

A TARTALOMBÓL:

- Napenergiát hasznosító, hidrogénalapú energiatárolás
- Az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny Erdélyben
- Hitelességi válság a tudományban: egy sztárkutató kimerítő vallomása



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXXX. ÉVFOLYAM • 2025. JÚNIUS • ÁRA: 1450 FT



Fenntartható
polimer
kompozitok
fejlesztése

A kiadvány
a Magyar Tudományos
Akadémia támogatásával
készült

LÉGY TE IS RÉSZESE A JÖVŐ VEGYIPARÁNAK!

ÉPÍTSD KARRIEREDET MÉRNÖK KARRIERPÁLYA
ÉS UP! TALENT PROGRAMUNK SEGÍTSÉGÉVEL!

A KÍNAI WANHUA CSOPORTHÓZ TARTOZÓ KAZINCBARCIKAI SZÉKHELYŰ BORSODCHEM ZRT. EURÓPA EGYIK PIACVEZETŐ MŰANYAG ALAP- ÉS SZERVETLEN VEGYIANYAG GYÁRTÓJA. TÖBB MINT 3200 FŐS MUNKAVÁLLALÓI LÉTSZÁMÁVAL MAGYARORSZÁG LEGJELENTŐSEBB MUNKÁLTATÓI KÖZÉ TARTOZIK. HÉT ÉVTIZEDES VEGYIPARI TAPASZTALATTAL AZ INNOVÁCIÓ ÉS A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS JEGYÉBEN CÉLUNK MINŐSÉGI ALAPANYAGOKAT BIZTOSÍTANI A MINDENNAPI ÉLETBEN NÉLKÜLÖZHETETLEN TERMÉKEKHEZ.

SZENVEDÉLLYEL MŰVELJÜK A KÉMIÁT, AMELY UTAT MUTAT SZÁMUNKRA AZ INNOVATÍV MŰANYAGIPARI MEGOLDÁSOK FELÉ. FÁRADHATATLANUL AZON DOLGOZUNK, HOGY A MINDENNAPOK KIHÍVÁSAIT LEKÜZDVE EREDMÉNYEINKET A TÁRSADALOM ÉS A KÖRNYEZET JAVÁRA FORDÍTSUK.

ÉLJ A VÁLLALATUNK ÁLTAL KÍNÁLT LEHETŐSÉGEKKEL, ÉS BIZTOS LEHETSZ BENNE, HOGY A LEGJOBB SZAKEMBEREK TÁMOGATÁSÁVAL, EGYEDI, INNOVATÍV TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSÁVAL SZEREZHETSZ NAPRAKÉSZ TUDÁST ÉS TAPASZTALATOT!

KÉPZÉSED A KARRIERED ALAPJA!

TANULJ JÓL, SZEREZZ GYAKOLATOT
ÉS ÉPÍTS KARRIERT A BORSODCHEMBEN!

-  3700 KAZINCBARCIKA, BOLYAI TÉR 1.
-  KEPZES@BORSODCHEM.EU
-  KARRIER.BORSODCHEM.EU
-  BORSODCHEM.COM



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXX. évf., 6. szám, 2025. június



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, FÁBIÁN ISTVÁN,
GREINER ISTVÁN, HANCSÓK JENŐ,
KALÁSZ HUBA, KISS TAMÁS,
MERNYÁK ERZSÉBET, SKODÁNÉ
FÖLDES RITA, ifj. SZÁNTAY CSABA,
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
ügyvezető igazgató

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete
Az előfizetési díjak befizethetők a CIB Bank
10700024-24764207-51100005 sz.
számlájára „MKL” megjelöléssel
Előfizetési díj egy évre 15 950 Ft
(MKE-tagoknak: 9000 Ft)
Egy lapszám ára: 1450 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
(<https://mkl.mke.org.hu/>) olvashatók

Index: 25 541
HU ISSN 0025-0163 (nyomtatott)
HU ISSN 1588-1199 (online)
<https://doi.org/10.24364/MKL.2025.06>

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



A júniusi lapszám ezúttal is ígéretes olvasnivalókat tartogat, amelyek mind-egyike valamilyen módon a kutatáshoz kapcsolódik. Talán nem véletlen, hogy ez időről időre a figyelem középpontjába kerül, akár a tudományos kutatások globális hasznáról, akár az alap- és alkalmazott kutatások értelmetlen szembeállításáról van szó.

Az Ibériai-félsziget elektromos hálózatának áprilisban bekövetkezett szinte teljes összeomlása intő példa arról, hogy mennyire sérülékeny civilizációban élünk. Az említett katasztrófa pontos okainak kiderítése még hosszú időt vesz igénybe, de annyi már most is látható, hogy az energiahálózatok diverzifikálása komoly kihívásokat tartogat. A hálózat ki- és bemeneti ingadozásainak csillapítására szegedi kémikusok napenergiát hasznosító, hidrogén-alapú energiatároló technológiát fejlesztettek. Most megjelenő írásuk szerint az eljárás lényege, hogy a napelemekben keletkező, az adott pillanatban a hálózat számára „fölösleges” energiát vízelektrolízisre használják, és így a megújuló villamos energiát hidrogén formájában tárolják.

A kutatás emberi oldalát két írás is jól szemlélteti. Toldy Andrea, az MTA–BME Lendület Kutatócsoportjának vezetője interjúban vall pályájáról, az égésgátló polimerek fejlesztésében elért szakmai sikereiről, amelyek nemzetközi vállalatok érdeklődését is felkeltették. A sokrétű kutatómunka, utánpótlásnevelés és a családi élet összehangolása elgondolkodtató példa mindenki számára.

Egy könyvbemutató kapcsán Szabó Csaba, jelenleg Svájcban dolgozó farmakológus tudományetikával és a tudományos kutatás működésével kapcsolatos gondolataival ismerkedhetünk meg. A szerző Elpazarolt orvostudomány. Hiteltelen kutatók, megbízhatatlan kísérletek című könyve nem csupán az orvosi kutatások árnyoldalait mutatja be, hanem olyan jelenségekre világít rá, amelyek más tudományágakban sem ismeretlenek. A rendkívül gazdag mű számos témája közül érdemes kiemelni azt, hogy a kutatási pályázatok bírálatát mélyen áthatja az a soha nem igazolt hit, hogy az egyes pályázatokat – vagy hazánkban sokkal inkább a pályázókat – sorba lehet állítani kiválóság szerint. Erről számos kutatónak vannak keserű tapasztalatai, elég csak a hazai fejlesztésű tudományetria.com adatbázis bornírt egyszerűségű és pusztító hatású alkalmazására gondolni. A másik ilyen emlékeztető pont a könyvben az a rész, amely a tudományos etikai vétségekben az intézményi felelősséget kéri számon.

A tudománytörténet két írásban is megjelenik. Hargittai István a molekulák és ionok geometriai torzulását leíró, a szilárdtestfizikában és a szerkezeti kémiában kitüntetett helyet elfoglaló Jahn–Teller-hatás felfedezésének keletkezését ismerteti, személyes élményekkel kiegészítve.

A fizikai kémia történetének fáradhatatlan krónikása Inzelt György. A Nernst-egyenletről szóló írása az elektrokémia alapvető összefüggésének vizsgálatát tárgyalja, nem elhallgatva azt sem, hogy Nernst-nek téves elképzelései is voltak ezzel kapcsolatban. Ugyanakkor bizonyosan nem ez volt az oka annak, hogy Nernst sajátos rekordot állított fel a Nobel-díjjal, hiszen őt 1906 és 1921 között nem kevesebb, mint 76 kutató jelölte a díjra (számosan több alkalommal), amit végül 1921-ben meg is kapott. Ha valaki további furcsaságokra is kíváncsi a túlértékelt Nobel-díjjal kapcsolatban, annak Hargittai István könyve (Út Stockholmba – Tudósok és Nobel-díjak. Galenus Kiadó, 2004) kitűnő útmutató.

2025. június

Kovács Lajos

Kovács Lajos
tudományos főmunkatárs
Szegedi Tudományegyetem

TARTALOM

VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY

Endrődi Balázs, Szén István, Bakos Imre, Kádár Krisztina, Janáky Csaba:

Innováció és fenntarthatóság: napenergiát hasznosító, hidrogénalapú energiatároló technológia fejlesztése Bükkábrányban és a Szegedi Tudományegyetemen 166
Dinamikus átrendeződések. Beszélgetés Toldy Andreával 169

KÖZOKTATÁS – TANÁRI FÓRUM

Majdik Kornélia, Gál Emese: Az Irinyi János Országos Középiskolai

Kémiaverseny Erdélyben 173

KÖNYVISMERTETÉS

Lente Gábor: Hitelességi válság a tudományban: egy sztárkutató kimerítő vallomása (Szabó Csaba: Elpazarolt orvostudomány) 176

KITEKINTÉS

Hargittai Magdolna, Hargittai István: „Jahn–Teller” 179

Inzelt György: Kiről nevezték el? A Nernst-egyenlet. Első rész 183

VEGYÉSZLELETEK

Lente Gábor rovata 188

A HÓNAP KÉMIAI PUBLIKÁCIÓJA 190

A HÓNAP HÍREI 192



Címlapunkon:
Fenntartható polimer
kompozitok fejlesztése
(lásd a Toldy Andreával
készült interjút)

Endrődi Balázs¹–Szén István²–Bakos Imre²–Kádár Krisztina¹–Janáky Csaba¹¹ Szegedi Tudományegyetem² Bükkábrányi Fotovoltaikus Erőmű Kft.

Innováció és fenntarthatóság: napenergiát hasznosító, hidrogénalapú energiatároló technológia fejlesztése Bükkábrányban és a Szegedi Tudományegyetemen

Az Európai Unió klímacéljai, különösen a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére és a karbonsemleges gazdaság megteremtésére irányuló törekvések kulcsszerepet játszanak a hidrogénalapú technológiák fejlődésében. A hidrogén technológiai jelentősége abban rejlik, hogy hozzájárulhat a nehézipar és a szállítási szektor dekarbonizációjához, miközben lehetőséget kínál az időszakosan elérhető megújuló energia hatékony tárolására. Az EU olyan szakpolitikai eszközökkel támogatja a hidrogénteknológiák fejlesztését, mint a „nettó zero” technológiai termékek európai gyártási ökoszisztémájának megerősítését célzó rendelet (Net-Zero Industry Act), amely keretet biztosít az ipari zöldhidrogén-termelés számára.

Ezen célok eléréséhez járul hozzá „A bükkábrányi naperőmű megújuló áramtermelését hasznosító innovatív energiatároló technológia fejlesztése” című, 2020-3.1.2-ZFR-KVG-2020-00003 azonosító számú projekt, mely során egy innovatív energiatárolási megoldást fejlesztettünk ki a Bükkábrányi Fotovoltaikus Erőmű Projekt Kft. és a Szegedi Tudományegyetem együttműködésében. A projekt során egy 22 MWp csúcsteljesítményű naperőműhöz kapcsolt, 1 MW-os protoncseres-membrános (PEM) elektrolízisrendszert telepítettek, amely az időszakosan rendelkezésre álló megújuló villamos energiát hidrogén formájában tárolja. Ez a „power-to-gas” (P2G) technológia nemcsak a hálózati termelési ingadozások kezelésére nyújt megoldást, hanem elősegíti a megújuló energiaforrások maximális kihasználását is. Ezenkívül elkészült a hidrogén gazdaságos, palackos értékesítéséhez szükséges nyomásfokozó rendszer, valamint a teljes technológia biztonságos és szabályos üzemelését lehetővé tevő infrastruktúra.

A projekt kutatási fókuszja kiterjedt számos, a pilot üzem működése szempontjából kulcsfontosságú területre, ilyenek a teljes folyamat szerződéses rendszere és gazdasági környezete, az energikonverziós folyamatok, a mérési és adattovábbítási rendszer, a jogszabályi környezet, a PEM elektrolizáló berendezések szakaszos működésének technológiai kihívásai (beleértve a nyomás-, hőmérséklet- és reakciósebesség-ingadozások hatásait, valamint az anyagok degradációja a megállítási-újraindítási ciklusok során). A PEM vízelektrolizálók előnyei közé tartozik a dinamikus működés lehetősége, a viszonylag egyszerű felépítés, a hosszú élettartam és a méretnövelhetőség. Az új technológia képes az elektromos hálózati termelés ingadozásainak kezelésére, ami nagymértékben elősegítheti a fosszilis tüzelőanyag-alapú ener-

giatermelésről a megújuló villamosenergia-rendszerre való átalálást. [1,2]

A megújuló erőművek tulajdonosait komoly pénzbüntetés terheli, ha az erőmű által termelt villamos energia mennyisége eltér az előre jelzett ütemezéstől. Amennyiben a fotovoltaikus erőmű kevesebb energiát állít elő a vártnál, pozitív szabályozási igény merül fel. Ezzel szemben ha a tényleges termelés meghaladja az előre jelzett értéket, negatív szabályozási szükséglet lép fel. Ez utóbbi esetben a vízelektrolizáló rendszer alkalmazása hatékony megoldást nyújthat az energiatermelési különbségek kezelésére. [3,4] Emellett számos egyéb forgatókönyv (pl. csak ütemezés, ütemezés + a szabad piacon értékesíthető villamosenergia-fogyasztás kombinálása, hálózati villamos energia felhasználása stb.) mentén hasznosíthatja a villamos energiát a vízelektrolizáló rendszer, melyek esetében eltér a rendszer kihasználtsága, így a megtermelt hidrogén ára is.

A projekt megvalósítása során részletes techno-ökonómiai legű elemzés készült, több forgatókönyv mentén. Az elemzés rámutatott arra, hogy a hidrogén előállítási költsége függ az üzemeltetési protokolltól és az előállított mennyiségtől, valamint a felhasznált elektromos áram áráról. A projekt során létrehozott technológiában – az elektrolizáló rendszer és a naperőmű paramétereinek figyelembevételével – a vízelektrolizáló alkalmazásával, historikus adatok alapján, éves átlagban körülbelül 40%-os menetrendeztől való eltéréscsökkenés érhető el. Az elvégzett hatásvizsgálat szerint a kapacitás növelésével a költségek csökkenthetők, míg a villamos energia szabadpiaci ára jelentős mértékben befolyásolja az optimális kihasználást.

A PEM vízelektrolizálók működése leegyszerűsítve: a berendezések ionmentes vízből hidrogént és oxigént állítanak elő, ezeket a gázokat membrán választja el egymástól. Ezen az ioncserélő membránon keresztül történik az ionvezetés, kizárólag az anódon képződő H^+ -ionok katód felé haladásával.

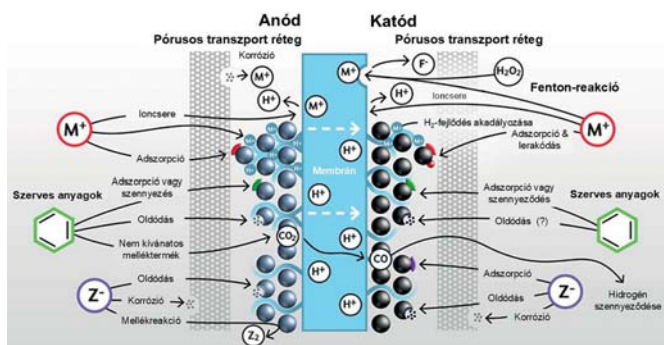
A működésnek ezt a végletekig egyszerűsített leírását azonban számos egyéb hatás árnyalja, melyek közül a fontosabbak:

- A H_2 és O_2 termékgázok egyaránt áthatolnak a membránon, ezért a termékek soha nem 100%-os tisztaságúak.
- A különböző gázok membránon való átjutása erősen függ a működési paraméterektől, mint amilyen a hőmérséklet, a nyomás és az áramsűrűség.
- A H^+ -transzport mindig vízázállítással együtt történik, ezért nagy mennyiségű víz kerül az elektrolizáló katód cellaterébe.



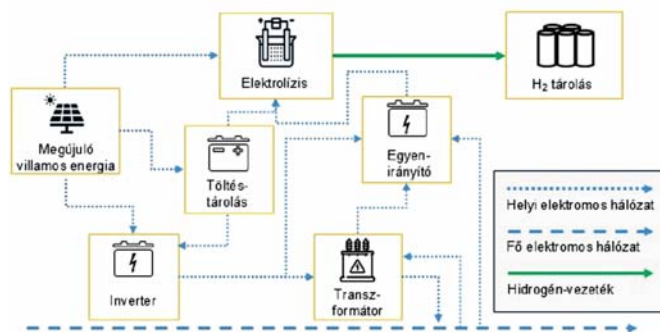
- A katalizátorok, a cella hardverének és/vagy magának a rendszernek a korróziójából származó fémionok elérhetik a membránt, és átjuthatnak a katódra. Ezek későbbi lerakódása az elektrokémiai aktivitás csökkenéséhez, a cellafeszültség növekedéséhez vezet.
- Az ilyen fémionok (kvázi) irreverzibilisen kötődhetnek a membrán töltött csoportjaihoz, ezáltal csökken a vezetőképesség és nő a cella feszültsége.
- Amikor a rendszer nyitott áramköri körülmények között indul, a katalizátorok felülete (és esetleg több cella szerkezeti eleme) oxidálódik vagy redukálódik.
- A buborékképződés sebessége és a képződő buborékok mérete a kísérleti paraméterektől függ. Ez befolyásolja eltávolításuk hatékonyságát.
- Helyi melegedés léphet fel részben az eldugult elektródfelület, a szerkezeti tökéletlenségek vagy egyéb okok miatt. Ez lokális katalizátor- és membrán-túlhasználatához, majd ezt követő membrán-eltérőnyodáshoz vezethet.

Ezek a hatások jól ismertek az elektrolizálógyártók számára, így a rendszerek ezek figyelembevételével tervezik, minden rendszerelemet specifikusan az adott elektrolizálóhoz választva és méretezve. Ezenkívül részletes specifikációt adnak a felhasználók számára, hogy milyen körülmények között lehet hosszú távon is stabilan üzemeltetni a rendszert. Még ilyen körülmények között is számos degradációs mechanizmus vezet együtt az elektrolizáló-cellakötegek fokozatos öregedéséhez (1. ábra). A degradációs utak jelentősége nagyban nőhet a megújuló energiaforrás közvetlen felhasználása okozta dinamikus üzemeltetés esetén. A gyakori (naponta legalább egy-egy) leállás és újraindítás, [5,6] az ebből adódó terméktisztaság-romlás, a hőmérséklet-fluktuáció, [7] az elektrolízis során képződő buborékok hatása, [8] valamint a rendszerkomponensek bomlástermékeinek felhalmozódása [9] gyorsabb degradációt, költségesebb hidrogéntermelést eredményez.



1. ábra. PEM vízelektrolizálók degradációjának lehetséges mechanizmusai [10]

A PEM elektrolizálócellák dinamikus üzemeltetése számos technológiai és gazdasági kihívást hordoz. A gyakori leállások és újraindítások nem optimális működést eredményeznek, ami felgyorsíthatja a cellák öregedését, ezáltal növelve a rendszer karbantartási és beruházási költségeit. Emellett a dinamikus működés során a hidrogén tisztaságának fenntartása nagyobb energiaigényt von maga után, és jelentős veszteséggel valósul meg a folyamatos, optimális működéshez képest. Az optimális üzemeltetés érdekében a naperőmű-vízelektrolizáló-hidrogéntároló rendszer működése során kiemelt figyelmet szükséges fordítani a PEM vízelektrolízis rendszerének folyamatos működtetésére és legnagyobb mértékű kihasználására.



2. ábra. Néhány naperőmű-vízelektrolizáló csatlakoztatási lehetőség sématisztikus folyamatábrája

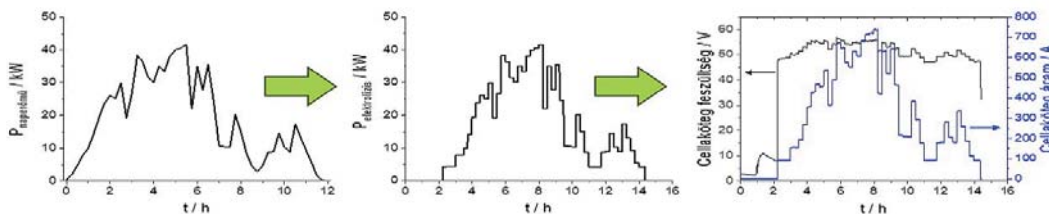
A legkézenfekvőbb üzemeltetési mód, amit a jelenleg telepített vízelektrolizáló rendszerek többsége alkalmaz, a fő elektromos hálózatról való közvetlen üzemelés, míg az ezekhez tartozó megújuló villamosenergia-erőmű is erre csatlakozik. Így a két technológia csak közvetetten, többnyire csak pénzügyi szempontból integrálódik. Ezenkívül számos más integrációs lehetőség kínálkozik (2. ábra), beleértve a két rendszer közvetlen csatlakoztatását (szükség esetén egy megfelelő DC-DC konverteren keresztül). Ez utóbbi megoldást nevezhetjük a vízelektrolizáló szigetüzem jellegű működésének. A megújuló energiatermelés ingadozása ebben az esetben közvetlenül befolyásolja az elektrolizáló teljesítményét. Ezt a hatást (kisméretű) töltéstároló(k) integrálásával vagy a megtermelt villamos energia többszörös inverziója/átalakítása révén csökkenthetjük, de ezek a lépések általában energiavesztéssel járnak.

Ezen hatások tudományos alapossgú vizsgálatára a Szegedi Tudományegyetem Energetikai Innovációs Tesztállomásán (3. ábra) a bükkábrányi beruházással párhuzamosan megépült egy hasonló technológia, ami egy 50 kW-os névleges teljesítményű, napkövető panelekből álló naperőműből, valamint egy szintén 50 kW maximális bemeneti teljesítményű PEM vízelektrolizáló rendszerből áll. Ez a kisebb méretű pilot rendszer lehetővé teszi a dinamikus ingadozó megújuló energiatermelés hatásainak vizsgálatát, megalapozva az 1 MW-os elektrolizáló rendszer optimális működtetését. A rendszeren lehetőség nyílik a különböző működtetési módok közvetlen összehasonlítására a terméktisztaság, az energiahatékonyság, a kihasználtság szempontjából.



3. ábra. Az SZTE Energetikai Innovációs Tesztállomás madártávlatból

A hatásvizsgálat első lépése a telephelyen működő naperőmű adott napi teljesítményprofiljának cellaköteg-teljesítményprofiljává való konvertálása, majd az elektrolízis ilyen körülmények közötti



4. ábra. A megújuló energiatermelés ingadozásának hatás-vizsgálata az elektrolízis teljesítményére

végrehajtása volt (4. ábra). A mérések során a cellaköteg stabilan működött, a termelt hidrogén tisztasága pedig végig 99,95% vagy afölötti volt. A kísérletek következő lépése az időfelbontás növelése (az ábrán mutatott mérés esetében 15 perces), majd a naperőmű által termelt energia valós idejű konverziója (DC-DC konverzió) és annak elektrolízisre való felhasználása lesz.

Az átfogó kutatás és megközelítés célja, hogy példaként szolgáljon a megújuló energiaforrásokat integráló, fenntartható és gazdaságos energiaátmenet megvalósítására. A bükkábrányi projekt keretein belül elért technológiai eredmények és generált tudásbázis nemcsak Magyarország versenyképességét erősíthetik a hidrogénalapú energiarendszerek területén, hanem hozzájárulhatnak az EU klímacéljainak megvalósításához is.

IRODALOM

- [1] Hirth, L., Ziegenhagen, I., Balancing power and variable renewables: Three links. Preprint at Elsevier Ltd., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.180>
- [2] Al-Shetwi, A.Q., Hannan, M.A., Jern, K.P., Mansur, M., Mahlia, T.M.I. (2020). Grid-connected renewable energy sources: Review of the recent integration requirements and control methods. Preprint at Elsevier Ltd., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119831>
- [3] Zsiboracs, H., Vincze, A., Pinter, G., Baranyai, N.H., The Accuracy of PV Power Plant

Scheduling in Europe: An Overview of ENTSO-E Countries. IEEE Access (2023) 11, 74953–74979. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3297494>

- [4] Zsiboracs, H., Pinter, G., Vincze, A., Birkner, Z., Baranyai, N.H., Grid balancing challenges illustrated by two European examples: Interactions of electric grids, photovoltaic power generation, energy storage and power generation forecasting. Energy Reports (2021) 7, 3805–3818. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.007>
- [5] Janjua, M., Leroy, R., Electrocatalyst performance in industrial water electrolyzers. Int J Hydrogen Energy (1985) 10, 11–19. [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(85\)90130-2](https://doi.org/10.1016/0360-3199(85)90130-2)
- [6] Guruprasad, N., van der Schaaf, J., de Groot, M.T., Unraveling the impact of reverse currents on electrode stability in anion exchange membrane water electrolysis. J Power Sources (2024) 613. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234877>
- [7] Rauls, E., Hehemann, M., Keller, R., Scheepers, E., Müller, M., Stoltz, D. Favorable Start-Up behavior of polymer electrolyte membrane water electrolyzers. Appl Energy (2023) 330. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120350>
- [8] Yuan, S., Zhao, C., Cai, X., An, L., Shen, S., Yan, X., Zhang, J. Bubble evolution and transport in PEM water electrolysis: Mechanism, impact, and management. Preprint at Elsevier Ltd., 2023. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101075>
- [9] Staerz, A.F., van Leeuwen, M., Priamushko, T., Saatkamp, T., Endrődi, B., Plankenstein, N., Jobbagy, M., Pahlavan, S., Blom, M.J.W., Janáky, C., et al., Effects of Iron Species on Low Temperature CO₂ Electrolyzers. Preprint at John Wiley and Sons Inc, 2024. <https://doi.org/10.1002/anie.202306503>
- [10] Becker, H., Murawski, J., Shinde, D. V., Stephens, I.E.L., Hinds, G., Smith, G., Impact of impurities on water electrolysis: a review. Preprint at Royal Society of Chemistry, 2023. <https://doi.org/10.1039/d2se01517j>

Hogyan érhető el a nettó nulla kibocsátási cél a nehezen szén-dioxid-mentesíthető iparágakban?

Ahogy a világ egyre gyorsabban halad az alacsony szén-dioxid-kibocsátású jövő felé, úgy egyre nagyobb nyomás nehezedik a nehéziparra, hogy dekarbonizálja működését. Az ABB gépipari konzern és a Fraunhofer IP közös jelentése betekintést nyújt az öt, nehezen dekarbonizálható ágazat (vas- és acélgégyártás, cementgyártás, vegyipar, bányászat, olaj- és gázipar) kibocsátáscsökkentési trendjeibe, és gyakorlati, rövid és hosszú távú megoldásokat javasol az ipari dekarbonizálás összetett problémakörével szembesülő vállalkozások számára.

Az ipari ágazat jelenleg a világ összes üvegházhatásúgáz-kibocsátásának mintegy 29%-áért felelős. A kibocsátáscsökkentés gyakorlati útjai már rendelkezésre állnak, amiben az energiahatékonyság és az elektrifikáció kulcsszerepet játszik. Szintén jelentős lehetőség rejlik a villamos hajtásokban és a motorokban – jelenleg a világ ipari motorjainak mindössze 23%-a van hajtással felszerelve. Pedig ha a hajtást egy meglévő motorral kombinálják olyan alkalmazásokban, mint a szivattyúk, ventilátorok vagy kompresszorok, a hajtás általában akár 25%-kal is csökkentheti az energiaszükségletet.

Az elemzés meghatározza a legnagyobb károsanyag-kibocsátású folyamatokat az egyes ipari ágazatokon belül, majd kiemeli azokat a technológiákat, amelyek csökkenthetik ezek károsanyag-kibocsátását. Különösen a kulcsfontosságú megoldásokra összpontosít: a technológiai fűtési folyamatok villamosítására, a szén-dioxid-leválasztásra és a hidrogénre. A szén-dioxid-mentesítésre nincs csodafegyver, de vannak könnyen elérhető megoldások. Ez a jelentés megkönnyíti a cégvezetők számára a célhoz vezető legjobb út kiválasztását.

Az olaj- és gázipar fokozza a szivárgások csökkentésére és a folyamatok villamosítására irányuló erőfeszítéseit – ezek a kulcsfontosságú intézkedések jelentős előrelépést jelentenek a szén-dioxid-mentesítés irányába. Ennek eredményeképpen csökken az üzemanyag-fogyasztás, ami az égetésből származó alacsonyabb károsanyag-kibocsátáshoz vezet. Az ágazat olyan alternatív üzemanyagokat is vizsgál, mint a hidrogén. Hasonlóképpen, a vas- és acélgépgyártás is olyan technológiákat alkalmaz, mint például a közvetlen redukciós vasgyártás és az elektromos ívkemencék, amelyek a hagyományos termelési módszerekhez képest alacsonyabb kibocsátású alternatívákat kínálnak. A vegyiparban az alacsony hőmérsékletű alkalmazások, például a hőszivattyúk használata lehetőséget kínál a hatékonyság növelésére és a kibocsátás csökkentésére. Az elektrifikáció a bányászat és a cementipar szén-dioxid-mentesítésében is lehetőség kínál. E két iparágban a berendezések széles skáláját lehet villamosítani – beleértve az összes új és régi bányászati teherautót, szállítójárművet, szállítószalagot, aprítógépet, zúzóművet és szivattyút.

Az ABB és a Fraunhofer közös jelentése rámutat arra, hogy az ipari dekarbonizáláshoz vezető út összetett, de már ma is léteznek megvalósítható megoldások. Az elektrifikáció, az energiahatékony technológiák és az alternatív tüzelőanyagok alkalmazásával az iparágak csökkenthetik a kibocsátást, miközben növelhetik a hatékonyságot és a versenyképességet. A jelentésből feltáruló megfigyelések és felismerések világos úttervet nyújtanak a vállalkozások számára a fenntartható átalakítás elősegítéséhez és az alacsony szén-dioxid-kibocsátású jövő előmozdításához.



Dinamikus átrendeződések

Beszélgetés Toldy Andreával

Toldy Andrea a Műegyetem Polimertechnika Tanszékének munkatársa, 2022 óta Gábor Dénes-díjas egyetemi tanára. 2023-ban alapította meg az MTA–BME Lendület Fenntartható Polimerek Kutatócsoportot, tavaly elnyerte a Magyar Érdemrend Tisztikereszt polgári tagozat kitüntetését. Projektjei, megbízatásai, díjai sorát a honlapján olvashatják, most csak azt emeljük ki, hogy „kutatási területe felöleli a polimer kompozitok teljes életciklusát az új, innovatív polimerek és környezetbarát adalékok fejlesztésétől kezdve, a korszerű gyártástechnológiáikon és átfogó minősítésükön át, egészen az értéknövelő újrahasznosításukig”.

Sok minden történt az utóbbi években, de még a felületes szemlélőnek is kirajzolódik az életrajzából, hogy szinte mindig változódtak az események a környezetében. Kisiskolás korában tört ki a délszláv háború, és a Vajdaságból Szegedre költöztek.

Ott egyik pillanatról a másikra föl kellett nőni. Akkor jártam negyedikbe, de szerintem mindennel teljesen tisztában voltunk. Nagyon élesen emlékszem a részletekre. Egy adott ponton a szüleim úgy döntöttek, hogy nem várják meg a következő katonai behívót, hanem átköltözünk Magyarországra. Édesapám transzfuziológus orvos volt, a szegedi egyetemen kapott munkát. Először barátoknál laktunk, mert a szüleimnek szinte az egész baráti köre addigra átköltözött Szegedre. Ott jártam utána általános iskolába, később gimnáziumba.

„Otthon” magyar vagy szerb iskolába járt?

Magyarba. Eleinte Magyarcsernyén laktunk, ott csak magyar iskola van, utána az édesapám munkája miatt költöztünk Nagybcskerekre, de ott is magyar iskolába jártunk. Magyar az anyanyelvem. Kisebbségként, azt hiszem, nagyon jó helyzetben voltunk Vajdaságban: tíz gyereknek már nyitottak magyar nyelvű tagozatot. Előremutató kisebbségi törvények voltak, talán a titói Jugoszlávia örökségeként, és szerintem még ma is azok.

Az iskolaváltás így sem lehetett könnyű, hiszen még ugyanabban a városban sem az.

Nagyon jó kémiatanárnőm volt a tanárképző főiskola gyakorló iskolájában, Péntek Lászlóné, Ágota, aki mindig támogatott és ösztönzött. Ez volt az egyetlen tantárgy, amit Szegeden kezdtem el tanulni, így semmilyen hátrányt nem kellett ledolgoznom az eltérő tantervek miatt. Az ő mentorálásával 8. osztályban megnyertem az országos Curie Kémia Emlékversenyt. De már korábban is nagyon érdekelt a kémia: édesapám még gyerekkorában kapott egy jutalomkönyvet az iskolában – az volt a címe, hogy *Játsszunk kémiát!* –, én pedig azt bűjtöttem, és a fizikatanártól, aki egyben kémiatanár is volt, kértem vegyszereket, hogy ott-hon kísérletezhessenek.

Az általános iskolából egyenes út vezetett „Meleg Pista” legendás kémia tagozatára a Radnóti Miklós Gimnáziumba. Akkor még sok minden érdekelt, de eljöttem a Műegyetem Vegyészmérnöki Karának nyílt napjára, és nagyon megtetszett az itteni légkör, a gyakorlatorientáltság, ezért döntöttem a vegyészmérnöki képzés mellett.



FOTO: MOLNÁR KOLOS

Rögtön a műszaki megoldások érdekelték, nem a hagyományosabb gyógyszerfejlesztés?

Igen, már kezdetben is a műszaki megoldások vonzottak. Érdekesnek találtam, hogy a vegyészmérnöki megközelítés nemcsak a molekulák szintjén vizsgálja a folyamatokat, hanem azok ipari megvalósítására és optimalizálására is fókuszál. Ez a gyakorlati szemlélet állt hozzám közelebb.

Keglevich György mosolyogva említette, hogy a diákköröse volt.

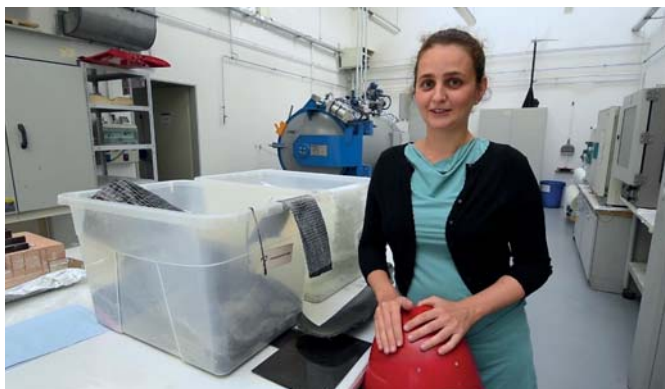
Elég korán bekapcsolódtam a kutatómunkába, és akkor is az a szempont vezérelt, hogy ne a fióknak fejlesszek, hanem legyen valamilyen alkalmazás. Úgyhogy azokat az égésgátló molekulákat, amelyeket előállítottunk, a gyakorlatban is hasznosítottuk, még az egyetemi évek alatt. Ennek a folytatása lett a PhD-munka Marosi Györgynél. Abból született egy szabadalom is, és azt az anyagot, amit akkor fejlesztettünk, most vizsgálja be egy cég, már várjuk az eredményeket. Hát ha ilyen hosszú Csipkerózsika-álmom után gyártani fogják, és kereskedelmi forgalomba kerül.

Mit „tud” ez az anyag?

A szabadalom egy egyszerű, környezetbarát szintézismódszerre vonatkozik, amellyel olyan foszfortartalmú égésgátlókat lehet előállítani, amelyek térhálósítóként is működnek, azaz reaktív égésgátlók.



FOTÓ: SZEBÉNYI GÁBOR



A Lányok Napján

Ezek szerint még tűz nélkül is hasznát veszik a vegyületüknek.

Igen, az additív égésgátlóktól eltérően a reaktív égésgátlók reakcióba lépnek a polimerrel, és mivel beépülnek a rendszerbe, nem migrálnak ki a használat során a polimer felületére, ezáltal kicsit stabilabbak.

Marosi György korábban mesélte, hogy az égésgátlás kutatása mellett megjelentek a palettájukon a gyógyszerformuláláshoz kapcsolódó fejlesztések és persze a biopolimerek.

Én főleg térhálós rendszerek, epoxigyanták kutatásával foglalkoztam, illetve foglalkozom a mai napig. De volt egy európai uniós kutatási pályázatunk, amelyben megújuló forrásból fejlesztettünk cukoralapú biogyantákat.

Gondolom, nem kristálycukorból.

A szintézisek glükózból indultak ki, de az alapvető célunk az volt, hogy a biogyanták előállítása ne csökkentse az élelmiszer-termelésre rendelkezésre álló földterületeket, hanem – fenntartható módon – a meglévő mezőgazdasági hulladékokat hasznosítsa.

A PhD-fokozat megszerzése után átkerült a Polimertechnika Tanszékre, és talán eltolták a hangsúlyok.

A Szerves Kémia és Technológia Tanszék és a Polimertechnika Tanszék gyakran közösen dolgozott együtt különböző kutatási területeken, mert jól kiegészítik egymást a kompetenciáink, ami nagyon előnyös. Amikor befejeztem a doktori képzést, a Vegyészmérnöki Karon létszámstop volt, de a két tanszék közösen elnyert egy európai uniós pályázatot polimerek értéknövelő újrahasznosítására. A Polimertechnika Tanszéken akkoriban nem volt olyan kolléga, aki megfelelő tapasztalattal rendelkezett volna az európai uniós pályázatok vezetésében, úgyhogy 2008-tól én lettem a „hídember”.

Hogyan egészíti ki egymást a kétféle kompetencia?

Az anyagtudományi területnek rendszerint anyagfejlesztési része is van, például új anyagokat, új adalékokat állítunk elő, másrészt megjelenik a műszaki fejlesztés, például a kompozitok előállítása, mert az új epoxigyantákból vagy az új adalékokból szálerősített kompozitokat állítunk elő. Egy projektben sokszor egy vegyészmérnök és egy gépészmérnök hallgató dolgozik párban, és mindenki azt csinálja, amihez jól ért, amit szeret, ugyanakkor együtt is dolgoznak és beletanulnak kicsit a másik szakmájába. Ha később az iparban dolgoznak, szót tudnak majd érteni a partnerterület szakértőivel.

Milyen „értéknövelő újrahasznosítást” javasoltak az első munkában?

Ezt a pályázatot az újrahasznosítás hőskorában írták ki, amikor elég kevés információ állt még rendelkezésre erről a területről, ezért először az ipari szereplők igényeit mértük fel: hol tudnának újrahasznosított anyagokkal dolgozni, milyen alapvető követelményeket kell ehhez teljesíteni. Például az olvadákfolyási indexnek állandónak kell maradnia, különben a reciklátum nehezen építhető be a termelésbe. Emellett fejlesztettünk is: számos ipari projektpartnerrel kaptunk különböző hulladékokat, akár autóiipari vagy elektronikai hulladékot, és kidolgoztunk egy analitikai, főként spektrometriai módszert az egyes sűrűségfrakciók hatékony azonosítására, mert az értéknövelt újrahasznosításhoz nem felel meg a vegyes hulladék. Meghatároztuk azokat a határokat, ahol sűrűség szerint érdemes elválasztani a hulladékokat, és utána úgy fejlesztettünk termékeket, hogy kihasználtuk az egyes frakciók előnyeit. Itt bejött az égésgátlás is, mert csináltunk olyan szendvicskompozitot, amelynek a felületi rétege égésgátló volt, a belső réteg másik sűrűségfrakcióból készült, és még szálerősítést is adtunk hozzá. Készítettünk például egy ajtónyitó kilincset, amely teljes mértékben újrahasznosított polimerből épült fel.

A következő években repüléstechnikai fejlesztéseket célzó EU-s pályázatokat is elnyertünk.

A Clean Sky programról már többször hallhattunk. Hogyan hirdetik meg a témákat, hogyan találkoznak a fejlesztők és a megrendelők?

Az Európai Unió és a repüléstechnikai iparág szereplői közösen finanszírozzák a Clean Sky programot, amelynek keretében célzott kutatás-fejlesztési pályázatokat hirdetnek meg. A nagy ipari vállalatok és más érintett szereplők meghatározzák a megoldatlan technológiai kihívásaikat – például olyan fejlesztési feladatokat, amelyekhez nem áll rendelkezésükre elegendő erőforrás vagy szakértelem. Ezekhez időkeretet és elérhető támogatási összeget rendelnek, majd nyílt pályázatot írnak ki. A felhívásokra önállóan vagy kisebb konzorciumokban is lehet pályázni. A két tanszék két pályázatot nyert meg együtt, és nagyon sikeresen kooperáltunk.

Mi volt a feladat?

Az Airbus Defence and Space kompozit repülőgépek villámvédelmére keresett megoldást. Ha fém repülőgépbe csap bele a villám, nem sérülnek meg az utasok, mert a fémtest Faraday-kalitkaként viselkedik. De a mostani repülőgépeknek már több mint a fele polimer kompozit. Erre a váltásra azért került sor, mert a polimer kompozitnak sokkal kisebb a tömege, így jelentősen csökkenthető az üzemanyag-fogyasztás, környezetbarátabbá válik a repülés. Sokan nem tudják, hogy a modern gépek szén-dioxid-kibocsátása már 60 gramm/utaskilométer alá csökkent, tehát ha valaki egyedül autózik, nagyobb mértékben terheli a környezetet, mintha repülne – és ezt jórészt a kompozitoknak köszönhetjük.

De ha egy kompozit szerkezeti elembe belecsap a villám, akkor jelentős hőenergia halmozódhat fel lokálisan, ami gyulladáshoz vezethet. Emiatt többnyire finom rézhálót laminálnak a szénszálerősítésű kompozit szénszálerétegei közé, ez viszont egyrészt drága, másrészt rontja a különböző rétegek közötti adhéziót. Ezért az Airbus jól vezető kompozitot akart, mi pedig arra gondoltunk, hogy nanotechnológiai megoldással kellene megnövelni az epoxigyanták vezetőképeségét.



Tudtuk, hogy a szén nanocsövek alkalmasak erre, és az is felmerült, hogy mi magunk fejlesszünk szén nanoszálakat. Magyarországon nagy hagyománya van a szénszálgyártásnak, és arra gondoltunk, hogy elektrosztatikus szálképzéssel állítsunk elő poliakrilnitril nanoszálakat, amelyeket aztán elszenesítünk. Ez az ötlet nagyon megtetszett az Airbusnak, és megnyertük a pályázatot. Rendkívül kockázatos vállalkozás volt, mert a nanoszálaknak sokkal kisebb az átmérőjük és sokkal nagyobb a felületük, mint a hagyományos prekursorzálaknak, ezért fennállt annak a veszélye, hogy nem tudjuk az anyagunkat nanoszénzállá alakítani, hanem egyszerűen elég. De sikerült úgy optimalmunk a paramétereket, hogy nem égett el, és a nanoszálak a kompozitokban is jól működtek. Szén nanocsövekkel együtt alkalmazva pedig további szinergikus hatásokat tapasztaltunk. Az Airbus elégedett volt – a hasznosítás már ipari titok.

És a másik cég?

A Dassault Aviation esetében az volt az alapötletünk, hogy a kőolajalapú epoxigyantákat megújuló forrásból származó gyantákra kellene cserélnünk. Nagyon sok ilyen rendszer létezik már most is, de a repüléstechnikai alkalmazásokhoz általában alacsony az üvegesedési átmeneti hőmérsékletük. A beltéri alkatrészek esetében az üvegesedési átmeneti hőmérsékletnek legalább 120 °C-nak kell lennie, míg a szerkezeti elemek esetében ez a hőmérséklet minimum 180 °C, amelyet a különböző növényi olajokon alapuló epoxigyantákkal korábban nem igazán sikerült elérni. A szerkezet-tulajdonság összefüggések ismeretében tudtuk, hogy ehhez merevbb, aromás vagy cikloalifás szerkezetre van szükség, így kézenfekvő volt, hogy cukoralapú bioepoxi rendszereket kezdjünk fejleszteni. Nagyon sok molekulát előállítottak a vegyészmérnök kollégák, köztük olyat is, amelynek az üvegesedési átmeneti hőmérséklete megfelelő térhálósítóval akár 210 fok köré emelkedett. És ami még nagyon fontos: az ebből készült kompozit mechanikai tulajdonságai legalább olyan jók vagy jobbak voltak, mint a hagyományos DGEBA-alapú (1,4-butándiol-diglicidil-éter) epoxigyanta kompozitoké. A szerkezeti elemként használható szénszálak kompozitok mellett növényi eredetű erősítéssel is készült biokompozit. A jutaszállal erősített bioepoxi kompozitból például belső, kabintéri elemeket, szekrényeket gyártott a Dassault, de akár ülések háttámlájaként is megállja a helyét. A természetes szálak nagyon jól égnek, ezért ezeknek a kompozitoknak még fontosabb az égésgátlása. Az epoxigyanta és a természetes szálak együttes égésgátlásán az egyik PhD-hallgatóm, Szolnoki Beáta dolgozott sokat; ez a „kettős égésgátlás” nagyon hatásosnak bizonyult.

Van „pilot üzemük” is?

Jól felszerelt félüzemi laborunk van, ahol a legtöbb, iparban is alkalmazott gyártástechnológia rendelkezésünkre áll, így innen akár már méteres darabok is kikerülhetnek. A tanszék támogatja az egyetemi versenycsapatokat is, amelyek rakétát, napelemes hajót, versenyautókat fejlesztenek: ők szintén készítenek itt nagyobb méretű kompozitokat.

A cikkeiből kiderül, hogy az égésgátlás mind a mai napig megmaradt, de közben, az újrahasználatosság iránti igény erősödése miatt, megjelentek a hőre lágyuló anyagok.

Igen, hőre lágyuló kompozitokat is fejlesztünk, mégpedig kaprolaktámalapú poliamid 6 rendszereket. Ezek azért különlegesek, mert a kaprolaktám vízviszkózitációs folyadék, így a hagyományos térhálós rendszerekre kidolgozott gyártástechnológiákkal tudjuk

előállítani a polimer kompozitokat in situ polimerizációval. Ezáltal nemcsak rövid szálak, fröccsöntött kompozitokat, hanem hosszú szálak erősítésű kompozitokat is készíthetünk, amelyek mechanikai tulajdonságai jelentősen meghaladják a rövid szálak rendszereket, így például autók szerkezeti elemeiként is alkalmazhatók.

A hőre lágyuló kompozitok égésgátlását még a térhálós rendszereknel is nehezebb megoldani, mert jellemzően kisebb a termikus stabilitásuk. Emellett a kompozitok égésgátlása számos kihívást tartogat a szálerősítés miatt. A legelső cikkeket mi írtuk arról, hogy hogyan befolyásolja a száltartalom az éghetőséget, és hogyan befolyásolja a szálerősítés a felhabosodó égésgátlók mechanizmusát.

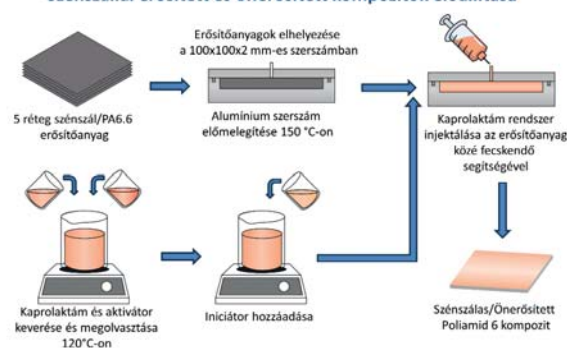
Mire szolgál a felhabosodás?

Ez általánosan alkalmazott égésgátlási mechanizmus, amely jól szigetelő védőréteget hoz létre a polimer felületén, de ha a szénszálak rétegek közötti polimerben is van felhabosodó égésgátló, akkor ez „működésbe lépve” elválasztja egymástól a erősítőrészeket, emiatt a tüzeset után megmaradó mechanikai tulajdonságok nagyon leromlanak. Égés közben pedig maga az erősítőanyag akadályozza az összefüggő, jól szigetelő hab kialakulását. A polimer mátrixba bevitt égésgátló egyébként is leeronthatja a mechanikai tulajdonságokat, csökkentheti az üvegesedési átmeneti hőmérsékletet.

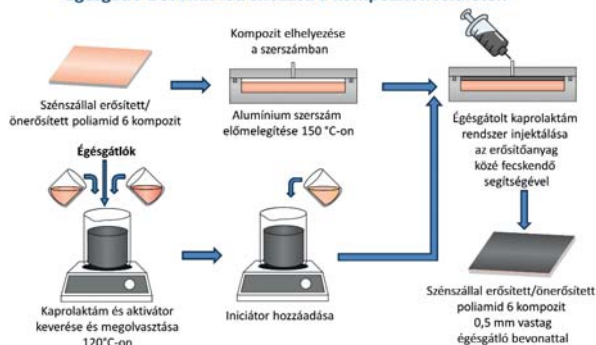
Emiatt előnyösnek bizonyult egy olyan konstrukció, ahol a mátrixban nem alkalmazunk égésgátlót, viszont a felületre, ahol a hőhatást várjuk, fölviszünk még egy réteget, amely nagy koncentrációban tartalmaz égésgátlót. Egy-egy felhasználási területen gyakran előírják a felületi jellemzőket, és a minőségi követelményeket rendszerint gélbevonattal teljesítik. Ha amúgy is kell bevonat a felületre, akkor már jobban járunk, ha ezt felhabosodó égésgátló bevonattá alakítjuk.

Kompozitok előállítása (fent) és égésgátló bevonat kialakítása az öntőformában (lent) – így alig kerülnek illékony szerves vegyületek a levegőbe

Szénszállal erősített és önerősített kompozitok előállítása



Égésgátló bevonat létrehozása a kompozitok felületén





A Lendület-kutatócsoport

Pomázi Ákos, egykori PhD-hallgatóm doktori munkája során sikerült epoxigyanta-alapú égésgátló gélbevonatokat fejlesztenünk. A most végzős PhD-hallgatóm, Kovács Zsófia szintén hasonló égésgátló bevonatokat készített, de kaprolaktámalapú poliamid 6 szénszálal és önerősített kompozitokra.

Mostani Lendület-kutatásaiban egy különleges, „hőre keményedő–hőre lágyuló” anyag a főszereplő.

Amikor először olvastam erről az anyagcsaládról, a vitrimerekről, akkor azonnal felmerült bennem: ha eljutunk odáig, hogy akár repülőgépek szerkezeti elemeiként is alkalmazhatók és ipari méretekben is újrahasznosíthatók lesznek, akkor ez a felfedezés akár Nobel-díjat is érhet... Bár a dinamikus kovalens kötések szerepét már az 1940-es években vizsgálták a gumikban, a vitrimer-kon koncepció a polimerek területén csak az elmúlt két évtizedben kapott jelentős figyelmet. A lengyel–francia Ludwik Leibler és csoportja 2011-ben publikálta azt a nagy hatású tanulmányt, amely széles körben ismertté tette ezt az anyagcsaládot a polimer-kutatásban.

A vitrimerek ugyanúgy térhálósak, mint az epoxigyanta, de a mátrixban dinamikus átrendeződő kötések vannak, és egy adott hőmérséklet fölött úgy viselkednek a polimerek, mintha hőre lágyulók lennének. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy megolvashatók, könnyen újrahasznosíthatók, öngyógyuló tulajdonságokkal rendelkeznek. A kémiai háttér is nagyon érdekes: sokféle típust tartanak már számon – a kutatók óriási lendülettel vetették bele magukat a fejlesztésbe, hogy minél több ilyen rendszert kipróbáljanak, összehasonlítsák a tulajdonságaikat a meglévő epoxigyantákéval és kidolgozzák a hatékony újrahasznosítási eljárásokat. Akár zárt ciklusú újrahasznosítás is megvalósulhat: építőelemekre bontás és újbóli szintézis, minőségromlás nélkül.

De még sok kihívással kell megbirkóznunk, úgyhogy a Lendület-programunk egyik pillére is a vitrimer rendszerek fejlesztése. Az égésgátlás ugyancsak fontos, mert a vitrimerek jól éghetők, és azon is dolgozunk, hogy olyan „építőköveket” integráljunk a mátrixba, amelyek mellett megmaradnak a különleges tulajdonságok, de szükség esetén égésgátló hatással is rendelkeznek.

Tehát reaktív égésgátlást terveznek?

Az első hozzáférhető rendszerrel többféle megoldást kipróbáltunk – azzal az amerikai céggel vettünk részt közös kutatási projektben, amely először hozott kereskedelmi forgalomba vitrimeret. Kezdetben additív égésgátlókat használtunk, aztán saját fejlesztésű reaktív égésgátlókat, végül sikeresen megoldottuk a felületi égésgátlást is. Ennek az az előnye, hogy az égésgátló réteget egy-

szerű préseléssel föl lehet vinni, mert a vitrimer átalakulási hőmérséklete fölött megolvasható és összepréselhető a szénszálal kompozittal. Itt tartunk most, és már vannak ötleteink az égésgátláshoz szükséges építőkövek beépítésére is: ez a következő időszak feladata lesz. Bízom benne, hogy a vitrimerek fejlesztése hamarosan elér arra a pontra, ahol már ipari termékeként is megjelenhetnek.

Említette a PhD-hallgatóit. A tudományegyetemen csökken az érdeklődés a posztgraduális képzés iránt. Mivel tartják a tanszéken a végzősöket?

Igyekszünk olyan témákat kiírni, amelyek nemcsak tudományos, hanem gyakorlati szempontból is érdekesek, és valamilyen pályázathoz kapcsolódnak, amiből kiegészítő ösztöndíjat tudunk fizetni.

A fokozat megszerzése után elmennek egy céghez vagy bent maradnak az egyetemen?

Mindkettőre van példa. Szolnoki Beáta, Pomázi Ákos az egyetemen kapott státuszt, Beátának hamarosan végez az első két saját PhD-hallgatója, Ákos pedig laborvezető a Polimertechnika Tanszéken. De Niedermann Péter már lassan négy éve a dániai LEGO-nál dolgozik – ez persze sikertörténet.

A Műegyetem most „vált modellt”, ami nyugtalanságot okozhat.

Nagy a bizonytalanság, úgy látom, de próbálunk reménnyel tekinteni a jövő felé. Elkötelezetten dolgozunk, rengeteget pályázunk, ez később sem változik majd.

A hazai kutatási támogatások csökkenő tendenciát mutatnak, ami sok helyen már nem csak a fiatal kutatókat térítheti el a pályától.

Tagja vagyok a Fiatal Kutatók Akadémiájának, amely szerintem nagyon fontos szerepet tölt be a fiatal kutatók érdekképviselésében. Igyekszünk konstruktív visszajelzést adni a pályázatkíró szervezeteknek. Nemrég például tárgyalást folytattunk az NKFIH-val, és örömmel tapasztaltuk, hogy több javaslatunkat is figyelembe vették a pályázati kiírásokban, figyelnek a szavunkra. Bízunk benne, hogy ezzel is hozzájárulhatunk ahhoz, hogy a fiatal kutatók számára itthon is vonzó perspektívát kínáljon a tudományos pálya.

Ez önmagában még rendszerint nem elég: a tanszéken nagyon sok európai uniós vagy bilaterális pályázatot adunk be.

Közben ott a családja, a három iskolás gyerek. Hogy jut mindenre idő?

Szülőként még inkább törekszem arra, hogy a kutatásra fordítható időt a lehető leghatékonyabban kihasználjam, bár ez nem mindig könnyű. Fontosnak tartom, hogy azoknak is segítsek, akik hasonló helyzetben vannak. A Műegyetemen működő „Gender Equality Plan” csoport munkájában is részt veszek, amelynek létrehozása elengedhetetlen volt ahhoz, hogy az egyetem továbbra is pályázhasson európai uniós forrásokra. Ehhez éves akciótervek is kapcsolódnak, amelyeknek egyik eleme a családbarátabb egyetem kialakítása. Ennek részeként jött létre a Műegyetem játszóháza: így a szülési szabadságon lévő munkatársak, hallgatók könnyebben be tudnak jönni konzultációra vagy megbeszélésre, akár családtag vagy bébisitter kíséretében. Emellett kialakítottunk egy közösségi irodát, ahol nyugodt körülmények között lehet dolgozni, tárgyalni. Kaptunk pályázati támogatást, de sok önkéntes munka is kellett ahhoz, hogy olyan környezetet teremtsünk, amely valóban támogatja a szülőként dolgozó egyetemi polgárokat.

sv



Majdik Kornélia–Gál Emese

■ Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kémia és Vegyészmérnöki Kar | majdikc@gmail.com, gal.emese@gmail.com

Az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny Erdélyben

Az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) közvetlenül a politikai rendszerváltás után, 1990 februárjában alakult meg és vállalta magára az erdélyi műszaki és természettudományos szakemberek szakmai felkészültségének támogatását, a magyar szaknyelv ápolását és használatának ösztönzését, valamint a magyar nyelvű természettudományos közoktatás, felsőoktatás támogatását. A célzott tevékenységek között kiemelt helyen szerepelt a magyar nyelvű iskolák felzárkóztatása és támogatása, a természettudományos minőségi oktatás megteremtése, középiskolai, illetve felsőoktatási szinten. A kérdés fontos vetülete a tehetséggondozás, mellyel az EMT több mint harminc éve foglalkozik.

Mindezek megvalósításának egyik útja a középiskolai tantárgyversenyek szervezése. A kémiatudományok területén az EMT Kémia Szakosztálya két középiskolai versenyt szervez: a Hevesy György Kárpát-medencei és az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaversenyeket. Mindkettő a magyarországi versenyek kiterjesztése a határon túli erdélyi (ideértve a Partiumot és Bánátot is) iskolákra. A versenyek évenként megújuló és bővülő szakmai rendezvények. Fő céljuk a tehetséget felismerni, gondozni, a tehetség kibontakoztatását segíteni a magyarországi és a határon túli magyar kémiaoktatásban.

Az Irinyi János Kémiaverseny erdélyi szervezőbizottságának elnökei – Máthé Enikő (1994–2000 között), Majdik Kornélia (2000–2024 között), aki jelenleg is az EMT Kémia Szakosztályának elnöke, valamint Gál Emese, aki a 2024/2025-ös iskolai tanévben vette át ezt a munkát – nagymértékben hozzájárultak a verseny szakmai sikeréhez és erdélyi ismertségéhez.

Az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny szervezése Erdélyben

Az Irinyi János Kémiaversenyt Magyarországon a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) szervezi. Ehhez kapcsolódik a kolozsvári EMT Kémia Szakosztálya által Erdélyben szervezett verseny. Örömmel írhatjuk, hogy az Irinyi János Kémiaversenyt Erdélyben 1994-től minden évben sikerült sikeresen megszervezni. Ezúton is köszönjük a MKE-nek a szervezésben nyújtott támogatást, valamint azt a lehetőséget, hogy az erdélyi győztesek ingyenesen vehetnek részt a magyarországi országos döntőn. Az Irinyi János Kémiaverseny gimnáziumi osztályok számára nyitott, IX–XI. osztályos tanulók versenyezhetnek, ami megfelel a magyarországi korosztálynak. Természetesen az erdélyi bizottság elnökei, szervezési és szakmai kérdésekben mindenkor egyeztettek a magyarországi szervezőkkel, mivel így lehetséges a nyertesek továbbjutása a magyarországi döntőre.

Míthogy az erdélyi diákok körében a verseny iránt nagy az érdeklődés, az erdélyi verseny szervezése több fordulón keresztül történik. A diákok négy fordulón keresztül mérik össze tudásukat, minden esetben a legjobbak jutnak tovább. A versenyre való bejelentkezés az EMT honlapján található jelentkezési űrlap alapján történik. A versenyen nincs részvételi díj.

I. forduló – helyi szakasz

A verseny első fordulóján bármely romániai településen működő iskola magyar osztályának tanulói elindulhatnak. A versenyre a jelentkezést az iskola kémiatanára az EMT titkárságán indítja el, megkapja a szükséges információkat és feladatlapokat. Az utóbbi években az **1. táblázatban** látható települések iskolái vettek részt a versenyen.

1. táblázat. Az Irinyi János Középiskolai Kémiaversenyre bejelentkezett erdélyi és partiumi iskolák a 2022/23-as és 2023/24-es tanévben

Iskola neve	Település	Megye
Ady Endre Elméleti Líceum	Nagyvárad	Bihar
Arany János Elméleti Líceum	Nagyszalonta	Bihar
Baróti Szabó Dávid Technológiai Líceum	Barót	Kovácsna
Báthory István Elméleti Líceum	Kolozsvár	Kolozs
Berde Mózes Unitárius Gimnázium	Székelkeresztúr	Hargita
Bethlen Gábor Kollégium	Nagyenyed	Fehér
Bolyai Farkas Elméleti Líceum	Marosvásárhely	Maros
Mihai Eminescu Főgimnázium	Nagyvárad	Bihar
Csikó Gergely Főgimnázium	Arad	Arad
János Zsigmond Unitárius Főgimnázium	Kolozsvár	Kolozs
Jósika Miklós Elméleti Líceum	Torda	Kolozs
Kölcsey Ferenc Főgimnázium	Szatmárnémeti	Szatmár
Kőrösi Csoma Sándor Líceum	Kovácsna	Kovácsna
Aurel Popp Művészeti Líceum	Szatmárnémeti	Szatmár
Márton Áron Főgimnázium	Csíksereda	Hargita
Mihai Eminescu Főgimnázium	Nagyvárad	Bihar
Mikes Kelemen Elméleti Líceum	Sepsiszentgyörgy	Kovácsna
Művészeti Főgimnázium	Marosvásárhely	Maros
Nagy Mózes Főgimnázium	Kézdivásárhely	Kovácsna
Orbán Balázs Gimnázium	Székelkeresztúr	Hargita
Petőfi Sándor Elméleti Líceum	Székelyhíd	Bihar
Salamon Ernő Elméleti Líceum	Gyergyószentmiklós	Hargita
Segítő Mária Római Katolikus Gimnázium	Csíksereda	Hargita
Sepsiszentgyörgyi Református Kollégium	Sepsiszentgyörgy	Kovácsna
Silvania Főgimnázium	Zilah	Szilágy
Székel Mikó Kollégium	Sepsiszentgyörgy	Kovácsna
Tamási Áron Gimnázium	Székeludvarhely	Hargita
Téglás Gábor Elméleti Líceum	Déva	Hunyad
28 iskola	19 település	10 megye



A verseny szervezésében közreműködő szaktanárok helyileg, az adott iskolákban versenyeztetik a diákokat az általuk összeállított feladatok alapján. A legalább 8-as osztályzatot elért diákok jutnak tovább a megyei szakaszra. A verseny sikerességét igazolja a széles körű részvétel. Természetesen a résztvevők száma évenként ingadozó. A verseny ezen szakaszán átlagosan 300 diák indul. Szervezetünk titkársága (EMT) a 2000-es évtől kezdődően rendelkezik a részvételi statisztikai adatokkal.

II. forduló – megyei szakasz

Ez a forduló kijelölt iskolaközpontokban zajlik. A versenyzők a Versenyszervező Bizottság által összeállított központi feladatsort kapják. A versenyt lebonyolító oktatók az 50 pontot elért dolgozatokat kijavítva, az értékeléssel együtt beküldik a kolozsvári EMT központba. A Versenyszervező Bizottság az eredmények összesítése nyomán dönti el, hogy ki az a 20 diák, aki részt vehet az országos döntőn.

III. forduló – országos döntő

Az erdélyi döntőt évente Kolozsváron szervezzük meg a Babeş–Bolyai Tudományegyetem Kémia és Vegyészmérnöki Karán. Ebben a fordulóban a verseny résztvevői az írásbeli próba mellett laborgyakorlati próbán is megmérettetnek. Ekkor a diákoknak magyarországi versenytételeket és feladatokat kell megoldaniuk, melyeket a verseny napján a Magyar Kémikusok Egyesületétől kapunk meg. Ennek megfelelően a versenyre a magyarországi megyei szakasszal egy időben kerül sor. A laborfeladatokat a verseny Tudományos Bizottsága készíti. A labortevékenység a Babeş–Bolyai Tudományegyetem laboratóriumaiban zajlik.



Az Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny országos döntőjének laborgyakorlata a 2023/24-es tanévben (Kolozsvár)

Ezt a fordulót az EMT szervezi és biztosítja a verseny anyagi háttérét is (szállás, étkezés a diákok és kísérő/javítótanárok számára). Igyekszünk a versenynek ezt a szakaszát a magyarországi döntőhöz hasonlóan minél ünnepélyesebbé tenni, ünnepi megnyitóval és eredményhirdetéssel, egy-egy érdekes témát bemutató előadással, valamint programokkal a verseny idejére, hiszen a 300 induló közül a legjobb 20 jut el az országos szakaszba. A verseny legjobb 7 diákja jut tovább a magyarországi döntőre. A nyertesek értékes díjakat kapnak.

IV. szakasz – magyarországi országos döntő

Nekünk, erdélyieknek ez a szakasz a nemzetközi döntőt jelenti: a magyarországi megyei döntőkről, illetve az erdélyi országos döntőről továbbjutó legjobb 7 diák méretteti meg tudását. A nemzetközi döntőnek az utóbbi években a Debreceni Egyetem adott otthont. A kiutazást az EMT szervezi és anyagilag is támogatja. A kiutazókhoz szakmai kísérő csatlakozik, és megszerzzük a megfelelő szülői nyilatkozatokat, hiszen a kiskorú versenyzők átlélik a határt. A versenyzők és egy kísérő a MKE vendégeként vesznek részt a versenyen.



Az Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny nemzetközi döntőjén részt vevő diákok egy része a 2023/24-es tanévben (Debrecen)

Mivel a két országbeli középiskolai tananyag nem teljesen fedi egymást, valamint a versenyfeladatok egyes esetekben kicsit más jellegűek, ezért szeretnénk hangsúlyozni, hogy az erdélyi diákok számára az Irinyi János Kémiaversenyre való felkészülés iskolai órákon kívüli felkészülést is jelent a szaktanáraikkal. Ezt a mun-



Az Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny országos döntőjén részt vevő diákok a 2023/24-es tanévben (Kolozsvár)



A legtehetségesebb erdélyi középiskolás diákok a Nemzetközi Irinyi János Kémiaversenyre felkészítő tábor, azaz a Labortábor résztvevői (2023/2024-es tanév, Kolozsvár)

kát az EMT Kémia Szakosztálya támogatja, kérésre hozzáférhetőek az előző évek feladatai és laborgyakorlatai, valamint az EMT által megjelentetett *Firka* című természettudományi középiskolai folyóiratban is közlünk felkészülést segítő anyagokat.¹

A szervezésben hosszú évek óta nagy segítséget jelent a Magyar Kémikusok Egyesülete vezetőségének és az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny Szervezőbizottságának támogatása, valamint az a körülmény, hogy a kolozsvári BBTE Kémia és Vegyészmérnöki Kar helyszínt biztosít a verseny országos fordulói számára. A segítséget ezúton is szeretnénk megköszönni.

Az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny a romániai Oktatási Minisztérium által elismert és nyilvántartott kémiaversenyek sorába tartozik, ami nagy jelentőségű a versenyző diákok és a felkészítő tanárok szempontjából, hiszen így szerezhetőek meg a tanügyi rendszerben elismert oklevelek, pontok és igazolások. Az Irinyi János Kémiaversenyt sikerült elismertetni a Babeş-Bolyai Tudományegyetem Kémia és Vegyészmérnöki Karával is olyan tantárgyversenyként, amelyet a kar felvett a felvételi szabályzatába. Fontosnak ítéljük, hogy az Irinyi János Kémiaverseny elismerése lehetőséget biztosít a kémia iránt érdeklődő diákok számára, hogy magas pontszámmal jussanak be a Kémia és Vegyészmérnöki Kar bármely magyar nyelvű képzésére anélkül, hogy az érettségi átlaguk számítana a felvételi pontszámában. Ennek megfelelően 10-es felvételi jeggyel jutnak be az egyetemre, akik középiskolai éveik valamelyikében az országos döntőn megszerezték az I. díjat, 9,5-del a II. díjat, illetve 9-cel a III. díjat elnyert tanulók. Ez nagy segítséget jelent a kémiából kiemelkedő teljesítményt elért tehetséges diákoknak.

Az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny jelentősége az iskolai oktatásban

A természettudományos oktatás az utóbbi években sajnos Erdélyben is válságos időszakot él át. A diákok érdeklődése a természettudományok iránt és ezen belül a kémiát illetően viszonylag alacsony szinten van, ezen próbálunk javítani a szaktanárok

közös munkájával. A legfontosabb a diákok érdeklődésének felkeltése, ennek egyik útja a tehetséggondozás. A kémia iránt érdeklődő és tehetséges diákok számára kitűnő lehetőség a tanulmányi versenyeken való részvétel. A kémia területén Erdélyben (magyar nyelven) az egyik legjelentősebb verseny az Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny. Tekintettel arra, hogy középiskolás diákokról van szó, a felkészülés az iskolákban folyik. Ennek megfelelően az adottságok rendkívül széles skálán mozognak, az iskolai laborok felszereltsége, valamint a szaktanárok tevékenysége meglehetősen sokféle. A diákok kémia iránti érdeklődését a legeredményesebben a kísérleti tevékenységgel kelthetjük fel.

Abból a célból, hogy kiküszöböljük egyes diákjaink hátrányos helyzetét a kísérleti feladatok megoldásában, az Irinyi János Kémiaverseny tudományos bizottságának tagjai az EMT Kémia Szakosztályával közösen az utóbbi három évben egy Kémia Labortábornak elnevezett, ötnapos tábort szerveztek. Ennek során 30 diák számára biztosítunk lehetőséget a Kémia és Vegyészmérnöki Kar laboratóriumában kísérleti munka végzésére. A labortáborban a diákok először a laborok felszerelésével ismerkednek meg, majd évfolyamonként az Irinyi elvárásainak megfelelő kísérletekkel (9. osztály: titrálás, 10–11. osztályos diákok: minőségi analitika). A Labortábor szervezését a Kar vezetősége „humán erőforrással” támogatja. A tábor nagyon népszerű és sikeres, felkészíti a tehetséges erdélyi középiskolás diákokat a Nemzetközi Irinyi János Középiskolai Kémiaversenyre, valamint jelentős szerepet játszik a kémia oktatásában, segít a természettudományok megítélésének megváltoztatásában és nagy mértékben hozzájárul az oktatás minőségének javításához.

Örömmel láthatjuk, hogy az Irinyi János Középiskolai Kémiaversenyeken részt vevő diákok a későbbiekben kémiai és a kémiához kapcsolódó szakterületeken tanulnak tovább.

¹ A verseny egyes fordulói minden információ, a tudományos és szervezőbizottság, valamint a versenyszabályzat megtalálható az EMT honlapján: <https://emt.ro/esemeny/irinyi-janos-orszagos-kozepiskolai-kemia-verseny/irinyi-janos-orszagos-kozepiskolai>



Hitelességi válság a tudományban: egy sztárkutató kimerítő vallomása

Szabó Csaba: *Elpazarolt orvostudomány*, Corvina, 2024

2024. szeptember 28-án délután kettő órától a Corvina Kiadó érdekes könyvbemutatót rendezett a Budapesti Nemzetközi Könyvfesztiválon: Berka Attila író beszélgetett az *Elpazarolt orvostudomány* című könyv szerzőjével, Szabó Csabával. A mű néhány hónappal később *Unreliable* címen angol nyelven is megjelent a Columbia University Press gondozásában. Tartalmáról a Nobel-díjas kutató, Karikó Katalin is említést szokott tenni előadásaiban. A könyvben írtakról két és fél órás beszélgetés is meghallgatható *Az élet meg minden* podcastsorozat 74., *Mérgező bővligyárak, fertőző zombiközlemények* című epizódjában az interneten (<https://open.spotify.com/episode/2oRF8PZ6ypJJEmf7rEGGJh>).

A magyar kiadás alcíme *Hiteltelen kutatók, megbízhatatlan kísérletek*, ez önmagában is betekintést ad a könyv gondolatvilágába. A szerzőt, Szabó Csabát nem túlzás szupersztár-kutatónak nevezni. Amikor ezeket a sorokat írom (2025. április), a Google Scholar szerint tudományos cikkei 91 000-nél is több hivatkozás kaptak, H-indexe pedig 154. Kutatói tevékenységét a Semmelweis Egyetem Klinikai Kísérleti Kutató Intézetében kezdte, majd 1992-ben a londoni William Harvey Intézetben folytatta a Nobel-díjas Sir John Vane vezetésével. 1994-ben a Cincinnati Egyetemen hozott létre laboratóriumot, amelyben a vérkeringési sokk, a gyulladás és a nitrogén-monoxid szervezetben betöltött szerepét vizsgálták. 1999-ben Inotek néven gyógyszerkutató céget alapított, ezzel egy időben a New Jersey-i Orvosegyetemen tanított, 2002 és 2006 között tudományos tanácsadóként a Semmelweis Egyetem Klinikai Kísérleti Kutató Intézetének munkatársa volt. Dolgozott a Texasi Egyetemen, 2018 óta pedig a Fribourgi Egyetem farmakológiai tanszékét vezeti Svájcban.

Erről a kivételes pályafutásról azért is érdemes volt írni egy kicsit, mert ebből kitűnően látszik, hogy a szerző kutatóként egészen kivételesen sikeres, semmiképpen nem egy megkeseredett, de egyébként jelentéktelen szakember. Saját bevallása szerint se nem tudományos újságíró, se nem a tudományetikai kérdések kutatója, de egyik terület sem hagyja hidegen, s bőséges tapasztalata van arról, hogy milyen a tudósok és a tudományfinanszírozás világa. Az általa felelevenített példák természetesen az orvosi-biológiai kutatások köréből származnak, de balgaság lenne azt hinni, hogy más tudományágakban ismeretlen vagy ritka jelenségeket mutatnának, legfeljebb a szokásos támogatási összegekben lehet különbség.

A könyvet olvasva az a benyomásom támadt, hogy az elképzelt olvasótábor elsősorban a kutatók közössége lehetett. A mintegy 300 oldalon 400-nál is több számozott lábjegyzet van, ezeknek csak viszonylag csekély hányada adja meg az irodalmi hivatkozások bibliográfiai adatait, többségük kiegészítő gondolatot fűz a fő szövegben megfogalmazottakhoz. A közel 60 ábra jelentős része szellemes, karikatúraszerű, eredeti forrásuk Leonid Schneider ukrán tudományos újságíró, egykori molekuláris biológus *For Better Science* című, nagyrészt tudományos etikai és integritási kérdésekkel foglalkozó blogja, amely számomra Szabó Csaba könyvének elolvasása előtt sem volt ismeretlen (<https://forbetterscience.com/>).

A szöveg 31 alfejezetből áll a következő hat nagy témakörbe csoportosítva:

- A kutatók élete
- Késhegyre menő verseny a kutatási pénzért



Szabó Csaba (FEBS Network)

- A tudomány művelése: a hipotézistől a publikálásig
- Tudományos csalás, tudományos csalók
- A tudományos publikációs rendszer hibái
- Hogyan tovább?

A könyv két része is igen mély nyomot hagyott bennem, mindkettő azért, mert éppen olyan véleményt fogalmazott meg, amelyre magam is jutottam a tudományos világban eltöltött évek alatt, de – legalább is nagy nyilvánosság előtt – alig-alig halottam hasonlót másoktól, illetve igazából még lehetőség sem adódott túlságosan ilyesmit nyilvánosan megfogalmazni.

Az első ilyen a tudományos finanszírozási rendszer döntéshozatali módjaival kapcsolatos. Szabó Csaba elsősorban a National Institute of Health (NIH) pályázati rendszeréből elevenít fel em-





lékeket, de ezek megdöbbenően hasonlítottak a saját, elsősorban az OTKA tematikus és MTA Lendület pályázatának bírálóbizottságában gyökerező tapasztalataimmal. Az egész eljárást mélyen áthatja az a hit, hogy az egyes pályázatokat – vagy hazánkban sokkal inkább a pályázókat – sorba lehet állítani kiválóság szerint. Semmiféle bizonyítékot nem ismerek erre az állításra, mi több: minden egyes, a jelentkezők jellemzésére használt mérési módszerről világosan tudom, hogy vagy igen korlátozottan, vagy egyáltalán nem alkalmas egyéni hozzájárulás mérésére, és ráadásul könnyű céltudatosan befolyásolni vagy akár torzítani is őket, ha a jelölt előre tudja azt, hogy ezeken keresztül méri a teljesítményét. Arról sem tudok, hogy magát a döntéshozatali mechanizmust tudományos módszerekkel bármikor bármilyen módon tesztelték volna például úgy, mint egy gyógyszer hatékonyságát. Már maga a beadandó pályázat is ez elérendő eredmények olyan fokú tervezését követeli meg, amely összeférhetetlen azzal, hogy új tudományos információ felfedezése lenne a központban. Ezért rutinos pályázatról úgy tűzi ki a célt, hogy azt biztosan el is lehessen érni: vagy azért, mert már a pályázat beadásának pillanatában is elérte, csak még nem publikálta, vagy azért, mert a már ismert információkra alapozva rutinszerű kísérletek sorozatával biztosan teljesíthetők a vállalások. Egy pályázatról írt beszámolóban egy dolognak biztosan nincs helye: a sikertelenségnek, annak a megfogalmazásának, hogy a terméset mégsem úgy működik, ahogy vártuk. Viszont: ha egy pályázatban „betervezett” kutatás eredményeit ilyen szinten előre meg lehet jósolni, akkor miért kell sok pénzt költeni a megvalósítására?

A másik ilyen emlékezetes pont a könyvben az a rész, amely a tudományos etikai vétségekben az intézményi felelősséget kéri számon. Ha egy kutatót adathamisításon vagy más csaláson kapnak, akkor a munkaadó szervezet első reakciója rendszerint a tagadás. Ha ezen túljut az ügy, akkor a megfelelő bizonyítékok megtalálása után általában a vétkes elbocsátásával zárul az ügy – és valóban véget is ér. Azt már senki nem kérdezi meg, hogy vajon egy eredetileg szinte mindig őszinte és jó szándékú kutató miért lépett erre az útra. Szabó Csaba könyve érzékletesen leírja azt a hatalmas munkahelyi nyomást, amely miatt legalább az eredményesség látszatát mindenáron meg kell teremteni: pályázatot

kell nyerni, cikkeket kell publikálni, lehetőleg minél rangosabb folyóiratban. Ezek a hatások ágyaznak meg a nagyszabású tudományos csalásoknak, amelyek mozgatórugói közül a legtöbb esetben az intézményi kultúra legalábbis fontos tényező, de gyakran egyenesen döntő jelentőségű. Ehhez képest csak a vétkes kutató kap büntetést, a légkört létrehozó intézmény nem: még a csalásokhoz felhasznált, közpénzekből származó támogatásnak is elég csekély részét kell visszafizetni (vagy semennyit).

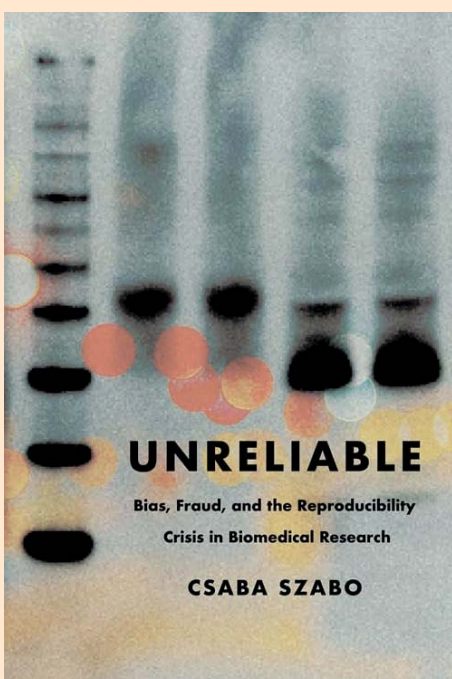
A könyvből kiderül az is, hogy Szabó Csaba tudományetikai vétségeket testközelből is látott pályafutása alatt, s a benne érintett, a szövegben eredetileg meg nem nevezett kutatókat sem nehéző azonosítani. Az egyik Christoph Thiemermann, Sir John Vane utódja a William Harvey Intézetben, aki Salvatore Cuzzocrea doktori témavezetője volt. Az olasz kutatót később a Messinai Egyetem rektorának is megválasztották. Ő és Thiemermann már számos közleményt vontak vissza adathamisítás miatt. Az első ilyen ügyben az érintett cikk további szerzői között Szabó Csaba is ott volt, a cikk visszavonását is ő kezdeményezte. „A szövettani munkát és a kapott képeket a cikk első szerzője, egy, a laboratóriumomban dolgozó PhD-hallgató állította össze, akit Antonionak fogok hívni” – vezeti be a magyar származású könyvszerző az eset ismertetését a könyvben. Az eljárások az ügyben e könyvismertető írásának időpontjában még mindig folynak, 2025. áprilisi hírek szerint Salvatore Cuzzocrea ellen bűnügyi nyomozás is folyik (<https://retractionwatch.com/2025/04/04/salvatore-cuzzocrea-italy-university-head-retractions-criminal-investigations/>). Talán ezek után nem meglepő, hogy Szabó Csaba véleménye szerint a jövőben tudományos eredményekért büntetőjogi felelősséget is kellene vállalni mind a kutatóknak, mind az intézményeknek.

A könyv viszonylag kevés utalást tartalmaz a szerző magyarországi pályafutására. Egy kémikus számára nagyon kedves apróság lehet, hogy Szabó Csaba ír Beck Mihály néhai akadémikus, fizikai kémikus 1977-ben megjelent *Tudomány–áltudomány* című könyvéről, amelyre tinédzserként bukkant rá. A magyar tudományos közösséggel kapcsolatos sérelmek sem jelennek meg hangsúlyosan: megemlíti ugyan, hogy 25 éves korában benyújtott kandidátusi pályázatát több évre jégre tették, de csak lábjegyzetben. Kicsit nagyobb figyelmet kap a Magyar Tudományos Akadémia és a Royal Society közös ösztöndíjpályázatának esete, ahol úgy akarták megakadályozni a nem bennfentesek jelentkezését, hogy csak a beadási határidő napján hirdették meg nyilvánosan. Információmegosztás felhasználása hatalmi eszközként: erről nekem is, vélhetően másoknak is vannak személyes tapasztalatai.

A szerzővel kapcsolatos legélénkebb hazai emlékem az, amikor a Semmelweis Egyetem alkalmatlannak találta őt az egyébként magyar szokás szerint, csak számára kiírt egyetemi tanári állásra. Az üggyel kapcsolatos sajtóközleményt mind a mai napig olvasni lehet az interneten. Már az első mondata is árulkodó: „Az utóbbi héten méltatlan, igaztalan és hamis adatokon alapuló vádaskodás folyik számos sajtóorgánumban a Semmelweis Egyetem ellen” (<https://semmelweis.hu/hirek/2006/05/10/a-semmelweis-egyetem-nyilatkozata/>).

A könyv elolvasása után arra a belátásra jutottam, hogy tulajdonképpen utólag hálásnak kellene lenni azért, hogy a Semmelweis Egyetem megvédte a magyar tudományos életet Szabó Csaba befolyásától. Valóban tűrhetetlen lett volna, ha a magyar tudományos állapotokról vagy – *horribile dictu* – magáról a Magyar Tudományos Akadémiáról mondott volna a könyvben megfogalmazotthoz hasonlóan megalapozott és hiteles kritikát.

Lente Gábor





Elpazarolt orvostudomány

Részletek

Összefoglalva, a tudományos támogatások kiválasztásának módja az Egyesült Államokban és valószínűleg az egész világon is: megbízhatatlan. Ami egy rendkívül ijesztő következtetéshez vezet: az egyetlen módja annak, hogy egy kutató növelje az esélyeit a kutatási támogatás megszerzésére, az az, ha minél több pályázatot nyújt be. Hogy egy hasonlattal éljek, annyi „lottószelvényt” kell megvásárolnia és kitöltenie, amennyit csak megengedhet magának. Nagyon durván hangzik, de léteznek – komoly kutatók és/vagy komoly pályázati intézmények részéről – a valóságtól egészen elrugaskodott javaslatok arra, hogy az egész támogatási folyamatot valamiféle „igazi” lottójátékká alakítsák át.

Ismerve a pályázati bírálati rendszer nagyfokú véletlenszerűségét, nem fog senkit meglepni az sem, hogy a támogatási mechanizmusok (az NIH pályázati rendszerében és a világ más pályázati rendszereiben is) gyakorlatilag képtelenek megjósolni a díjazottak jövőbeli tudományos teljesítményét (impaktját). Ez egy másik olyan, erősen vitatott téma, amelyet John Ioannidis biometrikus szakértő vetett fel mintegy 10 évvel ezelőtt a *Tagozódj be, ha kutatási támogatást szeretnél kapni!* című cikkében. Ioannidis professzor arra a következtetésre jutott, hogy éppen azok a projektek nem kapnak támogatást, amelyek forradalmian új ötleteket tartalmaznak, és jelentős hatást ígérnek. Hiába van leírva többször is a bírálók utasításaiban, hogy a „hatásos” pályázatok a prioritások. A fenti analízis rendesen felbosszantotta a különböző támogatást nyújtó szervezetek ügyintézőit, és számos pró és kontra cikk született a témában. De e későbbi közlemények összevetése is ugyanarra a következtetésre jutott: dr. Ioannidist 2012-ben is igaza volt, és ma is igaza van: a jelenleg általánosan alkalmazott pályázatbírálati rendszer képtelen előre jelezni a finanszírozott projektek esetleges társadalmi hasznát. És a legtöbb esetben ugyanígy képtelen előre jelezni a támogatott kutatók jövőbeli produktivitását.

A probléma gyökere részben a nagyfokú véletlenszerűség, amit a konkrét statisztikai adatok is mutatnak, és a modellezési vizsgálatok is tovább bizonyítanak. A másik kiváltó ok azonban a támogatást nyújtó szervek és bírálók ultrakonzervatív hozzáállása lehet. A jelen fejezet korábbi részében már ír-

tam a bírálók jellemző hozzáállásáról, amikor – ahogyan ők nevezik – „halfogási expedíciókról” van szó. Ahogy a Nobel-díjas Roger Kornberg sok évvel ezelőtt kijelentette: „A jelenlegi helyzetben a finanszírozási döntések ultrakonzervatívak. Ha a pályázati projektnek nem előre garantált a sikere, akkor nem fogják finanszírozni. Ugyanakkor természetesen az olyan típusú úttörő és innovatív kutatás esetében, amelyet a legjobban szeretnénk, hogy támogatást kapjon, a siker soha nem lesz előre garantált.”

Az odaítélési folyamat tehát nyilvánvalóan elavult és véletlenszerű, és nem korrelál jól sem a tudományos minőséggel, sem a kutatás termelékenységével. Egy dolog viszont biztos: a pályázati siker *pontosan számszerűsíthető*. Az egyetemi adminisztrátorok imádják összeszámolgatni az intézmény által megszerzett támogatásokat, és ha intézményük az NIH-támogatási pénzek tekintetében magas helyezést ér el, annak természetesen nagyon örülnek. Ezek a számok ugyanis nagyon fontos tényezők, amelyek alapján az amerikai egyetemeket rangsorolják. A számokat és rangsorhelyezéseket az egyetemek honlapjai büszkén mutogatják. Így például megtudhatjuk, hogy 2022-ben a Johns Hopkins Egyetem volt a #1 amerikai egyetem, mert több mint 839 millió dollárnyi támogatást kapott. Második helyen a Kaliforniai Egyetem (San Francisco) volt 823 millió dollárral, majd a Pittsburghi Egyetem következett 675 millió dollárral, aztán a Duke Egyetem 672 millió dollárral. És így tovább... Nekem határozottan az az érzésem, hogy ezek a számok és rangsorok sokkal nagyobb hangsúlyt kapnak az egyetemi weboldalakon, mint a pályázatokból elért tudományos felfedezések.

E hatalmas pénzüsszegek fényében a toplistás egyetemekre kutatási csalás miatt kivetett büntetések elenyészőnek tűnnek. Például az a 119 millió dolláros kártérítés, amelyet a Duke Egyetemnek 2019-ben kellett fizetnie a kutatási csaló Erin Pottskant miatt – aki 7 éven keresztül 200 millió dollárnyi kutatási támogatáshoz hamisított adatokat –, a Duke Egyetem támogatásalapú éves bevételének csak kevesebb mint 20%-át teszi ki. Ahhoz képest, hogy mekkora pályázati pénzbevételekről van szó, a büntetés egy nevetségesen kis összeg.



A negyedik érintett fél, természetesen, a **tudományos kiadóipar**. A tudományos eredmények közzétételének módját is teljes körű reformnak kellene alávetni. Minden érintett félnek fel kellene ismernie, hogy a jelenlegi rendszer nem képes kiszűrni a gyanús és csalárd anyagokat – minden, a beérkező anyagok átvilágítására és ellenőrzésére tett becsületes erőfeszítés ellenére sem. Arra sem képesek (sőt, a legtöbb esetben még csak nem is érdekeltek), hogy szétválasszák a valószínűleg reprodukálható adatokat tartalmazó kéziratokat a valószínűleg nem reprodukálható eredményeket tartalmazóktól. Bőségesen vannak olyan adatintegritási iránymutatások és benyújtási ellenőrző listák, amelyek az adatok integritására összpontosítanak, és megpróbálnak küzdeni a visszaélések ellen. Az összes nagy tudományos kiadó rendelkezik ilyenekkel. Még külön szervezetek is foglalkoznak a témával, például a COPE (Committee on Publication Ethics, vagyis Publikációetikai Bizottság), melynek székhelye az Egyesült Királyságban van

(publicationethics.org). Lényegében minden jelentős tudományos kiadó tagja a COPE-nek. A COPE többek között olyan folyamatábrákat tesz közzé, amelyek lépésről lépésre megmutatják, hogy mi a teendő, ha egy közleményben tudományos kötelességszegést vagy csalást észlel valaki. Úgy tűnik tehát, hogy *nem az a probléma, hogy nincs elég iránymutatás*. Inkább az a probléma, hogy még a COPE-tagsággal rendelkező folyóiratok sem követik ezeket az iránymutatásokat – vagy legalábbis nem mindig, vagy nem feltétlenül, vagy csak nagy tehetetlenséggel.

A probléma másik része természetesen az – amint azt e könyv korábbi részeiben bemutattam –, hogy a tudományban dolgozók egy része a tudományetika határmezsgyéjén lavírozik, más részük pedig rá se ránt a COPE iránymutatására. Mindezekon túl pedig létezik egy egész sereg tudományos bűnöző, akik szándékosan megkerülik ezeket az irányelveket (vagy bármilyen más irányelvet), és bohócot csinálnak a tudományos kiadókbal.



Hargittai Magdolna–Hargittai István

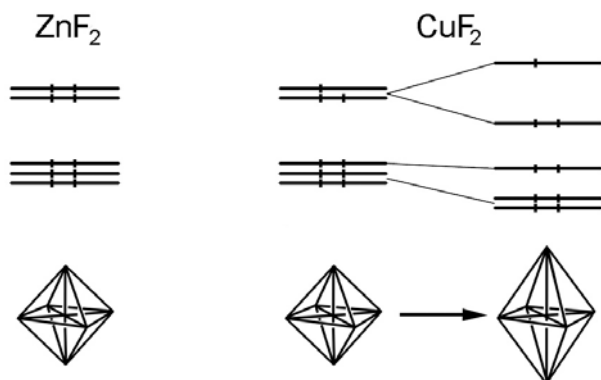
■ BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

„Jahn–Teller”

Egy szimmetrikus, nemlineáris, ún. elfajult elektronállapotú (vagyis elektronokkal csak részben betöltött pályákkal rendelkező) molekula szimmetriája torzul, és ezzel nő a molekula stabilitása. Ez a Jahn–Teller-hatás [1]. Más szavakkal: a nagyobb szimmetriájú atommag-konfiguráció és a kisebb szimmetriájú elektronkonfiguráció közötti ellentmondás instabilitást okoz, ezért a nagyobb stabilitás eléréséhez csökken a magkonfiguráció szimmetriája és egyensúlyba kerül az atommag-konfiguráció és az elektronszerkezet. Így a molekula alacsonyabb szimmetriájú, mint amilyen szimmetriát várnánk a szerkezeti képlet alapján. A Jahn–Teller-hatás az elektronrezgési („vibronic”) kölcsönhatások közé tartozik, és ebben az esetben az egyébként széleskörűen érvényes Born–Oppenheimer-közelítés elveszti érvényességét. A nevezetes Born–Oppenheimer-közelítés elvész a molekula elektronszerkezete és rezgőmozgása jól elkülöníthető annak következtében, hogy az atommagok sokkal lassabban mozognak, mint az elektronok, és az elektronszerkezet rögzített atommag-konfigurációhoz tartozik. A molekula szimmetriája az atommag-konfigurációt jellemzi.

A Jahn–Teller-hatás a szilárdtestfizikában és a szerkezeti kémiában kitüntetett helyet foglal el, gondoljunk például a szupravezetés megértésében betöltött szerepére. A „Perovszkit típusú oxidok – a magas T_c szupravezetés új megközelítése” című közös Nobel-díjas előadásukban J. Georg Bednorz és K. Alex Müller 5 alkalommal hivatkoztak „Jahn–Teller”-re, de a hivatkozások listáiban nem találunk rá utalást [2]. A Jahn–Teller-hatás a tudományos irodalmi folklór részévé vált. Írásunkban felfedezésének néhány tudománytörténeti vonatkozásával foglalkozunk, elsősorban az érintett tudósok, Teller Ede, Gerhard Herzberg, Rudolf Renner, Lev D. Landau és Hermann A. Jahn személyén keresztül.

A Jahn–Teller-hatás egyszerű példája. A rövid függőleges vonalak elektronokra utalnak, amelyek a vízszintes vonalak által reprezentált energiaszinteken tartózkodnak. A ZnF_2 esetében az energiaszintek betöltöttek és ezzel összhangban van a szabályos oktaéderes geometria. A CuF_2 esetében vannak nem teljesen betöltött energiaszintek, és a molekula szerkezete szabályos oktaéderes helyett kisebb szimmetriájú nyújtott oktaéderes, ami megfelel a Jahn–Teller-hatás által jelzett változásnak



Teller Ede és Teller Mici az 1930-as években.
Wendy és Paul Teller szívességéből közöljük

Teller Ede (1908–2003) [3] nevét számos hatás viseli a tudományos irodalomban. Szeretett másokkal együtt dolgozni; gyakran volt eredeti ötlete, és a részleteket egy-két kollégájával együttműködve dolgozta ki. Amikor Tellerrel tudományos kutatásairól beszélgettünk [4], a többretegű adszorpciót leíró Brunauer–Emmett–Teller- (BET-) összefüggést emelte ki, mint olyat, amelyért Nobel-díjat kaphatott volna. Amikor megkértük, hogy ellenőrizze és javítsa ki beszélgetésünk leiratát, akkor ezt a megjegyzését törölte. Ez különleges eset volt, mert Teller köztudottan ragaszkodott ahhoz, hogy az interjúját változtatás nélkül vagy egyáltalán ne közöljék. Ebben az esetben ő volt az, aki változtatott.



Gerhard Herzberg 1971-ben Moszkvában, a Lomonosov Egyetemen. Akkor és ott értesült arról, hogy Nobel-díjjal tüntették ki.
Néhai Lev V. Vilkov szívességéből közöljük



A Jahn–Teller-hatás felfedezését megelőzte a Renner–Teller-hatás felfedezése, és még előbb fedezték fel a Herzberg–Teller-hatást (a fizikai alapokat valamelyest részletesebben ismertettük egy korábbi dolgozatban [5]). Teller az 1930-as évek elején Németországban találkozott Gerhard Herzberggel (1904–1999), a későbbi Nobel-díjas német–kanadai spektroszkóppal. Beszélgetéseik a többatomos molekulák elektronátmeneteinek és molekularezgéseinek együttes tárgyalását bemutató dolgozathoz vezettek [6]. Teller hozta az ötleteket és Herzberg, aki a bábához hasonlította a szerepét, elkészítette a dolgozat első vázlatát, amelyet Teller kijavított. Teller ragaszkodott ahhoz, hogy Herzberg legyen az első szerző [7]. Ez volt az első eset, amikor az elektronátmeneteket és a molekularezgéseket összekapcsolva tárgyalták, és eredményük kivélt jelentett az általánosan elfogadott Born–Oppenheimer-közelítés érvényessége alól.



Rudolf Renner.

Beate Bauer-Renner szívességéből közöljük

Rudolf Renner (1909–1991) a szén-dioxid-molekula első gerjesztett elektronállapotában fellépő rezgési elektron-kölcsönhatást írta le [8]. Míg Teller és Herzberg a tudománytörténet ismert alakjai (és Teller jóval azon túl is), Renner személye a tudományban doktori munkája után a feledés homályába merült, de némi detektívmunkával sikerült többet megtudni róla [9]. Elsősorban a Stanford Egyetem Hoover Intézménye levéltárának Teller-anyagában találtunk információt, valamint leveleztünk Renner menyével, Beate Bauer-Rennerrel. Renner a sziléziai Schwidnitzben (akkor Németország, ma Lengyelország) született. Hannoverben, majd Göttingenben tanult. Max Born (1882–1970), a modern fizika egyik megteremtője és későbbi Nobel-díjas volt a témavezetője, Teller pedig a konzulense. A náci 1933-as uralomra jutása után Born és Teller is elhagyta Németországot, mielőtt Renner még befejezte volna a projektjét, és Arnold Eucken (1884–1950) segítette abban, hogy letehesse doktori vizsgáit. Ren-

ner megköszönte Born és Teller segítségét [10]. Bár Renner doktori címét sikerült megmenteni, fizikusként nem tudott elhelyezkedni. Kétéves tanfolyam elvégzésével tanári képesítést szerzett, de állásra így sem talált. A háború végéig meteorológusként dolgozott a német birodalmi meteorológiai szolgálatnál. 1942-ben feleségül vette egy gyógyszerész lányát az alsó-szászországi Dorumból. Mindkét sógora elesett a háborúban, így Renner örökölte a gyógyszertárat, és miután megszerezte a gyógyszerészi képesítést, 1950-ben átvette a családi vállalkozást. Felesége halála után Renner feleségül vett egy dorumi gyógyszerészt, és 1980-as nyugdíjazásáig továbbra is gyógyszertárban dolgozott. Beate Bauer-Renner szerint az egykori fizikus soha nem említette, hogy fiatalkorában fontos tanulmányt publikált, és Göttingenben világhírű tudósok voltak a mentorai.

Renner már nyugdíjas volt, amikor levelet írt Tellernek, amely szerint a lapokban és a tv-ben követte egykori konzulense pályáját, és ismételten megköszönte Teller segítségét kutatómunkájában [11]. Meghívta Tellert, hogy látogassa meg a Brémától száz kilométerrel északra levő Dorumban. Teller kedvesen válaszolt [12], és megkérte német kiadóját, hogy küldjön egy példányt energiakönyvének akkor megjelenő német fordításából [13]. Renner publikációja egyedül Rennert tüntette fel szerzőként, de idővel az abban leírtakat Herzberg kezdeményezésére az irodalom Renner–Teller-hatásként tartja számon.



Lev D. Landau az 1930-as években egy moszkvai fizikai kutatóintézet udvarán. Néhai David Shoenberg felvétele, és az ő szívességéből közöljük

Teller Németországból Koppenhágába ment, és Niels Bohr csoportjában találkozott a kor több vezető fizikusával. Köztük volt Lev D. Landau (1908–1968) szovjet fizikus, későbbi Nobel-díjas, akivel sokat beszélgetett a molekulák elektron- és rezgési hullámfüggvényei közötti kölcsönhatásokról. Amikor 1996-ban Tellerrel beszélgettünk, emlékeztetett Landau szerepére a Jahn–Teller-hatás felfedezésének történetében ([4], 415–416. oldal): „Akar-



nak hallani a Jahn-Teller-effektusról? Természetesen ez sem inkább kémia, mint a többi kutatásom, amit korábban említettem. Mint tudják, vegyészként kezdtem, és ez a stigma rajtam maradt. Ennek a hatásnak köze volt Lev Landauhoz. Egy német diákom Göttingenben, R. Renner, egy nagyon kedves ember, írt egy tanulmányt a lineáris szén-dioxid-molekula degenerált elektronállapotairól. ... Eredetileg azt vettem fel, hogy vizsgáljuk meg a szén-dioxid elektronátmenetét, amikor az átmenet dipólusmomentuma merőleges a CO_2 tengelyére. Renner feltételezte, hogy a szén-dioxid gerjesztett, degenerált állapota lineáris. 1934-ben Landau és én ott voltunk Niels Bohr koppenhágai intézetében, és sokat beszélgettünk. Landau nem értett egyet Renner dolgozatával; nem tetszett neki. Azt mondta, hogy ha a molekula degenerált elektronállapotban van, akkor a szimmetriája megsemmisül, és a molekula már nem lesz lineáris. Landau tévedett. Sikerült meggyőzőnöm őt, és egyetértett velem. Valószínűleg ez volt az egyetlen eset, amikor megnyertem egy vitát Landauval szemben. Nem sokkal később Londonba mentem, és találkoztam Jahnval. Elmeséltem neki a Landauval folytatott vitámat, és azt a problémát, amelyben meggyőződtem arról, hogy Landau tévedett. Zavart azonban, hogy Landau általában nem tévedett. Tehát talán a lineáris molekulák kivételével neki volt igaza. Jahn jó csoportelméleti szakember volt, és megírtuk azt a dolgozatot, amelynek a tartalmát jól ismerik: ha egy molekulának van degenerált elektronállapota, akkor a molekula szimmetriája torzul. Ez a Jahn–Teller-tétel. Ehhez tartozik egy lábjegyzet, amely szerint ez mindig igaz, egyetlen kivétellel, a lineáris molekulák esetében. Tehát a Jahn–Teller-hatás ironikus története az, hogy először tanítványomom, R. Renneren keresztül dolgoztam, a nevem nem is szerepelt azon a dolgozaton, amely 1934-ben jelent meg. Ez a tanulmány bemutatta a Jahn–Teller-hatás egyetlen általános kivételét.”

Amikor megkérdeztük Tellert, hogy Landau örült-e a lábjegy-

Hermann A. Jahn az 1930-as években. Michael Jahn és Margaret Jahn szívességéből közöljük



zetnek, így válaszolt: „Remélem, igen, de Landauval soha többé nem találkoztam. Többször is leírtam ezt, és hivatkoztam rá. Valójában Landau–Jahn–Teller-tételnek kellene ezt nevezni, mert Landau volt az első, aki megfogalmazta, sajnos az egyetlen olyan kivételt használva, ahol nem érvényes.”

Hermann A. Jahnról (1907–1979) a Jahn–Teller-hatás ismertsége ellenére is csak keveset tudunk. Jahn és Teller 1935-ben kerültek kapcsolatba, amikor Teller a University College London munkatársa volt és Jahn a Royal Institutionban dolgozott. Az egyik volt kollégája által írt nekrológban [14] találtunk róla információt, fényképét pedig gyermekeitől kaptuk. A nekrológ szerint „a végletekig szerény volt, és ezért nem volt könnyű megismerni”. Teller többször tévesen állította azt, hogy Jahn Németországból menekült. Valójában Jahn apja 1890-ben érkezett Németországból Angliába, és Jahn Colchesterben született. Lincolnban járt iskolába, és 1928-ban a University College Londonban szerzett BSc-diplomát kémiából. Ezt követően Lipcsében folytatta tanulmányait, ahol Werner Heisenberg volt az egyik mentora a doktori cím megszerzésében. Jahn disszertációja a metánmolekula rezgéseiről szólt. Angliába visszatérve a Royal Institution, a Royal Aircraft Establishment és a Birminghami Egyetem matematikai fizika tanszékén (Rudolf Peierls irányítása alatt) dolgozott, mielőtt 1949-ben a Southamptoni Egyetemen kapott oktatói kinevezést. Az egyetem nagyra becsült tagja volt, az alkalmazott matematikai tanszék vezetője, majd a természettudományi kar dékánja. A többatomos molekulák degenerált elektronállapotokban való stabilitásáról szóló két tanulmányán kívül (az elsőben írták le Tellerrel a később Jahn–Teller-hatásként ismert megfigyelést) számos más publikációja is megjelent. Kiválóan alkalmazta a matematikát a különböző problémák megoldásában. Röntgensugár-szórással és a magszerkezeteket leíró csoportelmélet alkalmazásával foglalkozott. Fő érdeklődési területe továbbra is a molekulák szerkezete és a molekuláris rezgések maradtak. A háború alatt háborús projektként nagy szerkezetek, például repülőgépek rezgéseit tanulmányozta.

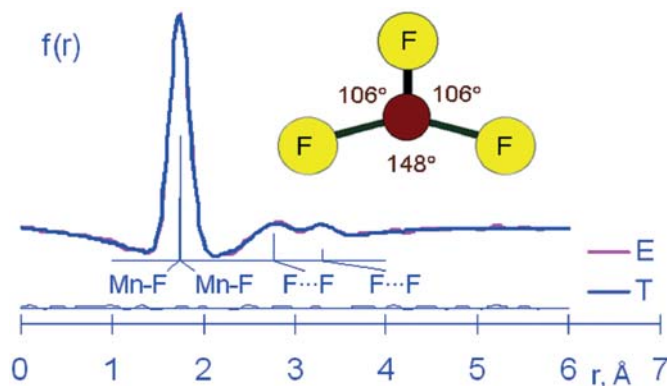


Hargittai Magdolna és Teller Ede 1996-ban Tellerék otthonában, Palo Alto, Kalifornia. Teller éppen Teller, Wendy Teller és Wilson Talley *Conversations on the Dark Secrets of Physics* című könyvét dedikálja. Hargittai István felvétele

Éppen abban az időben, amikor meglátogattuk Telleréket, egyikünk (HM) a gázállapotú mangán-trifluorid-molekula szerkezetén dolgozott, és már akkor sejtettük, hogy a molekula szerkezete Jahn–Teller-hatást mutat. A szerkezetmeghatározásra gáz-



fázisú elektrondiffrakciót és kvantumkémiai számításokat használtunk. Tellert láthatóan érdekelte a szerkezet, és a továbbiakban folyamatosan tájékoztattuk előrehaladásunkról. A kristályos mangán-trifluorid a Jahn–Teller-torzulás egyik legjellemzőbb esete. Ebben a fluoridionok hatos koordinációban veszik körül a mangániont, de nem egyenlő távolságra vannak egymástól, mint ahogyan egy szabályos oktaédes elrendeződésben lennének, és a molekula D_{4h} szimmetriájú, nyújtott oktaédes szerkezetű.



A szabad mangán-trifluorid-molekula ún. radiális eloszlásai a kísérleti adatokból (E) és számításokból (T) – valójában ezek az atommagtávolságok valószínűségi eloszlásai – és a C_{2v} szimmetriájú molekulamodell [15] nyomán. Az Mn–F kötéshosszak közötti eltérés alig látható, de a kötésszögeket meghatározó F...F távolságok közötti jelentős eltérés szembetűnő

Az elektrondiffrakciós analízis kvantumkémiai számításokkal kombinálva egyértelműen kimutatta a Jahn–Teller-hatást a szabad molekulában is [15]. A legmagasabb D_{3h} szimmetria helyett a molekula az alacsonyabb C_{2v} szimmetriájú. Két különböző kö-

tésszög van; kettő 106°, egy pedig 148°-os, és az egyik kötés valamelyest rövidebb, mint a másik kettő. A torzulás stabilizálja a molekulát. Részletesen tárgyaltuk ennek mechanizmusát, és csoportelméleti megfontolások segítségével a torzulás feltételeit [16]. A Jahn–Teller- és Renner–Teller-hatást mutató fém-halogenid molekulaszervezetekre további példákat mutattunk be [17, 18]. ●●●

IRODALOM

- [1] Jahn, J. A., Teller, E., Stability of polyatomic molecules in degenerate electronic states – I—Orbital degeneracy. Proc. Roy. Soc. Lond. A (1937) 161, 220–235.
- [2] www.nobelprize.org/uploads/2018/06/bednorz-muller-lecture.pdf
- [3] Hargittai I., Teller. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1990.
- [4] Hargittai, M., Hargittai, I., Candid Science IV: Conversations with Famous Physicists. Chapter 21, “Edward Teller.” Imperial College Press, London, 2004, 404–423.
- [5] Hargittai M., Hargittai I., Nevek és hírnevek: Herzberg, Jahn, Renner, Teller és az elektron-rezgési kölcsönhatások. Fizikai Szemle (2009) 247–250.
- [6] Herzberg G., Molecular spectroscopy: a personal history. Annu. Rev. Phys. Chem. (1985) 36, 1–30, az idézet a 10–11. oldalon található.
- [7] Herzberg G., Teller, E., Schwingungsstruktur der Elektronenübergänge bei mehratomigen Molekülen. Z. phys. Chem. (1933) B21, 410–456.
- [8] Renner, R., Z. Phys. (1934) 92, 172.
- [9] Hargittai, M., Hargittai, I., Hermann Jahn and Rudolf Renner of the Jahn-Teller and Renner-Teller effects. Struct. Chem. (2009) 20, 537–540.
- [10] Renner, R., “Lebenslauf des cand phys.,” Göttingen, 1. XI. 1933, Universitätsarchiv Göttingen, 1933.
- [11] Rudolf Renner 1980. november 11-i levele Tellerhez. Hoover Institution Archive, Stanford University.
- [12] Teller Ede dátum nélküli levele Rennerhez. Hoover Institution Archive, Stanford University.
- [13] Teller Ede 1980. december 9-i levele Dr. Gustav Weisshez, Lektorat Sachbuch. Hoover Institution Archive, Stanford University.
- [14] Landsberg, P. T., Hermann Arthur Jahn. Bull. Lond. Math. Soc. (1980) 12, 383–386
- [15] Hargittai, M., Réffy, B., Kolonits, M., Marsden, C. J., Heully, J.-L., The Structure of the Free MnF_3 Molecule – A Beautiful Example of the Jahn-Teller Effect. J. Amer. Chem. Soc. (1997) 119, 9042–9048.
- [16] Hargittai, M., Vibronic Interactions in Metal Halide Molecules. Struct. Chem. (2009) 20, 21–30.
- [17] Hargittai, M. Molecular Structure of Metal Halides. Chem. Rev. (2000) 100, 2233–2302.
- [18] Hargittai, M. Structural Effects in Molecular Metal Halides. Acc. Chem. Res. (2009) 42, 453–462.

Chemistry
Europe

European Chemical Societies Publishing

Chemistry Europe

- 16 chemical societies
- From 15 European countries
- Which co-own 20 scholarly journals
- Over 19 million downloads in 2022
- Over 120,000 articles published since 1995
- With 128 Chemistry Fellows and 8 Honorary Fellows recognized for excellence in chemistry

www.chemistry-europe.org

Chemistry
Europe
European Chemical
Societies Publishing

published in partnership with



KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

A Nernst-egyenlet Első rész

A Nernst-egyenlet 1889 óta az elektrokémia és az elektroanalitika legfontosabb összefüggése, amelynek segítségével ki tudjuk számolni az elektródpotenciál (E) értékét az elektród komponensei összetételének (koncentrációjának) függvényében, illetve meg tudjuk határozni koncentrációikat az elektromotoros erő (EMF) mérésével [1–7]. Ma a Nernst-egyenletet az alábbi tömör formában szoktuk felírni egy egyensúlyban lévő elektródreakcióra:

$$E = E^\ominus - (RT/nF) \sum_i \nu_i \ln a_i \quad (1)$$

vagy

$$E = E_c^\ominus - \frac{RT}{nF} \sum \nu_i \ln \frac{c_i}{c^\ominus} \quad (2)$$

ahol $E^\ominus$ és $E_c^\ominus$ a standard elektródpotenciál, illetve a formális potenciál, R a gázállandó, T a hőmérséklet, n a töltésszám, F a Faraday-állandó, ν_i , a_i és c_i az i -edik összetevő sztöchiometriai száma, relatív aktivitása, illetve a koncentrációja, $c^\ominus$ a standard koncentráció. Az egyenletet a redukció irányába írjuk fel. Mivel a sztöchiometriai szám pozitív a keletkező és negatív a fogyó anyagokra, az egyenlet két tagja közötti előjel + lesz, ha a logaritmus mögötti tört számlálójába az oxidált, a nevezőjébe pedig a redukált alak(ok) koncentrációját írjuk. Szorzássorozatként (π) felírva az logaritmus utáni részt, ami a gyakoribb forma, az alábbi összefüggés adódik:

$$E = E_c^\ominus + \frac{RT}{nF} \ln \frac{\pi c_{ox}^{\nu_{ox}}}{\pi c_{red}^{\nu_{red}}} \quad (3)$$

A formális potenciált a standard elektródpotenciál ($E^\ominus$) helyett azért célszerű használni, mert a koncentrációkat általában ismerjük, viszont az ionok aktivitását (az aktivitási tényezőket) és az egyéb tényezőket általában nem. Ezeket a formális potenciál tartalmazza.

Nernst a képletét alapvetően fémleválási–fémoldódási egyensúlyra tehát az $M^+ + e^- \rightleftharpoons M$ elektródreakciókra fogalmazta meg.

Nernst az elektródpotenciálok koncentrációfüggését leíró képletét a van 't Hoff -féle ozmózismodell alapján vezette le, ahol a féláteresztő hátyát az elektródfém felülete játszotta, a fémbe az oldószer-molekulák és az anionok nem, csak a fémionok tudtak belépni. Még egy fiktív nyomást is feltételezett az oldat felől, amire az egyensúly leírásához volt szüksége [1, 2, 5–7] (1. ábra). Ez ugyanaz a nyomás, amit van 't Hoff feltételezett, vagyis az oldott anyag molekulái, ionjai nyomást gyakorolnak a membrán és az edény falára, mint a gázok az tartály falára.

148

W. Nernst

Es sei nun E die Potentialdifferenz zwischen Metall und Elektrolyt und p der osmotische Partialdruck der Ionen dieses Metalls im Elektrolyt; um dann die Elektrizitätsmenge $+1$ aus der Lösung in das Metall übertreten zu lassen, ist die Arbeit E erforderlich; ändern wir p in $p + dp$ und damit E in $E + dE$, so lässt sich die Zunahme der Arbeit dE leicht berechnen, denn sie besteht einfach darin, die mit der Elektrizitätsmenge $+1$ wandernde Menge des Kations von $p + dp$ auf p zu komprimieren. Es ist somit

$$dE = -V dp,$$

wo V das Volum bezeichnet, welches die in Rede stehende Menge des Kations unter dem Druck p einnimmt. Führen wir wieder, wie oben S. 137, das Mariotte-Boylesche Gesetz in der Form

$$pV = p_0$$

ein, so wird

$$dE = -p_0 \frac{dp}{p} \text{ und somit integriert } E = A - p_0 \ln p.$$

Bringen wir die Integrationskonstante unter den Logarithmus, so können wir den für E erhaltenen Ausdruck auf die Form bringen:

$$(6) \quad E = p_0 \ln \frac{P}{p},$$

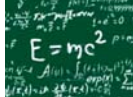
wo P dann eine andere Konstante ist. Führen wir schliesslich für p_0 den oben ermittelten Wert ein, so wird

$$(7) \quad E = 0.860 T \ln \frac{P}{p} \times 10^{-4} \text{ Volt.}$$

Die soeben behandelte Gattung von Elektroden, gebildet durch ein einwertiges Metall in der Lösung eines aus ihm gebildeten Salzes, können wir passend „bezüglich des Kations umkehrbare Elektroden“ nennen, weil eben der Übertritt der Elektrizität durch das Kation bewerkstelligt wird. Es liegt nun nahe, nach „bezüglich des Anions umkehrbaren Elektroden“ zu suchen, bei denen also durch den Strom elektronegative Ionen in Lösung gebracht werden, oder auf welchen bei umgekehrter Richtung des Stromes sich derartige Ionen niederschlagen. Tatsächlich sind nun diesen Bedingungen genügende Elektroden unschwer von mannigfacher Beschaffenheit aufzufinden. Überziehen wir z. B. Silber mit einer Schicht von Chlorsilber und tauchen die so präparierte Elektrode in die Lösung eines Chlorids, z. B. Chlorkalium, so sind die verlangten Bedingungen erfüllt. Der Übertritt von Elektrizität aus der Elektrode in den Elektrolyten kann nur in der Weise erfolgen, dass entweder Chlorionen in Lösung gehen

1. ábra. Nernst „Die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen“ cikkének részlete. Zeitschrift für Physikalische Chemie (1889) 4, 129 181 [1]

Nernst Friedrich Wilhelm Ostwald kutatócsoportjában dolgozott Lipcsében, amikor az elektródok termodinamikai egyensúlyával foglalkozott, és levezette a Nernst-egyenletet. Ez habilitációs dolgozatának a témája is volt, amit előadói állásának biztosítására a Lipcsei Egyetemre nyújtott be. Nem véletlen, hogy ezt a témát választotta, mert Ostwald csoportjában van 't Hoff ozmózismagyarázata, Arrhenius disszociációelmélete, illetve az elektrokémiai rendszerekben kialakuló potenciálkülönbségek megértése és matematikai leírása állandó téma volt. Az utóbbi kettő esetében Helmholtz és Gibbs termodinamikai elméletére (lásd a Gibbs-fejezetet) támaszkodott.



Nernst szerint a fém oldódásának, illetve a fém leválásának oka a nyomáskülönbség. A két nyomás létezik: az ozmózisnyomást (p) az oldott molekulák (ionok) fejtik ki a fém felületére (a féláteresztő membránra), az ellenkező nyomás pedig a fém oldódási nyomása („Lösungstension”) (P), ami az ionokat az oldatba hajtja, és jellemző az egyes fémekre. Egyensúlyban $p = P$.

Nernst szerint amikor egy fém ebből a fém felületéről képzett oldatba merítünk, bizonyos számú pozitív töltésű fémion oldatba megy, ha $P > p$. Az oldatba kerülő pozitív ionok a felületen helyezkednek el. A fémben szabaddá vált elektromosság szintén a fém felületén van. Az elektromos kettős réteg a fém felületére merőlegesen erőkomponenst eredményez, amely a fémionokat az elektrolitból a fém felé hajtja, azaz az oldástenzióval szemben működik. A fém és az elektrolit között elektromotoros erő lép fel, amelynek következtében a fém felől az oldat felé galvánáram folyik. Ha $P < p$, a fordított folyamat játszódik le.

A potenciálkülönbség a fém – elektrolit (E) között pedig a következő összefüggéssel adható meg [1]:

$$E = p_0 \ln P/p \quad (4)$$

ahol p_0 a Boyle–Mariotte-féle egyenlet állandója ($p_0 = pV$). Ténylegesen, dE munka jellegű mennyiség, azaz, $dE = -V dp$, ahol V a kation térfogata p nyomáson. Ha p változik $p + dp$ -re, akkor $E + dE$ -re változik, és dE kiszámolható abból a munkából, amely egy +1 töltésű kation átvitelével jár az adott nyomásváltozásnál. Végezetül Nernst a következő egyenlethez jutott:

$$E = 0,860 T \ln P/p \times 10^{-4} \text{ volt.} \quad (5)$$

Nernst még 1921-ben is ragaszkodott a nem megfelelő modelljéhez, és az egyenletet a következőképp adta meg:

$$E = \frac{RT}{n} \ln \frac{C}{c} \quad (6)$$

ahol R a gázállandó, n az ion kémiai vegyértéke, C az elektródra jellemző állandó és c az ion koncentrációja [4]. „So there arose in 1889 the osmotic theory of galvanic current generation, which has not been seriously challenged since it was put forward more than thirty years ago and has undergone no appreciable elaboration since its acceptance, surely a clear sign that it has so far satisfied scientific needs.” [4]

A redoxielektrodok potenciálját a Nernst-féle elképzelés alapján nem lehet értelmezni. Ugyanis redoxielektrodokon (inert elektród, például platina és egy redoxipár az oldatban) nincs ionátmenet, hanem elektronátmenet van.

Elég különös, hogy Nernst évtizedek múlva sem vette figyelembe, hogy elektronátlépés is lejátszódhat. 1889-ben még természetesen nem gondolhatott ilyen folyamatra az elektron 1897-es felfedezése előtt [Joseph John Thomson (1856–1940, Nobel-díj: 1906, az elektron felfedezéseért). Az igaz, hogy elektródfolyamatok esetén a kísérleti igazolást Hevesy és Zechmeister 1920-as cikke [8] jelentette, de ez is a Nernst Nobel-előadása előtti évben jelent meg, és Nernst ismerhette.

Nernst és követői képtelen magyarázatokkal próbálták előállni a redoxielektrodok működésével kapcsolatban, például, hogy a fémek, fémionok hidrogént fejlesztenek, és minden redoxielektrod tulajdonképpen hidrogénelektrod.

Az ügy további érdekessége, hogy a redoxielektrodokat Ostwald laboratóriumában is vizsgálták, és a kísérleti eredmények alapján doktorandusza, Rudolf Peters (1869–1937) már 1898-ban a helyes összefüggésre jutott, amikor inert fémelektrodon a $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ rendszereket vizsgálta különböző koncentrációarányoknál [9, 10]:

$$\pi = A + RT/F \ln c_{\text{Fe}^{3+}} / c_{\text{Fe}^{2+}} \quad (7)$$

ahol π a potenciál, A pedig egy állandó.

A német szakirodalomban ezt Peters-egyenletként említették, míg a Nernst-egyenletet csak fém/fémion elektródokra használták.

Peters Drezdában született és járt gimnáziumba. 1892-től Lipcsében tanult gyógyszerésznek. Miután Ostwaldnál megszerezte a doktori fokozatot, nem kapott kutatói lehetőséget többé. Németországban és Spanyolországban dolgozott cinküzemekben. Németországban – Ostwald ajánlásával – a Királyi Vámhivatalban jutott vegyész álláshoz. Súlyos depresszióban szenvedett, huzamosabb kórházi kezelésre szorult. Grossenhainban halt meg egy nyugdíjas otthonban.

Ma a redoxielektrodokra az alábbi egyenletet alkalmazzuk:

$$E = E^\theta + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{a_o}{a_R} \right) \approx E^\theta + \frac{2,303RT}{nF} \log \left(\frac{a_o}{a_R} \right) \quad (8)$$

ahol a_o és a_R az oxidált, illetve a redukált alak relatív aktivitása az oldatban és az O/R redoxipár standard potenciálja.

Egy elektród potenciálját nem lehet mérni, csak egy elektrokémiai cellát. A cellareakció potenciálja, E_{cell} , termodinamikai úton levezethető, az elektromotoros erő pedig jól mérhető [2, 3].

A cellareakció potenciáljának koncentrációfüggésére hasonló összefüggést kapunk, mint az elektródpotenciálára:

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cell}, c}^\ominus - \frac{RT}{nF} \sum \nu_i \ln \frac{c_i}{c^\ominus} \quad (9)$$

Van, aki a formai hasonlóság miatt ezt is Nernst-egyenletnek nevezi, de ez nem támogatható, a Nernst-egyenletnek az elektródpotenciálra vonatkozó egyenletet hívjuk.

Nernst nevét nagyon sok egyenlet viseli.

Nernst diffúziós egyenlete

Nernst az 1:1 elektrolitok diffúziós együtthatója (D_{KA}) és ionjai mozgékonyaságai (u_K , u_A) közötti kapcsolatot tárta fel,

$$D_{KA} = \frac{RT}{F} \frac{2u_K u_A}{u_K + u_A} \quad (10)$$

Ez a Nernst-féle diffúziós egyenlet.

$$D_{KA} = (RT/F) [u_K u_A / (u_K + u_A)] [z_K + |z_A| / z_K |z_A|] \quad (11)$$

Nernst–Einstein-egyenlet

A végtelen hígításra extrapolált moláris fajlagos vezetés (Λ_0) és a diffúziós együtthatók közötti összefüggést írja le.

$$\Lambda_0 = \frac{F^2}{RT} (\nu_+ z_+^2 D_+ + \nu_- z_-^2 D_-) \quad (12)$$

ahol z az ionok töltésszámát jelenti [2, 3].

Nernst-féle egyensúly

Nernst adott először termodinamikai leírást az elektród két érintkező fázisának egyensúlyára, vagyis arra a helyzetre, hogy ugyanannyi fém oldódik időegység alatt, mint amennyi fémion kiválik. Nagy csereáram-sűrűségű rendszerek esetén akkor is létrejöhet egyensúlyi helyzet a felületi rétegben, ha áram folyik. Ekkor is alkalmazható a Nernst-egyenlet, és ilyenkor (elektrokémiailag) reverzibilis vagy nernsti rendszerről, reakcióról beszélünk.

Nernst-réteg (a diffúziós rétegvastagság)

Az elektrolitfázisból az elektronvezető fázis felé az elektródreakció következtében, amely fogyasztja az elektroaktív ionokat, vegyületek diffúziója indul meg, mert a felületnél a koncentráció, c_i ($x = 0$) eltér a tömbfázisától, c_i^* . A szilárd felület közelében mindig kialakul egy mozdulatlan folyadékréteg, amelynek vastagsága függ attól, hogy az oldatot milyen sebességgel keverjük. Általában a koncentráció változása a határfelület közelében közelítőleg lineáris, az oldatfázis belseje felé pedig aszimptotikusan tart c_i^* -hez. A Nernst-réteget a koncentrációváltozás lineáris részének a tömbfázis koncentrációjáig extrapolálva kaphatjuk meg. A Nernst-réteg vastagsága, a diffúziós rétegvastagság (δ) az idő négyzetgyökével nő lineárisan, amíg az oldatot nem keverjük és csak a spontán keveredés érvényesül, majd állandó marad. Keverés esetén a Nernst-réteg vastagsága a konvekciót meghatározó tényezőtől függ, például forgó korongelektrod esetében a forgatás sebességének gyökével csökken. Keveréssel tehát a diffúziót meghatározó koncentrációgradiens $\{[c_i^* - c_i(x=0)]/\delta\}$ változtatható.

A Nernst-réteg közelítés, de a legtöbb esetben kielégítő eredményt ad a számításokban. Meg kell jegyezni, hogy a diffúziós rétegvastagságot Nernst erre vonatkozó munkájában még irreálisan vastag, tapadó (nem mozgó) réteggént azonosította.

Nernst–Planck-egyenlet

Ez az egyenlet töltött részecskék anyagtranszportjának fluxusát (J_i) írja le. Az első tag a diffúzióra (koncentrációgradiens hatása), a második a migrációra (elektromos potenciálkülönbség gradiense hatása), a harmadik a konvekcióra (keverés hatása) vonatkozik.

$$J_i(x) = -D_i \nabla c_i - (z_i F / RT) D_i c_i \nabla \Phi + c_i v(x, y, z) \quad (13)$$

Egydimenziós esetben

$$J_i(x) = -D_i [\partial c_i(x) / \partial x] - (z_i F / RT) D_i c_i [\partial \Phi(x) / \partial x] + c_i v(x) \quad (14)$$

ahol D_i és c_i az i -edik részecske diffúziós együtthatója, illetve koncentrációja, Φ a belső potenciál, v az oldat egy térfogatelemének sebessége.

Nernsti meredekség

Az elektroanalitikában (potenciometriában) fontos, hogy az ion szelektív elektród milyen koncentrációtartományban viselkedik ideálisan, vagyis mikor változik a potenciál lineárisan a koncentráció (aktivitás) logaritmusával; az egyenes meredeksége 298 K-en egyszeres töltésű ion esetében 59,16 mV/dekád.

Nernst-hatás vagy első Nernst–Ettingshausen-hatás

Nernst Albert von Ettingshausen (1850–1932) mellett, a Grazi Egyetemen dolgozta ki a termoelektromos, illetve termomágneses jelenség magyarázatát, amikor hő áramlik egy fémből készült csíkban, amit merőleges mágneses mező hatásának tesznek ki, amikor is elektromos feszültségkülönbség keletkezik az élék között. A fordított esetet a második Nernst–Ettingshausen-hatásnak nevezik. (Analog a Hall-effektussal, ilyenkor elektromos áram áramlik hő helyett).

Nernst-féle eloszlási törvény

Ha két nem elegyedő folyadék (a és b) részlegesen oldhatatlan egymásban és egy harmadik i összetevő van jelen mindkét fázisban, akkor e komponensek a két fázisban mért koncentrációjának hányadosa az egyensúly beállta után állandó. A megoszlási hányados (K) csak a hőmérséklettől és az anyagi minőségtől függ, azaz $K = x_i^a / x_i^b$.

Nernst–Thomson-szabály

Az elektrolitok disszociációjának mértéke annál nagyobb, minél nagyobb az oldószer dielektromos permittivitása.

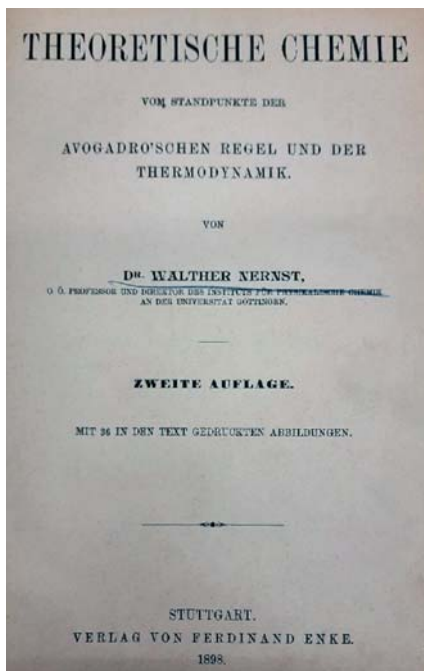
Walther Hermann Nernst



2. ábra.
Nernst 1906-ban.
Nicola Perscheid
(1864–1930) festménye;
Photographische
Gesellschaft, Berlin

Walther Hermann Nernst [Briesen, Nyugat-Poroszország (ma Wąbrzeźno, Lengyelország), 1864. június 25. – Zibelle, Németország (ma Niwica, Lengyelország, 1941. november 18.) (2. ábra) szülei: Gustav Nernst bírónak (1827–1888) és Ottilie Nergernek (1833–1876) öt gyermeke született. Nernst három nővére után született, és volt egy öccse is. A Nernst család sok generációja Prenzlauban élt, de Nernst apja Briesenbe kapott bírói kinevezést, ezért a család odaköltözött. Ezután nem sokkal a közeli Graudenz (ma Grudziądz) városába költöztek, ahol Nernst az elemi iskoláit végezte, majd az itteni Királyi Protestáns Gimnáziumban érettségizett 1883-ban. Kezdetben az irodalom iránt vonzódott, költő akart lenni, de a gimnáziumban megszerette a kémiát, saját laboratóriumot is berendezett házuk alagsorában, és a természettudomány szerencséjére ez az érdeklődése azután egész életében végigkísérte. Ezután a Zürichi, Würzburgi és a Grazi Egyetemen hallgatott előadásokat, ez utóbbi helyen von Ettinghausen gyakorolt nagy hatást a fiatal kutatóra. Nernst Friedrich Kohlrausch-nál szerezte meg tudományos fokozatát Würzburgban, majd Lipcsébe ment, ahol Ostwaldnál kezdett dolgozni, és alkotta meg az elektrokémia fontos egyenleteit. 1891-ben Göttingenben lett a fizika előadója [11–16]. Ebben az időben kezdte írni azt a könyvét, amely azután a fizikai kémia alapműve lett, és az 1893-as első kiadás után 1926-ig nagyon sok kiadást ért meg (3. ábra).

1894-ben a Göttingeni Egyetem épített Nernstnek egy korszerű fizikai kémiai laboratóriumot, és professzornak nevezték ki.



3. ábra. Nernst „Elméleti kémia” című könyvének 2. kiadása (1898)

1892-ben feleségül vette Emma Lohmeyert (1871–1949) (4–5. ábra), aki egy neves göttingeni sebész lánya volt.



4. ábra. Emma Lohmeyer



5. ábra. Nernst felesége társaságában vezeti Rex-Simplex autójukat 1904. január 14-én (Die Woche, 1904. július 16.)

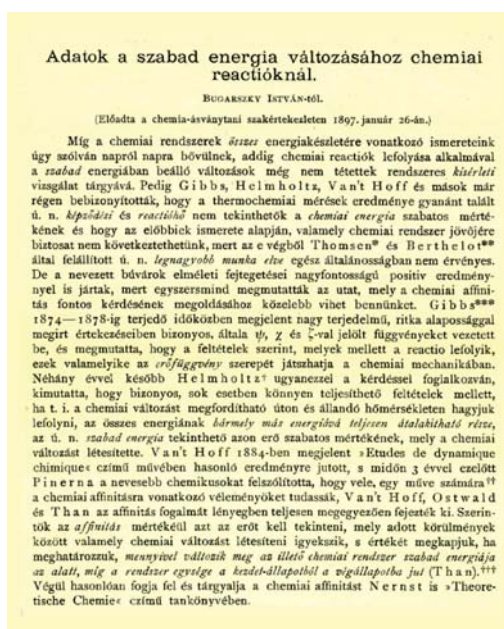
Kétévenként születtek a gyerekek, összesen öt: Gustav (1894–1917), Rudolf (1896–1919), Hildegard (1898–1955), Edith (1900–1980), Angela (1902–?)

Szőrnyű tragédiája volt a családnak, hogy mindkét fiú 23 éves korukban elesett az első világháborúban. Gustav a francia fronton 1917. április 21-én (a dátumból valószínűsíthető, hogy a 2. arrasi csatában), míg Rudolf haláláról csak az évszám tudható: 1919.

1905-ben Nernst a Berlieni Egyetem fizikai kémiai professzora lett. 1922 és 1924 között a Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Werner von Siemens és Hermann von Helmholtz által 1887-ben alapított állami finanszírozású kutatóintézet) igazgatójaként működött, majd 1924 és 1934 között újra az egyetemen találjuk, mint a fizika professzorát és a Fizikai Laboratórium igazgatóját. 1934-ben vonult nyugdíjba.

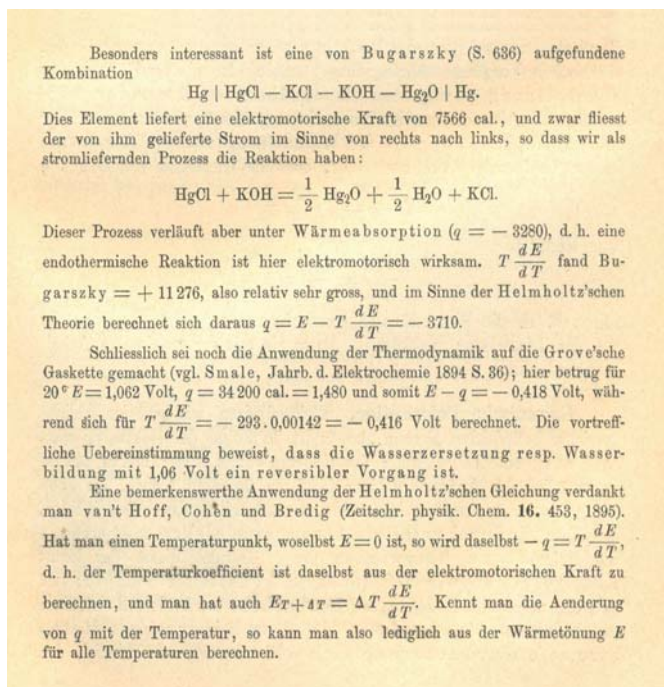
A göttingeni évek alatt, majd Berlinben 1906 és 1912 között Nernstet az egyensúly termikus adatokból való kiszámítása foglalkoztatta [17–22]. A már meglévő adatok értékelésével arra jutott, hogy a hőenergia (Q) és az affinitás, maximális munka (A) (vagyis ΔH és ΔG) görbéje aszimptotikusan közelít egymáshoz az abszolút nullaponthoz közeledve, azaz $\lim_{T \rightarrow 0} dA/dT = \lim_{T \rightarrow 0} dQ/dT = 0$, $T = 0$ esetén (**Nernst-féle hőtétel** (1906) vagy **Nernst-Simon-féle hőtétel**). Így jutott el Nernst 1905-ben a termodinamika 3. főtétele megalapozásához, mert tételéből következik, hogy egy tökéletes kristályos anyag entrópiája abszolút nulla fok hőmérsékleten zérus. Ez következik Ludwig Boltzmann statisztikus termodinamikai levezetésének entrópiára adott $S = k \ln W$ képletéből (1877) is, amikor W (Wahrscheinlichkeit = valószínűség) egyenlő eggyel. Nernst nem használta az entrópia kifejezést. Azt Max Planck (1858–1947) fogalmazta meg 1910-ben, hogy $S = 0$ ha $T = 0$.

Nernstnek nagyon sok neves tanítványa volt. Magyar vonatkozásban a legfontosabb Bugarszky István (1868–1941), aki Göttingenbe ment tanulmányútra, és Nernst tanácsára megkísérelte endoterm galvánelem előállítását. Ez sikerült is, és ezzel beírta nevét a termodinamika és az elektrokémia történetébe. Ugyanis ez volt az első kísérleti igazolása annak, hogy a kémiai affinitás a Gibbs-féle szabadentalpiával van kapcsolatban, és érvényes a Gibbs-Helmholtz-egyenlet [23, 24].



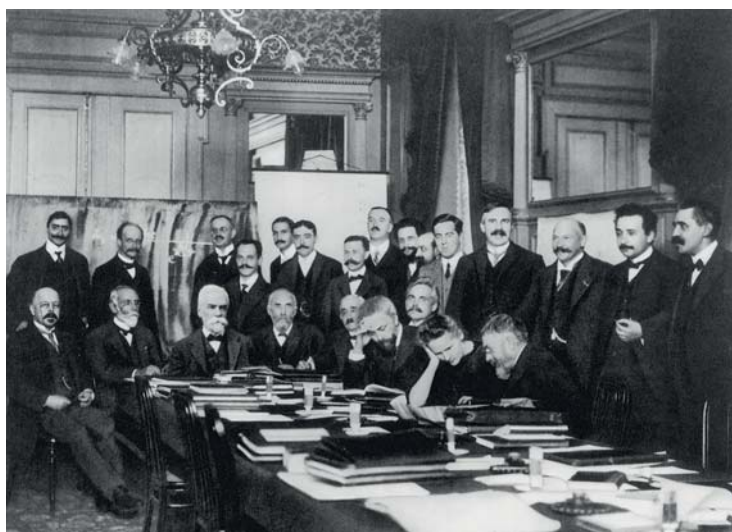
6. ábra. Bugarszky István cikkének első oldala. Magyar Kémiai Folyóirat (1897) 3, 38–46.

„A hézagok kitöltése miatt még külföldi tartózkodásom idejében, Nernst professor ajánlatára, feladatul tűztem ki, hogy néhány kémiai reakciónál a szabad energia változását megmérjem” – Bugarszky 1897-es cikkében (6. ábra). Nernst követte is Bugarszky munkáját, és a következő évben megjelenő könyvében már írt is róla (7. ábra).



7. ábra. Részlet W. Nernst „Theoretische Chemie” című 1898-as könyvéből

Nernst a hőelmélet sikere után is folytatta a kutatást, munkatársaival sok anyag hőkapacitását határozták meg kis hőmérsékleteken. A kis hőmérséklet előállítását saját tervezésű hidrogén cseppfolyósítóval oldotta meg. (Kamerlingh Onnest meglátogatta Leidenben, de az ottani cseppfolyósító berendezés megvételére nem volt elég pénze.) Egyszerű anyagokra sikerült olyan hőmérsékletfüggést kísérletileg kimutatni, amelyet Einstein megjósolt a kvantumelmélet alapján. Hőelméletét, amit addig csak kondenzált rendszerekre alkalmazott, sikerült kiterjeszteni gázokra



8. ábra. Az első Solvay-konferencia csoportképe (1911). Nernst az ülő sorban balra az első

is (degenerált gázok). Ez a modell jól alkalmazhatónak bizonyult az elektronokra is fémekben.

Nernst részt vett a meghívásos első Solvay-konferencián. A 8. ábrán látható részvevők közül az ülő sor (balról): Walther Nernst, Hendrik Antoon Lorentz, Ernest Solvay (ő nem vett részt a konferencián, csak a fényképezéshez ült be), Marcel Brillouin, Emil Warburg, Jean Baptiste Perrin, Wilhelm Wien, Marie Skłodowska-Curie és Henri Poincaré. Az álló sor (balról): Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Hasenöhr, Georges Hostelet, Édouard Herzen, James Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kamerlingh Onnes, Albert Einstein és Paul Langevin.

1920-tól Nernst fotokémiával kezdett foglalkozni. Bár ez rövid ideig tartott, a láncreakciók felvetése az ő nevéhez fűződik [25]. Többek között Walter Noddackkal (1893–1960) dolgozott együtt, aki későbbi feleségével Ida Tackével és Otto Berggel felfedezte a réniomot (1925). Hevesy György javaslatára Nodack lett az utódja a Freiburgi Egyetemen 1935-ben.

IRODALOM

- [1] W. Nernst, Die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen. Zeitschrift für Physikalische Chemie (1889) 4, 129–181.
- [2] Inzelt Gy., Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
- [3] G. Inzelt, Crossing the bridge between thermodynamics and electrochemistry. From the potential of the cell reaction to the electrode potential. Chemtexts: The Textbook Journal of Chemistry (2015) 1(2), 1–11.
- [4] Walther Nernst, Nobel Lecture, December 12, 1921. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1920/nernst/lecture/>
- [5] F. Scholz, Wilhelm Ostwald's role in the genesis and evolution of Nernst equation. Journal of Solid State Electrochemistry (2017) 21, 1847–1859.
- [6] G. Inzelt, Loose building blocks in the edifice of electrochemistry in a historical perspective and their impact on the teaching. Journal of Solid State Electrochemistry (2024) 28, 1171–1189.
- [7] Horányi Gy., Egy téves modell szerepe a fizikai kémia és az elektrokémia kialakulásában, Kémiai Közlemények (1990) 71, 73–130.
- [8] G. Hevesy, L. Zechmeister L., Über den Verlauf des Umwandlungsvorgangs isomerer Ionen. Zeitschrift für Elektrochemie (1920) 26, 151–153.
- [9] R. Peters, Zeitschrift für physikalische Chemie (1898) 26, 193–236.
- [10] R. Peters, Ueber Oxidations- und Reduktionketten und den Einflusskomplexer Ionen auf ihre elektromotorische Kraft. Engelmann, Leipzig, 1898.
- [11] F. A. Lindemann, F. E. Simon, Walther Nernst, 1864–1941. Obituary Notices of Fellows of the Royal Society (1942) 4 (11) 101–112. Tartalmazza Nernst összes publikációjának jegyzékét.
- [12] A. Einstein, The work and personality of Walther Nernst. The Scientific Monthly (1942) 54(2), 195–196.
- [13] R. A. Millikan, Walther Nernst, a great physicist, passes. The Scientific Monthly (1942) 54(1), 84–86.
- [14] R. P. Huebener, Walther Nernst: Physicist and chemist with great vision. Electrochemistry Encyclopedia, The Electrochemical Society, 2013.
- [15] <https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-n02-nernst.htm>
- [16] K. Mendelssohn, The World of Walther Nernst. The Rise and Fall of German Science. Red Globe Press, London, 1973.
- [17] W. Nernst, Über die Beziehung zwischen Wärmeentwicklung und maximaler Arbeit bei kondensierten Systemen. Ber. Kgl. Pr. Akad. Wiss. (1906) 52, 933–940.
- [18] F. Simon, Fünf und zwanzig Jahre Nernstscher Wärmesatz. Ergebn. exakt. Naturwissenschaften (1930) 9, 222–274.
- [19] W. Nernst, F. Kofe, F. A. Lindemann, Untersuchungen ueber die spezifische Waerme bei tiefen Temperaturen. S. B. Preussischen Akademie der Wissenschaften I (1910) 247–261; II. 262–282.
- [20] W. Nernst, F. A. Lindemann, Spezifische Waerme und Quantentheorie. Zeitschrift für Elektrochemie (1911) 17, 817–827.
- [21] F. Simon, Untersuchungen ueber die spezifische Waerme bei tiefen Temperaturen. PhD thesis, Universität, Berlin, 1922., Drude Annales (1922) 68, 241–280.
- [22] N. Kurti, Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society (1958) 4, 224–256.
- [23] Bugarszky I., Adatok a szabad energia változásához kémiai reakcióknál. Magyar Kémiai Folyóirat (1897) 3, 38–46.
- [24] I. Bugarszky, Über die Aenderung der freien Energie bei Bildung unlöslicher Quecksilberverbindungen. Zeitschrift für Anorganische Chemie (1897) 14, 145–163.
- [25] W. Nernst, W. Noddack, Zur Kenntnis der photochemischen Reaktionen. Physikalische Zeitschrift (1920) 21, 602–605.



TÚL A KÉMIÁN

Bolygóévő csillag

Csillagászok szerint néhány milliárd év múlva a Napból vörös óriás lesz, ami a hozzá közelebb lévő, belső bolygók pusztulását is okozza majd. Ehhez hasonló eseményt, amely a ZTF SLRN-2020 jelet kapta, először a Palomar Observatóriumban figyeltek meg 2020-ban a Sas csillagkép egyik csillaga körül, amely mintegy 13 000 fényévre van tőlünk a Tejútrendszerben. Nemrégiben a tethelyen a James Webb-űrtávcső segítségével érdekes új felfedezést tettek: a csillag túl fiatal ahhoz, hogy vörös óriás legyen. Így az adatok arra mutatnak, hogy ebben a rendszerben egy Jupiter-méretű bolygó a központi csillaghoz nagyon közel, a Merkúrhoz hasonló távolságban keringhetett, s a pálya sok millió év alatt úgy módosult, hogy az égítést végül spirális pályán a csillagba zuhant.

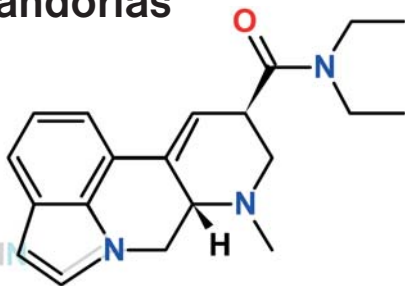
Astrophysical J. 983, 87. (2025)



LSD-atomvándorlás

A közismert hallucinogén anyag, az LSD egyik nitrogén-jét papíron elég könnyű másik pozícióba juttatni. A valóságban ez persze sokkal nehezebb, de a végeredményként kapott, első előállítójáról, Jeremy R. Tuckról JRT-nek elnevezett molekula élettani hatásai igen érdekesnek bizonyultak: egérsérletekben elősegítette az idegsejtek növekedését és enyhítette a depresszió tüneteit anélkül, hogy hallucinációkat okozott volna. Az atomcsere miatt a JRT nem képes azt a kulcsfontosságú hidrogénkötést létrehozni, amely az LSD esetében az 5-hidroxitriptamin 2A jelű szerotonin-receptorhoz való kötődést segíti elő. Az így előállított új vegyületnek nemcsak pszichiátriai kezeléseknél lehet fontos szerepe, hanem az Alzheimer- és a Parkinson-kór elleni terápiában is.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 122, e2416106122. (2025)



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



Costin Nenițescu: Über eine neue Indol-Synthese
Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series) Vol. 58, pp. 1063–1064. (1925. június 10.)

Costin D. Nenițescu (1902–1970) neves román kémikus a bukaresti Universitatea Politehnica munkatársa volt, a román akadémián kívül a hallei Leopoldina Német Természettudományos Akadémia és a berlini Német Tudományos Akadémia is tagjai közé választotta. Kutatásait nagyrészt szerves kémiai témákban végezte, a romániai Píjtestiben egyetemet neveztek el róla.

Arzéntűz

Az erdő- és bozóttüzekről már korábban is ismert volt, hogy jelentős mennyiségben juttathatnak arzéntartalmú anyagokat a levegőbe. A közelmúltban egy szisztematikus kísérletsorozatban jellemezték ezt a folyamatot, leginkább arra koncentráva, hogy mennyire fontos tényező benne a tűz hőmérséklete. Az arzénban természetes okokból gazdag talajtípusokban elsősorban arzén-oxidok és arzénátok formájában fordul elő a harminchármas rendszámú elem, és ezek a vegyületek már 275 °C-on elkezdnek arzéntartalmú gőzöket kibocsátani. A gyakoribb arzéntartalmú ásványok, mint az enargit (Cu_3AsS_4) vagy az arzenopirit (FeAsS) csak jóval magasabb hőmérsékleten teszik ugyanezt. Így a talajokban előforduló arzénformák meghatározása fontos bemeneti adat lehet az erdő- és bozóttüzek által okozott arzénkockázat előzetes felméréséhez.

Appl. Geochem. 182, 106318. (2025)



IDÉZET



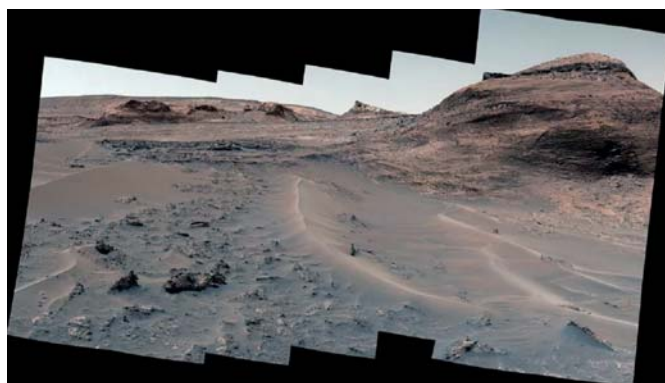
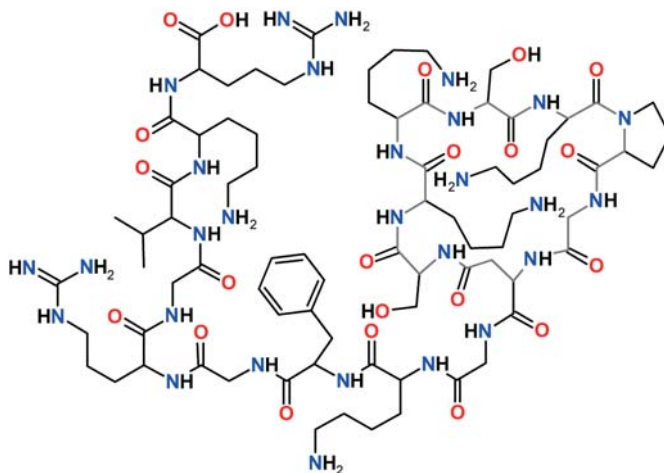
„Tudományos hatalmunk megelőzte szellemi hatalmunkat. Irányított rakétáink és félrevezetett embereink vannak.”
Martin Luther King
(1929–1968)



A HÓNAP MOLEKULÁJA

A lariocidin B ($C_{79}H_{136}N_{28}O_{21}$) 17 aminosavegységből álló oligopeptid, amelyben az első nyolc rész egy aszparaginsav révén önmagába záródik, a maradék 9 egység viszont erről a gyűrűről lelógó láncot alkot. Az érdekes szerkezet miatt az ilyen molekulákat lasszópeptidnek is nevezik. A vegyületet egy *Paenibacillus* nemzetséghez tartozó baktériumfajban találták. Igen jelentős antibiotikus hatása van, ráadásul ennek molekuláris mechanizmusa korábban ismeretlen volt.

Nature 640, 1022. (2025)



Mars-karbonátok

Azt már régóta sejtik, hogy a Mars felszíne több milliárd évvel ezelőtt melegebb volt és a folyékony víz is előfordult rajta. Ennek az ásványtani bizonyítékát a karbonáttartalmú kőzetek formájában azonban csak a közelmúltban sikerült megtalálni. A Mars Science Laboratory Curiosity nevű marsjárója 2022-ben a Gale-kráterben ez eredetileg szulfáttartalmú anyagokban gazdagnak gyanított Tapo Caparo, Ubajara és Sequoia mintavető helyeken járt, s a kőzeteket röntgendiffrakció segítségével elemezte. Ezekben a várakozásoktól eltérően jelentős mennyiségű sziderit ($FeCO_3$) nyomaira is bukkant. Az analízis eredményei azt is lehetővé tették, hogy az ősi marsi légkör összetételére vonatkozó következtetéseket vonjanak le.

Science 388, 292. (2025)



Kígyóméreg-ellenes fehérjék tervezése

A világ szegényebb felén a kígyómarás évente mintegy száz ezer ember halálát okozza. Ezért is számít fontosnak, hogy David Baker, a 2024-es kémiai Nobel-díjasok egyike kutatótársaival olyan anyagokat tervezett, amelyek a kígyóméreg egyik gyakori, 3FTx (three-finger toxin) típusú komponensével szemben bizonyult hatásosnak. Az ilyen jellegű kutatások stratégiáját már jó ideje kidolgozták: a célfehérje szerkezetének ismeretében olyan aminosav-szekvenciát terveznek, amely előreláthatóan jelentős erősséggel kötődik a fehérjéhez, majd a Deepmind AlphaFold programja segítségével megkeresik azt a szekvenciát, amely várhatóan a leghatásosabb. A 3FTx esetében egérvizsgálatokkal igazolták, hogy az *in silico* kifejlesztett molekula valóban alkalmas kígyóméreg-elleneszernek.

Nature 639, 225. (2025)

Sókörk a tésztafőzésben

A gasztronómia iránt érdeklődő tudósok már régebben megfigyelték, hogy az alaposan megsózott tésztafőzővízből gyakran gyűrű alakú mintázatban válik ki szilárd anyag. Jóllehet fizikusok úgy modellezték a jelenséget egy kísérletsorozatban, hogy 0,6 és 6 milliméter közötti átmérőjű, gömb alakú üveggolyócskákat készítettek, majd ezeket 5 és 40 cm közötti mélységű vizes edényekbe ejtették. A gömböcskék nagyon hasonlóan viselkedtek a tésztafőzésben megfigyelt sószemcsékhez: az edény alján közel kör alakú gyűrűket hoztak létre.

Phys. Fluid 37, 013370. (2025)



Fúziós üzemanyag akkumulátorkatódból



Ha lesznek használható magfúziós reaktorok a jövőben, a lítium ritkább, 6-os tömegszámú izotópja minden bizonnyal fontos üzemanyag lesz bennük. Az izotópdúsításra eddig talált legjobb eljárást az USA-ban 1963-ban betiltották, mert nagy mennyiségű, higanytartalmú hulladék keletkezik a használata közben. Az új izotópválasztási eljárás elektrokémiai alapú, a lítiumion-akkumulátorok működési elve inspirálta. Lényege, hogy a $\zeta-V_2O_5$ kristályrácsában az interkalációs folyamatban a két lítiumizotóp jelentősen eltérő sajátságokat mutat. Így egy elektrokémiai cella katódjá alkalmas ezek elválasztására.

Chem 11, 102486. (2025)

az MTA rendes tagja, osztályelnök

MAGYAR KÉMİKUSOK LAPJA

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

<https://cmbl.biomedcentral.com/articles/10.1186/s11658-024-00619-0>

¹Department of Biophysics and Radiation Biology, Semmelweis University, Budapest, Hungary

²In Vivo Imaging Advanced Core Facility, Hungarian Centre of Excellence for Molecular Medicine, Budapest, Hungary

³HUN-REN Physical Virology Research Group, Semmelweis University, Budapest, Hungary

⁴Laboratory of 3D Functional Network and Dendritic Imaging,
HUN-REN Institute of Experimental Medicine, Budapest, Hungary

⁵ BrainVisionCenter, Budapest, Hungary

⁶Femtonics Ltd., Budapest, Hungary

⁷National Center for Public Health, Budapest, Hungary

⁸ National Heart and Lung Institute, Imperial College London, London, UK

⁹ Heart and Vascular Center, Semmelweis University, Budapest, Hungary

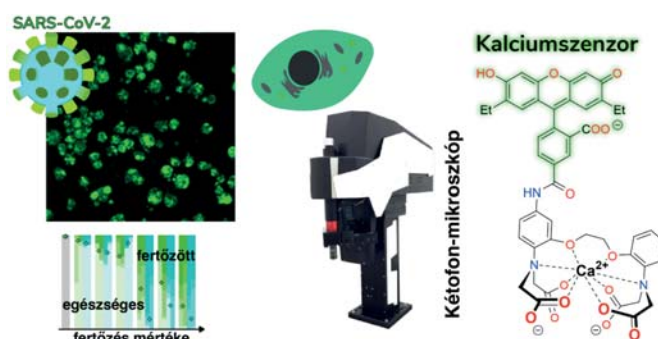
¹⁰ Department of Oral Biology, Faculty of Dentistry, Semmelweis University, Budapest, Hungary

¹¹Two-Photon Measurement Technology Group, The Faculty of Information Technology, Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary

¹²Institute of Chemistry, Faculty of Materials Science and Engineering,
University of Miskolc, Hungary

¹³Institute of Materials and Environmental Chemistry, HUN-REN Research Centre for Natural Sciences, Budapest, Hungary

Bár a koronavírus terjedését az elmúlt években széles körben tanulmányozták, a megfelelő kísérleti eszközök hiánya miatt még mindig keveset tudunk a SARS-CoV-2 fertőzés sejtek közötti vagy sejteken belüli időbeni terjedésének dinamikájáról. Kutatásaink során egy új kalciumszenzort fejlesztettünk ki, amelyet megfelelő sejttes festési technikában alkalmaztunk, így a szenzorvegyületet kétfoton-technika segítségével a fertőzőskárosodás sejt szintű



elemzésére, azonosítására használtunk sikeresen. A módszer sejt-
életképességi tesztként is működik, és értékes információkat
szolgáltatt arról, hogy a kalciumszintet és a sejten belüli nyugalmi
kalciumeloszlást hogyan zavarja meg a vírus. A módszer lehetővé
teszi a fertőzés dinamikájának alaposabb tanulmányozását is. Ez
az újszerű megközelítés megkönnyíti a fertőzés lefolyásának rész-
letes vizsgálatát, valamint a vírusvariánsok és a vírusterhelés által
okozott hatások számszerűsítését.

2025. április 25. és 27. között a Debreceni Egyetemen rendezték meg az 57. Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny harmadik fordulóját, amelyen összesen 213 középiskolás diák vett részt a 9. és 10. évfolyamokról. A Magyar Kémikusok Egyesülete által gondozott verseny hagyománya, hogy döntője közösségi esemény, amelynek helyszíne nem Budapest, s rajta a diákokon kívül felkészítő tanáraik is nagy számban részt vesznek. A Debreceni Egyetem 2019-től kapta meg öt évre a rendezés jogát. A Covid-járvány miatt azonban 2020-ban és 2021-ben nem lehetett személyes részvétellel megszervezni a rendezvényt, így a 2025-ös döntő volt az ötödik, egyben utolsó Debrecenben. A következő, 58. versenydöntő házigazdájá 2026. április 10. és 12. között a Pécsi Tudományegyetem lesz. Ezért az idei rendezvény zárómózzanataként a verseny zászlóját Várnagy Katalintól, a Debreceni Egyetem Kémiai Intézetének igazgatójától Lente Gábor, a Pécsi Tudományegyetem Kémiai Intézetének megbízott igazgatója vette át. A debreceni szervezők áldozatos munkáját a résztvevők hosszan tartó tapssal, felállva köszönték meg.





GYÓGYSZERIPARI HÍREK

A Richter hosszú távú stratégiája

A Richter Gedeon igazgatótanácsa megvitatta és jóváhagyta új, hosszú távú stratégiáját, a **Richter 2035-öt**.

A szabadalmi szakadék kezelése, a Richter építése a következő évtizedre

Az új, hosszú távú stratégia azokat a feladatokat és célokat határozza meg, amelyek az évtized vége felé bekövetkező Cariprazine-szabadalom lejárata mellett is elősegítik a Richter sikeres működését. Bemutatja azt is, hogy a Richter miképpen épül a következő évtized(ek)re a betegek, az alkalmazottak, a közösségek és a részvényesek számára. A Richter elkötelezett az iparág kedvező trendjeinek kiaknázásában, és tovább kívánja építeni az elmúlt években kialakított belső képességeit. Ez lehetővé tenné a vállalat számára, hogy jelentősen növelje méretét, miközben csökkenti környezeti lábnyomát annak érdekében, hogy így javítsa továbbra is az életminőséget világszerte.

„Innovatív” és „megfizethető”, erős terápiás fókusszal

A 2035-ös stratégia két stratégiai pillér köré épül. Ez szimbolizálja a Richter törekvését, hogy néhány jól körülhatárolt tudományos területen globális véleményvezér és innovátor legyen, ugyanakkor elszántan dolgozik azon, hogy a gyógyszerek és a kezelések világszerte egyre szélesebb körben váljanak hozzáférhetővé a betegek számára.

Nőgyógyászat (WHC) – előlépni a legnagyobb bevétel- és nyereségtermelővé 2035-re



A Richter a jelenlegi portfólióban rejlő potenciál maximalizálásával és innovatív termékek bevezetésével 2035-ig WHC-bevételeinek és K+F-beruházásainak megduplázását, valamint jövedelmezőségének jelentős javítását tervezi. A Richter a nőgyógyászat területén élenjáróként elkötelezett a lefedetlen terápiás igényeket célzó megoldások mellett, piacvezető alternatívák kifejlesztésével és forgalmazásával a már megalapozott terápiás szegmensekben (fogamzásgátlás, termékenység, endometriózis és menopauza), valamint új terápiák bevezetésével a húgyúti betegségek, a PCOS és a női onkológia területén. A Richter a teljes mértékben integrált értékláncára, a nemrégiben megalapított saját kutatására és a külső innovációk befogadására alkalmas képességére alapozva tovább bővíti földrajzi fókuszát azáltal, hogy növeli jelenlétét az Egyesült Államokban és erősíti pozícióját Nyugat-Európában.

Neuropszichiátria (CNS) – cél a következő blockbuster-molekula bevezetése

A Richter a Cariprazine értékének maximalizálására fog összpontosítani a szabadalmi védetség fennállása alatt, ugyanakkor biztosítja, hogy a CNS a 2030-as és 40-es években is értékteremtő

üzletág maradjon. A meglévő lefedetlen szükségletek, a mentális zavarok jelentős társadalmi költségei, a kezelések iránti egyre növekvő kereslet (beleértve a betegséggel kapcsolatos növekvő tudatosságot) és az ígéretes innovációk továbbra is vonzóvá teszik az eredeti neuropszichiátriai kutatásokat. A Richter páratlan kutatási és preklinikai képességeit, az AbbVie-vel való együttműködését, valamint a jól kialakított helyi ökoszisztémáját kiaknázva arra törekszik, hogy erőteljes projektportfóliót építsen, és egy új, blockbuster-potenciállal rendelkező molekulát fejlesszen ki.

General Medicines (GenMed) – a gyorsaság és a méret kihasználásával bővíteni a betegek hozzáférését



A Richter arra számít, hogy 2035-re megduplázza GenMed-bevételeit, és jóval korábban eléri a 20% feletti tisztított EBIT-árrést, miközben jelentősen, 15% fölé növeli portfóliójának frissességi indexét (az elmúlt 5 évben újonnan bevezett termékek arányát), valamint árbevétel-arányos K+F ráfordításait 7%-ra emeli. Az érintett terápiás területeken (szív- és érrendszeri, tradicionális CNS, vérképzőszervi terápiák és cukorbetegség/elhízás) a nagy-szabású és nagy értékű LoE-k (szabadalomlejáratok) rövid és középtávon egyaránt vonzó növekedési kilátásokat teremtenek (6%-os generikus piaci CAGR 2025–35 között Európában a fennálló ár-erőzió ellenére). A kulcsfontosságú régiók működési kiválósága, valamint a kis- és nagymolekulás képességek közötti szinergiák ötvözése lehetővé teszi a Richter számára, hogy kiterjessze földrajzi lefedettségét Nyugat-Európára, és integrált terápiás megoldásokat kínáljon a betegek és az egészségügyi szolgáltatók számára.

Biotechnológia (Biotech) – a leggyorsabban növekvő szegmens bővülése és nyereségesé válása



A bioszimiláris készítmények alkotják a leggyorsabban növekvő gyógyszeripari alszegmenst. A számos várható termékbevezetés és a bővített CDMO- (bérgyártási és fejlesztési) kapacitás a biotechnológiát teszi a Richter leggyorsabban növekvő üzletágává, 2035-ig erős két számjegyű növekedéssel. A kulcsfontosságú terápiás területek fókuszá magában foglalja az immunológia, valamint az izom- és csontrendszer terápiás területeinek ígéretes piacait. A Richter célja, hogy 2027-re elérje a nyereséges működést az üzletág, és további (saját fejlesztésű és licenccelt) bevezetésekkel tovább növekedjen, hogy végül a Richter erős, megbízható bioszimiláris szereplővé váljon. A CDMO-üzletág továbbra is kulcsfontosságú tényező marad a nyereséghez való hozzájárulás vonatkozásában, mivel a Richter továbbra is nyújt mind fejlesztési, mind gyártási szolgáltatásokat a biologikumok teljes spektrumán.



Pénzügyek – a „nem neuropszichiátriai” bevételek több mint megduplázása 2035-ig; 20%+ tisztított EBIT-árrés

A Richter várakozásai szerint a nem (neuropszichiátriai) CNS-ből származó bevételei 2035-re átlagosan évi 7–8%-os növekedési ütemben, mintegy 3,2–3,5 milliárd euróra emelkednek. A neuropszichiátriai pipeline-ból származó jogdíjbevételek és/vagy a külső innováció/M&A tevékenység további növekedési lehetőséget jelentenek. A Richter jelentős erőfeszítéseket tesz és számos eszközt megmozgat annak érdekében, hogy a „nem CNS” tisztított EBIT -árrést 2030–31-re a megcélzott 20% feletti szintre hozza, és 2035-ig tovább javítsa. A jövedelemkülönbség megszüntetése és a biotechnológia bővítése, a WHC és a GenMed portfólióépítése, a kereskedelmi hatékonyság javítása, valamint a folyamatos operatív kiválósági és hatékonyságjavító projektek, amelyeket megújított irányítási és tehetséggondozási keretrendszer támogat, mind hozzájárulnak a nyereségesség jelentős növeléséhez a következő 5–10 évben.

Tőkeallokációs prioritások – K+F, külső innováció és részvényesi juttatás

A stratégiai képességek és üzletágak kiépítése, valamint megerősítése továbbra is prioritással bír az Igazgatóság és a vezetés számára. Ehhez szükséges az innovációba történő beruházások növelése, mind belső (K+F), mind külső (M&A tevékenység, licencelés) szinten. A Richter továbbra is elkötelezett amellett, hogy vonzó és kiszámítható jövedelmezőséget biztosítson a részvényeseknek, miközben megtartja erős mérlegét és kellő rugalmasságát a növekedés megvalósításához. A 2025–35-ös pénzügyi kilátások alapján a Richter úgy látja, hogy a 200 millió euró éves

alapsztalék a Cariprazine-szabadalmak lejáratát követően is fenn tartható, és a stratégiában bemutatott időszak első felében az osztalékok jelentős növekedést mutathatnak.

Merck: felvásárlás

A Merck KGaA megállapodott a SpringWorks Therapeutics felvásárlásáról, hogy erősítse egészségügyi üzletágát.

Az ajánlott vételár részvényenként 47 dollár, ami körülbelül 3,9 milliárd dolláros részvényértéket és 26%-os prémiumot jelent a SpringWorks számára.

Az amerikai biotechnológiai cég súlyos, ritka betegségekre és daganatos megbetegedésekre fejlesztett gyógyszerportfóliója várhatóan 2027-től növeli majd a német konglomerátum eredményét, két olyan készítménnyel, amelyek már megkapták az amerikai hatósági jóváhagyást.

Michael Shah, a Bloomberg Intelligence elemzője szerint a SpringWorks 2030-ra akár évi 1,5 milliárd euróval is növelheti a Merck éves árbevételét.

A Merck gyógyszeripari üzletága nagy kihívásokkal néz szembe jelenleg, miután több kísérleti gyógyszer fejlesztése is kudarcba fulladt, ráadásul hamarosan lejár a legsikeresebb, sclerosis multiplex elleni készítménye, a Mavenclad szabadalma is.

Ez az akvizíció a Merck legnagyobb üzlete a Versum Materials 2019-es felvásárlása óta, az az üzlet azonban az elektronikai divíziót erősítette.

A Merck már korábban jelezte, hogy felvásárlási lehetőségeket keres, miután a világjárvány idején jelentős készpénzállományt halmozott fel azáltal, hogy Covid-vakcinákhoz, terápiákhoz és tesztekhez szállított alkatrészeket. A társaság a jövőben is folytatja az ilyen jellegű lehetőségek keresését. (*portfolio.hu*)

Vegyipari Mozaik

Bővíti együttműködését az Egis Gyógyszergyár Zrt. és a Szegedi Tudományegyetem. SZTE–Egis Ipari Partnerségi Tanszék néven új oktatási egység kezd meg működését a Szegedi Tudományegyetem (SZTE) Gyógyszerésztudományi Karán. Az Egis és a szegedi egyetem stratégiai partnerekként már korábban is több területen sikeresen működött együtt, az új tanszék indulása mérföldkővet jelent a közös munkában.

Tudástranszfer, az egyetemi és ipari know-how és kultúra szimbiózisa révén az innováció ösztönzése, a kétoldali kapcsolatok további szélesítése – e közös célok mentén bővíti együttműködését az Egis és a Szegedi Tudományegyetem. Az ennek jegyében alapított SZTE–Egis Ipari Partnerségi Tanszék mellett, hogy szervesen illeszkedik az SZTE már meglévő, színvonalas képzési struktúrájába, új lehetőségeket is kínál az ipari témák iránt érdeklődő szegedi gyógyszerész hallgatóknak. Az Egis szakemberei révén az egyetemen tovább erősödhet a gyakorlatközpontú oktatási szemlélet, hiszen a gyógyszeriparban alkalmazott legfontosabb tudásanyagokat is nagy gyakorlati tapasztalatokkal rendelkező, elismert iparági szereplőktől sajátíthatják el a diákok, ami a karrierválasztásukra is döntő hatással lehet. Emellett – mint azt több sikeres projekt is mutatja – az egyetemi és az ipari szféra szorosabb együttműködéséből számos innovatív ötlet, kezdeményezés fakadhat.



Prof. Dr. Szakonyi Zsolt, az SZTE GYTK dékánja és Poroszlai Csaba, az Egis Gyógyszergyár Zrt. vezérigazgatója

„A gyógyszeripar hagyományosan a magyar nemzetgazdaság egyik kiemelkedően magas hozzáadott értékű húzóágazata – mondta el Poroszlai Csaba, az Egis Gyógyszergyár Zrt. vezérigazgatója. – Vállalatunknál nagy hagyománya van az utánpótlás-nevelésnek, a tehetséggondozásnak: több platformon támogatjuk a tehetségek felkarolását, illetve részt vállalunk a leendő szakemberek képzésében. A szegedi egyetemmel is számos eredményes projektben dolgoztunk együtt, a közös pályázati projek-



tektől az oktatási kezdeményezésekig. A tanszék megalapításával ez a szakmai kapcsolat emelkedik új szintre: hamarosan a régió egyik vezető gyógyszergyárának megbecsült munkatársai adhatják át első kézből tapasztalataikat a diákoknak, tanszékvezető kollégám, dr. Spaits Tamás irányítása alatt, méghozzá egy kifejezetten az iparral kapcsolatos tárgyakat oktató tanszéken.

Ahogy azt többek között számos Innovációs Díjunk is bizonyítja, az Egisben lételemünk az innováció. Kötelességünk, hogy meg is tartsuk, tovább is adjuk. Ezt diktálja elsősorban a betegek iránti felelősségünk, a küldetésünk: hogy korszerű gyógyszerekkel segítsünk minél többeket a minőségi élethez. Az innováció erősítésére ezzel a megállapodással új lehetőség adódik: szélesebb tér nyílik az akadémiai szférából érkező és az iparban gyakorló szakemberek közös munkájára.”

„A Szegedi Tudományegyetem az oktatók, a tudományos kutatók és a hallgatók számára biztosítja a tudományos kutatás és tudományok művelésének szabadságát, támogatja feltételeinek megvalósulását annak érdekében, hogy folyamatosan frissülő tudás épüljön bele az aktuális tananyagokba minden képzési szinten és területen” – mondta el Prof. Dr. Rovó László, az SZTE rektora. – Ehhez elengedhetetlen olyan partnerségek kialakítása, amelyekkel képesek vagyunk a minket körülvevő komplex és gyorsan változó elvárásokhoz gyorsan alkalmazkodni, közös bölcsességgel és összefogással. Az ipari partnerségi tanszék koncepciója szervesen kapcsolódik ahhoz az innovációs ökoszisztéma-modellben történő gondolkodáshoz, amelyben a negyedik generációs egyetemek körébe tartozó Szegedi Tudományegyetem értelmezi küldetését.”

(<https://hu.egis.health/a/boviti-egyuttmukodeset-az-egis-gyogyszergyar-zrt-es-a-szegedi-tudomanyegyetem>)



Richter: pozitív vélemény a Junod® és a Yaxwer® termékekre. A Richter Gedeon Nyrt. bejelentette, hogy az Európai Gyógyszerügynökség (EMA) Emberi felhasználásra szánt gyógyszerkészítmények bizottsága (CHMP) pozitív véleményt adott ki, amelyben a Junod® és a Yaxwer® bioszimiláris denosumab-termékeinek európai forgalomba hozatali engedélyezését javasolja, az Amgen Prolia® és Xgeva® referencia-gyógyszereinek valamennyi indikációjára vonatkozóan.

A denosumab a menopauza utáni nők csonttritkulásának kezelésére, a csontra terjedő rákos megbetegedések csontrendszerrel kapcsolatos szövődményeinek megelőzésére és a csontok nem operálható óriássejtes daganatának kezelésére javallott.

A CHMP pozitív véleménye a Junod® és a Yaxwer® esetében megnyitja az utat e létfontosságú gyógyszerek uniós forgalomba hozatali engedélyezése előtt, ami a Richter első monoklonális antitest bioszimiláris engedélyezését jelenti, és jelentős mérföldkő a magas minőségű, megfizethető biológiai terápiákhoz való hozzáférés kiterjesztése iránti elkötelezettségünkben. A Junod® és a Yaxwer® a csontegészségügyre vonatkozó portfóliónkat erősíti, csatlakozva a Terrosá®-hoz, a már forgalomban lévő teriparatid bioszimiláris termékünkhöz, amely a csontvesztés és a rákos megbetegedésekkel kapcsolatos csontrendszeri szövődmények jelentős terheinek kezelésére és a betegek életének javítására szolgál” – mondta Dr. Bogsch Erik, a Richter Biotechnológiai üzletágának vezetője.

A Junod® és a Yaxwer® egyaránt tartalmaz denosumabot, egy humán monoklonális antitestet (IgG2), amely a RANKL-t célozza meg és nagy affinitással kötődik hozzá, gátolva annak kölcsön-



hatását a RANK-receptorral az oszteoklasztokon és azok prekursorain. Ez a mechanizmus megakadályozza az oszteoklasztok kialakulását, működését és túlélését, ezáltal csökkenti a csontfelszívódást mind a kérgi, mind a trabekuláris csontban. A készítményeket szubkután adják be, az adagolási séma és a kiserelés megegyezik a referencia-gyógyszerekével.

(<https://www.gedeonrichter.com/hu-hu/media/250425>)



Harmadik alkalommal adták át a Richter Érdemérem Díjat. Az elismerést elnyerő szakorvosok kivételes szakmai tudásukkal, innovatív szemléletükkel és példaértékű emberségükkel formálják a hazai egészségügy jövőjét.

A Richter célja, hogy méltó módon ismerje el azokat a szakorvosokat, akik munkájukkal nap mint nap hozzájárulnak a betegellátás színvonalának emeléséhez, a tudományos eredmények gyakorlati hasznosításához és az orvoslás emberközpontú szemléletének erősítéséhez.

Az elismeréssel a Richter nemcsak a kiemelkedő szakmai teljesítményt, hanem a betegellátásban tanúsított elhivatottságot és emberközpontú szemléletet is jutalmazza. A Richter Érdeméremet elnyert pályázatok az Érdemérem elismerés mellett bruttó 2 millió, a különdíjas pályázatok pedig bruttó 500 ezer forint díjazásban részesülnek.

A Richter Érdemérem szakorvosi díjának alapítása óta a válatat összesen 24 szakorvos munkáját ismerte el, több mint 25 500 000 forint összértékben. A Richter Érdemérem őszi pályázati szakaszában a háziorvosoktól és gyógyszerészekről várja a jó gyakorlatokat bemutató pályázati anyagokat.

(<https://www.gedeonrichter.com/hu-hu/media/250412>)

SCHAEFFLER

Tovább bővült a Schaeffler legnagyobb napelemparkja. A Schaeffler szombathelyi telephelyén ismét lezárult egy klímavédelemmel összefüggő, nagyszabású beruházás: a Schaeffler Savaria Kft. napelemparkja tovább bővült.

A vállalatcsoporthoz tartozó gyáraknál működő on-site napelemparkok legnagyobbika ezzel még nagyobb lett. A Söptei úti e-mobility gyár 2021-ben átadott 1372 panelje és a Zanati úti üzemnél 2023-ban létesített 8000 panel mellé további 4290 panelt telepítettek.

Mostantól összesen 13 662 napelem termel zöld energiát folyamatosan a cégnél, 6432 kWp teljesítmény mellett, és évente több mint 8,2 Gwh energiát generál. Összehasonlításképp: körülbelül 1490 háztartás napeleme képes ennyi energiát előállítani.



Mindemellett a vállalat napelemrendszere több mint 1443 tonna CO₂-terheléstől kíméli meg a környezetet évente. Impresszív számok – egyértelmű elkötelezettség a fenntarthatóság irányába.

A vállalat tanműhelyének oktatói és diákjai egyedi, látványos eszközt készítettek a továbbfejlesztett napelempark ünnepélyes indítására.

A Schaeffler-csoport 2040-re kitűzött karbonmentessége elsődleges cél a szombathelyi vállalat fenntarthatósági stratégiájában is. A helyi Schaeffler konkrét intézkedésekkel járul hozzá a csoportszintű célok eléréséhez – egyebek mellett 2020 óta megújuló forrásból szerzi be a vállalat a villamos energiát. A cég határozottan kiáll a klímavédelem mellett a termékekre, működésre, gyártási folyamatokra és a teljes értékláncra vonatkozóan. (<https://www.muszaki-magazin.hu/>)



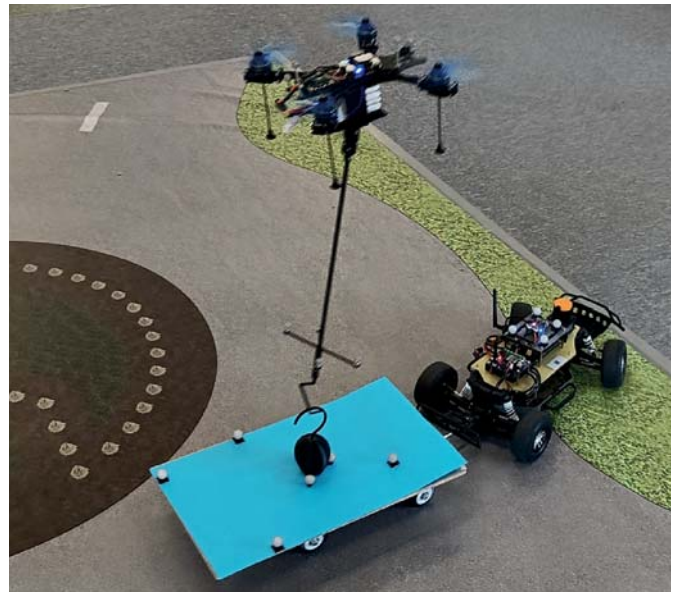
Világszinten is egyedülálló drónfejlesztés magyar kutatóktól. Amikor csomagszállító drónokról hallunk, sokan jövőbe illő jeleneteket képzelnek maguk elé: lebegő szerkezetek hozzák házhoz a rendelést, közvetlenül az erkélyre vagy a kertkapu elé.

A valóság azonban ennél jóval összetettebb, és a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy ezek az eszközök önállóan, biztonságosan és megbízhatóan tudjanak tájékozódni a gyakran kiszámíthatatlan városi környezetben. A HUN-REN SZTAKI Rendszer- és Irányításméleti Kutatólaboratóriumának (SCL) szakemberei ezen a területen értek el világszinten is egyedülálló eredményeket olyan intelligens irányítási megoldások fejlesztésével, amelyekkel a drónok képesek valós időben reagálni a környezet változásaira – mindezt minimális energiafelhasználás mellett.



Ahhoz, hogy egy drón biztonságosan repülhessen, tudnia kell, hol van, mi van körülötte és merre érdemes haladnia. Ehhez nem elég előre beállítani a repülési pályát – villámgyors, rögtönzött alkalmazkodásra van szükség. Egy arra szálló madár, az építkezés miatt felállított daru vagy akár egy hirtelen szállókés is felülírhatja az eredeti útvonaltervet. Az autonóm drónokat különféle érzékelők segíthetik a tájékozódásban: GPS, gyorsulás- és forgássebesség-mérők, kamerák, illetve a LIDAR, ami a radarhoz hasonlóan működik, de rádióhullámok helyett lézerrel térképezi fel a környezet tárgyait és akadályait.

Itt érkezünk el a technológia egyik alapvető dilemmájához: felszerelhetjük a drónt a lehető legjobb szenzorokkal, de azok nehezek, sok energiát fogyasztanak, és bonyolultabbá teszik a működést. Egy drón pedig csak korlátozott súlyt bír el, és akkumulátorának kapacitása is véges. Ezért van szükség okos, hatékony irányítási megoldásokra – a cél nem az, hogy minden apró adatot észleljen és rögzítsen az eszköz, hanem az, hogy pont annyit érzékeljen és dolgozzon fel, amennyi a gyors, biztonságos döntésekhez elegendő.



A HUN-REN SZTAKI SCL kutatói olyan szoftveres rendszereket fejlesztenek, amelyek képesek a rendelkezésre álló adatok alapján gyors és megbízható döntéseket hozni. „Ezek a rendszerek nemcsak előre terveznek, hanem a legkisebb váratlan változásra is reagálva folyamatosan tervezik újra a drón mozgását – mondja Péni Tamás, az SCL kutatója. – Nem elég ugyanis azt tudnunk, hogy az adott pillanatban hol van az akadály, azt is fel kell mérnie az eszköznek, hogyan mozoghat az a tárgy a jövőben, és megfelelő biztonsági távolságok betartásával ehhez igazítani kell a saját mozgását is.”

Ennek érdekében a repülési pálya kialakítása két szinten történik. Az egyik a globális szint, ami olyan, mint amikor az autónkkal a GPS alapján elindulunk úticélunk felé. A rendelkezésre álló térképek és információk alapján a drón ugyanígy tervezi meg előre az útvonalát. Amikor azonban váratlan helyzet adódik – például egy akadály kerül a drón elé –, akkor életbe lép a lokális szintű tervezés, az eszköz változtat a röppályáján, sőt, ha kell, az egész további útvonalát is módosítja. Ha pedig több drón van egyszerre a levegőben, akkor ezek kommunikálni is tudnak egymással. Ha például az egyik új akadályt vesz észre – mondjuk egy darut, amit nem jeleztek a térképen –, ezt az információt azonnal meg tudja osztani a többi drónnal. Így minden eszköz



egyetlen közös, valós idejű „térképen” dolgozik, és mindannyian képesek biztonságosan eljutni a célállomásra.

A HUN-REN SZTAKI kutatói által kifejlesztett rendszerrel felszerelt drón képes arra, hogy egy egyszerű horog segítségével önállóan felvegye a csomagot a mozgó járműről, majd egy másik, szintén mozgó járműre kézbesítse – centiméteres pontossággal. A vásári horgászós játékból tudhatjuk: ez még saját kezünkkel irányítva sem könnyű mutatvány. Emberi vezérlés nélkül, teljesen autonóm drónnal pedig a világon jelenleg csak a magyar laboratóriumban képesek ezt végrehajtani.

„Más nemzetközi kísérletek nehezebb és bonyolultabb, aktív megfogó mechanikát, például tüket, elektromágnezt vagy markoló kart használnak, míg a mi megoldásunk nem csupán technológiailag egyszerűbb, de energiatakarékosabb is – mondja Tóth Roland, az SCL kutatója. – Ez lehetővé teszi, hogy olcsóbb, kisebb drónok is el tudjanak végezni komplex feladatokat, ráadásul egy horog aránylag könnyen felszerelhető bármely csomagra.”

Bár a csomagszállító drónokat leggyakrabban városi környezetben képzeljük el, az első, valóban működő rendszerekkel nem a nagyvárosi utcákon találkozunk majd. Ennek egyszerű oka van: a vidéki, ritkán lakott környezet vagy éppen a zárt terek, raktárak sokkal kiszámíthatóbbak.

Néhány országban már elindultak az első olyan szolgáltatások, ahol a drónok gyógyszerért, ételt vagy kisebb csomagokat szállítanak, ám ezek jellemzően stabil időjárási viszonyok között, alacsony épületek és egyszerű légiforgalom mellett működnek. Ilyen környezetben nincs szükség nagy pontosságra vagy gyors irányváltásokra.

Ezzel szemben az a fajta irányítás, amely lehetővé teszi, hogy egy drón akár mozgó járművek között is biztonságosan és önállóan kézbesítsen csomagot, még nem része a hétköznapi gyakorlatnak. Az ilyen feladatokhoz szükséges, valós idejű és centiméteres pontosságú mozgásvezérlés az, amiben a HUN-REN SZTAKI kutatóinak munkája világszinten is előremutatónak számít.

Ezeknek a fejlesztéseknek pedig az ipari vagy logisztikai létesítmények jelenthetik a legjobb tanulópályát: az ilyen zárt terekben ugyanis nincsenek véletlenszerű mozgások, madarak vagy járókelők, és nem befolyásolja a repülést a szél vagy a köd. Így ideális környezetet biztosítanak a precíziós autonóm repülés fejlesztéséhez, ahol a drónok valódi kihívások között, de ellenőrzött módon bizonyíthatják megbízhatóságukat.

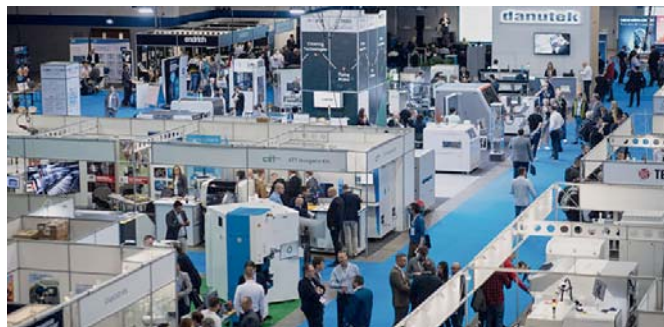
(https://www.muszaki-magazin.hu/2025/04/28/sztaki-dron-fejleszt-es-egyedulallo/?utm_campaign=&utm_medium=email&utm_source=weboldal+h%C3%ADrek)



InnoElectro 2025 – Az úipar fontos lehet a hazai cégek számára. Az InnoElectro elnevezésű konferencián és kiállításon, a Budapesti Olimpiai Központban április elején 83 kiállító, 3500 négyzetméteren mutatta be az elektronikai ipar és gyártás újdonságait.

A konferencia egyik hangsúlyos témája a magyarországi mérnökképzés helyzete volt. „Nem beszéljük az ipar nyelvét, ezért új szellemiségre van szükség. A felsőoktatásnak ugyanis kínálnia kell az értékeket az ipar felé, nem pedig megvárnia, míg támogatást kap. A cégek is érdekeltek abban, hogy saját laborjaik legyenek az iskolák falai között. Nem adományokra, hanem kölcsönös érdekekre kell alapítani ezt a viszonyt” – mondta Charaf Hassan, a Budapesti Műszaki Egyetem rektora.

A mesterséges intelligencia szerepe az elektronikai gyártás szegmenseiben szintén részletesen terítkekre került. Ennek egyik



alkalmazási esete az AI nyomtatottáramkör-tervezés során való használata.

„A mérnököket nem váltja ki teljesen a technológia, de meg kell tanulniuk professzionálisan promptolni, és kihasználni az AI erejét” – emelte ki Nadj István, a CAD-TERV Kft. ügyvezetője.

A tavalyi alkalomhoz hasonlóan egy teljes nap szólt az új- és védelmi iparról, hiszen az európai újtechnológia virágzik, nem utolsósorban az Európai Űrügynökség (ESA) aktivitásának köszönhetően. Egy ESA-ba befektetett euró ugyanis akár 2,8 euró többletbefektetést vonzhat harmadik feleltől.

„Mindegy, hogy mit fejlesztenek itt lent, a földön, annak hatalmas potenciálja van, hogy technológiai transferré váljon” – emelte ki Ines Castela, az ESA országfelelőse, miközben arra bátorította a magyar cégeket, hogy használják ki a szervezettel való közös munkában rejlő lehetőségeket. – Való igaz, hogy szigorúbbak a szabványok a nagyobb sugárzás és hőmérséklet-kitétség miatt. De ha sikerül nekik megfelelni, az egyben minőségi igazolás, ami megnyitja az utat a védelmi és a repülőipar irányába is.”

Magyarország az utóbbi időben jelentősen növelte hozzájárulását az ESA költségvetéséhez, és egy közös, kormányzati és ESA-támogatással zajló startup-program keretében is be lehet kapcsolódni a szervezettel folytatott munkába.

Az InnoElectro Nagydíjat is átadták a hazai elektronikai gyártás ökoszisztémájában előforduló leginnovatívabb megoldások elismeréseként. Az első helyet a Grif-Tools Kft. szerezte meg, amely idén harmadik alkalommal vett részt az eseményen. Az MPG (Multi Parallel Gripper) eszközük, amely a robot- és kooperatív-robot-megfogók piacán rukkolt elő újdonsággal, a felhasználók számára korlátlan megfogási variációkat nyújt, valamint segítségével sokkal szélesebb körben válik alkalmazhatóvá az automatizált technológia. (<https://www.muszaki-magazin.hu>)



Újabb mérföldkő a gárdonyi csőrepedés kapcsán: megkezdődött az izolációs fal építése. Fontos előrelépés történt a MOL által végzett kármentesítési munkálatokban Gárdonyi zártkerti területén, ahol egy termékvezeték repedése talajszennyezést okozott. A vállalat a hatóság felé benyújtott tényfeltárási záródokumentáció szerint megkezdte egy izolációs fal építését, amely hosszú távon megakadályozza a szennyezés továbbterjedését. A fal építése mintegy fél milliárd forintba kerül, a teljes kármentesítésre fordított összeg pedig a milliárdos nagyságrendet is meghaladhatja.

A kármentesítés most új szakaszba lépett az izolációs fal építésével. Az izolációs fal építése során a szakemberek 1,3 méter átmérőjű, körülbelül 27 méter mély, egymással átfedésben lévő furatokat készítenek, a furatban a fellazított talajt vízzel kevert cement-bentonit zaggal töltik ki. Ez az anyag vízzáró réteget alkot, gátolva a szennyezés esetleges továbbterjedését.



„A falra azért van szükség, mert a talajba jutott üzemanyag egy 15–17 méter mélyen fekvő agyagos rétegen (ún. „fekü”-n) terül szét, amelynek enyhe lejtése miatt a szennyezés lassú, de folyamatos mozgása a jövőben nem kizárható. A legmegbízhatóbb megoldás a folyadékzáró izolációs fal, amely az üzemanyag és a felszín alatti víz áramlási irányát egyaránt figyelembe veszi” – magyarázta Tamás Csaba, a kivitelezést végző Békés Drén cégvezetője.



A szennyezés egy 30–40 méter sugarú kört érint és nem terjedt tovább; az újabb technológia használatának is az a célja, hogy ez hosszú távon is biztosított legyen. A MOL az elmúlt hónapokban automatizált rendszert állított üzembe a talajba került üzemanyag eltávolítására, és naponta 700–1300 liter üzemanyagot távolít el a talajból, miközben folyamatosan dolgozik a szennyezés felszámolásán és a terület helyreállításán.



Előzmény: 2024 októberében észlelt repedést a MOL Százhalombattát Péccsel összekötő termékvezetékén Gárdony zártkerti részén. A MOL azonnal cselekedett, és az eset óta folyamatosan dolgozik a szennyezés felszámolásán, valamint a terület helyreállításán. A károk mielőbbi elhárításának érdekében a MOL mintegy 1614 tonna szennyezett földet szállított el. Ezt követően megkezdődött a szennyezés felmérése, melynek során kutatófúrásokat mélyítettek, és ezeket a lefúrt kutakat úgy alakították ki, hogy amennyiben abban találnak gázolaj-, illetve benzinszennyeződést, azt ki tudják onnan termelni. Jelenleg 30 db üzemanyag eltávolítására szolgáló kút üzemel a területen, amelyekkel kezdetben naponta 500–600, majd az automatizált, telepített szivattyúkkal működő rendszer üzembe állítását követően már napi 700–1300 liter üzemanyagot távolítanak el a talajból. Eddig összesen közel 100 m³ üzemanyagot sikerült kitermelni. A fentiek túl a felszín alatti közeg szennyezettségének nyomon követésére további monitoring-kutakat alakítottak ki, így jelenleg mintegy 35–40 db figyelőkút található a területen. (<https://mol.hu/>)

Dobó Dorina összeállítása

Az MKE rendezvénynaptára

Dátum	Rendezvény	Helyszín
2025. június 1–5.	International Conference on Green & Sustainable Chemistry	Budapest
2025. június 4–6.	Biologikum	Balatonszemes
2025. augusztus 21–24.	Kémia tanári továbbképzés	Eger
2025. augusztus 28.	Magyar Magnézium Szimpózium	Budapest
2025. október 13–15.	30. Őszi Radiokémiai Napok	Balatonszárszó
2025. október	XLVIII. Kémiai Előadói Napok	Szeged
2025. november 5–7.	XVI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia	Balatonszárszó
2025. november 5–7.	64. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés	Balatonszárszó
2025. november 13.	Kozmetikai Szimpózium	Budapest
2025. november	Borsodi Vegyipari Nap	
2025. december	Tömegspektrometriai Szakmai Nap	

A legnépszerűbb szerzők

a Magyar Kémikusok Lapjában

Az Magyar Kémikusok Lapja 2024-es szavazásában 229-en vettek részt. A legtöbb szavazatot a következő szerzők kapták:

Lente Gábor – 121
Csupor Dezső – 40
Inzelt György – 40
Kiss Tamás – 26
Hancsók Jenő – 21

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL LXXX. No. 6. June

CONTENTS

<i>Innovation and sustainability: developing a solar photovoltaic, hydrogen-based ESS at Bükkábrány and at Szeged University</i>	166
BALÁZS ENDRŐDI, ISTVÁN SZÉN, IMRE BAKOS, KRISZTINA KÁDÁR, and CSABA JANÁKY	
<i>Dynamic rearrangements. Interview with Professor Andrea Toldy</i>	169
VERA SILBERER	
<i>Iryni János Chemistry Competition in Transsylvania</i>	173
KORNÉLIA MAJDIK and EMESE GÁL	
<i>Book review. Unreliable by Csaba Szabó</i>	176
GÁBOR LENTE	
<i>Jahn–Teller</i>	179
MAGDOLNA HARGITTAI and ISTVÁN HARGITTAI	
<i>Whom is it named after? Nernst equation. Part I</i>	183
GYÖRGY INZELT	
<i>Chembits</i>	188
GÁBOR LENTE	
<i>Publication of the month</i>	190
<i>News of the month</i>	192

Megbízható Mennyiségi Meghatározás

Minden komponens, mátrix és felhasználó esetében

A tudományos és üzleti célok elérése csak megbízható eredmények birtokában lehetséges.

A felhasználási területtől függetlenül a Thermo Scientific™ TSQ hármaskvadrupol tömegspektrometriás rendszerei kiemelkedő precizitást biztosítanak a mennyiségi meghatározási feladatokra. Nagy felbontású SRM üzemmód, robusztusság, megbízhatóság és érzékenység egy készülékben, mely segítségével minden felhasználó a mérendő komponenstől vagy a mátrixtól függetlenül megbízható mérési eredményekhez juthat.



Thermo Scientific™ TSQ Altis™
hármaskvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Quantis™
hármaskvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Fortis™
hármaskvadrupol tömegspektrométer

További információk:

thermofisher.com/confidentquantitation

Kizárólagos képviselő:

UNICAM Magyarország Kft.
1144 Budapest, Kőszeg utca 25.
Telefon: +36 1 221 5536
E-mail: unicam@unicam.hu
Web: www.unicam.hu

UNICAM