-rendszert hoztak létre, majd 1994-ben a TMB szerepét az MTA Doktori Tanácsa vette át. A kandidátusi helyett bevezették az egyetemeken által adományozható PhD-fokozatot, valamint a *tudományok doktora* fokozatot felváltotta az *MTA doktora* tudományos cím.

Hay Diana az akadémiai tagjelölések és tagválasztások rendszéről írt. A közlemény tartalmát a szerzőnél jobban nem tudnám összefoglalni, ezért idézem: „Ebben a tanulmányban nagy vonalakban azt mutatom be, hogy az elmúlt kétszáz évben hogyan alakult, hogy kiből (és hogyan) lesz akadémikus. Az alapszabályok (ügyrendek) rögzítik azt, hogy milyen típusú akadémiai tagság létezik; kik jelölhetik, illetve választhatják meg az új akadémikusokat; milyen szakmai, erkölcsi, politikai szempontok alapján választják meg őket, valamint mi a jelölés és a választás menete.”

Igen érdekesnek találtam a cikk végén található táblázatot is, amelyben a magyar tudós nők közül azok szerepelnek, akiket 1949 és 2019 között jelöltek az MTA tagjai közé. Volt, akit hat egymást követő ciklusban ajánlottak, és nem került be, de néhány kutatónőt már az első alkalommal megválasztottak.

„Nők a kutatói életpályán” címmel rendkívül részletes, számos ábrával, grafikonnal gazdagított tanulmányt írt Schadt Mária, Palasik Mária, Hay Diana és Pótó Zsuzsanna. Azt a kérdést járták körbe, hogy milyen okok miatt maradnak le a nők a férfiak mögött a tudományos karrierben akkor is, ha a diplomások számát tekintve a nők vezetnek. A PhD-képzésbe még csaknem azonos számban kerülnek be a két nem képviselői, de a fokozatot szerzettek között már az optimális 50% körüli érték helyett a 40%-ot sem éri el a nők aránya. A további előmenetekben az olló egyre szélesedik: a tavalyi tagválasztás óta például annak örülünk, hogy az akadémikusok között a nők aránya kicsivel bár, de meghaladta a 10%-t. A szerzők külön fejezetet szenteltek az esélyegyenlőtlenséget meghatározó tényezők alapos feltárásának. Egy másik fejezetben részletesen bemutatják és elemezték azokat az intézkedéseket, melyeket az MTA tett a nők tudományos munkájának segítéséért 1970–2021 között. Kitértek a 2017-ben alakult, „Nők a tudományos életpályán” Elnöki Bizottság tevékenységére, és hangsúlyosan tárgyalták a Bizottság kezdeményezéseit az MTA 2020. évi tisztújítását követő időszakban.

Az ajánlott könyvben a négy kiváló tanulmányt a kutatói életpályák ismertetése követi. A tudományos osztályok szerint csoportosított életrajzok alanyainak kiválasztásáról már a *Bevezetés* első soraiban szó esik. Idézem: „A kötet középpontjában 191 kiemelkedően tehetséges nő életútja áll. Mindannyian olyan tudósok, akik 1949 után lettek akadémikusok, illetve az új minősítési rendszerben valamelyik tudományterület vagy – 1995-től – az MTA doktori. Mindenki szerepel benne, aki megszerezte ezt a fokozatot/címet, és 2021. december végéig elhunyt.”

A portrék mindegyike jelentős eredményeket elérő és a kutatás iránt nagyfokú elhivatottságot érző nőket mutat be. E helyen azon-



ban csak arról a 17 kémikusról lesz szó, akik az MTA Kémiai Tudományok Osztályához nyújtották be doktori értekezésüket a következő témákban:

Bernáth Gabriella: *Metil-sziloxán- és szilikátrendszerek molekuláris összetételének és molekulaszervezetének vizsgálata gázromatográfiával* (Budapest, 1981).

Csatóné Nagy G. Ágnes: *Ferrocénszármazékok molekulaszervezete és elektronsűrűség-eloszlása* (Budapest, 1986).

Fehér Zsófia: *Mennyiségi elemzések céljára szolgáló áramló oldatos méréstechnikák fejlesztése, tanulmányozása és analitikai alkalmazása* (Budapest, 1993).

Földes Enikő: *Fizikai tényezők szerepe a polimerek adalékanyagainak hatékonyságában* (Budapest, 2006).

Földes Péterné Berezsnich Tamara: *A gyökös homo- és kopolimerizáció elemi folyamatainak kinetikája és mechanizmusa* (Budapest, 1976).

Hedvig Zsuzsa: *Kinetika- és mechanizmusvizsgálatok a polikondenzációs reakciók körében* (Budapest, 1994).

Iring Margit: *A polietilén és a polipropilén termikus oxidációja* (Budapest, 1988).

Kálmán Erika: *Foszfor- és nitrogéntartalmú szerves vegyületek korróziós inhibitorhatása* (Budapest, 1994).

Opoczky Ludmilla: *Szilikátipari rideganyagok finomörlésének folyamata* (Budapest, 1982).

Ördögh Mária: *Biológiai anyagok neutronaktivációs elemzése* (Budapest, 1977).

Rózsa Zsuzsanna: *Új, természetes eredetű vegyületek izolálása és szerkezetvizsgálata* (Szeged, 1988).

Szekerke Mária: *Peptid jellegű hordozók szerepe a rákellenes gyógyszertervezésben* (Budapest, 1977).

Tóth Klára: *Ionszelektív elektródok elektrokémiaja és analitikai alkalmazása* (Budapest, 1990).

Vámos Endréné Vigyázó Lilly: *Növényi polifenoloxidázok és peroxidázok aktivitásának, néhány tulajdonságának és inaktiválásának élelmiszer-tudományi szempontjai* (Budapest, 1984).

Vincze Irén: *L-formil-ketoszteroidok átalakításai* (Szeged, 1992).

Weltner Margit: *A szenek oxidációs (tárolási) folyamatának derivatográfus vizsgálata* (Budapest, 1966).

Zsigmond Ágnes: *Szelektív szintézisek heterogenizált fémkomplexeken* (Szeged, 2006).

Rózsa Zsuzsannát és Zsigmond Ágnesét kivéve mindannyian 1945 előtt születtek. A II. világháború borzalmain és a nélkülözéseken túlmenően többeknél az iskolai tanulmányok végzése is nehézségekbe ütközött: volt, aki nyári tanfolyamon pótolta azokat a vizsgáit, amelyeket a deportálása miatt nem tudott az osztálytársaival azonos időben teljesíteni. Más a családja elvesztése miatt 14 éves korától kezdve dolgozni kényszerült, és szakértetségiként került az egyetemre. Akadt olyan is, aki a háború következményeként évekig fekvőbeteg volt, és emiatt csak 22 évesen érettségizett. A kitűnő tanulmányi eredményeiknek köszönhetően a kedvezőtlen káderlappal (kb. 40%-uk kuláknak nyilvánított vagy értelmiségi családból származott) rendelkezőket is felvették a kívánt egyetemi szakra.

Négyen életük végéig (vagy nyugdíjazásukig) abban a felsőoktatási intézményben oktattak, amelyben már egyetemistaként megtalálták az őket érdeklő kutatási területeket. A tanszékükhöz való hűség azonban sem a három szegedi tudós (Rózsa Zsuzsanna, Vincze Irén, Zsigmond Ágnes), sem Bernáth Gabriella (ELTE) esetén nem jelentett röghöz kötöttséget, hiszen nemzetközi elismertségük hosszabb-rövidebb időtartamú külföldi meghívásokat

is eredményezett, és lehetővé tette a más egyetemeken tapasztaltak honosítását is.

A külföldön végzett kutatómunka másoknak is nagy hatással volt a tudományos pályájára: például Csatóné Nagy G. Ágnes akadémiai doktori disszertációjának egy része olyan méréseken alapult, melyekhez sugárforrásként a Brookhaveni Nemzeti Laboratórium (USA) szinkrotronját használta.

Ördögh Mária moszkvai tanulmányutakon sajátította el a neutronaktivációs analízis alapjait. A KFKI atomreaktorának üzembe helyezését követően azonban már a munkahelyén is vizsgálni tudta ezzel a módszerrel az uránvegyületek szennyeződéseit, melyekről a kandidátusi dolgozatában számolt be. Később az analitikai módszer alkalmazhatóságát kiterjesztette az orvostudomány szempontjából fontos biológiai anyagokra, és ezekből az eredményekből írta akadémiai doktori értekezését.

Kálmán Erika a Drezdai Műszaki Egyetemen diplomázott, és aspiránsként ugyanott folytatta az elektrolitoldatok szerkezetének vizsgálatát, amelynek következtetéseit a kandidátusi értekezésében mutatta be. Hazatérve a fém/elektrolit határfelületi jelenségek tanulmányozása és a korróziógátlás került a kutatásainak központjába, és az e területeken elért eredményeit foglalta össze az akadémiai doktori értekezésében. Kutatásainak gyakorlati fontosságát számos szabadalom, illetve Gábor Dénes- (2007) és Széchenyi-díja (2008) is jelzi.

Ugyancsak külföldi aspirantúrán vett részt Berezsnich Tamara a Leningrádi Technológiai Intézetben, majd levelező aspiráns lett a KKIK Makromolekuláris Kémiai Osztályának vezetője, Tüdös Ferenc irányítása mellett. Ugyanezt az utat járta be a Villamosszigetelő és Műanyaggyárban fejlesztőmérnökként dolgozó Iring Margit is, és néhány év múltán egyik kollegája, Hedvig Zsuzsa szintén Tüdös Ferenchez jelentkezett belső aspirantúrára. Később mindhárman, valamint Földes Enikő (már kandidátusként igazolt át a Műanyagipari Kutatóintézetből) is a Makromolekuláris Kémiai Osztály alkalmazottjaként érték el azokat az eredményeiket, melyeknek köszönhetően megszerezték a kémiai tudományok doktora fokozatot vagy az MTA doktora címet. A polimerekkel kapcsolatos kutatásaik mind gyakorlati, mind elméleti szempontból igen fontosak voltak. Az utóbbit az is mutatja, hogy 1978-ban Földes Péterné Berezsnich Tamara Tüdös Ferencsel és Kelen Tiborral megosztott Állami Díjat vehetett át a forrógyök-elmélet megalkotásáért. Ebben a bekezdésben az aspirantúra mellett az iskolateremtő Tüdös Ferenc akadémikus szerepét is fokozottan hangsúlyozni kívántam.

Akadémikustársának, Pungor Ernőnek is jelentős hatása volt Tóth Klára és Fehér Zsófia életpályájára. Tóth Klára a diplomája megszerzését követően az ő hívására ment az akkor alakuló Veszprémi Vegyipari Egyetemre, majd 1970-ben már kandidátusként követte mentorát a Budapesti Műszaki Egyetemre. Az elektroanalitika, és ezen belül új típusú ionszelektív szenzorok kifejlesztése és alkalmazása körében végzett kutatásairól szólt az 1990-ben beadott akadémiai doktori értekezése. Rangos folyóiratokban megjelent számos cikk, szabadalmak, vendégprofesszori meghívások, széles körű tudományos közéleti aktivitás jellemezte pályáját. Ezek elismeréseként 1995-ben az MTA levelező, majd 2001-ben rendes tagjává választották. Ő volt a Kémiai Osztály első, és Hargittai Magdolna 2004-es megválasztásáig egyetlen akadémikusnője. Számos elismerése közül megemlítem a Széchenyi-díját (2000), illetve az IUPAC „Kiemelkedő Nők a kémiában” c. kitüntetését. A Kémia Nemzetközi Évében (2011) az egész világon csak 23 nőnek adtak át ilyen elismerést, és kö-



zöttük két magyar volt: Tóth Klára és Hargittai Magdolna akadémikusok.

Fehér Zsófiát munkahelye, az Egyesült Gyógyszer- és Tápszer-gyár iskolázta be a Veszprémi Vegyipari Egyetem továbbképzésére, ahol bekapcsolódott a Pungor Ernő professzor által vezetett elektroanalitikai kutatásokba. 1970-ben a műszaki doktori cím mellé meghívást is kapott témavezetőjétől, hogy csatlakozzon a BME-n akkor alakuló kutatócsoportjához. A Veszprémben elkezdett munkáját folytatva 1977-ben „Voltammetriás mérések áramló elektrolitokban” címmel kandidátusi, majd másfél évtized múlva e módszer további fejlesztésével, alkalmazhatóságával kapcsolatos kutatásairól akadémiai doktori értekezést írt. Két munkatársával közösen a világon elsőként valósították meg a jelenleg is széles körben alkalmazott, „Flow Injection Analysis” technikát.

Szekerke Máriát akkor avatták kitüntetéses doktorrá Szegeden, amikor témavezetője, Bruckner Győző akadémikus az ELTE Szerves Kémiai Intézetének az élére került. Mentorának állásajánlatát elfogadva kezdetben poliglutaminsav-variánsokat szintetizált, majd önálló TMB-aspiránsként új aminosav/peptid-tartalmú alkilezőszereket állított elő rák-kemoterápiás céllal. Kandidálása után is azt kutatta, mi a szerepe a tumorok gátlásában annak, hogy a) milyen citosztatikus csoportot használ; b) azt milyen hosszúságú, összetételű makromolekuláris hordozóhoz rögzíti. Az általa feltárt összefüggéseket mutatta be az akadémiai doktori értekezésében.

Opoczky Ludmilla már férjezettként szerezte meg Moszkvában a vegyészmérnöki-szilikástechnológusi oklevelét. Az ugyanitt tanuló, magyar ösztöndíjas férjével hazánkba költözött (Berezsnich Tamara is hasonló módon került Budapestre), és az Építőanyagipari Központi Kutatóintézetben, majd annak jogutódjában dolgozott. A TMB levelező aspiránsaként cementőrlési folyamatokkal kapcsolatos vizsgálatokból írta a kandidátusi dolgozatát (témavezetője a Veszprémi Vegyipari Egyetem neves szilikátkémikusa, Déri Márta professzor, a műszaki tudományok doktora volt). Később is a finomörlést kísérő mechanokémiai jelenségekkel foglalkozott mind elméleti, mind gyakorlati vonatkozásban, és az ezeken a területeken elért eredményeit foglalta össze az akadémiai doktori értekezésében.

Az aspirantúra szerepet játszott Vámos Endréné Vigyázó Lilly életútján is. Az Erjedéssipari Kutatóintézetben dolgozott, amikor a TMB önálló aspiránsaként elkészítette „Az élesztők erjesztési tulajdonságairól” című kandidátusi értekezését 1962-ben. Később a Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Mikrobiológiai, majd Enzimológiai Osztályát vezette. Az enzimek iránti fokozott érdeklődése tetten érhető abban is, hogy akadémiai értekezését a növényi polifenoloxidáz és peroxidáz enzimek élelmiszeripari jelentőségéről írta.

A kémiai tudományok doktora fokozat első (és tíz évig egyetlen) női tulajdonosa Weltner Margit volt. Díjtalan gyakornokként Gróh Gyula akadémikus vezetésével készítette el egyetemi doktori dolgozatát, amely a fehérjék abszorpció spektrumainak lúg hatására bekövetkező változásairól szólt. Önálló, szénkémiaiával kapcsolatos vizsgálatait akkor kezdte el, amikor munkahelyén, az Óbudai Gázgyárban megbízták egy új kutatólaboratórium vezetésével. A szén hevítése során fellépő folyamatokkal, valamint a szenek koksizálhatóságának kérdéseivel foglalkozott. „A szenek hőbomlási folyamatának derivatográfiás vizsgálata” címmel írott kandidátusi értekezésének nyilvános vitájára 1960-ban sor került, és hat év múlva, már nyugdíjasként adta be a hasonló témakörű akadémiai doktori disszertációját.

Az évszám említése azért sem érdektelen, mert abban az idő-

ben (és később is jó néhány évig) hazánk elszigetelt volt a nyugati világtól. Az ottani műszerek, vegyszerek, de még a tudományos közlemények is csak igen korlátozottan jutottak el a laboratóriumokba: ezek hiányát sok tehetséggel, leleménnyel és szorgalommal kellett pótolni.

Az egyetemeken oktatói státuszban dolgozók számára az oktatás elsődleges munkaköri kötelesség volt, és bármennyire örömmel tették is, az erre fordított időt a kutatásaikra szántból kellett felszabadítani. Más oldalról: bár kisebb mértékben, de a kutatói beosztásuk is részt vállaltak az oktatásban, és többen az ismeretterjesztésben is jeleskedtek.

Természetesen a munkán kívül is voltak kötelezettségek. A 17 kutatónő közül tizenketten kötöttek házasságot, és közülük hét választott szakmabeli férjet. Ez néhány esetben közös munkát is eredményezett, de a kettős karrier építése okozhatott nehézségeket is például amiatt, hogy a pároknak a háztartási és a szülői feladatokat is össze kellett hangolni (öt családban egy, míg a másik ötben két gyereket neveltek, két házaspár pedig gyermektelen volt).

Gyakori az a mondás, hogy „minden sikeres férfi mögött van egy támogató feleség”, míg a szerepek felcserélésével alkotott megállapítás létezhet ugyan, de semmiképpen sem közismert. A tradicionális szerepelvárások miatt a nőkre általában ma is nagyobb hányad jut a családi teendőkből. Még fokozottabban így volt ez azoknál a kutatónőknél, akik válásuk után egyedül nevelték gyermekeiket.

Nemcsak a 17 kémikus, hanem a könyvben szereplő összes tudós életútja bizonyíték arra, hogy bár lehetnek komoly hátráltató körülmények, de tehetséggel, a kutatás iránti elkötelezettséggel, átlagon felüli munkabírással és szorgalommal ezek legyőzhetők. A könyv egyik célja éppen ez, hogy ösztönözze a nőket a tudományos „lépcsők” megmászására.

A statisztikák azt mutatják, hogy egyre többen teszik ezt. A könyv 91. oldalán szereplő 2. táblázatban évenkénti bontásban láthatjuk, hogy 1965 és 1975 között hány fő lett a tudományok doktora. A nők aránya a legtöbb évben nem érte el az 5%-ot (a kémiai tudományok doktora fokozatot a teljes időtartamban csak egyetlen nő, Weltner Margit szerezte meg), de a mélypont 1974-ben volt: 84 férfi mellett csak egyetlen nő kapta meg ezt az elismerést. Örömteli azonban, hogy a 108. oldal 7. ábrája szerint az MTA doktora címet elnyerők között a nők aránya 2007-ben már 13,3% volt, és monoton növekedés mellett 2019-re 15,6%-ot ért el.

A Doktori Tanács honlapja szerint a Kémiai Osztályon 2011 óta 85-en lettek az MTA doktorai, közöttük 23 nő (27,0%). Éves lebontásban kevesebb adatot találtam, de például a 2024-es számok ismertek: 6 férfi és 3 nő kapta meg a címet. Ugyanez a 33,3%-os arány érvényes a jelenleg folyamatban levő doktori ügyekre is: 18 kémikus elbírálás alatti értekezésének harmadát nők nyújtották be.

Az MTA doktora címet viselő kémikusnők számának növekedése arra is nagyobb esélyt adhat, hogy az MTA Kémiai Osztályára újabb akadémikusnő kerüljön be. Erre legutóbb 2019-ben került sor, amikor Hohmann Judit is csatlakozott az osztály addigi nőtagjaihoz, Hargittai Magdolna és Erdődiné Kövér Katalin akadémikusokhoz.

Sajnos, Erdődiné Kövér Katalin 2023-ban elhunyt. Idén töltötte volna be 70. életévét. Munkássága, emberi értékei, pályafutásának egésze – a jelen írásban is meggyőződéssel ajánlott könyv életútjaihoz hasonlóan – követendő példa.

Kathó Ágnes

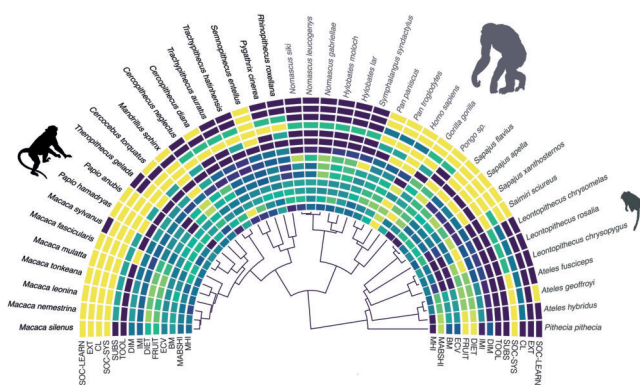


TÚL A KÉMIÁN

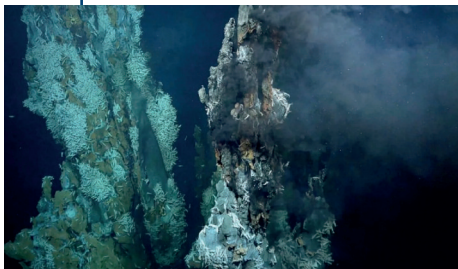
Jobbkézsabály

Az emberiség evolúciós szempontból kivételesnek tűnő tulajdonsága a kézhasználat aszimmetriája: kultúrától függetlenül az embercsoportok nagyjából 90%-a használja szívesebben a jobb kezét. Ehhez hasonló jelenség nincs más főemlősök között, és az evolúciós modellek sem tudták eddig értelmezni a jelenséget. Nemrég azonban 41 majomfaj 2025 egyedén végzett vizsgálatok alapján egy tanulmány azt mutatta meg, hogy ha a probléma szempontjából az agytérfogatot és a kéz-láb méretarányt is lényeges tényezőnek tekintik, akkor az emberek is illeszkednek a többi élőlény által meghatározott mintázatba. Ez a két tulajdonság elsősorban a felegyenesedve járás képességét határozza meg, ami a jelek szerint közvetlen kapcsolatban van a jobbkezes dominanciával.

PLoS Biol 24, e3003771. (2026)



Óceáni vándorláskémia

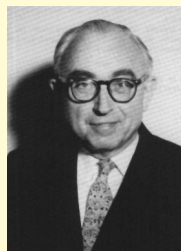


A tengerekben élő kagylók és csigák mészváza egyfajta kémiai történelemkönyvként is használható, mert megőrzi a keletkezési körülmények lenyomatát. Ezt a jelenséget felhasználva a szélsőséges viszonyok között, mélytengeri hidrotermális kúrtókban élő tapadó tengeri csigák házáinak vizsgálata – a bárium- és mangántartalom meghatározása és az oxigénizotóp-elemzés – érdekes új összefüggéseket tárt fel. Ezekből az adatokból legfőképpen a vízhőmérsékletre lehet következtetni. Az eredmények szerint ezek az élőlények kezdetben a felsőbb, melegebb vízrétegekben érzik jól magukat, ezért az áramlatok segítségével akár nagyobb távolságokat is megtehetnek. A csigák csak később telepednek meg hidrotermális kúrtókban, s így elég jelentős természetes vándorlás is lehetséges.

Sci. Adv. 12, adx7045. (2026)

Ha észrevétele vagy ötlete van ehhez a rovathoz, írjon e-mailt Lente Gábor rovatszerkesztőnek: lenteg1206@gmail.com. A rovatszerkesztő korábbi írásait is tartalmazó blog elérhető a következő internet-oldalon: http://lenteg.ttk.pte.hu/ScienceBits/index_magyar.html

CENTENÁRIUM



W. F. Meggers and Otto Laporte:
Absorption Spectra of the Palladium
and Platinum Triads
Physical Review Vol. 28, pp. 642–664.
(1926. október 1.)

Otto Laporte (1902–1971) német születésű amerikai fizikus volt. Fiatalon a kvantummechanika megalapozóival együtt dolgozott Max Born és Arnold Sommerfeld irányításával, közvetlen diáktársa volt Werner Heisenbergnek és Wolfgang Paulinak. Münchenben szerzett doktori fokozatot. Amerikába a Rockefeller-alapítvány segítségével jutott el, és pályafutása végéig a University of Michigan kutatója volt, noha közben több évet élt Japánban is. Nevét máig a Laporte-szabály őrzi a spektroszkópiában, azt 1925-ben, vagyis 23 éves korában fedezte fel.

Zöldülő lítiumbányászat

Ahogy a modern világ egyre több akkumulátort használ, úgy lesz egyre aggasztóbb a lítiumbányászat ökológiai lábnyoma. A világ termelésének együtt mintegy egynegyedét adó Argentínában és Kínában a nagy sótartalmú vizek bejárása az egyik fő feldolgozási módszer. Ennek hatékonysága nem túl nagy, a feldolgozott anyag lítiumtartalmának akár fele is kinyeretlenül maradhat. Ezért jelentős, hogy a közelmúltban új módszert sikerült kidolgozni: a sós vizet teljesen bepárolják, majd a visszamaradt szilárd anyagot etanol és aceton felhasználásával extrahálják. A megfelelő körülmények megtalálása egyszerre biztosított kiemelkedő szelektivitást és 95% körüli lítiumkinyerési hatékonyságot. Az oldószerek visszaforgathatók a technológiában, a bepárlás jelentős energiaigényét pedig enyhíti, hogy az ilyen lítiumbányák tipikusan meleg és száraz időjárású területeken fordulnak elő.

Environ. Sci. Technol. 60, 17247. (2026)



APRÓSÁG



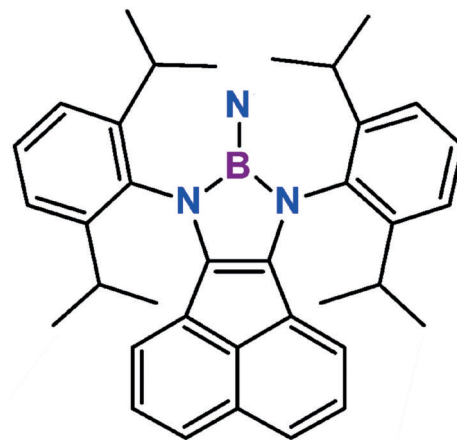
Az Amerikai Legfelsőbb Bíróság lényeges döntést hozott a Bayer–Monsanto cég ellen a glifozáttartalmú gyomirtók forgalmazása miatt egyidejűleg folyó mintegy hatvanezer perben: a cég nem marasztalható el amiatt, hogy a termékek címkéje nem figyelmeztetett a feltételezett rákkeltő hatásra. Az amerikai szövetségi hatóság, az Environmental Protection Agency besorolása szerint ugyanis valószínűtlen, hogy a glifozát rákkeltő hatású lenne, ezért törvényesen a címke erre figyelmeztetést sem tartalmazhat.



A HÓNAP MOLEKULÁJA

Az ábrán látható borilnitrénszármazék ($C_{36}H_{40}BN_3$) váratlanul stabil, szobahőmérsékleten izolálható molekula, amelynek szerkezetét egy kristálycsapdázási módszer segítségével még röntgenkristallográfiával is sikerült meghatározni. Kémiai szerkezetéhez képest rendkívül inert, mert a bórhoz kapcsolódó egyik nitrogénatomján egy elektronpár mellett két, azonos spinű párosítatlan elektron is van triplett szerkezetet létrehozva. A vegyületet számos különböző reakcióba vitték, így akár még szintetikus jelentősége is lehet a jövőben.

J. Am. Chem. Soc. 148, 25632. (2026)



Himlős DNS

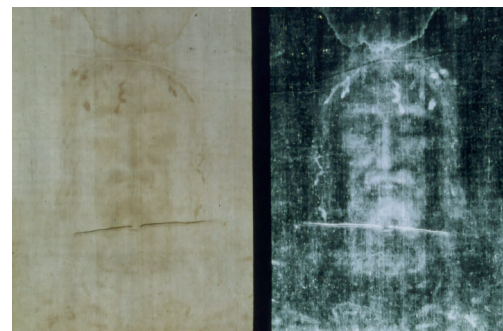
A mai Chile területén talált, bő 400 éves, mumifikálódott holttestek vizsgálata új bizonyítékokat tárt fel arról, mikor és hogyan terjedt el a himlő az amerikai földrészen. A betegséget az *Orthopoxvirus variola* vírus okozza, ennek a DNS-ét találták meg véletlenül egy olyan vizsgálatsorozat részeként, amelyet eredetileg csak egy új számítógépes program kipróbálására szántak. A himlővírus nagyon kevés olyan szekvenciája ismert, amely a 20. század előtti mintákból származik, de ezek segítségével is érdekes történet rajzolódik ki. A kórokozó genomjának mérete fokozatosan csökkent: a most megvizsgált mintákban jóval kevesebb gén volt, mint amennyit a 7. századból származó törzsben korábban találtak, de még mindig lényegesen több, mint az utóbbi száz év fajtáiban. Az új eredmények azt is egyértelműen megmutatták, hogy a vírus az európai változatok közeli rokona volt.

Science 393, 504. (2026)

DNS a torinói lepel anyagán

A torinói lepel tudományos igényű vizsgálata, a szindonológia, szerteágazó eredményeket fog össze. Új mintákat az ereklyéből már nemigen lehet venni, de az 1989-es nevezetes, i. sz. 1300 körüli keletkezési dátumot eredményező radiokarbon-elemzéshez használt szövetszálak maradványai még mindig hozzáférhetők voltak egy DNS-vizsgálatra. 2015-ben már történt hasonló mérés, de azóta a technika nagyon sokat fejlődött ezen a téren. Számos növény és állat DNS-lenyomatát találták meg: szarvasmarha, sertés, baromfi, sárgarépa, mogoró, banán és narancs. Nem nehéz ezek mögé képzelni azt, hogy valamikor reneszánsz asztalterítőként használhatták a szöveta- rabot. Az emberi nyomok között egyértelműen azonosítható volt a lepelből 1978-ban mintát vevő olasz orvos, Pierluigi Baima Bollone személye, valamint különböző, ismeretlen egyének Indiából, illetve a mai Jordánia–Szíria–Libanon arabul beszélő népességéből.

Sci. Rep. 16, 21206. (2026)



Perfluoralkiles mikroműanyagok

Noha a mikroműanyagok környezeti jelenlétének kutatása egyre népszerűbb témává válik, az eddig használt módszerek gyakran nem alkalmasak a különböző típusú perfluorozott műanyagok meghatározására vagy megkülönböztetésére. Ezen a problémán segít az a közvetlen infravörös lézerspektroszkópiás (laser direct infrared, LDIR) módszer, amelyet kínai tudósok fejlesztettek ki a közelmúltban. Lényeges felismerés volt, hogy a szén-fluor kötésre jellemző sávok gyakorlatilag mindig 900 és 1800 cm^{-1} között jelennek meg, így a kutatók az analízisidőt is lerövidíthették. A különböző fluortartalmú polimerekre kidolgozott spektrumkönyvtár lehetővé tette, hogy a módszerrel új következtetéseket vonjanak le korábbi mérések archivált adataiból.

Environ. Sci. Technol. 60, 18011. (2026)



Műanyag hulladékból hidrogén

A hulladékba kerülő műanyag feldolgozásának érdekes új koncepcióját mutatta be egy közelmúltban publikált tudományos közlemény. A módszert fotoreformálásnak hívják: megfelelő félvezető fotokatalizátor, valamint egy kobaltot és cirkóniumot tartalmazó adalék segítségével az eleve jelentősen redukált állapotú szerves anyagokból közvetlenül hidrogén állítható elő. Az egy négyzetméteres mintareaktor hat óra alatt a nem túl intenzív brit napsütésben néhány gramm hidrogén előállítására volt képes. Az eszköz jelenleg két sajátosságában is továbbfejlesztésre szorul: egyrészt a félvezető csak az UV-tartományba eső sugárzást hasznosítja, másrészt a katalitikus felület a kobalttartalmat működés közben jelentős mértékben elveszti.

Nat. Chem. Eng. 3, 351. (2026)





Válogatás

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya által kiválasztott három publikáció közül az elsőben a szerzők stabil izotópos jelöléssel egy új, adaptív anyagcsere-útvonalat azonosítottak, amely kulcsfontosságú lehet a rákos sejtek túléléséhez szükséges ciszteinszint fenntartásában, így célpontja lehet jövőbeli daganatterápiáknak.

A második közlemény szerzője általánosan alkalmazható „zöld” módszert dolgozott ki a növényvédőszer- és gyógyszeriparban előállított, foszforatomot tartalmazó intermedierek és termékek észterítésére.

A harmadik publikáció szerzői által leírt eredmény szerint az új, polianilin-bevonatú membránok jelentősen javítják a mikrobiális üzemanyagcellák teljesítményét, különböző eredetű illékony zsírsavak energetikai hasznosítása során.

Felinger Attila

az MTA Kémiai Tudományok Osztályának elnöke

A cisztin C–S kötésének hasítása támogatja a ciszteintermelést diszulfid-reduktáz-hiány esetén

Nature Chemical Biology, 2026

<https://www.nature.com/articles/s41589-026-02213-1>

Edward E. Schmidt^{1,2}, Eszter Petra Jurányi^{3,4}, Colin G. Miller¹, Sydney A. Austad¹, Tamás Ditrói³, Zoe M. Seaford¹, Sang Jun Yoon⁵, Reed C. Noyd¹, Yun Pyo Kang⁵, Justin R. Prigge¹, Vivien Csikós², Martina Serrano Alvarez⁶, Katalin Erdélyi³, Dóra Kővári², Gina M. DeNicola⁵, Peter Nagy^{2,3,7,8}

¹ Department of Microbiology & Cell Biology, Montana State University; Bozeman, Montana, USA.

² Department of Anatomy and Histology, HUN-REN-UVMB Laboratory of Redox Biology, University of Veterinary Medicine; Budapest, Hungary.

³ Department of Molecular Immunology and Toxicology and the National Tumor Biology Laboratory, National Institute of Oncology; Budapest, Hungary.

⁴ Semmelweis University Doctoral College, Molecular Medicine Division, Budapest, Hungary.

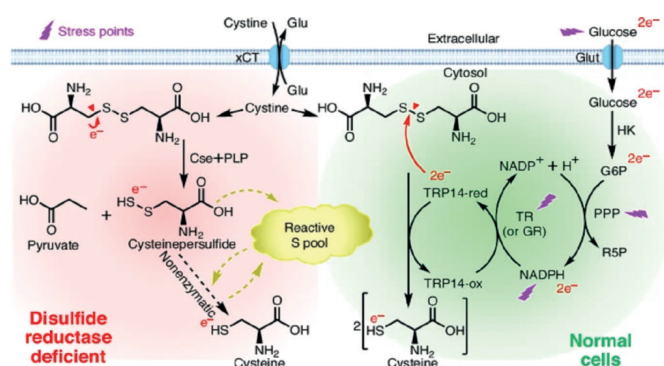
⁵ Department of Metabolism & Physiology, H. Lee Moffitt Cancer Center and Research Institute; Tampa, Florida, USA.

⁶ Biology Department, University of Seville, 41012 Seville, Spain.

⁷ Department of Oncology, Semmelweis University, 1122 Budapest, Hungary.

⁸ Chemistry Coordinating Institute, University of Debrecen; Debrecen, 4012, Hungary

Stabil izotópos jelöléssel azonosítottunk egy új, adaptív anyagcsere-útvonalat, amely fenntartja a cisztein-homeosztázist diszulfid-reduktáz-hiányos egermájban. Ez a cisztationin- γ -liáz által katalizált folyamat a cisztin C–S kötésének hasításával tartja fenn a cisztein-homeosztázist, kikerülve a NADPH-függő reduk-



cióutakat. Az útvonal kulcsfontosságú lehet a rákos sejtek túléléséhez szükséges ciszteinszint fenntartásában, így célpontja lehet jövőbeli daganatterápiáknak.

• • • • •

P-észterek klórmentes szintézise: foszfin-, foszfonsavak és foszforsav-származékok mikrohullámú besugárzással segített direkt észterestése (meghívott közlemény)

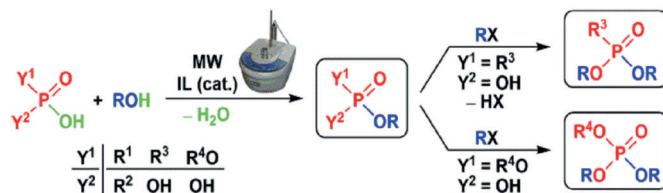
Chemistry Methods, 2026

<https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cmtd.70141>

György Keglevich

Department of Organic Chemistry and Technology, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

A P-savak észterestése fontos lépés különféle biológiai aktív foszforvegyületek szintézise során. Általában P-kloridokból indulnak ki, ami azonban a HCl melléktermék miatt nem környezetbarát és nem is atomhatékony. A szerző és kollégái egy általánosan használható „zöld” módszert dolgoztak ki, amely szerint foszfinsavak, foszfonsavak és foszforsav-származékok MW-körülmények között ionfolyadék-katalízis mellett észterestíthetők. Feltérképezték a módszerük kiterjesztheségét és magyarázták az MW-besugárzás hatását.



• • • • •

Új polianilin-bevonatú membránok hatása a tiszta, kevert és hulladékeredetű illékony zsírsavakkal működő mikrobiális üzemanyagcellák teljesítményére

Water Resources and Industry, 2026

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371726000314>

Szabolcs Szakács¹, Tamás Rózsenszki¹, László Koók¹, Zbynek Pientka², Miroslav Otmar², Jan Zitka³, Ahmed Bahaa⁴, Kyu-Jung Chae⁴, Wojciech Kujawski⁵, Péter Komáromy¹, Nándor Nemestóthy¹, Katalin Bélafi-Bakó¹, Péter Bakonyi¹

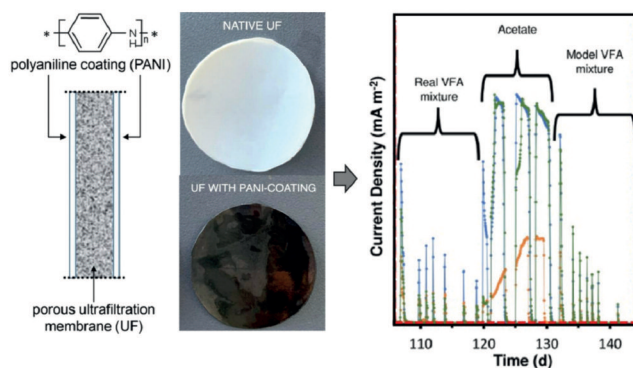
¹ Research Group on Bioengineering, Membrane Technology and Energetics, University of Pannonia, Veszprém, Hungary

² Institute of Macromolecular Chemistry, Prague, Czech Republic

³ Tailormem S.r.o., Zájezd, Czech Republic

⁴ Department of Environmental Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, South Korea

⁵ Faculty of Chemistry, Department of Physical Chemistry, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Toruń, Poland



A közlemény bemutatja, hogy az új, polianilin-bevonatú membránok jelentősen javítják a mikrobiális üzemanyagcellák teljesítményét különböző eredetű illékony zsírsavak energetikai hasznosítása során. Az eredmények rámutatnak a konduktív polimer

bevonatok szerepére a bioelektrokémiai rendszerek hatékonyságának növelésében. A fejlesztés hozzájárulhat a szerves hulladékok kezeléséhez, valamint a szennyvízkezelés és a komponens-viszszanyerés fenntarthatóbb megvalósításához.

Balticum Organicum Syntheticum – 2026

Júniusban abban a szakmai örömben volt részem, hogy a Balticum Organicum Syntheticum (BOS) szerves kémiai konferencián vehettem részt a Magyar Kémikusok Egyesülete fiatal kémikusok szakmai rendezvényeken való részvételének támogatását célzó programjának köszönhetően.

A BOS konferenciát 2000 óta kétfévente rendezik meg a balti országokban, forgószínpad-szerűen. A konferenciát Victor Snieckus alapította azzal a céllal, hogy kapcsolatot teremtsen a Nyugat és a Baltikum vegyészei között. Ma már a BOS az egyik legfontosabb konferencia a szakmában. Az idén Tallinn és Észtország volt az esemény házigazdája. A konferencia az akadémiai szerves kémiai kutatás mellett az ipari előadásokra is erősen fókuszált. A mikroszkópiában alkalmazott szerves vegyületek fejlesztőjeként a tematika kiemelkedően érdekes volt számomra.

A konferencia programja vasárnap két előadással kezdődött, ahol vázátrendeződésekről és áramlások kémiai hallhattunk. A bemutatott munkák között hallhattunk fotokatalízissel kiváltott redukzív gyűrűnyílásról, ahol gyakorlatilag γ -terpinént használva transzferhidrogéneztek, valamint egy olyan speciális áramlások

reaktorról, amelyet rezgetve mozgatva zagyos elegyek, szuszpenziók formájában is véghez vihető reakció. A rendszert használva lehetővé vált aminos és karbonsavak kapcsolása amidokká szerves oldószer nélkül, vizes közegű szuszpenzióban, és a vizes mosást követően a tiszta terméket 3 kg/nap-os termelékenységgel tiszta formában kapták – ezzel új kapukat nyitva gyógyszerek, peptidek és egyéb amidkötést tartalmazó vegyületek szintézisében.

Az előadások utáni fogadáson remek társalgásba keveredtünk egy litván vegyészrel, akiről kiderült, hogy fénnel aktiválható arany-nanorészecskék előállításán dolgozik, és a mikroszkópia is kiemelten érdekli. Számos közös szakmai területet találtunk, így egy jövőbeli együttműködés lehetősége is felmerült. Találkoztam magyarországi kollégákkal is, akikkel együtt töltöttük a konferencia további részét.

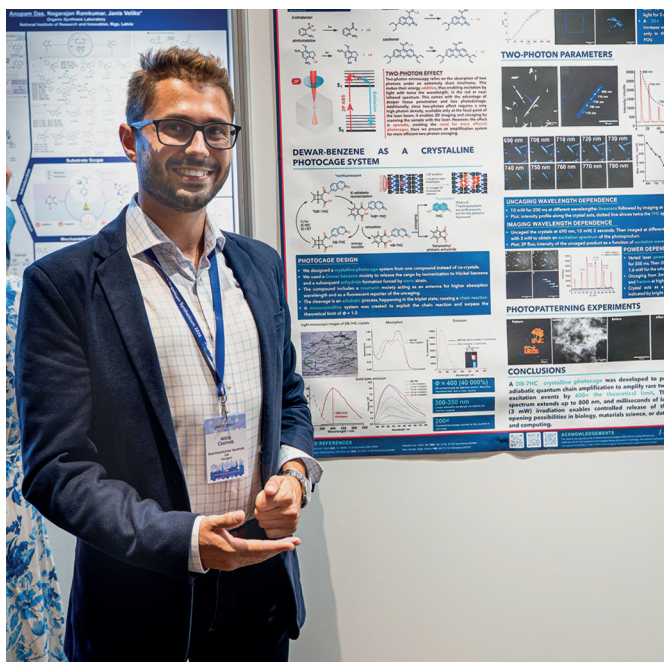
A hétfői nap izgalmas előadásai közül Christopher Allaisét, a Pfizer munkatársát emelném ki, amely a Covid-19 elleni antivirális szerek gyártásáról szólt. Az előadás az ibuzatrelvir gyógyszer gyártása során fellépő nehézségeket és azok megoldásait ismertette. Érdekesség volt például, hogy egy nitrilcsoportot késői fázisban kellett beépíteni a reakcióútba, ugyanis az egyik lépésnél máskülönben kismértékű ciánfelszabadulást tapasztaltak,

A konferencia résztvevői (fotó: Karli Saul)





ami ipari körülmények között nem volt elfogadható. Bemutattam a poszteremet is, amit szép érdeklődés övezett. Ezután városnéző séta volt a program, ahol megismerhettük Tallinn történetét és látványosságait. Észtország fővárosa nagyon tetszett. Az óváros gyönyörű történelmi helyszínt tár elénk, amit egy modern, 21. századi, élhető méretű, igen tiszta és fejlett városrész ölel körül.



A BOS 2026-on bemutatott poszteremmel

Kedden a legkülönlegesebb Maud Reiter (DSM-Firmenich) előadása volt, amelyen a parfümipar illatanyagainak előállításáról és fejlesztéséről hallhattunk. Az előadás alatt illatmintákat adtak körbe a bemutatott molekulákból, ami érdekes színfolt volt. Így tudhattuk meg például, hogy a szantálfa-ban található terpén ket-tős kötéseit vízzel és metanollal addicionálva a Florsantol nevű illatanyaghoz jutunk, amelynek édes, tejes szantálfa-illata van – így biomasszából lehetséges illatanyagok készítése. Hasonló példákön keresztül ismerhettük meg, hogy egy-egy apróbb szerkezeti módosítás hogyan hat az illatra és az előállítás környezeti hatásaira. A konferencia zárónapján kiderült, hogy elnyertem a legjobb poszter díját, ami igen megtisztelő és megható volt.

Összességében élményekkel és szakmai tartalommal teli eseményen vehettem részt, ahol remek kapcsolatokkal és tudással gazdagodhattam. Ezért ezúton szeretném hálámat kifejezni az MKE-nek az eseményen való részvételem támogatásáért.

Csomos Attila

Molecular and Cellular Neurobiology Gordon Research Conference 2026

Az MKE pályázati támogatásának köszönhetően lehetőségem nyílt részt venni a 2026-os Molecular and Cellular Neurobiology Gordon Research Conference-en (GRC), Olaszországban. A GRC-k nemzetközi viszonylatban kiemelkedő presztízsű és színvonalú konferenciák, ahol nagy hangsúlyt helyeznek a legfrisebb, még publikálás előtt álló kutatási eredmények bemutatására, illetve a szakmai kapcsolatépítésre. Bár a konferencia tematikája nem

közvetlenül kémiai jellegű volt, jól kapcsolódott a kémiai neurobiológia területén végzett kutatásaimhoz.

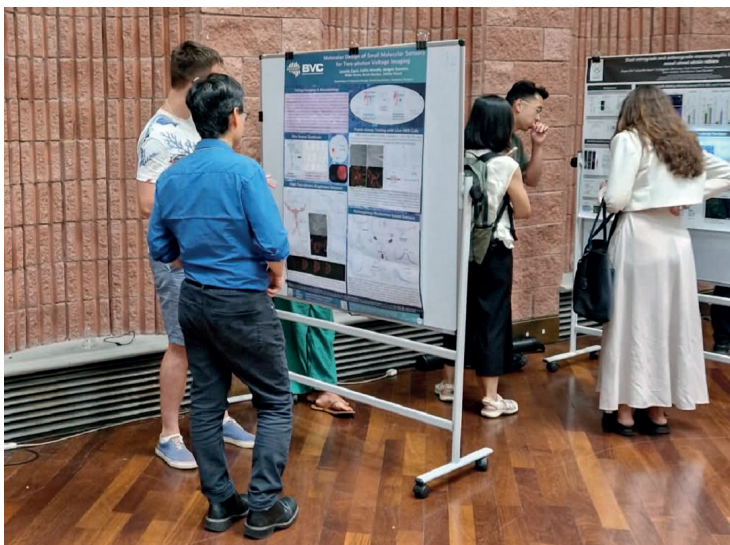
A nyitó, kiemelt előadást a Nobel-díjas Ardem Patapoutian tartotta, aki a PIEZO- és TRP-ioncsatornák szerepét ismertette az érintés, a propriocepció, valamint a hő- és fájdalomérzékelés molekuláris hátterében. PIEZO-csatornák szerkezetének és működésének feltárása rendkívül nehéz, de fontos tudományos feladat volt, mivel működészavaruk ismert humán betegségekhez kapcsolódhat. A PIEZO-csatorna rendkívüli méretét jól érzékelteti, hogy három, egyenként 38 transzmembrán-domént tartalmazó alegységből épül fel, és a teljes, 114 transzmembrán-hélixet tartalmazó komplex tömege megközelíti az 1000 kDa-t. Patapoutian csoportjában az egyedi fehérjemolekulák konformációvizsgálatát nemtermészetes aminosav-alapú genetikai kód kiterjesztéssel és a MINFLUX szuperrezolúciós mikroszkópiával valósították meg. Emellett legújabb kutatásaikban sikeresen azonosítottak növényi eredetű kismolekulás PIEZO-inhibitorokat.

A neurovaszkuláris egység működését bemutató előadásában Chenghua Gu ismertette, hogyan közvetíti az endotélsejtek hálózata az neuronális aktivitást az agyi kapillárisoktól az artériákat körülvevő simaizomsejtek felé, és miként befolyásolják a réskapcsolatok a lokális vazodilatációt és a szenzoros feldolgozás pontosságát. A réskapcsolatok szerepét tamoxifen-módította génkiütéssel, valamint szerotonin (réskapcsolat permeabilis kivető) és karbenoxolon (réskapcsolat blokkoló) alkalmazásával vizsgálták. Gülcin Pekurnaz előadásából kiderült, hogy a neuronok energiaellátása döntően a mitokondriumok működésétől függ, és egy glükózérzékelő-szabályozás az ATP-termelést a helyi igényekhez igazítja, amiben kulcsszerepet játszik a hexokináz enzim GlcNac-ileződése, ami mitokondriális lokalizációt eredményez megnövekedett energiaszükséglet esetén. Több előadás is elhangzott a szinaptikus plaszticitás és neurodegeneratív betegségek témakörében, amelyek átfogó képet adtak a memóriafenntartás transzkriptomikai hátteréről, illetve az Alzheimer- és Parkinson-kór patogenezisében szerepet játszó fehérjeaggregációs és gyulladásos folyamatokról. Yi Zuo a pszichoaktív pszilocibin neuroplaszticitásra gyakorolt hatásával kapcsolatban elért eredményeiről számolt be.

Módszertani szempontból kiemelkedőek voltak Moritz Helmstaedter korrelált fluoreszcens és elektronmikroszkópiáról, Haining Zhong fluoreszcencia-élettartam-képalkotásról, valamint Ofer Yizhar eOPN3-gátló opszinről szóló előadásai. Lief Fenno bemutatta a csoportjában kidolgozott VESPA technikát, ami a PhiC31-integráz-aktivitást kihasználva teszi lehetővé nagyméretű gének bejuttatását több adenoasszociált vírus (AAV) kombináció-



A konferencia résztvevői (fotó: John Lee)



Előadások a konferencia poszterszekciójában

(fotó: Kozma Richárd)



Kötetlen szakmai beszélgetés az előadások közötti szünetben

(fotó: John Lee)

jával. Saját szakterületem szempontjából a legjelentősebb Michael Lin előadása volt, amiben bemutatta a genetikailag kódolt feszültség szenzorok terén elért legújabb eredményeiket. Az ASAP7 fluoreszcens szenzorfehérje segítségével lehetővé vált korábban lehetetlen időbeli felbontással és érzékenységgel követni akár külső alatti membránpotenciál-változásokat egyes idegsejtek neuritjai mentén vagy egy nagyobb neuronpopulációban.

Saját kutatási eredményeimet, amelyeket új feszültség szenzormolekulák szintézise és tesztelése területén értem el, a konferencia első két napján délutánonként tartott poszterszekcióban adtam elő. Kiemelném, hogy a konferencia lehetőséget nyújt a poszterelőadónak előzetesen meginvitálni a többi résztvevő közül név szerint azokat, akiknek a kutatási területe kapcsolódik a bemutatott munkához. Így számomra is lehetőség adódott igazán releváns és hasznos beszélgetéseket folytatni a területem szakértőivel. Összességében a konferencián való részvétellel számos, a saját kutatásomba integrálható módszertani ötlettel, valamint új és értékes szakmai kapcsolatokkal gazdagodtam. Ezúton is szeretném kifejezni hálámat az MKE-nek a konferencián való részvételemhez nyújtott anyagi támogatást.

Cseri Levente
BrainVisionCenter

Vegyipari mozaik

Richter Érdemérem-pályázat. A Magyarországon dolgozó háziorvosok és gyógyszerészek legjobb pályaműveinek alkotói a szakmai elismerés mellett bruttó 2 millió forint díjazásban részesülnek. A jelentkezési határidő a háziorvosoknak október 4., a gyógyszerészeknek október 11.

A háziorvosok és a gyógyszerészek három kategóriában mutathatják be eredményeiket: Az év leghatékonyabb betegkommunikációja, Az év legjobb prevenció gyakorlata, Az év legkiemelkedőbb tudományos vagy innovációs munkája.

Részletes információk: <https://www.richtererdemerem.hu/>



AZ ELISMERÉS TÁPLÁLJA
A TUDOMÁNYT

MAVESZ-konferencia. A Magyar Vegyipari Szövetség éves konferenciáját 32. alkalommal rendezik meg 2026. október 7–8-án, és hagyományosan Egerben tartják.

A konferencián a hagyományoknak megfelelően nagy hangsúlyt kapnak a versenyképességi, a környezetvédelmi és a biztonságtechnikai témák, de rangos külföldi és kormányzati előadók segítségével bemutatják a résztvevőknek a vegyipar aktuális helyzetét, kihívásait is. Az elmúlt évekhez hasonlóan – de ezúttal a természettudományos oktatásra és szakképzésre hangolva – került be a programba a szakmai utánpótlás témaköre.

A konferencia tervezett programja: <https://mavesz.hu/wp-content/uploads/MAVESZ-Vegyipari-konferencia-program-2026.pdf>



Kísérleti eszköz kvantumos jelátalakításra. A HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatói nemzetközi együttműködésben (MOCA, Integrated Microwave to Optical Conversion on a Superconducting Atom Chip) sikeresen megépítettek egy olyan kísérleti rendszert, amely képes a mikrohullámú jelet a fény fotonjává alakítani. A kvantumtechnológia egyik kihívása, hogy a kvantumszámítógépek mikrohullámú jelekkel működnek, míg a kvantumkommunikáció optikai szálakon, fotonok segítségével történik. A projekt célja egy olyan kísérleti platform létrehozása volt, amelyben ultranagy vákuumban a hideg atomok közvetítik a mikrohullám (MW) és az optikai jelek közötti kölcsönhatást. „A kutatás alapját egy optikai rezonátor adja, amelyben lézerrel lehűtött rubídiumatomokat optikai dipólsapdában lebegtetünk, és az atom-foton kölcsönhatást kvantummechanikai szinten kontrolláljuk” – mondta Dombi András. Az atomok kvantumos állapotain keresztül az optikai és a mikrohullámú gerjesztések összehasonlíthatóak, így az atomok lehetővé teszik a nagyon eltérő hullámhosszú mezők hullámkeverési folyamatainak nagy hatásfokú megvalósítását.

A Wigner Fizikai Kutatóközpont kvantumoptika laboratóriumában megépített rendszer hosszú távon referencia- és validációs platformként szolgál majd, amelyen összehasonlítható és tesztelhető a nemzetközi partnerekkel készülő chip-alapú, integrált MW–optikai átalakító működése is. A projekt eredményei közvetlenül hozzájárulnak a kvantumkommunikációs és kvantumerzékelési technológiák fejlődéséhez, és alapot teremtenek új, nagy érzékenységu MW–optikai konverziós eszközök fejlesztéséhez. (<https://wigner.hu/hu/wigner-eszkozt-terveztek-quantumos-jelatalakitasra>)

Dobó Dorina összeállítása



MKE-HÍREK

Varázslatos Kémia nyári tábor – ELTE

Első ízben szerveztük meg a tábort az Eötvös Loránd Tudományegyetem Kémiai Intézetével közösen, július 27–31. között. A 9–10–11. osztályt végzett tanulók (összesen 54-en) a Richter-teremben és a SuperSmartLabben hallgattak előadásokat és kísérleteztek, délutánonként pedig laborlátogatásokon vettek részt a városban, többek között a Semilabban, a Bay Zoltán Kutatóközpontban és a Richter Gedeon Nyrt.-ben.

A tábor vezetői, Szabados Ágnes, Balterer Bence és Tarczay György, valamint a közreműködő előadók és segítők remek hangulatot teremtettek.



Varázslatos Kémia nyári tábor – Pannon Egyetem

Idén is volt Varázslatos Kémia tábor a Pannon Egyetem Mérnöki Karán, egy időben az ELTE-táborral, július 27–31. között. A tábor vezetője az Egyetem oktatója, Szabóné dr. Bárdos Erzsébet volt, akivel természetesen nem maradhatott el a „Vegyészkobold egy napja” látványos kísérleti bemutató. A 9–10. osztályt végzett tanulók (összesen 28-an) a szerves, szervetlen és analitikai laboratóriumban végeztek kísérleteket, és laborlátogatás keretében felkeresték a Balatoni Limnológiai Kutatóintézetet, de természetesen strandoltak is.



Köszönjük a Richter Gedeon Nrt. Varázslatos Kémia táborokhoz nyújtott támogatását!



RICHTER GEDEON
125 éve

European Symposium on Analytical Spectrometry (ESAS)

2026. augusztus 30. és szeptember 3. között a budapesti Ráday Házban valósult meg a kétévente megrendezett ESAS konferencia mintegy 150 személy részvételével. A konferencia két társelnöke Galbács Gábor (SZTE) és Mihucz Viktor (ELTE) volt.



FOTÓ: SZABÓ JÁNOS



HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXXI. No. 10. October

CONTENTS

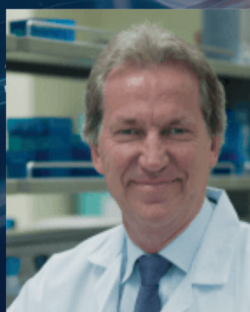
<i>The 1956 Nobel Prize in Chemistry</i>	282
ISTVÁN HARGITAI	
<i>I had the opportunity to work with young people who loved what they did. An interview with Professor Emeritus Imre Sóvágó</i>	285
TAMÁS KISS	
<i>Analysis of microplastics: From detection to holographic identification</i>	288
ZITA ZRÍNYI, RENÁTA GERENCSÉR-BERTA, BARBARA LACZÓ-DUBA, FRUzsina GRESINA, LÁSZLÓ ORZÓ, LÁSZLÓ NEMES, and ZARÁNDY ÁKOS	
<i>Membrane technology and sustainable development</i>	292
GYÖRGY SZÉKELY	
<i>Use of light in safety signs</i>	295
TAMÁS AGÁRDI	
<i>Technology transfer: the LynXes</i>	297
VERA SILBERER	
<i>On University of Tennessee. Part II</i>	301
GYÖRGY INZELT	
<i>A resounding Hungarian victory at IChTo 2026</i>	304
DÉNES BUZAFALVI	
<i>Obituary. Hommage à István Proder</i>	306
KATALIN NYÁRI	
<i>Book review. Careers of Female Researchers, Hungarian Academy of Sciences, 1949–2021</i>	307
ÁGNES KATHÓ	
<i>Chembits</i>	310
GÁBOR LENTE	
<i>Publication of the month</i>	312
<i>News of the month</i>	313

**SZERETETTEL VÁRJUK ÖNÖKET 2026/2027. ÉVI
ŐSZI-TÉLI RENDEZVÉNYEINKEN!**

31. ŐSZI RADIOKÉMIAI NAPOK

Bálatonszárszó, SDG Családi Hotel és Konferencia Központ

2026. október 12-14.



Meghívott előadó:

Christer Halldin

Professor of Medicinal
Radiochemistry
Karolinska Institutet
Department of Clinical Neuroscience
Stockholm, Sweden

KOZMETIKAI SZIMPÓZIUM 2026

Budapest – 2026. november 12.

ELTE Harmónia terem

Eötvös Loránd Tudományegyetem – 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

Vendégeinknek díjmentes parkolást biztosítunk az ELTE parkolójában



HUNGAROCOAT 2026

XIV. Nemzetközi Festékipari Kiállítás és Konferencia

2026. november 24-25.

Nyitvatartás: 9.00–17.00

A kiállítás a látogatók számára ingyenes, de regisztrációhoz kötött



LABORTECHNIKA KIÁLLÍTÁS

és

Analitikai Ankét 2027

2027. február 16-17.



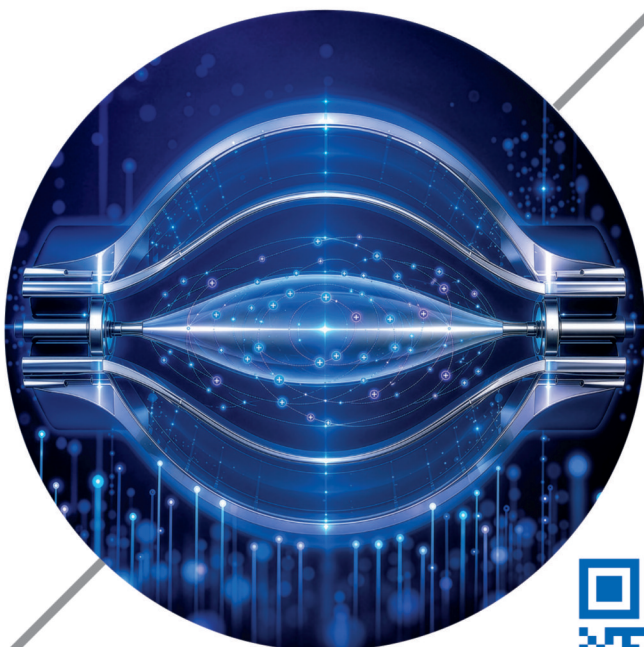
UNICAM

Magyarország Kft.

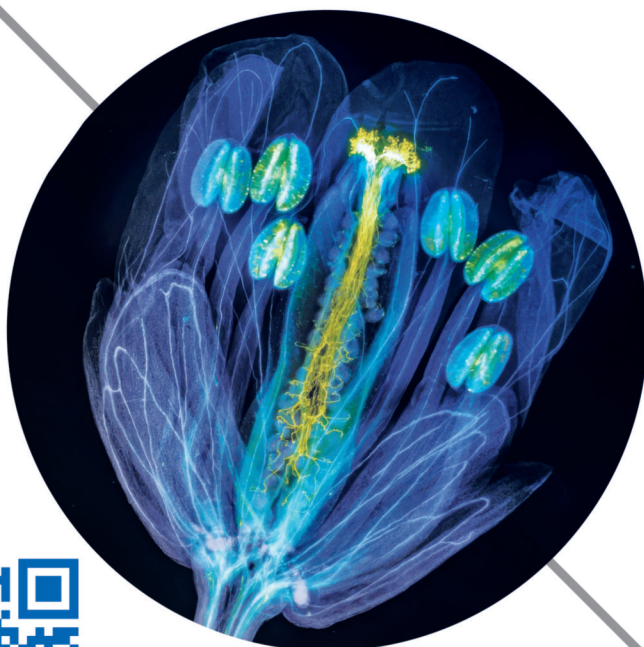
SZAKÉRTELEM

amelyre építhet

ANALITIKA



KÉPALKOTÁS



ÉLETTUDOMÁNY

ANYAGTUDOMÁNY

ThermoFisher
SCIENTIFIC

OLYMPUS

EVIDENT

TA
Instruments

HITACHI

SARTORIUS

LabTech

www.unicam.hu